



INTÉZMÉNYI TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2024. május 24.

A megvilágítás intenzitásának és spektrális összetételének hatása a hidropóniás rendszerben termesztett bazsalikom (*Ocimum basilicum* L.) növekedésére

Effects of illumination intensity and spectral composition on the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) grown in a hydroponic system

Készítette: Tárnok András

VTXRAZ

Mezőgazdasági mérnöki alapképzési szak
nappali tagozat

Szent István Campus

Témavezető: Dr. Balázs László, Egyetemi docens,

Növénytermesztési-tudományok Intézet

Szent István Campus

Lehetséges OTDK szekció: Agrártudományi szekció

Gödöllő

2024

Tartalom

Tartalom	2
1 Bevezetés.....	3
2 Célkitűzés	4
3 Irodalmi áttekintés.....	5
3.1 Témakörök és definíciók	5
3.1.1 Bazsalikom: A fűszernövények királya	5
3.1.2 Hidropóniás technológiák	6
3.1.3 Tápoldatok	7
3.1.4 LED-világítás technológiai	7
3.1.5 Növényi válaszreakciók, Fotoszintézis	8
3.2. Korábbi publikációk	10
4 Anyagok és módszerek.....	12
4.1 A kísérletben felhasznált eszközök.....	12
4.2 Mérési szempontok és metrikák	20
4.2.1 Magasságmérés	20
4.2.2 Klorofilltartalom jellemzése	20
4.2.3 Zöldtömeg mérés	21
4.2.4 Levélszám-meghatározás	21
5 Eredmények és értékelésük	22
5.1 Kvantitatív eredmények:.....	22
5.1.1 Növekedési ütem.....	22
5.1.3 Klorofilltartalom jellemzése	26
5.1.4 Zöldtömeg kiértékelés.....	27
5.1.5 Levélszám kiértékelés	28
5.2 Kvalitatív eredmények.....	29
6 Összefoglalás.....	31
6.1 Munkám eredményei	31
7 Irodalomjegyzék.....	32
8 Köszönetnyilvánítás	36

1 Bevezetés

A világ gyorsan növekvő népessége óriási nyomást helyez az élelmiszertermelésre és a vízkészletekre. Az édesvíz felhasználásának növekedése, valamint az energiahordozók árainak emelkedése komoly kihívások elé állítja a mezőgazdasági szektort (Strzepek & Boehlert, 2010), így olyan új fejlesztésekre van szükség, ami a termelést optimalizálja és termőtalaj hiányában is kivitelezhető. A jelenlegi élelmiszertermelés fenntarthatóságát szintén korlátozza a műtrágyák túlzott használata (Lavrić és mtsai., 2018).

Ezekre a problémákra jelenthet megoldást a hidropóniás technológiák alkalmazása, amely képes növények termesztésére olyan körülmények közt, ahol az nem volna kivitelezhető máskülönben. A legjelentősebb előnyei a szabadföldi növénytermesztéssel szemben, hogy akár 90%-os vízmegtakarításra is képes, annak újra felhasználásával. Nem szükséges hozzá jó minőségű termőtalaj, továbbá vertikális módon is kivitelezhető a lokális klímától függetlenül. (Lee & Lee, 2015)

Az ilyen létesítményekben legtöbbször mesterséges megvilágítást alkalmaznak LED (light emitting diode) lámpákkal. Elterjedésük legfőbb oka az volt, hogy a legjobb hatásokkal rendelkező fényforrásnak számítanak, és lefedik a növények által hasznosított teljes hullámhossz-tartományt, beleértve az ultraibolya (UV)-, és a látható fény mellett a közeli infravörös (NIR) sugárzást is (Chow Kheong Keat & Chithrameenal Kannan, 2015). Ez a tulajdonságuk sok kutatás alapját képezi, mivel a növények pontos igényeit lehet kielégíteni a megfelelően választott fényspektrummal.

A fűszernövények iránti kereslet is növekszik hazánkban, ahogy a nemzetközi gasztronómiai trendek elérnek hozzánk. A fogyasztók egyre inkább kíváncsiak az autentikus, etnikai ételekre és hajlandóak kipróbálni új ízeket és fűszereket. Az egészségtudatos étkezési trendek erősödése ugyancsak elősegítette a fűszernövények népszerűségének növekedését (Juliana, 2023). A beltéri kertészkedés technológiáinak fejlődése, mint a hidroponikus és aeroponikus rendszerek, lehetővé tették a fogyasztók számára, hogy egész évben friss zöldfűszereket termesztessenek otthonukban, a nagyvárosok közelében.

Ilyen a friss bazsalikom iránti igény is, ami a szabadföldi termesztésről áttért a zárt, kontrollált környezetben termelt kiváló minőségű növényekre (Mishra, é. n.). A bazsalikom fogyasztása folyamatosan növekszik a világon. A globális bazsalikomlevél piaca várhatóan 57 millió USD-ről 62 millió USD-re nő, 1,3%-os növekedési rátával számolnak 2021 és 2026 között (Sipos és mtsai., 2021).

Munkám során a beltéri bazsalikom termesztésben rejlő potenciált és a szektor fejlesztésének lehetőségeit tárom fel a szakirodalom és saját tapasztalataim alapján. A laboratóriumi környezetben nevelt növényekhez használt fény-recepteket vetem össze egymással, hidropóniás technológiával termesztett bazsalikom növények esetében.

2 Célkitűzés

Kutatásom célja korszerű módszerekkel megmérni meghatározott fényspektrumok közötti különbségeket több bazsalikomfajta esetében. Kontrollált körülmények között, négy különböző megvilágítás alatt nevelt, négy eltérő bazsalikom változatot hasonlítottam össze, értékmérő tulajdonságaik tükrében. Azonos környezeti feltételeket teremtettem meg a növények számára a modern kor technológiáinak felhasználásával, beleértve a hidropóniás növénytermesztési módszereket és a LED világítástechnológiát.

A kísérlet központi kérdése a távoli-vörös fény jelenlétének és a megvilágítás intenzitásának hatása a növények fejlődésére. Az irodalmi áttekintés során kiderül, hogy a fény spektrális összetétele és intenzitása alapvetően befolyásolja a fotoszintézis hatékonyságát, valamint a növényi növekedést és morfológiai jellemzőket. Célul tűztem ki, hogy laboratóriumi körülmények között vizsgáljam a távoli-vörös fény specifikus szerepét, különös figyelmet fordítva a különböző intenzitású világítási rendszerek összehasonlító elemzésére. Az eredmények várhatóan hozzájárulnak a növénytermesztési világítástechnikák optimális paramétereinek meghatározásához, ami lehetővé teszi a termesztési hatékonyság növelését.

A dolgozat bemutatja a téma elméleti hátterét, különös tekintettel a beltéri hidropóniás növénytermesztési technológiákra, a tápoldatok működési mechanizmusát és a LED-világítások fejlesztési lehetőségeit. Ennek során az alapvető fogalmakat is tisztázni kívánom. A szakirodalom áttekintésével célom a korábbi kutatások és módszerek releváns elemeit feltárni és értékelni. Részletesen kifejtem az általam alkalmazott megoldásokat, azok anyagait és módszertanát. Bemutatom a kísérletet és eredményeinek elemzését, melyek alapján összefoglaló következtetéseket fogalmazok meg a vizsgálatok zárásaként.

A kutatás kiértékelése során vizsgálom a növények növekedési erélyét, összevetem a betakarított növények leveleinek zöldtömegét és összehasonlítom klorofill-tartalmukat. A célkitűzés a megvilágítás és spektrális hatásokból eredő különbségek kimutatására irányul.

3 Irodalmi áttekintés

Az irodalmi áttekintést a téma megértésének szempontjából fontosabb témakörök és definíciók bemutatásával kezdem, majd a szakirodalomban korábban megjelent, fontos publikációkat mutatom be.

3.1 Témakörök és definíciók

3.1.1 Bazsalikom: A fűszernövények királya

Az árvacsalánfélék (Lamiaceae) családjába tartozó bazsalikom (*Ocimum basilicum* L.), az egyik legismertebb és leggyakrabban használt fűszer- és gyógynövény világszerte. Több mint 60 különböző fajtája ismert, melyek különböző ízűek, illatúak és megjelenésűek lehetnek (Elementi és mtsai., 2006).

A bazsalikom eredetileg az indiai szubkontinensről származik, de már évszázadok óta elterjedt a Földközi-tenger vidékén és más meleg éghajlatú területeken. Már az ókori görögöknél is volt egyfajta szent és nemes megítélése, nevének eredete a „basilikon” szóból ered, melynek jelentése „királyi”. A név valószínűleg ennek a királyi minőségnek az utalása lehet, amelyet a növény illata és íze miatt kapott. (Shahrajabian és mtsai., 2020)

Napjainkban számos országban termesztik, beleértve Olaszországot, Thaiföldet, Indonéziát, Indiát és az Egyesült Államokat is, mivel jelentős szerepet játszik ezen nemzetek konyhai felhasználásában. Friss vagy szárított formában egyaránt alkalmazzák pizza, tészta, saláta, levesek és egyéb ételek ízesítésére. Az olasz konyhában például elengedhetetlen összetevője a pestónak (Srbinovska és mtsai., 2023).

A növény meleg, napos helyeken, jó vízlevezetésű talajba ültetve és elegendő öntözés mellett érzi magát igazán jól (Nam és mtsai., 2020). Sok helyen kertekben, üvegházakban vagy akár beltéri kertekben is termesztik.

A bazsalikom nemcsak ízletes, hanem egészséges is. Gazdag antioxidánsokban és esszenciális tápanyagokban, mint például a C-vitamin, A-vitamin, kalcium és vas (H. Li és mtsai., 2017). A növény egyik legfontosabb értékmérője az illóolaj tartalma. A bazsalikom illóolaj-tartalma változó lehet a növény fajtájától, életkorától, termesztési körülményeitől és más tényezőktől függően (Sonmezdag és mtsai., 2018). Az illóolaj-tartalma, körülbelül 0,1% és 1,5% között mozog.

Ezeknek a hatóanyagoknak számos élettani szerepe van, melyek miatt a növény felhasználása a gyógyászatban is előfordul. Ezen túl alkalmazza az élelmiszeripar és a kozmetikaipar is (Q. X. Li & Chang, 2016). Illóolajai gyulladáscsökkentő tulajdonságokkal rendelkeznek, pld. az ízületekben (Singletary, 2018). Emésztést segítő tulajdonságokkal is rendelkezik, enyhíti a gyomorégést vagy a puffadást. A levélben lévő aromaanyagok nyugtató hatással vannak az idegrendszerre, stressz- és szorongásoldó hatékonyságuk, valamint daganatos betegek kiegészítő kezelésére is alkalmazzák Kínában (Zhan és mtsai., 2020). Az illóolajok inhalálása vagy belégzése enyhítheti a légúti problémákat, például a köhögést vagy az orrdugulást (Hong és mtsai., 2022).

A bazsalikomok nemzetsége sokféle fajt foglal magába, amelyek ízben, illatban és kinézetben is eltérnek egymástól (Shahrajabian és mtsai., 2020). Dolgozatomban részletesen a Genovese, a Red Rubin, a Citromillatú és a Fahéjillatú bazsalikom fajtákkal foglalkozom.

A Genovese (*Ocimum basilicum* 'Genovese') bazsalikom az egyik legnépszerűbb fajta, különösen az olasz konyhában. Sötétzöld nagy levelek és erős, édeskés aroma jellemzi. Ez a típus különösen alkalmas pesto készítésére, mivel íze intenzív és jól kiegészíti a parmezán sajtot, a fenyőmagot és az olíva olajat. Előnye, hogy viszonylag könnyen termeszthető, és bőségesen terem, így akár otthoni kertben is nagyszerű választás.

A Red Rubin (*Ocimum basilicum* 'Purpurascens') bazsalikom lila levélzetéről ismert, amely dekoratív elemként is funkcionálhat a kertben. Íze hasonló a hagyományos zöld bazsalikomhoz, de egy kicsit fűszeresebb és intenzívebb. A lila színű levelek különleges megjelenést kölcsönöznek az ételeknek, amikor friss salátákba vagy díszítésként használják. Az antioxidánsokban gazdag színe miatt a Red Rubin egy egészséges választás is lehet.

A Citromillatú (*Ocimum basilicum* var. *citriodorum*) bazsalikom, ahogy a neve is sugallja, friss citromos aromával bír, amely kiválóan alkalmas halételek, saláták és italok ízesítésére. Kisebb, világoszöld levelei vannak, és a növény maga is kisebb termetű, mint az olasz variáns. Ez a fajta hozzáad egy frissítő, citrusos jegyet az ételekhez, ami különösen a nyári hónapokban népszerű. Jótékony hatásai közé tartozik az emésztés elősegítése és a stressz csökkentése is.

A Fahéjillatú (*Ocimum basilicum* 'Cinnamon') bazsalikom különleges fűszeres-citrusos illattal rendelkezik, amely enyhén fahéjra emlékeztet. Ez a típus különösen jól illik édességekhez, gyümölcslevesekhez és italokhoz, valamint egyedi ízt ad a sült ételeknek. Világoszöld levelei vannak, amelyek kissé pirosas árnyalatot is kaphatnak. A fahéjillatú bazsalikom jelenléte a kertben nem csak ízével, hanem illatával is bővítheti a kertészeti élményt.

3.1.2 Hidropóniás technológiák

A kilencvenes évektől kezdve újabb ágazat nyílt a növénytermesztésben. A talaj nélküli termesztés-technológiák új lehetőséget adtak a termelés optimalizálására. A fejlődő technológiákat manapság számos aspektusa miatt alkalmazzák világszerte.

A hidrokultúrák növénytermesztés egyik legfontosabb ismérve, hogy rendkívül vízhatékony. A zárt rendszernek köszönhetően a víz újra hasznosítható és keringtetett, ami jelentősen csökkenti a vízfogyasztást a szabadföldi termesztéshez képest. A hidropóniás termesztés akár 90%-kal is kevesebb vizet igényelhet, mint a hagyományos módszerek. (Lee & Lee, 2015)

A növények termesztőközegükben közvetlenül kapják meg a szükséges tápanyagokat a vízben oldott formában, ami gyorsabb növekedéshez és nagyobb termelékenységhez vezet. A termesztési környezet szabályozható, így a hőmérséklet, páratartalom, fényintenzitás és a tápanyagok szintjének pontos beállítása, a szabadföldi termesztéshez képest gyorsabb növekedési ciklusokat eredményez (Wang és mtsai., 2023).

A rendszer kiépítéséhez használt anyagok évtizedeken át használhatóak, időtállóak. Termelési ciklusonként csak a növény számára a támasztóközeget jelentő szubsztrátot kell cserélni. Ezek szintén környezetbarát, lebomló hulladékot képeznek. Ilyen lehet például a tőzeg, az égetett agyaggolyók de akár a kókuszrost vagy a rizsmaghéj, melyek élelmiszeripari melléktermékeknek számítanak. Ezek elhelyezése különféle polimer konstrukciókban történik, mint például polivinil-klorid (PVC), polietilén (PE), polipropilén (PP) vagy polisztirol (PS). Alkalmazásuk elterjedésének oka a könnyű formálhatóság, stabil szerkezet és az olcsó vízhatlan kompozíció.

A technológia lehetővé teszi ezek vertikális alkalmazását, ami jelentősen növeli a térhatékonyságot, különösen városi környezetben. A beltéri növénytermesztés az év minden napján stabil és optimális növekedési feltételeket biztosít a növények számára, függetlenül az évszaktól vagy a külső klimatikus viszonyoktól (Zaręba és mtsai., 2021).

Ezen felül még számos pozitívummal jár ezen rendszerek üzemeltetése, például kevesebb vegyszert használ, skálázható a termelés és a befektetett energia is jobban hasznosul. Ily módon egyszerűbb a termelés, mivel nem igényel olyan műveleteket, mint például szántás, gyomirtás vagy vetésforgó tervezés (Jan és mtsai., 2020).

3.1.3 Tápoldatok

A talajmentes termesztéstechnológiák nélkülözhetetlen és kulcsfontosságú elemei a tápoldatok. A vízben oldott műtrágyák kiegyensúlyozott arányban tartalmazzák a növények számára szükséges makro- és mikroelemeket. Ezek közé tartoznak az ásványi sókban található nitrogén, foszfor, kálium, kalcium, magnézium, valamint a nyomelemek, mint például vas, réz, cink, mangán és molibdén. Ezek a tápanyagok kulcsfontosságúak a növények anyagcseréjéhez és növekedéséhez (Meselmani, 2022).

A gyökerek vizet vesznek fel a tápoldatból ozmózis útján. A benne oldott ásványi tápanyagok a xilémen keresztül jutnak vízzel együtt a gyökérzetbe (Thomas és mtsai., 2020). A tömegáramlást a vízpotenciál-különbség és a kapilláris hatás hajtja, így az optimális növekedés eléréséhez a tápoldatot folyamatosan szabályozni kell.

A növények a vizet leginkább csak anyagáramoltató rendszerként használják, mivel csak 0,5-3%-át tartják meg, és a többi gőz formájában távozik a levegőbe annak sztómaín keresztül. Az oldatban lévő tápelemek beépülnek a növénybe, a fotoszintézis során megkötött szénnel együtt. Ezért a tápoldatok kapcsán fontos paraméter annak pH-ja, elektromos vezetőképessége (továbbiakban: EC) és hőmérséklete, ugyanis ezek függvénye a növény tápelem felvevőképessége.

A tápoldatok alkalmazásának előnye a talajéhoz képest, hogy a növény számára minden építőanyagot megfelelő mértékben tartalmaznak. Így azokat a növénynek nem kell „keresnie” a talajoldatban, nem haladja meg a kritikus koncentrációt sem, nem válik egyik elem sem korlátozóvá. Oxigén ellátása, szennyeződés-mentesen tartása könnyen biztosítható. A talajban található mérgező anyagok nem fordulhatnak elő benne, ezzel megalapozva a jó minőséget, gyors fejlődést (Meselmani, 2022).

Tehát a megfelelő tápanyag ellátás a növények számára kulcsfontosságú, azonban ezek mellett a másik alapvető szükséglet a megfelelő fény.

3.1.4 LED-világítás technológiái

A vertikális farmok és üvegházak elterjedésével egyre inkább előtérbe kerültek a LED alapú, teljes vagy kiegészítő megvilágítást alkalmazó technológiák. Legnagyobb előnyük, hogy nem hőhatás elvén adják le a fényt és nincs bennük izzószál. Az elektromos áramot közvetlenül fényenergiává alakítják, ezáltal a hőtermelésük minimális. Élettartamuk rendkívül hosszú, időtálló, költséghatékony berendezések. Nagy hatásfokkal működnek, az energia veszteség

minimális (Pode, 2020). Egyes LED-ek élettartalma meghaladja akár az 50 000 órát is, amely nagyságrendileg 10 év működési időnek felel meg (Sun és mtsai., 2017).

A beltéri növénytermesztésben az LED-világítási technológiák egyre népszerűbbek, mivel lehetővé teszik a fényforrások pontos spektrális tulajdonságainak szabályozását, így optimalizálva a növények növekedését és fejlődését (Paradiso & Proietti, 2022). A LED technológia kulcsfontosságú szerepet játszik a modern agrárinnovációban.

Az alábbiakban ismertetem a dolgozatban használt világítással kapcsolatos fogalmakat.

PAR a fotoszintetikusan aktív sugárzás (Photosynthetically Active Radiation) rövidítése, ami a növények számára hasznosítható hullámhossztartományt (400-700 nm) jelöli. Elsősorban ez a tartomány felelős a fotoszintézisért (Noriega Gardea és mtsai., 2021). Az ePAR (extended) egy újabb koncepció, amely a hagyományos PAR tartomány felső határát 750 nm-ig terjeszti ki.

A PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) a fényintenzitást jellemző mennyiség, ami azt mutatja meg, hogy egységnyi idő alatt egységnyi felületre mennyi fotoszintetikusan aktív foton éri a növény felületét (Ritchie, 2010). Ez a mennyiség különösen fontos a beltéri növénytermesztésben, ahol a fényforrások távolsága és elhelyezkedése közvetlen hatással van a PPFD értékekre. A PPFD csak a PAR tartományba eső fotonokat méri. A szakirodalomban gyakran hivatkoznak a PAR tartománynál szűkebb, 100 nm szélességű kék (**B**), zöld (**G**), vörös (**R**) és távoli-vörös (**FR**) hullámhossz tartományokra.

A megvilágítás hullámhossz tartománya a növény morfológiai tulajdonságait is befolyásolja. A kék fény törpe növekedést és vastag leveleket eredményez, míg a vörös fény elősegíti a virágzást és a gyümölcsérlelést. A távoli-vörös fény jelentősége abban rejlik, hogy befolyásolja a növények árnyék-kerülő reakcióit és hozzájárul a száruk nyúlásához (Demotes-Mainard és mtsai., 2016).

Az LED-ek képessége, hogy specifikus hullámhosszokon sugározzanak, ezzel lehetővé téve a növénytermesztők számára, hogy pontosan szabályozzák a fény spektrumát, így optimalizálva a növények fotoszintetikus hatékonyságát és morfológiai fejlődését. Ez a specifikus fénykezelés javíthatja a növények egészségét, növelheti a termés mennyiségét és minőségét, miközben csökkent a termesztéshez szükséges energiafelhasználást. A LED technológiát adaptálhatósága és energiatakarékossága teszi az egyik legígéretesebb megoldássá a modern beltéri növénytermesztési gyakorlatban.

Emiatt fontos hasonló kutatásokat végezni, mivel egy-egy nemzetségben vagy fajon belül is kimutatható a növények fényigényei közti különbség (Péter, 2022).

3.1.5 Növényi válaszreakciók, Fotoszintézis

A fény alapvető környezeti tényező a növények számára, és jelentősen befolyásolja a növekedésüket és reprodukciójukat (Dou & Niu, 2020). A növények fényre adott reakcióit a fotoszintetikusan megkötött CO₂ mennyiségével mérhetjük, amit a fény-válasz görbék segítségével ábrázolhatunk (1. ábra). Ezek a görbék fontos információkat adnak a növények fotoszintetikus aktivitásáról. Sötétben a növények légzés során CO₂-t bocsátanak ki, mivel nincs fotoszintézis. Ahogy növekszik a fényintenzitás, úgy nő a növények CO₂-asszimilációja is, amíg el nem éri a légzés során kibocsátott CO₂ mennyiségét. Ezt nevezzük fény kompenzációs pontnak. Ha a fényintenzitás a kompenzációs pont felett van, a fotoszintézis

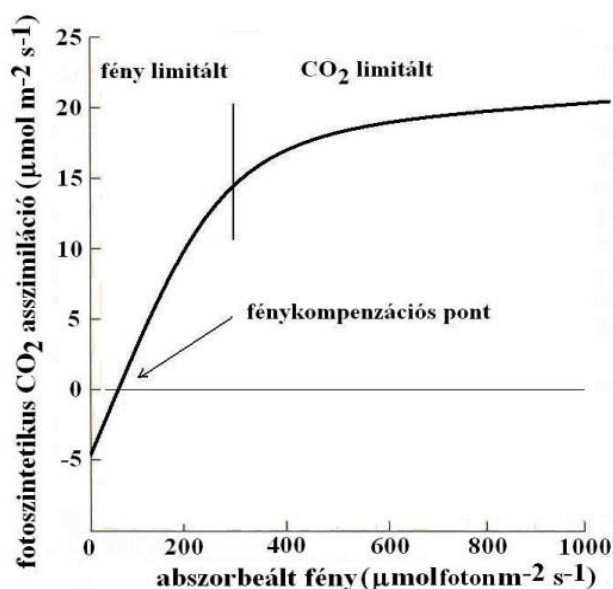
intenzitása arányosan növekszik a fény mennyiségével (Esmaili és mtsai., 2020). Ezt a szakaszt a fotoszintetikus elektrontranszport határozza meg, és fényfüggő.

Amikor a fény egy bizonyos intenzitását elérjük, a görbe telítődik, jelezve, hogy más tényezők korlátozzák a CO₂ beépülését a fotoszintézisben. A görbe ezen szakaszát a Rubisco enzim karboxilációs kapacitása és a trióz-foszfátok metabolizmusa befolyásolja, tehát ez a rész CO₂-függő (Zoltán és mtsai., é. n.).

Tehát alacsony fényintenzitás esetén a fotoszintézis sebességét a fény mennyisége korlátozza, mivel a CO₂-asszimiláció sebessége lineárisan növekszik a fotoszintetikus fotonfluxus-sűrűség (PPFD) értékével. Azonban, amint a fényintenzitás növekszik, elérhet egy olyan pontot, amelyet fénytelítettségi pontnak nevezünk, ahol a fotoszintézis sebessége már nem növekszik tovább a PPFD-vel, és a CO₂-asszimiláció sebessége lelassul. Ezen a ponton túl a fény már nem jelent korlátozó tényezőt, és a fotoszintézis sebességét más tényezők, mint a CO₂-koncentráció, a hőmérséklet vagy a tápanyagellátottság határozzák meg.

Ebben a fénytelített állapotban a további fény már nem javítja a fotoszintézis hatékonyságát, és így az energia pazarlásának tekinthető (Kelly és mtsai., 2020). Extrém magas fényintenzitás esetén a fotoszintézis sebessége csökkenhet, és a növények fénygátló mechanizmusokat aktiválnak a levelekben, hogy megvédjék magukat a túlzott fény okozta károsodástól. Ezek a védelmi reakciók segítenek megőrizni a fotoszintetikus rendszer integritását és fenntartani a növények egészségét.

A kísérlet folyamán a fénykompenzációs pont és a limitált fény közti intervallumon belül mérem a bazsalikom változatok fejlődését.



1. ábra: A fotoszintetikus CO₂-asszimiláció és a fényintenzitás összefüggése

Forrás: A növényi anyagcsere élettana, 126. oldal

3.2. Korábbi publikációk

Jelen fejezetben a szakirodalomban megjelent, a téma szempontjából fontos közleményeket mutatom be.

3.2.1 Távoli-vörös fény alkalmazása bazsalikom termesztésében

Watjanatepin & Sritanauthaikorn, 2020-ban egy hasonló kutatásban a távoli vörös fény hatását igazolták bazsalikom növényeken. A kísérlet folyamán három eltérő fényspektrum alatt neveltek kétfajta bazsalikomot, LED megvilágítást alkalmaztak napi 14 órában.

A megvilágítások a következők voltak:

Az első csoportban egy vörös-kék megvilágítást alkalmaztak, ahol a spektrumeloszlás el volt tolva. A vörös fény hétszer intenzívebben volt jelen a megvilágításban, mint a kék.

A második csoportban hasonló megvilágítást alkalmaztak, de piros-kék különbségét 3,5-ösre csökkentették.

A harmadik csoport vörös-kék aránya megegyezik a második csoportéval, de kiegészítés képen alkalmaztak távoli-vörös megvilágítást is.

A legfontosabb mérések a következők voltak: a növények magassága, növekedési rátájuk, levelek száma, vastagsága, felülete és a szár vastagság. A negyvenkettedik napon megmérték a levelek nedves tömegét, és száraz tömegét.

A legmagasabb növény 29,5 cm magasra nőtt a távoli-vörös megvilágítás mellett, ezzel szignifikáns ($p < 0,05$) eltérést mutatva a másik kettő megvilágításra nézve (18 és 15,8 cm). Ez 64 és 86%-os különbséget mutat a távoli-vörös megvilágítás javára.

A növények további mutatói közül a növekedési ráta, szár vastagság és levélszám is hasonló szignifikáns eredményt adott. A többi mutatónál az eltérés nem volt szignifikáns.

A friss és száraz levéltömegek mérése is eredményesebb termesztéstechnológiára utaltak a távoli-vörös megvilágítással kezelt növények esetében, azok javára. A különbség esetenként meghaladta a 200%-os mutatót.

Park & Runkle, 2017 vizsgálata szerint a távoli-vörös sugárzás (700-800 nm) nagymértékben befolyásolja a növények növekedését, a szár hosszát és a magasságát. Watjanatepin & Sritanauthaikorn kutatási eredményei ezt igazolják a bazsalikom esetében is.

3.2.2 Távoli-vörös kölcsönhatása a kék és vörös fotonok fluxussűrűségével

Meng & Runkle, 2019-es kísérletében bazsalikomot és salátát vizsgáltak eltérő fényösszetétel alatt. Céljuk feltérképezni a fotoszintetikusán aktív sugárzáson kívül eső távoli-vörös fény hatásait a növények értékmérő tulajdonságai tükrében.

Az eredmények azt mutatták, hogy a növények fejlődésére több szempontból is pozitívan hat a 700-800 nm közé eső sugárzás. Leginkább a szárak hosszanti megnyúlása terén mértek ki szignifikáns különbségeket, de a levélfelületi kiterjedésre is jó hatással van a távoli-vörös megvilágítás.

A fotoszintetikus pigmentek kapcsán kimérték, hogy a vörös lombpigmentre és azok termelésére rossz hatással van a távoli-vörös megvilágítás, mely a növények nem megfelelő színeződését eredményezheti.

3.2.3 Távoli vörös fény általi változások az édes bazsalikom leveleiben

Belgiumban Driesen és mtsai., 2023 a megvilágításokból eredő különbségeket mérték távoli-vörös fény kiegészítéssel édes bazsalikomokon (*Ocimum basilicum* L.). 701 nanométer feletti besugárzást fogadó növényeket hasonlítottak össze azonos környezetben nevelt, de csakis PAR tartományba eső fénnel kezelt palántákkal. A kutatás a szénhidrátok termelésében kimutatható különbségeket célozta. A kísérlet során az igazolt megállapítások párhuzamba állíthatók az általam kimért eredményekkel.

3.2.4 Szabadföldi kísérlet, illóolaj-tartalmak meghatározására

Botond 2013-ban 8 bazsalikom fajtát hasonlított össze szabadföldi körülmények közt Soroksáron. Vizsgálatai eredményei közé tartozik, hogy a bazsalikom illóolaj-tartalma genetikailag rögzített tulajdonság. Különböző fenofázisaiban vizsgálta a növényeket és megállapította, hogy az összes illóolaj százalékos aránya, ahogy a flavonoid-tartalom is, a virágzás időtartama alatt a legmagasabb. A polifenol-tartalom viszont az elvirágzást követő időszakban volt a legnagyobb. Tehát a termesztett bazsalikomot a felhasználástól függően más-más fenofázisban kell betakarítani. Az illóolajok maximális kinyerése érdekében a növényt annak virágzása időtartama alatt kell leszüretelni, míg, ha az antioxidáns szerepét szeretnénk érvényesíteni, akkor erre a legalkalmasabb az elnyílt stádiumú növény.

3.2.5 Hőmérséklet és megvilágítás kapcsolata

A tanulmány a távoli vörös fény és a hőmérséklet interaktív hatásait tárgyalja a bazsalikom növény morfológiájára, hangsúlyozva a fényspektrum és a hőmérséklet optimalizálásának fontosságát a szabályozott környezetű növénytermesztési rendszerekben.

A vizsgálat megállapította, hogy a távoli vörös fény és a hőmérséklet közötti kölcsönhatás jelentősen befolyásolja a növény morfológiáját, beleértve a levélhosszúságot és a növény magasságát a bazsalikomnál. A kétállapotú modellből becsült fitokróm fotoegyensúly előrejelző ereje hőmérsékletfüggőnek bizonyult. Az eredmények hangsúlyozzák a fényspektrum és a hőmérséklet együttes optimalizálásának fontosságát a szabályozott környezeti termesztési rendszerekben a fitokróm-aktivitás, a növényi morfológia és a későbbi növény növekedés szabályozása érdekében. (Jeong és mtsai., 2024)

3.2.6. Optimális fényintenzitás a bazsalikom termesztéséhez

Pennisi és mtsai., 2020-as tanulmánya tárgyalja a beltéri növénytermesztési rendszerek növekvő népszerűségét, a fény fontosságát a növények fejlődésében. A tanulmány célja, hogy meghatározza az optimális fényintenzitást a bazsalikom termesztéséhez, a kísérleti elrendezést ellenőrzött növekedési környezetben, valamint a méréseket a betakarítás időzítéséhez.

A tanulmány főbb eredményei közé tartozik a bazsalikom beltéri termesztéséhez szükséges optimális fényintenzitás meghatározása, amelynek során a $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD-t találták megfelelőnek a terméshozam és az erőforrás-felhasználás hatékonyságának optimalizálásához.

4 Anyagok és módszerek

A következő fejezetben a kutatás anyagait és módszertanát fogom bemutatni.

4.1 A kísérletben felhasznált eszközök

A kísérletet a Magyar Agrár- és Élettudomány Egyetem Növénytermesztési- tudományok Intézet által működtetett konténerfarmban végeztem, ahol korszerű módszerekkel lehetőség van a körülmények teljeskörű felülírására. A 2,5 x 6 méteres alapterületű konténerben van lehetőség a hőmérséklet, páratartalom és fényviszonyok beállítására.



2. ábra: 1-es konténerfarm, MATE, Gödöllő

A kísérlethez felhasznált vetőmagokat a Rédei Kertimag Zrt forgalmazza. A vetőmagok 2023-ban lettek forgalomba hozva.

A kísérlet során felhasznált típusok a következők voltak:

Bazsalikom Genovese (*Ocimum basilicum* 'Genovese') (termékkód: 523000)

Red Rubin (*Ocimum basilicum* 'Purpurascens') (termékkód: 523100)

Citromillatú (*Ocimum basilicum* var. *citriodorum*) (termékkód: 523200)

Fahéjillatú (*Ocimum basilicum* 'Cinnamon') (termékkód: 523300)

A vetőmagok 2023 november 26-án kerültek a termesztőközegükbe, előzetes kezelés nélkül.

A termesztőközeg összepréselt, cellulózhálóval körülvett tőzegkorong volt, melyet a Fitoland Kft-től vásároltam meg. (termékkód: T1526)

A tőzegkorongok a következő tulajdonságokkal rendelkeznek:

100%-ban növényi eredetű termék melynek az NPK tartalma 10-17-17 1kg/m³-ra vetítve.

pH	4,7
Sótartalom	665 mg/l
Szervesanyag tartalom	90%
Nitrogén (N) [CaCl ₂]	121 mg/l
Foszfát (P ₂ O ₅) [CaCl ₂]	94 mg/l
Kálim oxid K ₂ O [CaCl ₂]	216 mg/l
Magnézium (Mg)	150 mg/l
Klorid (Cl ⁻)	8 mg/l
Száraz anyag tartalom	85,90%
Vízvisszatartási képesség	675%
Elektromos vezetőképesség	30.2 mS/m



3. ábra: Bazsalikommagok tőzegkorongokban

A magokat párás környezetben tartottam 4 napon át, kevés megvilágítás mellett, majd november 30-ára, mikor azok kicsíráztak, elhelyeztem őket az agyaggolyókat tartalmazó edényekbe.

A berendezés, amellyel a kísérlet folyamán dolgoztam négy darab Atami Wilma 10 edényes típus volt, amely lehetővé teszi a növények tápanyag- és vízellátását kontrollált környezetben. A rendszer lényege, hogy a növények gyökerei talajmentes termesztőközegben elhelyezhetők, melyhez tápoldat adagolható, ezáltal optimális körülményeket biztosítva azok növekedéshez és terméshez.

A Wilma rendszer működése az alábbi lépésekből áll: Legalul helyezkedik el egy központi 80 literes tartály, amelybe a tápoldatot kell tölteni. Ezen tartályban van egy keringető szivattyú (AQUAKING HX-2500 (1000 L/H)), amely felelős a tápoldat áramoltatásáért. A tápoldat egy csövön és mikro szórófejeket keresztül eljut az egyenként 6,5 literes ürtartalmú edényekbe. Ezen edények alja lyukas, melyeken át a tápoldat visszafolyik a tartályba. Így a rendszer ciklikus, automatizált működésre programozható. A kísérlet folyamán, két óránként, tizenöt percig áramlott a tápoldat a növények gyökeréhez. A kívánt időbeosztást GAO 0768H mechanikus kültéri időzítő óra segítségével állítottam be.



4. ábra: Atami Wilma csepegtető öntözőrendszer

A növények tartóedényeit égetett agyaggolyókkal töltöttem fel, mert így azok gyökerei számára támasztóközeget és nedvességet biztosítanak, továbbá a tápoldat keresztüláramlását lassítják az edényben, ezáltal a növények számára a tápanyagok tovább felvehetőek. A kutatás során felhasznált agyaggolyók Plagron Euro Pebbles hidrogolyók voltak. Ezeknek az agyaggolyóknak a legnagyobb előnyük, hogy nagy oxigén- és vízfelvevő képességük van, ezért az a növények gyökere számára sokáig, szinte korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll.

A száraz agyaggolyókat felhasználás előtt átmostam, hogy megtisztítsam a rajtuk lévő portól, mely a zsákban tárolás alatt képződik.

Minden edény mind a négy sarkába elhelyeztem egy-egy frissen csírázott bazsalikom palántát. A kialakítás a következő módon történt. Az edény bal alsó sarkába került a Red Rubin (R), bal felsőbe a Genovese (G), jobb felsőbe a Fahéjillatú (F), jobb alsóba a Citromillatú (C), ahogy az ábra is mutatja. A tőzegkorongokat agyaggolyókkal vettem körbe, hogy azok mindig nedvesek maradjanak.

Az elhelyezés módját a következő ábra mutatja:



R= Red Rubin, G= Genovese, F= Fahéjillatú, C= Citromillatú

5. ábra + jelmagyarázat: Növények elhelyezkedése a termesztőközegükben

A kísérlet folyamán felhasznált tápoldat, egy három komponensű folyékony műtrágya keverék volt, melyet az Advanced Hydroponics of Holland forgalmaz.

Az első „Grow” komponens összetett oldatműtrágya hatóanyagtartalma a következő:

Nitrogén (N)			2,70%
Vízoldható foszfor			
	Foszfor-pentoxid	P ₂ O ₅	4,43%
	(Foszfor	P	1,93%)
Vízoldható kálium			
	Kálium-oxid	K ₂ O	7,88%
	Kálium	K	6,54%)

A második „Bloom” komponens összetett oldatműtrágya hatóanyagtartalma a következő:

Nitrogén (N)			2,24%
Vízoldható foszfor			
	Foszfor-pentoxid	P ₂ O ₅	5,32%
	(Foszfor	P	2,31%)
Vízoldható kálium			
	Kálium-oxid	K ₂ O	8,13%
	Kálium	K	6,74%)

A harmadik „Micro” komponens összetett oldatműtrágya hatóanyagtartalma a következő:

Nitrogén (N)			7,22%
Vízoldható foszfor			
	Foszfor-pentoxid	P ₂ O ₅	8,72%
	(Foszfor	P	7,23%)
Vízoldható kálium			
	Kálium-oxid	K ₂ O	6,73%
	Kálium	K	4,81%)
Bór (B)			0,012%
Réz (Cu)		0,01%	(EDTA kelátképző)
Vas (Fe)		0,071%	(EDTA kelátképző)
Mangán (Mn)		0,021%	(EDTA kelátképző)
Molibdén (Mo)		0,003%	
Cink (Zn)		0,018%	(EDTA kelátképző)

A tápoldat megfelelő használatához egy liter vízhez szükséges 2 ml „Grow”, 1 ml „Bloom” és további 1 ml „Micro” komponens. Ezen adatok felszorzásával állítottam elő 50 liter tápoldatot, és töltöttem bele a Wilma csepegtető öntözőberendezés tartályába.

Az elkészített oldat fontos paraméterei közé tartozik még annak pH-ja. Ezt az értéket megmértem az öntözőrendszer beüzemelése előtt egy „Adwa AD11 pH meter” mérőkészülékkel.

A hidrokultúrák környezetben nevelt bazsalikom számára az optimális pH érték az 5,5-6,5 skálán mozog. Az ajánlott pH tartományon kívül gyökérbetegségek és mineralizációs problémák léphetnek fel a növények fejlődése során (Gillespie és mtsai., 2020).

A növények növekedése során a pH a lúgos tartomány felé mozdult el. Ezért a tápoldatparaméterek ellenőrzése után a pH szintet 37%-os kénsav adagolásával állítottam be (Azúr Vegyszer Kft). A kénsavat addig titráltam a tápoldatba, amíg annak pH-ja 6 körüli értéket nem mutatott.

A hidropóniás tápoldatok további lényeges jellemzője az elektromos vezetőképesség, amely az oldatban lévő ionok koncentrációját (sóértékét) méri (továbbiakban: EC).

Mértékegysége: mS/cm vagy μ S/cm.

A bazsalikom számára kedvező EC 1.0-2.0 mS/cm skálán mozog. Kimutatták, hogy az 1.2 mS/cm a legideálisabb, de a magasabb érték kevésbé van negatív hatással a növények fejlődésére, mint az alacsonyabb (Hosseini és mtsai., 2021).

A tápoldatot rendszeresen mértem egy „Adwa AD31 EC/TDS” mérőkészülékkel. Esetleges kitérések alkalmával, korrekciókat alkalmaztam a kísérlet folyamán. Ha az érték alacsony volt, tápoldat koncentrátumot töltöttem a tartályba a megfelelő arányban. Ha az EC magasabb volt, mint a fent megengedett érték, akkor tiszta, öntözővízzel hígítottam a már meglévő tápoldatot.



6. ábra: pH és EC mérő készülék

A csepegtető öntöző rendszerrel működő hidropóniás rendszereket négy különböző LED megvilágítás alatt helyeztem el. Az alkalmazott LED-panelek Hortiled Multi 4DIM, Hortilux, gyártmányok voltak Hollandiából (Den Haag, The Netherlands).

Az első csoport egy magasabb fényintenzitást kapott, távoli-vörös megvilágítás nélkül. Itt a távolság a fényforrás és a termesztőközeg között 45 cm volt. A fény spektrális eloszlását az 1. táblázat mutatja. Erre a csoportra a továbbiakban NH-ként fogok referálni. A jelölés a következő módon jött létre: Az N a látható fényre, a H pedig a „High intensity” angol szóösszetételre utal.

A második csoport szintén magas fényintenzitás alatt nevelkedett, ahol a fényforrás és a termesztőközeg között szintén 45 cm volt, de itt kiegészítésként kaptak még távoli-vörös megvilágítást is. A fény spektrális eloszlását az 1. táblázat mutatja. Ezt a csoportot a továbbiakban YH-ként jelölöm. A jelölés a következő módon jött létre: Az Y a távoli-vörös fényre, a H pedig a „High intensity” angol szóösszetételre utal.

A harmadik csoport egy jóval alacsonyabb fényintenzitást kapott távoli vörös megvilágítás nélkül. Ez esetben a fényforrás és a termesztőközeg közt 75 cm volt. A fény összetétele megegyezik az NH csoportéval, a különbség csakis a megvilágítás síkja és a palánták közti távolság különbségéből adódik. A fény spektrális eloszlását az 1. táblázat mutatja. Erre a csoportra a dolgozat folyamán a továbbiakban NL-ként fogok hivatkozni. A jelölés a következő módon jött létre: Az N a látható fényre, az L pedig a „Low intensity” angol szóösszetételre utal.

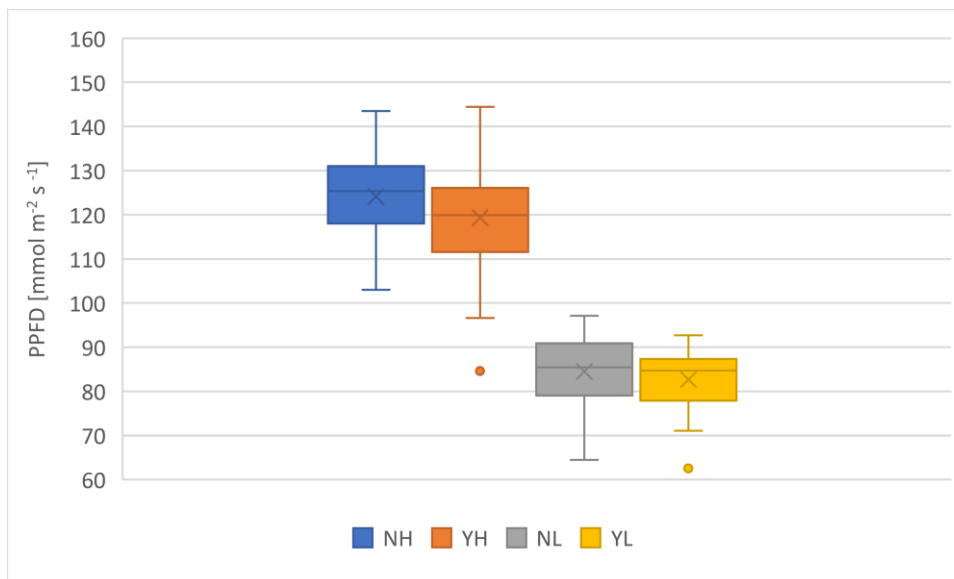
A negyedik csoport szintén alacsonyabb fényintenzitáson nevelkedett növényeket tartalmaz, ahol a gyökérszint és a megvilágítás közt 75 cm volt. A fény összetétele megegyezik az YH csoportéval, a különbség csakis a fényforrás és a palánták közti távolság különbségéből adódik. A fény spektrális eloszlását az 1. táblázat mutatja. Ezt a csoportot a továbbiakban YL-ként fogom jelölni. A jelölés a következő módon jött létre: Az Y a távoli-vörös fényre utal, az L pedig a „Low intensity” angol szóösszetételre.

	PPFD	UV	B	G	R	FR	RB
NH	124,09	0,14	28,89	47,15	46,17	7,43	1,60
YH	119,35	0,14	27,91	45,98	45,46	16,19	1,63
NL	84,51	0,10	19,49	32,88	32,14	5,70	1,65
YL	82,70	0,10	18,84	32,04	31,82	11,38	1,69

1. táblázat: Átlagos fotonbesugárzás értékek $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ egységekben.

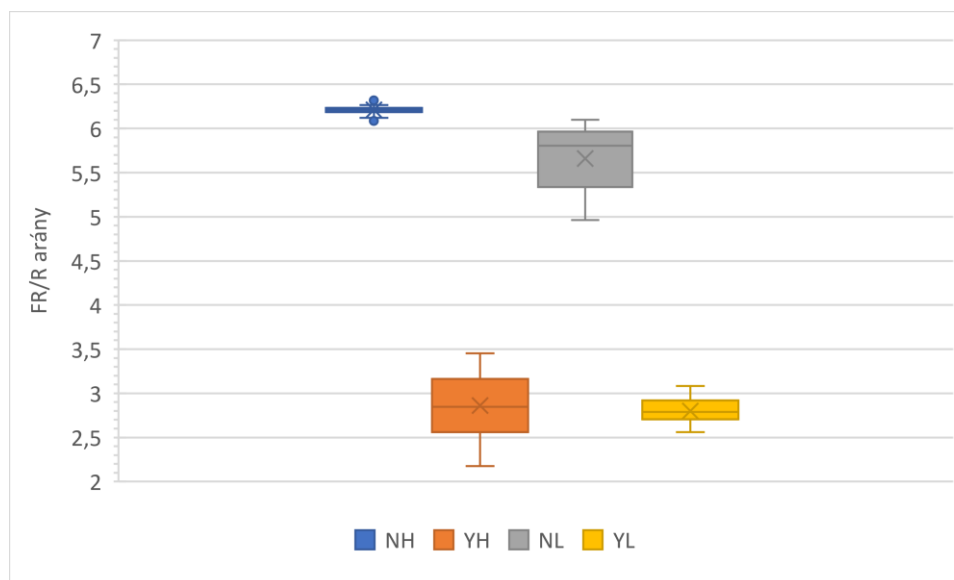
Az 1. táblázat az egyes fénybeállításokhoz tartozó átlagos fotonbesugárzás értékeket mutatja a tűzegkorongok szintjében, melyeket egy kézi spektrométerrel mértem meg (Mavospec Base, GOSSEN Foto- und Lichtmesstechnik GmbH, Nürnberg, Németország). A fenti adatok a csoportonkénti összes növény kezdeti besugárzásának értékét átlagolja. Az adatokból jól látszik a magasság különbségből eredő eltérés, a fotoszintetikus fotonfluxus sűrűségben (PPFD), illetve a távoli-vörös (FR) megvilágítás jelenéte.

A 7. ábra a fotoszintetikus fotonáram-sűrűség (PPFD) különbségeit szemlélteti. A grafikonon jól kivehető, hogy a mekkora mértékben különböznek a megvilágítás hatásai az egyes csoportok esetében.



7. ábra: Fotoszintetikus fotonáram-sűrűség eloszlása

A kísérlet szempontjából fontos távoli-vörös megvilágítást a 8. ábra szemlélteti. Itt a vörös-távoli-vörös arányt jellemzik a dobozdiagrammok. Az YH, YL csoportokban jóval magasabb a távoli-vörös jelenléte, ezért a két besugárzás közti arány jóval kisebb, míg a csak látható fénnel megvilágított csoportok esetében az arány el van tolódva.



8. ábra: Vörös-Távoli-vörös besugárzás aránya

Az így kialakult kísérletben százhatvan növényt követtem nyomon, mind a négy fajtából tízet-tíz helyeztem el, mind a négy megvilágítás alatt.

A növényeket individuálisan kezeltem, rendszeres méréseket végeztem rajtuk.

A kísérlet során az átlagos hőmérséklet és a relatív páratartalom 20 ± 2 °C, illetve 75 ± 5 % között volt. A szén-dioxid koncentráció 400 és 600 ppm közt mozgott.

A kísérlet kezdetének az az időpont tekinthető, amikor a csíranövények bekerültek a megvilágítás alá, lezárásnak pedig, amikor a növényeket betakarítottam.



9. ábra: A laboratórium belseje

4.2 Mérési szempontok és metrikák

4.2.1 Magasságmérés

A kutatásom során a növények magasságát hetente kétszer vettem nyilvántartásba, ezzel biztosítva, hogy a kísérleti fázis kiértékelésekor rendelkezésemre álljon részletes adatsor a növekedési tendenciák és a fénykörülmények hatásainak elemzésére. A méréseket standardizált módszerrel végeztem, ahol a növény magasságát a tőzegkorong felszínétől a központi szár csúcsáig mértem, mérőszalag segítségével.

A magassági értékek felhasználásával növekedési együtthatót is meg lehet állapítani.

A növekedési együttható képlete a következő:

Ahol:

$$GR = \frac{S_2 - S_1}{T} \quad \text{cm/d}$$

S_1 : Az első mérés

S_2 : A második mérés

T : Eltelt napok száma a két mérés közt (Watjanatepin & Sritanauthaikorn, 2020)



10. ábra: Növények fejlődése

4.2.2 Klorofilltartalom jellemzése

A klorofilltartalom jellemzésére a negyvenegyedik nap végén SPAD vizsgálatot hajtottam végre. Az elemzés minden kísérleti csoportokból kiválasztott egészséges, fejlett növények két különböző fejlődési stádiumú levelén történt. Az egyik levél fiatalabb volt, megvilágításhoz közelebb eső, míg a másik egy teljesen kifejlett, idősebb. Az egyes mérések a levelek öt különböző pontjain zajlottak, az eredményekből átlagot képezve a klorofillkoncentráció megbízható mérőszámát kaptam.

4.2.3 Zöldtömeg mérés

A növények betakarításakor, a kiültetést követő negyvenharmadik napon, megmértem azok leveleinek zöldtömegét egy Kern EMB 200-3, Kern & Sohn GmbH, (Balingen, Németország) mérleggel. A növények leveleinek tömegét egyedileg regisztráltam.

4.2.4 Levélszám-meghatározás

A zöldtömeg méréssel párhuzamosan a levelek számát is összeszámláltam egyedenként. Itt első körben különbséget tettem a szárlevelek és hajtás vagy oldallevelek közt. Szárlevélnek számítottak azok, melyek közvetlenül a központi szárról nőttek, és méreteik meghaladták a 2 centimétert. Ez a tulajdonság fajtánként eltérő volt. A hajtáslevelek méretben jóval kisebbek voltak és nem közvetlenül a központi szárból fejlődtek.

Általánosságban elmondható, hogy a növények fenológiai fázisához köthető volt a nóduszok és levelek száma és mérete. Hasonlóan magas és fejlett növények megegyező levél és nódusz számmal rendelkeztek, egyéb rendellenesség hiányában. Így a hasonló magasságú növények megegyező levélszámmal is rendelkeztek csoporton és fajtán belül.

A mérésekből kihagytam azokat a növényeket, melyeket két nappal korábban SPAD vizsgálatra és fotoszintetikus pigment vizsgálatra használtam, esetleg növekedési rendellenességet mutattak.

5 Eredmények és értékelésük

A következő részben a tesztek során kapott eredményeket és az értékelési kritériumokat mutatom be. Emellett felfedem a fejlesztés alatt adódott problémákat, azokra adott válaszokat és levont következtetéseket is.

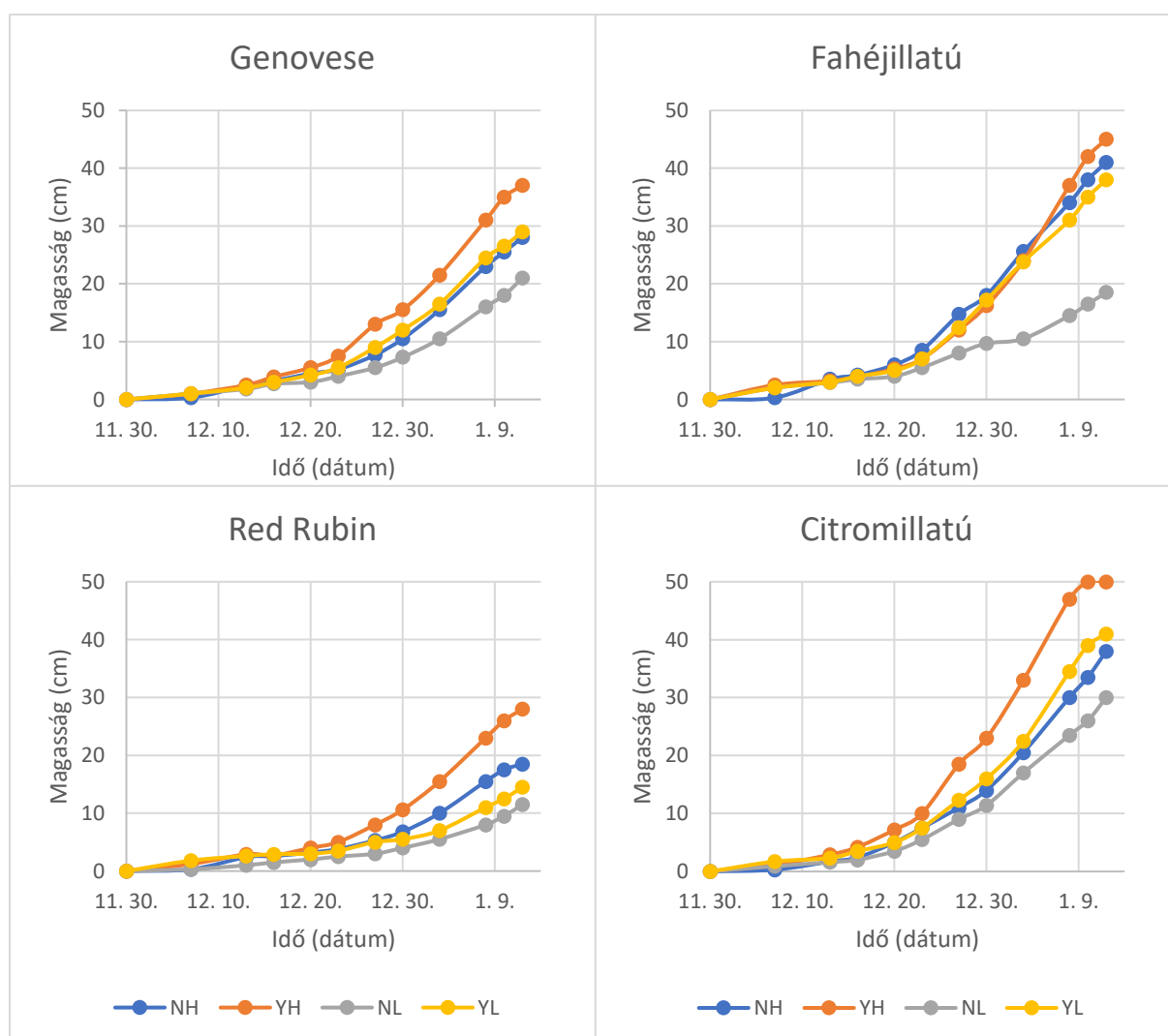
A növények betakarítása után az adatokat értelmeztem. Egyes növények esetében előfordult, hogy rendellenességet mutattak, ezért a kiugró értékek elhagyása után végeztem az analíziseket.

5.1 Kvantitatív eredmények:

Ebben a fejezetben számszerűsített, mennyiségi eredmények kerülnek bemutatásra.

5.1.1 Növekedési ütem

Kezdetben a bazsalikomok növekedési ütemét ismertetem, megvilágítás csoportonként és



11. ábra: Legmagasabbra nőtt növények növekedési üteme fajtaváltozatonként

A 11. ábrákon jól látszik, hogy a távoli-vörös megvilágítás magas intenzitás mellett eredményezte a legmagasabbra nőtt növényeket. Itt egyes növények meghaladták a

rendelkezésükre álló 45 cm-es magasságot. Ez esetben, ha a levelek hozzáérttek a fényforráshoz, azokon perzselés keletkezett az érintkezés helyénél.

Kivehető az ábrákról, hogy egyes csoportonként a távoli-vörös jelenléte fényintenzitás ellenében is nagyobb növekedési erélyt biztosított a növények számára, mint a fényforráshoz közelebb lévő, de csak 400-700 nm közti sugárzást befogadó társaik.

5.1.2 Növekedési együtthatók

A növények növekedési együtthatója egy összetett mutató, amely számos tényezőt összefoglalva jellemzi a növények fejlődését és termelékenységét. Ezek a tényezők magukban foglalják a növények méretét, tömegét, biomasszáját, valamint a növekedés sebességét és dinamikáját. A növekedési együtthatónak kiértékelése kritikus fontosságú a termelés optimalizálása és a termesztési technikák fejlesztése szempontjából. Ezenkívül segítséget nyújthat a növények genetikai hátterének jobb megértésében. A megfelelő minősítés lehetővé teszi a hatékonyabb termesztési módszerek kialakítását.

A növekedési értéket a fentebb leírt képlet segítségével határoztam meg, minden növénynél a hetente több alkalommal mért magasságok esetében. Az eredményeket átlagoltam palántánként. Az átlagokat rendszereztem növénycsoportokba, megvilágításonként. Ezt követően először ANOVA elemzést végeztem minden növénycsoporton belül a különböző megvilágítási körülmények között. Ahhoz, hogy minden fénykörülményt összehasonlítsunk a többivel növénycsoportonként, Tukey HSD poszthoc tesztet kell alkalmazni az ANOVA eredményekre, mely lehetővé teszi a fénykörülmények közti szignifikáns különbségek meghatározását. A számítások alatt használt szignifikancia szint $p=0.05$.

A citromillatú típus esetében a következő eredményeket kaptam:

NH és NL: Szignifikáns különbség van, ahol az **NH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás alatt nevelt növények közt 27,98%-os.

NH és YH: Szignifikáns különbség van, ahol az **YH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás alatt nevelt növények közt 13,93%-os.

NH és YL: Nem szignifikáns különbség. Az eltérés a két megvilágítás alatt nevelt növények közt 4,41%-os **NH** javára.

NL és YH: Szignifikáns különbség van, ahol az **YH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás alatt nevelt növények közt 32,75%-os.

NL és YL: Szignifikáns különbség van, ahol az **YL** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás alatt nevelt növények közt 18,42%-os.

YH és YL: Szignifikáns különbség van, ahol az **YH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás alatt nevelt növények közt 21,30%-os.

A Genovese változatú növények a következő tendenciákat mutatták:

NH és NL: Szignifikáns különbség van, ahol az **NH** alatti növekedés nagyobb. A különbség a két növekedési együttható közt a megvilágítások hatására 46.37%-os volt.

NH és YH: Nem szignifikáns különbség. A különbség a két növekedési együtttható közt a megvilágítások hatására 11.81%-os volt **YH** javára.

NH és YL: Nem szignifikáns különbség. A különbség a két növekedési együtttható közt a megvilágítások hatására 11.19%-os volt **YH** javára.

NL és YH: Szignifikáns különbség van, ahol az **YH** alatti növekedés nagyobb. A különbség a két növekedési együtttható közt a megvilágítások hatására 39.75%-os volt.

NL és YL: Szignifikáns különbség van, ahol az **YL** alatti növekedés nagyobb. A különbség a két növekedési együtttható közt a megvilágítások hatására 24.03%-os volt.

YH és YL: Szignifikáns különbség van, ahol az **YH** alatti növekedés nagyobb. A különbség a két növekedési együtttható közt a megvilágítások hatására 26.08%-os volt.

A Red Rubin alfajba tartozó palánták az alábbi eredményeket adták:

NH és NL: Szignifikáns különbség van, ahol az **NH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás közt 83,19%-os.

NH és YH: Szignifikáns különbség van, ahol az **YH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás közt 34,63%-os.

NH és YL: Szignifikáns különbség van, ahol az **NH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás közt 48,00%-os.

NL és YH: Szignifikáns különbség van, ahol az **YH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás közt 146,62%-os.

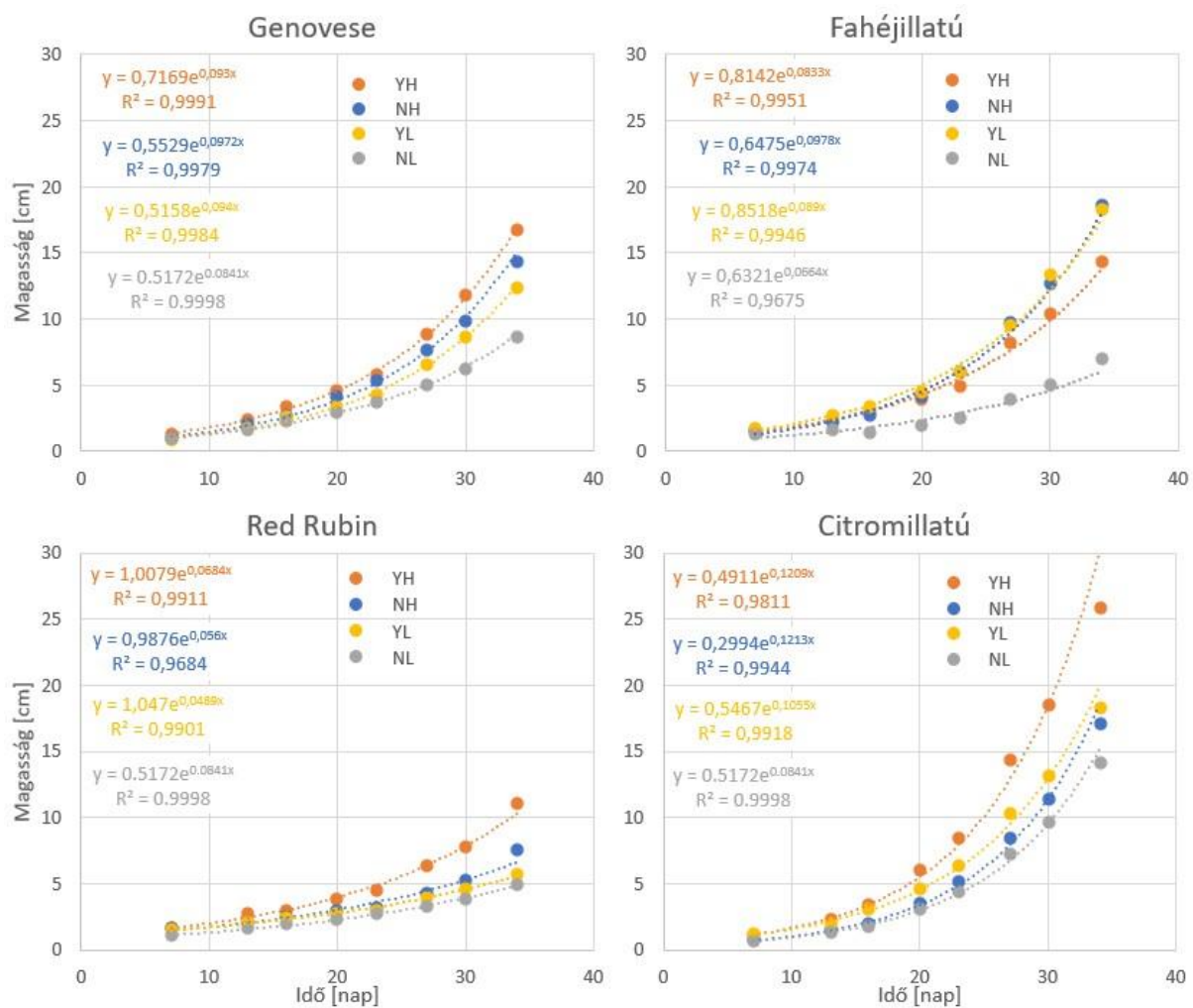
NL és YL: Nem szignifikáns különbség. Az eltérés a két megvilágítás közt 23,77%-os **YL** javára.

YH és YL: Szignifikáns különbség van, ahol az **YH** alatti növekedés nagyobb. Az eltérés a két megvilágítás közt 99,25%-os.

A fahéjillatú növények magas halálozási aránya és selejtes növények száma miatt statisztika nem elvégezhető ezen a csoporton.

	Maximum növekedési együttthatók			
	NH	YH	NL	YL
Citromillatú	3,00	3,50	2,00	2,50
Fahéjillatú	2,50	3,00	1,25	2,00
Genovese	1,50	2,00	1,50	1,60
Red Rubin	1,25	1,75	1,00	1,00
	Átlagos növekedési együttthatók			
	NH	YH	NL	YL
Citromillatú	1,04	1,20	0,81	0,99
Fahéjillatú	0,96	0,84	0,46	0,72
Genovese	0,72	0,81	0,49	0,64
Red Rubin	0,45	0,61	0,25	0,30

2. táblázat: Növekedési együtttható értékek

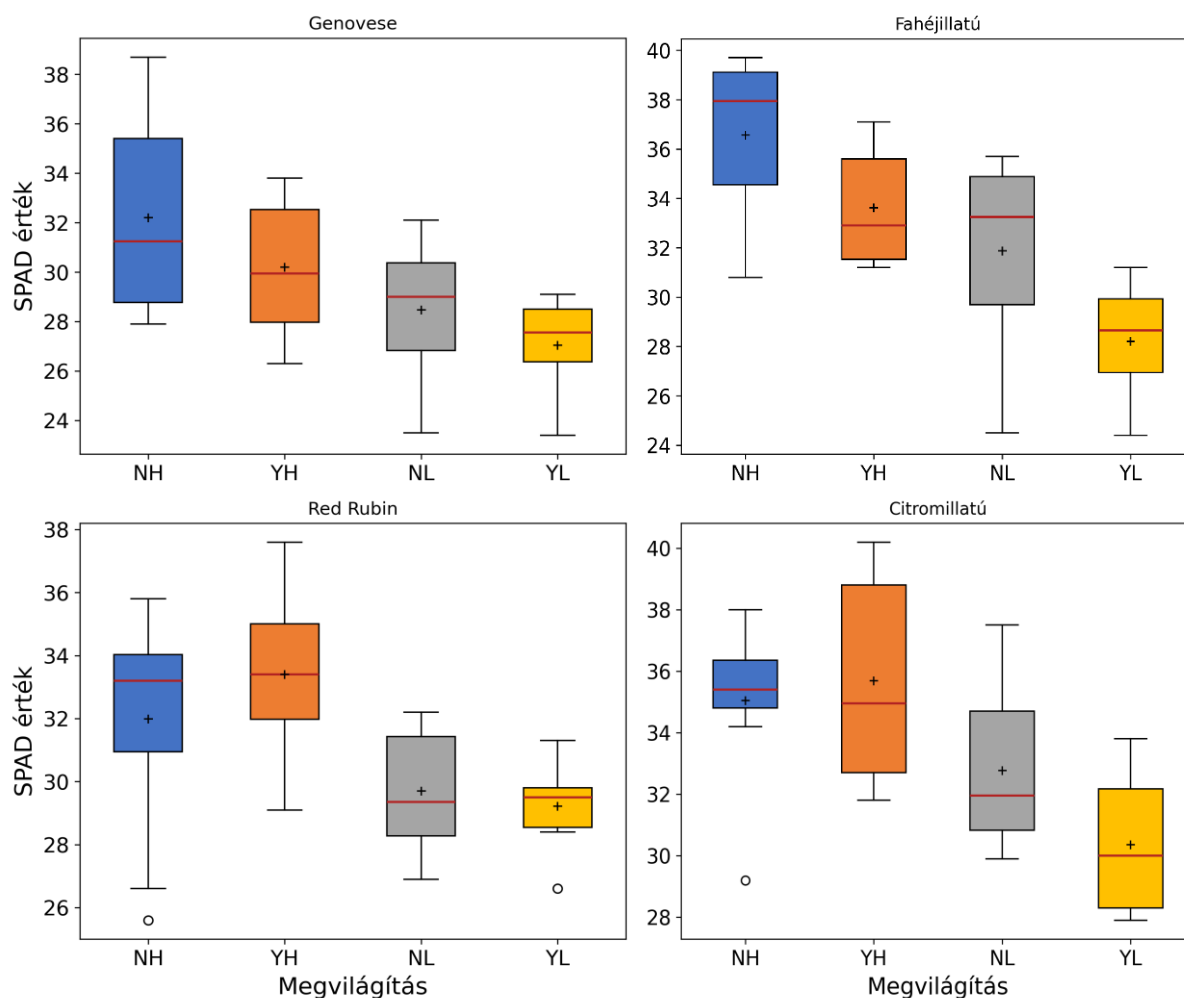


12. ábra: Növekedési ütem a 34. napig

A fenti eredményekből látható, hogy a növények fejlődésére az YH megvilágítás volt a legideálisabb.

Ez az eredmény alátámasztja azt az állítást miszerint a fotoszintetikus fény tartománya kiterjed 700 nanométer felé, ezzel segítve a növény gyorsabb fejlődését.

5.1.3 Klorofilltartalom jellemzése



13. ábra: SPAD mérések klorofilltartalom meghatározáshoz

A SPAD (Soil-Plant Analysis Development) vizsgálat egy gyors és nem destruktív módszer, amelyet a növények leveleiben található klorofill koncentrációjának becslésére használnak.

A műszerek mérési elve azon alapszik, hogy a klorofill különböző mértékben nyeli el a vörös és az infravörös fényt. A műszer által kiadott és a levél által visszavert fény intenzitásának arányából egy SPAD-értéket számol, ami közelítőleg arányos a klorofill mennyiségével. A magasabb SPAD-értékek magasabb klorofill-koncentrációt jeleznek, amely a növény jobb nitrogénstatuszát és egészségesebb állapotát is tükrözheti.

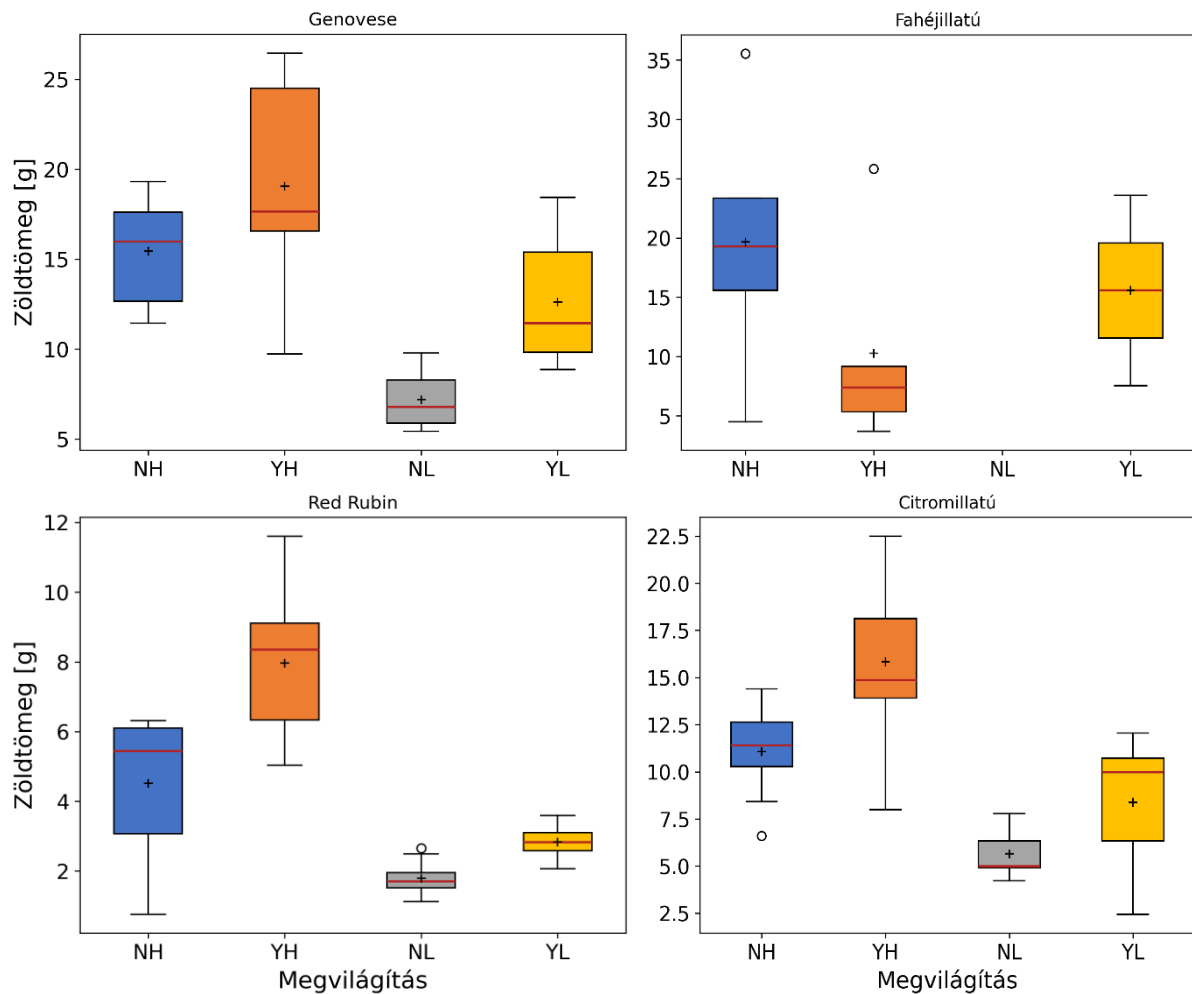
A mérések alapján levonható következtetések:

A SPAD-értékek alapján az NH fénykezelés a legkedvezőbbnek tűnik a növényi klorofill-szint és egészség fenntartása szempontjából.

A különböző fajták eltérően reagálnak a fénykezelésekre, ami a fajták közötti genetikai különbségeket és különböző stressztűrő képességeket mutathatja.

A dobozdiagramok szórása azt sugallja, hogy a növények reakciója a fénykezelésekre változatos, ami azt jelzi, hogy a növények egyedi válaszai is jelentősen befolyásolják a SPAD-értékeket.

5.1.4 Zöldtömeg kiértékelés



14. ábra: Zöldtömeg összehasonlítás növény- és megvilágításcsoportonként

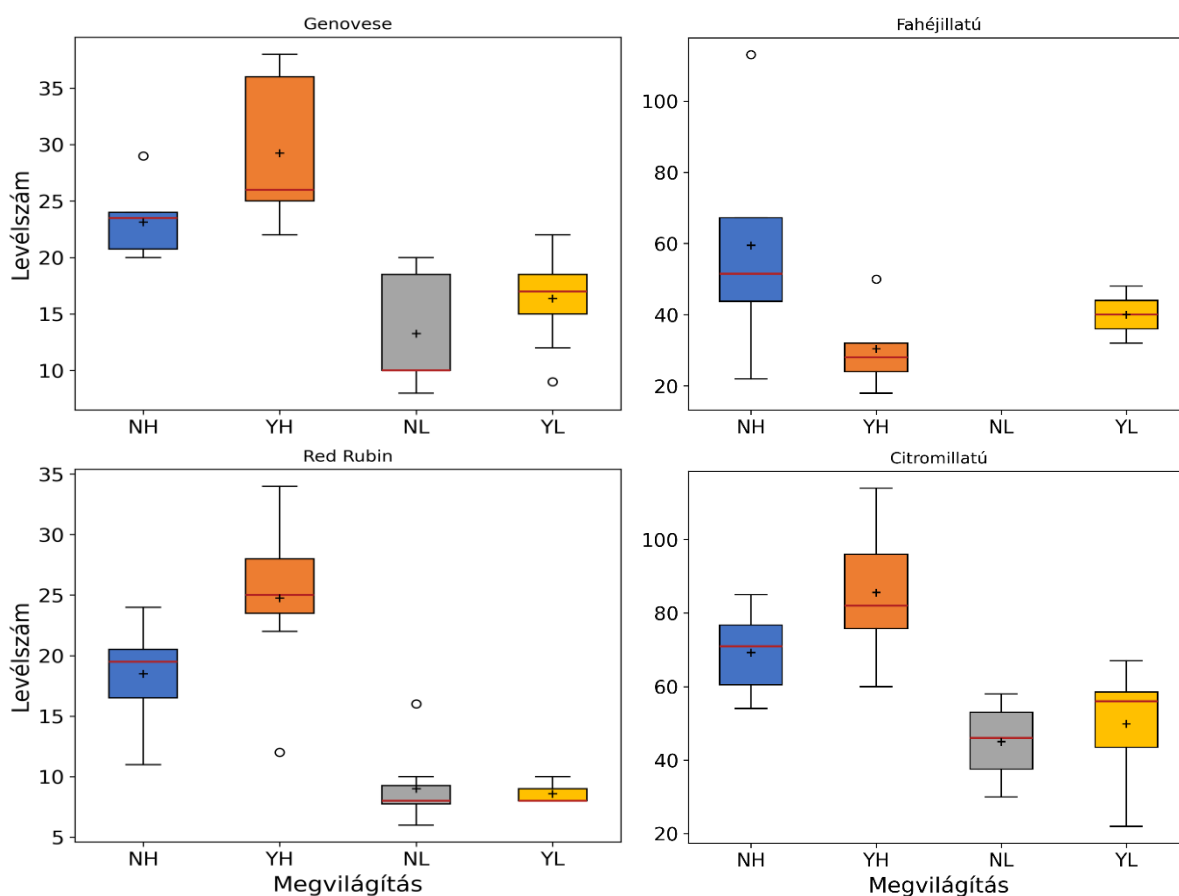
Az NH kezelés alatt nevelt növények rendelkeznek a legmagasabb zöldtömeg értékekkel, ami arra utalhat, hogy ez a fénykezelési mód kedvezőbb a zöldtömeg kialakulásához.

Az YL és NL kezelések alacsonyabb zöldtömeg értékeket eredményeznek, ami azt sugallhatja, hogy a kevésbé intenzív fényviszonyok nem olyan előnyösek a növények zöldtömegének növekedése szempontjából.

Az egyes fajták eltérően reagálnak a fénykezelésekre, ami a genetikai diverzitásra és a környezeti hatásokra való különböző érzékenységre utal.

A nagy variabilitás azt mutatja, hogy a növények különböző reakciókat mutathatnak még ugyanazon kezelésen belül is, ami további vizsgálatokat indokolhat a változatosság okainak megértése érdekében.

5.1.5 Levélszám kiértékelés



15. ábra: Levelek darabszámai csoportonként

A négy fénykezelési kategória között jelentős eltérések vannak a levéldarabszám eloszlásában és középértékeiben. Az NH kezelés alatti növényeknél általában magasabbak a levéldarabszám értékek, ami arra utalhat, hogy ez a fénykezelés elősegíti a levéltermelődést. Az YL kezelés alatti növények levéldarabszáma általában alacsonyabb, ami azt sugallja, hogy ez a fénykondíció kevésbé kedvező a levélképződés szempontjából.

A különböző bazsalikomfajták eltérően reagálnak a fénykezelésekre. Például a Fahéjillatú fajta növényei nagyobb levélszámot mutatnak az NH és YH kezeléseknél, míg a Genovese és Red Rubin fajták levéldarabszáma kisebb. Ez azt jelzi, hogy a különböző fajták genetikai jellemzői befolyásolhatják, hogyan reagálnak a különböző fénykörülményekre.

Minden fajtán és kezelési csoporton belül eltérő a variabilitás. Bizonyos kezeléseknél, mint például a Genovese YH kezelése, az adatok nagyobb szóródást mutatnak, ami azt jelzi, hogy a növények különbözőképpen reagálnak a fényviszonyokra. Más esetekben, mint például a Red Rubin NL kezelése, kisebb a variabilitás, ami arra utal, hogy a növények hasonlóan reagálnak.

A diagramokon látható néhány kiugró érték is, amelyek jelentősen eltérnek a többi adattól. Ilyen esetben rendellenes fejlődés állhat a háttérben, melynek oka lehet genetikai vagy különböző stresszhatás.

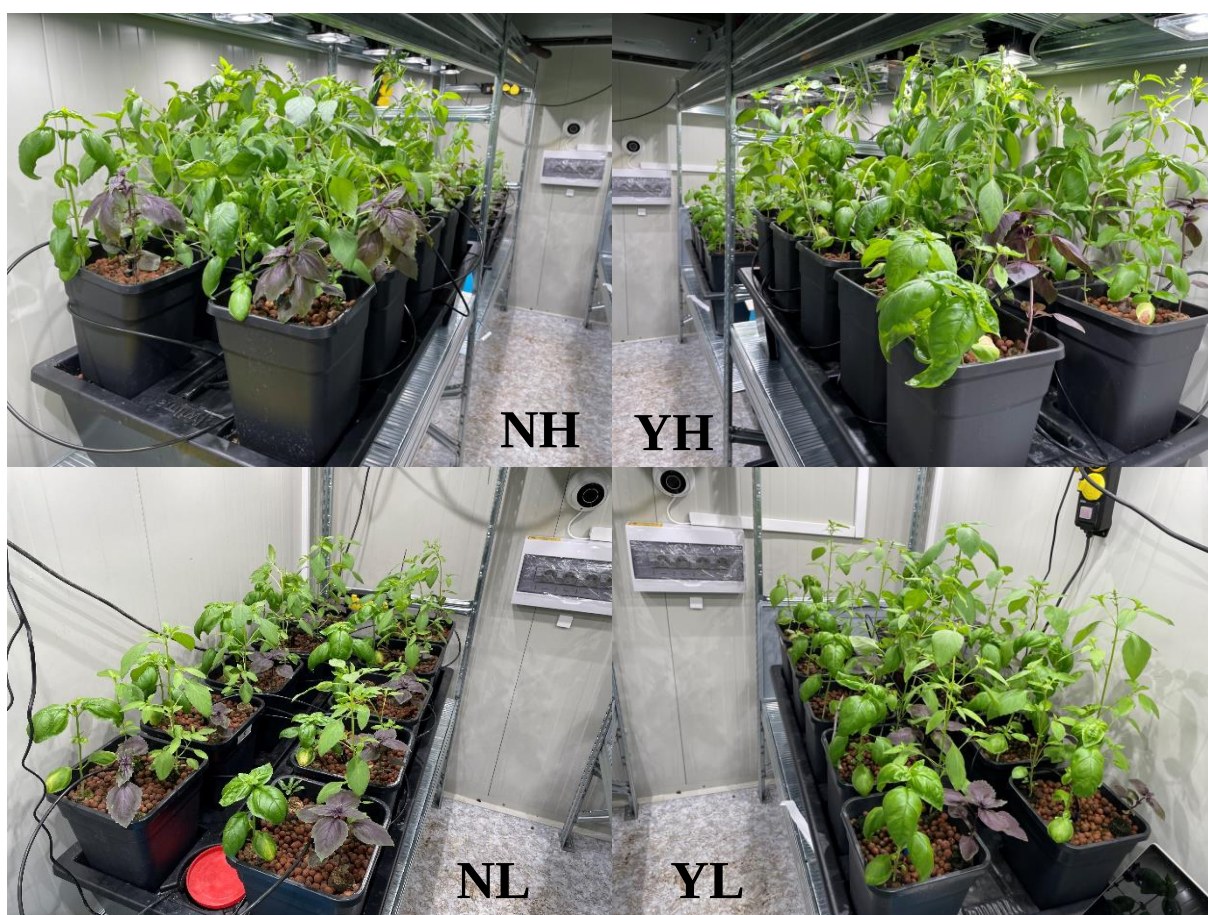
A Fahéjillatú növénycsoport esetében, NL megvilágítás alatt a magas elhullási százalék mellett az adatok nem releváns eredményeket mutattak, ezért nem kerültek kiértékelésre.

5.2 Kvalitatív eredmények

A kísérlet folyamán hamar szemmel láthatóvá váltak a megvilágítás közti különbségek. A magasabb intenzitás alatt nevelt növények gyorsabban, erőteljesebben nőttek, mint az alacsonyabb intenzitást befogadó társaik. A távoli-vörös fényt befogadó csoport mindkét intenzitás mellett magasabbra nőtt, mint a csak fotoszintetikusan aktív sugárzásba eső, de hasonló intenzitáson nevelt bazsalikomok.

Megfigyelhető volt továbbá a második csoportnál, hogy a citromillatú típusba tartozó növények kivétel nélkül elkezdtek virágozni. Ez arra enged következtetni, hogy a távoli-vörös jelenléte serkenti a virágzásra való hajlamot.

Betakarításkor érzékelhető volt, hogy a Genovese típusnál a szárak belseje már kezdett elfásodni. Az elfásodás mértéke a növény méretével szoros egyezést mutatott. A felhalmozott lignin és cellulóz a szárak súlyában is jól látható volt.



16. ábra: Növények összehasonlítása az utolsó napon

A kutatás során a növények között előfordultak deformált, rendellenesen viselkedő példányok is. Ezek kialakulásának oka ismeretlen. Egyes esetben azonban magasabb levélszámot, ezáltal zöldtömeg produkáltak, mint az egészséges egyedek.

Az egyik citromillatú növény már kezdeti állapotban szétvált és kettő darab száron kezdett növekedni. A fejlődésének üteme eltért a többiekétől. Bár nem nőtt olyan magasra, (csak 24 cm) szárlevelei és hajtásleveleinek száma majdnem duplája volt.

A kísérlet folyamán 6 növény elpusztult, ugyanazon életfeltételek mellett, mint a többieké. Az elhalások oka ismeretlen, genetikai hibára, idegen eredetű stresszhatás feltételezhető.



17. ábra: Rendellenesen fejlődő növények

6 Összefoglalás

A kutatás során a felállított modellrendszerben kimutatható volt, hogy a távoli-vörös fény pozitív hatással van a növények életére. Figyelembe véve a zöldtömeget, klorofillsűrűséget és növekedési erősséget, egyértelműen látható, hogy a távoli-vörös fénynek kitett növények egészségesebbek és produktívabbak.

Ezek az eredmények összhangban vannak a nemzetközi kutatásokkal. Az általam végzett vizsgálat tovább erősíti azokat a publikációkat, amelyek szerint a távoli-vörös fény hasznos eszköz lehet a növények növekedésének és fejlődésének támogatásában.

Kiemelt jelentőségű, hogy a vizsgált bazsalikomok sokféleségét és a megvilágítás különböző módjait is magába foglalta. Az alkalmazott hidropóniás körülményeknek köszönhetően a növények jelentős mértékben gyorsabban fejlődtek, mint a hagyományos talajban nevelt társaik más kutatások során, hasonló megvilágítások mellett.

Ezen eredmények a tudományos aspektus mellett gazdasági szempontból is hozzájárulhatnak az iparág fejlesztéséhez. Új lehetőségeket nyitnak a hatékonyabb és termelékenyebb növénytermesztés terén. Ennek következtében nem csupán a kutatások, de az ipari gyakorlat is jelentős előrelépést tehet a beltéri növénytermesztés terén, ami hosszú távon gazdasági előnyöket eredményezhet.

A kísérleti eredményeim alapján egész éves friss bazsalikom termesztés valósítható meg az általam alkalmazott legproduktívabbnak bizonyuló YH megvilágítás alatt, folyamatosan ütemezett szüreteléssel, lehetővé téve éttermek és piacok tartós kiszolgálását. Ez a kombináció megfelelő lenne egy vállalkozás fenntartható és eredményes működtetéséhez, kihasználva a legoptimálisabb termesztési körülményeket és a legjobb minőségű termékeket.

6.1 Munkám eredményei

A kutatásom során kidolgoztam egy újszerű módszert, mely a növények válaszreakcióit méri eltérő fényösszetételre.

Kutató laboratóriumban előállítottam egy mérési rendszert, amely azonos fajtába eső, de eltérő típusú növényeket hasonlít össze.

Kísérletek során tényszerű megállapításokat tettem a vizsgált növények fejlődésére és értékmérő tulajdonságaira távol-vörös megvilágítás jelenlétében.

Az eredmények kiértékelése és következtetések levonása után, adatokkal alátámasztva elmondható, hogy a kiterjesztett fotoszintetikus fénytartomány elmélete helyes, miszerint a növények a 700 nanométer feletti besugárzást is hasznosítják, termelékenységükre jó hatással van.

7 Irodalomjegyzék

- Chow Kheong Keat & Chithrameenal Kannan. (2015). Development of a Cylindrical Hydroponics System for Vertical Farming. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 5(2). <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2015.02B.003>
- Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierc, J., Pelleschi-Travier, S., Crespel, L., Morel, P., Huché-Thélier, L., Boumaza, R., Vian, A., Guérin, V., Leduc, N., & Sakr, S. (2016). Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 4–21. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.010>
- Dou, H., & Niu, G. (2020). Chapter 9—Plant responses to light. In T. Kozai, G. Niu, & M. Takagaki (Szerk.), *Plant Factory (Second Edition)* (o. 153–166). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00009-1>
- Driesen, E., Saeys, W., De Proft, M., Lauwers, A., & Van den Ende, W. (2023). Far-Red Light Mediated Carbohydrate Concentration Changes in Leaves of Sweet Basil, a Stachyose Translocating Plant. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/ijms24098378>
- Elementi, S., Neri, R., & D’Antuono, L. F. (2006). BIODIVERSITY AND SELECTION OF ‘EUROPEAN’ BASIL (*OCIMUM BASILICUM* L.) TYPES. *Acta Horticulturae*, 723, 99–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.723.9>
- Esmaili, M., Aliniaiefard, S., Mashal, M., Ghorbanzadeh, P., Seif, M., Gavilan, M. U., Carrillo, F. F., Lastochkina, O., & Li, T. (2020). CO₂ enrichment and increasing light intensity till a threshold level, enhance growth and water use efficiency of lettuce plants in controlled environment. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), 2244–2262. <https://doi.org/10.15835/nbha48411835>
- Gillespie, D. P., Kubota, C., & Miller, S. A. (2020). Effects of Low pH of Hydroponic Nutrient Solution on Plant Growth, Nutrient Uptake, and Root Rot Disease Incidence of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *HortScience*, 55(8), 1251–1258. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14986-20>
- Hong, S. J., Kim, D.-S., Lee, J., Boo, C. G., Youn, M. Y., Le, B., Kim, J. K., & Shin, E.-C. (2022). Inhalation of low-dose basil (*Ocimum basilicum*) essential oil improved cardiovascular health and plasma lipid markers in high fat diet-induced obese rats. *Journal of Food Science*, 87(6), 2450–2462. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16196>
- Hosseini, H., Mozafari, V., Roosta, H. R., Shirani, H., van de Vlasakker, P. C. H., & Farhangi, M. (2021). Nutrient Use in Vertical Farming: Optimal Electrical Conductivity of Nutrient Solution for Growth of Lettuce and Basil in Hydroponic Cultivation. *Horticulturae*, 7(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090283>
- Jan, S., Rashid, Z., Ahngar, T., Naikoo, A., Majeed, S., Bhat, T., Gul, R., & Nazir, I. (2020). Hydroponics – A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9, 1779–1787. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.206>

Julianna, C. (2023, december 21). *Megnőtt a bio fűszernövények iránti kereslet*. Agroforum Online. <https://agroforum.hu/agrarhirek/életmod/a-bio-fuszernovenyek-iranti-kereslet-csucsokat-donget-az-unnepi-szezonban/>

Kelly, N., Choe, D., Meng, Q., & Runkle, E. S. (2020). Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. *Scientia Horticulturae*, 272, 109565. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109565>

Lavrnić, S., Braschi, I., Anconelli, S., Blasioli, S., Solimando, D., Mannini, P., & Toscano, A. (2018). Long-Term Monitoring of a Surface Flow Constructed Wetland Treating Agricultural Drainage Water in Northern Italy. *Water*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/w10050644>

Lee, S., & Lee, J. (2015). Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae*, 195, 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.011>

Li, H., Ge, Y., Luo, Z., Zhou, Y., Zhang, X., Zhang, J., & Fu, Q. (2017). Evaluation of the chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of distillate and residue fractions of sweet basil essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1882–1890. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2620-x>

Li, Q. X., & Chang, C. L. (2016). Basil (*Ocimum basilicum* L.) Oils. In V. R. Preedy (Szerk.), *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (o. 231–238). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00025-0>

McQueen, R. E. (2000). World population growth, distribution and demographics and their implications on food production. *Canadian Journal of Animal Science*, 80(2), 229–234. <https://doi.org/10.4141/A99-098>

Meng, Q., & Runkle, E. S. (2019). Far-red radiation interacts with relative and absolute blue and red photon flux densities to regulate growth, morphology, and pigmentation of lettuce and basil seedlings. *Scientia Horticulturae*, 255, 269–280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.030>

Meselmani, M. A. A. (2022). Nutrient Solution for Hydroponics. In *Recent Research and Advances in Soilless Culture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101604>

Mishra, A. (é. n.). *Purple basil and the significance of its bioactive compounds*.

Nam, S., Kang, S., & Kim, J. (2020). Maintaining a constant soil moisture level can enhance the growth and phenolic content of sweet basil better than fluctuating irrigation. *Agricultural Water Management*, 238, 106203. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106203>

Noriega Gardea, M. M. Á., Corral Martínez, L. F., Anguiano Morales, M., Trujillo Schiaffino, G., Salas Peimbert, D. P., Noriega Gardea, M. M. Á., Corral Martínez, L. F., Anguiano Morales, M., Trujillo Schiaffino, G., & Salas Peimbert, D. P. (2021). Modeling photosynthetically active radiation: A review. *Atmósfera*, 34(3), 357–370. <https://doi.org/10.20937/atm.52737>

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(2), 742–780. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y>

Park, Y., & Runkle, E. S. (2017). Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. *Environmental and Experimental Botany*, 136, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.12.013>

Péter S. (2022). *Két Ocimum faj (O. basilicum, O. tenuiflorum) egyes értékmérő tulajdonságai két különböző fényösszetételű LED megvilágítás mellett hidropóniás rendszerben.* <https://hdl.handle.net/2437/341083>

Pode, R. (2020). Organic light emitting diode devices: An energy efficient solid state lighting for applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110043. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110043>

Ritchie, R. J. (2010). Modelling photosynthetic photon flux density and maximum potential gross photosynthesis. *Photosynthetica*, 48(4), 596–609. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0077-5>

Shahrajabian, M. H., Sun, W., & Cheng, Q. (2020). Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum*): A review. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1961–1970. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1828456>

Singletary, K. W. (2018). Basil: A Brief Summary of Potential Health Benefits. *Nutrition Today*, 53(2), 92. <https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000267>

Sipos, L., Balázs, L., Székely, G., Jung, A., Sárosi, S., Radácsi, P., & Csambalik, L. (2021). Optimization of basil (*Ocimum basilicum* L.) production in LED light environments – a review. *Scientia Horticulturae*, 289, 110486. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110486>

Sonmezdag, A. S., Amanpour, A., Kelebek, H., & Selli, S. (2018). The most aroma-active compounds in shade-dried aerial parts of basil obtained from Iran and Turkey. *Industrial Crops and Products*, 124, 692–698. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.053>

Srbínovska, A., Gasparotto, L., Conchione, C., Menegoz Ursol, L., Lambertini, F., Suman, M., & Moret, S. (2023). Mineral oil contamination in basil pesto from the Italian market: Ingredient contribution and market survey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 104914. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104914>

Strzepek, K., & Boehlert, B. (2010). Competition for water for the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2927–2940. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0152>

Sun, B., Fan, X., Ye, H., Fan, J., Qian, C., van Driel, W., & Zhang, G. (2017). A novel lifetime prediction for integrated LED lamps by electronic-thermal simulation. *Reliability Engineering & System Safety*, 163, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.01.017>

Thomas, A., Yadav, B. K., & Šimůnek, J. (2020). Root water uptake under heterogeneous soil moisture conditions: An experimental study for unraveling compensatory root water uptake and hydraulic redistribution. *Plant and Soil*, 457(1), 421–435. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04738-3>

- Wang, L., Ning, S., Zheng, W., Guo, J., Li, Y., Li, Y., Chen, X., Ben-Gal, A., & Wei, X. (2023). Performance analysis of two typical greenhouse lettuce production systems: Commercial hydroponic production and traditional soil cultivation. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1165856>
- Watjanatepin, N., & Sritanauthaikorn, P. (2020). Increasing Growth and Yield of Sweet Basil and Holy Basil by Application of Far-Red Radiation for Indoor Horticulture. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(7), 1709–1716. <https://doi.org/10.36478/jeasci.2020.1709.1716>
- Zaręba, A., Krzemińska, A., & Kozik, R. (2021). Urban Vertical Farming as an Example of Nature-Based Solutions Supporting a Healthy Society Living in the Urban Environment. *Resources*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/resources10110109>
- Zhan, Y., An, X., Wang, S., Sun, M., & Zhou, H. (2020). Basil polysaccharides: A review on extraction, bioactivities and pharmacological applications. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 28(1), 115179. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2019.115179>
- Zoltán D. B., Ferenc D. F., István D. K., Péter D. N., István D. P., Ilona D. R., Szabolcs D. R., Éva D. S., Ádám D. S., Zoltán D. S., & László D. T. (é. n.). *A növényi anyagcsere élettana*.

8 Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet Dr. Balázs László egyetemi docens Úrnak a Tudományos Diákköri Konferencia kutatásomhoz nyújtott segítségéért, akinek szakmai tudása, odaadó lelkesedése nélkül munkám nem jöhetett volna létre. A konzultációk során mindig segítőkész volt, hálás vagyok, hogy mellettem állt és minden lépésben támogatott.

Köszönetet mondok a Magyar Agrár- és Élettudomány Egyetemnek, hogy modern létesítményében lehetővé tette számomra a kutatás végrehajtását. Az egyetemi környezet és az infrastruktúra nélkül nem valósulhatott volna meg a projektem.

Szüleimnek és testvéreimnek is köszönöm a támogatást és a biztatást, amely hozzájárult a kitartásomhoz és a sikeres eredmények eléréséhez.

Végül, de nem utolsó sorban barátaimnak, Dörnyei Zitának, Varga Domonkosnak és Juth Benedeknek szeretném kifejezni hálámat, akik készségesen segítettek egyes mérések elvégzésében és a tápoldat cserék során. Nélkülük a kutatási folyamat nem lett volna ilyen élvezetes és izgalmas.

Tárnok András