

SZAKDOLGOZAT

Barna-Nagy Anna

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Növénytermesztési Tudományok Intézet

Mezőgazdasági mérnök alapképzési szak

**A paradicsom fotoszintézis-intenzitásának mérése a
megvilágítás változó spektrális eloszlása mellett**

Belső konzulens: Dr. Balogh János
egyetemi tanár

Belső konzulens intézete/tanszéke:

Növényélettan és Növényökológia Tanszék

Készítette: Barna-Nagy Anna

Gödöllő

2024

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
Szakirodalmi áttekintés.....	5
A paradicsom történelme, rendszertana, nemesítése.....	5
Morfológiája.....	5
Termesztése.....	7
Tápanyagutánpótlás.....	8
Fajtaválasztás.....	9
Területválasztás.....	9
A paradicsom helyzete.....	9
Lehetőségek.....	11
Fotoszintézis.....	11
Fényhasznosítás.....	13
Lehetőség a géntechnológiában.....	15
Levélfelületi index (LAI).....	15
A fotoszintézis mérése.....	16
Szenzorok.....	18
Hiperspektrális távérzékelés alkalmazása.....	19
Anyag és módszer.....	21
Laboratóriumi mérések.....	23
Az első kísérlet menete.....	25
A második kísérlet menete.....	25
Adatfeldolgozás.....	25
Eredmények és értékelés.....	26
Az első kísérlet eredményei.....	26
A második kísérlet eredményei.....	27
Következtetések és javaslatok.....	34
Összefoglalás.....	35
Irodalomjegyzék.....	36

Bevezetés

A kutatási téma kiválasztása során fontos volt számunkra, hogy jövőbe mutató, releváns legyen, továbbá figyelembe kell venni azt is, hogy 2024-ben, a globális felmelegedés közepette hogyan hatunk a természetre. A Föld népessége folyamatosan növekszik, míg a termőterületek csökkennek a talajdegradáció és a városi terjeszkedés miatt. A mezőgazdasági területek csökkenése egyre nagyobb kihívást jelent a világ élelmiszerellátásában, ezért szükség van innovatív megoldásokra, amelyek nemcsak fenntarthatók, hanem hatékonyak is. Az üvegházak jelentős előnyt nyújthatnak ebben a tekintetben, mivel akár városi környezetben is felépíthetők, növelve az élelmiszer-termelési kapacitást olyan területeken, ahol a hagyományos mezőgazdaság nem megvalósítható. Az üvegházakban alkalmazott precíziós megvilágítási technológiák különösen fontos szerepet játszanak, hiszen a növények növekedését és terméshozamát közvetlenül befolyásolja a fény minősége és intenzitása.

Azért választottuk a paradicsomot, mert ez egy világszerte népszerű, gyakran fogyasztott zöldség, amely jelentős része a globális mezőgazdasági termelésnek. Emellett a paradicsom üvegházi környezetben történő termesztése már bevált módszer, és a növény vegetációs időszaka mesterséges megvilágítással meghosszabbítható. Azonban, a fény minősége és annak spektrális összetétele döntő jelentőségű a növények fejlődése szempontjából. A modern LED-technológia lehetőséget nyújt arra, hogy a fény spektrumát precízen szabályozzuk, ami hatékonyabb növénynevelést eredményezhet. Kutatásunk során azt szeretnénk megtalálni, hogy milyen spektrális összetételű fény a legmegfelelőbb a paradicsom számára, melyik fénykombináció maximalizálja a fotoszintézis intenzitását, és hogyan befolyásolja ez a növekedést és a hozamot. A különböző színű LED-lámpák alkalmazása lehetőséget kínál arra, hogy a kék, vörös és zöld fény optimális arányát meghatározzuk. A LED-ek különösen kedvezőek energiatakarékossági szempontból, hiszen jóval kevesebb energiát fogyasztanak, mint a hagyományos izzók, és kevesebb hőt is termelnek (Ledium Kft., 2022). Ez nemcsak környezetbarát megoldás, hanem gazdaságilag is fenntarthatóbb.

A speciális sugárzási tartományú növénynevelő lámpákat már régóta használják a mezőgazdaságban, különösen az üvegházi környezetben, azonban a külön vezérlésű spektrális tartományok alkalmazása még nem terjedt el széles körben. A LED-ek technológiai fejlődése azonban lehetővé teszi, hogy a sugárzási tartományokat szűk sávokban szabályozzuk, így

pontosabban megérthetjük, hogy mely hullámhosszok milyen hatással vannak a növények életfolyamataira. Nemcsak a fotoszintézis, hanem más életfolyamatok, mint például a fotoreceptorok működése is összefügg a fény minőségével. A kutatások már rámutattak arra, hogy a zöld fény, amelyet korábban kevésbé hatékonynak tartottak, szintén jelentős szerepet játszik a növények fejlődésében, és fontos kiegészítője lehet a kék és a vörös fényeknek (Liu, 2021).

Az üvegházak és beltéri növénytermesztési rendszerek használata különösen fontos lehet a klímaváltozás által okozott bizonytalanságok kezelésében. A szélsőséges időjárási viszonyok és az egyre kiszámíthatatlanabb környezeti feltételek miatt a hagyományos mezőgazdasági módszerek sok esetben nem fenntarthatók hosszú távon. A zárt térben történő növénytermesztés, ahol a környezeti feltételek, mint például a fény, hőmérséklet és páratartalom, precízen szabályozhatók, megoldást nyújthat a globális élelmiszerellátás stabilitásának biztosítására.

A kutatás célja, hogy laboratóriumi körülmények között nevelt paradicsomnövények fotoszintézisének intenzitását mérjük különböző spektrális eloszlású megvilágítás mellett. Ez nemcsak a növények fotoszintézisre adott válaszát segít jobban megérteni, hanem betekintést nyújt abba is, hogyan lehet optimalizálni a mesterséges megvilágítást a hatékonyabb növekedés érdekében.

Főbb kérdések:

Milyen spektrális összetételű megvilágítás szükséges a leghatékonyabb fotoszintézishez a paradicsom esetében?

Különböző megvilágítás melletti nevelésnél mikor érünk el nagyobb növekedést?

A kutatás során, személyesen az célom, hogy új tudást szerezzek ezen a feltörekvő területen, amely nemcsak a saját szakmai fejlődésemet szolgálja, hanem hozzájárulhat a jövőbeni mezőgazdasági innovációkhoz is. Hosszú távú terveim között szerepel, hogy ezen a területen dolgozzak és a fenntartható mezőgazdaság fejlesztéséhez járuljak hozzá. A kutatásom eredményei értékes adatokkal szolgálhatnak a jövőbeni alkalmazásokhoz, különösen a globális élelmiszerellátás és a klímaváltozás kihívásainak kezelésében.

Szakirodalmi áttekintés

A paradicsom történelme, rendszertana, nemesítése

A paradicsomról az első feljegyzések 1544-ben készültek, Olaszországban. Matthiolus írt róla, de valószínűleg a Dél- és Közép-Amerika felfedezéséből Spanyolországba visszatérő hajósok hozták be Európába. Ekkor még „sárga almának” nevezték, természetesen azért, mert ez a hússzín volt jellemző. A paradicsomot élelmezési célra csak 1710 környékén kezdték használni. A paradicsomról eleinte azt gondolták, hogy mérgező növény, mert tomatin halmozódik fel a levelekben és a zöld részekben. Ma már tudjuk, hogy az efféle toxikus anyagok az érés során enzimatis folyamatok révén átalakulnak, teljesen ártalmatlanná válnak. Az első ketchupot Thomas Jefferson állította elő, New Orleansban, 1779-ben. Rendszertanát tekintve a Solanaceae (burgonyafélék) családjába tartozik. A termesztett paradicsom tudományos neve: *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* (vad cseresznyeparadicsom). Két alnemzetsége van: *Eulycopersicon* (piros színű), *Eriopersicon* (zöld színű). Nemesítésében meghatározó szerepe van a sótűrőképességnek, a szárazságtűrésnek, a bogyóleválás fokozásának, ipari feldolgozásban pedig a legfontosabb igény a magas oldható szárazanyag tartalom. Nem elhanyagolható a biotikus stresszrezisztencia sem (kórokozókkal és kártevőkkel szembeni ellenállóság) (Helyes, 1999).

Morfológiája

A paradicsomnak erőteljes karógyökere van. Később oldalgyökerek nőnek, melyek a tenyészidőszak végére alig megkülönböztethetők a karógyökerektől. A gyökérzet gyorsan fejlődik, 3-4 hét alatt akár 120-130 cm hosszúra is nőhet. A szárból könnyedén fejleszt járulékos gyökeret. A szára eleinte hengeres alakú és mirigyszőrökkel borított, később bordák fejlődnek rajta. A virágfürtök képződési mechanizmusa és a főhajtás növekedése alapján három típust különböztetünk meg. Folytonos növekedésű, determinált és átmeneti, féldeterminált típusok léteznek. A folytonos növekedésű fajták főhajtása egész tenyészidőszak alatt növekszik. Az első 6-8 levél után jelenik meg az első világfürt, majd három levél után az újabb virágfürt. Ezek a fajták több méter magasra nőnek, egész éves hajtásra alkalmasak, de szabadföldi támrendszeres termesztésre is megfelelőek. Érésük

1. ábra-A bogyótermés
alakjai-<https://kreativfarmer.hu/paradicsom-fajtak/>



elhúzódó, tenyészterület-igényük nagy. A determinált fajták főszára 2-5 fürt megjelenése után megáll a növekedésben. A virágfürtben végződik a tenyészőcsúcs. Általában a fürtök között egy levél jelenik meg. Akár egymenetes gépi betakarításra is alkalmas lehet, ha megfelelő a termesztéstechnológia. A féldeterminált fajtánál általában 7-8 fürt megjelenése után zárul le a növekedés. A fürtök között felül kettő, alul három levél alakul ki. A paradicsomnak változatos alakúak a levelei, félbeszárnnyaltak. Vannak gyér és tömött levélzetű fajták, a levél színében is nagy eltérések mutatkozhatnak. Bogernyő virágzattal rendelkezik, bár léteznek olyan vad fajták, melyeknek bugaszerű virágzata van. A virágok szerkezeti felépítésére az 5-ös szám a jellemző. A bogyótermés alakja változatos, lehet lapított, kissé lapított, gömb, ovál, szív, szögletes, körte, szilva, illetve hosszú is. A bogyó tömege 15-20 grammtól akár 300 grammig is elmeget. A bogyó nagyságát befolyásolhatja a növény víz- és tápanyagellátottsága (Helyes, 1999). A bogyó színét tekintve, akár lila és fekete héjú is lehet. A Stripes of Yore termése például alapvetően sárga színű, de vállától az oldaláig lila csíkozott szín a domináns. A Blue Streak egy kék paradicsom, narancs vörös alapszínnel. Ezeket és más fajtákat vizsgálva megállapították, hogy a legnagyobb bogyó átlagtömeggel a Stripes of Yore rendelkezett (77,7 g). A legkisebb bogyójú az Indigo ruby, 18,3 grammal. Termésátlagot tekintve a White Purple volt az első helyezett, de nem sokkal hagyta le a Stripes of Yore-t. Megállapítható, hogy a fajták termőképessége és a bogyóméret között szoros korreláció van. A vizsgált fajtáknál lehetséges a szántóföldi termesztés, de nem ajánlott, mert az egyszerre lehulló nagy mennyiségű csapadék és a nagy hőmérsékletingadozás bogyórepedést okozhat (Tóth et al., 2021). A paradicsom antioxidáns potenciálja elsősorban a likopinnak tulajdonítható, melynek számos pozitív hatása van az egészségre. Többek között rákellenes, kardioprotektív és vérnyomáscsökkentő, emellett pozitív hatással van a szív- és érrendszerre és az alvás minőségére is (Khan et al., 2021). Egy kutatásban azt tapasztalták, hogy a vizsgált paradicsomok közül a legnagyobb átlagos likopintartalma a Nívó ipari fajtának volt ($12,6 \pm 3,44$ mg/100 g). A szabadföldön támrendszer mellett termesztett Daniela fajta csupán $5,9 \pm 1,47$ mg/100 g-os értéket ért el. A hajtattott fajtákban hasonló értékek figyelhetők meg, átlagosan 8,3-8,7 mg/100 g. A támrendszeres fajtáknál szignifikáns eltérés mutatkozik. Ezeknél a fajtáknál a legmagasabb értéket a kis bogyótermésű Cheresita adta ($7,7 \pm 1,27$ mg/100 g). Az ipari fajták közül alacsonyabb likopintartalommal a Falcrosso és a Korall fajta rendelkezett, de még így is sokkal megelőzték a hajtattott és támrendszeres fajtákat. Szignifikánsan csak a Bonus, Early Fire és Nívó fajta különbözött az üvegházi fajtáktól (Brandt, 2007). Magja kicsi, szürkés színű, csírázóképeségét 3-6 évig őrzi meg. Ezermagtömege: 2,5-3,3 gramm.

Termesztése

A paradicsom a mérsékelt éghajlati övben termesztethető sikerrel. Ezen területekre koncentrálódik a termőterületek 80, az előállított termésmennyiség 90 százaléka. Trópusi övezetben csak a magasabb fekvésű területek alkalmasak termesztésre, hűvösebb évszakokban. Az optimális hőigény a fejlődéshez 22 ± 7 °C, biológiai nullpontja (a vegetáció megindulásához szükséges küszöbérték) (Brekócki, 2021) pedig 10 °C. Kötődés idején 14 és 30 fok között kell lennie a hőmérsékletnek, mert ezek alatt és felett nem köt a paradicsom. A paradicsom nagyon fényigényes, fejlődésére és növekedésére nem csak a megvilágítás hossza és erőssége, de a minősége is hatással van. A fejlődéséhez minimum 5000 lux fényerősségre van szükség. Az alacsonyabb fényerősség azért nem előnyös, mert megnyúlik a vegetatív fázis, és a rossz pollenképződés a kötődés romlását eredményezi. Napi 14-18 óra megvilágításra is szüksége van a palántának, ezzel szemben a kifejlett paradicsomnak elég 12-16 óra is. A vörös fényre azért van szüksége, mert ez segíti elő a fotoszintézist és a virágzást. A kék fény szükséges a jó gyökérnövekedéshez, a megfelelő levélfejlődéshez, és az általános növekedési folyamatokban is szerepet játszik (Ignácz, 2023). Hajtatásnál érdemes odafigyelni arra, hogy a szabadban mért fényerősségnek csak a 60-70 %-a jut el a növényhez. Termesztőberendezésekben a november-decemberi időszakban nem számíthatunk eredményes kötődésre, azonban szabadföldön a fény nem korlátozó tényező. Kifejezetten vízigényes növény, viszont fejlett gyökérzetének köszönhetően jól hasznosítja a vizet. Vízfogyasztási együtthatója: 30-60 l/kg (1 kg termés előállításához felhasznált vízmennyiség). A napi vízfelhasználás átlagosan 2-3 mm/nap. Több tényezőtől függ: hőmérséklettől, fejlettségtől, fénytől stb. Lombfejlődéskor az 5-6 mm/napos értéket is elérheti. Hajtatott paradicsom esetén egész évben vízkiegészítésre van szükség. A nyári hónapokban a hőmérséklet és sugárzás miatt kimagasló a vízigény. Ekkor a növény 2,5-3 l vizet is elpárologtathat. Szabadföldi palántáról szaporított paradicsom esetén, egy tenyészedenyes kísérlet kimutatta, hogy környezeti tényezőktől függően a napi vízfelhasználás 1-3 liter/növény volt. A tenyészidőszak során a halmozott vízfelhasználási érték meghaladta a 150 liter/növény értéket (Helyes, 1999). A jó vízellátás csökkenti a levélhőmérsékletet, így a lombhőmérséklet változása vízstressz jelzőként is szolgál. Rendszeresen öntözött növényeknél a lombfelület hőmérsékletét sokkal kisebb mértékben befolyásolja a levegő hőmérséklete, mint vízstressznek kitett növények esetén (Geösel, 2021). Egy kukoricákkal végzett kutatásban megállapították, hogy az évjárat és az öntözési kezelések egyaránt befolyásolták a SPAD és az NDVI értékeket (Szabó et al., 2023). A klorofill tartalom és a SPAD értéke pozitív korrelációt mutat a növényi levélértékek

többségénél (hu.chinatestingequipment.com, 2019). A Brix fokot (vízoldható szárazanyag tartalom) is jelentősen befolyásolja az öntözés. A kísérletben önözetlen területen mutatkozott a legnagyobb szárazanyag tartalom. A jó vízellátás a C-vitamin tartalmat is növeli (Horváth, 2022). A klímaváltozás hatásai miatt Magyarországon is egyre több a száraz, félszáraz terület. A változásoknak köszönhetően számos növény termőterülete máshol lesz gazdaságos, a vízhiányhoz való alkalmazkodás eszköze az öntözés. A hatékony öntözőrendszer tervezése és irányítása világszerte releváns kérdéssé vált. A kezelési technikák korszerűsítése elengedhetetlen a jövedelmezőbb és fenntarthatóbb gazdálkodás elérése érdekében. (Chand et al., 2020)

Tápanyagutánpótlás



2. ábra-Nitrogénhiány paradicsomon-A szabadföldön termesztett paradicsom hiánybetegségei és élettani károsodásai (agroforum.hu)

ofigyeln a vegetatív-generatív egyensúly megteremtésére, ugyanis nitrogénhiány esetén a szárok elvékonyodnak, a növekedés lelassul, a bogyók kicsik maradnak. A kondíciósökkenés következtében fogékonyabbá válnak a betegségekre. Foszforból kevesebbre van szükség, mint a másik két makroelemből. A foszforigénynek két kritikus időszaka van, az egyik a növekedés kezdete, nagyjából 40-50 napos korig, a másik pedig a tömeges virágzás és kötődés időszaka. Nagyon fontos, hogy a palántanevelés időszakában megfelelő foszforellátásban részesüljenek, ugyanis később nincs lehetőség a pótlásra. Ha pedig a virágzás idején nem kap a paradicsom megfelelő mennyiségű foszfort, akkor törpe növekedés, a levelek fonák felé történő besodródása, kékeszöld vagy vöröses elszíneződés, valamint levélhullás léphet fel. A kálium nagy részét a termés tartalmazza, körülbelül 80 %-ot. A káliumnak a különböző élettani folyamatokban van szerepe, mint pl. a fotoszintézis, transzspiráció, vagy a szénhidrátok

áramlása. Kedvezően befolyásolja a szénhidrátok felhalmozódását, a bogyó cukortartalmát. Mezo-és mikroelemekre is szüksége van a növénynek, ilyen a mész, a magnézium, a bór, a vas, a réz, a cink, a mangán és a molibdén. A tápanyagigény megállapításakor fontos a makroelemek egymáshoz viszonyított aránya és a talajvizsgálat is. Átlagosan egy tonna friss termés előállításához átlagosan 2,5-3 kg N-t, 0,2-0,3 kg P-t és 3-3,5 kg K-ot kell a növényeknek felvenniük, de a mennyiség korábban említett tényezőktől jelentősen függ (Hegde, 1997).

Fajtaválasztás

A fajtaválasztás szempontjainak meghatározásakor ki kell választani a termesztési célt és a termesztési típust. Szabadföldi termesztéshez a determinált, esetleg féldeterminált fajták ajánlottak, viszont támrendszeres termesztésnél a folytonos növekedésűt érdemes választani. Étkezési fajtákon belül elkülönítünk korai szabadföldi és tömegtermesztésre alkalmas fajtákat. A korai szabadföldi csoportba leginkább a determinált növekedésű, kislombtömegű paradicsomok tartoznak. Utóbbiba pedig a keményebb bogyójú, befőzésre, sűrítménykészítésre is alkalmas fajták (pl. Brigade F₁, Brixsol F₁, Uno Rosso F₁) (Böcs, 2018). Fontos feltétel a keménybogyójúság mellett a géppel való betakaríthatóság és az egyszerreérés. Sűrítmények előállítása esetén a magas likopin és oldható szárazanyag tartalom nem elhanyagolható. Fontos értékmérő paraméter a kórokozókkal, kártevőkkel szembeni rezisztencia. A bogyó alakja is befolyásolja a felhasználás módját. Nemzetközi kereskedelmi besorolás szerint kerek, gerezdes és ovális paradicsomot különböztetünk meg.

Területválasztás

Területválasztáskor oda kell figyelni, hogy ne legyen sekély termőrétegű a talaj. Ne legyen baktériummal, gyommal, fonálféreggel fertőzött, illetve fontos az egyöntetű talajtípus. Szermaradványoktól mentes, cserepesedésre nem hajlamos talaj az ideális. A paradicsom nem tűri a monokultúrás termesztést, önmaga és más, Solanaceae család tagja ne kerüljön 3-4 évig ugyanarra a területre. A szeptóriás megbetegedést (*Septoria lycopersici*) és a szádort (*Orobanche ramosa*) kell ilyen módon elkerülni. Jó előveteménye az uborka, bab, borsó, lucerna, lóhere és a gabonafélék (Helyes, 1999).

A paradicsom helyzete

A paradicsom a világszerte legnagyobb számban termesztett és legkeresettebb zöldségfaj, emellett üvegházi termesztésben is élen jár. Magyarországon a második, a legnagyobb területen hajtatott a zöldségfajok között (Tóthné et al., 2021), csak a paprika előzi meg (Fruitveb Hungary, 2021).

Ha a magyarországi adatokat vizsgáljuk, 2018-hoz képest csökkent a betakarított terület, illetve a betakarított termés mennyisége is. 2055 hektárról és 180000 tonnáról 2022-re 1683 hektárra és 138000 tonnára csökkent. Az importált paradicsomok mennyisége 2022-ben 20000 tonna volt, az exportált pedig 15000 tonna. (KSH, 2022) Magyarország éves átlagos paradicsom fogyasztása: 7,1 kg/fő. (KSH, 2020) Hazánkban megfigyelhető, hogy az elmúlt években a szabadföldi zöldségtermesztő berendezések enyhén növekedtek, viszont a hajtatófelületek csökkentek. Emellett az is elmondható, hogy a csökkenés ellenére, a hajtatott területekről származó friss termék mennyisége növekedett az utóbbi évtizedben. A friss zöldség és gyümölcs ellátottság egész évben biztosított, azonban egyre nagyobb az importból származó áru aránya, ugyanis a nagykereskedők kihasználják a sokszor kedvezőbb külföldi árakat. Egyre inkább áthelyeződött az élelmiszerláncokba a zöldség-gyümölcs bevásárlás a piacok helyett (Geösel, 2021).

Világszerte 190 millió tonna paradicsomot állítanak elő. A legnagyobb paradicsom termeszto ország Kína, amely 67,5 millió tonnát termeszto évente. Kínában a palántákat különleges termesztoözegekben, „termesztoedényekben” is termeszto (pl. műanyag kesztyű, pelenka, fűrészpör, teászsák, tojáshej, citrusfélék héja). Alapvetően talajban termeszto a paradicsompalántákat. Talajválasztásnál rendkívül fontos a termékeny, semleges pH-jú talajok használata. Ez után következik a gondos vetőmag ellenőrzés. A csírázás felgyorsításához fahamu infúzióban áztatják a magokat, majd mangánoldattal fertőtlenítik, végül hűtőszekrényben tárolják. A magok ültetésénél 50 fokra felmelegített mangánoldattal öntik le a magot, amit nem túl mélyen ültetnek el, majd lefedik fóliával. A fóliát az első hajtások megjelenésénél távolítják el. A módszer része a palánták keményítése is, amit úgy érnek el, hogy éjszaka a tartályt 3-4 °C-kal hűvösebb helyre viszik. A palántaszedést a vetés után 30 nappal végzik, amikor már háromleveles állapotban van. A kínai módszer szerint a paradicsom gyökérrendszere a szár bármely részén kialakulhat. A palántákat a gyökereknél elvágják, és vagy talajba, vagy vízbe helyezik. A talaj azért előnyösebb, mert kisebb az esély a gyökerek károsodására. A paradicsomból két szárat alakítanak ki, a felső fűrtöket eltávolítják. A kínai módszer előnyei közé tartozik, hogy a palánták gyorsan a talajba ültethetők, masszívak és nagy a betegségekkel szembeni ellenállóképességük (kirsche.hu, 2023). Kína

után következik India, Törökország és az USA. Ma már több, mint 10000 fajta ismert, a legváltozatosabb színekben, formákban, méreteken ([Tomato Production by Country 2023 \(worldstats.com\)](#)). Táplálkozási jelentőségét tekintve, a paradicsom nem tartozik a kalóriadús élelmiszerek közé. Az érett paradicsom víztartalma 93-96 %, benne számos értékes tápanyag található, mint például szénhidrátok, vitaminok, szerves savak, ásványi anyagok, festékanyagok. A paradicsom oldható szárazanyag tartalma (Brix°) 4-7 % között van. A paradicsom termesztés világszinten folyamatosan növekszik. Ezzel szemben a paradicsom feldolgozásának aránya csökken: 1990-ben még 30 % volt, ez 2021-ben 21 %. Az üvegházi termesztés az utóbbi években egyre nagyobb teret kapott ([Worldwide \(total fresh\) tomato production in 2021 - Tomato News](#)).

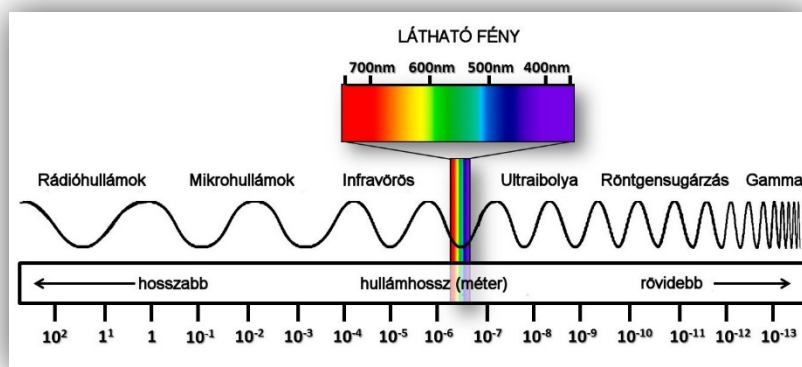
Lehetőségek

A termőterületek folyamatosan csökkennek, a környezeti és emberi hatásoknak köszönhetően degradálódnak. Üvegházakban és zárt térben történő megvilágítás segítségével való termesztés során egy adott területen intenzívebben termeszthetünk, ami megoldást jelent erre a globális problémára. Az üvegházi termesztésben az utóbbi években elterjedt a kőzetgyapot kocka használata, mely kiváló alternatívája a talajoknak. Erre példa a Szentesi paradicsom Kft., ahol szintén kőzetgyapotot használnak. Náluk modern megvalósítású üvegházas termesztés zajlik 20160 m²-en. Az öntözést egyedi csepegtető testekkel végzik gerinc- és szárnyvezetéken keresztül. A paradicsomok növénytartó csatornába kerülnek, függesztett termesztési technológiával. Az üvegház hőszigetelt, klímavezérlő komputer irányítja a szellőztetést, fűtést, szabályozza a belső páratartalmat és a növények fejlődését biztosító CO₂ mennyiségét. A fűtés termálvíz fűtéssel van megoldva. A Climberly F1 fajtájú palánták nevelése 40 napot vesz igénybe. A magtakarást vermikulittal oldják meg, a kelés kezdetéig műanyag fóliával (4-5 nap). A tűzdelést 14 nap elteltével végzik, kőzetgyapot kockákba. A fotoszintézis vizsgálata lehetőséget nyújt a növények genetikai terméspotenciáljának javítására (Long et al., 2022). A fotoszintézishez azonban elengedhetetlen a növények megfelelő megvilágítása. Itt is alkalmaznak pótmegvilágítást, nátriumlámpákkal. 1 lámpa 9 m²-t világít be, 45 W/m² pótfénnyel (napi 8 óra) ([szentesiparadicsom.hu](#)).

Fotoszintézis

A fotoszintézis annak az alapja, hogy a növények létezni tudjanak. Ahhoz, hogy a növények fotoszintetizáljanak, fényre van szükségük. A fotoszintetikusan aktív sugárzás 400-700 nm közé tehető, ez

a látható fény tartománya (McCree, 1972). A fotoszintézis lényege, hogy a növények a fény energiáját arra használják, hogy a CO₂-t szerves



3. ábra-A látható fény tartománya-F.I.R. / www.magneskarkoto.hu

vegyületekké redukálják, miközben oxigént is termelnek. A fotoszintézis a növényi sejteken belül a kloroplasztisban zajlik, amit membránrendszer alkot. A membránrendszer vázát lipid kettős réteg alkotja, ebbe épülnek be a különböző pigmentek, melyeknek különböző az abszorpciós spektrumuk. A magasabbrendű növények kloroplasztisaiból klorofill-a és klorofill-b vonható ki. A klorofill-b második pirrolgyűrűje harmadik szénatomjához metil-csoport helyett aldehidcsoport kötődik, ezért spektrális tulajdonságaik eltérők. A klorofill-a abszorpciós maximuma 660 nm-nél, a vörös tartományban van, ezzel szemben a klorofill-b-nek 643-nál. A karotinoidok közé tartoznak a karotinok (szénhidrogének) és a xantofilok (epoxi- és hidroxikarotinok), melyek a kék tartományban abszorbeálják a fényt. A karotinoidok abszorpciós maximuma 400 és 500 nm közé tehető (Bori, 2016). A fikobilinek fémion nélküli tetrapirrolvázból álló pigmentformák, melyekben a négy pirrolgyűrű nyílt láncot alkot. A közéjük tartozó flavánszázazékok a magasabbrendű növények színességét vagy fehérségét okozzák, például a virágokét, a fotoszintézisben nincs szerepük (Tuba et. al, 2009). A fotoszintézis két részre osztható. Az elsődleges folyamatok a membránban játszódnak le. Az oxigén termeléséig és a ATP, illetve NADPH szintéziséig tartanak. Az energiatranszfer úgy valósul meg, hogy egyik pigmentről a másikra vándorolva jut el az energia a reakciócentrumba, ami 2 db klorofill-a molekulából áll. A második reakciósorozat (szénredukció, Calvin-ciklus) a sztrómában, a tilakoidok közötti térben zajlik. A biokémiai reakciólánc az ATP és a NADPH felhasználásával a szén-dioxidból szerves anyagokat szintetizál (Zimányi, 1981).

A fotoszintézisről a 20. század előtt nem sokat tudtak, viszont azóta már számos kutatás született a témában, amely feltárt fontos eredményeket. Az oxigéntermelő

fotoszintézis rendkívül fontos folyamat. Nemcsak azért, mert ez jelenti a táplálék, a rostok és számos hasznos anyagunk forrását, hanem azért is, mert a Földön szinte minden élet ettől függ közvetve vagy közvetlenül. Jan van Helmont (1648) kimutatta, hogy a növények növekedése leginkább az általuk elnyelt vízből származik. Nicolas Théodore de Saussure (1804) csak később jelentette ki egyértelműen, hogy a víz alapvető reagense a fotoszintézisnek. Joseph Priestley (1776) kísérleteiben kimutatta, hogy oxigént bocsátanak ki a növények, amire az állatnak szüksége van az élethez. Ekkor még flogisztikált levegőnek hívta. Jan Ingen-Housz (1773) megállapította, hogy a fotoszintézishez fény szükséges. Jean Senebier (1782) A CO₂ fotoszintézisben betöltött szerepét vizsgálta, a keményítő szintézisét Julius von Sachs (1862, 1864) mutatta be. Theodor Engelmann (1882) biztosította a fotoszintézis első hatásspektrumát, megmutatva, hogy a klorofill a vörös és kék fény abszorpciója közben oxigént termel (Stirbet et al., 2019).

A nyitottabb sztómák nagyobb fotoszintézis intenzitást eredményeznek. Egy Magyarországon végzett kísérlet során a nagy bogyójú paradicsom nettó fotoszintézise jóval magasabb értéket ért el, mint a snack fajták. Általános tendencia, hogy a növények úgynevezett déli depressziót mutatnak, ami azt jelenti, hogy visszaesik a nettó fotoszintézis intenzitása. (Tóthné et al., 2021). A klímaváltozás miatt a szántóföldi növénytermesztésben



4. ábra-Aszály

<https://ng.24.hu/fold/2022/03/17/az-aszaly-a-kovetkezo-evtizedek-egyik-legnagyobb-okologiai-veszelye/>

nagy problémát jelent az aszály. 2022 nyara kifejezetten jó példa erre. Vízihiányban gátolt a vízfelvétel, ennek következtében csökken a fotoszintézis intenzitása, ami a növények fejlődésének csökkenését eredményezi. Ha vízihiány van, a növény intenzív sztóma működéssel (zárás) akadályozza a vízvesztést. Hosszú időn át tartó

szárazságban csökken a felvehető víz mennyisége, ezáltal a transzspiráció is

csökken. A levél hőmérséklete emelkedni kezd, ami termésmennyiség csökkenéséhez vezet.

Fényhasznosítás

Sokan kutatták már, hogy mi az ideális fényösszeállítás a növények fotoszintézisének és növekedésének az elősegítésére, azonban még mindig sok lehetőség van további ismeretek

megszerzésére a témában. Jelenlegi ismereteink szerint a vörös és kék megvilágítás mellett a zöld sem elhanyagolható. A fényhasznosítás során a növények bizonyos hullámhosszokon a fényeket elnyelik, másokon visszaverik. A zöld fényt kevésbé nyelik el (abszorbeálják) a fotoszintetikus pigmentek, mint a vöröset és a kéket, ennek köszönhetően, a zöld fény jobban behatol a növény szöveteibe, míg a kék és vörös fényt csak a legfelső sejtrétegek nyelik el (Liu et al., 2021). A fényhasznosításnál nem csak a fény erősségének és hullámhosszának van fontos szerepe, hanem a fény irányának is. Az alacsony szögű, szórt fény közelebb nyelődik el a levél színéhez, mint a közvetlen, felületre merőleges fény. A sejt anatómiája is befolyásolja a fény mezofillumba jutásának irányát (Brodersen et al., 2010).

Jelenleg a paradicsomot üvegházakban, kontrollált körülmények között termesztik egész évben. Japánban például gyakran érzékelők segítségével végzik a nyers paradicsom előállítását, mellyel mérik a levegő hőmérsékletét, szén-dioxid koncentrációját. Ezen kívül fontos tényező a paradicsom termesztésben a megvilágítás. A PPFD-t (fotoszintetikus fotonfluxus sűrűsége) az üvegházak szerkezete és burkolóanyaga jelentősen befolyásolja. Télen a fény intenzitása és hossza lecsökken, ezáltal csökken a fotoszintézis. Ilyenkor használható mesterséges fény, melyet az északi országokban hatékonyan alkalmaznak. Fénykibocsátó diódát (LED-et) használnak a lombkorona megvilágításához a fotoszintézis fokozására. A LED-eknek az az előnye a hagyományos fényforrásokkal szemben, hogy hatékonyabban alakítják át az elektromos energiát fényenergiává és hosszabb az élettartamuk. Mivel kevesebb hőt bocsátanak ki, közelebb helyezhetők a növényhez. Ezenkívül kisebbek és könnyebbek lehetnek. Ugyanazon PPFD mellett a fotoszintézis aránya vörös fényben a legmagasabb, viszont a növények csak vörös megvilágítással nem képesek megfelelően növekedni, így kék fényt is kell keverni hozzá a megfelelő morfogenetikus reakció kiváltásához. A monokromatikus vörös fény fokozza a paradicsomnövények szár- és gyökérnyúlását. A kék fény javítja a fényminőséget. A növekedésszabályozók (PGR-ek) kapcsolatban állnak a morfogenezissel: a monokromatikus vörös fénnel szemben a vörössel kevert kék fény növeli a fotoszintézist és vastagítja a leveleket, és a növekedésszabályozók valószínűsíthetően részt vesznek ezekben a folyamatokban. A fényminőség hatással van a gyümölcs minőségére. A betakarítás után különböző fényekkel megvilágított gyümölcsök különbözőképpen halmozták fel az egészség elősegítő pigmenteket.

A növényekben fotoreceptorok találhatóak. A vörös és távoli vörös fény a fitokróm érzékeli, míg a kék fényt a kriptokróm. A fitokróm különböző transzkripciós faktorokkal lép kölcsönhatásba, szabályozza számos gén és növényfejlődés (pl. virágzás) expresszióját. A

kriptokróm is részt vesz a virágzás szabályozásában, a fitokrómmal együttműködve. A gibberellin az egyik növekedésszabályozó, amely elősegíti a szár megnyúlását. A paradicsomszár gibberellin koncentrációja magasabb értéket mutat, mint más megvilágításoknál. Egy vizsgálatban, napnyugta után 12 órával monokromatikus kék és vörös fénnel világítottak meg növényeket 90 napon keresztül. Az eredmények azt mutatták, hogy a monokromatikus vörös fénnel megvilágított palánta szárnövekménye 8,6 %-kal, gibberellin szintje pedig 29 %-kal magasabb volt, mint a kék fénnel megvilágított palántáé (OuYang et al., 2015). Feltételezhetően az auxin vörös fényben általa segíti elő a szár növekedését, hogy növeli a paradicsomszárak gibberellin szintjét. Alacsony vörös/távoli vörös arány mellett fellép az árnyékkerülési szindróma (SAS), amelynek következtében fokozott nyúlást mutatnak. Emellett a hajtás friss súlyának növekedése és az etilénszint csökkenése figyelhető meg (Xiao et al., 2022).

Lehetőség a géntechnológiában

Egy paradicsom növekedését vizsgáló kutatásban egy SmCOP1LIKE elnevezésű új gén szerepét vizsgálták. Ez a gén elsősorban a levelekben, a virágokban és a gyümölcsökben expresszálódik, a gyökerekben és a szárból alacsony expressziót figyeltek meg. A gént hordozó vektor csökkent klorofilltartalmat eredményezett, emellett a karotinoid tartalom is csökkent. Az overexpressziós (OE) vektor csökkentette az etiléntermelést, ezáltal késleltette a gyümölcs érését. Ezek a palánták hosszabb hipokotileket mutattak az alacsonyabb etilén tartalom miatt, mint a normál palánták. Kimutatták, hogy a SmCOP1LIKE génnek fontos szerepe van a gyümölcs érésének szabályozásában, illetve a virágzási idő csökkentésében (Naeem et al., 2022).

Levélfelületi index (LAI)

A levélfelületi index (LAI) a növény lombzatának nagyságát, kiterjedtségét, sűrűségét jellemző mérőszám. Megmutatja, hogy egy bizonyos területen mennyi lombzattal rendelkezik a növény. Ez azért fontos, mert az aktív levélfelület mennyisége meghatározza a fotoszintézis intenzitását. Minél nagyobb a levélfelület, annál több a megkötött napfény mennyisége, ami által a növény szerves anyagokat tud előállítani. Nem csak a fotoszintézist, hanem a párologtatást és a vízfelvételt is befolyásolja. A nagyobb levélfelület nagyobb teret biztosít a párologtatásra és a vízfelvételre is. A levélfelületi index segítségével képesek vagyunk a terméshozamok növelésére általa, hogy meghatározzuk a növény víz-és

tápanyagigényét. Fontos szerepe van a termesztésben és környezeti változások hatásainak vizsgálatában is. A LAI értékek meghatározhatók távérzékelési technikákkal vagy a lombozat mérésével (Ecoterra, 2023). A LAI mérése történhet indirekt vagy direkt módszerekkel. A direkt módszerek előnye, hogy az időjárás tényezői nem hatnak rá, az indirekt módszerek kalibrálásához alkalmazzák. Az indirekt módszereknek az az előnye, hogy energia-, idő- és költséghatékonyak. Ilyen módszerek a távérzékelés, allometrikus technika, halszemoptikás módszer, illetve lézeres technika). A fény elnyelésének és visszaverésének mértékét leginkább a felszín tulajdonságai határozzák meg. Ilyen tulajdonságok az albedó és az emisszivitás. Az emisszivitás azt mutatja meg hogy azonos hullámhosszon, azonos hőmérsékletű fekete testhez viszonyítva mekkora az objektum felületének a kisugárzása. Az NDVI (vegetációs index) magában foglalja a terület növényekkel való borítottságát, a vegetációs stádium állapotát és a növény egészségi állapotát. Az értéket a látható vörös és a közeli infravörös tartományokban visszavert intenzitások különbségének és összegének hányadosa adja. Korrelál a növényzet átlagos klorofill tartalmával (Szőke, 2015).

A fotoszintézis mérése

A fotoszintézis sokféleképpen mérhető. Egyik lehetőség a szén-dioxid gázcsera mérése. Az infravörös gázanalizátoros módszer azon alapul, hogy a minimum két szénatomból felépülő gázoknak az infravörös sugárzási tartományban jellemző abszorpciós sávuk van. A növényt vagy növényi részt tartalmazó gázcseremérő kamrából folyamatosan áramlik a levegő az analizátorhoz, szivattyú segítségével. A légtér CO₂ tartalmával arányos infravörös sugárzás jut be a sugárzásvevőbe. A sugárzás intenzitásának változása hőmérséklet- és nyomásingadozássá alakul, majd feszültségváltozássá. Arra kell figyelni, hogy vízgőz ne jusson vízgőz a szén-dioxidot tartalmazó levegőbe, mert a vízgőz abszorpciós sávja és maximuma nagyon hasonló a CO₂-éhoz, ezért befolyásolhatja az eredményeket. Peltier-modullal működő elektromos gázhűtő segítségével megoldható a levegő teljes víztelenítése. A gázcsera mérő kamra lehet nyílt rendszerű, amikor összeköttetésben van a külvilággal, valamint zárt rendszerű, amikor teljesen szeparált tőle. Az IRGA-módszerrel a növény vagy növényi rész nettó CO₂ felvételét mérjük (nettó fotoszintézis). Megvilágítás alatt a levelek nem csak felvesznek, de le is adnak szén-dioxidot. A szén-dioxid leadása a fotorespirációból és a mitokondriális légzésből származik. Az egy időben végbemenő szén-dioxid felvétel és leadás végeredménye a nettó fotoszintetikus CO₂ felvétel. A módszer előnye, hogy alkalmazhatunk intakt, nem levágott növényt és a tényleges fotoszintetikus CO₂ felvételt

mutatja. Így ugyanazzal a növényvel számos vizsgálatot elvégezhetünk, többek között a fotorespiráció, nettó fotoszintézis és sötétlégzés vizsgálatát. A szén-dioxid felvétellel szembeni ellenállásokat és a sztomatikus konduktanciát is kiszámíthatjuk.

Fotoszintézis mérésére a másik lehetőség a fluoreszcencia és a fiziológiai alapú távérzékelés. Az utóbbi időben kifejlesztett aktív és passzív légi fluoreszcencia módszerek lehetővé teszik az in vivo klorofill fluoreszcencián keresztül a nagy kiterjedésű stresszhelyzetek, erdőpusztulás fertőzés feltérképezését szárazföldi és vízi növényeknél. Ezen belül az egyik technika a növényzet távérzékelése reflektancia mérésekkel, mellyel elsősorban az egészségi állapotot és a stresszhelyzetet mérik fel. Ezeket a méréseket arra alapozzák, hogy az egészséges növényeknek van egy jellemző és állandó reflektancia spektruma a látható (400-700 nm) és a közeli infravörös (700-900 nm) tartományban. A károsodó növényekben ezzel szemben magasabb az 500-650 nm közötti specifikus reflektancia értéke, ami alacsonyabb fotoszintetikus pigmenttartalmat jelez, 800 nm körül pedig alacsonyabb.

Egy modern technológia, a klorofill fluoreszcencia távérzékelése. Azért kapunk pontos képet a növények egészségi állapotáról, mert a klorofill-fluoreszcencia csak zöld, fotoszintetikusán aktív növényi részekből származhat (Tuba et al., 2009). A klorofill fluoreszcencia speciális esete a napfény által indukált fluoreszcencia detektálása, ezt használják jelenleg is. Ez a módszer arra a problémára jelent megoldást, hogy a fluoreszcencia gerjesztéséhez a növények minden pontján azonos erősségű megvilágítás szükséges, így mesterséges fényforrások esetén limitáló tényező a távolság. Mivel a levelekről visszaverődött napfény intenzitásánál a klorofill fluoreszcencia jóval kisebb így a fluoreszcencia jel csak speciális hullámhosszokon detektálható, mert az erős légköri abszorpció miatt a fény nem jut át a Föld felszínére a Napból. Ezzel szemben a más hullámhosszú fluoreszcencia jel visszajut a szenzorhoz. A napfény által indukált klorofill fluoreszcencia távérzékeléssel detektálható (Vass, 2017).

A távérzékelés egy olyan tudomány és technológia, melyben a vizsgált objektumokkal nem lépnek közvetlen kapcsolatba, hanem különböző szenzorok segítségével detektálják az objektumok által kibocsátott vagy visszavert elektromágneses sugárzást. Leginkább akkor alkalmazzuk ezt a technológiát, ha olyan területekről vagy objektumokról szeretnénk információkat kapni, amelyek megközelítése veszélyes, költséges vagy közvetlen emberi vizsgálódás számára elérhetetlenek. Ilyenek lehetnek szántóföldi területek, óceánok, erdők, de akár vulkánok vagy radioaktív területek is. Az elektromágneses sugárzás gyorsan változó elektromos és mágneses mezőkből áll. Legfontosabb tulajdonsága a hullámhossza, ez alapján

a Napból érkező sugárzás spektrumát több részre oszthatjuk. Az ibolyán túli sugárzás, a látható fény és a közeli infravörös sugárzás az, ami elsősorban a visszavert napsugárzás. Nagyobb hullámhosszokon a közepes infravörös, távoli infravörös (hősugárzás), mikrohullám, illetve rádióhullám található (Deli, 2010).

Szenzorok

A szenzorok csoportosíthatóak aszerint, hogy aktívak vagy passzívak. A passzív érzékelő elektromágneses sugárzása természetes forrásból származik, ez lehet a Nap által sugárzott, felszínről visszavert elektromágneses energia vagy a vizsgált objektum által kibocsátott sugárzás. Az aktív érzékelők saját sugárforrással rendelkeznek. Tartoznak hozzájuk radarok, valamint Lidar rendszerek. A mérőeszközöket csatornaszámuk alapján csoportosítjuk. Léteznek pankromatikus, multispektrális és hiperspektrális szenzorok. A pankromatikus szenzorok egyetlen csatornát tartalmazó felvételt érzékelnek, fekete-fehér képeket készítenek, a fényerősséget érzékelik egy bizonyos hullámsávban. A multispektrális szenzorok az infravörös és a látható fény tartományán belül érzékelnek, egy vagy több széles sávon történik a felvételezés. A képadatokat egyidejűleg vagy sorozatosan érzékelik. A hiperspektrális érzékelők különlegessége, hogy nagyszámú keskeny sávban történik a detektálás. Lehet ez 20 sáv, vagy akár több száz is. Ha a megfigyelés távolságának szempontjából vizsgáljuk a távérzékelési rendszereket, akkor vannak földi, légi és műholdakból álló rendszerek. Földi távérzékelésnél legfeljebb pár méterre helyezkedik el az eszköz a földfelszíntől. Légi távérzékelésnél az adatgyűjtés valamilyen Föld légkörén belül elhelyezkedő műszerrel történik-, pl. drónról, de a hagyományos légifotózás is ide tartozik. Műholdas távérzékelésnek számít a műholdakon működő szenzorok mellett a földközeli űrállomásokról és újra felhasználható űreszközökről működő berendezés is. A szenzorok működési elve szerint történő csoportosításban megkülönböztetünk pásztázó szkennereket (scanning), illetve mérőkamerás szenzorokat (framing). Mérőkamerás szenzorok esetén a fényképezőgépek analóg vagy digitális képeket készítenek. A két eltérő módszer abban különbözik, hogy míg a kamerás szenzorok a terület egészéről egyszerre készítenek képet, addig a szkennerek csak a terület egy vékony sávjáról érzékelik az elektromágneses sugárzást. A távérzékelte felvételek geometriai felbontásukat tekintve lehetnek kis-, közepes- és nagy geometriai felbontásúak. Nagy felbontásról akkor beszélhetünk, ha 1 méternél kisebb területről készültek a képek. Közepes felbontású abban az esetben, ha 1 és 100 méter közötti a felvétel. Ezeket elsősorban természeti erőforrások kutatásában használják. A meteorológiai műhold jó példa kis felbontású képek készítésére, mert 100 méternél nagyobb (Deli, 2010).

A Földet légkör veszi körül. E gáz halmazállapotú burkon át kell jutnia az elektromágneses sugárzásnak ahhoz, hogy a Napból a Földre, a Földről pedig a szenzorba juthasson. A légkör az elektromágneses sugárzást nem engedi át akadálytalanul, az elektromágneses spektrumnak csak meghatározott hullámhosszú tartományait képes átengedni. Távérzékelésre légköri ablakokat használhatunk, melyek két részre oszthatók: 380-1500 nm közötti spektrális tartomány, melyet atmoszférikus vagy optikai ablaknak nevezünk, és mikrohullámú ablak, amelyet a 0,1-100 cm közötti tartományban találunk. A légköri ablakokban ugyanúgy fellép az abszorpció, a szórás vagy a reflexió, csak ezekben a spektrális tartományokban a legkisebb a mértékük. Így kisebb mértékben redukálják az elektromágneses sugárzást. Abszorpciókor valódi veszteség történik, az elektromágneses sugárzás elvész a légköri molekulában. A légkörben bizonyos molekulák abszorpciós hullámhosszal rendelkeznek. Az abszorpcióban a szén-dioxid, az ózon és a vízgőz játssza a legnagyobb szerepet. Ezek közül a vízgőz képes a legnagyobb abszorpcióra. A légköri ablakokban meglehetősen alacsony az abszorpciós részecskék száma, ez teszi lehetővé a transzmisszió (átengedés) nagy mértékét. A reflexió, más néven visszaverődés a légkörön áthaladva a földfelszínről történik, valamint nagyobb molekulákról, mint a vízcsepp vagy a porszemcse. A különböző objektumok és felszínek eltérő anyagi tulajdonságokkal rendelkeznek, azért eltérő hullámhossztartományokban mérve, különbözőképpen reflektálják vissza a sugárzási energiát. A visszavert energiamennyiséget spektrális reflektancia görbén ábrázoljuk, amely rálátást ad a spektrális és anyagi tulajdonságokra, valamint arra is, hogy milyen hullámhossztartományba vizsgálható egy adott tulajdonság. Ha a növényzetet vesszük alapul, azért mutat zöld színt az egészséges növényzet, mert a vegetáció a spektrum zöld tartományába eső fényt veri vissza a klorofill tartalma miatt. A talaj reflektanciája számos tényezőtől függ. Függ a nedvességtartalomtól, a szerkezettől, a felszín egyenletességétől, valamint a vasoxid jelenlététől is. A víz minősége jelentősen befolyásolja a vízfelszín által reflektált sugárzást, így a távérzékeléssel nyert reflektancia görbét könnyedén alkalmazhatjuk a vízminőség megfigyelésére (Deli, 2010).

Hiperspektrális távérzékelés alkalmazása

A hiperspektrális távérzékelés felhasználási területei rendkívül változatosak. A hadászat mellett alkalmazott mezőgazdasági és erdészeti források feltérképezésére, talajösszetétel vizsgálatára, gyomdetektálásra, a tengeri és szárazföldi területek ökoszisztémájának környezeti monitorozására, geológiai információk feltárására, növényfajok azonosítására, valamint vízkészletek ellenőrzésére, tekintve a vízminőséget, üledék-

menyiséget, klorofill-tartalmat és hőmérsékletet. Régészetben, ezzel a távérzékelési technológiával megoldhatóvá válik a lelőhelyek felületi spektroszkópiája. Hazánkban csak a 2000-es években kezdett terjedni ez az új technológia, de nagyon széleskörű a felhasználása. Egyik legjelentősebb alkalmazási területe a mezőgazdaság. Használjuk például biomassza meghatározására, mezőgazdasági parcellák felmérésére, talajok vizsgálatára, termesztett növények elkülönítésére, és növénykórtanban, növényvédelemben is nagy szerepe van. A mezőgazdaság nagy hiányossága, hogy a gazdálkodók nem ismerik területeik pontos állapotát, erre kínál megoldást a hiperspektrális felvételek készítése, anélkül, hogy zavarnánk az állományt (Deli, 2010). A növényvédelemben, azon belül is a levelek vizsgálatában óriási szerepe van ennek a technológiának. Egy floridai kutatásban a paradicsom levelének reflektanciáját vizsgálták. Négy stádiumot különböztettek meg: egészséges, tünetmentes, korai stádium és előrehaladott stádium. Az egészséges levéllel ellentétben a három beteg levél spektruma 500 nm-től nőtt. 500 nm és 570 nm tartományban ez a három görbe metsződött. 570 nm-en túl a korai és késői stádiumú levél görbéje metszve maradt, és magasabb volt, mint a másik két kategóriáé. A tünetmentes levelek átlagos reflektanciája 570 nm-nél csökkenni kezdett, és alacsonyabb volt a tünettől rendelkezőkénél. A tünetmentes levelek reflektanciája magasabb maradt 660 nm-től, mint az egészségeseké. 690 nm körül az összes spektrum hirtelen megnövekedett. Később mindegyik reflektancia spektruma csökkenő tendenciát mutatott. Az eredmények azt mutatják, hogy a betegség tünetei (világos- vagy sötétbarna foltok) kisebb abszorpciót eredményeztek a reflektanciában, leginkább a vörös és zöld tartományokban (Lu et al., 2018). Egy másik paradicsomokkal végzett kutatásban a betegségek kimutatására a legjobb hullámsávnak a kéket, a vöröset és a vörös szélét találták (Abdulridha et al., 2019). Egy burgonyával végzett kutatásban az alternária feltérképezésének hatékonyságát vizsgálták szántóföldön. Azt állapították meg, hogy a legnagyobb eltérést az egészséges és az alternáriával fertőzött levélszövet között a vörös, a zöld és a NIR (720-750 nm) tartományban találták. Ebből arra következtethetünk, hogy a multispektrális kamerák nagy hozzáadott értéket jelentenek az Alternaria solani helyszíni kimutatásához (DeVijver et al., 2020)

Anyag és módszer

A kutatás során a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Növénytermesztéstudományok Intézet Növényélettani és Növényökológia Tanszék növénynevelőjében és növényélettani laboratóriumában végeztünk méréseket. A kísérlet során a paradicsom (*Solanum lycopersicum*) fotoszintézisét és transzpirációját különböző megvilágítási körülmények között vizsgáltuk, hogy megértsük a megvilágítás spektrumának hatását a növények fejlődésére és biomassza-termelésére.

Kutatásunk két nagyobb részre osztható. Az első részben a paradicsomok fotoszintézisét, transzpirációját vizsgáltuk, különböző megvilágításoknál. Egységesen, fehér fény alatt nevelt paradicsomokat használtunk. Összesen 15 növényt neveltünk, amelyeket négy hetes korukig normál fénycsövekkel világítottunk meg normál fénycsövekkel. Két különböző alkalommal végeztünk méréseket több ismétlésben. A mérések alkalmával már meghatározott spektrumú, eltérő összetételű fénnel világítottuk meg a növényeket. Itt láthatóak a fénypoállítások. A hetedik a normál fénycsöves megvilágítás.

1. táblázat-A megvilágítások összetétele

fénykód	kék (%)	zöld (%)	vörös (%)	távoli vörös (%)
1.	20	20	60	0
2.	20	20	50	10
3.	40	20	40	0
4.	40	10	40	10
5.	60	20	20	0
6.	50	20	20	10
7.	15	25	55	5

A paradicsomokat perlit közegben neveltük, Hoagland-féle tápoldattal öntöztük. Minden növény hetente kétszer 300 ml-t kapott, ez biztosította a megfelelő tápanyag-ellátottságot a növekedéshez.

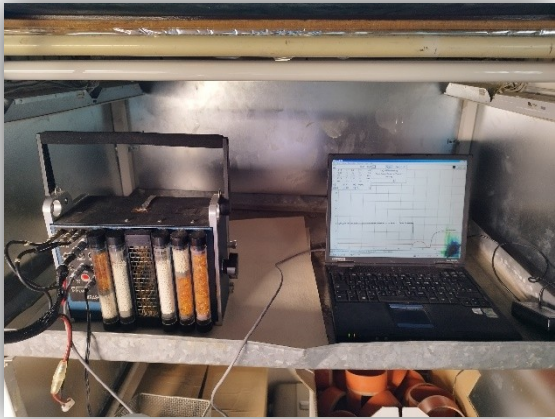
A második kísérletben 27 paradicsomot neveltünk, három különböző összetételű fény alatt. Az egyik vörös dominanciájú, míg a másik kék dominanciájú volt, a harmadi volt a normál, fehér fényeső. Ezek a 2., 6. és 7. fénykódú megvilágítások. A másodikat azért választottuk, mert ez mutatta a legjobb eredményeket, a hatodikat pedig azért, mert itt a másodikkal ellentétben kék dominancia van. Spektrális szempontból tehát a két beállított összetételű fényforrás erősen eltért egymástól, ami lehetőséget adott arra, hogy pontosabb képet kapjunk a különböző fények hatásairól a növények fejlődésére. Ezeken a növényeken is végeztünk fotoszintézis méréseket. A paradicsomok növekedésének nyomon követésére a növényekről fotókat készítettünk, négy alkalommal. Ezen kívül reflektancia méréseket is végeztünk a kísérlet végén. A paradicsomok gyökereit és hajtásait lemértük, így a biomassa mérések is megvalósultak.

A hőmérséklet a növények környezetében folyamatosan változott. Délután 23 °C környékén volt a hőmérséklet, hajnalra 16 °C-ig csökkent. A relatív páratartalom délelőtt 10 órakor 50 % volt, ez délutánra lecsökkent 44 %-ra, majd az éjszakai órákban 60 %-ra emelkedett. A következő volt a megvilágítások fényintenzitása, a cserepek tetején mérve: 2. fénykódú: 310 foton/m²s, 6. fénykódú: 303 foton/m²s, fehér fényeső: 317 foton/m²s.

A biomassa mérése során a növények gyökereit és hajtásait kiszárítottuk, hogy pontosan meghatározhassuk a gyökér-hajtás arányát. Ez az arány fontos szempont a növények fejlődésének értékelésében, mivel a gyökerek felelősek a tápanyagok és víz felvételéért, míg a hajtások a növény fotoszintetikus aktivitásáért.

Fényképek készítése

A fényképek készítésénél több tényezőt is számításba kellett venni. A képeket egy Canon 350D kamerával készítettük. Egy állvány segítségével tudtuk elérni, hogy a fotók minden alkalommal ugyanabból a távolságból készüljenek. A képeket fekete háttér előtt készítettük, ami fontos volt a képek kiértékelése szempontjából.



5. ábra-Transzspiráció mérése

fotoszintetikus aktivitásának meghatározásában. A Ciras-2 előnye, hogy a növényt élő állapotában tudtuk mérni, így párhuzamosan folytathattuk a növekedés méréseket. A mérések során nettó fotoszintézist mértünk, amely figyelembe vette a CO₂ leadását is a mérési kamrában. Ez utóbbi a mitokondriális légzést és a fotorespirációt jelentette, amely csökkentheti a nettó fotoszintézist.

A növényeket 600-700 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ fényintenzitással világítottuk meg, amely a fotoszintézis optimális fényintenzitása. Ez a beállítás biztosította a növények számára a megfelelő környezetet a maximális fotoszintetikus aktivitás eléréséhez. A levél távolsága a lámpától 4,5 centiméter volt.

Reflektancia mérések



6. ábra-Reflektancia mérés

tartományban a reflektancia csökkenése figyelhető meg. A látható tartomány (400-700 nm) után a görbe jelentős növekedést mutatott a közeli infravörös tartományban, amely

Laboratóriumi mérések

Fotoszintézis és transzspiráció mérések:

A mérések során a fotoszintézis és transzspiráció mérése céljából a Ciras-2 infravörös gázanalizátort használtuk (PPsystems, UK). Ez az eszköz lehetővé tette a fotoszintetikus CO₂ felvétel mérését, amely kulcsfontosságú a növények

A reflektancia mérések során Qmini spektrométert használtunk. A mérésünket azzal kezdtük, hogy fehér, illetve fekete spektrumokat vettünk fel. Az adatok elemzése során megfigyelhető volt, hogy a leveleknek van egy jellegzetes reflektancia spektruma. A kék spektrumtól kezdődően a zöld spektrum reflektanciája magasabb értékeket mutatott, majd a vörös

kulcsszerepet játszik a növények fotoszintetikus aktivitásában és a stresszválaszokban. Az eredmények kiértékeléséhez különböző indexeket használtunk.

Indexek

$$MCARI=((VNIR-Red)-0,2*(VNIR-Green))*(VNIR/Red)$$

$$NDRE=(NIR-RE)/(NIR+RE)$$

$$MNDVI=(c.NIR-Red)/(c.NIR+Red) \text{ (c egy valós szám 0,1 és 10 között)}$$

$$PSRI=(Red-Blue)/FarRed$$

$$MCARI/MTVI2=((700nm-670nm)-0,2*(700nm-550nm))(700nm/670nm))/$$

$$(1,5*(1,2*(800nm-550nm)-2,5*(670nm-550nm))) \quad / \sqrt{(2800nm+1)^2-(6800nm-5\sqrt{670nm}-0,5))}$$

$$PRI=(531nm-570nm)/(570nm+531nm)$$

Pigmenttartalom meghatározás



7. ábra-Korongok kivágása

így ezeknek a méréseknek a pontos elvégzése elengedhetetlen a kutatásunk szempontjából.

A pigmenttartalom meghatározásához korongokat vágunk a növények leveléből, és ezeket a korongokat elemeztük. Minden növényből két korongot vizsgáltunk, így biztosítva, hogy reprezentatív adatokat nyerjünk a klorofill-a, klorofill-b és összkarotinoid tartalomról. A pigmentek kivonása 2 ml acetonban történt. A pigmentek mennyisége alapvetően befolyásolja a fotoszintézis hatékonyságát,

Az első kísérlet menete

-2022.10.10.-én kezdődött a kísérletek fizikai előkészítése. Ezen a napon valósult meg a perlit előkészítése és a tápoldat keverése.

-10.11-én a magokat tálcára vetettük.

-10.17-én magot és palántát helyeztünk a perlitbe, majd teljes (Hoagland) tápoldattal öntöztünk.

-Az első méréseket 2022.11.16-án végeztük.

-A méréseket megismételtük 2022.11.23-án.

A második kísérlet menete

-A növekedésvizsgálathoz újabb paradicsommagokat ültettünk 2023.01.12-én. Ezt követte a fényképek készítése minden növényről, ami négy alkalommal valósult meg.

-2023.01.25-én a növények kétleveles állapotában készültek a képek.

-A második fényképkészítés 2023.02.01-én történt.

-2023.02.13-án a fotók készítése során azt tapasztaltuk, hogy a paradicsomok már számos levéllel rendelkeztek, viszont még kis termetűek voltak.

-2023.02.27-én készült az utolsó képsorozat, amikor már 25-30 cm magasak voltak a növények. Ekkor végeztünk fotoszintézis méréseket is. Mindhárom megvilágítás alatt nevelt növényből tetszőlegesen kiválasztottunk öt-öt darabot, majd ezeket vizsgáltuk.

Ezt követte a növények magasságának mérése mérőszalaggal, majd a reflektancia mérés spektrométerrel. Ezek után kis korongokat vágunk a levelek közepéből a pigmenttartalom meghatározása céljából. Végezetül, sor került a növények eltávolítására a cserépből, majd a gyökérzet és a hajtás különválasztására. Néhány nap elteltével, szárítószekrényben történő szárítást követően mértük a biomassa mennyiségét.

Adatfeldolgozás

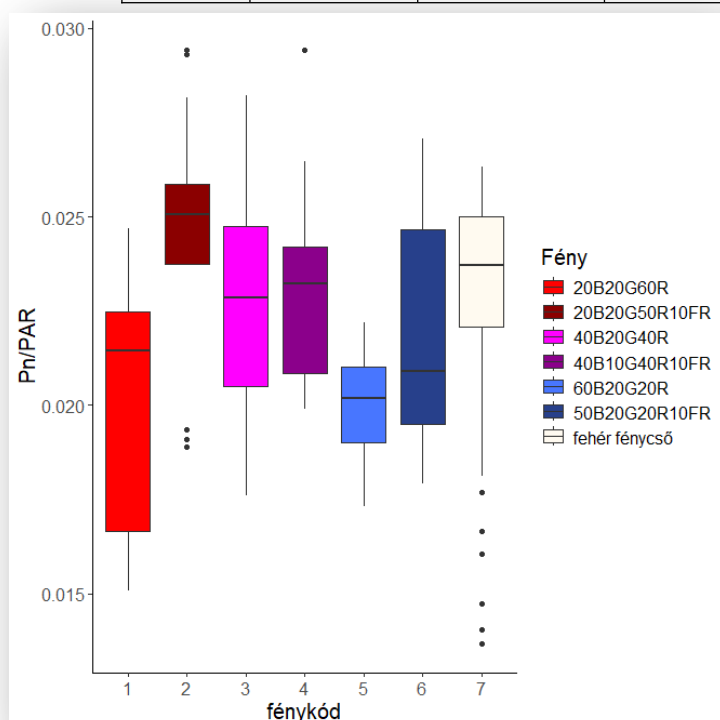
Az adatok feldolgozásához a Microsoft Excelt használtam, ebben készítettem a meglévő adatokból új táblázatokat, diagramokat. Ezek segítségével jól szemléltethetőek az eredmények. A szórásokat is feltüntettem. Összehasonlítva a különböző megvilágítások alatt vizsgált növényeket, megtaláltam a megfelelő fényösszeállítást.

Eredmények és értékelés

Az első kísérlet eredményei

2. táblázat-Az első kísérlet eredményei

fénykód	nettó fotoszintézis ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$)	fényintenzitás ($\mu\text{mol foton}\cdot\text{m}^2\text{s}$)	fotoszintézis/fényintenzitás
1.	10,3	521,3	0,0197
2.	10,3	425,1	0,0242
3.	6,5	302,3	0,0216
4.	7,9	346,6	0,0227
5.	7,4	371,4	0,0199
6.	7,7	356,5	0,0215
7.	11,8	515,1	0,023



Az eredmények alapján a második fényösszeállítás bizonyult a leghatékonyabbnak, hiszen ennél a spektrális kombinációnál volt a legmagasabb a fotoszintézis/fényintenzitás aránya (0,0242). Pusztán a nettó fotoszintézis értékének vizsgálata nem adna pontos eredményt, mert a

fényintenzitás okozta különbségek torzítanak a képet. A fényforrás, amelyben a vörös dominált, jelentős pozitív hatást gyakorolt a paradicsom fotoszintetikus aktivitására. A hatodik fényösszeállítás, melyben a kék fény volt túlsúlyban, szintén kedvező eredményeket mutatott, bár a fotoszintézis hatékonysága nem érte el a második fénykombináció szintjét. A távoli vörös fény jelenléte tovább javította a fotoszintézis hatékonyságát. Egy napraforgón végzett kutatásban is arra az eredményre jutottak, hogy a növény fotoszintézisét növeli a távoli vörös fény (Zhen et al., 2022). Egy kutatásban a Lollo Bionda fajtájú saláta vörös dominanciájú megvilágítása esetében növekedett a nettó fotoszintézis mértéke a kontrollhoz (fehér fény) képest. A kék kezelés alacsonyabb értéket mutatott (Soufi et al., 2023).

Fényintenzításban a legmagasabb értéket a hagyományos fehér fényű megvilágítás adta. A legalacsonyabb fényintenzitást a második fénykódú fényösszeállítás érte el. Nettó fotoszintézis tekintetében a harmadik fénykódú teljesített a leggyengébben, a hetedik pedig a legjobban. Utóbbit valószínűleg a magas fényintenzitás eredményezte. Fotoszintézis/fényintenzításban a leggyengébb eredményt az ötödik megvilágításnál tapasztaltuk. Itt a 60 % kék, 20 % zöld és 20 % vörös összetételt alkalmaztuk. Az eredmény az előzőekben említettek mellett azért sem meglepő, mert a kék fény aránya kiugróan magas.

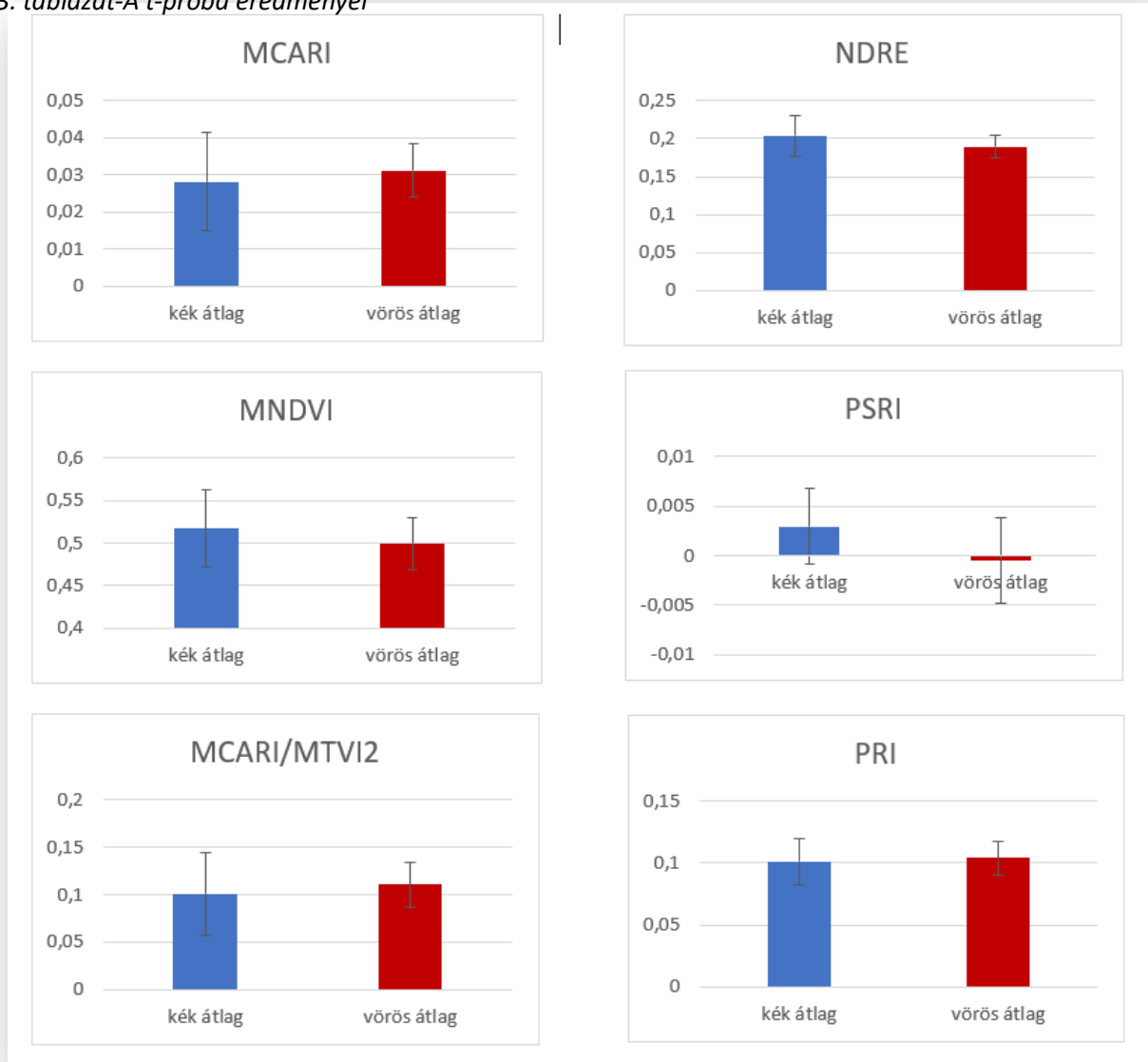
A második kísérletben háromféle megvilágítást alkalmaztunk. Ehhez szükség volt egy referenciára, ami fénycsöves fehér fény volt. A táblázat azt mutatja, hogy a második fényösszeállítás mutatkozott a legeredményesebbnek, ezért volt ez az egyik LED-es megvilágítás. Emellé választottunk még egy megvilágítást, ami a hatodik lett. Mivel a másodiknál a vörös fény volt túlsúlyban, ezért választottunk egy kék túlsúlyú megvilágítást. Mivel az infravörös fény pozitív hatással van a fotoszintézisre, ezért választottuk ezeket a fénykombinációkat, és nem az infravörös fényt nem tartalmazó első, harmadik vagy ötödik megvilágítást.

A második kísérlet eredményei

A második kísérlet során a két kiválasztott fényösszetétel alatt neveltük a növényeket, nem a méréseket végeztük, mint az elsőnél. A nevelés végén, a fotoszintézis vizsgálatán túlmenően, különböző vegetációs indexeket is vizsgáltunk, amelyek szintén fontos információkkal szolgálnak. Az alábbiakban néhány fontosabb index eredményeit mutatjuk be, melyeket különböző spektrális összetételű megvilágítások mellett mértünk. Ezek az indexek a következők: MCARI, NDRE, MNDVI, PSRI, MCARI/MTVI2, PRI. A kezelések között

mutakoztak látható különbségek. Kék túlsúlyú megvilágítás alatt magasabbnak mutakoztak a növények, mint vörös túlsúlyú megvilágítás alatt.

3. táblázat-A t-próba eredményei

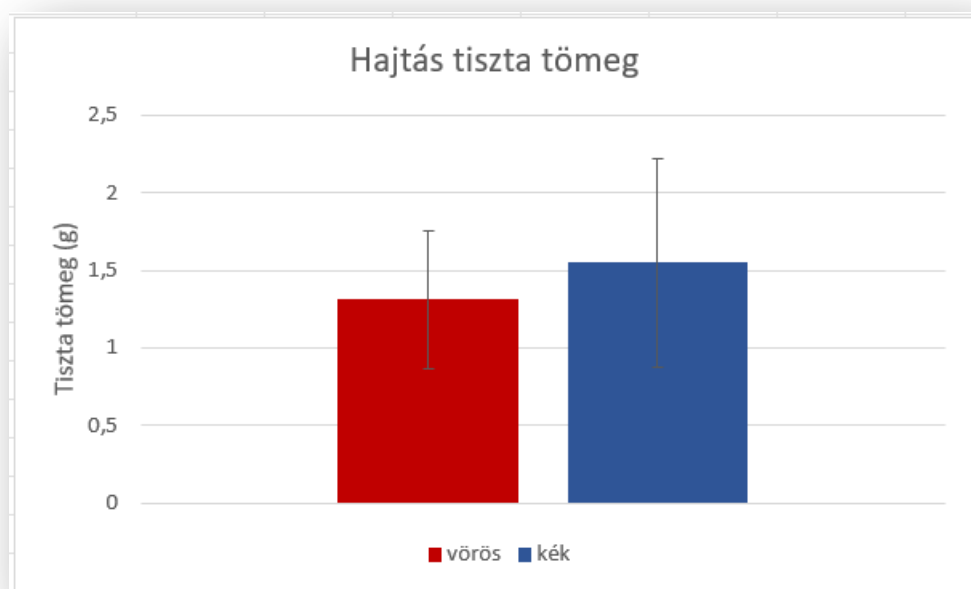


9. ábra-Indexek értékei

A különböző indexeket megvizsgálva az olvasható le, hogy az NDRE, MNDVI, PSRI indexeknél a kék fénnel nagyobb mértékben megvilágítottak magasabb értéket mutatnak, azonban a többi esetben a vörös fénnel megvilágítottak mutakoznak nagyobbak. A szórások között jelentős különbségek mutakoznak. Az indexek értékeinek többségénél az a tendencia, hogy a kék túlsúlyú megvilágításnál nagyobb szórásokat kaptunk.

NDVI	0,850674
MNDVI	0,354867
NDRE	0,178005
PRI	0,724569
PSRI	0,092959
MCARI	0,548483
MCARI/MTVI2	0,572102

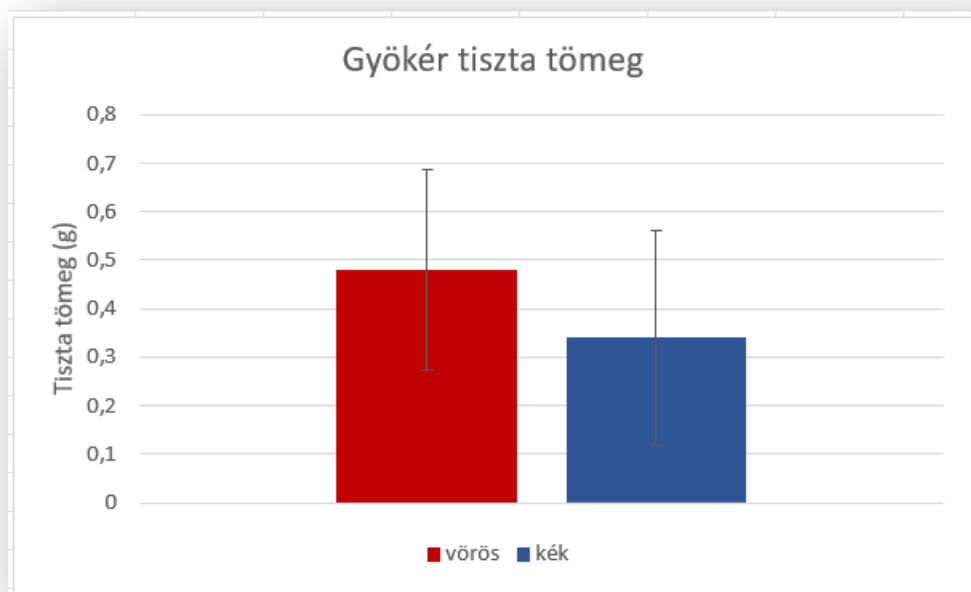
Szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk a különböző indexek értékeinél. A legnagyobb különbséget a PSRI értéke adta, majdnem elérte a 10 %-ot, ami már közelít a szignifikáns különbség eléréséhez.



A kék
túlsúlyú
fény
esetén a
hajtás
tömege

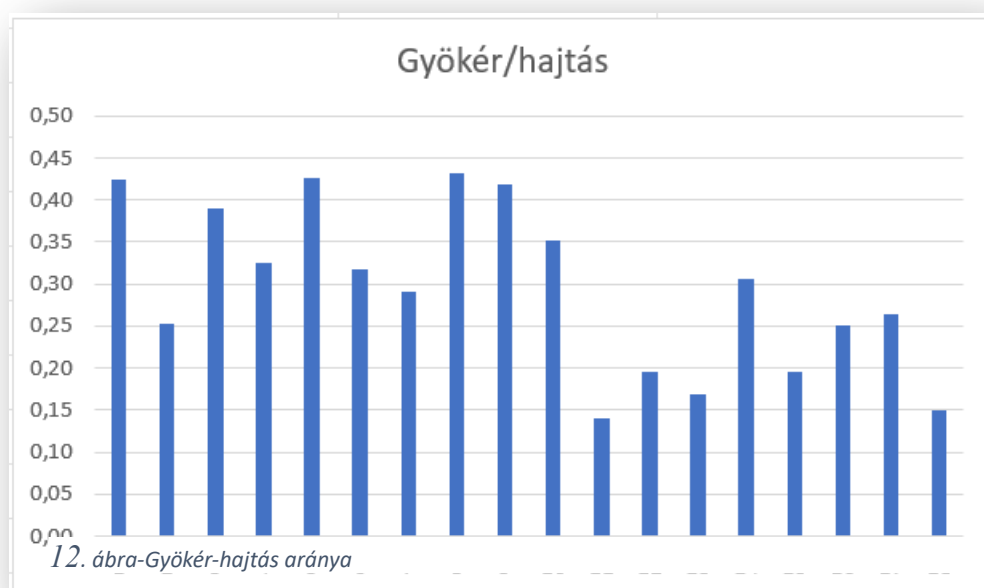
10. ábra-A hajtás tiszta tömege

meghaladta a vörös túlsúlyú megvilágítású növényekét (kék: 1,55 g, vörös: 1,31 g). A szórás vörös kezelésnél 0,4484, kék kezelésnél 0,6705 (lásd: 4. táblázat). Ezzel ellentétben, egy 2023-ban végzett kutatásban a vörös túlsúlyban lévő megvilágítással kezelt saláta hajtásának tiszta tömege volt a legmagasabb, szignifikánsan nagyobb volt, mint kék, vörös, vagy fehér és természetes fényben (Soufi et al., 2023).



11. ábra-Gyökér tiszta tömege

A gyökér tömege viszont a 2. fénykódú megvilágítás alatt ért el magasabb értéket (vörös: 0,48 g, kék: 0,34 g). A szórások hasonlóak voltak (vörös: 0,2054, kék: 0,2209) (lásd: 11. ábra). Egy 2023-ban végzett kutatásban a gyökér tiszta tömege 44,36 %-kal nőtt vörös dominanciájú megvilágítás esetén és 41,28%-kal kék megvilágítás esetén, a kontrollhoz (fehér fény) képest (Soufi et al., 2023).



12. ábra-Gyökér-hajtás aránya

A 12. ábrán a paradicsomok biomassa mennyisége látható. Érdekes, hogy vörös dominanciánál a gyökér, míg kék dominanciánál a hajtás tömege volt a nagyobb. A második ábrából is látszik, hogy a gyökér-hajtás aránya az első 9 növénynél magasabb, ahol vörös volt a dominancia. Más kutatásban is arra az eredményre jutottak, hogy a kék és lila kezeléseknél magasabbra nőttek a paradicsomok, mint vörösnél, viszont a fotoszintetikus pigmenttartalom és a nettó fotoszintézis tekintetében alulmaradtak a vörössel szemben (Yang et al., 2018).

4. táblázat-Gyökér-hajtás aránya

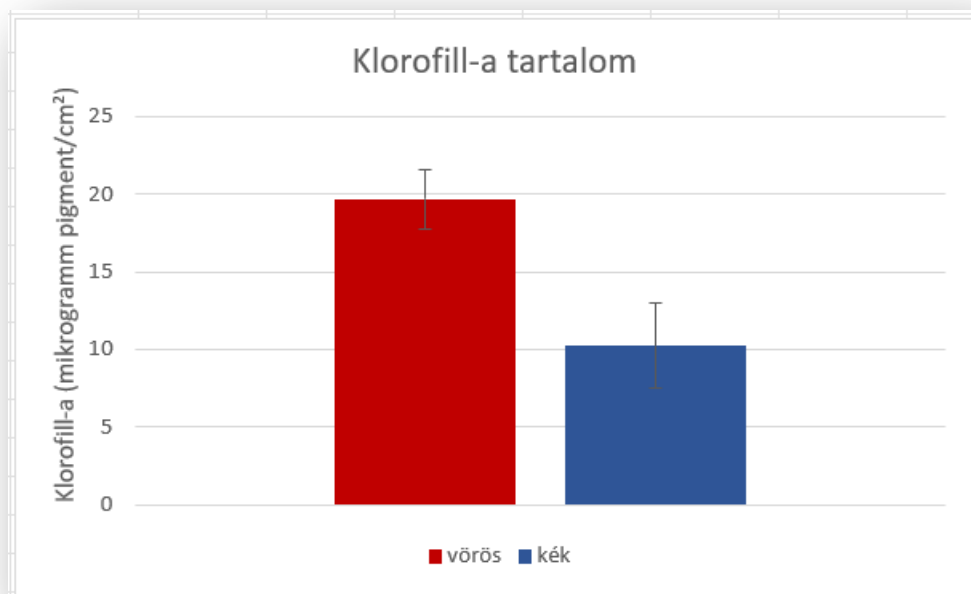
	hajtás	gyökér	gyökér/hajtás
vörös fény	1,3 (0,4484)	0,5 (0,2054)	0,3667
kék fény	1,6 (0,6705)	0,3 (0,2210)	0,2194

A táblázatban a biomassa értékek átlagai találhatók. A gyökér/hajtás arány a második fénykódú megvilágításnál volt nagyobb (vörös).

5. táblázat-Párologtatás és nettó fotoszintézis értékei

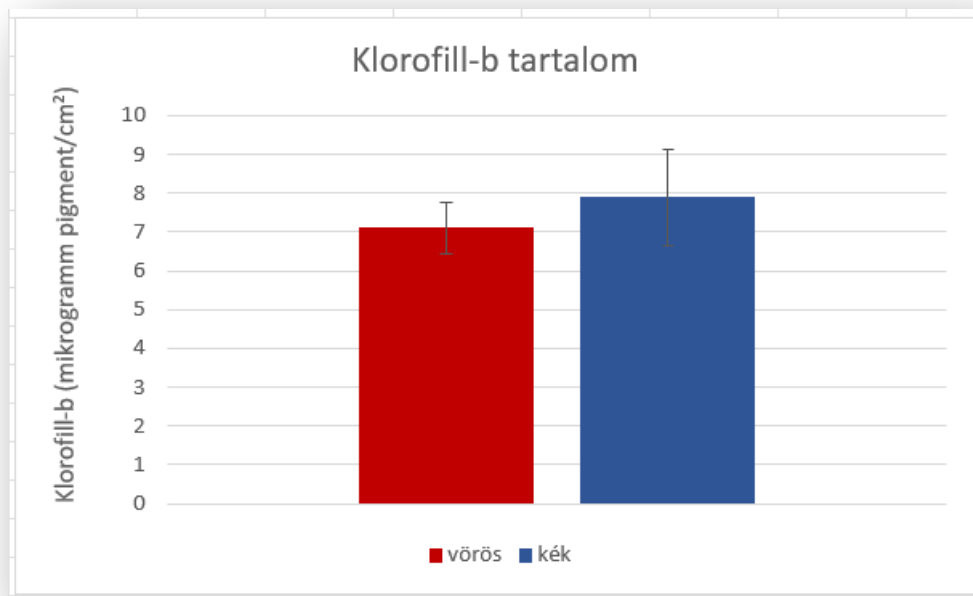
	vörös fény	kék fény
párologtatás (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	1,6 (0,8659)	1,0 (0,2960)
nettó fotoszintézis (μmol CO ₂ /m ² s)	11,2 (4,6967)	8,1 (2,4756)

A paradicsomok átlagos párologtatásának, illetve nettó fotoszintézisének értékéből arra következtethetünk, hogy a második fénykódú megvilágítás előnyösebb.



13. ábra-Klorofill-a tartalom

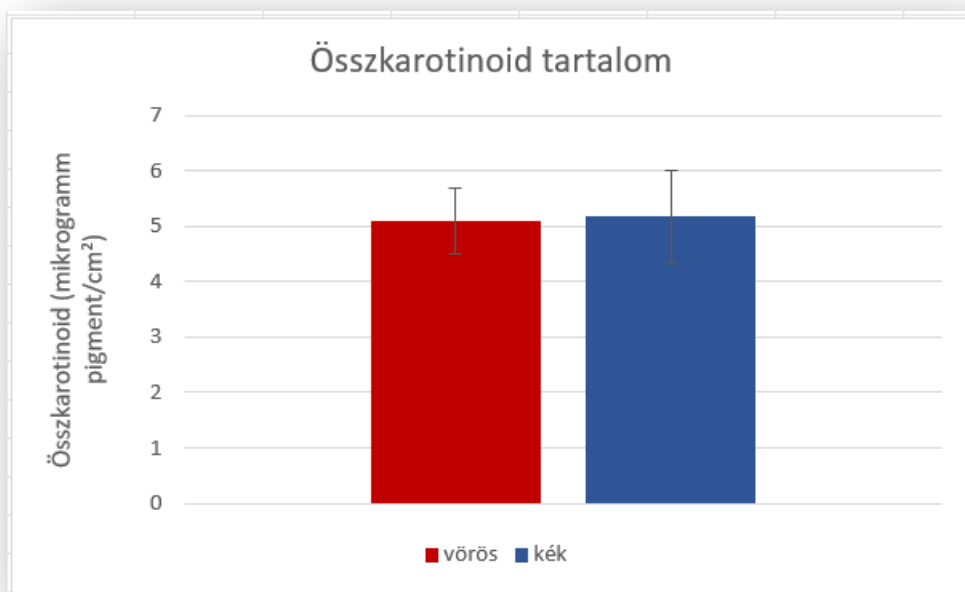
A klorofill-a tartalmat tekintve, a fehér fény teljesített a legjobban. A vörös túlsúlyú megvilágítással kétszeres pigmenttartalmat értünk el. A klorofill-a értéke 19,6582 mikrogramm pigment/cm² (szórás: 1,8835) a vörös fény esetében, 10,2131 mikrogramm pigment/cm² (szórás: 2,7251) kék fény esetében. A klorofill fluoreszcencia egy walesi hagymán végzett kutatásban a legmagasabb értéket fehér, a második legmagasabbat kék, a harmadik legmagasabbat vörös megvilágítás alatt érte el (Gao et al., 2020).



A klorofill-b tartalmat vizsgálva azt láthatjuk, hogy kék túlsúlyban több színanyag

14. ábra-Klorofill-b tartalom

keletkezett. Vörös kezelés esetén 7,0978 mikrogramm pigment/cm² (szórás: 0,6747), kék kezelés esetén 7,8901 mikrogramm pigment/cm² (szórás: 1,2515).



15. ábra-Összkarotinoid tartalom

A karotinoidok mennyiségét tekintve hasonló értékeket értünk el a két LED-es megvilágítás alatti növényeknél. A vörös kezelés összkarotinoid tartalma 5,0860 mikrogramm pigment/cm² (szórás: 0,5913), kék kezelés esetén 5,1759 mikrogramm pigment/cm² (szórás: 0,8430).



16. ábra-Fotoszintézis mérés

valamint infravörös fényt is tartalmazó fénykombináció jelentette. Igazolást nyert az a korábbi kísérletben bizonyított állítás is, miszerint a zöld fénynek ugyanolyan fontos szerepe van a növény megfelelő fejlődésében, mint a kéknek (Liu, 2021). A 6. fénykódú megvilágítás jobban serkenti a növekedést, mint a második, azonban a túlzott zöldtömeg fejlesztés a termés mennyiség rovására mehet.

A kapott eredményekre valószínűsíthetően azért jutottunk, mert más vizsgálatok is kimutatták, hogy a növekvő levélterület és a növekvő relatív klorofill tartalom hatására nagyobb termésátlagok érhetők el (Bencze et al., 2017).

Ahhoz, hogy ezen információkat a gyakorlatban is hasznosítsuk, még számos kiegészítésre van szükség. Érdekes lenne például megvizsgálni azt, hogy a LED vagy más izzók használata mennyi energiát fogyaszt egységnyi idő alatt. Az energia fogyasztása nagyban befolyásolja a megtérülést, emellett a környezetünkre is jelentős hatást gyakorol. Amennyiben egy gazda



17. ábra-Szenzor

Következtetések és javaslatok

Kísérletünk célja az volt, hogy megismerjük, melyik fényösszeállítás eredményezi a legnagyobb növekedést, illetve fotoszintézist. Ennek a növekvő élelmiszerhiány és talajállapot-romlás miatt van nagy jelentősége.

Kísérletünkben megállapítottuk, hogy a legnagyobb hatást mind a transzspirációra, mind a fotoszintézisre, a vörös dominanciájú,

elgondolkodik e precíziós technológia lehetőségeinek kiaknázásában, egy opció lehet számára az épületre telepített napelem használata. Ennek alkalmazásával jelentősen csökkenthetők az energia előállítására fordított erőforrások, egy jövőbe mutató, környezetkímélő technológia segítségével. Ezeken felül különböző támogatások is segíthetik a gazdálkodó munkáját.

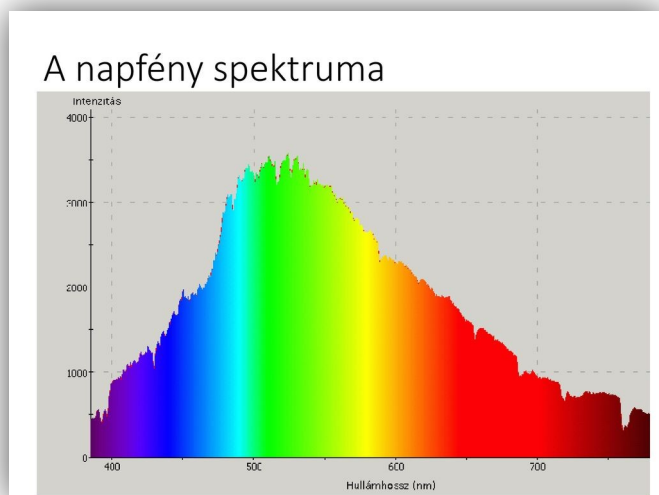
Amennyiben zárt térben, megvilágítással történik a termesztés, szenzorokkal felszerelve, és folyamatos adatelemzéssel tovább fejleszthető a termelés biztonsága, hatékonysága. Nem elhanyagolható például a páratartalom vagy a hőmérséklet vizsgálata. A növekedés mérés során minimálisan torzította az eredményeket, hogy a hagyományos fénycső nagyobb hőt bocsátott ki, mint a LED-ek. Erre egy következő kísérletben nagyobb figyelmet fordítanánk. A páratartalom megfelelő beállítására egy szellőzőrendszer alkalmazható.

A tápanyagtartalom megfelelő ellátására a perlit közeg tápoldattal kombinálva azért lehet jó megoldás, mert a növények vizsgálata után egyénileg öntözhetőek a különböző tápanyagellátottságú növények.

A növényvédelem egy nagy kihívásokat rejtő terület. Más nehézségekkel szembesülhetünk, mint szántóföldön. Bizonyos károsítók kevésbé képesek a növények megtalálni, azonban

mások a kisebb mértékű szellőzőtlenség következtében nagyobb eséllyel fordulhatnak elő.

Egy elkövetkezendő kutatás témájaként érdemes lehet összevetni LED-ekkel megvilágított növények növekedését, fotoszintézisét, transzspirációját és reflektanciáját szántóföldi, természetes fényben nevelt növényekével. A következő



ábrán a napfény spektruma látható. A szántóföldi növények különféle távérzékelési eszközökkel könnyen vizsgálhatók.

Összegezve, kutatásunk alapjául szolgálhat ennek a még kialakulóban lévő, jövőbe mutató ágazatnak a továbbfejlesztésében. Precíziós technológiával, beltéri termesztésben növelhető a Föld teljes területének kihasználtsága, illetve nagy odafigyeléssel magasabb minőségű termékek állíthatók elő, mint a folyamatosan degradálódó termőterületeken.

Összefoglalás

Az első kísérlet alapján világosan látható, hogy a második fényösszeállítás teljesített a legjobban, a fotoszintézis és fényintenzitás arányát tekintve. A vörös fény dominanciája és a távoli vörös fény jelenléte kedvezően befolyásolja a fotoszintézist. A második kísérletben a

kék fény kedvező hatással volt a paradicsomok magasságára. A pigmenttartalmat tekintve, összességében a vörös dominanciájú megvilágítás teljesített jobban. A növények biomasszáját tekintve érdekes eredmény volt, hogy vörös fény alatt a gyökér száraz tömege, míg kék fény alatt a hajtás száraz tömege volt a nagyobb. Ezek az eredmények hasznos adatokat szolgáltathatnak jövőbeli kutatásokhoz, a fenntartható és a gazdaságos mezőgazdaságban is fontos szerepe lehet.

Irodalomjegyzék

1. Ledium Kft.-Üvegház világítás-LED növénynevelő, palántanevelő lámpák ([LED növényvilágítás -palántanevelő, növénynevelő teljes spektrumú lámpák](#))
2. (Jun Liu, Marc W. van Iersel (2021)- Photosynthetic Physiology of Blue, Green, and Red Light: Light Intensity Effects and Underlying Mechanisms)
3. (Dr. Helyes Lajos- A paradicsom és termesztése, 1999, 11-25.o.)
4. (Tóth Enikő Melinda, Halász Krisztián, Pék Zoltán-Fekete és lila héjú paradicsomfajták leírása és összehasonlítása- 2021) 28-31.o., Kertgazdaság 53
5. (Usman Mir Khan, Mustafa Sevindik, Ali Zarrabi, Mohammad Nami, Betül Ozdemir, Dilara Nur Kaplan, Zeliha Selamoglu, Muzaffar Hasan, Manoj Kumar, Mohammed M. Alshehri, Javad Sharifi-Rad-Lycopene: Food Sources, Biological Activities, and Human Health Benefits, 2021, Wiley Online Library)
4. (Brandt Sára-A termesztési körülmények és a fajta hatása a paradicsom beltartalmi értékeire-2007) 63-64. o., Szent István egyetem-Doktori értekezés, Gödöllő
5. (Brekócki Dániel, Брековський Даниїл: Sárosoroszi (Beregszászi járás) háztáji gyümölcsöseinek szerkezeti felmérése-2021-9.o. II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, diplomamunka-<https://dspace.kmf.uz.ua/jspui/handle/123456789/1171>)
6. (Ignác Dorottya: Paradicsom LED-es megvilágítása spektrális fényösszetétel és megvilágítási idők-2023) ledfenyek.eu
7. (Dr. Helyes Lajos- A paradicsom és termesztése, 1999, 27-33.o.)
8. (GEÖSEL ANDRÁS (2021)-A magyar zöldségfogyasztás és termelés változásai az elmúlt években, 44.o.)

9. (Szabó Atala, Illés Árpád, Bakos Zsuzsanna, Nagy János: A precíziós csepegtető öntözés hatása a csemegekukorica (*Zea mays* conv. *saccharata* Koern) normalizált differenciált vegetációs index, levélterületi index és SPAD értékeire szántóföldi kísérletben, 112. o., Herman Ottó intézet: Növénytermelés 72. kötet, 1. szám, 2023. március)
10. ([A klorofill érték és a SPAD érték közötti kapcsolat elemzése hordozható klorofill mérővel - Technology - Honor Test Technology Co., Ltd. \(hu.chinatestingequipment.com\)-2019](#) (Technológia fül))
11. (Horváth Kitti Zsuzsanna-Növényi növekedést serkentő baktériumok és öntözés hatása az ipari paradicsom termesztésében-2022, 10. o.)
12. (Jeet Chand, Guna Hewa, Ali Hassanli, Baden Myers: Evaluation of Deficit Irrigation and Water Quality on Production and Water Productivity of Tomato in Greenhouse-2020, MDPI, Agriculture, 1-2. o.)
13. (Hegde, D.M.-Nutrient requirements of solanaceous vegetable crops-1999, Semantic Scholar, Agricultural and Food Sciences)
14. (Böcs András: Az eltérő vízellátottság hatása az ipari paradicsom termésképzésére és sztómakonduktanciájára-2018, 7.o.)
15. (Dr. Helyes Lajos- A paradicsom és termesztése, 1999, 44-45. o.)
16. (Tóthné Taskovics Zs.1* -Palkovics A.1 -Váradi Gy.2 -Magyar Á.3 -Kovács A.1 (2021)-Paradicsom fajtatípusok fotoszintézis intenzitásának összehasonlító vizsgálata, 2.o.)
17. (Fruitveb Hungary-A 2020. évi magyarországi zöldségtermesztés értékelése-2021)
18. ([19.1.1.24. A fontosabb zöldségfélék termesztése és felhasználása \(ksh.hu\), 2022](#))
19. ([14.1.2.11. Az egy főre jutó éves élelmiszer-fogyasztás mennyisége régió és a települések típusa szerint \(ksh.hu\), 2020](#))
20. (GEÖSEL ANDRÁS (2021)-A magyar zöldségfogyasztás és termelés változásai az elmúlt években, 1-3.o.)
21. (Kirsche: A paradicsomtermesztés kínai módja: trükkök, amelyeket a szomszéd nem árul el-2023)
22. ([Tomato Production by Country 2023 \(worldstats.com\)](#))

23. ([Worldwide \(total fresh\) tomato production in 2021 - Tomato News](#))
24. (Stephen P. Long, Samuel H. Taylor, Steven J. Burgess, Elizabete Carmo-Silva, Tracy Lawson, Amanda P. De Souza, Lauriebeth Leonelli, Yu Wang: Into the Shadows and Back into Sunlight: Photosynthesis in Fluctuating Light, 2022, Annual Review of Plant Biology)
25. [Rólunk \(szentesiparadicsom.hu\)](#)
26. (McCree, K. J. (1972). Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data.)
27. (Bori Zsuzsanna: HPLC ÉS GC-MS MÓDSZEREK FEJLESZTÉSE A PARADICSOMBAN ÉS A FŰSZERPAPRIKÁBAN ELŐFORDULÓ KAROTINOIDOK ÉS AROMAANYAGOK MEGHATÁROZÁSÁRA, 2016, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, 24.o.)
28. (Dr. Tuba Zoltán, Dr. Csintalan Zsolt: Növényélettan, 2009, Szent István Egyetem, 11-16.o.)
29. (Zimányi László (1981) - AZ ELEKTROKRÓM ABSZORPCIÓVÁLTOZÁS KINETIKÁJA ÉS AZ ELEKTROMOS TÉR KONFIGURÁCIÓJA FOTOSZINTETIKUS MEMBRÁNOKBAN, 5-12. o.)
30. (Alexandria Stirbet, Dusan Lazár, Ya Guo, Govindjee Govindjee- Photosynthesis: basics, history and modelling-2019)
31. (Tóthné Taskovics Zs.1* -Palkovics A.1 -Várad Gy.2 -Magyar Á.3 -Kovács A.1 (2021)-Paradicsom fajtatípusok fotoszintézis intenzitásának összehasonlító vizsgálata, 4-6.o.)
32. (Jun Liu, Marc W. van Iersel (2021)- Photosynthetic Physiology of Blue, Green, and Red Light: Light Intensity Effects and Underlying Mechanisms)
33. (Brodersen, C. R., and Vogelmann, T. C. (2010). Do changes in light direction affect absorption profiles in leaves?)
34. (Fangqun OuYang, Jian-Feng Mao, Junhui Wang, Shougong Zhang, Yue Li: Transcriptome Analysis Reveals that Red and Blue Light Regulate Growth and Phytohormone Metabolism in Norway Spruce [*Picea abies* (L.) Karst.], 2015, Plos One)

35. (Lingran Xiao, Tomoki Shibuya, Kazuhisa Kato, Manabu Nishiyama: Effects of light quality on plant development and fruit metabolism and their regulation by plant growth regulators in tomato, 2022)
36. (Muhammad Naeem, Khuram Shahzad, Muhammad Irfan Afridi-The *Solanum melongena* COP1LIKE manipulates fruit ripening and flowering time in tomato (*Solanum lycopersicum*), 2022-Springer link)
37. (Ecoterra-levélfelület index (LAI- Leaf Area Index)-2023)
38. (Szőke Andrea: Extenzív zöldségek, és azokon alkalmazott egyes *Sedum* fajok komplex értékelése-2015, 18. oldal)
39. (Dr. Tuba Zoltán, Dr. Csintalan Zsolt: Növényélettan-60-63. o.-2009)
40. (Vass Imre: NÖVÉNYFENOMIKAI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSA A KUTATÁSBAN ÉS NÖVÉNYNEMESÍTÉSBEN, XXIII. Növénynevelési Tudományos Nap-Veisz Ottó, 2017, 26. o.)
41. (Deli Zsófia: A légi hiperspektrális távérzékelés-2010- [Microsoft Word - Deliszakdolgozat.doc \(elte.hu\)](#)28-33.o.)
42. (Jinzhu Lu, Reza Ehsani, Yeyin Shi, Ana Isabel de Castro, Shuang Wang: Detection of multi-tomato leaf diseases (*late blight, target and bacterial spots*) in different stages by using a spectral-based sensor, 2018, Scientific reports)
43. (Jaafar Abdulridha, Yiannis Ampatzidis, Sri Charan Kakarla, Pamela: Detection of target spot and bacterial spot diseases in tomato using UAV-based and benchtop-based hyperspectral imaging techniques, 2019, Springer link)
44. (Ruben Van DeVijver, Koen Mertens, Kurt Heungens Ben Somers, David Nuytens, Irene Borra-Serrano, Peter Lootens, Isabel Roldán-Ruiz, Jürgen Vangeyer, Wouter Saeys: In-field detection of *Alternaria solani* in potato crops using hyperspectral imaging, 2020, ScienceDirect)
45. (Shuang Zhen, Marc W. van Iersel, Bruce, Bugbee: Photosynthesis in sun and shade: the surprising importance of far-red photons, 2022, New Phytologist Foundation)

46. (Hamid Reza Soufi, Hamid Reza Roosta, Foad Fatehi, Mansour Ghorbanpour: Spectral composition of LED light differentially affects biomass, photosynthesis, nutrient profile, and foliar nitrate accumulation of lettuce grown under various replacement methods of nutrient solution, 2023, Food Science and Nutrition)
47. (Xiaolong Yang, Hui Xu, Li Shao, Tianlai Li, Yongzhi Wang, Rui Wang: Response of photosynthetic capacity of tomato leaves to different LED light wavelength, ScienceDirect, 2018)
48. (Song Gao, Xuena Liu, Ying Liu, Bili Cao, Zijing Chen, Kun Xu: Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) grown under different LED wavelengths, 2020, Springer Nature)
49. (Jun Liu, Marc W. van Iersel (2021)- Photosynthetic Physiology of Blue, Green, and Red Light: Light Intensity Effects and Underlying Mechanisms)
50. (Bencze Gábor, futó Zoltán: A KUKORICA RELATÍV KLOOROFILL TARTALMA, LEVÉLTERÜLETE ÉS TERMÉSATLAGA KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉS VIZSGÁLATA MONOKULTÚRÁS TARTAMKÍSÉRLETBEN, Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok, (2017) XII. évfolyam, 3. szám, pp. 21- 28.)

Ábrák

1. [Paradicsom fajták bemutatása \(koktél, óriás, stb.\) - Kreatív Farmer \(kreativfarmer.hu\)](https://www.kreativfarmer.hu/)
2. [A szabadföldön termesztett paradicsom hiánybetegségei és élettani károsodásai \(agroforum.hu\)](https://agroforum.hu/)
3. [F.I.R. | www.magneskarkoto.hu](http://www.magneskarkoto.hu)
4. [Az aszály a következő évtizedek egyik legnagyobb ökológiai veszélye | National Geographic \(24.hu\)](https://www.nationalgeographic.hu/)
5. [PHYTOS-31. - LWS levélnedvesség-szenzor. - AgroSzenzor](#)
6. [elektromágneses hullám - ppt letölteni \(slideplayer.hu\)](https://www.slideplayer.hu/)

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Barna-Nagy Anna
A Hallgató Neptun kódja: XUWG2M
A dolgozat címe: A paradicsom fotoszintézis-intenzitásának mérése a megvilágítás változó spektrális eloszlása mellett
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Növénytermesztési-tudományok Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Növényteni Tanszék

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

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

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

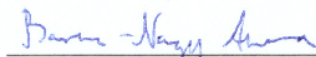
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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

- nem titkosított dolgozat a védelmet követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után

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

Kelt: 2024. év 11. hó 02. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Barna-Nagy Anna (hallgató Neptun azonosítója: XUWG2M) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre **javaslom** / **nem javaslom**.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2024. év 10. hó 31. nap



belső konzulens