

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

**6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

5.1. sz. melléklete: Külső és belső címlap

DIPLOMADOLGOZAT

Horváth Miklós Rajmond

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

szakot gesztoráló intézet neve

Agrármérnök osztatlan szak

**MIKROZÖLD-TERMESZTÉS HOZAM OPTIMALIZÁLÁSA VERTIKÁLIS
NÖVÉNYTERMESZTÉSBEN**

Belső konzulens: Balázs László

Egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:**

Növénytermesztési-tudományok Intézet

Készítette: Horváth Miklós Rajmond

Gödöllő

2025

1.	Bevezetés.....	2
2.	Célkitűzés.....	3
3.	Szakirodalmi áttekintés.....	3
3.1.	Vertikális farmok korábban	3
3.2.	Mikroözöldekről általában	3
3.3.	Talaj nélküli termesztő rendszerek	4
3.4.	A növények tápanyaggazdálkodása és a tápoldattal szemben támasztott követelmények	8
3.5.	A borsó (<i>Pisum Sativum L.</i>)	9
3.6.	A napraforgó (<i>Helianthus annuus L.</i>)	10
3.7.	Vertikális farmok megvilágítása	11
4.	Anyagok és módszerek.....	13
4.1.	A termesztés körülményei	13
4.2.	4 borsó fajta hozzáadott távolivörös fényre adott változásainak mérése	14
4.3.	Mikroözöld napraforgó változásai különböző intenzitású fény hatására	18
5.	Eredmények és értékelés.....	19
5.1.	Mikroözöld napraforgó változásai különböző intenzitású fény hatására	19
5.2.	4 borsó fajta hozzáadott távolivörös fényre adott változásainak mérése	21
5.2.1.	Mennyiségi változások:.....	21
5.2.1.1.	Borsófajták összevetése:.....	21
5.2.1.2.	SPAD mérések értékelése:.....	22
5.2.1.3.	Növekedési ütem elemzése:.....	24
5.2.1.4.	Zöldtömeg és gyökértömeg eredmények:.....	27
5.2.1.5.	Levélszám elemzés:.....	30
5.2.2.	Minőségi változások:.....	31
6.	Következtetések és javaslatok.....	31
7.	Összefoglalás.....	Error! Bookmark not defined.
8.	Irodalomjegyzék.....	33
9.	Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	36
10.	Mellékletek.....	Error! Bookmark not defined.

1. Bevezetés

A világ népessége folyamatosan növekszik, az ENSZ 2024-es kutatása szerint a tavalyi 8,2 milliárdról 2050-60-ra elérheti a 10,3 milliárdot is. Ennek a népességnek egyre nagyobb része lakik városokban, ezért a mezőgazdaságban dolgozók száma is egyre alacsonyabb, 2024-ben Magyarországon a foglalkoztatottak csupán 190,8 ezer fő (KSH, 2024). A vidéken született fiatalok is inkább felköltöznek városba, mert mára a mezőgazdasági munkák negatív megítélés alatt állnak a szolgáltatási szektorral szemben. Egy különös helyzettel állunk szemben: a népesség egyre növekszik, több és több éhes szájat kell etetni, de nincsenek sokan, akiknek kedve lenne művelni a földet és földrajzilag is messze vannak a gazdaságoktól. A technológia fejlődése lehetővé tette számunkra, hogy a mezőgazdasági munkák nagy részét alacsony létszámmal el lehessen végezni, viszont azzal számolni kell, hogy a termőterület véges; a talaj erózió és szennyezés által romlik, akár olyan mértékben, hogy ki kell venni a termesztésből ezáltal nem csak hogy stagnál, de csökken a termelésbe vehető földterület aránya nap mint nap.

Erre a problémára megoldást kell találni, ami több szempontot is kielégít. Az első, hogy a négyzetméterenkénti hozama minél nagyobb legyen, vagyis hogy minél kevesebb területről minél több ember tudjon jóllakni. A második szempont, hogy városokban, vagy annak környékén helyezkedjen el a termőterület. Harmadik, hogy a termelés a világ minden pontján azonos hozamú legyen. Ez azért fontos, hogy ne kelljen szennyezni a környezetet a szállítással járó káros gázok kibocsátásával. A fenti szempontoknak kiválóan megfelel a vertikális növénytermesztés. Nap mint nap lehet hallani különböző megoldásokról, mint például a tetőtéri növénytermesztés, *ami túlnyomó többségben (84%-ban) fedetlen kertek formájában jelenik meg* (Appolloni *et al.* 2021). *Ennek vannak bizonyos hátrányai, amit a vertikális növénytermesztés kiküszöböl.*

A vertikális farmok lényege, hogy beltéren, környezeti viszonyoktól elzárva, szabályozott klímával, megvilágítással, megfelelő tápanyagok adagolásával kielégítsük a növények igényeit a genetikai potenciáljuk minél magasabb szintű kihasználása érdekében. Azért vertikális, vagyis függőleges, mert a növények egymás feletti szinteken helyezkednek el a helységben. Alapvetően talaj nélküli technológiáról beszélünk, lehet aeropónikus vagy hidropónikus rendszer, fajtól függően.

A hidroponikus rendszer lehetővé teszi a mikroöledek termesztését, ami nem csak helytakarékos, de az ízvilága intenzívebb, mint a kifejlett növényeké. Minden fajnak sajátos

íze van, általában savanykás, pikáns, vagy kesernyés is lehet. Tehetjük salátába, rakhatjuk ételeinkbe fűszerként, ehetjük magában is és gyógyszeripari felhasználásuk is lehetséges. Csíráztatástól learatásig általában 1-3 hét telik el, ezért egész évben friss zöldség áll rendelkezésre a fogyasztóknak.

2. Célkitűzés

Az alábbiakban megvizsgálom a napraforgó és borsó mikroözöldek fejlődésének eltéréseit különböző megvilágítási programok mellett, emellett azt is, hogy a többlet energia felhasználás mekkora zöldtömeg-beli változást eredményez. A kísérletet hidropónikus rendszerben végzem levegőztetés nélküli tálcákon.

Dolgozatom lényege, hogy optimalizáljam a világítási program paramétereinek megválasztásával a termelést, ezzel a felhasznált energia függvényében a lehető legnagyobb hozamot érjük el. Továbbá azt akarom megtudni, hogy a felhasznált többlet energia aránylag mekkora mértékben segíti a növény növekedését.

3. Szakirodalmi áttekintés

3.1. Vertikális farmok korábban

A vertikális növénytermesztés első képviselője a Dr. F. W. Went által létesített „phytotron” botanikai laboratórium (Nature, 1949). Ez a kaliforniai labor lehetővé tette, hogy a külvilágból érkező zavaró tényezőket (mint például az egyenetlen vízellátás, a viszályos klimatikus viszonyok vagy a káros UV-sugarak), amik a növények növekedésére negatívan hatnak, kizárjon a kísérletekből, ezzel javítva azok pontosságát. Ezek a létesítmények a technológiai fejletlenség miatt még rendkívül energiaigényesek voltak, a növények a többszörös hozam ellenére sem voltak még gazdaságosan termeszthetők.

3.2. Mikroözöldekről általában

A mikroözöldek vagy fűszerek olyan pár hétig hajtított növények, amelyeket már az első valódi levelek megjelenésekor learatunk, nem várjuk meg a valódi levelek kialakulását. A mikroözöldek magasabb koncentrációban tartalmaznak vitaminokat (például C vitamin), ásványianyagokat (például cink és réz) és antioxidánsokat, mindezek kedvező hatással vannak az emberi szervezetre. Az alábbi táblázatban láthatjuk Sibel Balik (2025) kísérletét, amiben hat gyakori mikroözöld aszkorbinsav-koncentrációját mérte. Példaként a friss zöldborsó C-

vitamin tartalma 40mg/100g (USDA, 2024), szemben a mikrozöldé 70,8mg/100mg, ami 1,77-szerese a friss termésének.

1. táblázat Hatféle mikrozöld fajta aszkorbinsav koncentrációja (FW=friss tömeg) Forrás: Sibel Balik et al. *Nutritional quality profiles of six microgreens (2025)*

Microgreen species	Microgreens ascorbic acid (mg /100 g FW)
Broccoli	49.02 ^d ± 0.07
Black radish	33.37 ^e ± 0.09
Red beet	32.72 ^e ± 0.08
Pea	70.76 ^b ± 0.01
Sunflower	67.55 ^c ± 0.79
Bean	80.45 ^a ± 0.10
LSD _{0.05}	1.4542

Számos növénycsaládból kísérleteztek mikrozöld termesztéssel és sok növényfaj már megjelent a fogyasztói piacon (Verlinden, 2019). Leggyakrabban a keresztesvirágúak (brassicaceae) és a disznóparéjfélék (amaranthaceae) (Kyriacou et al., 2016). Népszerű növényfajok a cékla, mángold és amaránt a disznóparéjfélék közül; retek, brokkoli, káposzta, mustár, rukkola és pak choi a keresztesvirágúak családjából. Gabonanövényeket és fűszernövényeket is mikrozöld termesztésbe vesznek.

3.3. Talaj nélküli termesztő rendszerek

A talaj nélküli termesztő rendszerek alapja, hogy a növények gyökerei talaj helyett valamilyen élettelen közegben helyezkednek el. Ez azt jelenti, hogy a talaj által nyújtott funkciókat mesterséges módon kell biztosítani (Balázs et al. 2000). Ez számos előnnyel jár a hagyományos módszerrel szemben. Ezek a következők:

- Nem igényel termőtalajt
- Munkaerő-megtakarítás számos talajművelési munkával kapcsolatban
- Talajlakó kórokozóktól és kártevőktől mentes környezet, a gyökérrögzítő közegek gyakorlatilag fertőzésmentesek
- Tápanyagellátás és vízellátás optimális szinten tartható, jól automatizálható
- Magasabb minőség és terméshozam
- Termelésre alkalmatlan területen is létesíthetőek termesztőberendezések

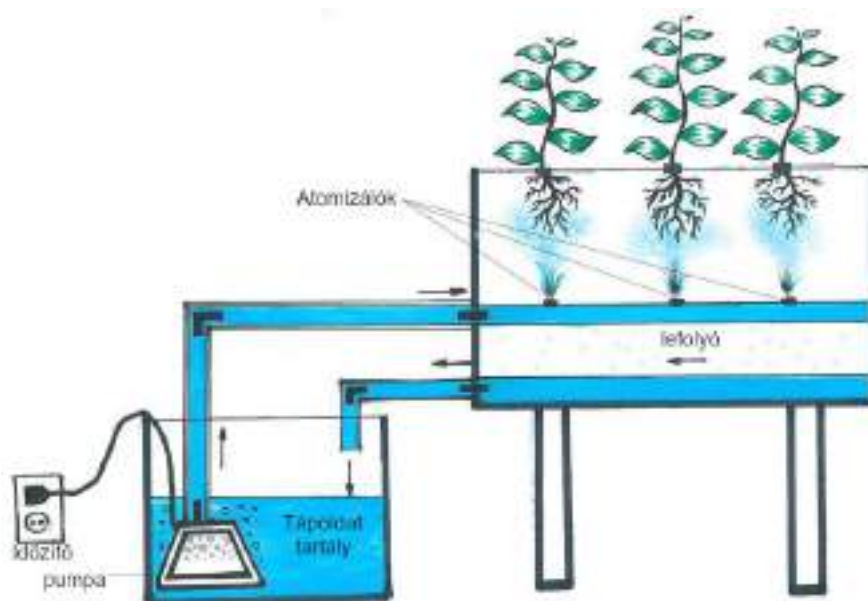
Nem csak előnyökkel jár ez a termesztési rendszer, hanem hátrányokkal is, mint például a speciális szakértelem szükségessége, a megvalósításához magas tőkét igényel és rendszeres felügyeletet igényel. Mindezt figyelembe véve így is kedvező beruházni a talaj nélküli

növénytermesztésbe. Az alábbiakban felsorolom a különböző termesztési módokat termesztőközeg szerint, valamint részletesebben bemutatok a keringeteses és keringetés nélküli hidropónikus berendezések közül egyet-egyet, hogy a kísérletben használt technológiát ismertessem.

Aeroponika: Az aeroponika fogalma a minden nemű aggregátum nélküli termesztés, a növények gyökerei a levegőben lógnak és tápanyagdús párán vagy ködön keresztül veszik fel a tápanyagot (Patel és Rathod, 2025). Ez a technológia a gyökerek számára maximális oxigén és tápanyag ellátottságot eredményez, melynek hatására növelhető a növekedési erély és a termés hozam. Az aeroponika még a hagyományos hidropónikával szemben is hatásosabb, mert magasabb a hozam, alacsonyabb a víz és tápanyag felhasználás, valamint a vízben található kórokozótól is megszabadulunk. Pavan K. Patel és K. D. Rathod cikke szerint a vízhasználatot lecsökkenthetjük akár 96%-kal a talaj alapú növénytermesztéssel szemben. Ez hatalmas előny főleg azokon a területeken, ahol korlátozott mennyiségben áll rendelkezésre öntözésre alkalmas vízkészlet. Különösen jó hozamot tudunk elérni értékes élelmiszer-növényekkel, mint a paradicsom (Chandra et al., 2014) vagy a burgonya (Ritter et al., 2001).

Az alábbi ábrán láthatjuk egy aeroponikus termesztési rendszer vázlatát, ami Pavan K. Patel és K. D. Rathod cikkében jelent meg. a 2. ábrán láthatjuk, hogy a növények egy tartályban lógnak, amire alulról szelepen keresztül szórják a tápoldatot, majd a lefolyt többlet oldat a tartály alján gyűlik össze, majd az adagoló tartályba folyik vissza. Az oldatot az elektromos szivattyú juttatja el a növényekhez.

1. ábra aeroponikus rendszer (Forrás: Pathel és Rathod, 2025)

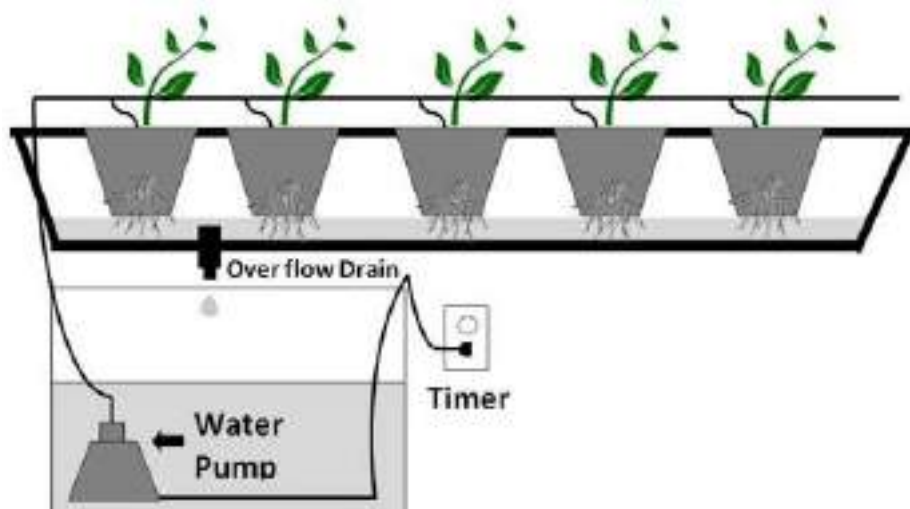


Aggregátponika: A lényege, hogy valamilyen talajt helyettesítő termőközeg veszi körül a gyökereket. A termőközegnek az a feladatuk, hogy optimális feltételeket biztosítsanak az ideális víz- és tápanyagfelvétel érdekében. A szubsztrát lehet szerves vagy szervetlen (Slezák és Terbe, 2019). Szerves eredetű anyagok a tőzeg, a kókuszrost, szalma, rizspelyva, kukoricháncs, fakéreg, faháncs, faforgács, fűrészpor és komposztok; ásványi eredetű a homok, folyami kavics, kőzúzalék, kőgyapot, üveggyapot, agyaggolyók, porózus kerámiai anyagok, etc.

A hidroponikus rendszereknek két csoportja van; visszaforgatásos és a visszaforgatás nélküli rendszerekre lehet őket osztani. A forgatásos rendszerekben a tápoldatot szivattyúval adagoljuk a gyökérszónába, ahonnan a lefolyó oldat tartályban gyűlik össze, majd hasznosul újra. Ez csökkenti a vízhasználatot, viszont a tápoldat koncentrációját rendszeresen mérni kell. A forgatás hatására a vízben oldott oxigén koncentrációja stabil marad. Az alábbiakban kifejtem bővebben a forgatásos és forgatás nélküli rendszerek közül a főbb fajtaikat.

Csepegtető rendszer: Ebben a rendszerben a pumpa a tápoldatot közvetlenül a gyökérszónába injektálja, akkora mennyiségben amennyit a gyökérszövet fel tud szívni, a felesleg oldat visszakerül a tartályba (Jan et al., 2020). A csepegtetőket különböző térfogatáramra lehet állítani, ezért egy rendszerről többféle növényt lehet öntözni.

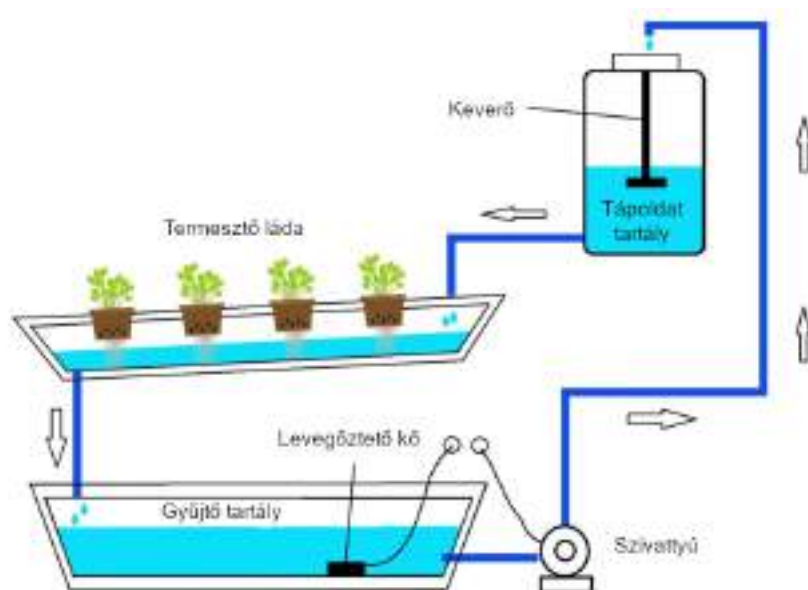
2. ábra a csepegtető rendszer sematikája Forrás: Birkby (2016)



Ár-apály rendszer: Az ár-apály rendszer lényege, hogy a gyökérzónát periódikusan elárasztják a tápoldattal, majd az lassan visszaszivárog a tartályba (Thapa et al., 2024). A vízszint váltokozása megakadályozza a sólerakódást a termesztőláda belsejében és robosztus gyökérzetet eredményez. Az időszakos szárazság természetzerű körülményeket biztosít, ezzel a gyökérbetegségek kockázata csökken.

Táplódat film rendszer: A nevéből adódóan a táplódat a termesztőláda alján van egy vékony rétegben, a láda döntve van ezért az oldat végigfut a gyökereken és egy helyen összegyűlik, ahol visszajut a tartályba. A láda alján a gyökerek vastagon szőtt réteget alkotnak.

3. ábra Táplódat film rendszer sematikus ábrája (Forrás: Wibisono és Kristyawan, 2021)

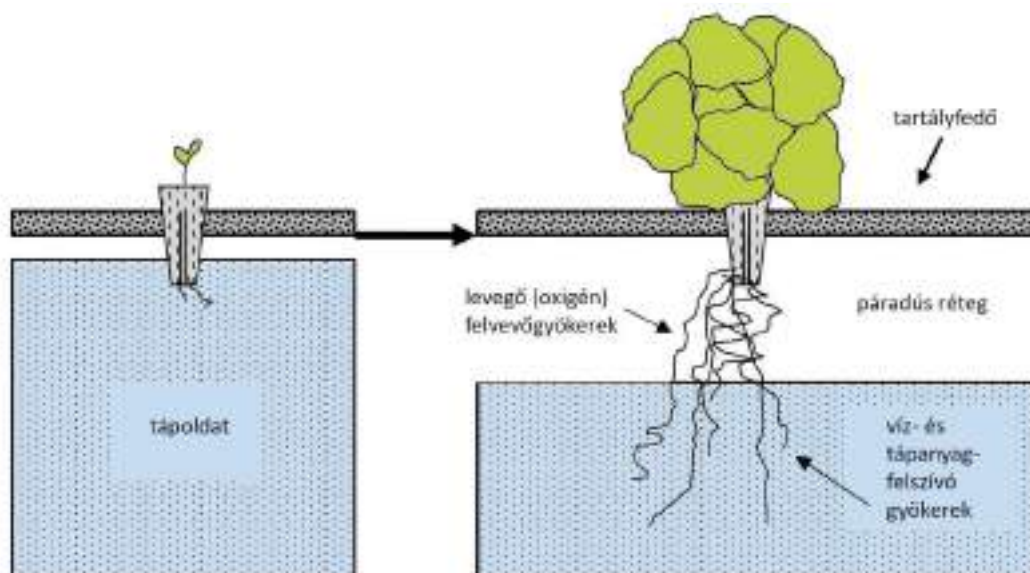


Kanócos rendszer: Ebben a rendszerben a kapilláris hatást használjuk ki, hogy az oldat a növényekhez jusson. Ez kevésbé számít forgatásos rendszernek, mivel nem szivattyú juttatja el az oldatot a növényekhez, ezért az oldat nincs keverve. Ez a vízben oldott oxigén mennyiségét csökkenti, ezért ha szaturáljuk a gyökérréteget, a növények megfulladhatnak. Az oxigén-mennyiséget buborékoztatóval lehet növelni.

Csónakos vagy úsztató rendszer: Itt a növények hungarocellból vagy más anyagból készült platformon helyezkednek el, a gyökerek közvetlenül a tápoldatba lógnak. Mivel a növények közvetlenül a víz felszínén úsznak, két dologra kell figyelni. Először is, a vízszintet elég magasan kell tartani, hogy a rendszer hatásosan működjön, másodsor pedig az oldott oxigén szintet kell növelni levegőztető kővel, mivel a gyökerek teljes egészében vízben vannak és ha nem kapnak oxigént megfulladnak.

Keringetés nélküli rendszerek közül igazából csak egy nevezetes példa van, ezt nevezzük Kratky-féle rendszernek (Kratky, 2009). A Kratky-féle rendszerben a ládába eleve beletöltjük a növény élettartama alatt felhasznált tápoldatot, amibe a növény gyökerei lógnak bele. A 4. ábrán láthatjuk a rendszer modelljét. Ahogy növekszik a növény a gyökerei egyre több tápanyagot használnak fel. Ebben a rendszerben keringetésre vagy levegőztetésre nincs szükség, mert ugyan vízben oldott oxigén szintje nagyon alacsony, a gyökérszóna két fő típusra oszlik. A vízbe lógó gyökerek a víz- és tápanyagfelszívó funkciót látják el, a víz feletti

4. ábra Nem keringtetett hidropónikus rendszer modellje a palántázási és a betakarítási szakaszban (Kratky, 2009)



részek pedig az oxigén-felvevőgyökerek.

3.4. A növények tápanyaggazdálkodása és a tápoldattal szemben támasztott követelmények

A hidroponikus rendszerek tápoldatának meg kell felelnie a növények igényeinek, amelyeket számszerűsíteni lehet pH szinttel, tápanyag tartalommal, és más paraméterekkel. A tápanyag- és vízfelvétel több tényezőtől is függ. Ezt elsősorban a közeg víztartalma és a rizoszféra kémhatása befolyásolja. A talaj nélküli növénytermesztésben a gyökérszóna optimális pH-ja 5,5-6,5 között alakul (Kyriacou et al., 2016). 6,5-ös pH felett megnő az esélye, hogy bizonyos tápelemek kicsapódnak, 5-ös pH alatt pedig a mangán, vas és cink kivételével a tápelemek felszívódása jelentősen csökken. Az alacsony pH főleg a kationok antiport módú felvételét gátolja a magas H⁺ koncentráció miatt. A pH-t növelni kalcium-hidroxid vagy karbonát oldatok hozzáadásával lehetséges. A tápelemek más és más kémhatású közegben változó mértékben szívódnak fel. A nitrogén, foszfor és kálium enyhén savas közegben, kalcium és magnézium pedig enyhén lúgos közegben szívódik fel a legkedvezőbben. Lúgos közegben a mikroelemek felvehetősége csökken. Mivel a gyökérszóna pH-ja képes nagymértékben megváltozni, a rendszeres ellenőrzésre különös figyelmet kell fordítani, hogy a tápelemeket a növény megfelelő mértékben fel tudja szívni.

A víz és tápanyag felvételének sebességét továbbá a közeg hőmérséklete és oxigéntartalma is befolyásolja. A közeghőmérséklet a vertikális növénytermesztésben a légkondicionálás által biztosítva van. A hőmérséklet több módon is befolyásolhatja a tápanyagfelvételt. Először is, alacsony hőmérsékleten a sejtmembrán rigiddé válik, ezáltal az aktivitásuk csökken és a víz- és ionfelvétel lassul.

3.5. A borsó (*Pisum Sativum L.*)

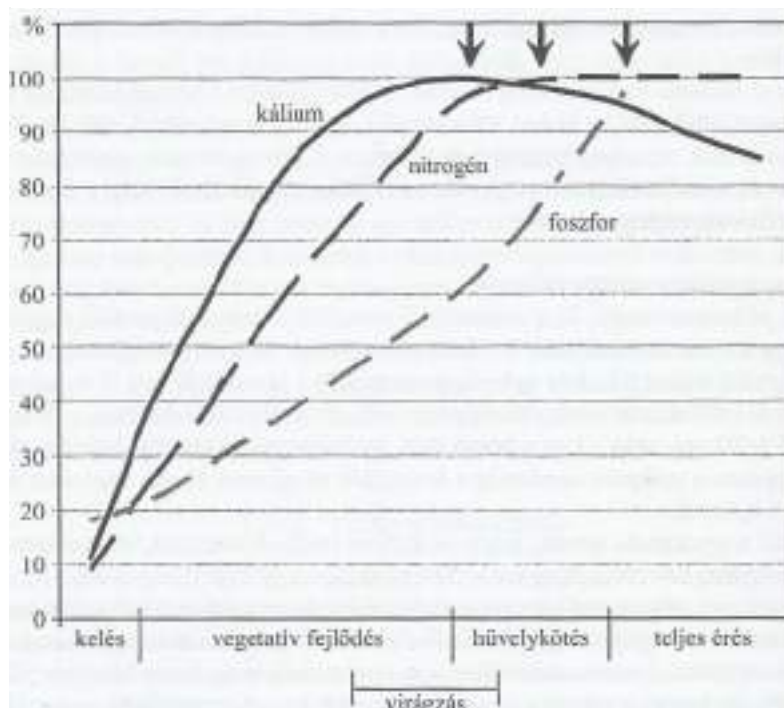
A borsó a pillangósok (fabaceae) családjába tartozik, jelentős takarmányozás és emberi táplálkozás szempontjából is (Udvari, 2010). Nyersfehérje tartalma közel 30%, 60%-ban tartalmaz szénhidrátot és közel 2%-ban olajokat (Komonyi, 2013). Megkülönböztetünk szántóföldi és kertészeti változatot, amelyeknek nagyjából azonosak a biológiai igényei, viszont az éréscsoporttól függően más a fény és hőigényük. Érés ideje 90-110 nap, viszonylag rövid. Termesztőközegét tekintve a 6,5-8,0 pH értékű kémhatás az optimális.

A borsó hőösszegigénye fajtától függően 600-900 C° (Antal, 2005). Fejlődési küszöbértéke 4,4 C°, ami röviden a legalacsonyabb hőmérséklet, ahol csírázni kezd. Csírázási optimuma 14-15 C°, virágzáshoz 15-18 C°, éréshez 18-20 C°.

A borsó hosszúnappalos, tavaszi vetésű növény (Nagy, 2000). Ez azt jelenti, hogy míg a vegetatív részek inkább rövid megvilágításban fejlődnek, generatív részek fejlődéséhez, mint a virágképződés és termésfejlődés hosszú megvilágítási program szükséges. Szélsőséges

fényviszonyok mellett a növény rendellenesen fejlődik. Gyenge megvilágításnál a tenyészideje elnyúlik és a generatív részek aprók, a hüvelyek hiányos magvúak lesznek. Túl erős fény mellett viszont a szára erősen megrövidül. Ezért kell odafigyelni a világítási program igazítására a növény különböző fejlődési szakaszaihoz. Fajlagos tápanyagigénye 1 tonna terméssel: 19 kg/t nitrogén, 6 kg/t foszfor, 15 kg/t kálium. Vegetatív fejlődési szakaszban a kálium és nitrogénfelvétel kerül túlsúlyba, a generatív részek fejlődésének

5. ábra Hüvelyesek tápanyagfelvételének dinamikája Forrás: Növénytermesztés 2. 120. o., Mezőgazda kiadó



kezdetekor viszont egyre nagyobb mértékben hasznosítja a foszfort, ahogy ezt a 00. ábra is mutatja.

A csírázáshoz a mag súlyának akár 150%-ának megfelelő vízmennyiséget felvesz, attól függően, hogy milyen felhasználásra nemesített. Az első fejlődési szakaszokban egyenletes vízellátást igényel, legtöbb vizet virágzáskor és hüvelkötés idején használ fel.

3.6. A napraforgó (*Helianthus annuus L.*)

A napraforgó a fészkesvirágzatúak (compositae) családjába tartozó legfontosabb olajnövény, az olajnövények második csoportjába, a linolsav csoportba tartozik. A kaszat olajtartalma elérheti az 52-56%-ot is, fehérjetartalma ~19%, szénhidrát tartalma 24% (USDA, 2024). Észak-Amerikából származik, ebből adódóan a melegebb éghajlatot kedveli. Melegigényes, vagyis tenyészideje alatti hőösszegigénye 1900-2500 C° között alakul a tenyészidőtől és környezeti feltételektől függően.

A csírázás 6-7 C°-on indul meg. A vegetatív részek fejlődésekor a 18-22 C°-os hőmérséklet megfelelő vízellátással a gyökerek erőteljes növekedését segíti elő. A túlzott hőség (26-27 C°) viszont már gátol bizonyos élettani folyamatokat károsít. A napraforgó fényigényes növény. Rendkívül változatos a fajtaválasztéka, így megtalálható rövid- és hosszúnappalos megvilágítást igénylő hibridek és fajták is megjelennek.

1 tonna kaszat termeléséhez a növények 40 kg nitrogént, 30 kg foszfort és 70 kg káliumot vesznek fel. A nitrogén a vegetatív fejlődéshez alapvető szükséglet, viszont kedvező hatása teljes mértékben csak a mikro- és mezoelemek felvétele esetén érvényesül.

A napraforgó közepes vízigényű növény. Transpirációs koefficiense 470-765 l/1 kg szárazanyag-értékkel jellemezhető. Jó szárazságtűrő. A napraforgó vízfelhasználása két időszakban a legmagasabb: az első kritikus szakasz a tányérkezdemény kialakulásától a virágzás kezdetéig tartó szakasz. Ilyenkor a növény vízigényének közel 40%-át használja fel. A második ilyen szakasz a virágzás utáni fenofázis, amikor a kaszatkitelődés és olajfelhalmpzódás folyik, ilyenkor vízigényének 20-25%-át használja fel, ami mintegy 120-150 mm.

A növény növekedése kezdeti fázisokban lassú. A két-három pár leveles állapotában még 10-15 cm-es, a 11-12 pár leveles pedig 60-70 cm-es magasságú. A virágzás előtti állapotában a teljes magasságának 70-80%-át is eléri.

Felhasználás:

- Étolaj (telítetlen zsírsavak): margarin
- Ipari felhasználás: növényvédő szerek, festékek, kozmetika
- Olajpogácsa (olaj kinyerése után): takarmány (50% fehérje)
- Kaszathéjból: élesztő, etilalkohol, farostlemez
- Napraforgótányér: takarmány
- Kiváló mézelő
- Zöldtakarmány
- Zöldtrágya

3.7. Vertikális farmok megvilágítása

Hagyományos növénytermesztésben, de még kertészeti gyakorlatban is a növények csupán a nap energiáját használják fel a fejlődéshez. A termesztőberendezésekben különleges esetekben használnak kiegészítő világitást a rossz időjárás miatt vagy hogy a növény

igényeihez igazodjanak, legtöbbször gyakorlatban még gátolják is a napfény besugárzását a védelmük érdekében például fehér festékekkel vagy fátollal. Vertikális farmokból a napfény ki van zárva, ezért mesterségesen kell megvilágítani a növényeket. Ahhoz, hogy a megvilágítást megfelelő módon szolgáltatassuk, először is meg kell ismerni a növények által felhasznált fény tulajdonságait és annak hatását azok élettani folyamataira.

A növények fényspektrum egyes szakaszait eltérő módon hasznosítják. (Nishio, 2000).

Elsősorban a kék és vörös fénytartományban lévő fényt abszorbalják, míg az ultraibolya, zöld és nagy mértékben a távoli vörös fényt visszaverik, ennek köszönhetően kapnak zöld színt.

Benediktus Anindito és társai (2018) cikkében részletesen leírja az 1. táblázat, mely hullámhosszak vesznek részt a fotoszintetizációban. Ez a továbbiakban fontos információ lesz a beltéri világítás optimalizációjában.

2. táblázat Fény hullámhosszai és fotoszintetizáció (Forrás: Anindito et al., 2018)

Hullámhossz (nm)		Neve	Látható (igen/nem)	Abszorbalás növény által (igen/nem)
200	280	UV C	N	N
280	315	UV B	N	N
315	380	UV A	N	N
380	400	UV A	I	I
400	520	ibolya, kék, zöld	I	I
520	610	zöld, sárga, narancssárga	I	N
610	720	narancssárga, vörös	I	I
720	1000	távoli vörös	I	I

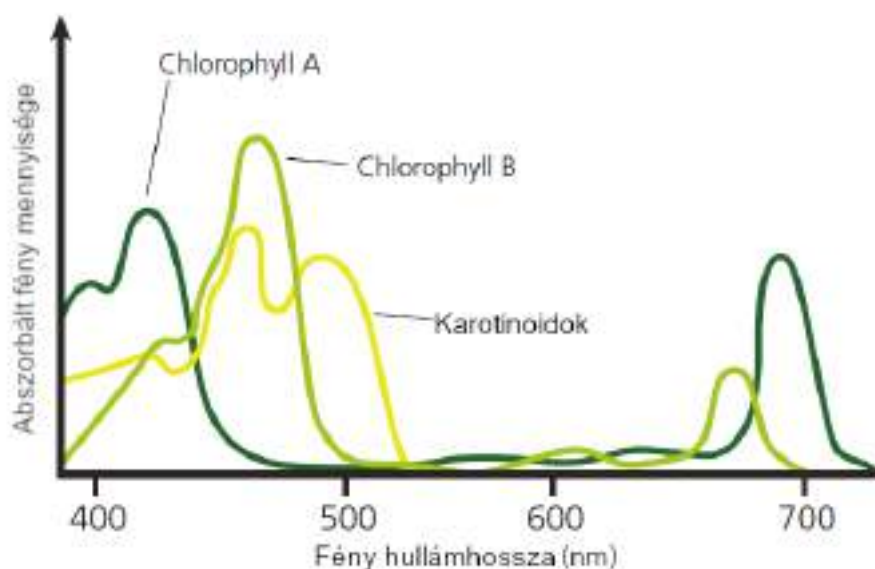
A napból a Föld felszínére érkező fény hullámhossz-spektruma 200 nm-től több mint 2000 nm-ig terjed. Ezeket három nagyobb kategóriába lehet sorolni (ENSZ, 2022):

- A levegőben terjedő ultraibolya sugárzás (200-400 nm) , amit fel lehet osztani
 - UV A (315-400 nm)

- UV B (280-315 nm)
- és UV C (200-280 nm) spektrumra,
- Emberi szemmel látható fény, ami 380-780 nm-ig terjed és
- Infravörös sugárzás, ami minden olyan sugárzás amely több, mint 780 nm hullámhosszú

A növény nem minden fajta fényt használ fel és nem egyenlő mértékben, ezt a fotoszintézisért felelős vegyületek határozzák meg főképp. Skowron és társai (Skowron et al., 2024) kimutatták, hogy az UV B és UV C sugárzás növeli a bazsalikom mikrozöld antioxidáns tartalmát, de a fotoszintetikus aktivitásra nincs hatással. A fotoszintetikus vegyületek (klorofilok, karotinoidok) a látható fényre reagálnak leginkább, azon belül a kék és a vörös fényekre.

6. ábra a növények levelei által abszorbált fény mennyisége Forrás: Chen (2014)



4. Anyagok és módszerek

4.1. A termesztés körülményei

A kísérletet Gödöllőn, kísérleti téren végeztük. A növények két konténerfarmban voltak termesztve a kísérlet ideje alatt. A növények felett programozható LED világítótesteket helyeztünk el, amik a növényeknek pontosan beállított intenzitású és spektrumú fényt termel. A világítótestek időzítőhöz vannak kapcsolva. A konténerek klímaberendezésekkel

rendelkeznek, a fűtést és hűtést egyaránt megoldva. A levegőt ventilátorokkal keringettük, hogy a növények mindenhol azonos hőhöz és CO₂-hoz jussanak.

7. ábra a gödöllői vertikális farmok



4.2. 4 borsó fajta hozzáadott távolivörös fényre adott változásainak mérése

A bal oldali konténerben a termesztést aggregátpónikus rendszerben alkalmaztuk. Az aggregátum anyaga szárított agyaggolyó, a vizet és tápanyagot csepegtetővel 2/1/1 ml/l koncentrációjú NPK+mikrotápanyag tápoldattal öntöztük. Ezt az oldatot ecetsavval beállítottuk ~6,5 pH értékre és az elektromos vezetőképessége (EC) 1,5 és 2 mS/cm közötti. A csepegtetők 200-300 ml/perc oldatot juttatnak ki. Az oldatot a termesztés 17. napján megmértük EC-pH mérővel (márkája COMBI 5000 STEP System GmbH, Nürnberg, Németország) és hozzáadtunk annyi vizet és tömény folyékony műtrágyát, hogy a határértékeken belülre kerüljön.

Az Advanced Hydroponics of Holland által forgalmazott műtrágya adatai a következők:

A „Grow” nevű műtrágya hatóanyagai:

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

A „Bloom” nevű műtrágya hatóanyagai:

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

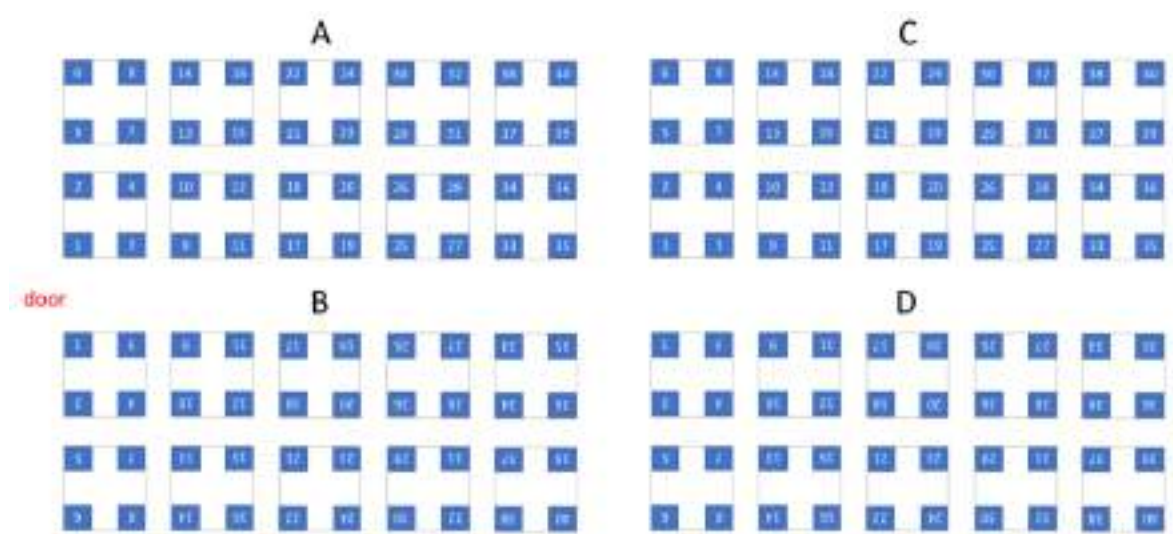
A „Micro” nevű műtrágya hatóanyagai:

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

Molibdén		Mo	0,003%
Cink	(EDTA kelátképző)	Zn	0,018%

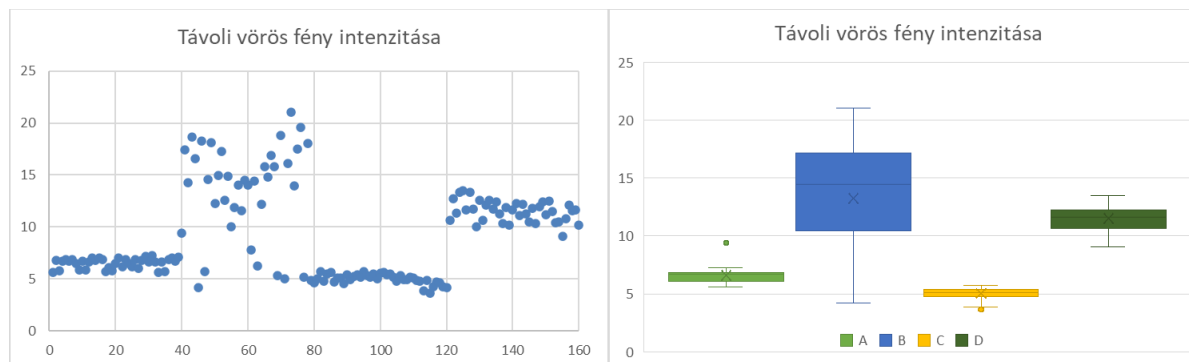
A növények 4*10 db 20*20 cm-es termesztőedényben vannak elhelyezve, minden edényben 4-4 egyeddel. A 4 termesztőberendezés jelzése A, B, C és D. A növényeket fehér fényű izzóval világítottuk meg, a B és D tálcák felett elhelyeztünk távolivörös izzókat is.

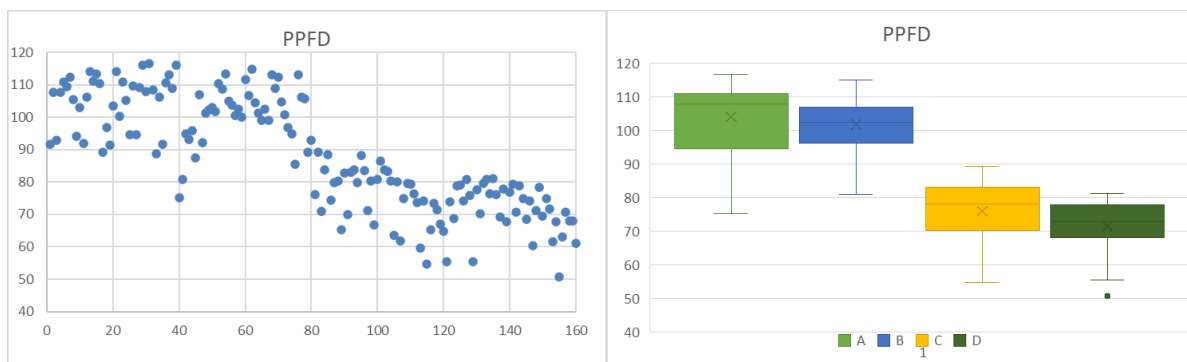
8. ábra a blokkok elhelyezkedése a konténeren belül (Forrás: saját munka)



Az A és B blokkok közelebb voltak az izzókhöz, ezáltal a fotoszintetikus fotonfluxussűrűség (PPFD) 104,045 és 101,71 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, a C és D blokkok pedig távolabb voltak így alacsonyabb, 75,83 és 71,49 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ a PPFD értéke. Az izzókat időzítővel xx órás napi megvilágítási programra állítottuk. A B és D blokkok a fehér fényen felül 13,24 és 11,52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ infravörös fényt is kaptak.

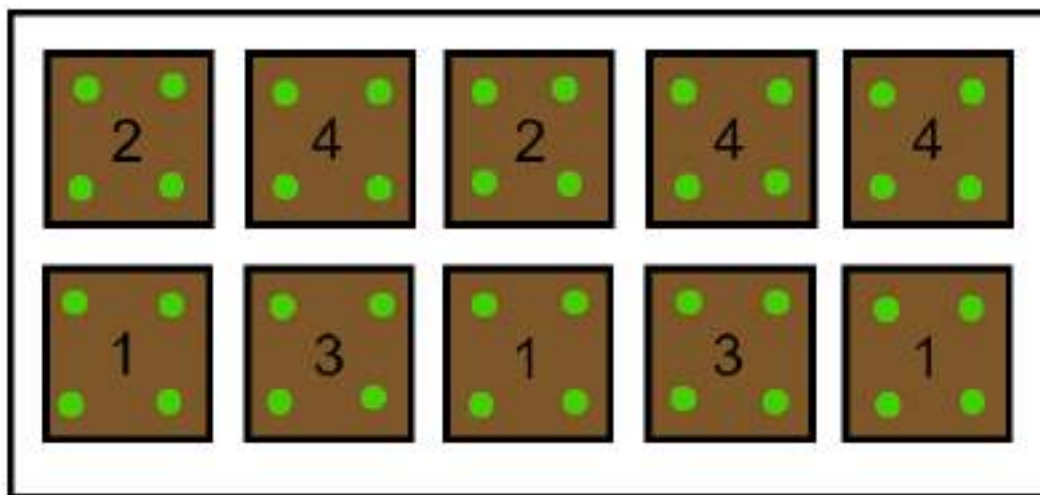
9. ábra a PPFD és infravörös fény megoszlása a mérési pontokon és a blokkokban (Forrás: saját munka)





A hőmérsékletet 25 napig 18°C-ra, majd a kísérlet végéig 20°C-ra állítottuk. A kiültetéstől kezdve a kísérlet 30 napig tartott.

10. ábra az egyedek elhelyezkedése a termesztőedényekben belül és a fajták számozva a blokkban (Forrás: saját munka)



A kísérlet anyai négy fajta zöldborsó (*pisum sativum*), egy mikrozöld fajta, egy korán érő, egy közepesen korán érő és egy későn érő fajta, ezek sorrendben 1-4 számokkal vannak ábrázolva a fenti ábrán. A kiültetés előtt a borsókat híg hipós vízben mostuk, majd öblítés után egy héten keresztül csíráztattuk fedett tálcában, benedvesített papír törülközőn.

A csíráztatott borsókat kiültettük az edényekbe ~2 cm mélyen. A növények szárának hosszát mérőszalaggal megmértük a termesztés ideje alatt öt alkalommal a 7., 11., 17., 23., 25. napon

A kísérlet befejeztével megmértük a növények szárának és a gyökerének hosszát, az első internódusz hosszát, digitális tolómérővel a legelső levelek felett a szár átmérőjét. 0,001g-os pontosságú mérleggel megmértük a gyökér tömegét és a zöldtömeget. Minden egyed, amelynek szára a mérések alatt elszakadt vagy törpenövésű volt kivettük a kísérletből.

Minden egyednek megszámoltuk a leveleinek számát és SPAD-502Plus műszerrel a legfelső levelek klorofill mennyiségét.

11. ábra SPAD-502Plus klorofilmérő (bal oldalt) és COMBI 5000 STEP System EC-pH mérő (jobb oldalt)



4.3. Mikrozöld napraforgó változásai különböző intenzitású fény hatására

Ezt a kísérletet a középső konténerben végeztük. A növények 40*60 cm területű tálcákon növekednek Kratky-féle keringetés nélküli hidroponikus rendszerben, minden egyedat egyenként 7*12 db 4mm átmérőjű lyukba helyezünk annyira, hogy a gyökere a tápoldatba lógjon. A tápoldat megegyezik az előző kísérletben leírtakkal, ezzel addig töltöttük a tálcákat, amíg ~2-3 cm-re lett a tetejétől, ezzel biztosítva az oxigénellátást.

A növényeket a polcon két sorban termesztettük. A világítást kék-vörös LED-ekkel oldottuk meg.

A termesztett növény mikrozöld fajta napraforgó. A magokat két fajta módon csíráztattunk, az egyik fedett tálcába megnedvesített papír törülközőre raktuk a magokat igyekezve arra, hogy a magok ne legyenek egymáson. A másik tálcába kb. 2 cm mély vizet öntöttünk, ebbe fém rácsot raktunk úgy, hogy a víz épp ellepje. Erre a rácsra raktuk a magokat csírázni.

Egy hét csíráztatás után a legnagyobb csírákat kiültettük a tálcákra és vízzel megnedvesítettük, hogy ne száradjanak ki. A növényeket 23 napig neveltük, a 8. 10. és 17. napon szárhosszat mértünk, majd még egyszer a kísérlet végeztével. A növények átmérőjét is

megmértük digitális tolómérővel, és a zöldtömeget digitális mérleggel. Ahhoz, hogy a fogyasztásra alkalmas levelek mennyiségét is meghatározzuk, külön a levelek tömegét is megmértük és az egyedek levélszámát is lejegyeztük.

12. ábra napraforgó csírák elhelyezkedése a tálcán számozással



84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73
72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61
60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49
48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37
36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25
24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

5. Eredmények és értékelés

Ebben a fejezetben a kapott mérési adatokból kinyerhető összefüggéseket részletezem mennyiségi és minőségi változások szerint. A fent említett kísérletek szerint fogom csoportosítani az eredményeimet.

5.1. Mikrozöld napraforgó változásai különböző intenzitású fény hatására

Ez a kísérlet sikertelennek bizonyult a megválasztott módszerek folytán, mindenesetre a tapasztalataimat és hibáimat ebben az alfejezetben taglalom.

A csíráztatás két fajta módon történt. Megfigyeléseim szerint a rácson lévő magok csírázási %-a alacsonyabb, a csírákat nehezebb kiszedni és van, amely belesodródik a vízbe.

Szerencsére elég magot csíráztattam, hogy elindítsam a kísérletet.

13. ábra ábra csíráztatási kísérlet

Amikor kiültettem a csírákat a tálcákba észrevettem, hogy amíg az utolsó sort raktam ki, az első sor kezdett elszáradni. Ezt igyekeztem nedvesítéssel elkerülni, de a kísérlet végére az egyedek 49,89%-a, 336-ból 171 elszáradt vagy olyan gyenge lett, hogy a mérések alatt elszakadt.

A kísérlet alatti magasság mérések pontatlanok lettek, mert a szárok nem voltak vastagok, hogy stabilan maradjanak a tálcán, a kísérlet végére viszont olyannyira vastagok lettek az egyedek szárai, hogy a lyukakba már nem fértek bele és ez a növekedésükben gátolta. Ezen hibák ellenére az eltéréseket szemmel lehet látni, tudtuk, hogy jó úton járunk és a hibáinkból tanulva haladtunk tovább.

14. ábra a kifejlett napraforgók (A7 és B7 tálcák)



5.2. 4 borsó fajta hozzáadott távolivörös fényre adott változásainak mérése

Ahhoz, hogy könnyebben értelmezzük az eredményeket, ismételten leírom, a különböző blokkok világítási programját:

- A blokk: magas PPFD, alacsony infravörös fény
- B blokk: magas PPFD, magas infravörös fény
- C blokk: alacsony PPFD, alacsony infravörös fény
- D blokk: alacsony PPFD, magas infravörös fény

5.2.1. Mennyiségi változások:

5.2.1.1. Borsófajták összevetése:

A fajták közti különbségek tisztán láthatóak az alábbi táblázatokban. Mivel a mikrozöld fajtát csupán pár hetesen aratják, ennek kell a leggyorsabban fejlődnie, így ehhez viszonyítva láthatjuk a többi fajta teljesítményét a vertikális növénytermesztésben. Minden blokkban fajtánként kiszámoltam a mért paraméterek átlagát és összevettem, hány százalékos eltérés van köztük. Néhány érték szembetűnően eltér, zöld színt kapott, ha a CNSEEDS FAST magasabb a Spartacus, Baranta és Kond fajtához képest és vöröset, ha alacsonyabb.

15. ábra a négy fajta borsó átlag értékei és CNSEEDS FAST összehasonlítása a többi fajtával (%) (Forrás: saját munka)

A blokk:	CNSEEDS FAST	Spartacus	Baranta	Kond	CNSEEDS FAST/Spartacus eltérés (%)	CNSEEDS FAST/Baranta eltérés (%)	CNSEEDS FAST/Kond eltérés (%)	B blokk:	CNSEEDS FAST	Spartacus	Baranta	Kond	CNSEEDS FAST/Spartacus eltérés (%)	CNSEEDS FAST/Baranta eltérés (%)	CNSEEDS FAST/Kond eltérés (%)
Magasság (mm)	597.75	215.40	239.25	250.75	177.51	149.84	138.38	Magasság (mm)	526.33	180.29	261.25	206.44	191.94	101.47	154.95
Szár átmérő (mm)	1.70	2.21	2.32	2.46	-23.23	-27.02	-31.05	Szár átmérő (mm)	1.70	2.16	2.35	2.20	-21.61	-27.80	-22.72
Első internódusz hossza (mm)	43.67	22.20	16.63	11.50	96.70	162.66	279.71	Első internódusz hossza (mm)	40.11	12.86	20.25	13.00	211.98	98.08	208.55
Gyökér hossza (mm)	416.92	342.00	404.50	457.25	21.91	3.07	-8.82	Gyökér hossza (mm)	411.56	293.43	434.63	384.33	40.26	-5.31	7.08
Gyökér tömege (g)	4.58	3.22	2.23	3.14	42.20	105.85	45.64	Gyökér tömege (g)	3.44	2.42	2.34	2.66	42.07	46.81	29.37
Zöldtömeg (g)	7.17	3.69	3.66	4.86	94.18	95.74	47.53	Zöldtömeg (g)	4.59	2.63	4.15	3.70	74.46	10.76	24.25
SPAD érték	29.93	37.96	36.25	36.64	-21.15	-17.43	-18.30	SPAD érték	29.11	38.20	33.50	37.35	-23.78	-13.09	-22.06
Levelek száma:	38.00	26.00	24.88	27.42	46.15	52.76	38.60	Levelek száma:	32.67	24.57	26.25	25.89	32.95	24.44	26.18

C blokk:	CNSEEDS FAST	Spartacus	Baranta	Kond	CNSEEDS FAST/Spartacus eltérés (%)	CNSEEDS FAST/Baranta a eltérés (%)	CNSEEDS FAST/Kond eltérés (%)	D blokk:	CNSEEDS FAST	Spartacus	Baranta	Kond	CNSEEDS FAST/Spartacus eltérés (%)	CNSEEDS FAST/Baranta eltérés (%)	CNSEEDS FAST/Kond eltérés (%)
Magasság (mm)	590.25	209.00	197.75	199.27	182.42	198.48	196.20	Magasság (mm)	546.45	191.75	209.14	187.58	184.98	161.28	191.31
Szár átmérő (mm)	1.60	1.96	1.87	1.96	-18.55	-14.34	-18.61	Szár átmérő (mm)	1.74	1.71	2.01	2.01	1.60	-13.52	-13.77
Első internódusz hossza (mm)	48.13	15.63	18.75	12.27	208.00	156.67	292.13	Első internódusz hossza (mm)	48.73	17.63	16.57	13.17	176.47	194.04	270.08
Gyökér hossza (mm)	394.88	343.63	361.25	356.73	14.91	9.31	10.69	Gyökér hossza (mm)	362.27	330.38	293.86	361.25	9.66	23.28	0.28
Gyökér tömege (g)	3.17	2.24	1.23	1.54	41.45	156.64	105.29	Gyökér tömege (g)	2.56	1.52	1.39	1.37	68.22	84.10	86.93
Zöldtömeg (g)	5.46	3.12	2.28	2.96	75.04	139.61	84.49	Zöldtömeg (g)	3.99	1.84	2.41	2.46	116.23	65.65	61.82
SPAD érték	31.33	35.60	34.02	33.91	-12.00	-7.89	-7.61	SPAD érték	28.70	36.40	32.98	34.55	-21.17	-12.98	-16.94
Levelek száma:	33.38	25.25	20.75	26.18	32.18	60.84	27.47	Levelek száma:	32.36	22.75	22.57	24.17	42.26	43.38	33.92

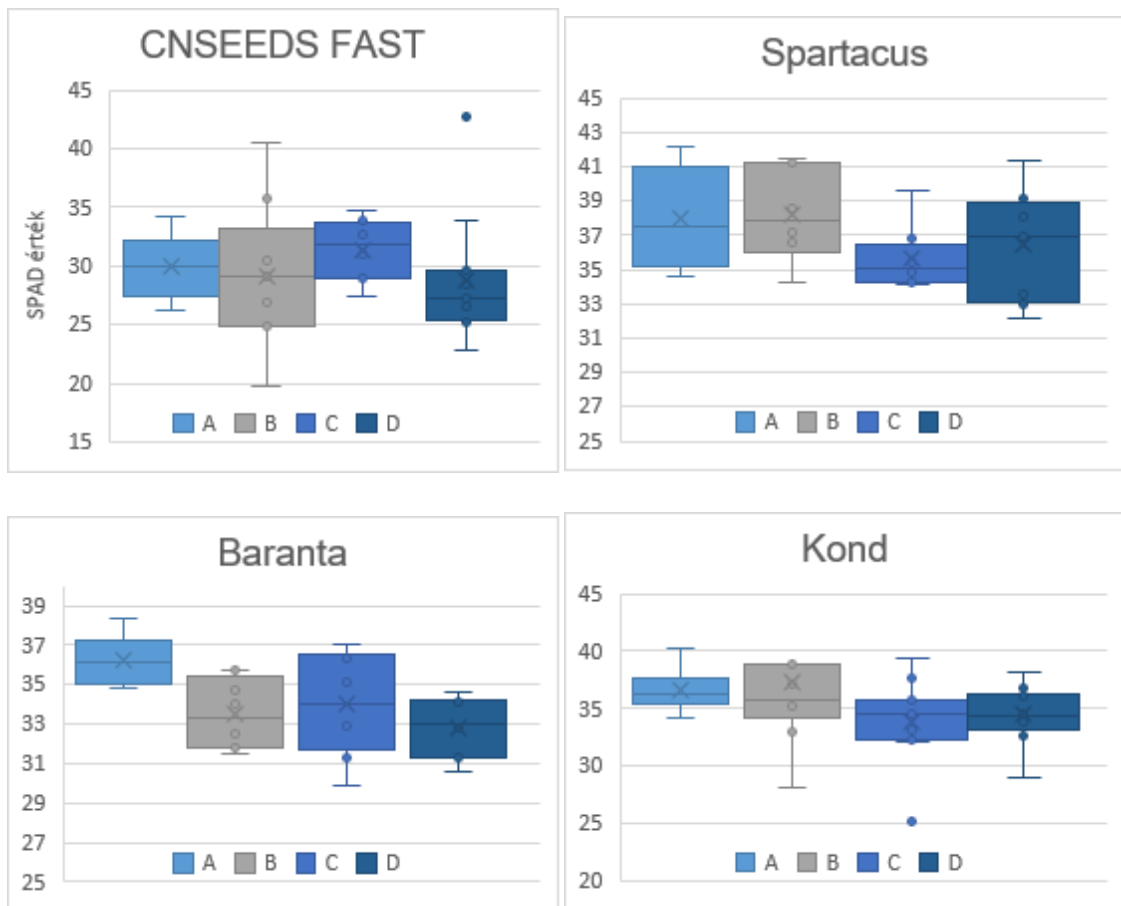
A CNSEEDS FAST kiemelkedően jó teljesítményt hoz a többi fajtához képest, ezen paramétereket százalékos eltérésekben kifejezve írom le.

- Átlagosan 166,49%-kal magasabbra nő,
- Gyökértömege 64,03%-kal több,
- Zöldtömege 69,22%-kal több,
- Átlagosan 37,75%-kal, vagyis 9,33 levéllel több levelet hajt, mint a Spartacus, Baranta és Kond.

5.2.1.2. SPAD mérések értékelése:

A SPAD műszerek egy arbitrális értéket adnak meg, amelyek klorofil és nitrogén mennyiségének meghatározására felhasználhatók. Mivel pontos meghatározás egy adott növényre való kalibráció után lehetséges, ennek hiányában aránylagos eltéréseket lehet kimutatni.

16. ábra a borsófajták SPAD értékei blokkonként szórással (Forrás: saját munka)



A CNSEEDS FAST klorofil tartalmára egyaránt hatással volt a fotonáram sűrűség változás és az infravörös fény is. A **C** és **D** blokk közötti eltérés 9,17%, C blokk átlaga 31,33 és a D átlaga 28,7.

Spartacus esetében nagyobb eltéréseket látunk, az **A** és **B** blokkok 5-6%-kal magasabb, mint a **C** és **D**. **C** és **D** között a hozzáadott infravörös hatása látszik, 2,2% az eltérés, de jóval nagyobb a szórás a **D** blokkban.

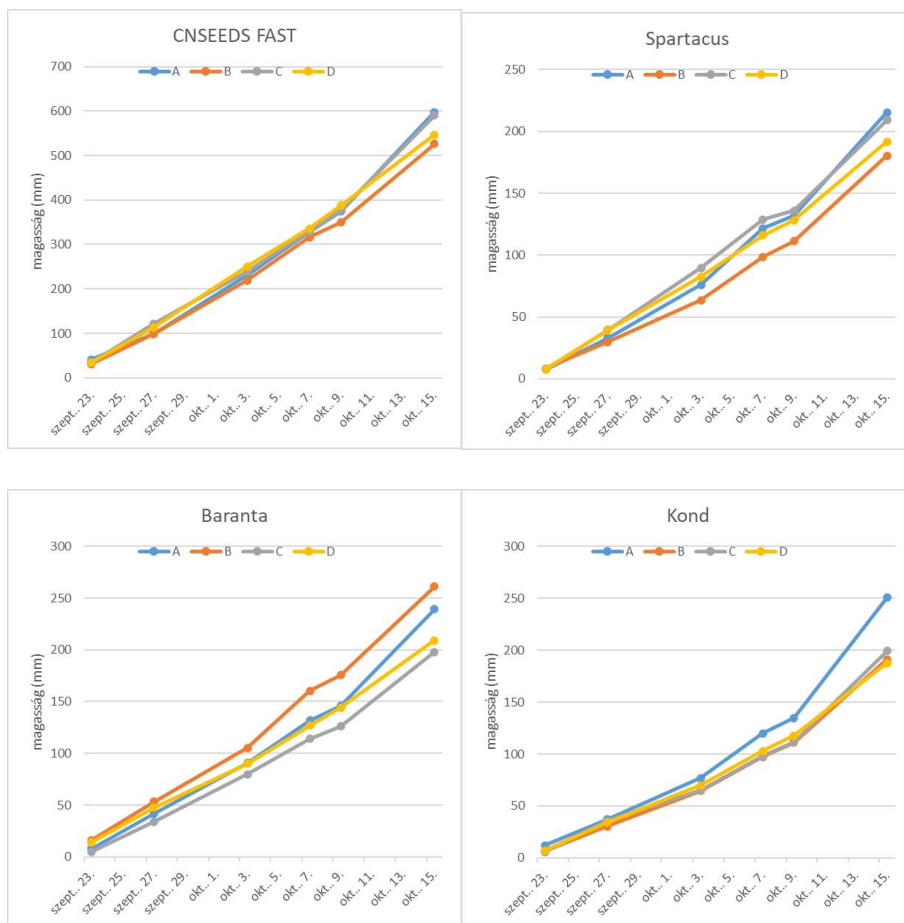
A Baranta fajta egyértelműen az **A** blokkban érte el a legmagasabb klorofil tartalmat 36,25-os SPAD értékkel, amely átlagosan 9,92%-kal magasabb, mint a második legjobb **C** blokk.

A Kond fajtán a **B** és **C** mutatja a legnagyobb eltérést, 10,14%-ot, az **A** és **B** blokkok 6-8%-kal nagyobbak, mint a **C** és **D**.

A fentiekből azt tudjuk következtetni, hogy általánosságban az A és B blokkok világítása volt a legkedvezőbb, a fajták eltérő genotípusa viszont befolyásolja, hogy reagál az infravörös fényre.

5.2.1.3. Növekedési ütem elemzése:

17. ábra a borsófajták magassága a mérések alkalmával (Forrás: saját munka)



A fenti ábrán láthatjuk, hogy a magasabb fotonáram sűrűség mellett és infravörös fény nélkül érte el a legtöbb fajta a legnagyobb magasságot, kivéve a Barantát, ahol az IR hozzáadása pozitív hatással volt.

A növekedési ütem (NÜ) az a szám, amely kifejezi a növények napi magasságváltozását. Ezt a következő képlettel lehet kiszámolni:

$$N\ddot{U} = (s_2 - s_1) / t \quad \text{mm/n}$$

Ahol:

- s_1 : az első mérés
- s_2 : a második mérés
- t : két mérés között eltelt napok szám

Fajtánként az alábbi eredményeket kapjuk, jelentős különbségnek a 25% feletti értékeket vesszük:

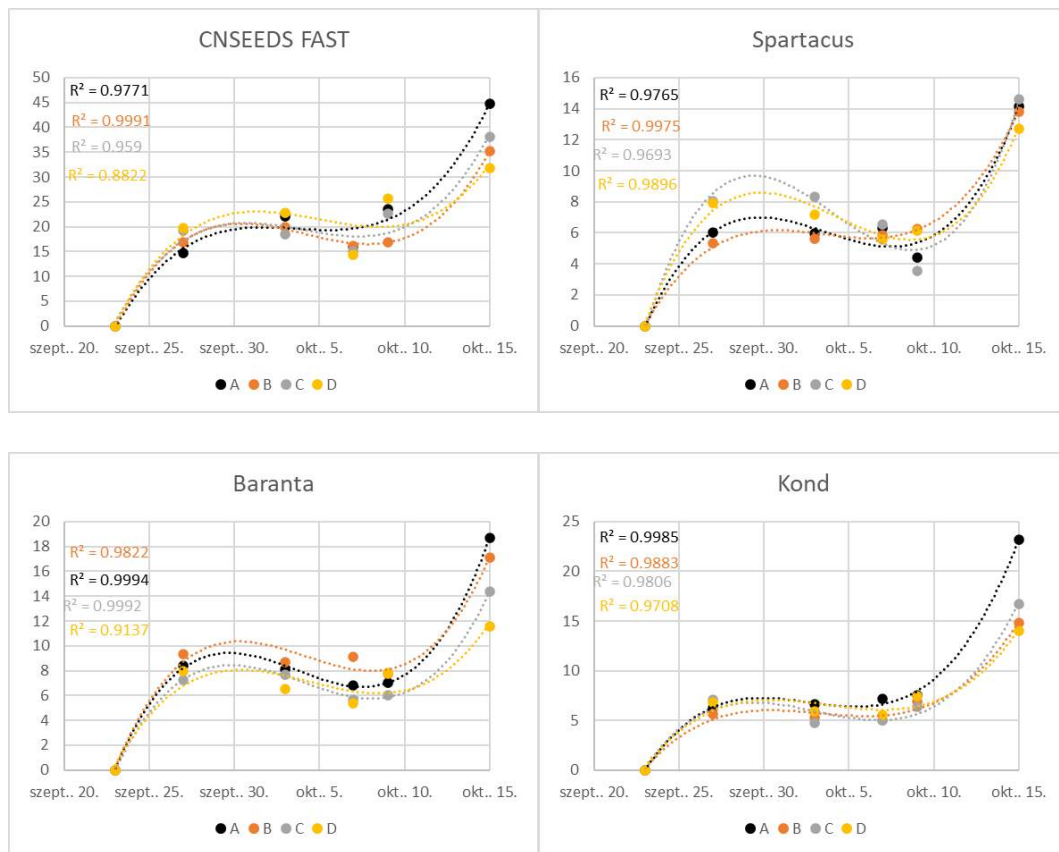
3. táblázat a borsófajták átlag és maximum növekedési üteme blokkonként (Forrás: saját munka)

Átlag NÜ	A	B	C	D	Max NÜ	A	B	C	D
CNSEEDS					CNSEEDS				
FAST	24.18	21.04	22.69	22.86	FAST	44.67	35.29	38.07	31.80
Spartacus	7.37	7.38	8.22	7.90	Spartacus	14.13	13.83	14.63	12.70
Baranta	9.83	10.40	8.19	7.84	Baranta	18.70	17.10	14.35	11.58
Kond	10.15	7.52	7.98	7.93	Kond	23.20	14.78	16.72	13.97

- CNSEEDS FAST:
 - A és B: Nincs jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 14,92%-kal gyorsabb NÜ.
 - A és C: Nincs jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 6,55%-kal gyorsabb NÜ.
 - A és D: Nincs jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 5,77%-kal gyorsabb NÜ.
 - B és C: Nincs jelentős különbség, C blokknál a világítási program hatására 7,29%-kal gyorsabb NÜ.
 - B és D: Nincs jelentős különbség, D blokknál a világítási program hatására 7,96%-kal gyorsabb NÜ.
 - C és D: Közel azonosan növekednek, D blokknál a világítási program hatására 0,73%-kal gyorsabb NÜ.
 - Spartacus:
 - A és B: Közel azonosan növekednek, B blokknál a világítási program hatására 0,15%-kal gyorsabb NÜ.
 - A és C: Nincs jelentős különbség, C blokknál a világítási program hatására 10,28%-kal gyorsabb NÜ.
 - A és D: Nincs jelentős különbség, D blokknál a világítási program hatására 6,66%-kal gyorsabb NÜ.
 - B és C: Nincs jelentős különbség, C blokknál a világítási program hatására 10,15%-kal gyorsabb NÜ.
-

- B és D: Nincs jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 14,92%-kal gyorsabb NÜ.
 - C és D: Nincs jelentős különbség, D blokknál a világítási program hatására 6,53%-kal gyorsabb NÜ.
 - Baranta
 - A és B: Nincs jelentős különbség, B blokknál a világítási program hatására 5,44%-kal gyorsabb NÜ.
 - A és C: Nincs jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 20,01%-kal gyorsabb NÜ.
 - A és D: Jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 25,31%-kal gyorsabb NÜ.
 - B és C: Jelentős különbség, B blokknál a világítási program hatására 26,91%-kal gyorsabb NÜ.
 - B és D: Jelentős különbség, B blokknál a világítási program hatására 32,52%-kal gyorsabb NÜ.
 - C és D: Nincs jelentős különbség, C blokknál a világítási program hatására 4,42%-kal gyorsabb NÜ.
 - Kond
 - A és B: Jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 35,01%-kal gyorsabb NÜ.
 - A és C: Jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 27,11%-kal gyorsabb NÜ.
 - A és D: Nincs jelentős különbség, A blokknál a világítási program hatására 28,03%-kal gyorsabb NÜ.
 - B és C: Nincs jelentős különbség, C blokknál a világítási program hatására 5,84%-kal gyorsabb NÜ.
 - B és D: Nincs jelentős különbség, D blokknál a világítási program hatására 5,17%-kal gyorsabb NÜ.
 - C és D: Közel azonos növekedés, C blokknál a világítási program hatására 0,72%-kal gyorsabb NÜ.
-

18. ábra a borsófajták növekedési üteme ábrázolva blokkonként (Forrás: saját munka)

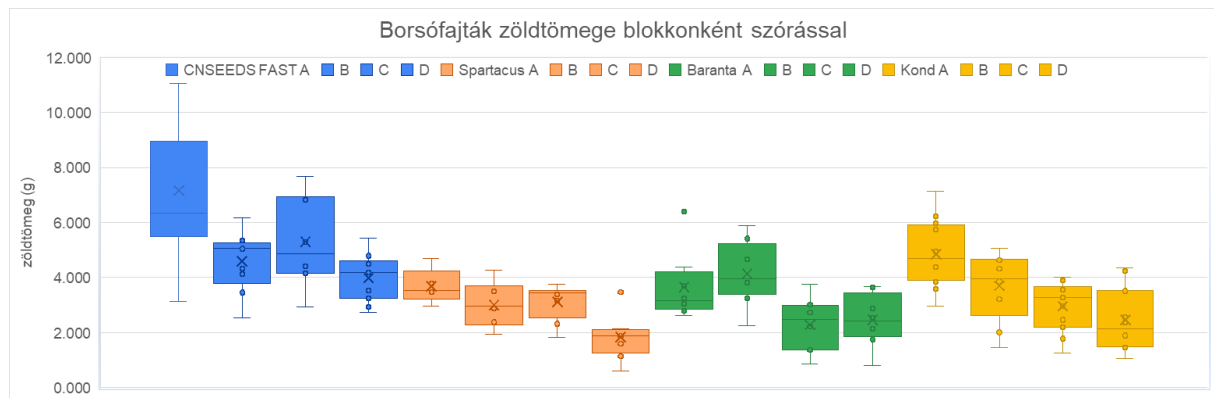


A fenti diagramok alapján arra a következtetésre jutunk, hogy az **A** blokkban növekedtek a legnagyobb ütemben a borsók, valamint arra is, hogy a hőmérséklet 18°C-ról 20°C-ra emelése október 9-én pozitívan hatott a növények fejlődésére.

5.2.1.4. Zöldtömeg és gyökértömeg eredmények:

A gyökértömeg és zöldtömeg jelentős mértékben eltért a megvilágítás paramétereinek változtatásával, ezt mindegyik fajtán lehet látni. Az eredményeket fajtánként, csökkenő sorrendben elemzem.

19. ábra borsófajták zöldtömege blokkonként szórással (Forrás: saját munka)



CNSEEDS FAST:

- A blokk: A legnagyobb átlag zöldtömeg 7,17g, a legnagyobb egyed is ebben a blokkban található, 11,07g tömeggel
- C blokk: Átlag zöldtömeg 5,46g, 32,89%-kal kevesebb, mint A, az eltérés jelentős
- B blokk: Átlag zöldtömeg 4,59g, 57,99%-kal kevesebb, mint A, az eltérés jelentős
- D blokk: Átlag zöldtömeg 3,99g, 82,09%-kal kevesebb, mint A, az eltérés jelentős

Spartacus:

- A blokk: A legnagyobb átlag zöldtömeg 3,69g, a legnagyobb egyed is ebben a blokkban található, 4,69g tömeggel
- C blokk: Átlag zöldtömeg 3,12g, 18,28%-kal kevesebb, mint A, az eltérés nem jelentős
- B blokk: Átlag zöldtömeg 2,63g, 40,15%-kal kevesebb, mint A, az eltérés jelentős
- D blokk: Átlag zöldtömeg 1,84g, 100,21%-kal kevesebb, mint A, az eltérés jelentős

Baranta:

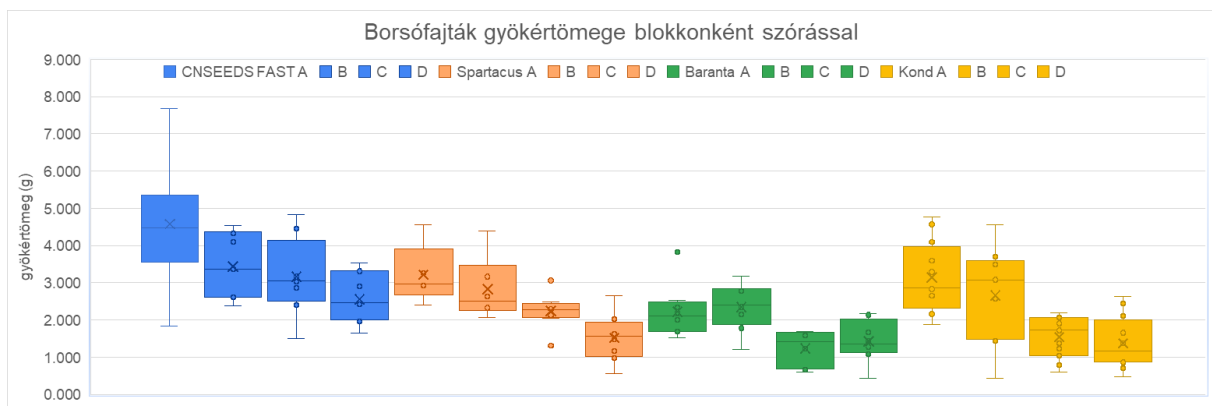
- B blokk: A legnagyobb átlag zöldtömeg 4,15g, a legnagyobb egyed is ebben a blokkban található, 5,88g tömeggel
- A blokk: Átlag zöldtömeg 3,66g, 11,73%-kal kevesebb, mint B, nincs jelentős eltérés
- D blokk: Átlag zöldtömeg 2,41g, 72,37%-kal kevesebb, mint B, az eltérés jelentős
- C blokk: Átlag zöldtömeg 2,28g, 81,97%-kal kevesebb, mint B, az eltérés jelentős

Kond:

- A blokk: A legnagyobb átlag zöldtömeg 4,86g, a legnagyobb egyed 7,15g-ra növekedett.
- B blokk: Átlag zöldtömeg 3,7g, 31,39%-kal kevesebb, mint B, az eltérés jelentős
- C blokk: Átlag zöldtömeg 2,96g, 64,09%-kal kevesebb, mint B, az eltérés jelentős
- D blokk: Átlag zöldtömeg 2,46g, 97,21%-kal kevesebb, mint B, az eltérés jelentős

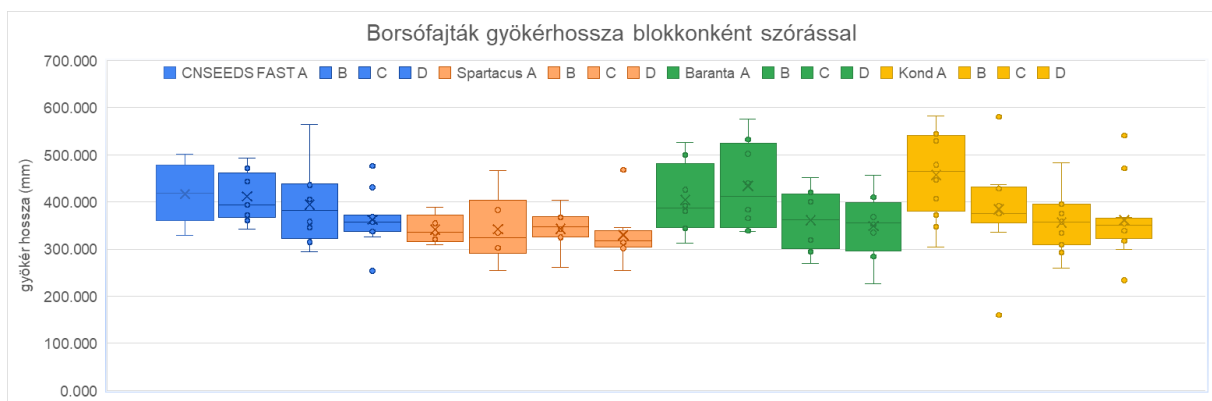
Az adatokból kiderül, hogy a magas PPFD pozitív, de az infravörös fény negatív hatással van a növények fejlődésére. Ez alól kivétel a Baranta, ez esetben az infravörös fény is hasznos.

20. ábra borsófajták gyökértömege blokkonként szórással (Forrás: saját munka)



A gyökértömeg hasonló módon alakul, mint a zöldtömeg, minimális különbséggel. Mivel a fény befolyásolja a gyökerek növekedését, a helyes világítás megválasztásával növelhetjük a növények tápanyagfelvő képességét, ami által azok táplálóbbá válnak. Érdemes visszatekinteni a SPAD-ról szóló alfejezetre, ez a gondolatmenetemet igazolja. Ez az érték a nitrogéntartalomra is utal, vagyis pont azon blokkokban magasabb a SPAD, ahol a gyökér- és zöldtömeg is több.

21. ábra borsófajták gyökérhossza blokkonként szórással (Forrás: saját munka)

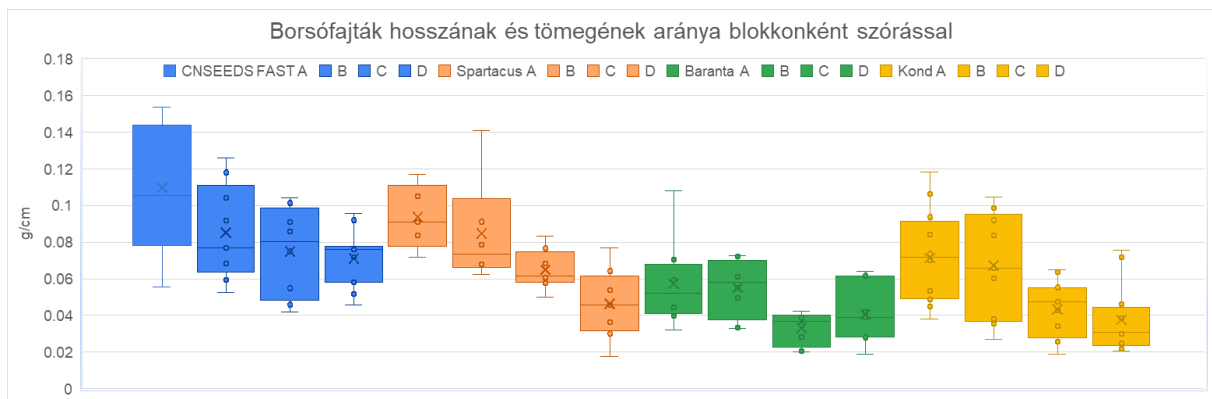


A gyökér hossza is változik, itt is lehet látni a blokkok közötti különbségeket és a fajták közti eltéréseket. A Baranta és Kond fajtákon markánsabb változásokat lehet látni, mint a Spartacus és CNSEEDS FAST fajtákon. Kond gyökerei az A blokkban, Baranta fajtánál pedig az A és B blokkban jóval hosszabbak, mint a többi háromban.

Ahhoz, hogy teljességében szemléltessem a gyökerek morfológiai eltéréseit, létrehoztam egy arányszámot az egyed gyökerének tömegéből és hosszából, ami mutatja a gyökerek vastagságát. Az alábbi módon számoljuk ki:

$$\frac{\text{gyökér tömege (g)}}{\text{gyökér hossza (cm)}}$$

22. ábra borsófajták hosszának és tömegének aránya blokkonként szórással (Forrás: saját munka)



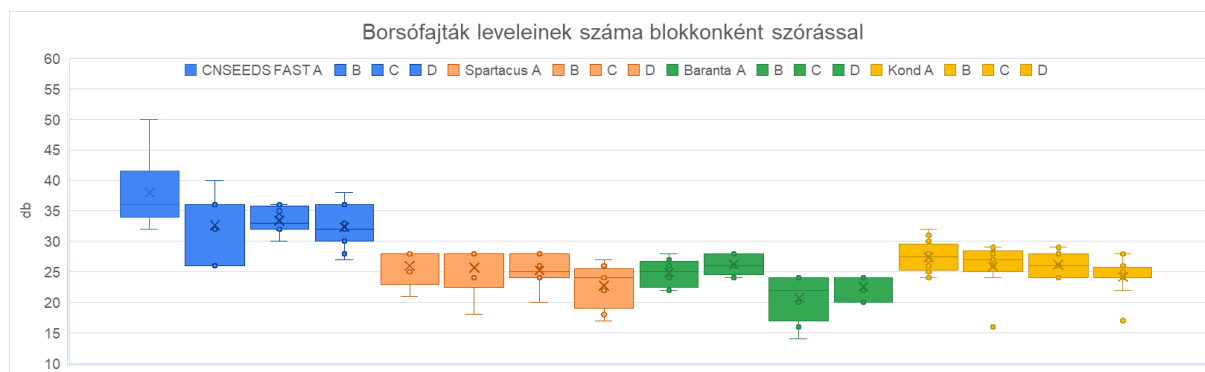
A CNSEEDS FAST, Spartacus és Kond fajtánál egyaránt láthatjuk a tendenciát, amit a zöldtömeg elemzésénél írtam, vagyis azt, hogy a PPFD növelése pozitívan, az infravörös fény hozzáadása pedig negatívan hat a növény fejlődésére. A Baranta fajtánál ez a tendencia fordított alacsony PPFD mellett.

4. táblázat borsófajták gyökértömeg/hossz arányának átlaga (Forrás: saját munka)

	A	B	C	D
CNSEEDS FAST	0.1097	0.0851	0.075	0.0711
Spartacus	0.0937	0.0848	0.0648	0.0464
Baranta	0.0573	0.0551	0.0387	0.0405
Kond	0.0713	0.0673	0.0474	0.0376

5.2.1.5. Levélszám elemzés:

23. ábra borsófajták leveleinek száma blokkonként szórással (Forrás: saját munka)



Egy fajtán belül csak két helyen van jelentős eltérés a blokkok között, a CNSEEDS FAST fajta A blokkjában és a Baranta B blokkjában van jelentős eltérés, az előbbiben az A és B blokkok között 15,77%, az utóbbiban pedig a B és C blokkok között 26,51% az eltérés.

Fajták között nagyobbak a különbségek, átlagosan a CNSEEDS FAST 38,2%-kal több levelet hajt mint, a Spartacus, 44,23%-kal többet, mint a Baranta és 31%-kal többet, mint a Kond.

24. ábra rovarok által hámozgatott levelek

5.2.2. Minőségi változások:



A kísérlet végén megkóstoltam egy keveset mind a négy fajtából, és a következők a tapasztalataim: a négy fajta közül nekem a CNSEEDS FAST ízlett a legjobban, sokkal markánsabb és kevésbé keserű volt az íze, mint a többinek, a levelek zsengék voltak és szép nagyok, a többi kevésbé volt ízletes és még a szárai is keményebbek voltak.

Néhány egyeden észrevettem fehér foltokat és néhol el voltak fonnyadva, véleményem szerint ezt állati kártevő tette, szúnyogháló és rovarcsapda feltételével meg lehet akadályozni kártevésüket.

Észrevettem, hogy néhány egyed törpenövésű volt vagy nem kelt ki, ezeket mind kivettem az elemzésből. A legtöbb törpenövésű egyedet a Spartacus fajtában találtam.

6. Következtetések és javaslatok

Kutatásom két fajra, a napraforgóra és a borsóra, azon belül négy fajtára terjedt ki. Több fajta módszert és mérési módot alkalmaztam, ezek változó eredményeket hoztak. Kiderült, hogy a

Kratky-féle hidroponikus termesztési módszer alkalmatlan mikrozöld növények termesztésére, a növények nagy része elhalt és a mérés megbízhatatlan. Az aggregátponikus rendszer megbízhatóbbnak bizonyult, a mérés megbízható és az egyek túlnyomó többsége ép és egészséges volt.

A négy féle világítási módból az **A** blokkon alkalmazott program volt a legkedvezőbb a növények fejlődésére, minden mért paraméterre kedvezően hatott. Ezek szerint a mért borsó fajtákra pozitív hatással volt a magasabb fotonáram sűrűség, de negatív hatással volt a hozzáadott távolivörös fény.

A 20°C-os napi hőmérséklet az egyedek növekedési ütemét növelték, ebből következően a csíráztatás után a teljes termesztési idő alatt érdemes ezt a hőmérsékletet tartani.

A termelési idő alatt a konténerekben magas páratartalmat mértem, ez elősegíti a gombák és baktériumok növekedését. Ahhoz, hogy ezt elkerüljük, a jövőben párátlánító berendezést érdemes használni.

7. Összefoglalás

A kutatásom célja az volt, hogy megvizsgáljam a mikrozöld növények reakcióját a világítási program megváltoztatására, hogy minél nagyobb legyen a hozamuk. Első kísérletem látható eredménnyel zárult, de az adatok nem voltak megbízhatóak, ezért a hibáimból tanulva újabb kísérletet indítottam.

Második kísérletemben négy borsófajtát vizsgáltam meg, név szerint CNSEEDS FAST, Spartacus, Baranta és Kond. A PPFD értéket és az infravörös fény intenzitását változtattam meg és ezeknek hatásait a növényre figyeltem meg.

Az eredmények szignifikánsak és mind akadémiai szempontból, mind ipari, mezőgazdasági szempontból hozzájárulnak azok fejlődéséhez.

8. Irodalomjegyzék

Anindito, B., Sooai, A.G., Achlaq, M.M., Al-Azam, M.N., Winaya, A. and Maftuchah, M. (2018). Indoor Agriculture: Measurement of The Intensity of LED for Optimum Photosynthetic Recovery. [online] IEEE Xplore.

doi:<https://doi.org/10.1109/EECSI.2018.8752827>.

Antal József (2005). Növénytermesztéstan 2., Mezőgazda kiadó

Appolloni, E., Orsini, F., Specht, K., Thomaier, S., Sanyé-Mengual, E., Pennisi, G. and Gianquinto, G. (2021). The global rise of urban rooftop agriculture: A review of worldwide cases. *Journal of Cleaner Production*, 296(126556), p.126556.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126556>.

Balik, S., Elgudayem, F., Hayriye Yildiz Dasgan, Nesibe Ebru Kafkas and Gruda, N.S. (2025). Nutritional quality profiles of six microgreens. *Scientific Reports*, [online] 15(1).

doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-025-85860-z>.

Chandra, Suman, Khan, Shabana, Avula, Bharathi, Lata, Hemant, Yang, Min Hye, ElSohly, Mahmoud A., Khan, Ikhlas A. (2014). Assessment of Total Phenolic and Flavonoid Content, Antioxidant Properties, and Yield of Aeroponically and Conventionally Grown Leafy Vegetables and Fruit Crops: A Comparative Study, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 253875, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2014/253875>

Chen P. (2014). Chlorophyll and other photosensitives .In: LED growlights, absorption spectrum for plant photosensitive pigments, (<http://www.ledgrowlightshq.co.uk/chlorophyll-plant-pigments/>); [accessed 12.03.14].

uk/chlorophyll-plant-pigments/); [accessed 12.03.14].

Dr. Balázs László Sándor, Dr. Bittsánszky János, Fehér Béláné Dr., Dr. Fehér Marianna, Dr. Glits Márton, Dr. Gyúros János, Dr. Hodossi Sándor, Dr. Kórodi László, Dr. Kovács András, Dr. Kurtán Sándor, Dr. Nagy József, Dr. Péntes Béla, dr. Szabó István, Dr. Terbe István, Dr. Zatykó Ferenc, Dr. Zatykó Lajos (2000). A zöldségajtatás kézikönyve, Mezőgazda kiadó ISBN 963 9358 03 7

Dr. Komonyi Éva, 2013. Mezőgazdasági növénytermesztés alapjai, Főiskolai jegyzet

Dr. Terbe István, Dr. Slezák Katalin (2019). Talaj nélküli zöldség-hajtatás. Mezőgazda lap- és könyvkiadó, 12. o., 94-95. o.

The Earhart Plant Research Laboratory. (1949). *Nature*, 163(4156), pp.986–986.
doi:<https://doi.org/10.1038/163986c0>.

Jan, S., Rashid, Z., Ahngar, T.A., Iqbal, S., Naikoo, M.A., Majeed, S., Bhat, T.A., Gul, R. and Nazir, I. (2020). Hydroponics – A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), pp.1779–1787. doi:<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.206>.

Kratky, B.A. (2009). Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce. *Proceedings of the International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics. Acta. Hort.* 843:65-72

KSH MONITOR (2024). Foglalkoztatottak, munkanélküliek. [online] Elérhető:
<https://www.ksh.hu/heti-monitor/foglalkoztatottak-munkanelkuliek.html>.

Kyriacou, M.C., Roupheal, Y., Di Gioia, F., Kyrtzisz, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S. and Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, 57, pp.103–115.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>.

Nagy József (2000). A zöldborsó. Dinasztia Kiadó ISBN 963657301-8

Nishio, J.N. (2000). Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. *Plant, Cell & Environment*, [online] 23(6), pp.539–548.
doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00563.x>.

Patel, Pavan K., és K. D. Rathod. (2025). “Aeroponics: Transforming Vegetable Farming for the Future”. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology* 28 (1):155-65.
<https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i11870>

Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, C., Relloso, J., 200 1. Comparison of hydroponic and aeroponics cultivation systems for the production of potato minituber. Netherlands. *Am. J. Potato Res.* 44 (2), 127-135.

Skowron, E., Trojak, M., Pacak, I., Węzigowska, P. and Szymkiewicz, J. (2024). The Influence of Ultraviolet B and C Light Supplementation to the RGB Spectrum on the Antioxidant Capacity and Photosynthesis in Basil Microgreens. [online]
doi:<https://doi.org/10.20944/preprints202411.0595.v1>.

Thapa, U., Narendra Nath Hansda, Kundu, S., Giri, A. and Rahaman, A.O. (2024). Advancements in Hydroponic Systems: A Comprehensive Review. *Archives of Current Research International*, [online] 24(11), pp.317–328.

Udvari Péter (2019) Növény- és állattani ismeretek 3. : Fehérjenövények termesztése

United Nations (2024). *World Population Prospects 2024: Summary of Results*. UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9. New York: United Nations
doi:<https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i11973>.

United Nations, World Health Organization and on, C. (2022). *Ultraviolet Radiation - Environmental Health Criteria 160*. Unep.org. [online]
doi:<https://doi.org/92%204%20157160%208>.

USDA (2024). *2021-2023 Food and Nutrient Database for Dietary Studies - At A Glance*

Verlinden, S. (2019). Microgreens. *Horticultural Reviews*, 47, pp.85–124.
doi:<https://doi.org/10.1002/9781119625407.ch3>.

Wibisono, V. and Kristyawan, Y. (2021). An Efficient Technique for Automation of The NFT (Nutrient Film Technique) Hydroponic System Using Arduino. *International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR)*, 3(1), pp.44–49.
doi:<https://doi.org/10.25139/ijair.v3i1.3209>.

Xi Ou, Danxia Liu, Ailong Liu, Houcheng Liu, Riyuan Chen, Yiting Zhang, (2023). Effects of nutrient solution management modes on fruit production and quality of tomatoes grown in extremely root restriction, *Scientia Horticulturae*, Volume 321
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112366>.

Birkby, J. (2016). Vertical farming. *ATTRA sustainable agriculture*, 2(1), 1-12. online:
<https://attra.ncat.org/wp-content/uploads/2019/05/verticalfarming.pdf>

9. Táblázatok és ábrák jegyzéke

1. táblázat Hatféle mikrozöld fajta aszkorbinsav koncentrációja (FW=friss tömeg) Forrás: Sibel Balik et al. Nutritional quality profiles of six microgreens (2025)	4
2. táblázat Fény hullámhosszai és fotoszintetizáció (Forrás: Anindito et al., 2018)	12
4. táblázat a borsófajták átlag és maximum növekedési üteme blokkonként (Forrás: saját munka)	25
5. táblázat borsófajták gyökértömeg/hossz arányának átlaga (Forrás: saját munka)	30
1. ábra aeroponikus rendszer (Forrás: Pathel és Rathod, 2025)	6
2. ábra a csepegtető rendszer sematikája Forrás: Birkby (2016)	7
3. ábra Táploldat film rendszer sematikus ábrája (Forrás: Wibisono és Kristyawan, 2021)	7
4. ábra Nem keringtetett hidropónikus rendszer modellje a palántázási és a betakarítási szakaszban (Kratky, 2009)	8
5. ábra Hüvelyesek tápanyagfelvételének dinamikája Forrás: Növénytermesztés 2. 120. o., Mezőgazda kiadó	10
6. ábra a növények levelei által abszorbált fény mennyisége Forrás: Chen (2014)	13
7. ábra a gödöllői vertikális farmok	14
8. ábra a blokkok elhelyezkedése a konténeren belül (Forrás: saját munka)	16
9. ábra a PPFd és infravörös fény megoszlása a mérési pontokon és a blokkokban (Forrás: saját munka)	16
10. ábra az egyedek elhelyezkedése a termesztőedényeken belül és a fajták számozva a blokkban (Forrás: saját munka)	17
11. ábra SPAD-502Plus klorofilmérő (bal oldalt) és COMBI 5000 STEP System EC-pH mérő (jobb oldalt)	18
12. ábra napraforgó csírák elhelyezkedése a tálcán számozással	19
13. ábra csíráztatási kísérlet	20
14. ábra a kifejlett napraforgók (A7 és B7 tálcák)	21
15. ábra a négy fajta borsó átlag értékei és CNSEEDS FAST összehasonlítása a többi fajtával (%) (Forrás: saját munka)	22
16. ábra a borsófajták SPAD értékei blokkonként szórással (Forrás: saját munka)	23
17. ábra a borsófajták magassága a mérések alkalmával (Forrás: saját munka)	24
18. ábra a borsófajták növekedési üteme ábrázolva blokkonként (Forrás: saját munka)	27
19. ábra borsófajták zöldtömege blokkonként szórással (Forrás: saját munka)	28
20. ábra borsófajták gyökértömege blokkonként szórással (Forrás: saját munka)	29
21. ábra borsófajták gyökérhossza blokkonként szórással (Forrás: saját munka)	29
22. ábra borsófajták hosszának és tömegének aránya blokkonként szórással (Forrás: saját munka)	30
23. ábra borsófajták leveleinek száma blokkonként szórással (Forrás: saját munka)	31
24. ábra rovarok által hámozgatott levelek	31