

SZAKDOLGOZAT

Utasi János

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Mezőgazdasági mérnök levelező alapképzési szak

**Borsó (*Pisum sativum* L.) fejlődésének vizsgálata hidropóniás
körülmények között**

Belső konzulens:	Dr. Kende Zoltán Egyetemi adjunktus
Belső konzulens intézete/tanszéke:	NTTI Agronómia tanszék
Társ konzulens:	Piroska Petra Phd. hallgató
Készítette:	Utasi János G7T79K

Gödöllő
2023

1. Tartalomjegyzék

1.	Tartalomjegyzék.....	2
2.	Bevezetés	4
3.	Szakirodalmi áttekintés	5
3.1	A borsó termesztése a világon és Magyarországon	5
3.2	A klímaváltozás hatása a növénytermesztésre	7
3.3	A zárt technológiás rendszerek története, és típusaik	10
3.4	A hidroponiás rendszerek jelentősége típusaik.....	11
3.5	Fehérjenövények termesztése lehetősége hidropóniás rendszerekben	13
3.6	A megvilágítás jelentősége a zárt rendszerekben	14
3.7	A tápoldatozás jelentősége a zárt rendszerekben.....	16
3.8	A szakirodalmi fejezet főbb megállapításai	17
4.	Anyag és Módszer.....	18
4.1	A vizsgálat helyszínének bemutatása	18
4.2	Mért paraméterek bemutatása.....	19
4.3	Az alkalmazott megvilágítás típusai.....	21
4.4	A tápanyagellátás	23
4.5	A támasztóközeg bemutatása	24
4.6	A környezeti változók szabályozása	25
5.	Eredmények és megvitatásuk.....	26
5.1	A borsó magasságának változása.....	26
5.2	A SPAD vizsgálat eredményei.....	28
5.3	A borsó kvantumhozamának eredményei.....	32
5.4	A korrelációs vizsgálat eredményei	35
6.	Következtetések és javaslatok.....	36
7.	Összefoglaló.....	38

8.	Köszönetnyilvánítás	39
9.	Irodalomjegyzék	40
10.	Táblázatjegyzék.....	50
11.	Ábrajegyzék	50
12.	Képjegyzék.....	50
13.	Melléklet.....	52

2. Bevezetés

A borsó fontos fehérjenövény és sokrétű élelmiszer, ezért a termesztési lehetőségének a vizsgálata okszerű. A borsó öntermékenyülő tulajdonsága miatt lehet biztonsággal nyitott és zárt módon termesztani. Nitrogénfixáló képessége, - ami a rhizóbiumos 2-6 mm átmérőjű gyökérgumókban van-, könnyűvé teszi termesztését. A növény hüvelyes termésének a magjainak magas fehérjetartalma és előnyös agronómiai jellege miatt előnyös gazdaságilag a használata, és a klímaváltozás miatt potenciálisan jó arra, hogy zárt közegben termesszék. A klímaváltozás egyik megoldási lehetősége, hogy az általa okozott környezeti ingadozásoktól minimálisra csökkentve a függést, ami zárt termesztést jelent. A korlátozott hely miatt a zárt termesztésben szükséges folyamatosan kutatni a hatékonyabbá tételt, mint például a növények életfolyamatait. Ez a kutatási irány biztosíthatja, hogy a termesztett növény a lehető legnagyobb termésbiztonsággal rendelkezzen bármely felhasználhatóság szempontjából. Érdekes a teljes életszakaszt vizsgálni, ami a maximális lehetősége a felmerülhető igények kielégítésére. A leghatékonyabb termelés a hidropóniás előállítás, ami a legnagyobb potenciával rendelkezik hatékonyság szempontjából a zárt és nyílt termesztésben. A hidropóniás gazdálkodás jelen van a piacon is, és a klímaváltozás miatt megoldás lehet a nyílt színi termelés mellett és akár helyette is. Emiatt érdemes olyan növényeket vizsgálni, ami jó a zárt termesztéshez. A borsó ilyen növény, ami miatt kutatásom célja, hogy a borsó vizsgálata hidropóniás körülmények között, amely eredménnyel szeretnék hozzájárulni, ahhoz, hogy a klímaváltozás körülményei mellett is lehessen élelmiszerbiztonságot nyújtani. A feltételezésem szerint lehet a borsót teljes életszakaszban termesztani, és a borsó jól adaptálódik a hidropóniás körülményekhez. A hidropóniás termesztésben a költségek többet a felét a megvilágítás teszi ki, ezért a hatékonyság növelése érdekében szükséges vizsgálni a megvilágítást és annak hatásait, valamint a lehetséges megoldást a teljesítmény javítására. A borsó ismert és jó élelmiszer, valamint állati tápanyag is. Ezek miatt a borsó fejlődésének a vizsgálata hidropóniás körülmények között segít abban, hogy a kísérlet alapján tud-e a borsó teljes életszakaszt elérni, és a továbbiakban az eredmények alapján milyen megvilágítás a legjobb. A klímaváltozás jelenségeinek várható és egyre erősödő gazdasági vonatkozásaira, mint aszály, hőhullám, áradás és talajdefláció fel lehet készülni előre és megelőzni az élelmiszerhiányt azzal, hogy a zárt körülmények között is képesek leszünk ellátni az állatokat és az embereket. Ezek alapján dolgozatomban célul tűztam ki, hogy hidropóniás körülmények között különböző megvilágítási módszereket vizsgáljak borsó termesztése során.

3. Szakirodalmi áttekintés

3.1 A borsó termesztése a világon és Magyarországon

A borsó legnagyobb termesztői: Kanada, Kína, India, Oroszország (Wu *et al.*, 2023). Mind az öt kontinensen jelen van, nagy területeken és változatos formában (Devi *et al.*, 2023). A borsó karakterében állandó, ezért a genetikában, a biokémiában, a molekuláris biológiában és a növénynemesítésben is használják, ahogy Georg Mendel, aki a kolostorkertben a Pisum családot választotta kutatásához (Ludvíková and Griga, 2022). A borsó főleg mérsékelt égövben termelt hüvelyes és nagymagvú (Smýkal *et al.*, 2012). A lehetséges termés fele valósul meg a borsófajtáknál a helytelen ökológiai környezet választása miatt (Mazur *et al.*, 2021). A borsó a fentartható élelmiszertermelés alternatív növénye, hiszen olyan stratégiára van szükség, amely csökkenti a rossz környezeti hatásokat (Powers és Thavarajah, 2019). A borsó az emberi és állati táplálkozás biológiai és tápértéke magas és jól emészthető (Janusauskaite, 2023). A kutatás bizonyította, hogy a vegyes termelési rendszerben segítve a növények egészségét növelhető a hozam, alkalmazva a borsófajták diverzifikációját, ezáltal az agronómiai tulajdonságot kombináljuk a gazdaságossággal (Šarūnaitė *et al.*, 2022).

A borsó Kína félszáraz területein jelentős vetésforgó a magasabb hozamért, a talajerózió minimalizálásért, a hatékony vízfelhasználásért alkalmazva két tavaszi búza között, őszi búza után és előtt, valamint burgonya előtt. (Air and Research, 2009) Az ökológiai vetésforgóban az légköri N fixáló rhizóbium miatt a borsó hozzájárul a biológiai diverzifikációhoz és a hatékonysághoz (Tran, Becker and Horneburg, 2022).

Spanyolország, Franciaország és Németország az EU-ban a fő hasznosítói a borsónak, túlnyomórészt állati takarmánnyként (Kezeya Sepngang *et al.*, 2020). A szántóföldi borsó vetésforgóban gabonanövényekkel alternatív lehetőség és a talaj szervesszén (SOC) tartalmát növeli a humusszal bakteriálisan és segíti a vízháztartást (Powers and Thavarajah, 2019). A borsó javítja a foszfortartalmat és a termésminőséget is, élve a környezeti adottságokkal, a vízzel, a fénnel és a tápanyaggal, miközben segíti a talajvédelmet (Šarūnaitė *et al.*, 2022). A borsó fontos hüvelyes Lengyelországban, ahol takarmánnyként, biomasszaként, magként hasznosítják (Szpunar-Krok, 2022). Az EU-ban három nagy borsófeldolgozó van: a német EmslandGroup, a belga és dán Cosurca, a francia és holland Roquette (Kezeya Sepngang *et al.*, 2020). Az EU-ban a borsó, aminek a fehérje tartalma duplája mint a gabonáé (21-24%), a legfontosabb hüvelyes, amit a fogyasztók konzervként fokozottan keresnek (Ludvíková and Griga, 2022). A termelőtől a fogyasztóig stratégiában a borsó jó választás, hiszen segíti a

talajéletet, emiatt a zöldítés által Litvániában a 2012-es 24 ezer hektárról 148,7 ezer hektárra nőtt a területe 2016-ra (Semaškienė *et al.*, 2022).

A hüvelyes alapú fehérjeizolátumot használó innovatív vállalatok, mint a Beyond Meat, az Iglo, a Purvegan és mások ösztönzőleg hathatnak a hüvelyesek fejlődésére a piacon az EU-ban, mely piaci struktúra végén az olyan gyorséttermi láncok vannak, mint Kentucky Fried Chicken, a McDonalds (Khezaya Sepngang *et al.*, 2020). A borsófehérje, a búza-, a szója-, rizsfehérjével együtt a húshelyettesítő termékekben növényi fehérje, melyet számos élelmiszer és gyógyszertermékben használnak, beleértve az étrendkiegészítőket, emulgeálószereket, italokat, keverékeket, melyek által a borsófehérje gazdasági értéke 32 millió USD volt 2017-ben (Daba and Morris, 2022). Kiváló fizikai és kémiai tulajdonságú, amik miatt a funkcionális élelmiszerek számára új típusú fehérjéket biztosít, melyeket bekerültek a marhahúspogácsákba, salátaöntetekbe, javítva tulajdonságaikat (Lu *et al.*, 2020).

Az élelmiszeripar sok hulladékot állít elő ömlesztve, ami nulla költséggel áll rendelkezésre, amiből a 35%-os fehérjetartalmú dehidratált borsóhéjú zöld túrót (DGCPp) készítettek, melyet felhasználtak snackhez és levesporhoz is (Mousa *et al.*, 2021). A borsó sok biomolekulával rendelkezik, melyek táplálkozási szempontból rendkívül jók, emeltt antioxidáns tartalmú, alacsony glikémiás indexel rendelkezik, ami jó a cukorbetegeknek, és segít a szív és érrendszeri problémákon és számos degeneratív betegség gyógyításában segítség, melynek forrása lehet a hüvely, mint melléktermék (Kumari and Deka, 2021). A fenntartható élelmiszer termelés kulcsfontosságú a jelenlegi éghajlati válságnál, ezért a vertikális gazdálkodás vagy Protected Farming innovatív megközelítés, hogy az élelmiszer előállítás környezeti hatását csökkentve, miközben javítva az élelmiszerbiztonságot, melyre példa az aeroponika, ami segítségével 1 kg mikrogreen (borsó) mindössze 1,52 kg CO₂-t igényelt egy brit tanulmányban (Schmidt Rivera *et al.*, 2023).

A borsónak van a legnagyobb területi aránya a hüvelyesekből, körülbelül 45-55 ezer hektár között termesztik, melyekből a száraz borsó 25-30 ezer hektár, a vetőborsó jelentősége lecsökkent 3-6 ezer hektárra, miközben a zöldborsóé 15-20 ezer hektár, mely 2/3-át a konzervipar részére állítanak elő (Pupos *et al.* 2007). A zöldborsót főként az Alföldön termesztik, a főbb területei hajdúsági és békési löszhátak, mivel az ország keleti fele a környezeti- és talajviszonyokban jobb a kertészeti kultúráknak, továbbá a Dunántúl egyes részein (Nóra, 1984). A termelés 75%-a az Észak és Dél-Alföldön, a Békési mészlepedékes csernozjom talajon és a Hajdú-Bihar-i löszháton van.

A zöldborsó egy olyan növény, aminek magas szintű hagyományai vannak, bár az elmúlt évtizedet az ágazat nagyon megszenvedte, hiszen a termelési rendszerek és a piacok összeomlásának a hatását nem tudta elkerülni (Nóra, 2008). Székesfehérváron, elsőként 2015-ben és azóta, rendezik meg a Borsófesztivált a Székesfehérvári Kulturális Központ és a Székesfehérvári Kertbarát Egyesület által.

3.2 A klímaváltozás hatása a növénytermesztésre

Az éghajlatváltozás a jelenkorban az egyre nagyobb érdeklődés miatt, a tudósok a jelenségre válaszokat keresnek, enyhítve annak a hatásait, mely egy összetett multidiszciplináris tudományterület (Nunes and Dias, 2022). Globálisan növekedett mind a nappali, mind az éjszakai hőmérséklet, mely 1,1 C-os emelkedés volt Dél-Afrikában, és az előrejelzések szerint 2050-re 3,5 C lesz, miközben 1880 óta a földi éves középhőmérséklet 0,85 °C-kal emelkedett (Mupangwa *et al.*, 2023). Az üvegházhatású gázok megváltoztatják a légköri viszonyokat, melyek 70%-ban az energiafogyasztásból származik, ezért kulcsfontosságúak a mérnökök az üvegházhatás okozó gázok kibocsájtásának a csökkentésében az új technológiák, és az innováción keresztül, hiszen mérnökök nélkül a technológiai, mezőgazdasági, fejlődés nem lenne lehetséges (Axelithioti *et al.*, 2023). Az éghajlatváltozás negatív hatásait a szegényebb országok súlyosabban érzik, valamint sérülékenyebbek, mivel függenek a természeti erőforrásoktól, ezért az ökoszisztéma javítása segítheti azt, ami az emberi egészség, jólét, zöld munkahely (Adedeji *et al.*, 2014). A következményei az éghajlat megváltozásának nyilvánvalóak, és rámutatnak arra, hogy az emberi jólét és az ökoszisztéma összefügg kölcsönösen, ami miatt szükséges a dekarbonizáció a 2015-ös Párizsi Megállapodás szerint (Marí-Dell’Olmo *et al.*, 2022). A növekvő CO₂ jelentősen hozzájárul a felmelegedéshez, amit a cementgyártás, az erdőirtás, a fosszilis tüzelőanyagok használata, valamint a mezőgazdaság is kibocsájt, valamint a metán is erősen üvegházhatású, ami főképp az állattenyésztés során keletkezik, és a kezeléshez szükséges a húsfogyasztás csökkentése, és a klímatudatos termelési technológiák alkalmazása (Nunes, 2023). A szélsőséges jelenségek és a klímaváltozás közötti kapcsolat létét sok tudós támogatja, hiszen a globális jelentőségű klímaváltozás az elmúlt években egyre intenzívebbé vált (Halkos and Zisiadou, 2023). A tengerszint emelkedés az elmúlt években globálisan 16 cm-t emelkedett 1902 és 2015 között, ami az antarktisi, grönlandi jégtakarók fogyatkozásai miatt felgyorsult, és az a tengerpartokon élő nagyvárosoknál dagályt és áradást jelenthet (Priestley *et al.*, 2021). Várhatóan ezen jelenségek tendenciái folytatódni fognak, melyre a bizonyítékok gyarapodnak, és a legkiszolgáltatottabbak

különösen ki vannak téve a folyamatnak (Schleussner *et al.*, 2016). A hőmérsékletváltozás csökkenti a mezőgazdaság versenyképességét, azonban egyaránt érinti a fejlett és a fejlődő országokat, ezért minden országnak növelnie kell a mezőgazdasági munkaerő termelékenységét (Nugroho *et al.*, 2023). Világszerte más hozzáállás jelentkezik a vízkészlethez a klímaváltozás miatt, hiszen az éghajlatváltozás miatt már most enyhe vagy súlyos a vízhiány a száraz és félszáraz régiókban (Zolghadr-Asli *et al.*, 2023). A hőhullámok erdőtüzeket okozhatnak hőgutát, kiszáradást, és kimerültséget, ráadásul egy 1991 és 2018 közötti 43 ország részvételével tartott tanulmányban a hőséghez kapcsolódik a halálesetek 37%-a meleg évszakban, amit az éghajlatváltozásnak tulajdonítanak (Leal Filho *et al.*, 2022). Az éghajlatváltozás a talajképződést is befolyásolja, hiszen a hőmérséklet és a csapadék a legfontosabb tényezők ennek, a környezeti változások, mint csapadékváltozás kimutathatóak vizsgálatok által, amik módosítják a talajképződés folyamatát (Gelybó *et al.*, 2018). A túlleltetés és az erdőirtás valamint a nem megfelelő mezőgazdasági tevékenység (szántás) az ember okozta talajerózió fő okai, ami kivált az ökoszisztémában tápanyagveszteséggel jár és csökkenő biológiai sokféleséggel (Borrelli *et al.*, 2020).

A sok-sok okozati összefüggés van, amit meghatároztak, amely a mezőgazdasággal, az erdőirtással, és az éghajlatváltozással függ össze, ezért az újra erdősítés ajánlott, zöld épületekkel, és támogatás és képzés, valamint technológia, melyek lehetővé teszik a szennyező gázok csökkentését (Leon *et al.*, 2022). Mérsékelhető az erózió a fenntartható földgazdálkodás alkalmazásával és jó szakpolitikai ösztönzőkkel (Borrelli *et al.*, 2020). Az élelmiszerbiztonság és az ökoszisztéma megtartását fenyegeti a talajerózió, ami a termékeny termőtalajréteget érinti legjobban, befolyásolva a tápanyagkörforgást, a vízmegtartást, és az élőhelyeket (Eekhout and de Vente, 2022). A talajerózió hatással van a benne lévő nitrogénre, foszforra, szervesszénre, a szénkörforgásra, a tápanyagokra és az ehhez kapcsolódó veszteségek hosszútávon veszélyeztetik a mezőgazdasági termelést, emiatt nő a tápanyagutánpótlást biztosító műtrágyafelhasználás is globálisan 2,2%-kal, ami magas költséget jelent a földhasználók számára (Borrelli *et al.*, 2020). A növekvő élelmiszerárak miatt hatékony mérséklési folyamat kell, ami azonban ha túl szigorú destabilizálhatja a legfontosabb agrártermékek árait és ellátási láncait, mely már ismertén növeli az alultápláltságot, ami mellett a FAO 2022-ben kiadott jelentése szerint rekord magas a gabona, a növényiolaj és a hús ár (Mavroeidis *et al.*, 2022). A Párizsi Egyezményben a globális hőmérséklet emelkedést 1,5 fokban határozták meg, mely az élelmiszerrendszer átalakulását jelenti, annak érdekében, hogy egészséges étrendet lehessen

biztosítani fenntarthatóan (MacDiarmid and Whybrow, 2019). A növekvő hőmérséklet ellenére a globális élelmiszerkibocsátást 70%-kal kell növelni, hogy kielégítse a gyarapodó népesség igényét, pedig a hőstressz korlátozza a haszonnövényeket a gyarapodásban (Hassan et al., 2021,).

A közvetlen kibocsájtók a traktorok és az önjáró gépek, melyek üzemanyagfogyasztása csökkenhet a forgatás nélküli talajműveléssel és közvetlen vetéssel, amik akár 35,3-42%-kal csökkentik a szén-dioxid kibocsájtást, hiszen 3,8-szor alacsonyabb a fogyasztás (Holka et al., 2022).

Az öntözött területek a kétszeresére nőttek, ma összes 341 millió hektárt érint, ami az előrejelzések szerint megduplázódhat elérve 800 millió hektárt, azonban a víznek és a földnek korlátozott (Rosa, 2022). Az agrárium bár oka, de kárvallottja is a felmelegedésnek a növények instabil telelési körülményei, a kártevők fokozódása, és az invazív fajok terjedése miatt (Holka et al., 2022).

A globális felmelegedés a termények tápértékét veszélyezteti a hőingadozás és az abiotikus stressz által, hiszen a cukrok, és antioxidánsok termelése eltolódik (Bisbis et al., 2019). A fenntartható mezőgazdaság jelenti a stabil környezetet, a biztos bevételt, és méltányosságot szociálisan, amik kölcsönösen függenek egymástól (Liao et al., 2020). Az élelmiszer biztosítása globális kihívás, mely komolyan befolyásolja az energiaforrás és a víz keresletét és kínálatát (Jemai et al., 2022). Az alkalmazkodás szükségszerű, például a városokban az urbanizált környezetben a vertikális farmok, mint a jövő kertészetei (Januszkiewicz and Jarmusz, 2017). Az üvegházak termelési alkalmazása a kihívásokkal teli környezetben jelentősen megnőtt, az éghajlatváltozás megoldása érdekében (Jemai et al., 2022). Az üvegház előnye, hogy a környezeti paraméterek, mint fény, hőmérséklet, víz, műtrágya jobban hasznosul a fejlett technológia és automatizálás segítségével például a hidropóniában (Koukounaras, 2021). A fenntartható mezőgazdaság kialakításához javasolt megoldás a zárt termesztés, az üvegházak (Liao et al., 2020). A hagyományos mezőgazdasággal szemben a hidropóniás termesztésben nem szennyeződik a talaj a sok peszticiddal, gyomirtóval vegyi anyagokkal (Pomoni et al., 2023).

3.3 A zárt technológiás rendszerek története, és típusaik

Az elmúlt években kialakult az üvegházipar lehetővé teszi, hogy egész évben termeljen, amellet a fenntarthatóság kérdésének a megoldása lehet (Karanisa *et al.*, 2022). A növénytermesztésben a védett előállítás legkorábbi feljegyzése a Tibériusz császár számára előállított Cucumis (uborka), miket a hideg éjszakákon védett házakba, a Speculariába helyeztek el (Nemali, 2022). Olaszországból terjedt el Európa palotáin és villáin keresztül a zárt termelés az üveg miatt a 15-ik században, mellyel lett biztosítva a fény, és amit a gazdag amerikaiak Philadelphia területén is használtak a 17-ik században (Beranek *et al.*, 2009). Franciországbán a 17-ik és 18-ik században a narancsfákat cserépben termesztették, és télen ezeket bevitték olyan magas falú, nagy déli tájolású üveglakkal rendelkező épületekbe, amik lehetővé tették a napfény jelenlétét, megvédve ezáltal a hidegtől, amiket narancsháznak hívtak (Nemali, 2022). Európában nagy kovácsoltvas szerkezeteket építettek például Cheswikben (1840) a más országokból gyűjtött trópusi növények számára, továbbá a 18. és 19. századi szerkezeti fejlődés jelentős hatással volt a 20-ik századi üvegházakra (Nemali, 2022).

Az 1800-as évektől van feljegyzés a geotermikus hő agráriumban való hasznosítására Izlandon, ahol az első ismert geotermikus üvegház 1924-ben építették (Butrico and Kaplan, 2018). Európában bővül az üvegházi termesztés az elmúlt évtizedben, hiszen rendkívül versenyképes mezőgazdasági ágazatnak bizonyul (Von Elsner *et al.*, 2000).

Az üvegházak alak, méret és környezetszabályozás alapján különböztethetnek meg, és a költség által így sorolhatóak be (Ashok and Sujitha, 2021). Az alacsony költségű, melyet főleg arra használnak, hogy megvédjék a növényt, a szél, a hideg, a túlzott napsütés, a rovarok és a betegségek ellen (Chauhan *et al.*, 2017).

A közepes költségűek kompromisszumot jelentenek a produktivitás és a költségek között, melyek így jó környezeti és gazdasági állapotot jelentenek az agrárium számára, hatékonyabbak a nyílt művelésnél, automatizálást is használva, műanyag fóliával vagy üveggel borítottak (Dalai, 2020).

A magas költségűek teljesen automatizáltak és ellenőrzött környezetűek a vezérlők által szabályozott hőmérséklettel, páratartalommal és vízháztartással (Ashok and Sujitha, 2021). A műanyagfóliák, amik polietilénből, polivinil-kloridból és poliszterből készülhetnek, rövid idejű használhatóságuk hátrány, viszont olcsóságuk miatt gyakoriak (Dalai, 2020). Az üveg előnye fedőanyagként, az alacsonyabb páratartalom, a betegségmegelőzés, a nagyobb belső fényintenzitás, ami minőséget eredményez (Dalai, 2020).

Az üvegházon belül a klíma, a műtrágyák, a vetőmagminőség kezelés, a kártevők elleni védekezés, az öntözés, a fény, a páratartalom, a szén-dioxid koncentráció, a légáramlás növénytermesztési tényezők (Ashok and Sujitha, 2021).

Az optimális fényáteresztés biztosítása érdekében a burkolóanyagoknak tisztának kell lenniük és olcsónak, tartósnak, amire a legjobb az üveg, de a szerkezet drága, ami miatt a fólia a legnépszerűbb fedőanyag (Dalai, 2020).

3.4 A hidropóniás rendszerek jelentősége típusaik

A hidropónia szó a görög eredetű, "hydro",-víz-, és a "ponics",-munka-, mely azt a folyamatot jelenti, hogy a növények által igényelt mikro-, és makróelemek, a víz segítségével a tápanyagok eljuttatását jelenti (Dubey and Nain, 2020). A hidropóniás gazdálkodásnak nincs szüksége talajra, hogy élelmiszer előállításához a hagyományossal szemben, a növényeket mesterséges vagy természetes közegben vannak, ahol azok a gyökereikön keresztül felszívják a tápoldatban lévő tápanyagokat (Velazquez-Gonzalez et al., 2022). A hidropóniával nagyobb a lehetőség a friss, minőségi táplálkozásra,-ami fogyasztóbarát-, amellet a tradicionális mezőgazdaság negatív hatásai is mérsékelhetőek, mint magas és nem hatékony vízfelhasználás, talajerózió, peszticidok, és a területi igény nagysága (Jan et al., 2020). A növények lehetnek tartályokban vagy edényekben, melyekben kavicsot, homokot, vagy más ültetési közeget használhatnak, itt a növények mentesülnek a szennyeződéstől, gyorsabban növekednek, és egész évben termesztethetőek, hatékony tápanyagfelhasználás, és a könnyebb felügyelet mellett (Setiawan *et al.*, 2022). Ezen termesztésben a növények gyökerei a tápoldatban vannak, ezáltal gyorsabban tudják felvenni a szántóföldiekhez képest az értékes elemeket és intenzívebb a levél- és szárnövekedés (Avgoustaki and Xydis, 2020). A hidropónikus rendszerek két nagy részre oszthatók: a nyílt rendszerek, -melyek a tápoldatot közvetlenül a gyökerekhez juttatják egyszer használva-, és a zárt rendszerek, melyekben a tápoldat újrahasznosul (Cifuentes-Torres *et al.*, 2021).

A főbb hidropóniás típusokból hét féle van, ezeket alapvetően az különbözteti meg, hogy a tápoldatot hogyan juttatják a növény gyökerére (Stegelmeier *et al.*, 2022).

A wick vagy passzív rendszerben nem kerül sor a tápanyag újrahasznosítására, amely a növény gyökérrendszerén és a szubsztrátumon keresztül kapillárisok által hasznosul-, és hosszú élettartamú növényekhez nem ajánlott, bár költséghatékony főleg kisüzemek használják (Cifuentes-Torres *et al.*, 2021).

A csepegtető rendszer az elsődleges hidropónikus módszer, melyet a kereskedelemben hasznosítanak például paradicsom, uborka, eper, melyek szubsztrátban (közeggyapot, kókuszrost) vannak, amelyekbe a tápoldatot átszivattyúzzák naponta többször a célra kialakított tartályból vékony polietilén csövön keresztül egy csepegtető tűske segítségével (Stegelmeier *et al.*, 2022).

A módszer paprika és paradicsomra legalkalmasabb (Velazquez-Gonzalez *et al.*, 2022). A legelterjedtebb a zárt hidropóniás rendszer a "Nutrien Film Technique", melynél a tápoldat vékony rétegét a gyökerekhez juttatják a szükséges oxigénnel együtt, mely többféle közegben van nyitott és zárt rendszerben egyaránt (Cifuentes-Torres *et al.*, 2021.).

Bár az NFT kevesebb tápanyagot igényel, mégis több alkatrész kell hozzá, a a tápoldat a gravitáció, valamint az áramlás hatására visszakerül a tartályba.⁵²⁸ Az "Ebb and Flow" módszer, vagy más néven ár-apály technológia az egyik leggyakrabban használt hidropónia, melyben a rendszer tápközeget tápoldatokkal töltik fel (Velazquez-Gonzalez *et al.*, 2022). A növényeket egy tálcára helyezik és időnként feltöltik tápoldattal a tározóból, melyet a gravitációt felhasználva a visszavezetetik újrahasznosításra (Velazquez-Gonzalez *et al.*, 2022.). Az aeroponikus rendszerben, köd formájában kapják a növények, amit a gyökereiken szívnak fel az erre kialakított permetező eszközökön keresztül (Dubey and Nain, 2020).

Az aeroponikus rendszer zárt, valószínűleg a leginkább csúcstechnológiás hidropónikus rendszer (EI-Kazzaz, 2017). A növényeknek meghatározott hőmérsékleti spektrumra van igényük az optimális növekedésért, ezért szükséges mind a környezet és a tápoldat hőmérsékletét szabályozni (Dubey and Nain, 2020). A mikroklíma-szabályzó rendszer a levegő hőmérsékletéért és relatív páratartalomért is felelős (Nikolov *et al.*, 2023). A hidropónikus gazdálkodásban a víz hőmérséklet növekedésével csökken a benne oldott oxigén mennyisége, mely oxigénhiányossá teszi azt, ezért fontos a víz hőmérsékletének megtartása és fenntartása (Dubey and Nain, 2020). A hidropónikus növényeknek a víz normál hőmérséklete 18-28 celsius-fok között van (Azhari *et al.*, 2022). A hidropónikus termesztésben külön táptartály szükséges, mely a víztartályhoz van kötve, benne a növényeknek szükséges tápanyagokkal a növekedéshez, és automata géphez csatlakoztatva (Stegelmeier *et al.*, 2022).

További szivattyúk használhatók minden tartályhoz szükség esetén (Nikolov *et al.*, 2023). A hidropónikus termelésben a legszignifikánsabb pont a pH, bár vannak savas és lúgos környezetet kedvelő speciális esetek, a növényeknek 5,5-6 között van a jó pH érték. Az

optimális növekedés érdekében megfelelő kell kezelni a pH-t és az EC-t, amely az elektromos vezetőképesség (Nikolov *et al.*, 2023).

A növekedéshez fontos a fűtés, ha a külső körülmények rosszak a növény számára, akkor a termék belső levegőjén keresztül történik a hő átadása (Avgoustaki and Xydis, 2020). A hőmérséklet és a relatív páratartalom egyszerre irányítható paraméterek és összefüggenek, mely a növény növekedését befolyásolja, hiszen ez biztosítja a fiatal levelek kitágulását a hőmérséklet által, míg a megnövekedett páratartalom a zárt üvegházakban segíti párologtatás problémáit (Guarino *et al.*, 2022). A levegőnedvesség, ami nappali értéke 80-90% relatív páratartalom, míg éjszaka 65-75%-os az ajánlott (Guarino *et al.*, 2022). A növénytermesztésben a termés biztonsága érdekében igényelt fény hullámhosszának megfelelően a LED által történik, amely hatékony és energiafelhasználása miatt kevesebb energiát kell használni a hűtésre az üvegházaknak (Kobayashi *et al.*, 2013).

3.5 Fehérjenövények termesztése lehetősége hidropóniás rendszerekben

Az Egyesült Nemzetek és az Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezet célja, hogy az alternatív növénytermesztési módszerek mint a lokális előállítású növények például hüvelyesek, valamint a hidroponika és algatermesztés, ami a sejtalapú mezőgazdaság: gomba, mikroalga és baktérium alapú (Karavidas *et al.*). A bab (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Morelda, Monsanto, Hollandia) kőzetgyapotkockában való kikelés után szét lett ültetve NFT helyre, és a műtrágyázási rendszer zártan működött, amely rendszerben történő víz és tápanyag oldat felvételét programozottan lett irányítva, amelyben a műtrágyafejegyység a tápgyűjtőtartályokba került (Neocleous *et al.*, 2020). A hidropónikus takarmányelőállítás a kérődzők számára lehetőség, hiszen egész évben előállítható rövid idő, mindösszesen 6-10 nap alatt és fentartható, fehérjében, ásványi anyagokban bővelkedő és javítja a tejtermelést, és ez a hagyományos termelés korlátozottságához képest termesztethető városi területeken (Ghorbel and Koşum, 2022). A szójabab képes a légköri nitrogén megkötésére a rhizóbium baktériumok segítségével, például a *Bradyrhizobium japonicum*, amely miatt az "Európai Űrügynökség pro-ject MELISSA-Micro-Ecological Life Support System Alternative-BLSS-ben" hidropónikus előállításra javasolt, hiszen magas a fehérje benne (Paradiso *et al.*, 2014.). A hidropóniás termesztésben lévő babnövényekben a megfelelő rhizóba tarsítással (foszfor addícióval) javítható a nitrogén rögzítés és a termés hozam, ugyanakkor a talaj nélküli növénytermesztési rendszerek "mikrobiológiai vákum"-mal vannak (Kontopoulou *et al.*, 2015). Ahhoz, hogy a megfelelő fajtát lehessen ajánlani a hidropóniás termesztéshez a közönséges bab fajtái közül

még további kutatásokra van szükség, amivel maximalizálható a hozam és a genetikai potenciál, hogy a legjobb termesztést szolgáló készítményt lehessen választani (Subandi *et al.*, 2022). A hidropónikus zöldtakarmány előállításában a gabona az energia, még a hüvelyesek a fehérjét növeli, ám a ilyen típusú takarmány magas víztartalma és mérsékelt szárazanyagtartalma miatt kérdéses, ami az állategészségre hatással van (Soufan, 2023).

A verikomposzt teát (VCT) hidropónikus szubsztrátként tesztelték, mivel nagy szükség van biológiailag lebomló közegre, és a juharborsó (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) biomasszáját növelte, segítette a nitrogénfelvételt, miközben Enterobacteriaceae, Pseudomonadaceae, Flavobacteriaceae jelenléte van a borsó inter-rhizoszférájában (Jiang *et al.*, 2023). Az akvapónikus termesztés a saláta és a kukorica számára az ideális a Knop-féle tápanyagpótlásnál, addig a borsó (*P. sativum*) a hidropónikus rendszerben ért el szintén a Knop-oldaton a legnagyobb gyarapodást (Tomov *et al.*, 2021).

Emberi növényfehérjeforrás hagyományosan a bab, a borsó, a szójabab, amik mellett új a rovar és algafehérje, továbbá sz agráripari melléktermékekből származó az étolaj (Langyan *et al.*, 2022).

A szójabab hidropóniás termesztésben a kedvezőtlen környezet ellenére is tud fehérjeforrás lenni, hiszen a hidropóniában vizet lehet megtakarítani, szabályozott környezettel növelve a termelékenységét, mely mellett a hidropónia gátolja a növényfertőzést (Palermo *et al.*, 2012). A szójabab a Fabaceae családba tartozó, az egyik legrégebb óta termesztett növény, ami hüvelyes és a melléktermékei is hasznosíthatóak, hiszen a szegény ember húsaként magas fehérjetartalommal (37-48%) rendelkezik (Bagale, 2021). A fehérjében gazdag a közönséges bab, amit világszerte termesztnek inkább a fejlődő országokban, ami szintén az emberi táplálkozás értékes része, aminek a termelését duplázni kellene 2050-ig a kereslet emelkedése miatt (Javornik *et al.*, 2023).

A talajnélküli gazdálkodásban használható a zab, a cirok, a kukorica, a (tehén)borsó (cowpea), búza (Ghorbel *et al.* 2022). A hidropóniás takarmányelőállításban a gabonafélék és a hüvelyesek sikeresen termesztethetők alacsony költségen a földnélküli tejtermelőknek, hiszen 5 napon belül a biomasszahozam kiváló (Murthy *et al.*, 2017).

3.6 A megvilágítás jelentősége a zárt rendszerekben

Az üvegházak lehetőség az klímaváltozásra, a növények gyarapodáshoz a fényforrásokat: LED-eket fejlesztettek ki (Darko *et al.*, 2014). Az üvegházi növények fényigényét nehéz kielégíteni, a burkolóanyagok, a napszög miatt, ami által a gyengének tűnhet az üvegházi fény, télen, esős

évszakokban, mégis a fény biztosítja az energiát a fotoszintézishez, ami elengedhetetlen a növényi gyarapodáshoz (Xin *et al.*, 2019). A fényminőség komplexen hat a növényekre, hiszen a befolyásolja a növekedést és génexpresszióra is a fotoreceptorokon keresztül, és a fényminőség, a periódus, eloszlása és intenzitása alkotja (Gao *et al.*, 2022). A fény hullámhosszának az egyensúlyától függ a növények növekedése, a kék fényt a lombozat növekedéséhez és a vörös fényt a virágzáshoz valamint a terméshez (Danila and Lucache, 2016). A fénytelítettségi pont, ami a hőmérséklet és a CO₂ koncentráció által közrehatott, és az üvegházi vezérlés szempontjából fontos (Xin *et al.*, 2019). A növények fotoszintetikus energiatermelési folyamata a kloroplaszt részein a kloroplasztisz tilakoid membránján zajlik a víz bontásán keresztül, -ami oxigén elektron és proton-, történik és ami az életet fenntartja a Földön, biztosítva a légzéshez az oxigént, az ételt, sőt ennek eredménye a fosszilis üzemanyag is (Johnson, 2016). A biomassa és az asszimilált szén felhalmozódása révén a fotoszintetikus aktivitás kapcsolódik a termelékenységhöz és a hozamhoz (Lima-Melo *et al.*). A fejlett zárt termelésben LED-ek lettek a leghatékonyabb és legjobban hasznosítható világítási rendszerek, melyek számos tulajdonsággal rendelkeznek, mint az alacsony hő, hosszú időtartam és a reakcióképesség, melyek segítik a növényi termelést (Proietti *et al.*, 2021). A magas termelékenységhöz szükséges fotonfluencia érdekében fénycsőket alkalmaznak, amelyek fokozott piros és kék spektrumon bocsátják ki a növény számára szükséges energiát (Darko *et al.*, 2014). A PAR a fotoszintetikus aktív sugázmérés, mely a másodpercnkénti fotonok számában fejezi ki (Danila and Lucache, 2016). A PPF/W, ami a fotoszintézis aktív tartományán lévő fotonokat teljes számát jelenti (Danila and Lucache, 2016). A kék fény részt vesz a fototropizmus, a morfogenezis, a sztomatikus nyílás és levél fotoszintetikus működésében (Tarakanov *et al.*, 2022). A fotoreceptorok érzékeli az UV-t, UV-A (315-380nm) és az UV-B (280-315 nm), továbbá ezen molekuláknak nagyon fontos a fényintenzitás nagysága, az alacsonyabb intenzitású aktiválásuk miatt (Tarakanov *et al.*, 2022). A növények fotoszintézisét és növekedését befolyásoló tényező a fotoperiódus, a fényintenzitás, elhelyezkedésük, a spektrális eloszlás, a fényintegrál, a fény elérhetősége a levelek számára (Vänninen *et al.*, 2010). A villamosenergiafogyasztás 70-80%-át adják ki a világítási költségek (Gao *et al.*, 2020). A LED mivel nem ég ki, csak csökken az intenzitása, ezért az eredeti 70%-ig használják (Paradiso and Proietti, 2022). A LED-ek többsége a maximum fotonfluxus sűrűséggel rendelkeznek az adott hullámsávban, emellett alacsony szóróbázisúak 100 nm léptékben. Az üvegházak a fényhiányt pótlására használják a kiegészítő világítást, ami jelentős

költségnövekedéssel jár, amit mérsékelni tud a LED energiahatékonysága, és alacsony karbantartási igénye, valamint a hosszú élettartama (Wang, Xu and Wei, 2018).

3.7 A tápoldatozás jelentősége a zárt rendszerekben

A tápanyagutánpótlással szorosan összefügg a növények fiziológiája (Ding *et al.*, 2018). A zárt rendszerekben a növényeket korlátozott gyökérzónában termesztik (Langenfeld *et al.*, 2022). A víz minősége is befolyásolja a növekedést, legyen akár csapvíz, vagy esővíz az üvegház tetejéről, tartalmaz szerves és szervetlen anyagokat, és a víz fontos tényezője a technológia alkalmazásának (Sonneveld and Voogt, 2009). A csapvíz, ha nem tartalmaz bórt, nehézfémeket, sok nátriumot, használható, (illetve tisztítható fordított ozmózissal RO), ahogy azon vízforrások is, melyek a műtrágyaszivárgás miatt mikroelem tartalmúak, amit figyelembe kell venni az oldat elkészítésekor (Langenfeld *et al.*, 2022). Az üvegházi termesztésben a tápanyagok műtrágyán keresztül történnek, amit vízzel kevernek, mely gyakran tartalmaz ásványi anyagok maradék sót, amit tápanyagként lehet számolni (Sonneveld and Voogt, 2009). A pH a hidrogénionkoncentráció mértéke, amely mérőérték segíthet a víz lúgos eltolódását megoldani, ami az oldott karbonátok, és bikarbonátok mennyiségével növekszik, ami az vízben magasabb savtartalmat igényel, hogy a víz pH-ja elfogadható legyen. Az gyökérzóna pH értéke szabályozható, ammóniumnitrát és salétromsav segítségével, ami az aktív és passzív tápanyagfelvételre példa, és lehetőség a tudásalapú megközelítés megértésre, mik az alapelvek és pH, EC méréssel együtt, ami növeli a beltéri mezőgazdaság fentarthatóságát (Langenfeld *et al.*, 2022).

A pH szabályozás formája a savas lúgos oldatok hozzáadásával történik például a nitrogént ammónium és nitrát formájában használják, ha csak ammóniumot adnának hozzá a pH csökkenne, illetve emelkedne, ha csak nitrátot (Fussy and Papenbrock, 2022).

A magas EC gátolja tápanyagfelvételt, míg az alacsony befolyásolja a (Ding *et al.*, 2018).

A növényeknél a tápoldatozás esetében két rész van a tápanyagrendszer működése és a növények erre adott reakciója, melyben a tápoldat függ a növényi kultúrától, a felhasznált táptalajtól, a tartály méretétől (Fussy and Papenbrock, 2022).

A két törzsoldat tartályba a műtrágyák adagolandók adottan, amik mértékegysége makro esetén kg, mikro esetén gramm (Benko *et al.*, 2019). A pH beállításához szükséges savmennyiséget a bikarbonát határozza meg, ezért nagyon fontos és a nátrium is, hiszen a nátrium ion koncentrációja mutatja meg a tápoldat végső elektromos vezetőképességét (EC) (Benko, Karic and Gruda, 2019).

A tápoldat fontos célértékei: EC (dS-ben m⁻¹), pH, K-Ca-Mg szint (mmol/l), N szint benne a NH₄, NO₃ szint, mikroelemek koncentrációja, H₂PO₄ mmol /l-1. 838Az O₂ szint a gyökéraktivitást befolyásolja a tápanyagfelvételben, a tápoldaton keresztüli levegőbuborékokon, ami függ a hőmérséklettől (Benko et al., 2019).

3.8 A szakirodalmi fejezet főbb megállapításai

Az első fejezetben a borsó globális pozícióját vettem át, hogy globális növény, a hüvelyesek családjába tartozik, rövidnappalos, és kiváló fehérjeforrás. A nitrogénfixációja miatt a vetésváltásban jelentős talajjavító hatású. A fejezetben továbbá bemutattam, hogy a főbb borsótermelő vidékek, országok például Kanada, Amerikai Egyesült Államok, Franciaország és Európában jelentős termelő Lengyelország és Németország is, emellett a Boundelle mint borsófeldolgozó. A második fejezetben a klímaváltozás problémáját mutattam be, hogyan hat, és milyen megoldási lehetőségek van az agrárium számára, mint a zárt termesztés, a no-till, az öntözés. A fejezetben a klímaváltozás hatásai, mint az aszály, a hőhullám, a hőstressz, a talajerózió, az élelmiszerbiztonság hektikussá válása, az élelmiszerhiány, az alultápláltság hatásaira adható válasz lehet a zárt termesztés, mely egyik formája a hidropónia. A harmadik fejezetbe a zárt termesztés történetét dolgoztam fel, a római kortól napjainkig, és bemutattam az üvegházak anyagait, paramétereit, általánosan. Európában, és a világban a fóliás termesztés a legelterjedtebb alacsony költsége miatt. A zárt termesztés egyik formája a hidropónia. Az ötödik fejezetben a hidropóniás rendszereket mutattam be, mint NFT vagy Aeroponia, és a hidropónia általános működését, ami a talaj nélküli növénytermesztést jelent. A hidropóniában a csepegtető rendszerekben, melyek a legelterjedtebb hidropóniás rendszerek főleg paprikát, paradicsomot, uborkát termesztenek benne. A ötödik fejezetben bemutattam a fehérjenövények hidropóniás termesztési lehetőségét, például Indiában, ahol a kis farmerek föld hiányában így biztosítanak a tehenüknek friss takarmányt hosszú ideje. A fehérjenövények, mint borsó, szójabab, bab, csicseriborsó termesztése hidropóniásan jelen van, főleg állati takarmány fehérjearány javításaként. A hatodik fejezetbe bemutattam a fény hatását a növényekre, és ezáltal, hogy miért fontos a fény és a 400-700 nm PAS. A hidropóniásban a növényi megvilágítás eszköze a legelterjedtebb a LED. A hetedik fejezetben bemutattam a tápoldat jelentőségét, hogy milyen makro- és mikroelemek vannak, mi az EC, a pH jelentősége a növényi tápoldatban és a víz.

4. Anyag és Módszer

4.1 A vizsgálat helyszínének bemutatása

A MATE Genetika kísérleti terén (kép 1.) történt a mérés 3 darab speciálisan erre a célra épített hidropóniás rendszert tartalmazó konténerben, ahol különböző növényeket termesztettek, mint *borsó*, *szója*, *csillagfürt*, *bab*. A konténernek *fém*ből készült a fala, ami *zárt*, nem volt fényáteresztés (kép2). A kísérlet 2023.07.19. és 2023.09.27. között volt beállítva.



kép 1. *A kísérleti konténerek a borsóval*



kép 2: *A kísérleti hidropóniás borsó más növényekkel*

4.2 Mért paraméterek bemutatása

A növényfiziológiai méréseket *SPAD*, *Flourpen*, és *mérőszalag* segítségével végeztük.

A klorofilaktivitás mérése

A *SPAD-502Plus* eszköz a leveleket méri, amely a tápanyaggazdálkodáshoz segít. A leveleket a *SPAD* eszközt ráhelyezve folyt a mérés az értékek leolvasásával. A *SPAD*, mint klorofilanalizátor a levélben található klorofilltartalmat méri, a klorofil, és a klorofil-b molekulákat az adott levélben, ami a vizsgált növényen van. A mérés egy-től két másodpercig tart (kép 3.), mely során a vörös (650 nm) és az infravörös (940 nm) intenzitás arányából állítódik ki a *SPAD-index*. A *SPAD* a *Soil Plant Analysis Development* szavak kezdőbetűiből áll.



kép3.SPAD mérés borsón

A **T** a transzmissziós érték. Az **A** az abszorpciós érték. A *SPAD index* párhuzamosan követi a klorofill koncentrációt a növényeknél. A transzmissziós érték az átmenő és a beeső fény spektrumának hányadosa, ez a fény a levél sejtjein átmegy. Az index érték, amely növényfajtára jellemző és az adott mérésnél következtetni lehet az eltérésekből, ha vannak a tápanyag és egyéb fiziológiai problémákra. A klorofill részeken keresztül folyik a fotoszintézis, és ez befolyásolja az anyagcserét, hiszen az szorosan összefügg a fényfelvétellel, ezáltal az egész növény állapotával, ami adatot szolgáltat, mivel a klorofiltratalom korrelál a *Nitrogén* tartalommal, ami a növény növekedésével. A *SPAD 502 Plus* mérés detektálja az adott növény

levelében lévő folyamatok differenciáit, és ezen adatokból állítja elő azt az index számértéket, ami $-9,9-199$ között lehet, ám a gyakorlatban ez $0-50$ -es értéket lehet várni. A klorofill tartalom mérés azért fontos, mert a növény minden fontos fázisában jelen van és referenciaként állítható be. A készülék egy kiugró mérési eszköze elég arra, hogy a levél egy részét az eszköz két része közé fogják, és indexált értéket lehessen számoltatni vele. Ezekből az értékekből egy korrelációs trend miatt, egy teljesítmény függvény állítható fel. A klorofill és klorofill b mennyiségének az értéke a fény elnyelődésével azonos, a korrelációt használják, hiszen így biztos, hogy a számításokban az összefüggések lehetősége ott van. A sejten belüli ionháztartás és a sejtközi tér minden levélben és levélsejtben más, ezért lehet csak korreláló értéket és függvényt felállítani.

A fluoresszencia mérése

A másik a fotoszintézishez kapcsolódó mérési eszköz a *FlourPen*. A FlourPen (kép 4.) egy *fluorometer*, ami a növény fluoresszenciaaktivitását méri, és a klorofillaktivitást is. Ez a fotoszintézis azon része, ami a PAR a fotoszintetikusan aktív tartományban van, ami 400-700 nm-ig van. A PAR a fotoszintetikus fotonfluxussűrűségben PPFD-ben mérhető, ami azt jelenti, hogy a fotonok egységnyi időben egységnyi felületen nyelődik el. A műszer érzékelője a 400-700 nm-es hullámsávban mér.



kép 4.: *FlourPen mérés borsón*

A mérés előtt a levelekre, fel kellett helyezni egy sötétadaptációs eszközt. A felhelyezés után történt a mérés, melyek előtt a felhelyezett eszközön van egy kis elhúzható rész (kép5.), amely segítségével a növény levele a sötétadaptáció után azonnal mérhető.



Kép5.: Sötétadaptációs eszköz borsón

A mért adatokat a *FlourPen 1.1* szoftver segítségével lehet feldolgozni és kézzel lehet rögzíteni. A *FlourPen 1.1* szoftver segítségével az adatokat a Windows rendszer által kimutatható és ábrázolható görbén keresztül lehet megadni. A mérésnél a magasságmérés volt, ami egy mérőszalag segítségével, a növény talajszint feletti mérete lett detektálva centiméterben és milliméterben. A füzetbe lett vezetve a mérési eredmények, amit táblázatban segített felvinni a konzulensem.

4.3 Az alkalmazott megvilágítás típusai

Három különböző fényforrás típust alkalmaztunk, amit Normál LED, Kertészeti LED és Fénycső néven említek a dolgozatomban. A *Normál LED*-ként a PROF 50W COB LED került felhasználásra. A Hortilux Hortiled MultiFusion volt a *Kertészeti LED* lámpa. A *Fénycső*, amely alkalmazva volt a Sylwania GrowLux T8.



kép 6: A Normál LED a PROF COB LED a borsó felett

A *Normál LED* a PROF COB LED (kép6.) hagyományos hálózaton is működik. Van benne egy COB chip, ami segítségével teljes spektrumon tud világítani. Hővezető és hőálló szilikon burkolattal van bevonva. A névleges teljesítménye 50 W. Működés közben jelentős a chip hőterhelése, ezért ajánlott hővezető pasztával hűtőfelületre csavarozni. Fényereje 3000 Lumen. Hatékonysága 60 Lumen/W. Képes a teljes PAR tartományt előállítani: 380 nm-től 840 nm-ig terjed a spektrum, melyen tud világítani. Mérete 60x40 mm. A chip 25x25 mm-es területű. Működhet 12-14 V és 230 V feszültségen.



kép 7: *A Kertészeti LED a Hortilux Hortiled MultiFusion a borsó felett*

A Hortilux Hortiled MultiFusion (kép 7.) a *Kertészeti LED* lámpa, egy holland termék a HORTILUX cég terméke. A lámpa nagy fényintenzitású és energiatakarékos. Sok fényforrást csatlakoztat egymáshoz, amely elrendezés optimális fényelosztást tud biztosítani az üvegház vagy a termesztői terület egész területén. Az alacsony hőkisugárzás csökkenti az üvegház légcserélési szükségletét, így a kialakítása energiamegtakarítást jelent. A PAR spektrumon működik, 230V-as hálózaton. Egyedi fényprogram állítható be rajta.



kép 8: *A Fénycső a Sylvania GrowLux T8 a borsó felett*

A Fénycső a Sylvania GrowLux T8 (kép8.). Üzemi hőmérséklete -15 - +40 celsius fok. Teljesítménye 15 W és áramerőssége 0,31 A. A környezeti hőmérséklet a maximális fényszóráshoz 25 Celsius fok. 14000 óra az átlagos élettartama. A német *Sylvania* cég gyártja.

A fénycső hossza 450 mm. A kék és piros fény, illetve a teljes PAR tartományban sugárzásával segíti elő a növényi növekedést. Vezérlés szükséges hozzá. A megvilágítás: Folyamatos volt a növényi vegetációnak megfelelően A PAR spektrumon zajlott, és mivel több kísérlet zajlott egyszerre, így direkt megvilágításról nem volt mód, hanem annak vizsgálatára, hogy a megvilágítás, ami van, milyen hatással van a borsóra. A megvilágítás fotonfluxus sűrűség szerint a három konténerben 250 PPFD, 230 PPFD, 91 PPFD. A fényspektrum az első konténerben 21%kék 8%zöld 55% vörös 16% távoli vörös. A másodikban 22%kék, 8%zöld, 55% vörös, 15% távoli vörös. A harmadikban 24% kék, 9% zöld, 58% vörös, 17% távolivörös. Az első konténer volt a Normál LED, a második a Kertészeti LED, a harmadik a Fénycső.

4.4 A tápanyagellátás

A tápoldatot víz és az *Advanced Hydroponic Dutch Formula 1 Grow* (kép 9.), az *Advanced Hydroponic Dutch Formula 2 Bloom* és *Advanced Hydroponic Dutch Formula 3 Micro* műtrágyaoldatok által lett előállítva. Az *Advanced Hydroponic of Holland* egy holland cég, aminek a Dutch Formula egy termék családja, melyek a növény különböző fenológiai szakaszainál alkalmazható.



kép 9: Az *Advanced Hydroponic Dutch Formula 1 Grow* tápoldat



kép 10: Az *Advanced Hydroponic Dutch Formula 2 Bloom* tápoldat



kép 11: Az *Advanced Hydroponic Dutch Formula 3 Micro* tápoldat

A Grow adagolása 1 liter vízhez 1 ml az elején, majd a végén 2 ml. A generatív szakasz elején 2 ml/l a virágzás elején és a virágzás végénél 1 ml. További adagolás a virágzás végétől nem kell. A Bloom oldat adagolása a növekedési szakaszban 0,5 ml, aminek a vége felé 1 ml, majd a virágzás alatt 1 ml/l a virágzás végéig 2 ml/l. A termésérésnél 3 ml/l. A Micro tápoldat a növekedési szakasznál 05 ml/l szükséges majd végig 1 ml. A tápoldathoz hozzáadható Stimmulátor, Enzymes+, és más oldatok, ha szükséges. A pH érték a hidropóniás termesztésnél

5,8 és az EC 1,5 mS/cm. A 1 Grow hatóanyag tartalma 2,7 % Nitrogén, a Foszfor tartalma 1,93%, Kálium tartalma 6,54%. A 2 Bloom (kép 11.) hatóanyag tartalma: 2,24 % N, P tartalma 2,31%, K tartalma 6,74%. A 3 Micro (kép10.) oldat EK műtrágyaoldat, aminek a hatóanyagtartalma a következő: N 7,22%, kálium 7,23%, Kalcium 4,81%, Bór (B) 0,012%, Réz (Cu) 0,01 %, Vas (Fe) 0,071 %, Mangán (Mn) 0,021 %, Molibdén (Mn) 0,003 %, Cink (Zn) 0,018 %. A vizet az oldathoz a kísérleti térből vezetéken keresztül kapja a konténerben lévő tápoldat, amit szivattyú segítségével juttattak ki csepegtető csövön keresztül, ami 6mm átmérőjű.



kép 12: A borsó hidropóniás agyaggolyóágyás csepegtetőtüskével és csővel

A csepegtető csövek végén leszűrő tüske van, aminek a segítségével a csövön keresztül a tápoldat a növény gyökeréhez (kép 12.) kerül. A tüske agyaggolyó ágyba kerül 2-4 cm mélyre, ami kiváló aljzat, hiszen a vizet jól tárolják, és szellőzik, illetve hosszú ideig fenntartja a nedvességet az agyaggolyó ágyás.

4.5 A támasztóközeg bemutatása

Az agyaggolyók körülbelül 6-10 mm átmérőjűek. Az agyaggolyók egy műanyagtálcán lévő szögletes cserépben voltak (kép 13.), amikben a növények csoportosan voltak. Egy cserépben 4, 5, 6 növény volt. A cserép magasztított szegéllyel rendelkezett.

A növények növekedése közben műanyagmadzag (kép.14) segítségével hajtották, ami a cserépnek is helyt biztosító állványzathoz rögzítettek. A növényeket természetességét vizsgáltam (kép15.), már ültetés után. A növény *Pisum sativum* Lcv. Kleine Rheinlanderin, aminek a fajta tulajdonosa Royal Sluis (Enkhuizen, Hollandia).



kép 13: Az agyaggolyóágyás csepegtetővel



kép 14: A borsó FlourPen mérés közben látható a tartó madzag



kép 15: A borsó hidropóniás agyaggolyóágyás csepegtetőtüskével és csővel kezdeti fázisban

4.6 A környezeti változók szabályozása

A klímát a GREE vállalat GWH12QC-K6DNA1D/0 modellű klímaberendezés (kép.16) volt. A névleges feszültség 220-240V. A névleges frekvencia 50 Hz. A hűtő teljesítménye 3500W. A CO₂ egyenérték 0,47 tonnes. Az eszköz fűtőteljesítménye 3670W. A klímaberendezés távirányítóval működtethető volt, több hőmérséklet is állított volt 22, 25 és 20 fok között voltak állítva. Az eszközhöz az áram a kísérleti térből jött (kép 15.). Hőmérsékleti beállítása növény feltételezett szükségletének megfelelően és mivel több kísérlet zajlott egyszerre így a kísérletben a növény maga került vizsgálatra, hogy lehet-e e termelni, így a közös programban beállított klimatikus viszony: 20 celsius fok +-2 fok, páratartalom 75%, CO₂ ppm 400-600.



kép16:A klímaberendezés külső szellőzője, és az áramvezeték a konténeren.

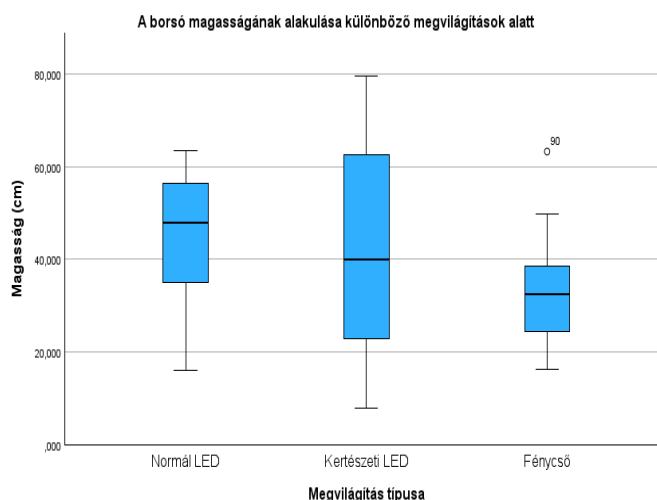


kép 17: A klímaberendezkedés a konténeren belül

5. Eredmények és megvitatásuk

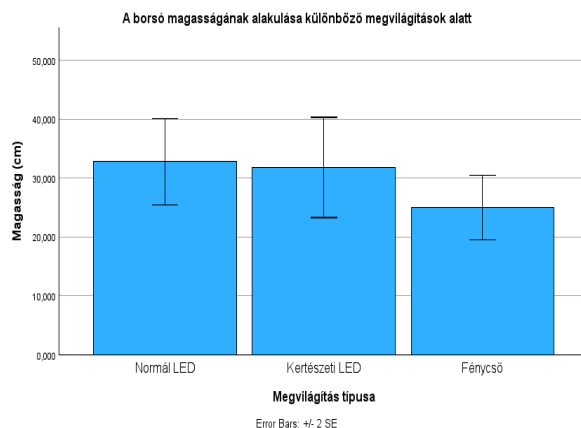
5.1 A borsó magasságának változása

A magasságvizsgálatok során szignifikáns különbséget találtunk a különböző megvilágítás alatt növekedő borsó növények tekintetében [$F(2, 72) = 3,398, p = 0,039$].



1. ábra: A borsó magasságának alakulása különböző megvilágítás alatt

Az 1. ábrán látható értékekből leolvasható, hogy a *Kertészeti LED*-nél a legnagyobb a differencia a termesztett növények között. Ez valószínűleg a növény genetikai alapjából is fakad, vagyis az egyedi növénytermesztést vetíti előre, hogy az olyan egyedi adatokat tud biztosítani, ami a növény élettani folyamatairól egyedileg ad pontos értéket.



2. ábra: A borsó magasságának alakulása különböző megvilágítás alatt (összesítés és átlag)

Az 2-ik ábrán látható, hogy az átlagok alapján a LED-es megvilágítás alatt növekedtek a legjobban, ám a *Kertészeti LED*-nél a legnagyobb a differencia.

A kísérlet alatt mért eredmények alapján a borsó növény megvilágítás és a magasság korrelációja a következő:

1. táblázat: *Normál LED megvilágítás alatt a magasság alatt.*

Normál LED	Magasság(cm)
Átlag:	43,48
Szórás:	15,09
Minimum:	16,00
Maximum:	63,40
Medián:	37,2

Ahogy az 1.táblázatban látható a *Normál LED* által megvilágított növényeknél az *átlagmagasság* 43,48 cm $\pm$ 15,09 cm szórással méretett. A *maximum* értéke 63,4 cm még *minimum* értéke 16 cm. A medián értéke 37,2 cm (1.ábra). A többi eredményhez képest itt a legkisebb a minimum és maximum között érték 47,4 cm, amiből arra lehet következni, hogy a *Normál LED*-nél a legkisebb a növény növekedése potenciálisan, ami a tápanyag, fény és hőmérséklet beállításokból következhet (növekedő borsó növények tekintetében [F(2, 72) = 3,398, p = 0,039]), hiszen a *Normál LED*-nél a legkisebb a fényhullámközeg valószínűleg.

2. táblázat: *Kertészeti LED megvilágítás alatt a magasság alakulás*

Kertészeti LED	Magasság(cm)
Átlag:	42,97
Szórás:	20,75
Minimum:	7,90
Maximum:	79,60
Medián:	33,4

A 2.táblázatban látható *kertészeti LED* fényforrással megvilágított borsóknál az vertikális növekedésének átlagértéke 42,97 cm $\pm$ 20,75 cm szórás_mért adattal együtt. A minimum 7,9 centiméter-től a maximum 79,6 centiméterig történt a mérés. A medián 33,4 centiméter.

3. táblázat: *Fénycső megvilágítás alatt a magasság alakulása*

Fénycső	Magasság(cm)
<i>Átlag:</i>	32,83
<i>Szórás:</i>	11,74
<i>Minimum:</i>	16,20
<i>Maximum:</i>	63,25
<i>Medián:</i>	26,5

A 3-ik táblázatban olvasható a Fénycső bevilágítása alatti területen lévő *Pisum sativum* L. átlagértéke a magasságra 32,83 cm $\pm$ 11,74 cm értékű szórással közösen. A legkisebb értéke 16,2-től a 63,25 cm-ig mérődött a növény. A medián értéke 26,5 cm hosszú.

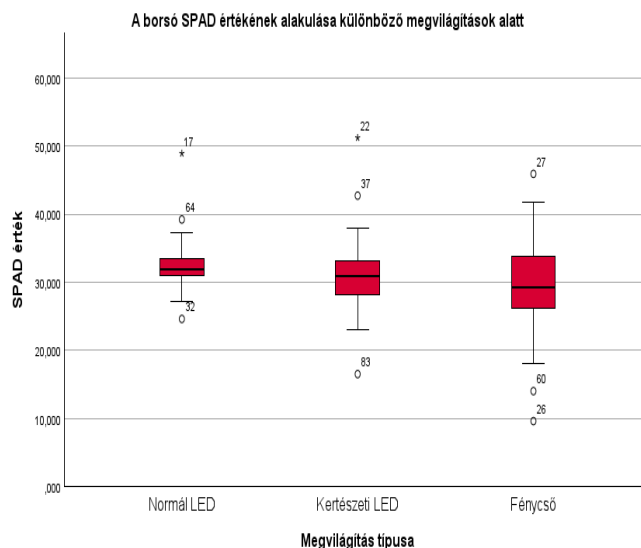
4. táblázat: *Az összes megvilágítási hely növényeinek a magasságának alakulása*

Összes mérés:	Magasság (cm)
<i>Átlag:</i>	39,76
<i>Szórás:</i>	4,7
<i>Minimum:</i>	7,9
<i>Maximum:</i>	79,60

Az összes mért adat legmagasabb értéke 79,60 cm, ahogy a 4-ik táblázatban lehet látni, mellette a mért legkisebb adat pedig 7,9 centiméter. A teljes átlag 39,76 cm $\pm$ 4,7 cm-es szórással együtt. A magasságértékek összefüggenek a növény növekedési lehetőségével (5.táblázat), (1.ábra), ami a tápanyag és a fény felhasználás mellett folyamatos és stabil, ami látható a differenciál táblázatokon, és hogy a megvilágítás szórási képessége meghatározza a növény fejlődését.

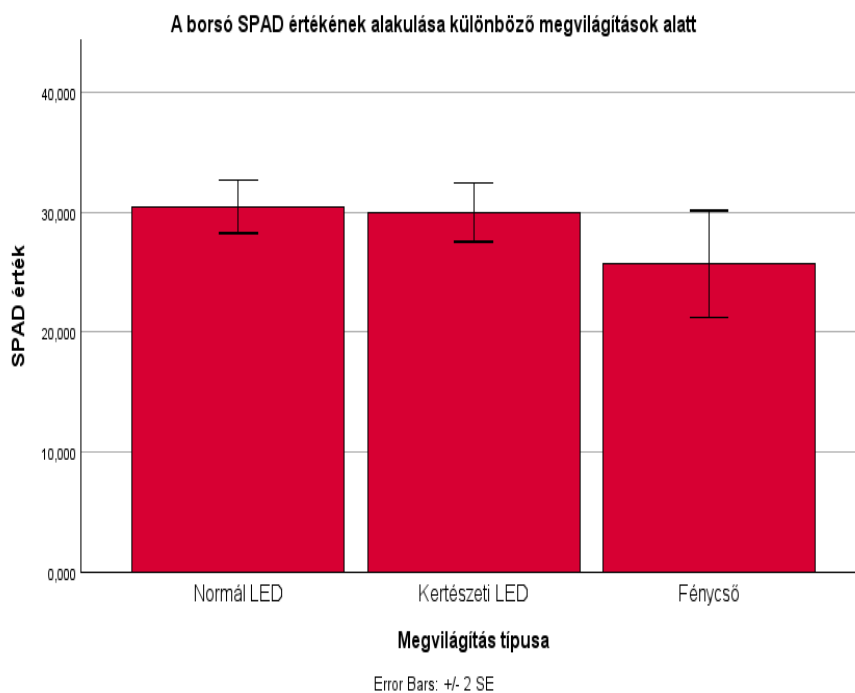
5.2 A SPAD vizsgálat eredményei

Vizsgálati eredményeink alapján elmondható, hogy a megvilágítás típusa nem mutatott statisztikailag igazolható különbséget a borsónövények SPAD értékeinek tekintetében. [F(2, 72) = 1,524, p = 0,225].



3. ábra: A borsó SPAD értékének alakulása különböző megvilágítások alatt

A harmadik ábrán látható, hogy a szórás a fénycsőnél legnagyobb.



4. ábra: A borsó SPAD értékének alakulása különböző megvilágítások alatt (összesítés és átlag)

A 4-ik ábrán található átlag-oszlopokról leolvasható, hogy a fénycsőnél a legkisebb az átlag, míg a többi értéknél átlagosan kicsi a differencia. A SPAD-érték alapján történő adatok a megvilágítás függvényében a következők:

5. táblázat: *A SPAD értékének alakulása Normál LED megvilágítás alatt*

Normál LED	SPAD érték
Átlag:	32,62
Szórás:	4,70
Minimum:	24,60
Maximum:	48,90
Medián:	31,4

A *Normál LED*-nél mért adatok a 6.-ik táblázatban olvasható SPAD-értékek a következők: átlaga: $32,62 \pm 4,70$ szórással. A mérési érték legalacsonyabb adata 24,60 és a legmagasabb 48,90. A mérési medián 31,4 értéket képvisel.

6. táblázat: *A SPAD értékének alakulása Kertészeti LED megvilágítás alatt*

Kertészeti LED	SPAD érték
Átlag:	30,93
Szórás:	6,74
Minimum:	16,50
Maximum:	51,20
Medián:	30,9

A *Kertészeti LED* által bevilágított mérési helyszínen az alábbi mért adatok állapíthatóak meg a 7.táblázat alapján: átlagérték $30,93 \pm 6,74$ értékű szórással. A minimum érték a 16,50 mérési eredmény, amely párosul 51,20 maximum értékkel. A medián 30,9 SPAD-érték. A *Kertészeti LED*-nél a legmagasabb a SPAD érték, ami a nitrogénfelvétellel áll kapcsolatban, vagyis, a nitrogénfelvétel itt a legjobb (4.ábra). A növény életfolyamatai itt a legjobb, amit segít a nitrogénfixáció összefüggve azzal, hogy a növény fotoszintézis szintje valószínűleg itt a legalacsonyabb (4. ábra). A magasságértékek és itt voltak a legnagyobbak, ami bizonyítja a jó Nitrogénfelvételt. A növény az agyaggolyóágyás miatt képes a gyökérzete melletti levegőből a felvételre, ami minél nagyobb valószínűleg minél erősebb a SPAD érték, vagyis valószínűleg van, hiszen a magasságérték nagyon magas, ami a Nitrogénfelvétellel összefügg (1. ábra).

7.táblázat: A SPAD értékének alakulása Fénycső megvilágítás alatt

Fénycső	SPAD érték
Átlag:	29,20
Szórás:	8,71
Minimum:	9,60
Maximum:	45,90
Medián:	27,8

A Fénycső által megvilágított mérési helyen az adatok (8. táblázat) a következők: Az átlag az összes mérési adatok alapján, az összesített átlag $30,92 \pm 6,96$ szórással. A teljes mérési minimuma 9,60 még a maximum 51,20.

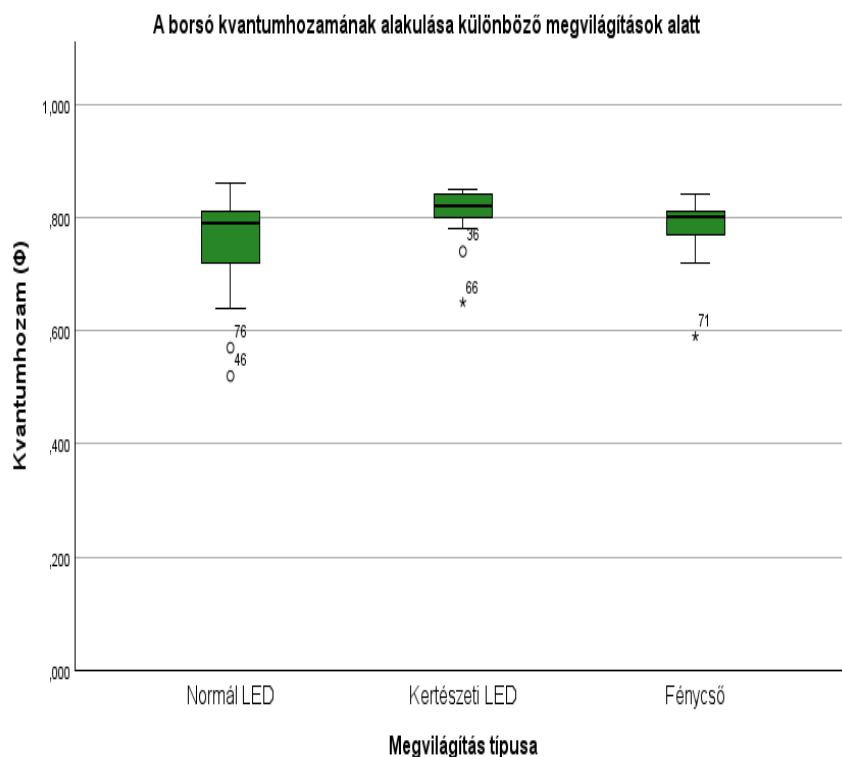
8.táblázat: A SPAD értékek összesített mérései

Összes mérés:	SPAD érték
Átlag:	30,92
Szórás:	6,96
Minimum:	9,60
Maximum:	51,20

Ahogy a 9. táblázatban is látható, a SPAD-érték összesített átlaga nem nagyon tér el a többi átlagtól, vagyis a növények különböző értéket mutatnak, de mindegyik jól érezte magát, vagyis a tápoldatbeállítások helyesek voltak, és azonosak, amiből a fénymegvilágításnál detektálható adatok relevanciája ezáltal realizálható (SPAD értékeinek tekintetében. $[F(2, 72) = 1,524, p = 0,225]$). A SPAD érték a klorofil aktivitással van kapcsolatban, és ha a nitrogén felvétel nem jó, akkor a növény SPAD értékein is látszik (5.ábra).

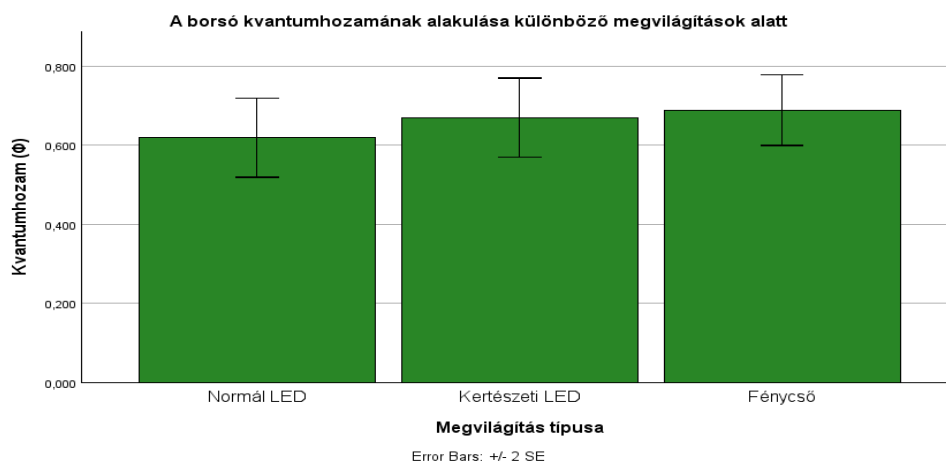
5.3 A borsó kvantumhozamának eredményei

A borsó kvantumhozamában jelentős különbséget találtunk a különböző megvilágítások miatt [$F(2, 72) = 4,137, p = 0,020$].



5.ábra: A borsó kvantumhozamának alakulása különböző megvilágítások alatt

A 5.ábrán látható, hogy a Kvantumhozamnál a Normál LED a legjobban differenciált, még a Kertészeti LED a legkevésbé és a Fénycső kevésbé. Ez összefügg azzal, hogy a fénymegvilágításnál a kvantumhozam összefügg azzal, hogy a megvilágítás impulzusai mennyire hasonlít a természetes osszillációhoz a PAR spektrumon. A fénycsőnél és a Kertészeti LED-nél lehet alkalmazni jobban a teljes fényspektrumos megvilágítást, ami arra enged következtetni, hogy a kék és piros fény mellett a teljes PAR-tartományban érdemes a világítást végezni. A PAR tartomány 400-700 nm mellett érdemes kiszélesíteni 200-800 nm közé, és a hullámtulajdonság lehet az, hogy stabilizálja az fotonelnyelődést a kloropasztisz-ban növelve az evapotranspirációt és gyarapítva a növény fejlődését.



6. ábra: *A borsó kvantumhozamának alakulása különböző megvilágítás alatt. Összesített*

Az 6.ábrán ábrázolt függvények az átlagokat mutatja, és hogy átlagosan a *Fénycső*-nél a legjobb a kvantumhozam, ami azt jelenti, hogy az a fényforrás közeg valószínűleg a legjobb a fotoszintézis szempontjából, ami a *PAR*-tartományon túl is valószínűleg kibocsájt, és stabil állandó hullám, ahogy a természetben. Kvantumhozam (Φ) értékeit a következő táblázatokban foglaltam össze.

9. táblázat: *Kvantumhozam mérés értékei Normál LED megvilágítás alatt*

Normál LED	Kvantumhozam (Φ)
<i>Átlag:</i>	0,758
<i>Szórás:</i>	0,08
<i>Minimum:</i>	0,52
<i>Maximum:</i>	0,86
<i>Medián:</i>	0,77

A 11.-ik táblázatban olvasható, hogy a *Normál LED* használata mellett a Kvantumhozam érték átlagban $0,758 \pm 0,08$ -as szórással. A méréseknél a maximum 0,86 és a legalacsonyabb 0,52. A medián értéke 0,77. A Normál LED-nél a legmagasabb a Kvantumhozamérték, ami azért lehetséges, mert a fénykibocsátás itt sokkal inkább szakaszos és emiatt a növények alkalmazkodása miatt lehet olyan érték, ami a legnagyobb (5.ábra és 6.ábra). A technológia miatt azonban látható a két irány, hogy vagy a molekula alapú fotoszintézis felé is lehet vizsgálni, viszont azt a levél összes molekulája alapján kellene, ami, ha nem így van, akkor stresszfaktor a növénynek, hiszen az egyik molekulának jó a másiknak lehet nem annyira jó-e a beesés és az elnyelődés a fotonfluxus érték, így nem biztos, hogy annyira stabil és állandó az

elnyelődés ideje alatt. Ezért a kettő fény közeg az állandó fényközeg és benne az egyedi fényigény egyszerre jelenjen meg, ami lehetséges lesz, ha kombinálják a kettő fénytechnológiát, vagyis fényhullám csúcsainál és hullámhosszainál a két fényforrásnál összepárosítani, ami feltételezésem szerint egyedi stabil fényhasznosulást segítheti.

10.táblázat: *Kvantumhozam mérés értékei Kertészeti LED megvilágítás alatt*

Kertészeti LED	Kvantumhozam (Φ)
<i>Átlag:</i>	0,80880
<i>Szórás:</i>	0,04
<i>Minimum:</i>	0,65
<i>Maximum:</i>	0,85
<i>Medián:</i>	0,8

A táblázat 12. -ben a mért értékek *Kertészeti LED* Kvantumhozam mérési adatok alapján az átlag $0,80880 \pm 0,04$ -es szórással. A legnagyobb érték 0,85, a minimum 0,65 és a medián értéke 0,8.

11.táblázat: *Kvantumhozam mérés értékei Fénycső megvilágítás alatt*

Fénycső	Kvantumhozam (Φ)
<i>Átlag:</i>	0,78440
<i>Szórás:</i>	0,04
<i>Minimum:</i>	0,59
<i>Maximum:</i>	0,84
<i>Medián:</i>	0,78

A táblázat 13.-ben a *Fénycső* átlag kvantumhozama $0,78440 \pm 0,04$ -os szórással. A minimum értéke 0,59-es. A maximum érték 0,84. A *Fénycső* medián értéke 0,78.

12. táblázat: *Kvantumhozam mérés értékei összesítve*

Összes mérés:	Kvantumhozam (Φ)
<i>Átlag:</i>	0,78373
<i>Szórás:</i>	0,06
<i>Minimum:</i>	0,52
<i>Maximum:</i>	0,86

A 14. táblázat-ból leolvasható, hogy a *Fénycső* kvantummérés összesített átlaga $0,78373 \pm 0,06$ -os szórással. A mérés minimum értéke 0,52 és a maximum értéke 0,86.

Az összesített maximum értékének a megjelenése és az, hogy ez a legkevesebb átlagnál jelent meg, az azt jelenti, hogy ott van egy folyamat, ami nem az elnyelődésről szól, hanem annál többről, ami a növény élettani működése lehet, vagyis az élettani működést meghatározó genetikai folyamatoknál, ha megjelennek a rövid fényimpulzusok, akkor generálhatnak tulajdonságváltozást anélkül, hogy a mai genetikai folyamatokkal külsőleg beavatkoznának. Az atomokban a fényimpulzusok az elektronokat érik el először és az elektronspint tudják megváltoztatni, vagyis az életfolyamatok az elektronspin együtt állásán van, ami lehetőség arra, hogy a mai genetikai és nemesítési folyamatokat jobbá tegye. Látható, hogy az összesített táblázatban (táblázat 15) nem nagyok a differenciál értékek [$F(2, 72) = 4,137$, $p = 0,020$], ezért, ez a kiugró eredmény megjelenésének a kivizsgálása indokolt. Az átlagos kvantumhozamértékek a többi értékhez hasonlóan oszlanak, és mivel a kvantumelnyelődés és a növekedés között van kapcsolat, a kiugró egyedi kivételek miatt a mintában ez is figyelembe kell venni.

A Kvantumhozam szórássai kiegyensúlyozott, ez olvasható le a táblázat 15.-ből és ezáltal a kvantumértékek tükrözik, hogy a növények stabil állapotban voltak, és közel egymáshoz, vagyis, a stressz a bár jelen volt, a növények tudtak mellette élni.

5.4 A korrelációs vizsgálat eredményei

Megvizsgáltuk Pearson-féle korrelációs együttható segítségével, hogy melyik általunk vizsgált paraméterek függhetnek össze. Az eredményekből kitűnik (13. táblázat), hogy statisztikailag igazolható fordított összefüggést találtunk a borsónövények magassága és azok kvantumhozama között ($r^2 = -0,344$), amely eredmény egy közepes erősségűnek nevezhető. A többi paraméter egyéb kombinációjában nem találtunk korrelációs összefüggést.

13. táblázat a mellékletben lévő konzulens által elkészített táblázat.

	Magasság (cm)	SPAD érték	Kvantumhozam (Φ)
Magasság (cm)	-	-0,182	-0,344**
SPAD érték	-0,182	-	0,075
Kvantumhozam (Φ)	-0,344**	0,075	-

**Az eredmények szignifikánsak $p < 0,01$ szinten

6. Következtetések és javaslatok

Ahogy a Tomov et al (2021). megállapították a hidropónikus körülmények szerint borsót lehet termesztetni, ők Knop oldattal tették, ami eltér az általunk alkalmazottól, azonban ebben az esetben is a növény teljes életszakaszát le lehetett követni, ami már megerősíti azt, hogy a borsót lehet hidropónikusan termesztetni. Yang és munkatársai (2023) kutatása szerint a hidropónikus borsótermesztéshez biológiailag lebomló közeget kell használni. Mivel az agyaggolyók biológiailag lebomlanak és képesek különböző rendszerekben is jól működni, valószínű, hogy a hidropónikus termesztéshez szükséges a biológiai alapú termesztési módszerek fejlesztése. Ez különösen fontos a borsó esetében, amely képes a nitrogénfixációra a rhizóbium baktérium segítségével, ami az agyaggolyók közötti levegős térben megvalósítható, hiszen ebben a térben jelen van a nitrogén. A kertészeti LED fény alatti növények magasságban érték el a legjobb eredményeket, ami valószínűleg a fényforrás összetettségének köszönhető. Ezáltal a növények ezen a fényen több előnyös faktort kaphattak. A SPAD mérések alapján az eredmények nem mutattak jelentős különbséget, ami arra utal, hogy a növények hasonló körülmények között nőttek. Ez a hidropóniás környezetben lévő zárt rendszer stresszmentességét jelzi, amelyből következik, hogy a növények stresszmentes életfeltételeinek biztosítása a zárt térben, hidropóniás körülmények között lehetséges és kutatásra érdemes. A kvantumhozam adatai alapján a fotoszintetikus hatékonyság terén a fénycső és a Kertészeti LED emelkedik ki. Ennek oka valószínűleg a Kertészeti LED magas PAR szórásspektrum-képességében rejlik, illetve a fénycső stabil fénye mellett a LED által generált másodlagos fényszórás is előnyös a növények számára. A kutatás eredményei szerint a hidropónikus borsótermesztéshez a Kertészeti LED, különösen a Hortilux Hortifusion típusú, a legmegfelelőbb, ezt követi a fénycső és a Normál LED. Ezek a megállapítások további vizsgálatokra adnak okot, és ajánlott, hogy ezek folytatódjanak. A kutatásoknak célszerű lenne azt vizsgálni, hogyan lehet agronómiai módszerekkel maximalizálni a terméshozamot kis területen. A borsó különösen alkalmas erre, hiszen magas fehérjetartalmú hüvellyel és szárával széleskörűen hasznosítható. Javaslatként felmerül egy olyan termesztési módszer kidolgozása, ami lehetővé teszi, hogy minimális területen magas élelmiszerhozamot érjünk el. Ez a megközelítés a személyre szabott mezőgazdaságot jelentheti, ahol mindenki saját növénytermesztést folytat, például pontosan annyi borsót termel, amennyire szüksége van egy vacsorához. Mivel a növények képesek szövetekből újra kihajtani, így a vetőmag használata nem szükséges. A növények ilyen fokú

hasznosításának lehetősége adott, és erre érdemes felkészülni. Az új élethelyzetből, mely azt eredményezi, hogy mindenki saját élelmiszerellátása van, és ehhez a struktúrához tartja magát, ami azt jelenti, hogy a jólét elérhető mindenki számára, és a klímaváltozás hatásai is kiküszöbölhetőek. További kutatásokat ajánlott végezni az agyaggolyóágyas termesztési módszerekkel, különös tekintettel a hüvelyesekre, mint például a bab, borsó, szójabab és lencse. Mivel ezek fehérjedús növények, és a nitrogénfixáció, különösen a borsónál, jelentős hatékonyságnövelő hatással bírhat, ezért érdemes olyan termőközeget fejleszteni, amely biológiai szempontból legalább olyan hatékony, mint a növények szabadföldi termesztése.

7. Összefoglaló

A dolgozatomban a borsó *Pisum sativum* L. hidropóniás körülmények közötti fejlődési lehetőségét vizsgáltam. Vizsgálatok során mértük a növények magasságát, klorofilaktivitását és stressz szintjét különböző típusú és karakterisztikájú világítótestek alatt. A borsó termesztése gazdaságilag előnyös és a klímaváltozás hatásainak csökkentése szempontjából is fontos, hiszen zárt körülmények között is termesztethető, így kevésbé függ a környezeti hatásoktól. Dolgozatomban kiemelem a hidropóniás termesztés jelentőségét, amely hatékony lehetőséget kínál mind zárt, mind nyílt környezetben. A hidropóniás gazdálkodás már jelen van a piacon, és a klímaváltozás hatásainak ellensúlyozására szolgál. A kutatás célja a borsó hidropóniás körülmények közötti termesztésének vizsgálata, annak érdekében, hogy élelmiszerbiztonságot nyújtson a klímaváltozás körülményei mellett is. A kutatásomban felvetődik a feltételezés, hogy a borsó jól adaptálódik a hidropóniás körülményekhez, és teljes életszakaszt képes elérni.

Vizsgálataim során különös figyelmet fordítottunk a megvilágításra, hiszen a hidropóniás termesztés költségeinek jelentős részét ez teszi ki. A megvilágítás hatásainak és a teljesítmény javításának vizsgálata kulcsfontosságú a termesztés hatékonyságának növelésében. Ennek megfelelően három különböző fényforrást hasonlítottam össze a borsó fiziológiai vizsgálataival. Egy hagyományos LED, egy keverhető fényspektrumú LED és egy hagyományos fénycső alatt nevelkedtek a borsók.

Az eredményekből kitűnik, hogy a szakirodalmi adatoknak megfelelően a borsó képes csírázni, fejlődni és termést is hozni hidropóniás termesztése során. A kertészeti kevert spektrumú LED fény alatti növények magasságban értek el a legjobb eredményeket, ami valószínűleg a fényforrás összetettségének köszönhető. A kvantumhozam adatai alapján a fotoszintetikus hatékonyság terén a fénycső és a Kertészeti LED emelkedett ki. Ennek oka valószínűleg a Kertészeti LED magas PAR szórásspektrum-képességében rejlik, illetve a fénycső stabil fénye mellett a LED által generált másodlagos fényszórás is előnyös a növények számára.

A kutatásom eredményei összességében azt mutatták, hogy a hidroponikus borsótermesztéshez a Kertészeti LED, különösen a kevert spektrumú fényforrás a legmegfelelőbb, ezt követi a fénycső és a Normál LED. Ezek a megállapítások további vizsgálatokra adnak okot, és ajánlott, hogy ezek folytatódjanak.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm konzulenseimnek Dr. Kende Zoltánnak a segítő támogatást és Piroska Petra Doktorandusznak a nagylelkűségét és segítőkészségét, valamint Dr. Mikó Péternek, és Dr. Birkás Márta és Dr. Posta Katalin Professzorasszonyoknak iránymutatásukért. Hálás vagyok tanárainnak Dr. Póti Péternek, Dr. Bodnár Ákosnak, Dr. Gulyás Miklósnak, Dr. Mihalik Erikának, Dr. Horváth Zoltánnak, Dr. Penszka Károlynak, Dr. Körösi Katalinnak, Dr. Székely Lászlónak, Dr. Vilányi Juditnak, és minden egyetemi dolgozónak!

Köszönöm a családomnak, hogy lehetőséget adtak a tanulásra, Köszönöm Édesapa! Köszönöm Édesanya! Köszönöm Testvéreimnek! Köszönöm Rokonaimnak! Keresztanyámnak és kereszttestvéremnek! Bérmaszüleimnek és bérmatestvéreimnek! Nagybátyáimnak és nagynénémnek valamint unokatestvéreimnek is!

9. Irodalomjegyzék

- Adedjei, O., Reuben, O. and Olatoye, O (2014) 'Global Climate Change', *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 02(02), pp. 114–122. Available at: <https://doi.org/10.4236/gep.2014.22016>.
- Air, S. and Research, W (2009) *effects of Temperature Increase on pea production in a semiarid Region of china*. Available at: <http://www.la-press.com>.
- András Pupos Tibor Takácsné György Katalin, N (2007) *ÜZEMTAN II*. Available at: <http://odin.agr.unideb.hu/hefop/>.
- Ashok, Dr.A.D. and Sujitha, Dr.E (2021) 'Greenhouse structures, construction and design', *International Journal of Chemical Studies*, 9(1), pp. 40–45. Available at: <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1a.11417>.
- Avgoustaki, D.D. and Xydis, G (2020) 'How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, and food safety?', in *Advances in Food Security and Sustainability*. Elsevier Ltd, pp. 1–51. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2020.08.002>.
- Axelithioti, P. *et al* (2023) 'What Are We Teaching Engineers about Climate Change? Presenting the MACC Evaluation of Climate Change Education', *Education Sciences*, 13(2). Available at: <https://doi.org/10.3390/educsci13020153>.
- Azhari *et al* (2022) 'Design and control system of temperature and water level in hydroponic plants', in *Journal of Physics: Conference Series*. Institute of Physics. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012018>.
- Bagale, S (2021) 'Nutrient Management for Soybean Crops', *International Journal of Agronomy*. Hindawi Limited. Available at: <https://doi.org/10.1155/2021/3304634>.
- Benko, B., Karic, L. and Gruda, N.S (2019) *889849.FAO GAP for greenhouse vegetable production BOOK*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/333311872>.
- Beranek, C.M. *et al* (2009) 'Growing Things "Rare, Foreign, and Tender": The Early Nineteenth-Century Greenhouse at Gore Place, Waltham Massachusetts', *Northeast Historical Archaeology*, 38(1), pp. 70–99. Available at: <https://doi.org/10.22191/neha/vol38/iss1/4>.
- Bisbis, M.B., Gruda, N.S. and Blanke, M.M (2019) 'Securing horticulture in a changing climate-a mini review', *Horticulturae*, 5(3). Available at: <https://doi.org/10.3390/horticulturae5030056>.

- Borrelli, P. *et al* (2020) 'Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070)', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(36), pp. 21994–22001. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.
- Butrico, G.M. and Kaplan, D.H (2018) 'Greenhouse Agriculture in the Icelandic Food System', *European Countryside*, 10(4), pp. 711–724. Available at: <https://doi.org/10.2478/euco-2018-0039>.
- Chauhan, C.D. *et al* (2017) 'Knowledge of the Farmers about Low Cost Greenhouse Technology', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), pp. 97–102. Available at: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.012>.
- Cifuentes-Torres, L. *et al* (2021) 'Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities', *Water and Environment Journal*, 35(1), pp. 166–180. Available at: <https://doi.org/10.1111/wej.12617>.
- Daba, S.D. and Morris, C.F (2022) 'Pea proteins: Variation, composition, genetics, and functional properties', *Cereal Chemistry*. John Wiley and Sons Inc, pp. 8–20. Available at: <https://doi.org/10.1002/cche.10439>.
- Dalai, S (2020) 'Green-houses: Types and Structural Components', in *Protected Cultivation and Smart Agriculture*. New Delhi Publishers. Available at: <https://doi.org/10.30954/ndp-pcsa.2020.2>.
- Danila, E. and Lucache, D.D (2016) 'Efficient lighting system for greenhouses', in *Proceedings of the 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, EPE 2016*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 439–444. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2016.7781379>.
- Darko, E. *et al* (2014) 'Photosynthesis under artificial light: The shift in primary and secondary metabolism', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. Royal Society. Available at: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0243>.
- Devi, J. *et al* (2023) 'Vegetable peas (*Pisum sativum* L.) diversity: An analysis of available elite germplasm resources with relevance to crop improvement', *Spanish Journal of Agricultural Research*, 21(2). Available at: <https://doi.org/10.5424/sjar/2023212-19457>.
- Ding, X. *et al* (2018) 'Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. Ssp.

- Chinensis) in a hydroponic system', *PLoS ONE*, 13(8). Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202090>.
- Dubey, N. and Nain, V (2020) 'Hydroponic— The Future of Farming', *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 4(4), pp. 857–864. Available at: <https://doi.org/10.22161/ijeab.54.2>.
- Eekhout, J.P.C. and de Vente, J (2022) 'Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation', *Earth-Science Reviews*. Elsevier B.V. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103921>.
- EI-Kazzaz, A.A (2017) 'Soilless Agriculture a New and Advanced Method for Agriculture Development: an Introduction', *Agricultural Research & Technology:Open Access Journal*, 3(2). Available at: <https://doi.org/10.19080/artoaj.2017.03.555610>.
- Von Elsner, B. *et al* (2000) 'Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part II: Typical designs', *Journal of Agricultural and Engineering Research*. Academic Press, pp. 111–126. Available at: <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0512>.
- Fussy, A. and Papenbrock, J (2022) 'An Overview of Soil and Soilless Cultivation Techniques—Chances, Challenges and the Neglected Question of Sustainability', *Plants*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/plants11091153>.
- Gao, Q. *et al* (2022) 'Effects of LED Red and Blue Light Component on Growth and Photosynthetic Characteristics of Coriander in Plant Factory', *Horticulturae*, 8(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121165>.
- Gao, W. *et al* (2020) 'Effects of daily light integral and LED spectrum on growth and nutritional quality of hydroponic spinach', *Agronomy*, 10(8). Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy10081082>.
- Gelybó, G. *et al* (2018) 'Potential impacts of climate change on soil properties', *Agrokemia es Talajtan*, 67(1), pp. 121–141. Available at: <https://doi.org/10.1556/0088.2018.67.1.9>.
- Ghorbel, R. *et al* (2022) 'Hydroponic Technology for Green Fodder Production: Concept, Advantages, and Limits', in. Izmir UOD. Available at: <https://doi.org/10.52460/issc.2022.010>.
- Ghorbel, R. and Koşum, N (2022) 'Hydroponic Fodder Production: An Alternative Solution for Feed Scarcity', in. Izmir UOD. Available at: <https://doi.org/10.52460/issc.2022.005>.

- Guarino, C. *et al* (2022) ‘Comprehensive Review on Climate Control and Cooling Systems in Greenhouses under Hot and Arid Conditions’. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy>.
- Halkos, G. and Zisiadou, A (2023) ‘The Effects of Climate Change to Weather-Related Environmental Hazards: Interlinkages of Economic Factors and Climate Risk’, *Journal of Risk and Financial Management*, 16(5). Available at: <https://doi.org/10.3390/jrfm16050264>.
- Hassan, M.U. *et al* (2021) ‘Heat stress in cultivated plants: nature, impact, mechanisms, and mitigation strategies—a review’, *Plant Biosystems*. Taylor and Francis Ltd., pp. 211–234. Available at: <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1727987>.
- Holka, M., Kowalska, J. and Jakubowska, M (2022) ‘Reducing Carbon Footprint of Agriculture—Can Organic Farming Help to Mitigate Climate Change?’, *Agriculture (Switzerland)*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091383>.
- Jan, S. *et al* (2020) ‘Hydroponics – A Review’, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), pp. 1779–1787. Available at: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.206>.
- Janusauskaite, D (2023) ‘Productivity of Three Pea (*Pisum sativum* L.) Varieties as Influenced by Nutrient Supply and Meteorological Conditions in Boreal Environmental Zone’, *Plants*, 12(10). Available at: <https://doi.org/10.3390/plants12101938>.
- Januszkiewicz, K. and Jarmusz, M (2017) ‘Envisioning Urban Farming for Food Security during the Climate Change Era. Vertical Farm within Highly Urbanized Areas’, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/5/052094>.
- Javornik, T. *et al* (2023) ‘Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) gas exchange capacity under nutrient deficiency’, *Journal of Central European Agriculture*, 24(1), pp. 216–224. Available at: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3667>.
- Jemai, N., Soussi, M. and Chaibi, M.T (2022) ‘Opportunities for Implementing Closed Greenhouse Systems in Arid Climate Conditions’, *Horticulturae*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121102>.
- Jiang, X. *et al* (2023) ‘Nutritional and microbiological effects of vermicompost tea in hydroponic cultivation of maple peas (*Pisum sativum* var. *arvense* L.)’, *Food Science and Nutrition*, 11(6), pp. 3184–3202. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3299>.

- Johnson, M.P (2016) ‘Photosynthesis’, *Essays in Biochemistry*, 60(3), pp. 255–273. Available at: <https://doi.org/10.1042/EBC20160016>.
- Karanisa, T. *et al* (2022) ‘Smart greenhouses as the path towards precision agriculture in the food-energy and water nexus: case study of Qatar’, *Environment Systems and Decisions*, 42(4), pp. 521–546. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09862-2>.
- Karavidas, I. *et al* (2023) ‘Hydroponic Common-Bean Performance under Reduced N-Supply Level and Rhizobia Application’, *Plants*, 12(3). Available at: <https://doi.org/10.3390/plants12030646>.
- Kezeya Sepngang, B. *et al* (2020) *Report on legume markets in the EU Deliverable D3.1 of the EU-project LegValue*. Available at: www.fh-swf.de/FB/agarar.
- Kobayashi, K., Amore, T. and Lazaro, M (2013) ‘Light-Emitting Diodes (LEDs) for Miniature Hydroponic Lettuce’, *Optics and Photonics Journal*, 03(01), pp. 74–77. Available at: <https://doi.org/10.4236/opj.2013.31012>.
- Kontopoulou, C.-K. *et al* (2015) *Responses of Hydroponically Grown Common Bean Fed with Nitrogen-free Nutrient Solution to Root Inoculation with N 2-fixing Bacteria*, *HORTSCIENCE*.
- Koukounaras, A (2021) ‘Advanced greenhouse horticulture: New technologies and cultivation practices’, *Horticulturae*. MDPI AG, pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7010001>.
- Kumari, T. and Deka, S.C (2021) ‘Potential health benefits of garden pea seeds and pods: A review’, *Legume Science*. John Wiley and Sons Inc. Available at: <https://doi.org/10.1002/leg3.82>.
- Langenfeld, N.J. *et al* (2022a) ‘Principles of Nutrient and Water Management for Indoor Agriculture’, *Sustainability (Switzerland)*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/su141610204>.
- Langenfeld, N.J. *et al* (2022b) ‘Principles of Nutrient and Water Management for Indoor Agriculture’, *Sustainability (Switzerland)*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/su141610204>.
- Langyan, S. *et al* (2022) ‘Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods’, *Frontiers in Nutrition*. Frontiers Media S.A. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>.

- Leal Filho, W. *et al* (2022) ‘Handling the health impacts of extreme climate events’, *Environmental Sciences Europe*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00621-3>.
- Leon, M. *et al* (2022) ‘Effect of Deforestation on Climate Change: A Co-Integration and Causality Approach with Time Series’, *Sustainability (Switzerland)*, 14(18). Available at: <https://doi.org/10.3390/su141811303>.
- Liao, P.A. *et al* (2020) ‘Can the adoption of protected cultivation facilities affect farm sustainability?’, *Sustainability (Switzerland)*, 12(23), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.3390/su12239970>.
- Lima-Melo, Y. *et al* (2021) ‘Photosystem I Inhibition, Protection and Signalling: Knowns and Unknowns’, *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Media S.A. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.791124>.
- Lu, Z.X. *et al* (2020) ‘Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods’, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Taylor and Francis Inc., pp. 2593–2605. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651248>.
- Ludvíková, M. and Griga, M (2022) ‘Pea transformation: History, current status and challenges’, *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. Czech Academy of Agricultural Sciences, pp. 127–161. Available at: <https://doi.org/10.17221/24/2022-CJGPB>.
- MacDiarmid, J.I. and Whybrow, S (2019) ‘Nutrition from a climate change perspective’, in *Proceedings of the Nutrition Society*. Cambridge University Press, pp. 380–387. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0029665118002896>.
- Marí-Dell’Olmo, M. *et al* (2022) ‘Climate Change and Health in Urban Areas with a Mediterranean Climate: A Conceptual Framework with a Social and Climate Justice Approach’, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19). Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph191912764>.
- Mavroeidis, A., Roussis, I. and Kakabouki, I (2022) ‘The Role of Alternative Crops in an Upcoming Global Food Crisis: A Concise Review’, *Foods*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods11223584>.

- Mazur, V. *et al* (2021) 'Ecological suitability peas (*Pisum sativum*) varieties to climate change in Ukraine', *Agraarteadus*, 32(2), pp. 276–283. Available at: <https://doi.org/10.15159/jas.21.26>.
- Mousa, M.M.H. *et al* (2021) 'Pea peels as a value-added food ingredient for snack crackers and dry soup', *Scientific Reports*, 11(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02202-5>.
- Mupangwa, W. *et al* (2023) 'Temporal Changes in Minimum and Maximum Temperatures at Selected Locations of Southern Africa', *Climate*, 11(4). Available at: <https://doi.org/10.3390/cli11040084>.
- Murthy, A.K., Dhanalakshmi, G. and Chakravarthy, K (2017) 'Study on Performance of Different Fodder Crops under Low Cost Green House Hydroponic Fodder Production System', *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(2), pp. 951–953. Available at: <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.2.50>.
- Nemali, K (2022) 'History of Controlled Environment Horticulture: Greenhouses', in *HortScience*. American Society for Horticultural Science, pp. 239–246. Available at: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16160-21>.
- Neocleous, D. *et al* (2020) 'Impact of chelated or inorganic manganese and zinc applications in closed hydroponic bean crops on growth, yield, photosynthesis, and nutrient uptake', *Agronomy*, 10(6). Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060881>.
- Nikolov, N. V *et al* (2023) 'Design of a Small-Scale Hydroponic System for Indoor Farming of Leafy Vegetables', *Agriculture*, 13(6), p. 1191. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture13061191>.
- Nóra, M.D (no date) *DEBRECENI EGYETEM AGRÁR-ÉS MSZAKI TUDOMÁNYOK CENTRUMA MEZGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR HANKÓCZY JEN NÖVÉNYTERMESZTÉSI-, KERTÉSZETI ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA A ZÖLDBORSÓ NEMESÍTÉSÉNEK ÚJABB EREDMÉNYEI A DEBRECENI EGYETEM AMTC KUTATÓ KÖZPONTJÁBAN NYÍREGYHÁZÁN Készítette.*
- Nugroho, A.D., Prasada, I.Y. and Lakner, Z (2023) 'Comparing the effect of climate change on agricultural competitiveness in developing and developed countries', *Journal of Cleaner Production*, 406. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137139>.

- Nunes, L.J.R (2023) ‘The Rising Threat of Atmospheric CO₂: A Review on the Causes, Impacts, and Mitigation Strategies’, *Environments - MDPI*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/environments10040066>.
- Nunes, L.J.R. and Dias, M.F (2022) ‘Perception of Climate Change Effects over Time and the Contribution of Different Areas of Knowledge to Its Understanding and Mitigation’, *Climate*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/cli10010007>.
- Palermo, M. *et al* (2012) ‘Hydroponic cultivation improves the nutritional quality of soybean and its products’, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(1), pp. 250–255. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf203275m>.
- Paradiso, R. *et al* (2014) ‘Soybean cultivation for Bioregenerative Life Support Systems (BLSSs): The effect of hydroponic system and nitrogen source’, *Advances in Space Research*, 53(3), pp. 574–584. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.11.024>.
- Paradiso, R. and 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*. Springer, pp. 742–780. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y>.
- Pomoni, D.I. *et al* (2023) ‘A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use’, *Energies*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/en16041690>.
- Powers, S.E. and Thavarajah, D (2019) ‘Checking Agriculture’s Pulse: Field Pea (*Pisum Sativum* L.), Sustainability, and Phosphorus Use Efficiency’, *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Media S.A. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01489>.
- Priestley, R.K., Heine, Z. and Milfont, T.L (2021) ‘Public understanding of climate change-related sea-level rise’, *PLoS ONE*, 16(7 July 2021). Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254348>.
- Proietti, S. *et al* (2021) ‘Continuous Lighting Promotes Plant Growth, Light Conversion Efficiency, and Nutritional Quality of *Eruca vesicaria* (L.) Cav. in Controlled Environment With Minor Effects Due to Light Quality’, *Frontiers in Plant Science*, 12. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.730119>.
- Rosa, L (2022) ‘Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: Biophysical potentials and feedbacks’, *Environmental Research Letters*. Institute of Physics. Available at: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac7408>.

- Šarūnaitė, L. *et al* (2022) ‘Effects of Pea (*Pisum sativum* L.) Cultivars for Mixed Cropping with Oats (*Avena sativa* L.) on Yield and Competition Indices in an Organic Production System’, *Plants*, 11(21). Available at: <https://doi.org/10.3390/plants11212936>.
- Schleussner, C.F. *et al* (2016) ‘Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: The case of 1.5 °c and 2 °c’, *Earth System Dynamics*, 7(2), pp. 327–351. Available at: <https://doi.org/10.5194/esd-7-327-2016>.
- Schmidt Rivera, X. *et al* (2023) ‘The role of aeroponic container farms in sustainable food systems – The environmental credentials’, *Science of the Total Environment*, 860. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160420>.
- Semaškienė, R. *et al* (2022) ‘The response to crop health and productivity of field pea (*Pisum sativum* L.) at different growing conditions’, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 72(1), pp. 923–930. Available at: <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2125434>.
- Setiawan, D. *et al* (2022) ‘Water pump control system in hydroponic plants using the ebb and flow method’, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1041/1/012020>.
- Smýkal, P. *et al* (2012) ‘Pea (*Pisum sativum* L.) in the genomic era’, *Agronomy*. MDPI AG, pp. 74–115. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy2020074>.
- Sonneveld, C. and Voogt, W (2009) *Plant nutrition of greenhouse crops, Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer Netherlands. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6>.
- Soufan, W (2023) ‘The Effect of the Mixing Ratio of Barley and Mung Bean Seeds on the Quality of Sprouted Green Fodder and Silage in a Hydroponic System’, *Agronomy*, 13(9), p. 2301. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy13092301>.
- Stegelmeier, A.A. *et al* (2022) ‘The Use of PGPB to Promote Plant Hydroponic Growth’, *Plants*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/plants11202783>.
- Subandi, M. *et al* (2022) ‘The Effect of Various Nutrient Hydroponic Formulation on Growth and Yield of Three Varieties of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on Hydroponic Drip Irrigation System’, in *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics Inc. Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0113874>.

- Szpunar-Krok, E (2022) ‘Physiological Response of Pea (*Pisum sativum* L.) Plants to Foliar Application of Biostimulants’, *Agronomy*, 12(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123189>.
- Tarakanov, I.G. *et al* (2022) ‘Effects of Light Spectral Quality on Photosynthetic Activity, Biomass Production, and Carbon Isotope Fractionation in Lettuce, *Lactuca sativa* L., Plants’, *Plants*, 11(3). Available at: <https://doi.org/10.3390/plants11030441>.
- Tomov, A. *et al* (2021) *ANTIOXIDANT STATUS OF HYDROPONICALLY AND AQUAPONICALLY GROWN PLANT SPECIES*, *Oxidation Communications*.
- Tran, C.T., Becker, H.C. and Horneburg, B (2022) ‘Agronomic performance of normal-leafed and semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) genotypes’, *Crop Science*, 62(4), pp. 1430–1442. Available at: <https://doi.org/10.1002/csc2.20746>.
- Vänninen, I. *et al* (2010) ‘In the light of new greenhouse technologies: 1. Plant-mediated effects of artificial lighting on arthropods and tritrophic interactions’, *Annals of Applied Biology*, pp. 393–414. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00438.x>.
- Velazquez-Gonzalez, R.S. *et al* (2022) ‘A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium-and Small-Scale Operations’, *Agriculture (Switzerland)*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>.
- Wang, Y., Xu, L. and Wei, R (2018) ‘Economic-based dynamic control of top-lighting and interlighting for greenhouse’, *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), pp. 329–333. Available at: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.6>.
- Wu, D.-T. *et al* (2023) ‘A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications’, *Foods*, 12(13), p. 2527. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods12132527>.
- Xin, P. *et al* (2019) ‘Optimization and control of the light environment for greenhouse crop production’, *Scientific Reports*, 9(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44980-z>.
- Zolghadr-Asli, B. *et al* (2023) ‘The sustainability of desalination as a remedy to the water crisis in the agriculture sector: An analysis from the climate-water-energy-food nexus perspective’, *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108407>.

10. Táblázatjegyzék

1. táblázat: Normál LED megvilágítás alatt a magasság alatt.	27
2. táblázat: Kertészeti LED megvilágítás alatt a magasság alakulás	27
3. táblázat: Fénycső megvilágítás alatt a magasság alakulása	28
4. táblázat: Az összes megvilágítási hely növényeinek a magasságának alakulása	28
5. táblázat: A SPAD értékek alakulása Normál LED megvilágítás alatt.....	30
6. táblázat: A SPAD értékek alakulása Kertészeti LED megvilágítás alatt.....	30
7. táblázat: <i>A SPAD értékek alakulása Fénycső megvilágítás alatt.....</i>	31
8. táblázat: A SPAD értékek összesített mérései.....	31
9. táblázat: Kvantumhozam mérés értékei Normál LED megvilágítás alatt	33
10. táblázat: Kvantumhozam mérés értékei Kertészeti LED megvilágítás alatt	34
11. táblázat: Kvantumhozam mérés értékei Fénycső megvilágítás alatt	34
12. táblázat: Kvantumhozam mérés értékei összesítve.....	34
13. táblázat <i>a mellékletben lévő konzulens által elkészített táblázat.</i>	35

11. Ábrajegyzék

1. ábra: A borsó magasságának alakulása különböző megvilágítás alatt	26
2. ábra: A borsó magasságának alakulása különböző megvilágítás alatt (összesítés és átlag)	26
3. ábra: A borsó SPAD értékének alakulása különböző megvilágítások alatt.....	29
4. ábra: A borsó SPAD értékének alakulása különböző megvilágítások alatt (összesítés és átlag)	29
5. ábra: A borsó kvantumhozamának alakulása különböző megvilágítások alatt.....	32
6. ábra: A borsó kvantumhozamának alakulása különböző megvilágítás alatt. Összesített ...	33

12. Képjegyzék

kép 1. A kísérleti konténerek a borsóval	18
kép 2: A kísérleti hidropóniás borsó más növényekkel	18
kép 3. SPAD mérés borsón	19
kép 4.: FlourPen mérés borsón	20
Kép 5.: Sötétadaptációs eszköz borsón	21
kép 6: A Normál LED a PROF COB LED a borsó felett	21

kép 7: A Kertészeti LED a Hortilux Hortiled MultiFusion a borsó felett.....	22
kép 8: A Fénycső a Sylwania GrowLux T8 a borsó felett	22
kép 9: Az Advenced Hydroponic Dutch Formula 1Grow tápoldat	23
kép 11: Az Advenced Hydroponic Dutch Formula 2Bloom tápoldat.....	23
kép 10: Az Advenced Hydroponic Dutch Formula 3Micro tápoldat.....	23
kép 12: A borsó hidropóniás agyaggolyóágyás csepegtetőtüskével és csővel.....	24
kép 13: Az agyaggolyóágyás csepegtetővel.....	25
kép 14: A borsó FlourPen mérés közben látható a tartó madzag	25
kép 15: A borsó hidropóniás agyaggolyóágyás csepegtetőtüskével és csővel kezdeti fázisban	25
kép16: A klímaberendezés külső szellőzője, és az áramvezeték a konténeren.	25
kép 17: A klímaberendezkedés a konténeren belül.....	25

13. Melléklet

Leíró statisztikai elemzés						
		Átlag	Szórás	Minimum	Maximum	Medián
Magasság (cm)	<i>Normál LED</i>	43,48	15,09	16,00	63,40	37,2
	<i>Kertészeti LED</i>	42,97	20,75	7,90	79,60	33,4
	<i>Fénycső</i>	32,83	11,74	16,20	63,25	26,5
	<u>Total</u>	39,76	16,81	7,90	79,60	-
SPAD érték	<i>Normál LED</i>	32,62	4,70	24,60	48,90	31,4
	<i>Kertészeti LED</i>	30,93	6,74	16,50	51,20	30,9
	<i>Fénycső</i>	29,20	8,71	9,60	45,90	27,8
	<u>Total</u>	30,92	6,96	9,60	51,20	-
Kvantumhozam (Φ)	<i>Normál LED</i>	0,758	0,08	0,52	0,86	0,77
	<i>Kertészeti LED</i>	0,80880	0,04	0,65	0,85	0,8
	<i>Fénycső</i>	0,78440	0,04	0,59	0,84	0,78
	<u>Total</u>	0,78373	0,06	0,52	0,86	-

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: UTASI JÁNOS
A Hallgató Neptun kódja: G7T7JK
A dolgozat címe: Borsó (Pisum sativum L.) fejlődésének vizsgálata hidrogénizotópok segítségével készített
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Növénytermesztési Tudományok Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Agronómiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

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

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

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

Kelt: Gödöllő 2023 év 21 hó 13 nap

Utasi János
Hallgató aláírása

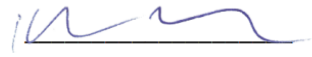
NYILATKOZAT

Utasi János (hallgató Neptun azonosítója: G7T79K) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Gödöllő, 2023.11.13.



Borsó (*Pisum sativum* L.) fejlődésének vizsgálata hidropóniás körülmények között

Utasi János (G7T79K)

Mezőgazdasági mérnök B.Sc. levelező

MATE Növénytermesztési-tudományok Intézet, Agronómia Tanszék

Belső témavezető: Dr. Kende Zoltán, egyetemi adjunktus MATE NTTI

Társ témavezető: Piroska Petra, PhD hallgató, MATE NTTI

A dolgozatomban a borsó *Pisum sativum* L. hidropóniás körülmények közötti fejlődési lehetőségét vizsgáltam. Vizsgálatok során mértük a növények magasságát, klorofilaktivitását és stressz szintjét különböző típusú és karakterisztikájú világítótestek alatt. Dolgozatomban kiemelem a hidropóniás termesztés jelentőségét, amely hatékony lehetőséget kínál mind zárt, mind nyílt környezetben. A hidropóniás gazdálkodás már jelen van a piacon, és a klímaváltozás hatásainak ellensúlyozására szolgál. A kutatás célja a borsó hidropóniás körülmények közötti termesztésének vizsgálata, annak érdekében, hogy élelmiszerbiztonságot nyújtson a klímaváltozás körülményei mellett is.

Vizsgálataim során különös figyelmet fordítottunk a megvilágításra, hiszen a hidropóniás termesztés költségeinek jelentős részét ez teszi ki. A megvilágítás hatásainak és a teljesítmény javításának vizsgálata kulcsfontosságú a termesztés hatékonyságának növelésében. Ennek megfelelően három különböző fényforrást hasonlítottam össze a borsó fiziológiai vizsgálataival. Egy hagyományos LED, egy keverhető fényspektrumú LED és egy hagyományos fénycső alatt nevelkedtek a borsók. Az eredményekből kitűnik, hogy a szakirodalmi adatoknak megfelelően a borsó képes csírázni, fejlődni és termést is hozni hidropóniás termesztése során. A kertészeti kevert spektrumú LED fény alatti növények magasságban érték el a legjobb eredményeket, ami valószínűleg a fényforrás összetettségének köszönhető. A kvantumhozam adatai alapján a fotoszintetikus hatékonyság terén a fénycső és a Kertészeti LED emelkedett ki. Ennek oka valószínűleg a Kertészeti LED magas PAR szórásspektrum-képességében rejlik, illetve a fénycső stabil fénye mellett a LED által generált másodlagos fényszórás is előnyös a növények számára.

A kutatásom eredményei összességében azt mutatták, hogy a hidroponikus borsótermesztéshez a Kertészeti LED, különösen a kevert spektrumú fényforrás a legmegfelelőbb, ezt követi a fénycső és a Normál LED. Ezek a megállapítások további vizsgálatokra adnak okot, és ajánlott, hogy ezek folytatódjanak.