



ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2023. április 4-6.

KÉT VÖRÖSHAGYMA (ALLIUM CEPA L.) FAJTA SZÁRAZSÁG- ÉS ELÁRASZTÁS TŰRÉSÉNEK ANALITIKAI ÉS NEM-INVÁZÍV VIZSGÁLATA, BIOSZTIMULÁTOR- ÁLTALI STRESSZMÉRSEKLÉS HATÉKONYSÁGÁNAK FELTÁRÁSA

**Analytical and non-invasive study of drought and flooding tolerance of two
onion (*Allium cepa* L.) cultivars, to investigate the effectiveness of stress
reduction by biostimulators**

Készítette:

Juhász Anna

IQCZYX

Lótenyésztő, lovassportszervező agrármérnök Bsc.

Nappali tagozat

Kaposvári Campus

Témavezető:

Dr. Jócsák Ildikó, egyetemi adjunktus

Növénytermesztési-tudományok Intézet

Agronómiai Tanszék

Kaposvár

2023

Tartalomjegyzék

1.1 A téma aktualitása	3
2. Célkitűzés	4
3. Szakirodalmi áttekintés.....	5
3.1 A vöröshagyma jelentősége.....	5
3.2 A vöröshagyma termesztése.....	6
3.3 A vöröshagyma legfontosabb stresszorai	7
3.3.1 A szárazságstressz hatása a vöröshagymára.....	7
3.3.2 Az elárasztás hatása a vöröshagymára.....	8
3.4 A fajtaválasztás jelentősége a termesztés sikerességében	10
3.5 Biostimulátorok használata a vöröshagyma termesztése során	10
3.6 A stresszdetektálás spektrofotometrián alapuló analitikai módszerei	11
3.6.1 Antioxidáns kapacitás mérés	11
3.7 A stresszdetektálás nem-invazív, <i>in-vivo</i> módszerei	12
3.7.1 Biofoton emissziós mérés.....	12
4. Anyag és módszer	15
4.1 Növénynevelés	16
4.2 Kezelések	16
4.3 Növénymagasság mérés.....	17
4.4 Szárazanyag tartalom meghatározás.....	18
4.5 Biofoton emisszió mérés	18
4.6 Vasredukáló képességen alapuló teljes antioxidáns kapacitás (FRAP) mérés	18
4.7 Statisztikai elemzés	19
5. Eredmények és értékelésük	20
5.1 Dughagyma szárazanyag tartalom	20
5.2 Növénymagasság mérés eredményei.....	20
5.3 Szárazanyag tartalom mérés eredményei.....	22
5.4 Vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás eredményei	23
5.5 Biofoton emisszió mérés eredményei	25
5.6 Eredmények értékelése	33
5.7 Következtetések és javaslatok	325
6. Összefoglalás	33
7. Köszönetnyilvánítás.....	35
8. Irodalomjegyzék	36

1. Bevezetés

1.1. A téma aktualitása

Napjaink egyik fontos problémája a klímaváltozás, amely jelentős kihívást jelent a mezőgazdaság számára. Az élettelen, azaz abiotikus környezeti tényezők stresszfaktorként jelenhetnek meg növények életében. Emellett a legfontosabb abiotikus stresszorok, úgymint pl.: az aszály, a hőstressz, a fagy, az erős szél és a jégeső gyakran együtt jelentkeznek, de nem feltétlenül évről évre ugyanúgy. Folyamatos változásuk és kiszámíthatatlanságuk teszi még nehezebbé a megelőzésüket és az ellenük való védekezést.

A klímaváltozás a haszonnövényeinket kivétel nélkül érinti, de más-más formában és mértékben, köztük a vöröshagymát (*Allium cepa* L.) is, amely esetében annak ellenére, hogy jelentős zöldségnövény Magyarországon és világviszonylatban egyaránt, kevés a termesztett fajta stresszellenállóságát célzó kísérletes munka. Vízellátottság szempontjából az egyik legszembetűnőbb változás az időjárásban, hogy a csapadék nem egyenletesen - tehát gyakran és kisebb mennyiségekben - oszlik el az év során, helyette a hosszabb aszályos időszakokat hirtelen leeső, nagy vízmennyiség követ. Így még ha az éves, Magyarországon átlagosan 500-600 mL csapadék elegendő is lenne, annak eloszlása a növények számára kedvezőtlen, mivel a tenyészidőszakukon kívül lehulló csapadékot nem minden esetben tudják hasznosítani. Ennek másik véglete is igaz, miszerint a növények egységnyi idő alatt nem tudnak egy adott mennyiségnél több vizet felhasználni, így a víztöbblet, egyéb negatív hatásai mellett, a növény termeszthetősége szempontjából is kárba vész. Ezen kívül a betakarítás előtti érési időszakban a legtöbb növény inkább száraz meleg időjárást igényel, és ebben az időszakban hulló csapadék a termés mennyiségi –és minőségi romlását is okozhatja, illetve megnehezítheti a betakarítást. Ilyen komplex problémára a megoldás sem egyszerű, számos technológia létezik az abiotikus stressz mérséklésére, például a vízmennyiség mesterséges befolyásolása öntözéssel, rezisztens fajta nemesítése, és biostimulátorok használata. Ez utóbbiak biológiailag aktív összetevőket tartalmazó, szerves anyagokból nyert kivonatok, amelyek növelik a növények stresszel szembeni ellenállóképességét.

Jelen dolgozat tárgya a vöröshagyma számára két legfontosabb stresszor (szárazságstressz, elárasztás) hatásainak vizsgálata klasszikus stresszfiziológiai paraméterek és nem-invazív biofoton emissziós képalkotó technológián alapuló vizsgálatokkal két Magyarországon népszerű, termesztett fajta (Makói CR, Sturon) esetében; valamint annak feltárása, hogy biostimulátoros kezeléssel enyhíthetők-e a stresszorok által előidézett káros következmények.

Személyes kötődésem a témához, mivel szülővárosomban Makón Édesapám vöröshagyma- és fokhagymatermesztéssel foglalkozik, ezáltal közvetlenül megtapasztalhattam a korábbi évek szélsőséges csapadékviszonyainak negatív következményeit a terméseredményekre.

Ezért mindezen fent ismertetett vizsgálatokat annak érdekében végeztem el, hogy gyorsan és pontosan meghatározzam a vöröshagyma legfontosabb két abiotikus stresszora által előidézett reakciókat és feltárjam a biostimulátor általi stresszmérséklés lehetőségeit.

2. Célkitűzés

Az elvégzett kísérletekben két különböző vöröshagyma fajta (Makói CR és Sturon) abiotikus stresszorok hatására létrejövő válaszreakcióit vizsgáltam csapadékhiány (szárazság) és túlzott csapadékmennyiség (elárasztás) körülményei között. A vizsgálat elsődleges célja volt annak felderítése, hogy e fajták valóban a róluk összegyűjthető információnak megfelelően reagálnak-e az adott stresszhatásra, és hogy egymással összehasonlítva hogyan teljesítenek, illetve, hogy a fajtaválasztás mennyire jelentős tényező a vízellátottsággal összefüggő szárazságstressz és elárasztás körülményei között.

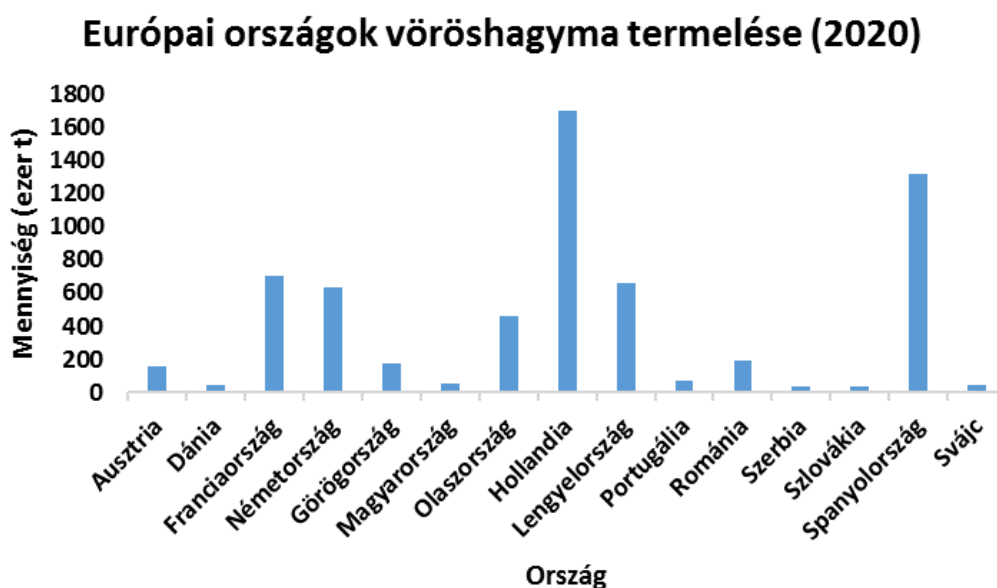
Ezen célok mellett hangsúlyt kívántam fektetni a gyakorlati szempontból igen nagy jelentőségű lehetséges stressz mérséklésre, ezért arra is kerestem a választ, hogy eredményez-e, és ha igen, milyen különbséget eredményez egy biostimulátor használata a vizsgált stresszreakciókban.

Mindezen kérdések feltárására egyrészt klasszikus stresszdetektálási módszereket alkalmaztam, úgymint fiziológiás és spektrofotometriás paraméterek. Emellett vizsgálataim kifejezett célja volt annak feltárása, hogy a nem-invazív képalkotó eljárások közül a biofoton emissziós technológia alkalmas-e vöröshagyma stresszdiagnosztikai vizsgálataira, illetve azt a gyakorlati szempontból nagy jelentőséggel bíró megközelítést is felderíteni igyekeztem, miszerint melyik az a legrövidebb mérési időtartam, amely alkalmasnak bizonyul a szárazságstressz és az elárasztás fiziológiai különbségének gyors és egzakt diagnosztizálására.

3. Szakirodalmi áttekintés

3.1 A vöröshagyma jelentősége

A vöröshagyma az egyik legfontosabb zöldségnövényünk, a magyar konyhát különösen nehéz lenne elképzelni nélküle. A legtöbbet különböző ételek elkészítéséhez használják fel belőle ízesítőként, de gyakran fogyasztják nyersen is. Bár mint növény, a zöldségfélék közé tartozik, átmenetet képez a szántóföldi növénytermesztés és a kertészeti zöldségtermesztés között, és gyakran az előbbihez sorolják. Különböző fajtáit szinte az egész világon termelik és fogyasztják, a burgonyát követve a második legnagyobb területen termesztett zöldségféle. Vetésterülete 2020-ban közel 5,5 millió hektár volt, ahonnan több mint 100 millió tonnát takarítottak be. Legnagyobb termelői Kína (kb. 18 M t), India (kb. 12 M t) és az Amerikai Egyesült Államok (kb. 3,5 M t), ez a három ország adja az össztermelés körülbelül harmadát. Európában Hollandia termel a legtöbbet belőle, kb. 1,7 millió tonnát, míg második legnagyobb előállítója Spanyolország 1,3 millió tonnával. (FAOSTAT, 2020). Egy magyar ember átlagosan 8,8 kg-ot fogyaszt el belőle évente, míg ez világviszonylatban 6,2 kg.



1. ábra Európa főbb hagymatermelő országai (FAOSTAT, 2020)

Betakarított vetésterülete Magyarországon 2021-ben összesen 1669 hektár volt, 50286 tonnás összes termésmennyiséggel. A magyar hagymatermelés virágkorában az 1960 - 1970-es években csak Makó környékén megtermeltek ennyit, és ez csak harmada volt az országos össztermésnek (Tóth, 1998). A hektáronként betakarított termésmennyiség 2021-ben 29 tonna per hektár volt, ami alig marad el az Európai átlag 30 tonna/ha-tól, viszont jóval kevesebb a

spanyolországi 52 tonnás hektáronkénti átlagterméshez képest. A világon átlagosan 19 tonnát takarítanak be egy hektárról. (FAOSTAT, 2020, KSH, 2021).



2. ábra Vöröshagyma szabadföldi állományban (Forrás: saját fotó)

A magyarországi vöröshagyma termesztés volumene évről évre csökkenő tendenciát mutat, az elmúlt két évtized alatt a harmadára csökkent. Ennek oka elsősorban a piaci viszonyokban, azon belül is a külföldről érkező importban keresendő, a hazai termelők nem tudnak versenyt tartani a behozott áru alacsony árával. 2021-ben összesen 19285 tonna vöröshagyma érkezett az országba, míg ehhez képest az export jelentéktelen mennyiségű, mindössze 419 tonna volt. (KSH, 2021). Ez utóbbi igen jelentős csökkenés a magyar hagymaexport 1960-as évekbeli csúcsához képest, ami 30-40 ezer tonna nyers és 15 ezer tonna szárított vöröshagyma külföldi értékesítését jelentette (Tóth, 1998).

3.2 A vöröshagyma termesztése

A vöröshagyma életciklusa két év alatt zajlik le, az első évben aprószermű, fekete magjából lombozat és hagymafej képződik. Az előbbi elszárad, míg az utóbbi a következő évben magszárat fejleszt és virágzás után magot érlel (Takácsné Hajós, 2020).

Étkezési vöröshagymát alapvetően háromféle módon lehet előállítani. A klasszikus, egyéves technológia szerint tavasszal magról vetve nyár végén takarítják be a termést. A magról vetett termesztési mód másik változata az úgynevezett „áttelelő” hagyma, amikor is a kora őszi vetést késő tavasszal - nyár elején szedik fel. Ennek a technológiának kockázatosabb mivoltát, amit

főként az elfagyás veszélye okoz, ellensúlyozza azon előnye, hogy mint az évben a legkorábban piacra kerülő termés, ez hozza a termelők számára a legjobb árat (Takácsné Hajós, 2020).

A harmadik termesztési technológia az ún. dughagymás módszer, ami az eredetileg kétéves ciklust háromévesre nyújtja oly módon, hogy a magot az első évben sűrűre vetik, hogy növények a csak egy-két centiméteres átmérőjű fejeket tudjanak képezni. Az így kialakult kisméretű hagymát hívják dughagymának, vagy apróhagymának. Ezt ültetik el újra a következő év tavaszán (miután a tél folyamán hőkezelték), hogy étkezési hagyma nőjön belőle. Ez a technika magasabb szárazanyag tartalmat eredményez, és ezáltal hosszabb eltarthatóságot is. Ezenkívül előnye még hogy a dughagyma saját tápanyag tartalékainak köszönhetően jobban bírja a gyakran aszályost tavaszt és nyárt, akár öntözés nélkül is termesztethető (Tóth, 1998). Ezek a jó tulajdonságok voltak a céljai a módszer kialakításának a 19. század második felében Makón (szülővárosomban), és leginkább az öntözés hiánya és a hosszú tárolás szükségessége hívta életre (Tóth, 1998).

3.3 A vöröshagyma legfontosabb stresszorai

A növényeket érő negatív hatások két nagy csoportra oszthatók; abiotikus, amin az élettelen tényezőket, és biotikus, amin az élő szervezeteket, a különböző kártevőket, kórokozókat értjük. A vöröshagyma termésre mindkettő komoly hatással van. Az élettelen stresszfaktorok közül elsősorban az aszály, az elárasztás, és az őszi vetésnél a kemény fagyok. A dughagymás technológia használatánál a hideg tavasz nemkívánatos virágzást okoz. Az előbbieken kívül megbetegíthetik a különböző tápanyag-ellátási zavarok; kálium, magnézium vagy mangán hiány (Crüger, 2011).

Az élő stresszfaktorok közül a hagymát egyaránt támadják vírusok, (például sárga levélsíkosság (onion yellow dwarf virus, OYDV), gombabetegségek (például peronoszpóra (*Peronospora destructor*), rozsda (*Puccinia allii*), hagymaüszög (*Urocystis cepulae*), rovarkártévők (például hagyma aknázólégy (*Liriomyza nitzkei*), dohánytripsz (*Trips tabaci*)) és fonálféreg fajok (gyökérfonálféregek (*Meloidogyne* fajok) és a szárfonálféreg (*Ditylenchus dipsaci*)) is (Crüger, 2011).

3.3.1 A szárazságstressz hatása a vöröshagymára

Hosszabb-rövidebb száraz, aszályos időszakok gyakran előfordulnak Magyarország időjárásában az év folyamán. Leginkább a tavaszi és nyári évszakokban jellemző, de szinte bármikor előfordulhatnak csapadékszegény időszakok az év során (2. Internetes forrás). Erre a stresszhatásra a növények automatikus reakciója a párologtatás csökkentése. Ha a növények szöveteiben nincs elegendő víz, akkor a légzőnyílások részben vagy teljesen bezáródnak, hogy csökkenjen a további vízveszteség. Azonban, ha a gázcseré mértéke csökken, az felborítja a fotoszintézist, ezáltal a növény fejlődését is visszaveti. Ezenkívül a lezajló biokémiai folyamatokhoz is szükséges a víz, és hiánya hosszú távon, ennek ideje fajonként más-más lehet, a növény halálát okozza (Ghodke, 2018).

A vöröshagyma kevésbé vízigényes kultúrnövényeink közé tartozik, a szárazabb éghajlatot is jól tűri. A dughagymás technológia alkalmazásakor ez különösen igaz, hiszen ezt kifejezetten a szárazságtűrésre fejlesztették ki, hogy öntözés nélkül is sikerrel legyen termeszthető. Saját tápanyag-tartalékai segítik a gyökéresztést majd levélfejlést a fejlődés kezdeti szakaszán a talaj alacsony víztartalma esetén is. Viaszos levelei pedig segítenek csökkenteni a párologtatás mértékét (Tóth, 1998). A vöröshagyma tehát alkalmas a száraz időszakok és az aszály túlélésére, azonban legideálisabb számára a gyakori, kis mennyiségű csapadék. Ennek oka leginkább a sekély, nem elágazó gyökérzete. Nagy termésmennyiségek eléréséhez a gyakorlatban szinte kivétel nélkül öntöznek, magról vetve szinte csak így lehetséges költséghatékonyan termelni. Egy nemrég kiadott kutatás (Chaudhry és mtsai, 2020) igazolja, hogy a hagyma válaszul a szárazságra hosszabb és vastagabb gyökereket ereszt, így próbálva a vízhiányt a talaj mélyebb rétegeiben lévő vízzel pótolni, azonban a szárazság így is a termésmennyiség csökkenését okozza. Ghodke és társai kísérletében (2018) több, mint felére csökkent a vizsgált vöröshagyma fajta termésmennyisége negyven napos aszály hatására.

3.3.2 Az elárasztás hatása a vöröshagymára

Az elárasztás stressz napjainkban egyre nagyobb jelentőséggel bír, sőt a klímaváltozás jelenlegi tendenciái szerint nagy eséllyel kerülhetnek jelenleg ember által lakott területek átmenetileg vagy állandóan víz alá (Chen és Zong, 1999). Ez igen komoly probléma a növényeink számára, mert a talajt elárasztó víz elsősorban a levegő helyét veszi át, a szárazföldi növényeknek pedig feltétlenül oxigénre van szüksége a normális gyökérműködéshez. Ha nincs oxigén a talajban, akkor a növény nem képes felvenni a szükséges tápanyagokat, és következményképpen a

hajtások és a levelek is tápanyag- és ionszegénnyé válnak. Az oxigénhiányos állapot végül a növény alapvető életfolyamatainak leállásához vezet (Tuba, 1996).

Búza (*Triticum aestivum* L.) és a vöröshagymához hasonlóan egyszikű az anoxia intoleráns *Iris pseudocorus* és a genotípusosan anoxia toleráns *Iris germanica* fajokon végzett vizsgálatok kimutatták, hogy az elárasztás szabadgyökök mennyiségének növekedését eredményezi a szövetekben (Blokhina et al., 2001). A kísérletek eredményei szerint jelentős különbség volt a toleráns és az érzékeny fajok anoxia-reakcióiban és a tartós oxigénhiány H₂O₂-felhalmozódást és a sejtek ultrastruktúrájának megváltozását eredményezte, illetve az egyes fajok sejtintegritás-megőrző képessége pozitívan korrelált az anoxia-toleranciával. A toleráns fajoknál a H₂O₂ mennyiségének növekedése a toleráns fajokban késett, az érzékeny fajokhoz képest és a rendkívül toleráns *I. pseudacorus* plazmamembránhoz kapcsolódó H₂O₂ szintjének emelkedése csupán az elárasztástressz kialakulását követő 45. napon jelent meg. Ezzel szemben az anoxiára-intoleráns búza gyökereiben egy nap oxigénhiány után membránszerkezet bomlás és plazmolízis volt megfigyelhető. E vizsgálat eredményei szerint a H₂O₂ mennyiségének anoxia alatti növekedése elsősorban a NADPH-oxidáz és a peroxidázok együttes hatásának köszönhető. Mindezek eredmények rámutatnak arra az genotípus tolerancia szintjének kiemelkedő jelentőségére az anoxiatűres tekintetében.

A vöröshagyma morfológiai tulajdonságaiból adódóan rosszul reagál a túl nagy mennyiségű vízre. Sekély, mellékeres gyökérzete, amelynek döntő többsége nem hatol le egy méternél mélyebbre, nem alkalmas nagy vízmennyiség gyors felhasználására (4. Internetes forrás). Az érési, fejesedési időszakban pedig a levelek tövéből a szárba folyt víz rothadásnak indíthatja.

Habár a vöröshagyma elárasztás toleranciájának vizsgálata tekintetében kevés tanulmányt találtam, egy 2022-ben elkészült munkában a szerzők több genotípus elárasztás-toleranciáját vizsgálták és azt találták, hogy a vizsgált 100 genotípus közül mindössze 19 bizonyult toleránsnak. Az elárasztás nagy hatással volt a vizsgált paraméterekre, többek között a termésmennyiségre, gyökérhosszúságra, a levelek számára és méretére. Az érzékeny genotípusok több mint 70%-os csökkenést mutattak a teljes termésmennyiségben a kontroll csoporthoz képest, míg a toleránsoknál ugyanezen legalacsonyabb érték 36% volt (Gedam és mtsai, 2022).

3.4 A fajtaválasztás jelentősége a termesztés sikerességében

A klímának, termelés technológiának és a célul kitűzött termésminőségnek és mennyiségnek megfelelő fajtaválasztás fontos része a vöröshagyma sikeres termesztésének. A különböző fajták bizonyos tulajdonságaikban eltérhetnek egymástól, így a termesztés különböző tényezőire is másként reagálnak. Így azonos környezeti feltételek és termesztéstechnológia mellett is más-más eredményeket kapunk a különböző hagymafajták esetében (Jilani és Ghafoor, 2003). Egemástól független fajtaösszehasonlító kísérletek során ismételtlen ugyanerre az eredményekre jutottak, de a különbségek mértéke a fajták között már korántsem volt egységes.

3.5 Biostimulátorok használata a vöröshagyma termesztése során

Az utóbbi években egyre ismertebbé válnak a különböző biokészítmények a mezőgazdaságban, mint hatásos és költséghatékony módja a talajélet javításnak és a termésmennyiség növelésének.

A biostimulátorok szerves anyagokból kivont biológiailag aktív összetevőket tartalmazó készítmények, számos változatuk létezik és kapható kereskedelmi forgalomban (Hoffman és Pónya, 2016). Pozitív hatásait kifejtik a talaj és a növények kondicionálásában egyaránt. Használatuk környezetbarát, mivel csökkentik az in-put anyagok szükséges mennyiségének mértékét, és növelik azok növények általi felhasználásának hatékonyságát. Talajkondicionáló hatásuk pedig segít az intenzív növénytermesztés talajpusztító hatásaival szemben (Hoffman és Pónya, 2016). Tápanyagot biztosítanak a hasznos baktériumoknak, amik elszaporodása gyorsítja a szármadaradványok lebontását, a humuszképződést és a gyökérzetén élő szimbióta gombák szaporodását is, segítve ezzel a gyökérfejlést. A növényekre a hormon összetevőik hatnak, amik felgyorsítják az anyagcserét, ezáltal segítve a stressztűrő képesség növelését (Rácz, 2018). Ezen kívül általában tartalmaznak még ásványi anyagokat, vitaminokat, aminosavakat, kitint, kitozánt, poli- és oligoszacharidokat. Néhány típusban megtalálhatóak algák által termelt hormonok is, pl.: citokininek, auxinok, gibberellinek (Hoffmann és Pónya, 2016). Ezen kívül csökkentik a növényeket ért abiotikus és biotikus stressz káros hatásait közvetetten is (Jócsák és mtsai, 2022), mivel a laza szerkezetű, levegős talaj kevésbé szárad ki és a fölös csapadékot is gyorsabban vezeti el.

3.6 A stresszdetektálás spektrofotometrián alapuló analitikai módszerei

Ha egy alapállapotban lévő molekula valamely elektronjával megfelelő mennyiségű energiát közlünk, akkor az elektron gerjesztett állapotba kerül, amely folyamatot abszorpciónak vagy fényelnyelésnek nevezzük. Mivel minden atomi és/vagy molekuláris rendszer rá jellegzetes elektroneloszlással rendelkezik, az abszorpció mértéke alkalmas a vizsgált minta jellemzésére (9. internetes forrás). Az oldatok fényelnyelő képességét, azaz abszorpcióját, gyakran felhasználják az analitikai kémiai eljárások során anyag minőség- és mennyiség meghatározása céljából az ultraibolya (ultra violet-UV) és látható fény (visible-VIS) hullámhossz tartományban, 190 és 780 nm között, spektrofotométer segítségével. Abszorpciós spektrumnak nevezzük azt az információt, amit a fényelnyelésről kapunk. Az oldatba belépő és kilépő fény intenzitásának különbsége mutatja meg, hogy milyen koncentrációban van az oldott anyag az oldatban (Kuzma és mtsai, 2014).

A növényi stresszélettani vizsgálatok erősen támaszkodnak a spektrofotometriás módszerekre (Verslues és mtsai, 2006), mivel legtöbbjük jól reprodukálhatóan megvalósítható és segítségükkel az egyes stressz hatására változó mennyiségben előforduló vegyületek azonosítása és mennyiségi meghatározása mellett számos anyagcsere folyamat is jellemezhető segítségükkel, amelyek közül leggyakrabban az antioxidáns enzimrendszer egyes elemeinek változásai kerülnek górcső alá (Elavarthi és Martin, 2010). Gedam és mtsai (2021) sikeresen használták a klorofill-, piruvát-, teljes fenol tartalom meghatározást, illetve a vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás spektrofotometriás mérését 100 különböző vöröshagyma genotípus szárazságstressz tűrésének tesztelésére és ezen módszerek segítségével behatárolták a legígéretesebb genotípusokat. Ghodke és mtsai (2018) spektrofotometriás klorofill- és prolintartalom, valamint antioxidáns enzimaktivitás vizsgálatokkal meghatározták a szárazságstressz tolerancia tekintetében lényeges biokémiai útvonalak megváltozását, a stresszhatás ellensúlyozása érdekében.

3.6.1 Antioxidáns kapacitás mérés

Antioxidáns kapacitás alatt az összes, adott rendszeren belüli antioxidáns hatású vegyület együttes mennyiségét értjük. Antioxidánsoknak nevezzük azon molekulákat, amelyek képesek ártalmatlanítani a szabadgyököket, ezáltal elejét venni a szabadgyökök sejtekre gyakorolt káros hatásának. Szabadgyökök lehetnek a reaktív oxigén, nitrogén, kén és szénközpontú molekulák, amelyek páros számú elektronjuk van, és nagyon gyorsan képesek reakcióba lépni más

vegyületekkel, hogy elektront szerezzenek. Antioxidáns hatásúak különböző vitaminok, aminosavak, zsírok, enzimek, ásványi anyagok, növényi metabolitok és anyagcseretermékek is (Cornetti, 2009). Az antioxidáns kapacitás mérésére mára már sokféle módszer áll rendelkezésre, amelyeknek két fő csoportja van, elektronátmeneten alapuló (ET- electron transfer) és hidrogénatom átmeneten alapuló (HAT - hidrogen transfer). Az ET reakciók során színváltozás következik be, amit spektrofotométerrel lehet mérni. A HAT módszereknél pedig az kerül meghatározásra, hogy a minták milyen mértékben képesek a szabadgyökök megfogására (Ghiselli és mtsai 2000, Apak és mtsai 2007, Balogh 2010).

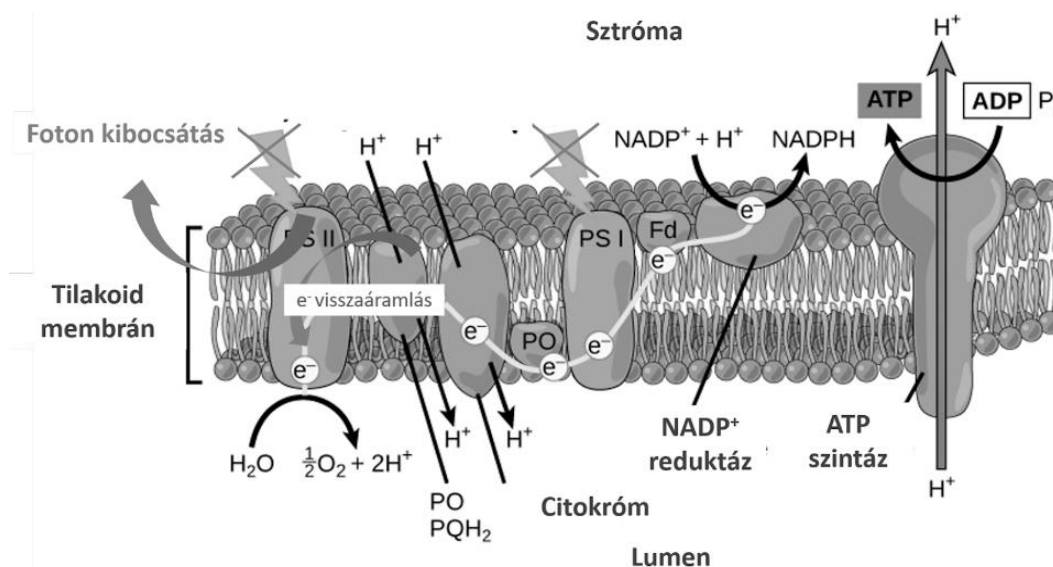
A vasredukáló-képességen alapuló antioxidáns kapacitás (ferric reducing ability of plasma-FRAP) vizsgálat is gyakorta alkalmazott - és jelen dolgozat kísérleteiben is használt - spektrofotometriás módszer, amelynek lényege, hogy antioxidáns hatású vegyületek hatására a ferri (Fe^{3+}) ionok ferro (Fe^{2+}) ionokká redukálódnak. Ezek az ionok alacsony pH-n a 2,4,6-tripiridil-S-triazin reagenssel komplexet képezve intenzív kék színűvé válnak, és mennyiségük spektrofotométerrel 593 nm-en megállapítható (Huang és mtsai 2005, Balogh 2010), amely módszert számos esetben alkalmazták vöröshagyma vizsgálatok során is (Ghodke és mtsai, 2018; Gedam és mtsai, 2021).

3.7 A stresszdetektálás nem-invazív, *in-vivo* módszerei

Az *in-vivo* elvégezhető és egyúttal nem invazív vizsgálati módszerek lényege, hogy a vizsgált szervezetben nem tesznek kárt, ezáltal lehetővé teszik, hogy a kísérlet közben és akár több alkalommal is elvégezhetőek legyenek akár ugyanazon a növényegyeden. A roncsolásmentes stresszdetektálás témakörében az utóbbi évtizedekben számos sikeres megközelítés született, úgymint például - a teljesség igénye nélkül - a növényi vezetőképességen alapuló váltakozó áramú impedancia mérés (Jócsák és mtsai, 2019), a műszeres klorofilltartalom becslés (Wiedemuth és mtsai (2005), a fotoszintetikus aktivitás mérése, fluoreszcencia indukciós vizsgálatok (Janda és mtsai, 2021), illetve a különféle képalkotáson alapuló eljárások: computer tomográfia (Dhondt és mtsai, 2010), vagy biolumineszcencia jelenségén alapuló vizsgálatok, úgymint pl. a fluoreszcens képalkotás (Szigeti és mtsai, 2008).

3.7.1 Biofoton emissziós mérés

A sejtek fotonkibocsátása több, a biomolekulák gerjesztett állapotból alapállapotba való visszatérésén alapuló folyamat együttes eredménye. Mivel rendkívül kevés foton keletkezik fotonemisszió révén, ezért megfelelő érzékenységgű műszerekre (photomultiplier) van szükség, hogy ezek kimutathatóak legyenek. Felfedezésük Collinak és munkatársainak köszönhető (1954). Először 400 és 600 nm hullámhosszúság közötti fotonok érzékelésére volt lehetőség, de a kamerák fejlődésével ma már a teljes spektrumot tudjuk vizsgálni. A jelenség ultragyenge fotonemisszió (Ultraweak Photon Emission - UPE) nevet is kapta. A növényi szövetekben a fotonkibocsátás forrása a mitokondriumban, illetve a kloroplasztisban végbemenő oxidatív biokémiai folyamatokhoz köthető, amikor a keletkezett reaktív oxigénformák semlegesítése során az alacsonyabb energiaszintre kerülő reaktív oxigénformák egyidejűleg fotonokat bocsátanak ki (Iida és mtsai, 2002; Cifra és Pospíšil, 2014). Ezért a kibocsátott fotonok arról adnak információt, hogy milyen oxidatív, illetve stresszállapotban van a sejt és/vagy a vizsgált fotoszintetizáló szövet (Oszlányi, 2020). Megfigyelték azt is, hogy lipidperoxidáció esetén a biofoton kibocsátás igen aktív, ezáltal lehet a növényi stressz mértékét és a szervezet által adott választ pontosan megállapítani. Mára az is ismert tény, hogy a stresszhatások jelentős változásokat eredményeznek a fotonkibocsátás mértékében (Jócsák és mtsai, 2020, Oszlányi és mtsai, 2020). A lipidperoxidációs folyamatok mellett egy másik jelenség, a késleltetett fluoreszcencia (delayed fluorescence - DF) is fotonkibocsátást indukál.



3. ábra. A késleltetett fluoreszcencia kialakulása a fotoszintetikus membránrendszerben. (8. internetes forrás)

A késleltetett fluoreszcenciát elsősorban a kloroplasztisban található két fotorendszer közül a II. fotoszisztéma bocsátja ki. Ezt bizonyította az a megfigyelés, amely szerint PSII-hiányos mutáns algákban, a DF nagyon gyenge vagy egyáltalán nem figyelhető meg (Goltsev és mtsai, 2009).

A késleltetett fluoreszcencia elsősorban az algákra, a magasabbrendű növényekre és fotoszintetizáló baktériumokra jellemző, amely során rövid ideig fotonokat bocsátanak ki a vörös- infravörös hullámhossz tartományban. Ennek forrása a klorofill-a, vagy a baktérium-klorofill lehet (Goltsev és mtsai, 2002). A késleltetett fluoreszcencia jelensége a PSII elektrontranszport láncában fel nem használt elektronok energiájának felszabadulásakor jelentkezik és a fotoszintetikus apparátus integritását tükrözi (3. ábra). A DF csak a fotoszintetikus szövetekben fordul elő, a lecsengési idő milliszekundumoktól percekig terjed (Bodemer és mtsai, 2000). Ekkor a fotoszintetikus elektrontranszportláncban az elektronok egy része visszaáramlik a reakcióközpontba, ahol a klorofill molekulák gerjesztett állapotba kerülnek, és fotonokat bocsátanak ki. A kutatások kimutatták, hogy a DF kinetikája alkalmas a növények homeosztatikus állapotának *in-vivo* meghatározására és a lecsengésének mértéke és dinamikája alkalmas stresszértékelési célokra is.

4. Anyag és módszer

Kísérletemben a következő két vöröshagyma fajta vett részt.

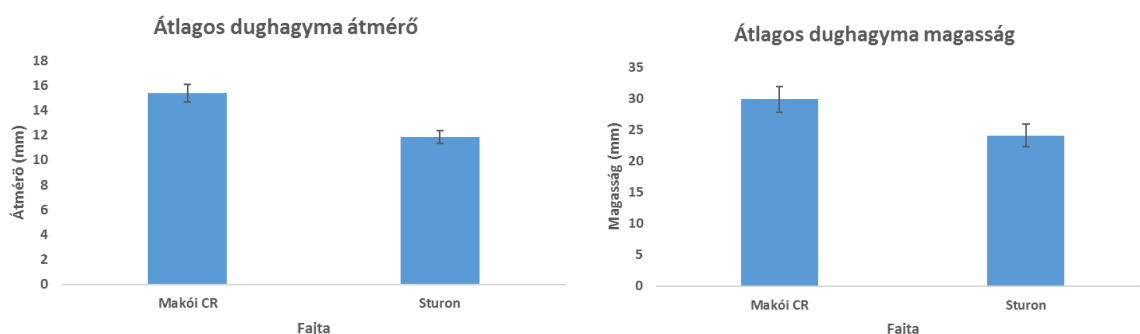
Makói CR

Ahogy a neve is mutatja, Makón nemesített fajta. A CR rövidítés „climate resistant”, tehát klíma rezisztens jelenti, amely alatt szárazságtűrés és azon tulajdonsága értendő, hogy hideg tavasz esetén is csak kis eséllyel virágzik fel a dughagyma hőkezelés nélkül is. Közepesen hosszú tenyészidejű, kinézetét tekintve megközelítően gömb alakú, héja bronzbarna, húsa csontfehér. Általában dughagymáról ültetik (Tóth, 1998).

Sturon

Hollandiából származik, nagy termőképességű, népszerű fajta. Gömb alakú hagymafejet növeszt sárgásbarna héjjal és sárga hússal. Egyaránt vetik magról és ültetik dughagymáról is, felvirágzásra nem hajlamos. Tenyészideje rövidnek mondható. Más fajtához képest a tápanyagra érzékenyebb, de a talajra és a túlöntözésre kevésbé. (10. internetes forrás)

Mindkét fajta esetében dughagyma volt a kiindulási alapanyag. (Lásd.: A fent említett dughagymás termelés technológia.) Az elültetett hagymák vonalzóval felvett méret adatai a következő ábrán láthatók.



4. ábra. Az elültetett dughagyma méret adatai

A Makó CR fajta kissé nagyobb a Sturon fajtánál, ez a kereskedelemben kapható vetőmag velejáró tulajdonsága volt. Az alábbi táblázatnak (5. ábra) megfelelően a Makói CR a harmadik, míg a Sturon a negyedik osztályozási kategóriába tartozik.

Piklesz	24-26
1.	21-23
2.	18-20
3.	15-17
4.	11-14
Zsiga	5-10

5. ábra Dughagyma méret szerinti osztályozása (átmérő [mm]) (Tóth, 1998)

A dughagyma méretének jelentősége a termelésben leginkább abban van, hogy minél kisebb az elültetett hagyma, annál kisebb eséllyel virágzik fel már ebben a második évben. A felvirágzott hagymák csökkentik a termés mennyiségét, mivel alig fejesednek, energiájuk nagy részét a magtermelésre fordítják (Khokhar, 2008). A felvirágzás megelőzésére a dughagymát hőkezeln szokás (Tóth, 1998), ahogyan ez a kísérletem esetében is történt.

4.1 Növénynevelés

Az üvegházi kísérletben a termőhely általános virágföld volt, 12 cm átmérőjű virágcserepekben. Kelés után a növénynevelést folyamatosan szellőztetett üvegházban folytattam, hogy a természetes körülmények lehető legpontosabb modellezése mellett szabályozni tudjam a növényeket ért vízmennyiséget. Fajtánként 20 cserépben, cserepenként 2 dughagymát ültettem el (2022. május 5.).

4.2 Kezelések

A kezelési csoportokat az alábbi táblázatban (6. ábra) szemléltettem a könnyebb átláthatóság és érthetőség kedvéért.

Fajta	Makói CR						Sturon					
	Elárasztás		Szárasságstressz		Kontroll		Elárasztás		Szárasságstressz		Kontroll	
Kezelés	4 cserép	3 cserép Bst	4 cserép	3 cserép Bst	3 cserép	3 cserép Bst	4 cserép	3 cserép Bst	4 cserép	3 cserép Bst	3 cserép	3 cserép Bst

6. ábra Kezelési csoportok

A biostimulátorral kezelt növények egy alkalommal (2022. május 19.) cserepenként 50 ml 1%-os oldatot kaptak desztillált vízzel hígítva a virágföldre öntözővízként kijuttatva. (A továbbiakban Bst kezelés.)

A szárazság stressznek kitett növények a biostimulátoros kezelés után egyáltalán nem kaptak öntözővizet a kísérlet végéig. Az elárasztott növényeket napi szinten locsoltam, kb. 75-100 mL/cserép, hogy a cserepek alatti tálcában folyamatosan álljon a víz. A kontroll csoportok 3 naponta mérsékelt öntözést kaptak, kb. 30-50ml-t cserepenként, hogy a virágföldjük ne száradjon ki, de csak annyi vizet, amit a talajuk megtartott, tehát az alattuk lévő tálcában a locsolás után a víz éppen csak megjelenjen. A kísérletben az öntözésre mindig a felülről és a locsolókanna szórófejét használva került sor, hasonlóan ahhoz, ahogyan a természetes csapadék érne a növényeket.



7.ábra A kísérleti növények (balról jobbra: Makói CR, Sturon)

4.3 Növénymagasság mérés

A virágcserepbe ültetett hagymák leghosszabb levelét, tehát a növények magasságát kísérlet során összesen hét alkalommal egy közönséges szabászcenti segítségével mértem le. (Ezen mérések időpontja az eredményekről készült táblázatban (9. ábra), lejjebb látható.) Azért szabászcentit használtam vonalzó helyett, mert ezzel a hajlékony mivolta miatt könnyebb volt az enyhén görbe levelek pontos hosszát megállapítani azok megsértése nélkül. Céлом az volt, hogy képet kapjak a különböző fajtájú és kezelésű hagymák növekedéséről.

4.4 Szárazanyag tartalom meghatározás

A friss növényi részeket a kísérlet utolsó napján a nem invazív vizsgálatok elvégzése után feldaraboltam, majd összekevertem, így létrehozva egy átlagmintát. Ebből kimértem 1 g-ot és szárítószekrényben 60°C fokon 24 órán keresztül kiszáritottam egy Memmert UN30 (Memmert GmbH + Co. KG, Aeussere Rittersbacher Strasse 38 D-91126 Schwabach) típusú szárítószekrényben. Ezt követően megmértem 4 tizedesjegy pontossággal a száraz tömegeket, majd ezekből kiszámítottam a szárazanyag %-os értékeit.

4.5 Biofoton emisszió mérés

A biofoton emisszió mérésére a NightShade LB 985 In Vivo Plant Imaging System (Berthold Technologies GmbH & Co. KG, 75323 Bad Wildbad, Németország) készüléket használtam, ami egy nagy érzékenységgű (charge coupled device - CCD) NighOwlcam kamerával van ellátva, amely képes az ultraalacsony intenzitású fotonkibocsátást is érzékelni. Az fotongyűjtés 4×4 pixelösszekapcsolási érték mellett történt 60 másodperces expozíciós időtartammal. A képek készítésének időtartama alatt a háttérkorrekció beállításával biztosítottam az esetleges kozmikus sugárzás által okozott nagy intenzitású pixelek kiszűrését. A sötétkamrába helyezést követően a mérést azonnal elindítottam és 30 perces időtartam alatt gyűjtöttem a percenkénti összes fotonszámot. A növények által kibocsátott fotonok intenzitását az IndiGo™ 2.0.5.0. szoftver számszerűsíti, illetve a számértékeknek megfelelő relatív, ún. pseudo-color skálát állít fel, illetve ezen adatokat a növény képére helyezve vizualizálja azokat. Ezáltal lehetővé válik a képalkotás, illetve az adatok számszerűsítése is.

4.6 Vasredukáló képességen alapuló teljes antioxidáns kapacitás (FRAP) mérés

Az üvegházi kísérlet végén (2022.06.13.) a növények leveléből kezelésként, tehát összesen 12-szer, 0,5 g-os mintát vettem. A minták ideiglenes mélyhűtőben történő tárolás után estek alá Benzie és Strain (1996) vas-redukáló vizsgálatának. 0,5 g tömegű levelet feldarabolva, összekeverve előhűtött porcelán dörzsmozsarakba helyeztem, majd kevés kvarchomok, és 1,5 mL 7,6 pH-jú foszfát, puffer hozzáadását követően a mintákat homogenizáltam, majd a szuszpenziót kémcsőrázó gép használatával összekevertem, ezt követően hűthető asztali mikrocentrifugában (Hettich, MIKRO 220R; Andreas Hettich GmbH&Co. KG Föhren str. 12, D-78532 Tuttlingen, Németország) 10 percen keresztül 4 °C-on 13 000 fordulat/perc értékek

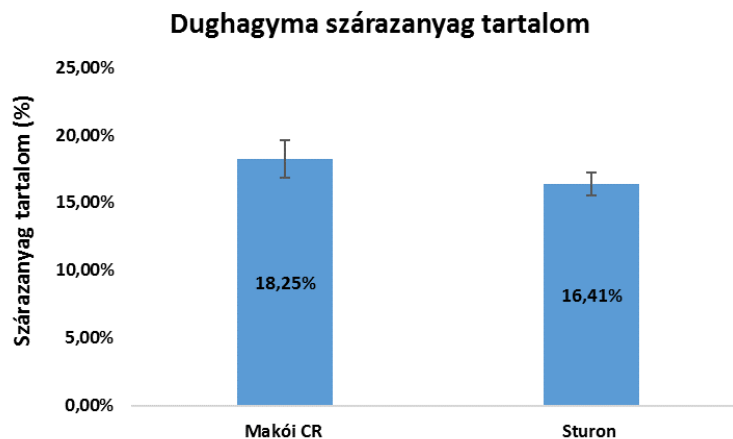
mellett centrifugáltam. Az így elkészített felülúszót leválasztottam, majd alikvotáltam és az analitikai vizsgálat során felhasználtam.

4.7 Statisztikai elemzés

A kísérletekről összegyűjtött adatokat Microsoft Excel szoftver segítségével táblázatban rendszereztem, átlagokat és szórást számoltam, valamint a vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás vizsgálat és a biofoton emissziós vizsgálatok esetében egytényezős varianciaanalízist (one-way ANOVA) végeztem az IBM SPSS 20.0 statisztikai program segítségével, melynek eredményei a következő fejezetekben olvashatók.

5. Eredmények és értékelésük

5.1 Dughagyma szárazanyag tartalom

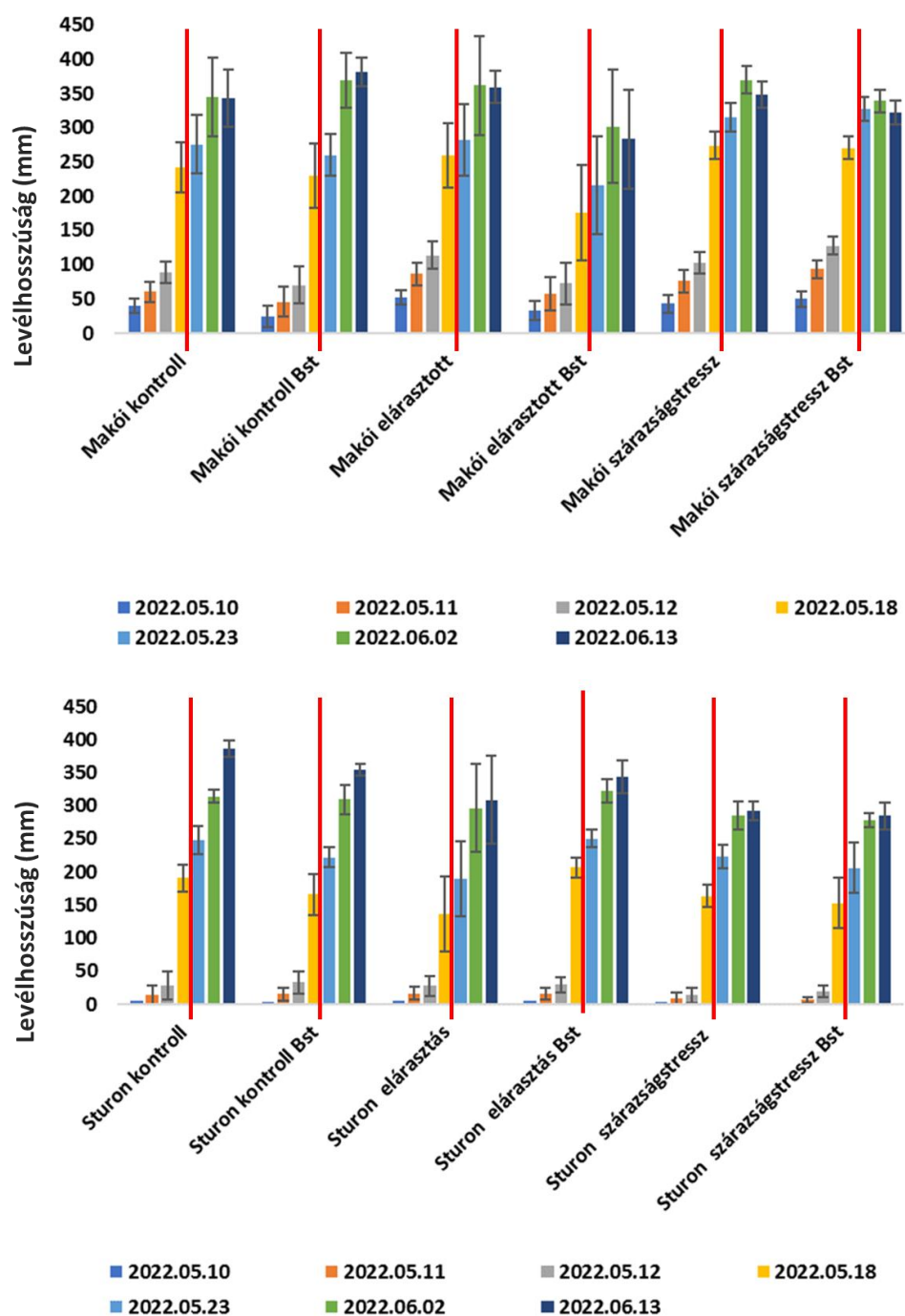


8. ábra. Makói CR és Sturon fajták szárazanyag tartalma % értékben kifejezve

A 8. ábra a két kísérletben szereplő vöröshagyma fajta, a Makói CR és a Sturon fajták szárazanyag tartalmát ábrázolja % értékben kifejezve. A szárazanyag tartalom tekintetében a Makói CR közel két százalékponttal meghaladta (18,2 %) a Sturon fajta értéket (16,41 %). Az ANOVA vizsgálat eredményei alapján a két fajta szárazanyag tartalma közötti eltérés statisztikailag is igazolható ($p=1,4 \times 10^{-6}$).

5.2 Növénymagasság mérés eredményei

A növénymagasságot ábrázoló grafikonok (9. ábra) jól mutatják a különböző fajták eltérő kelési és növekedési ütemét, a Sturon fajta jóval később kelt ki, viszont ennek ellenére, kezelésektől függően ugyan, de az utolsó két mérési időpontra utolérte a Makói CR fajta egyedeit. A biostimulátoros kezelés hatása ezen adatok alapján nem mutatkozik meg szignifikáns mértékben. A Makó CR fajtánál az elárasztásos és biostimulátoros kezelés mutat alacsonyabb értékeket a többihez képest, míg a Sturon fajtánál az elárasztott kezelések hagymái voltak a legkisebbek.



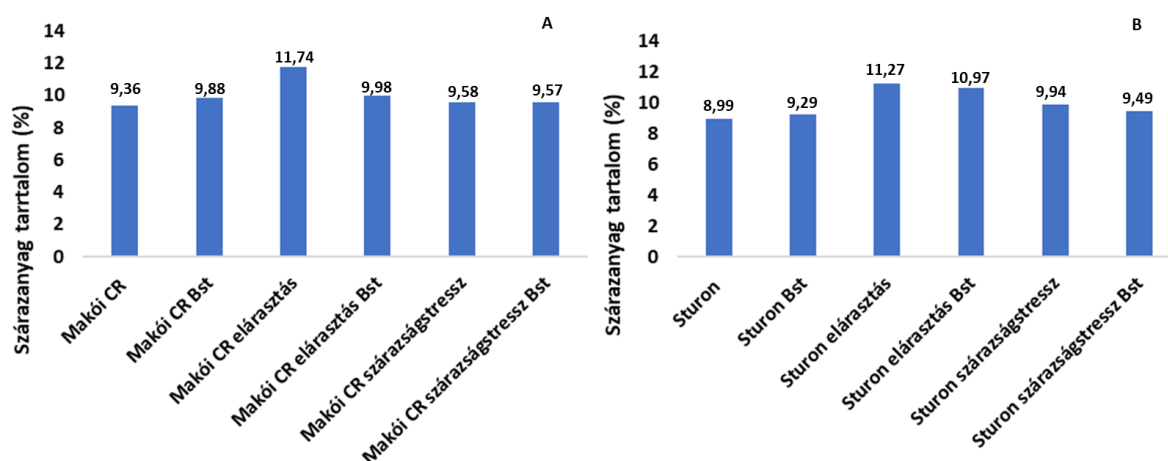
9. ábra Kezelésként átlagolt növénymagasság eredmények. A vonal jelzi a szárazság- és az elárasztás stressz kezdetét, az azt megelőző időpontokban a növények ideális vízellátottság mellett növekedtek.

A Makói CR fajta statisztikai elemzés alapján csupán egy kezelés kombináció eredményezett szignifikáns különbséget Makói CR Bst és a Makói CR szárazságstressz Bst esetén ($p = 2,67 \times 10^{-2}$). A Sturon fajtánál jellegzetes volt a stresszorok megjelenése után a levélmagasság csökkenése a kontrollhoz képest, azonban csupán a következő kezelés kombinációkban

eredményezett szignifikáns eltéréseket: Sturon Bst és a Sturon szárazságstressz Bst ($p = 3,75 \times 10^{-3}$), Sturon és a Sturon szárazságstressz ($p = 2,67 \times 10^{-5}$), a Sturon és a Sturon szárazságstressz Bst ($p = 4,26 \times 10^{-4}$).

5.3 Szárazanyag tartalom mérés eredményei

A szárazanyag tartalom meghatározás eredményeit a 10. ábrán mutatom be, ahol mindkét fajta hasonló tendenciát mutatott a kezelések tekintetében. Az eredmények alapján látható, hogy a legalacsonyabb értékek a kontrollok esetében voltak tapasztalhatók, azonban a két fajta kontrolljai közül a Makói CR szárazanyag tartalma magasabb volt (9,36 %) (10.A ábra), mint a Sturon fajtáé (8,99 %) (10. ábra).



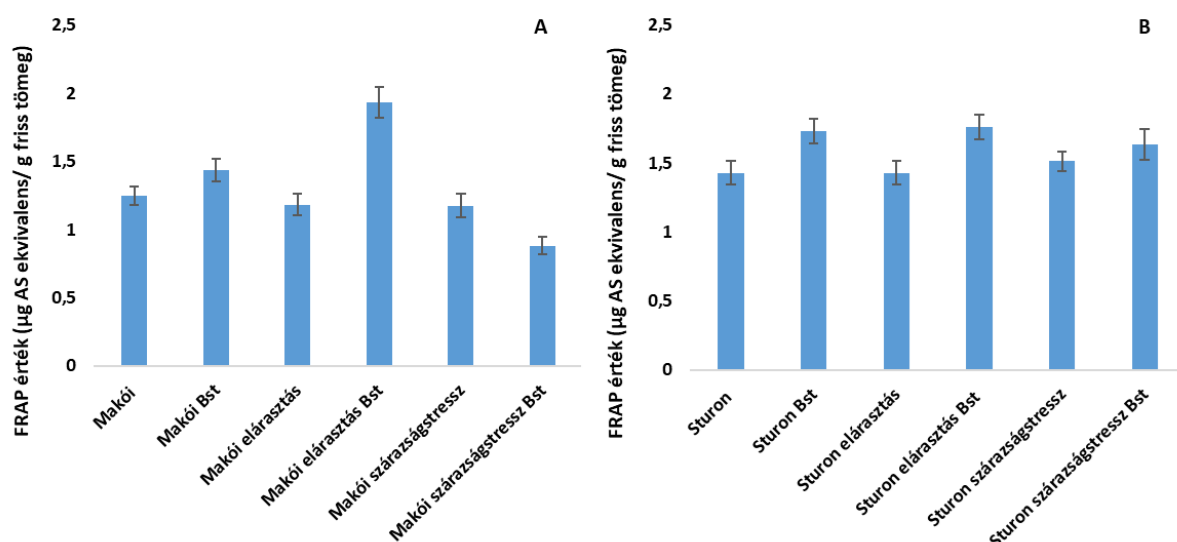
10. ábra Szárazanyag tartalom mérés eredményei Makói CR (A) és Sturon (B) fajták esetében

Továbbá mindkét stresszor szárazanyag tartalom növekedést eredményezett a kontrollhoz képest mind a biostimuláns kezelés nélkül (Makói CR elárasztás: 11,74 %; Makói CR szárazságstressz: 9,58 %; Sturon elárasztás: 11,27 %; Sturon szárazságstressz: 9,94 %), mind pedig a biostimulánssal kezelt növények esetében (Makói CR elárasztás Bst: 9,98 %; Makói CR szárazságstressz Bst: 9,57 %; Sturon elárasztás Bst: 10,97 %; Sturon szárazságstressz Bst: 9,49 %) legnagyobb szárazanyag tartalommal mindkét fajta esetében az elárasztás stressznek kitett növények rendelkeztek. A biostimulátor hatása egy esetben mutatkozott meg: a Bst kezelt Makói CR fajta szárazanyag tartalma nem emelkedett meg olyan mértékben, mint az elárasztott, de Bst kezelést nem kapott növények esetében (10A. ábra), azonban a Sturon fajta esetében nem tapasztaltunk hasonló tendenciát (10B. ábra).

5.4 Vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás eredményei

A vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitását vizsgálat eredményeit a 11. ábra tartalmazza. A grafikonon látható, hogy a biostimulánssal kezelt növények magasabb antioxidáns kapacitást mutattak egy kivétellel, a Makói CR szárazság stressznek kitett növényeknél. A két fajtát összehasonlítva a Sturon adott magasabb antioxidáns kapacitás értékeket, kivéve az elárasztásos és biostimulátoros kezelésnél. A legnagyobb különbség a fajták között a szárazság stressznek kitett, biostimulátorral kezelt növényeknél volt.

Emellett elvégeztük az eredmények statisztikai vizsgálatát, és az ANOVA elemzés szerint minden kezelés kombináció szignifikáns különbséget mutatott. A szignifikancia értékek tekintetében az 11. ábrán láthatók.



11. ábra Vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás mérés Makói CR és Sturon fajták esetében

Az ANOVA elemzés eredményei alapján a kezeléskombinációk közül a Makói CR fajta kontroll és elárasztás stressznek kitett és a Sturon elárasztás- Sturon elárasztás Bst kezelés kombinációk nem eredményeztek szignifikáns különbséget. A többi kombináció esetében szignifikáns különbséget tapasztaltunk.

A biostimulánssal nem kezelt növények esetében a stresszorok összehasonlításakor a Makói CR-Makói CR elárasztott ($p = 7,49 \times 10^{-2}$), a Makói CR elárasztott-Makói CR szárazságstressz ($p = 8,36 \times 10^{-1}$) és a Makói CR-Makói CR szárazságstressz ($p = 6,15 \times 10^{-2}$) kezelések között nem volt szignifikáns különbség (11.A ábra), ezzel szemben a Sturon fajtánál a Sturon-Sturon elárasztott ($p = 4,71 \times 10^{-7}$), a Sturon elárasztott és a Sturon szárazságstressz ($p = 6,32 \times 10^{-9}$)

és a Sturon-Sturon szárazságstressz ($p = 3,51 \times 10^{-2}$) szignifikáns különbséget eredményeztek (11.B ábra).

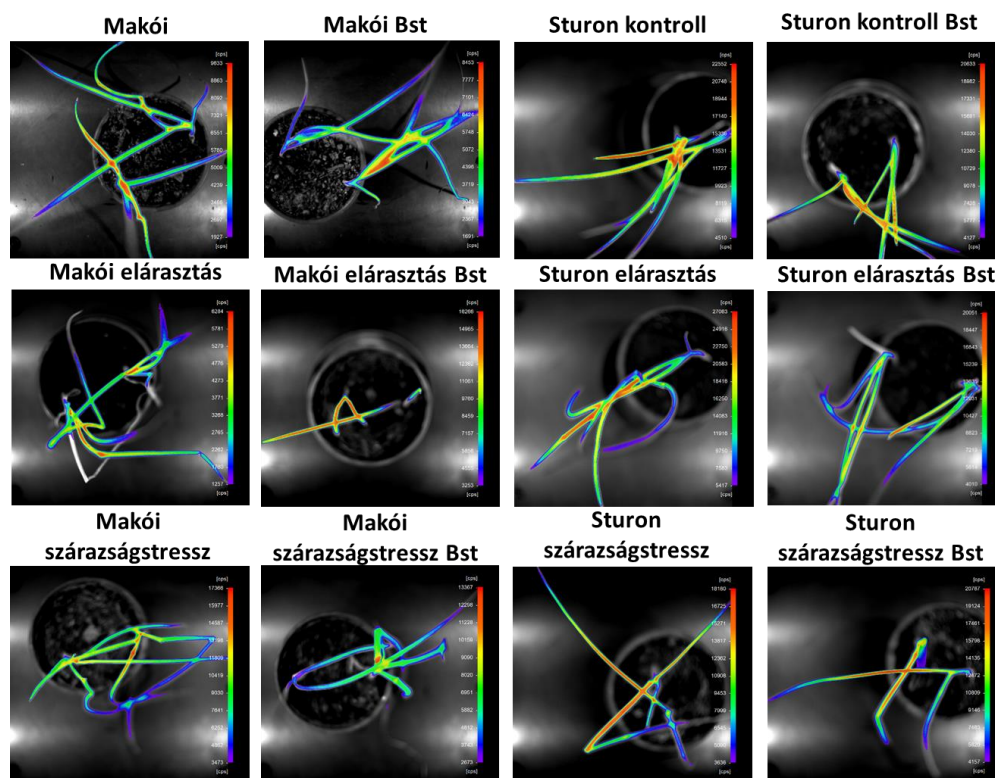
A biostimulátorral kezelt növények esetében a stresszorok összehasonlításakor a Makói CR Bst-Makói CR elárasztott Bst ($p = 1,13 \times 10^{-8}$) esetében szignifikáns növekedést, ezzel szemben a Makói CR Bst-Makói CR szárazságstressz Bst ($p = 3,93 \times 10^{-11}$) szignifikáns csökkenést eredményezett az antioxidáns kapacitás értékeiben, illetve a két stresszor hatásának összevetésében is: Makói CR elárasztott Bst-Makói CR szárazságstressz Bst ($p = 5,52 \times 10^{-4}$). A Sturon Bst-Sturon elárasztott Bst ($p = 5,14 \times 10^{-1}$) és a Sturon Bst-Sturon szárazságstressz Bst ($p = 5,37 \times 10^{-2}$) esetében sem tapasztaltunk statisztikailag igazolható különbséget, ezzel szemben az elárasztott növények antioxidáns kapacitása szignifikánsan magasabb volt a szárazság stressznek kitett növényekénél (Sturon elárasztott Bst és a Sturon szárazságstressz Bst ($p = 1,9 \times 10^{-2}$)).

Amennyiben a kontroll és az egyes stresszorok, illetve azok biostimulátorral kezelt párjait hasonlítottam össze, Makói CR fajta esetében a kontroll ($p = 6,96 \times 10^{-5}$) és az elárasztott ($p = 2,04 \times 10^{-11}$) növényeknél szignifikáns antioxidáns kapacitás növekedést tapasztaltam, ezzel szemben a szárazságstressz statisztikailag kimutathatóan ($p = 4,38 \times 10^{-7}$) csökkentette az antioxidáns kapacitást (11.A ábra). A Sturon fajta esetében mindhárom kombináció szignifikáns (Sturon kontroll-Sturon kontrol Bst: $p = 1,7 \times 10^{-6}$; Sturon elárasztott-Sturon elárasztott Bst: $p = 6,51 \times 10^{-11}$ és Sturon szárazságstressz- Sturon szárazságstressz Bst: $1,67 \times 10^{-2}$) FRAP érték növekedést eredményezett (11.B ábra).

A biostimulátoros kezelés a Makói CR fajtánál elárasztás esetén szignifikánsan megnövelte ($p = 3,75 \times 10^{-11}$), ellenben szárazságstressz esetében szignifikánsan lecsökkentette ($p = 2,33 \times 10^{-9}$) az antioxidáns kapacitást (11.A ábra), ellenben a Sturon fajtánál mindkét esetben szignifikáns növekedést eredményezett: Sturon kontroll-Sturon elárasztott Bst: $p = 9,35 \times 10^{-7}$; Sturon kontroll- Sturon szárazságstressz Bst: $p = 1,16 \times 10^{-4}$) (11.B ábra).

5.5 Biofoton emisszió mérés eredményei

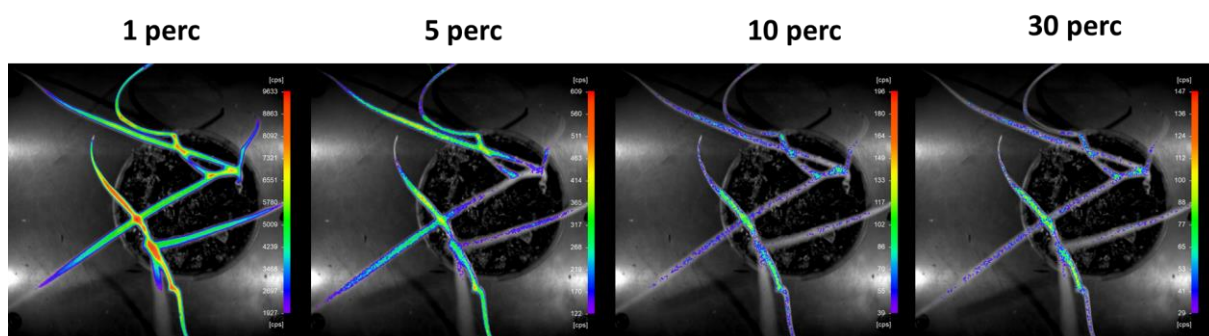
A következőben a biofoton emissziós mérés eredményeit fogom bemutatni. Elsőként a Nightshade LB 985 készülék által készített mérések első perces eredményeinek bemutatása látható (12. ábra). A képek megmutatják az egyes kezelések biofoton emissziójának intenzitását és az elemző szoftver által elvégzett fotonkibocsátás intenzitásának számszerűsítését.



12. ábra A Nightshade NightShade LB 985 In Vivo Plant Imaging System által készített képek, amelyeken a vöröshagyma mérések első perces eredményei láthatóak a kísérletben alkalmazott kezelések tekintetében az IndiGo™ 2.0.5.0. szoftver által hozzárendelt színekkel, valamint színskálával.

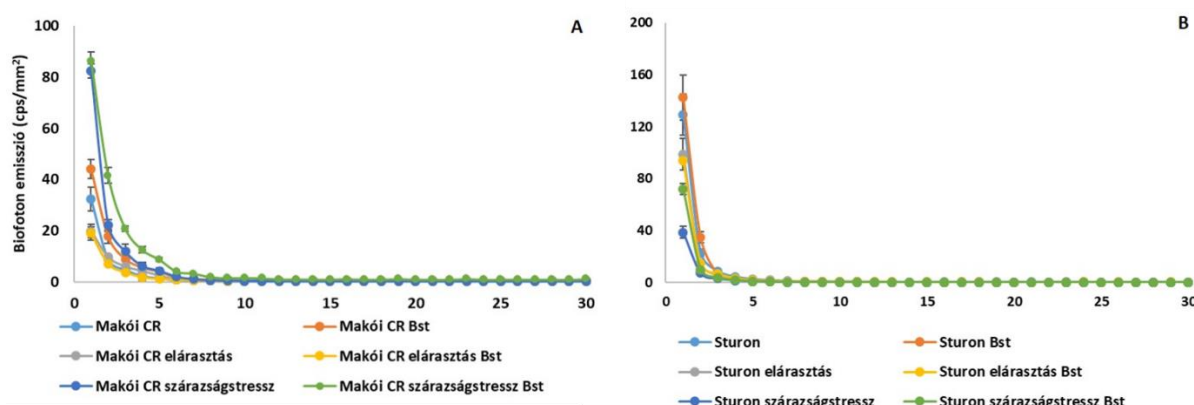
A szoftver által generált pszeudo-color skála megfelel az egy mérési periódus alatt, pixelenként kibocsátott foton emisszió intenzitásának. Ezáltal egy relatív skála jön létre, amely a nagyobb volumenű változásokat jól és informatívan szemlélteti ugyan, azonban nem alkalmas az eredmények abszolút összevetésére. Ezért a következőkben az összesen 30 perces mérések számszerűsíthető eredményeit mutatom be és hasonlítom össze kezelés típusonként, azzal a céllal, hogy lehetőség szerint megtaláljam azt a legrövidebb időtartamot, amely során a stresszorok által kiváltott fiziológiás hatás detektálható és reményeim szerint elkülöníthetővé is válik.

A 13. ábrán látható a Nightshade LB 985 In Vivo Plant Imaging System által kontroll Makói CR-ről a sötétkamrába helyezést követően 1, 5, 10 és 30 perc elteltével készített képek, a kibocsátott foton mennyiséghez az IndiGoTM 2.0.5.0. szoftver által hozzárendelt színekkel, valamint színskálával. A képeken látható, hogy a 30 perces mérés során jelentős csökkenés következett be a fotonkibocsátásban, amely eredmények számszerűsítését a 14. ábrán mutatom be.



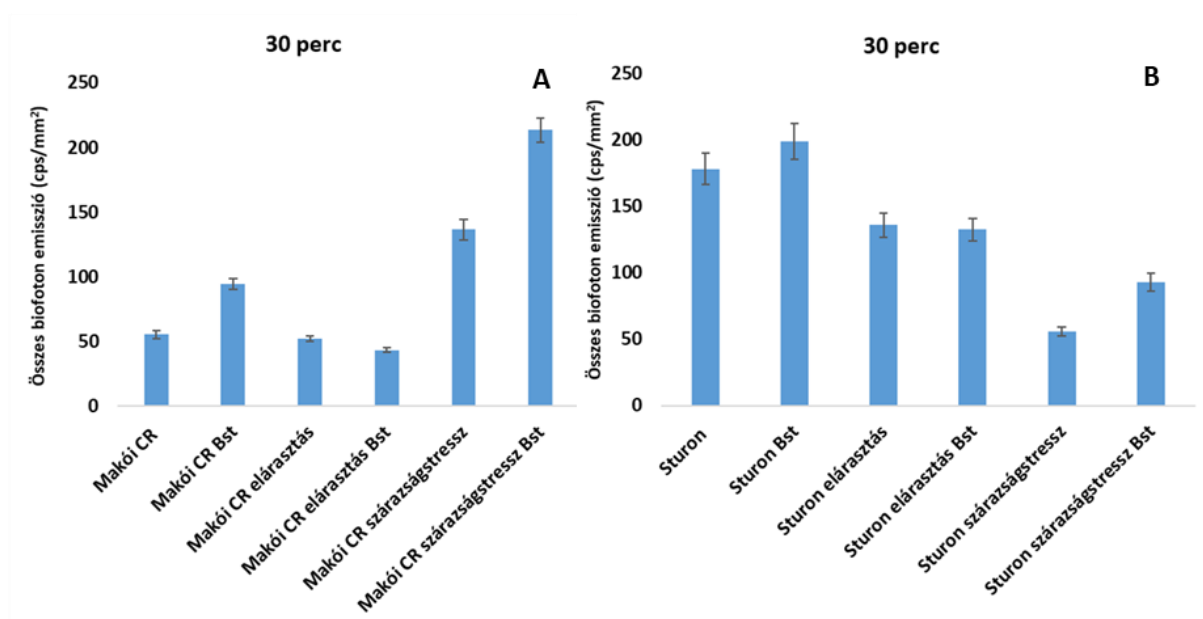
13. ábra A Nightshade LB 985 In Vivo Plant Imaging System által kontroll Makói CR-ről a sötétkamrába helyezést követően 1, 5, 10 és 30 perc elteltével készített képek, a kibocsátott foton mennyiséghez az IndiGoTM 2.0.5.0. szoftver által hozzárendelt színekkel, valamint színskálával.

Az 14. ábrán láthatóak a mért biofoton emissziós értékek Makói CR és Sturon vöröshagyma fajták esetén 30 perces mérési időtartama alatt. Mindkét fajta esetében jelentős csökkenés figyelhető meg a biofoton emisszió terület egységre vonatkoztatott (mm^2) foton kibocsátási mértékében, amely különböző mértékben, de mindkét esetben egyaránt a 3. mérési perctől közelített az x tengelyhez.



14. ábra. Biofoton emissziós értékek Makói CR (A) és Sturon (B) vöröshagymafajták esetén 30 perces mérési időtartam alatt. A feltüntetett értékek három mérés átlagából származnak.

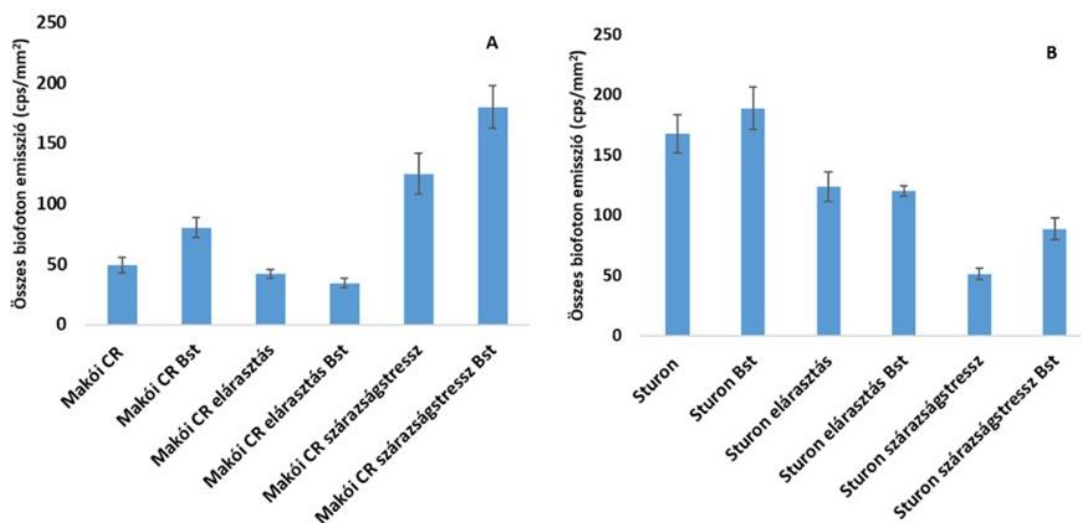
Az ábra kiindulási értékei arra utalnak, hogy a különböző kezelések eltérő biofoton emissziót indukálnak, mivel a Makói CR fajta esetében az értékek a 20-100 cps/mm²-es tartományba voltak megtalálhatóak, míg a Sturon esetében a fotonkibocsátás értékei 40-160 cps/mm²-es tartományba estek. Azonban a skála nagysága miatt mindez ebben a megközelítésben nem értelmezhető tisztán, ezért a kezelések könnyebb elkülöníthetősége érdekében oszlopdiagrammos formában, az alábbi ábrán összegeztem a kibocsátott biofoton jeleket és (15. ábra) mutatom be a kapott eredményeket.



15. ábra. Összegzett biofoton emissziós értékek Makói CR és Sturon vöröshagyma fajták esetén 30 perces mérési időtartam alatt. A feltüntetett értékek három mérés átlagából származnak.

Az ideális vízellátottságú növények esetében jelentős különbség állapítható meg a Makói CR és a Sturon fajták között a kibocsátott 30 perces jelintenzitás tekintetében. A Sturon fajta biofoton emissziója minden kezelés kombinációban meghaladta a Makói CR értékeit.

A harminc perces mérési eredmények alapján látható, hogy a Bst kezelés mindkét fajta esetén megnövekedett fotonkibocsátást eredményezett mind az ideális vízellátottsági körülmények között nevelkedett növények esetében, mind pedig szárazságstressz esetében. Az elárasztott növényeknél azonban épp az ellenkezője történt, a biostimulátor csekély mértékben, de csökkentette a fotonkibocsátást. A 30 perces percenkénti értékeket bemutató ábrából látszik, hogy a legnagyobb változások az első 5 percben tapasztalhatók. Ezért a következőkben az első 5 perc összes biofoton értékeit ábrázoltam (16. ábra).



16. ábra. Összegzett biofoton emissziós értékek Makói CR (A) és Sturon (B) vöröshagyma fajták esetén 5 perces mérési időtartam alatt. A feltüntetett értékek három mérés átlagából származnak.

Az eredmények azt mutatják, hogy az 5 perces mérési értékek jellegükben, nagyságrendjükben és tendenciájukban is megfelelnek a 30 perces értékeknek. A kezelések és a stresszorok közötti különbségek egyaránt megállapíthatók a 30 perces és az 5 perces késleltetett fluoreszcencia lecsengési értékekből. Mivel munkám egyik célja volt annak megállapítása, hogy melyik az a legrövidebb mérési időtartam, amely alkalmasnak bizonyul a szárazságstressz és az elárasztás fiziológiai különbségének gyors és egzakt diagnosztizálására, ezért ez utóbbi, az 5 perces időtartam mérési eredményei esetében végeztem el a statisztikai elemzést is.

A biostimulánssal nem kezelt növények esetében a stresszorok összehasonlításakor a Makói CR-Makói CR elárasztott ($p = 4,76 \times 10^{-1}$) nem, ellenben a Makói CR elárasztott-Makói CR szárazságstressz ($p = 2,57 \times 10^{-3}$), illetve a és a Makói CR-Makói CR szárazságstressz ($p = 4,76 \times 10^{-3}$) kezelések között szignifikáns fotonkibocsátás növekedést eredményezett (15.A ábra), ezzel szemben a Sturon fajtánál a Sturon-Sturon elárasztott ($p = 2,07 \times 10^{-1}$) szintén nem változott, azonban a Sturon elárasztott-Sturon szárazságstressz ($p = 1,81 \times 10^{-2}$), illetve a Sturon-Sturon szárazságstressz ($p = 9,17 \times 10^{-3}$) kezelések biofoton kibocsátása szignifikánsan csökkent (16.B ábra).

A biostimulátorral kezelt növények esetében a stresszorok összehasonlításakor a Makói CR Bst-Makói CR elárasztott Bst ($p = 2,14 \times 10^{-2}$) esetében a fotonkibocsátás szignifikáns csökkenést, ezzel szemben a Makói CR Bst-Makói CR szárazságstressz Bst ($p = 2,24 \times 10^{-3}$) esetében szignifikáns növekedést tapasztaltam, csakúgy, mint a két stresszor hatásának

összevetésében is: Makói CR elárasztott Bst-Makói CR szárazságstressz Bst ($p= 1,37 \times 10^{-2}$). A Sturon Bst - Sturon elárasztott Bst ($p= 6,85 \times 10^{-2}$), valamint a Sturon elárasztott Bst - Sturon szárazságstressz Bst ($p= 1 \times 10^{-1}$) esetében sem tapasztaltunk statisztikailag igazolható különbséget, ezzel szemben a szárazságstressznek kitett növények biofoton kibocsátása szignifikánsan alacsonyabb volt a kontroll növényekénél (Sturon kontroll Bst - Sturon szárazságstressz Bst ($p= 2,7 \times 10^{-2}$)).

Amennyiben a kontroll és az egyes stresszorok, illetve azok biostimulátorral kezelt párait hasonlítottam össze, egyik kezeléspárnál sem tapasztaltam szignifikáns különbséget Makói CR fajta estében (kontroll: $p= 9,58 \times 10^{-2}$; elárasztott: $p= 3,24 \times 10^{-1}$; szárazságstressz: $p= 8,51 \times 10^{-2}$) (16.A ábra), hasonlóan a Sturon fajtához: Sturon kontroll-Sturon kontroll Bst: $p=5,86 \times 10^{-1}$; Sturon elárasztott-Sturon elárasztott Bst: $p=8,64 \times 10^{-1}$ és Sturon szárazságstressz- Sturon szárazságstressz Bst: $6,03 \times 10^{-2}$) (16.B ábra).

A biostimulátoros kezelés a kontrollhoz képest a Makói CR fajtánál elárasztás esetén nem ($p=31,49 \times 10^{-1}$), ellenben szárazságstressz esetében szignifikánsan megnövelte ($p=4,01 \times 10^{-3}$) a fotonkibocsátást (16.A ábra), illetve a Sturon fajtánál az elárasztás nem eredményezett változást (Sturon kontroll-Sturon elárasztott Bst: $p=1,27 \times 10^{-1}$) ellenben a szárazságstressz szignifikáns fotonkibocsátás csökkenést okozott: Sturon kontroll- Sturon szárazságstressz Bst: $p=4,7 \times 10^{-2}$ (16.B ábra).

5.6 Eredmények értékelése

Az elvégzett vizsgálatok alapján nyomon tudtam követni a vizsgált két vöröshagyma fajta növekedését és fejlődését ideális körülmények között, valamint a vízstressz két formája során, elárasztás és szárazságstressz esetén, amit alátámasztottak a mért fiziológiás paraméterek és az analitikai vizsgálat is. Eredményeim értékelése során a kísérlet kimenetelét összevettem a szakirodalmi eredményekkel minden olyan esetben, ahol találtam vöröshagymára vonatkozó kutatásokat az adott paraméter értelmezéséhez, illetve ahol erre nem volt lehetőségem, ott egyéb fajokon végzett kísérletek eredményeivel a stresszor és a vizsgált paraméter vonatkozásában.

A vizsgálatok értékelését a fiziológiás vizsgálatok elemzésével kezdtük, mint egyszerű és informatív paraméterekkel (Bua és mtsai, 2017). A szaporítóanyag *szárazanyagtartalmát* megvizsgálva megállapítottam, hogy a Makói CR fajtának 11 %-kal volt magasabb a szárazanyag tartalma, mint a Sturon fajtáé. A magasabb szárazanyag tartalom a fejlődő növények leveleiben is megmutatkozott: szintén a Makói CR fajta esetében volt a nagyobb azonban ebben az esetben a különbség 4%-ra csökkent. Ezek az eredmények összhangban állnak az irodalmi megfigyelésekkel: Szczepanek és mtsai (2017) megfigyelései szerint tengeri moszat -mint biostimulátoros kezelés- alkalmazása növelte a vöröshagyma gumó szárazanyag tartalmát. Vöröshagyma levélre vonatkozó irodalmi adatokat nem találtunk, azonban több forrás is alátámasztja a biostimulátorok jótékony hatását levél szárazanyag beépülésre nézve: Ottaiano és mtsai (2021) ideális körülmények között nevelt saláta növények esetében, vagy hőstressz ellensúlyozására alkalmazva búza csíranövényeken (Jócsák és mtsai, 2022). Megfigyeléseink szerint mindkét fajtánál szárazanyagtartalom növekedést idézett elő a biostimulátor alkalmazása (Makói CR esetében 5,5 %-kal, a Sturon esetében pedig 3,3%), ami magasabb szárazanyag tartalma magasabb fotoszintetikus és metabolikus aktivitásra utal.

A friss/száraz tömegarány mérésnél az elárasztott növények magasabb értékeket mutattak mindkét fajtában egyaránt (lásd. 10. ábra), ami vízfelvételi problémára utal (Tuba, 1996; Blockhina, 2001). A biostimulátor hatására azonban ezek az értékek csökkentek, a Sturon fajtánál kisebb mértékben, a Makói CR fajtánál a kontroll csoportot megközelítve. Ezek alapján feltételezhetjük a kezelés pozitív hatását az elárasztással szemben.

A növénymagasság értékei megmutatták a növekedés dinamikáját és ebben a tekintetben is különböztek a fajták. A levélhosszúságok vonatkozásában az első négy, mérési időpontban, stresszmentes környezetben jól nyomon követhető mindkét fajta növekedési dinamikája, amelyet a fajtajellegzetességek határoztak meg: a Sturon csírázása lassabban ment végbe és

ezért a kezdeti növekedése is kisebb mértékű lett. A növekedés üteme megváltozott a stresszkezelés megindítása után. Az utolsó két mérési időpont között eltelt több mint 10 nap ellenére is csak kismértékű növekedés figyelhető meg a legtöbb kezelésnél, ami mutatja, hogy a fejlődés azon fázisa is elkezdődött, ahol a növények már inkább a levelek számának és vastagságának növelésére fordítja energiáinak nagy részét, nem pedig a levelek hosszának növelésére. Ez tehát nem jelenti, hogy a növekedés lassult, vagy visszaesett, mivel minden esetben a leghosszabb levelet mértem le. Ezen utolsó két mérési időpontban csökkenő tendencia is látható, ez jól kifejezett a Makói CR szárazságstressznek kitett hagymák esetében, ennek oka a levélsúcsok eláradása, ami tipikus tünete a vízhiányban szenvedő növényeknek (Chaudhry és mtsai, 2016).

Az antioxidáns kapacitás értékek eredményei alapján a két fajta közül minden kezelés kombinációban és összehasonlításában különböztek. Vizsgálataink egyik fontos eredménye a biostimulátoros kezelés jótékony hatásának kimutatása. Igazoltuk, hogy a biostimulátoros kezelés a Makói CR szárazságstressz Bst kivételével minden kezeléskombinációnál megnövelte az antioxidáns kapacitást, ami a stresszorokkal szembeni nagyobb antioxidáns védelmet jelez. Hasonló eredményre jutottak Semida és mtsai (2019) kísérletükben, ahol az alkalmazott biostimuláns kezelés megnövelte a vöröshagyma sótoleranciáját az antioxidáns védelmi rendszer módosításán keresztül, amelyek közé tartozik a FRAP módszer által kimutatható nem enzimatisz antioxidánsok mennyiségi változása is.

A Makói CR esetében valószínűleg a szárazságstressz már olyan erős hatással volt a növényre, hogy a homeosztázisa fenntartása érdekében (amit az alább bemutatásra kerülő magasabb kezdeti késleltetett biofoton emissziós értékek is alátámasztanak) a nem enzimatisz antioxidánsok felhasználásra kerültek, hasonlóan Sutuliené és mtsai (2021) munkájához, amelyben zöldborsó növényeken, vagy Kaur és mtsai (2017) csicseriborsón végzett megfigyeléseihez, akik egyaránt FRAP értékek csökkenését észleltek szárazságstressz hatására.

A *biofoton emissziós* vizsgálataink során a késleltetett fluoreszcencia jelenségének változásán keresztül jellemeztük a stresszorok, illetve a biostimuláns kezelés hatásait. Korábbi kutatásokban sikeresen alkalmazták a késleltetett fluoreszcenciát növények homeosztatisz és/vagy stresszállapotának értékelésére árpa (Zhou és mtsai, 2019), burgonya (Razinger és mtsai, 2012), búza (Mehta és mtsai, 2011) és kukorica (Chen és mtsai, 2021), azonban ezen kísérlet eredményeiként elsőként tudunk vöröshagymán elvégzett vizsgálatokról beszámolni.

A biofoton emissziós mérési technika nem-invazív, és ezen technikák elterjedésében és alkalmazhatóságában fontos gyakorlati szempont a rövid mérési időtartam annak érdekében, hogy egy nap során, vagy egy fenológiai fázisban megfelelő számú növényegyed vizsgálata kivitelezhető legyen. Elsőként az egységre vonatkoztatott fotonemissziós értékekből meghatároztuk, hogy az 5 perces mérési időintervallum adatai alkalmasak gyors stresszdetektálási paraméterként.

Stressz hatására számos esetben alacsonyabb kiindulási fotonemissziót figyeltek meg, pl.: Razinger és mtsai, 2012) mtsai munkájában nehézfémstressz (100 μ M kadmium és réz) és gyomirtószer (diuron és metilviologén) hatására, illetve a késleltetett fluoreszcencia lecsengése is rövidebb időn belül következik be, mint az az azonos kísérlet kontroll növényeinél tapasztalható volt (Gerhardt és Bodemer, 2000; Razinger és mtsai, 2012). A késleltetett fluoreszcencia esetében a magasabb kezdeti értékek egészségesebb növényállapotot jelölnek, amit eredményeink is alátámasztanak a biostimulátoros kezelés vonatkozásában, ahol az elárasztás ellensúlyozásában a biostimuláns kezelés nem volt sikeres, azonban a biostimulátorral kezelt Makói CR fajtánál a kontroll és a szárazságstressz esetében magasabb volt az 5 perces összegzett késleltetett fluoreszcencia érték, mint ami a kezeletlen növényeknél volt tapasztalható. Ugyanez volt tapasztalható biostimulátoros kezelés esetén a Sturon fajtánál is szintén kontroll és szárazságstressz esetén. Mindemellett a biofoton emissziós vizsgálatokkal egyértelműen el tudtam különíteni a stresszhatásokat egymástól, illetve fény derült arra is, hogy a Bst kezelés a szárazságstressz ellensúlyozásában volt hatékonyabb, hiszen mind a levélhosszúság, antioxidáns kapacitás és biofoton emisszió tekintetében a Bst kezelés mindkét fajtánál jobb eredményeket mutatott.

5.7. Következtetések és javaslatok

Az elvégzett vizsgálatokból a következő következtetéseket vonhatjuk le. A biofoton emissziós vizsgálatok alkalmasak szárazság és elárasztás stressz, valamint azok hatásait mérsékelni képes biostimulátor által előidézett növényi válaszreakciók kimutatására. Az 5 perces késleltetett fluoreszcencia mérési időtartam elegendőnek bizonyult az elárasztás és a szárazságstressz hatásainak gyors és pontos jellemzésére vöröshagyma növényeken.

Az analitikai vizsgálat alátámasztotta a nem-invazív mérési eredményeket és pontosabb képet szolgáltatott a stresszállapotról, mint a növénymagasság mérés, vagy a szárazanyag tartalom meghatározás. A biostimulátoros kezelés fajtatulajdonságoktól függően ugyan, de elősegíti a

vöröshagyma stresszellenállóságát elárasztás és szárazságstressz esetében. Az elárasztásra érzékenyebb Makói CR fajtánál magasabb antioxidáns kapacitást, alacsonyabb biofoton emissziót és a kontrollnak megfelelő szárazanyag tartalmat eredményezett. A Sturon esetén is hasonló eredményeket kaptam elárasztás esetén elárasztáskor, azonban ennél e fajtánál a biostimulátor a szárazságstressz hatásait nem tudta ellensúlyozni.

A kísérlet folytatásaként szabadföldi vizsgálatokat szeretnék végezni ugyanezen fajtákkal és stresszhatásokkal annak érdekében, hogy megállapíthassam a biostimulátoros kezelés terménymennyiségre és minőségre gyakorolt hatását is.

Mindezen eredmények hozzájárulhatnak a klímaváltozás elleni hatékony vöröshagyma-termesztési technológia kialakításához, illetve a térségi-, területi adottságoknak leginkább megfelelő fajták megválasztásához.

6. Összefoglalás

A klímaváltozás hatására az abiotikus stresszfaktorok egyre komolyabb problémát állítanak a növénytermesztők elé, így van ez a vöröshagyma termesztésben is. A vízellátottság két szélsőséges esete, az aszály és az elárasztás jelentős károkat tudnak okozni a termésben. Ennek mértékét helyes a fajtaválasztással és különböző termelés technológiai megoldásokkal, amelyeknek egyik egyre elterjedtebb módja a biostimulátorok alkalmazása, csökkenteni tudjuk. Kísérletemben két vöröshagyma fajtát tettem ki az elárasztás és a szárazságstressznek, és a növények egy résznek ezen stressz mérséklésére biostimulátort adtam. Analitikai (antioxidáns kapacitás mérés) és *in-vivo*, nem invazív (biofoton emisszió mérés) vizsgálatoknak vettem alá a hagymákat, a kapott adatokat pedig statisztikailag elemeztem.

A biostimulátor hatására a szárazanyag tartalom értékek csökkentek, a Sturon fajtánál kisebb mértékben, a Makói CR fajtánál a kontroll csoportot megközelítve. Ezek alapján feltételezhetjük a kezelés pozitív hatását az elárasztással szemben. A növénymagasság értékei megmutatták a növekedés dinamikáját és ebben a tekintetben is különböztek a fajták: A levélhosszúságok vonatkozásában az első négy, mérési időpontban, stresszmentes környezetben jól nyomon követhető mindkét fajta növekedési dinamikája, amelyet a fajtajellegzetességek határoztak meg: a Sturon csírázása lassabban ment végbe és ezért a kezdeti növekedése is kisebb mértékű lett.

Az antioxidáns kapacitás értékek eredményei alapján a két fajta közül minden kezelés kombinációban és összehasonlításában különböztek. Vizsgálataink egyik fontos eredménye a

biostimulátoros kezelés jótékony hatásának kimutatása. Igazoltuk, hogy a biostimulátoros kezelés a Makói CR szárazságstressz Bst kivételével minden kezeléskombinációnál megnövelte az antioxidáns kapacitást, ami a stresszorokkal szembeni nagyobb antioxidáns védelmet jelez. A biofoton emisszió, mint nem-invazív mérési technika alapján meghatároztam, hogy az 5 perces mérési időintervallum adatai alkalmasak gyors stresszdetektálási paraméterként. Mindemellett a biofoton emissziós vizsgálatokkal egyértelműen el tudtam különíteni a stresszhatásokat egymástól, illetve fény derült arra is, hogy a Bst kezelés a szárazságstressz ellensúlyozásában volt hatékonyabb.

A kísérlet igyekezett betölteni azt a hiányt, ami a vöröshagyma fajták szárazság és elárasztás stressz-ellenállóságát bemutató irodalmi adatok tekintetében fennáll. A vizsgálatok során elsőként alkalmaztam a biofoton emissziós képalkotást és annak számszerűsített paramétereit vöröshagyma stresszállapotainak jellemzésére.

Mindezen eredmények reményeim szerint hasznos információkkal járulhatnak hozzá a klímaváltozás elleni hatékony vöröshagyma-termesztési technológiák kialakításához, illetve a térségi-, területi adottságoknak leginkább megfelelő fajták megválasztásához.

7. Köszönetnyilvánítás

Szívélyes köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Jócsák Ildikónak, aki nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre, és aki mindig türelmesen a segítségemre sietett, bármilyen kérdéssel vagy problémával fordultam hozzá.

Szintén köszönet illeti édesapámat, Juhász Sándort, akinek hagymatermesztő munkája inspirációt nyújtott ehhez a témához, és aki évtizedes tapasztalatával segítette a kísérlet megvalósítását.

Köszönöm a MATE Növénytermesztési-tudományok Intézet Agronómiai Tanszék munkatársainak, amiért a kísérleteimhez szükséges eszközöket biztosították számomra.

A kutatás megvalósulása a TDK Műhely pályázat támogatásával történt.

8. Irodalomjegyzék

- Apak, R., Guclu, K., Demirata, B., Ozyurek, M., Celik, S. E., Bektasoglu, B., Berker, K. I., Ozyurt, D. (2007): Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, (12):1496–1547.
- Balogh E. (2010): Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata bogyós gyümölcsök esetében. *Budapesti Corvinus Egyetem*, 15–18.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Blokhina, O. B., Chirkova, T. V., & Fagerstedt, K. V. (2001). Anoxic stress leads to hydrogen peroxide formation in plant cells. *Journal of Experimental Botany*, 52(359), 1179-1190.
- Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of botany*, 91(2), 179-194.
- Bua, B., Owiny, R., & Ocwa, A. (2017). Response of onion to different organic amendments in central Uganda. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7, 79-85.
- Chaudhry, U. K., Gökçe, Z. N., & Gökçe, A. F. (2020). Effects of salinity and drought stresses on the physio-morphological attributes of onion cultivars at bulbification stage. *International Journal of Agriculture and Biology*, 24(6), 1681-1689.
- Chen, X., and Y. Zong. Major impacts of sea-level rise on agriculture in the Yangtze delta area around Shanghai. *Applied Geography* 19.1 (1999): 69-84.
- Chen W, Jia B, Chen J, Feng Y, Li Y, Chen M, Liu H, Yin Z (2021) Effects of different planting densities on photosynthesis in maize determined via prompt fluorescence, delayed fluorescence and P700 signals. *Plants* 10:276. <https://doi.org/10.3390/plants10020276>
- Cifra, M., & Pospíšil, P. (2014). Ultra-weak photon emission from biological samples: definition, mechanisms, properties, detection and applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 139, 2-10.
- Colli, L., & Facchini, U. (1954). Light emission by germinating plants. *Il Nuovo Cimento* (1943-1954), 12(1), 150-153.
- Cornetti, U. (2009): Antioxidant use in nutraceuticals. *Clinics in Dermatology*, (27):175-194.
- Crüger, G. (2011): *Növényvédelem a zöldségtermesztésben*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. ISBN 978-963-286-618-5.

- Dhondt, S., Vanhaeren, H., Van Loo, D., Cnudde, V., & Inzé, D. (2010). Plant structure visualization by high-resolution X-ray computed tomography. *Trends in plant science*, 15(8), 419-422.
- Dowker, B. D., & Mead, R. (1969). Yield comparisons in onion variety trials. *Journal of*
- Drinkwater, W. O., & Janes, B. E. (1955). Effects of irrigation and soil moisture on maturity, yield and storage of two onion hybrids. In *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* (Vol. 66, pp. 267-278). American Society for Horticultural Science.
- Elavarthi, S., & Martin, B. (2010). Spectrophotometric assays for antioxidant enzymes in plants. In *Plant stress tolerance* (pp. 273-280). Humana Press.
- Gedam, P. A., Thangasamy, A., Shirsat, D. V., Ghosh, S., Bhagat, K. P., Sogam, O. A., ... & Singh, M. (2021). Screening of onion (*Allium cepa* L.) genotypes for drought tolerance using physiological and yield based indices through multivariate analysis. *Frontiers in plant science*, 12, 600371.
- Gerhardt, V., & Bodemer, U. (2000). Delayed fluorescence excitation spectroscopy: a method for determining phytoplankton composition. *Ergebnisse der Limnologie*, 55, 101-120.
- Ghodke, P. H., Andhale, P. S., Gijare, U. M., Thangasamy, A., Khade, Y. P., Mahajan, V., & Singh, M. (2018). Physiological and biochemical responses in onion crop to drought stress. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 7(1), 2054-62.
- Ghodke, P., Khandagale, K., Thangasamy, A., Kulkarni, A., Narwade, N., Shirsat, D., ... & Singh, M. (2020). Comparative transcriptome analyses in contrasting onion (*Allium cepa* L.) genotypes for drought stress. *PLoS One*, 15(8), e0237457.
- Ghiselli, A., Serafini, M., Natella, F., Scaccini, C. (2000): Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: Critical view and experimental data. *Free Radical Biology and Medicine*, (29):1106–1114.
- Goltsev, V., Zaharieva, I., Chernev, P., & Strasser, R. J. (2009). Delayed fluorescence in photosynthesis. *Photosynthesis research*, 101(2), 217-232.
- Hanci, F., & Cebeci, E. (2015). Comparison of salinity and drought stress effects on some morphological and physiological parameters in onion (*Allium Cepa* L.) during early growth phase. *Bul J Agri Sci*, 21(6), 1204-1210.

- Hanci, F. Comprehensive Overview of Onion Production: Worldwide and Turkey IOSR. J. Agric. Vet. Sci. (IOSR-JAVS) 2018, 11, 17–27.
- Hodossi, S., Dudas, L., & Fari, M. G. (2010). A hazai zöldségtermelés megújítása. GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics, 54(80-2016-785), 806-811.
- Hoffman R., Pónya Zs. (2016): Biostimulátorok a növénytermesztésben. In.: agrárium, 26 (9) pp. 21–23.
- Huang, D. J., Ou, B. X., Prior, R. L. (2005): The chemistry behind antioxidant capacity assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, (53):1841–1856.
- Iida, T., Yoshiki, Y., Akiyama, Y., & Okubo, K. (2002). Photon emission properties of roasted soybean as related to reactive oxygen scavenging activities. Food chemistry, 77(4), 471-477.
- Ijoyah, M. O., Rakotomavo, H., & Naiken, M. V. (2008). Yield performance of four onion (*Allium cepa* L.) varieties compared with the local variety under open field conditions at Anse Boileau, Seychelles. Journal of Science and Technology (Ghana), 28(3), 28-33.
- Illéssy, M. M. (2012). Vöröshagymafajták (*Allium cepa* L.) vizsgálata szabadföldi és hidegfóliás termesztésnél (Doctoral dissertation, University of Debrecen).ves termesztésre alkalmas vöröshagyma hibridek es a magyarországon elterjedt fajták összehasonlító értékelése. Zöldségtermesztési Kutató Intézet bulletinje= Bulletin of the Vegetable Crops Research Institute.
- Jakab, A. (2014). Műtrágyák és biokészítmények hatása a talaj mikrobiológiai aktivitására és a termékenységre (Doctoral dissertation, PhD értekezés. Debreceni Egyetem).
- Janda, T., Tajti, J., Hamow, K. Á., Marček, T., Ivanovska, B., Szalai, G., ... & Darkó, É. (2021). Acclimation of photosynthetic processes and metabolic responses to elevated temperatures in cereals. Physiologia plantarum, 171(2), 217-231.
- Jilani MS, Ghafoor A. Screening of local Onion varieties for bulb formation. International Journal of Agriculture and Biology. 2003; 5(2):129-133.
- Jócsák, I., Végvári, G., & Vozáry, E. (2019). Electrical impedance measurement on plants: A review with some insights to other fields. Theoretical and Experimental Plant Physiology, 31(3), 359-375.

- Jócsák, I., Malgwi, I., Rabnecz, G., Szegő, A., Varga-Visi, É., Végvári, G., & Pónya, Z. (2020). Effect of cadmium stress on certain physiological parameters, antioxidative enzyme activities and biophoton emission of leaves in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. *Plos one*, 15(11), e0240470.
- Jócsák, I., Gyalog, H., Hoffmann, R., & Somfalvi-Tóth, K. (2022). In-Vivo Biophoton Emission, Physiological and Oxidative Responses of Biostimulant-Treated Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) as Seed Priming Possibility, for Heat Stress Alleviation. *Plants*, 11(5), 640.
- Kaur, D., Grewal, S. K., Kaur, J., & Singh, S. (2017). Free radical scavenging activities can mitigate the effect of water stress in chickpea. *Crop and Pasture Science*, 68(6), 544-554.
- Khokhar, K. M. (2008). Effect of set-size and planting time on the incidence of bolting, bulbing, and seed yield in two onion cultivars. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(4), 481-487.
- Khokhar, K. M., Hadley, P., & Pearson, S. (2007). Effect of photoperiod and temperature on inflorescence appearance and subsequent development towards flowering in onion raised from sets. *Scientia Horticulturae*, 112(1), 9-15.
- Khokhar, K. M., Hussain, S. I., Mahmood, T., & Bhatti, M. H. (2001). Effect of set size on bulb yield, maturity and bolting in local and exotic cultivars of onion during autumn season. *Sarhad Journal of Agriculture (Pakistan)*.
- KSH (2021): 14.1.2.10. Az egy főre jutó éves élelmiszer-fogyasztás mennyisége régió és a települések típusa szerint [kilogramm]*
- KSH (2021): 19.1.1.13. Fontosabb zöldségfélék betakarított területe [hektár]
- KSH-(2021): 19.1.1.24. A fontosabb zöldségfélék termesztése és felhasználása
https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0024.html
- Kuzma, M., Lóránd, T., Perjési P., Rozmer Zs., (2014). *Gyógyszerészi Kémia II. Gyakorlati praktikum*. Pécs: Pécsi Tudományegyetem.
- Lukács, H., Jócsák, I., Somfalvi-Tóth, K., & Keszthelyi, S. (2022). Physiological Responses Manifested by Some Conventional Stress Parameters and Biophoton Emission in Winter Wheat as a Consequence of Cereal Leaf Beetle Infestation. *Frontiers in plant science*, 13.

- Mehta P, Kraslavsky V, Bharti S, Allakhverdiev SI, Jajoo A (2011) Analysis of salt stress induced changes in Photosystem II heterogeneity by prompt fluorescence and delayed fluorescence in wheat (*Triticum aestivum*) leaves. *J. Photochem Photobiol B Biol* 104:308-313. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.02.016>
- Oszlányi, R., Mirmazloum, I., Pónya, Z., Szegő, A., Jamal, S., Bat-Erdene, O., & Papp, I. (2020). Oxidative stress level and dehydrin gene expression pattern differentiate two contrasting cucumber F1 hybrids under high fertigation treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 161, 864-874.
- Ottaiano, L., Di Mola, I., Cozzolino, E., El-Nakhel, C., Rouphael, Y., & Mori, M. (2021). Biostimulant application under different nitrogen fertilization levels: Assessment of yield, leaf quality, and nitrogen metabolism of tunnel-grown lettuce. *Agronomy*, 11(8), 1613.
- Ratnarajah, V., & Gnanachelvam, N. (2021). Effect of abiotic stress on onion yield: a review. *Advances in Technology*, 147-160.
- Razinger J, Drinovec L, Berden-Zrimec M (2012) Delayed fluorescence imaging of photosynthesis inhibitor and heavy metal induced stress in potato. *Open Life Sci* 7:531-541. <https://doi.org/10.2478/s11535-012-0038-z>
- Semida, W. M., Abd El-Mageed, T. A., Hemida, K., & Rady, M. M. (2019). Natural bee-honey based biostimulants confer salt tolerance in onion via modulation of the antioxidant defence system. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(5), 632-642.
- Sutulienė, R., Ragelienė, L., Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Urbutis, M., & Miliauskienė, J. (2021). The Response of Antioxidant System of Drought-Stressed Green Pea (*Pisum sativum* L.) Affected by Watering and Foliar Spray with Silica Nanoparticles. *Horticulturae*, 8(1), 35.
- Szczepanek, M., Wszelaczyńska, E., Pobereźny, J., & Ochmian, I. (2017). Response of onion (*Allium cepa* L.) to the method of seaweed biostimulant application. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 16(2), 113-122.
- Szigeti, Z. (2008). Physiological status of cultivated plants characterised by multi-wavelength fluorescence imaging. *Acta Agronomica Hungarica*, 56(2), 223-234.
- Takácsné Hajós, M. (2020). Szántóföldi zöldségtermesztés. Zöldségtermesztés I. Debrecen. Debreceni Egyetemi Kiadó. 172.

- Tóth Ferenc (1998). A Makói hagyma. Makó Város Önkormányzata. Makó. 800 p. ISBN:0509001053690
- Tuba, Z., Csintalan, Z.s. (1992). The effect of pollution on the physiological process in plants. In: Kovács, M., Podoni, J., Tuba, Z., Turcsányi, G. (Szerk.). Biological Indicators in Environmental Protection. Akad. Publ., Budapest and Ellis Horwood Ltd. Publ., Chichester. 169-191. p.
- Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., & Zhu, J. K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. The Plant Journal, 45(4), 523-539.
- Wiedemuth, K., Müller, J., Kahlau, A., Amme, S., Mock, H.P., Grzam, A., Hiell, R., Egle, K., Beschow, H., Humbeck, K. (2005): Successive maturation and senescence of individual leaves during barley whole plant ontogeny reveals temporal and spatial regulation of photosynthetic function in conjunction with C and N metabolism. In: Journal of Plant Physiology, 162 (11) 1226–1236.
- Zhou R, Kan X, Chen J, Hua H, Li Y, Ren J, Feng K, Liu H, Deng D, Yin Z (2019) Drought-induced changes in photosynthetic electron transport in maize probed by prompt fluorescence, delayed fluorescence, P700 and cyclic electron flow signals. Environ Exp Bot 158:51-62. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.005>

Internetes források

1. https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0056.html
2. <https://masfelfok.hu/2019/06/09/eghajlatvaltozas-klimavalsag-magyarorszag-csapadek-elozlas/>
3. Rác Z. (2018): <https://www.agrarunio.hu/hirek/4102-amalgerol-ha-stressz-van-es-ha-nincs?jjj=1634883541322>
4. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/onion/en/>
5. <https://www.gurneys.com/product/onion-set-sturon>
6. <https://www.onions-usa.org/all-about-onions/consumption/>
7. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
8. <https://courses.lumenlearning.com/wm-nmbiology1/chapter/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/>
9. <http://www.biofizika.aok.pte.hu/data/2019/0207/513/Spektrofotometria%20handout.pdf>

10. <https://www.gardenersworld.com/plants/allium-cepa-sturon/>