

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

TAKÁCS GEORGINA

MOSONMAGYARÓVÁR

2024

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
ALBERT KÁZMÉR MOSONMAGYARÓVÁRI KAR
MOSONMAGYARÓVÁR
NÖVÉNYTUDOMÁNYI TANSZÉK
Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer-tudományi
Multidiszciplináris Doktori Iskola

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Varga László DSc

egyetemi tanár

Haberlandt Gottlieb Növénytudományi

Doktori Program

Programvezető:

Prof. Dr. Pinke Gyula DSc

Témavezetők:

Prof. Dr. Ördög Vince DSc

professzor emeritus

Dr. Gergely István PhD

egyetemi docens

**Mikroalga kezelések hatása az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termésére
és vízhiány stressz tűrésére**

Készítette:

Takács Georgina

Mosonmagyaróvár

2024

Mikroalga kezelések hatása az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termésére és vízhiány stressz tűrésére

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
Széchenyi István Egyetem, Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer-
tudományi Doktori Iskola
Haberlandt Gottlieb Növénytudományi program

Írta:
Takács Georgina

Témavezető: **Prof. Dr. Ördög Vince DSc**
Elfogadásra javaslom (igen / nem) (aláírás)

Dr. Gergely István PhD
Elfogadásra javaslom (igen / nem) (aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton %-ot ért el,
Mosonmagyaróvár,

a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen / nem)

Első bíráló (Dr. Bizóné Prof. Dr. Sárdi Katalin) igen / nem (aláírás)

Második bíráló (Prof. Dr. Vörös Lajos) igen / nem (aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.)) igen / nem (aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján %-ot ért el
Mosonmagyaróvár,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése

.....
Az EDT elnöke

Tartalomjegyzék

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	9
KIVONAT.....	11
ABSTRACT	13
1. BEVEZETÉS	15
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	17
2.1. A búzanövény morfológiája és fenológiája.....	17
2.2. Növényi mechanizmusok a szárazság stressz kivédésére	21
2.3. A búza vízigénye	23
2.4. A vízhiány hatása a búzanövény növekedésére és fejlődésére	26
2.5. A vízhiány élettani és biokémiai hatása a búzanövényre.....	30
2.6. Módszerek a növény vízellátottságának és vízhiány stressz állapotának mérésére	34
2.7. Biostimulánsok alkalmazása a növénytermesztésben.....	38
2.7.1. Huminanyagok	39
2.7.2. Tengeri algakivonatok.....	41
2.7.3. Fehérje hidrolizátumok	42
2.7.4. Mikroalgák	43
3. CÉLKITŰZÉSEK	47
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	48
4.1. Kísérleti növény	48
4.2. Mikroalgák	49

4.2.1. Mikroalgák fenntartása.....	50
4.2.2. Mikroalgák szaporítása	51
4.2.3. Liofilezés, mélyhűtés, tárolás, szonikálás	53
4.2.4. Citokinin- és auxin-szerű hatás kimutatása.....	53
Citokininek kimutatása uborka szikleveél növekedési teszttel.....	54
Auxinok kimutatása uborka szikleveél gyökeresedési teszttel	54
4.3. Szabadföldi kísérletek és a kísérleti terület talajtani adottságai, tápanyag utánpótlása.....	55
4.4. Vizsgált növényi paraméterek és vizsgálati módszerek	61
4.4.1. Gyökér száraz tömeg mérés	61
4.4.2. Levél relatív víztartalom meghatározás	61
4.4.3. Levél klorofill tartalom meghatározás	61
4.4.4. Levél prolin tartalom meghatározás.....	62
4.4.5. Levél malondialdehid tartalom meghatározás.....	63
4.4.6. Levél vízpotenciál mérés.....	64
4.4.7. Betakarításkor mért paraméterek	64
4.5. Statisztikai értékelés	65
5. EREDMÉNYEK	66
5.1. A kísérleti terület meteorológiai adatai	66
5.2. Vizsgálati eredmények	67
5.2.1. Az MACC-612 Nostoc piscinale cianobaktériom kezelés hatása a három kísérleti évben	67

Gyökér száraz tömeg.....	67
Levél relatív víztartalom	69
Levél klorofill tartalom	70
Levél prolin tartalom.....	72
Levél malondialdehid tartalom	74
Levél vízpotenciál.....	74
Termés és termésелеmek	77
5.2.2. Az MACC-430 <i>Tetracystis</i> sp. zöldalga kezelés hatása a három kísérleti évben	82
Gyökér száraz tömeg.....	82
Levél relatív víztartalom	82
Levél klorofill tartalom	83
Levél prolin tartalom.....	86
Levél malondialdehid tartalom	87
Levél vízpotenciál.....	88
Termés és termésелеmek	92
5.2.3. Az MACC-755 <i>Chlorella vulgaris</i> zöldalga kezelés hatása a három kísérleti évben	92
Gyökér száraz tömeg.....	92
Levél relatív víztartalom	92
Levél klorofill tartalom	94
Levél prolin tartalom.....	102
Levél malondialdehid tartalom	103
Levél vízpotenciál.....	104
Termés és termésелеmek	106

5.2.4. Az MACC-1 Chlorella vulgaris zöldalga kezelés hatása két kísérleti évben, valamint szennyvizen szaporított egy kísérleti évben	112
Termés és terméselemek	112
6. EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA	118
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	137
8. ÖSSZEFOGLALÁS	139
9. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK	143
10. IRODALOMJEGYZÉK	145
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	164

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ABS - Abscisic acid - abszcizinsav

B - Bokrosodás

BBCH skála - Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und

Chemische Industrie - Szövetségi Biológiai Intézet, Szövetségi

Növényfajta - hivatal és vegyipar

BG-11 - BG-11 tápoldat

C - *Chlorella vulgaris*, MACC-755

C1 - *Chlorella vulgaris*, MACC-1

DW - Dry weight - száraz tömeg

FW - Fresh weight - friss tömeg

GA₃ – Gibberellic acid – gibberellin sav

GK - Gabona Kutató (Gabona Kutató Intézet, Szeged)

GOSZ-VSZT-NAK - Gabonatermesztők Országos Szövetsége - Vetőmag

Szövetség Szakmaközi Szervezet és Termék tanács - Nemzeti

Agrárgazdasági Kamara

IAA - Indole-3-acetic acid - indol-3-ecetsav

IBA - Indole-3-butyric acid - indol-3-vajsav

K - Kalászhányás

MACC - Mosonmagyaróvár Algal Culture Collection -

Mosonmagyaróvári Algagyűjtemény

MDA - Malondialdehyde – malondialdehyd

N - *Nostoc piscinale*, MACC-612

NIR - Near infrared - közeli infravörös

PH - Protein hydrolysates - fehérje hidrolizátumok

P_p - Patch pressure - ZIM mérő eszközzel mért nyomás
ROS - Reactive Oxygen Species - reaktív oxigén fajták
RWC - Relative Water Content - relatív víztartalom
RWP - Race-Way Pond - nyitott algatermesztő medence
T - *Tetracystis sp.*, MACC-430
TBARS - Thiobarbituric acid – tiobarbitursav
TCA - Trichloroacetic acid - triklór ecetsav
TLC - Thin-Layer Cascade - vékony réteg alga termesztő
TW - Turgescens weight - turgescens tömeg
V - Virágzás
ZIM - Zimmermann Irrigation Monitoring - Zimmermann vízpotenciál mérő eszköz

KIVONAT

A globális felmelegedés miatt kialakult extrém hőmérsékleti körülmények, mint a szárazság és a magas átlag hőmérséklet nagy kihívást jelent a gazdálkodók számára nem csak Magyarországon, hanem a világ számos részén. A globális klímaváltozás növeli az abiotikus és biotikus stressz hatását, ami csökkentheti a növények hozamát. A tengeri algakivonatok jótékony hatását az 1940-es években fedezték fel. A cianobaktériumok és eukarióta mikroalgák képesek bioaktív vegyületeket termelni, melyeknek növény biostimuláló hatása van. A mikroalgákat alkalmazzák természetes trágyaként, talaj kondicionálóként, biopeszticidként és növény biostimulánsként.

A hatéves (2015-2021) kísérletet Nyugat-Magyarországon a Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar Tangazdaságában állítottam be. A kísérleti parcellák 10 m² nagyságúak voltak. A kísérletet véletlen blokk elrendezésben négy ismétlésben állítottam be. Kísérleti növény 2015-2019-ig a „Bőség”, míg 2020/2021-ben a „GK Csillag” őszi búzafajta volt. A növényeket *Nostoc piscinale* (MACC-612, korábban *Nostoc entophytum*) cianobaktériummal, továbbá *Tetracystis sp.* (MACC-430) és *Chlorella vulgaris* (MACC-755 és MACC-1) zöldalgákkal kezeltem bokrosodáskor (B), kalászhányáskor (K) és virágzáskor (V), levélpermetezéssel különböző koncentrációban (0,1; 0,3; 1,0; 2,0 g L⁻¹).

A vizsgálatok célja az volt, hogy az algákat a növény melyik fenofázisában és milyen koncentrációban kijuttatva érhető el a legjobb biostimuláns hatás, a legnagyobb termés, ez milyen terméselemekkel

magyarázható, valamint a kezelések hatására milyen élettani és vízhiány stresszre jellemző változások mennek végbe a növényben.

A vizsgálatok során a legjobb hozamot a cianobaktériummal kezelt parcellákon a 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelések, míg a zöldalgákkal végzett kezelések során a 0,1; 0,3; 1,0 g L⁻¹ (B és B, K), míg az utolsó évben a BG-11 tápoldatban és RWP termesztőben szaporított algabiomassza 1,0 g L⁻¹ (B) koncentrációban volt a leghatásosabb. A termés elemek közül a kalász szám, kalázhossz, szemszám/kalász és az ezerszem tömeg az egyes mikroalgáknál eltérő módon járultak hozzá a nagyobb terméshozam kialakulásához. A kezelésekre adott válaszok közül a növény prolin, klorofill, malondialdehid, relatív víztartalom értékei szinte mindegyik kezelésnél nagyobbak voltak, mint a kontroll. A mikroalga kezelések hatással voltak a növényben zajló élettani folyamatokra.

ABSTRACT

Extreme temperature conditions due to global warming, such as drought and high average temperatures, are a major challenge for farmers not only in Hungary but in many parts of the world. Global climate change is increasing the effects of abiotic and biotic stress, which could reduce crop yields. The beneficial effects of seaweed extracts were discovered in the 1940s. Cyanobacteria and eukaryotic microalgae are able to produce bioactive compounds that have a plant biostimulating effect. Microalgae are used as natural fertilizers, soil conditioners, biopesticides and plant biostimulants.

The six year (2015-2021) experiment was set up in the Economics of the Széchenyi István University, Faculty of Albert Kázmér Mosonmagyaróvár in Western Hungary. The experimental plots were 10 m² in size. I set up the experiment in a random block layout in four replicates. The experimental plant was the “Bőség” variety from 2015 to 2019, while the “GK Csillag” was the winter wheat variety from 2020 to 2021. The plants were treated with *Nostoc piscinale* (MACC-612, formerly *Nostoc entophyllum*) cyanobacteria and *Tetracystis sp.* (MACC-430), *Chlorella vulgaris* (MACC-755 and MACC-1) were treated with green algae during tillering (T), ear emergence (E) and flowering (F) by leaf spraying at different concentrations (0.1; 0.3; 1.0; 2.0 g L⁻¹).

The aim of the studies was to determine which phenophase and concentration of algae in the plant to achieve the best biostimulant effect, the highest yield, which can be explained by the changes in physiological and water stress in the plant as a result of the treatments.

In the studies, the best yields on the cyanobacteria treated plots were 0.3 and 1.0 g L⁻¹ (T, E) treatments, while the green algae treatment was 0.1; 0.3; 1.0 g L⁻¹ (T and T, E) treatments was the best, while in the last year, algal biomass propagated in BG-11 medium and RWP grower was the most effective at a concentration of 1.0 g L⁻¹ (T). Among the crop elements, the ear number, the ear length, the number of grains/ear and the thousand grain weight contributed differently to the development of higher yields in each microalgae. Proline content, relative water content, malondialdehyde, chlorophyll values in the plant were higher than in the control for almost all treatments. Microalgae treatments had an effect on physiological processes in the plant.

1. BEVEZETÉS

A szárazság stressz világszerte az egyik legjelentősebb kihívás a fenntartható mezőgazdaságban. A mezőgazdasági termelés szempontjából fontos a gazdasági növényekben stressz körülmények között lejátszódó élettani folyamatok és védekező mechanizmusok megismerése, továbbá eljárások kidolgozása a növények stressztűrő képességének a növelésére. A szárazság stresszre a növények válaszreakciói fajtól, genotípustól, a vízvesztés tartamától és mértékétől, továbbá a fejlődési szakasztól függ. A búza 480-550 mm csapadékot igényel, amelyből a legtöbb vizet a virágzás és megtermékenyülés (május - június) időszakában veszi fel. A terméseredményt az éves csapadék mennyisége mellett leginkább annak megoszlása és egyéb tényezők, összefoglalóan az évjárat hatása és az alkalmazott fajta jelentősen meghatározza.

A növények különböző morfológiai, fiziológiai, biokémiai és molekuláris választ adnak a szárazság stresszre, pl. nagyobb gyökérszétel, kisebb levélfelület, sztómazáródás, csökkent fotoszintézis és vízpotenciál, valamint növekvő prolin termelés és abszcizinsav felhalmozódás. A vízhiány stressz mértéke a vízpotenciállal jellemezhető. Ezek mérésére számos módszer létezik, a leggyakrabban használt a Scholander-féle nyomáskamra, de egyre elterjedtebb a ZIM-szonda alkalmazása, ami a levelek eltávolítása nélkül teszi lehetővé a vízpotenciál mérését. Az őszi búza szárazságtoleranciája növelhető hagyományos nemesítési eljárásokkal, ami időigényes, évekig tartó kutatást igényel. Eredményességét korlátozza az, hogy a szárazságtűrés

komplex tulajdonság, melyet számos gén szabályoz és a környezet is befolyásol. Az utóbbi időben a termés és a növények száraságtűrésének a növelésére elterjedt a biostimulánsok alkalmazása. Ezek közé tartoznak egyebek között a tengeri algakivonatok és legújabban a mikroalga készítmények is. Kutatómunkám során egy cianobaktérium (*Nostoc piscinale*, MACC-612) és három zöldalga (*Tetracystis sp.*, MACC-430, *Chlorella vulgaris*, MACC-755 és MACC-1) hatását vizsgáltam egy őszi búza fajtára.

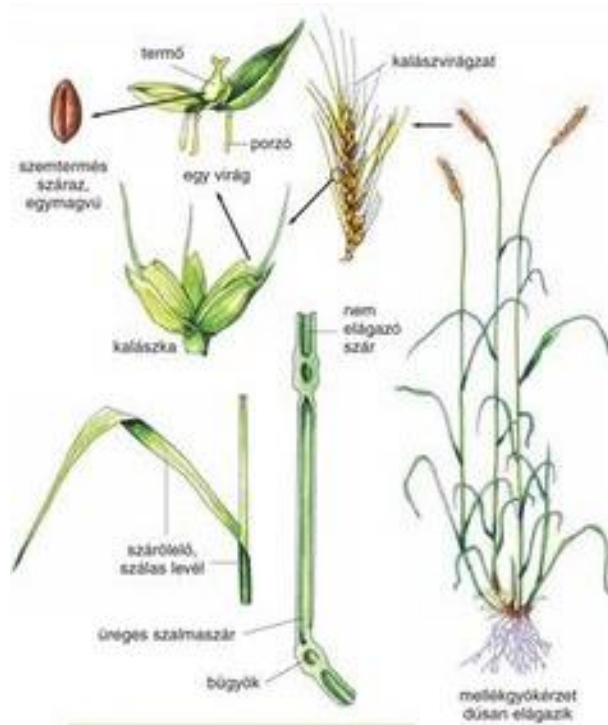
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A búzanövény morfológiája és fenológiája

A búzának (*Triticum aestivum* L.) több változata és két formája van, az őszi és a tavaszi búza, de gazdaságilag jelentősebb az őszi búza a több termés miatt. A búzának bojtos gyökérrendszere van, amit az elsődleges és másodlagos gyökerek alkotnak. A növény gyökerei a 40-60 cm-es termőréteget hálózják be, de 200 cm mélyre is lehatolnak. A búza főhajtásból és mellékajtásokból áll. A búzának szalmaszára van, amit a szárcsomók (nódusz) szártagokra, internódiumokra osztanak (Kováts et al., 1981). A növény magassága 80-160 cm között változik. A búza levélzetét a szárcsomókból kiinduló levélhüvelyeken alakítja ki. A levéllemez nagysága, alakja fontos fajtabélyeg.

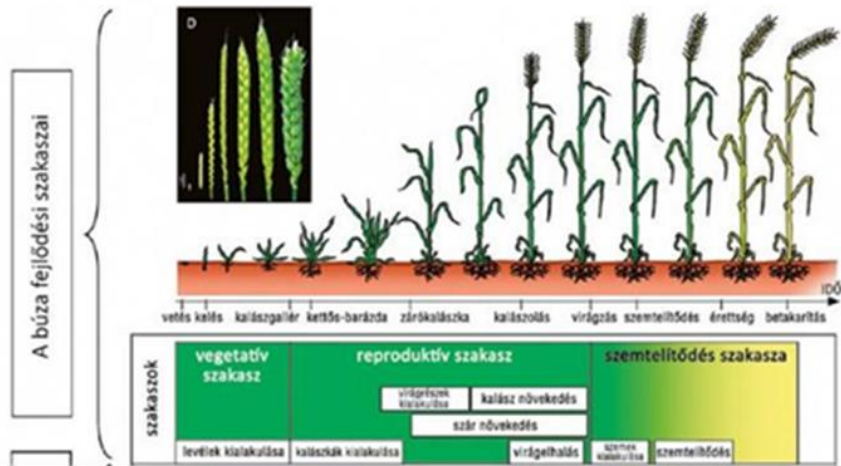
A búza virágzata a kalász (füzéres füzér), a kalászkák (füzérkék) közvetlenül a kalászorsón ülnek. A kalász nagysága, tömörsége fajtabélyeg. A kalászkákat 2-2 pelyvavevél védi, melyen belül 3-5 virág van. A búza virága kétivarú, általában önmegtermékenyülő (autogam) növény (Antal, 2005) (1. ábra).

A búzának szemtermése van, ahol a mag- és a terméshéj szorosan összenőtt. A szemtermés nagysága a fajtára jellemző, amit az évjárat és a termőhely is befolyásol.



1. ábra: A búza gyökérszete, szára, kalászvirágzata, szemtermése (URL1).

A búza egyedfejlődése vegetatív és generatív szakaszra osztható (2. ábra). Az első szakaszban csak zöldtömegében gyarapodik, míg a második szakaszban a virágzat differenciálódása történik. A búzánál 6 fő fenológiai fázist különböztetünk meg, Radics és munkatársai (2010) megállapítása szerint, melyek a következők:



2. ábra: Az őszi búza fejlődési stádiumai (Szabó, 2021).

Kelés: A csírázás kezdetétől a kelés befejezéséig tart. A száraz búzaszemek tömegük körülbelül 50 %-ának megfelelő mennyiségű vizet vesznek fel a csírázás megindulásához. A megduzzadt szemben már 0 °C körül megindul a csíra növekedése és a tartalék tápanyagok átalakulása, de az optimális hőmérséklet 15 és 20 °C között van. A csírázást és a kelést a magágy minősége és a talaj nedvességtartalma is befolyásolja a hőmérsékleten kívül. A vetés után 12-14 napra kel ki a búza optimális körülmények között.

Bokrosodás: Az első mellékhajtás megjelenésétől a szárba indulásig tart, 2-4 °C-on is megindul, de az optimális a 13-18 °C-os hőmérséklet. A kelés és a bokrosodás között általában 15-25 nap telik el. A bokrosodás időtartama 50-60 nap, a fenofázis hossza 4-5 hónap. A bokrosodás folyamata ősszel kezdődik meg, azonban a szervdifferenciálódás mindig tavasszal megy végbe, ezért is választottam az első kezelés idejét a bokrosodásra. Ilyenkor alakul ki a kalásonkénti kalászkaszám, ami a

szemtermésre nézve meghatározó. Fontos ebben a fenofázisban a megfelelő nitrogénellátás, amelyet a kora tavaszi fejtrágyázással biztosítanak.

Szárba szökés: Az első nódusz megjelenésétől a kalászolás kezdetéig tart. A tenyészőkúpon a kalászkák differenciálódnak, kialakulnak a virágok. A szárba indulás vernalizáció hatására -1 és $+1$ °C közötti hőmérsékleten 40-60 nap alatt megy végbe. Meleg tavaszon a szárba szökés előbb megindul. A meleghez szárazság társul, a szár alacsony lesz. A mellékajtások kialakulása után indul meg a főhajtás hosszanti növekedése. A generatív szervek differenciálódásához, a búzának a fényszakaszon is át kell esnie. Ősszel rövid, tavasszal és nyáron hosszúnappalos körülmények között fejlődik az őszi búza.

Kalászhányás: Az első kalász megjelenésétől a teljes kalászolásig tart. A virágok redukciója zajlik és eldől a termékenyülő virágok száma. A növény fejlődésének másik jelentős szakasza a kalászhányás, ezért lett a második algás kezelés időpontja. Ilyenkor a kalász már teljesen kifejlődött, a fejlett kalász kitolódik a levélhüvelyből. Rövid ideig tart, a vetési időtől függően 4-9 napig. Kalászolás előtti 14-18 nap kritikus, ilyenkor a magas hőmérséklet hátrányos.

Virágzás: A portokok kalászkákból való kilépésétől az összes kalászka elvirágzásáig tart. A virágzás előtti folyamatok a területegységre eső szemszámot, a virágzás utániak pedig az átlagos szem tömeget határozzák meg, ezért választottam az algás kezelés harmadik időpontjának. A kalászkákban 3-5 virág termékenyül meg, de teljes szemmé csak 2-3 fejlődik ki.

Érés: Az érésnek négy fokozatát különböztetjük meg:

Zöld, vagy tejes érés: A gabonatábla még zöld, a szár töve kezd elsárgulni. A termés belseje tejszerűen fehér. A szemben még kb. 50 % víz van és a tápanyag bevándorlás még zajlik. A csíra kialakult, de a fejlődése még folyamatban van.

Viasz, vagy sárgaérés: A szár és a levelek is sárgák. A szemek színe már jellegzetes, körömmel még elvághatók, a belsejük viasz-szerű, víztartalmuk 20-25 %.

Teljes érés: A szem víztartalma lecsökken 13-15 %-ra, körömmel nem vágható ketté. A tápanyag bevándorlás befejeződött.

Holtérés: A növény lábón hagyásakor következik be, a kalász törékennyé válik, a szem könnyen kipereg, romlik a minősége.

2.2. Növényi mechanizmusok a szárazság stressz kivédésére

A szárazság túlélését a növények alkalmazkodó képessége teszi lehetővé, amit anyagcseréjük, élettani folyamataik és morfológiájuk megváltoztatásával érnek el. A 1. táblázat foglalja össze a vízhiány stressz okozta morfológiai-, élettani- és biokémiai változásokat. Az akklimatizáció során a növekedés mértéke, a hajtás-gyökér arány eltolódása, a fotoszintézis intenzitásának szabályozása, valamint a stressz által indukált ozmotikumok, védő fehérjék játszanak fontos szerepet. Ezeket a folyamatokat génexpressziós változások szabályozzák (Llyas et al., 2021).

1. táblázat: Vízhiány stressz hatása a búzára (Nezhadahmadi et al., 2013; Shiran and Wan, 2010; Karthikeyan et al., 2007).

Vízhiány stressz		
↓	↓	↓
Morfológiai változások	Élettani változások	Biokémiai változások
<ul style="list-style-type: none"> - kisebb növény - kisebb levélfelület - kevesebb levél és élettartam csökkenés - korlátozott levél extenzió - szár hossz csökkenés - korai érés - kevesebb hozam stb. 	<ul style="list-style-type: none"> - sztóma záródás - csökkent fotoszintézis - oxidatív stressz növekedése - levél vízpotenciál, sztóma konduktancia és relatív víztartalom csökkenése - transzspiráció változás stb. 	<ul style="list-style-type: none"> - rubisco, fotokémiai hatékonyság és klorofill tartalom csökkenése - reaktív oxigén formák termelése - prolin termelés - abszcizinsav felhalmozódás stb.

A növények a szárazsághoz való alkalmazkodás alapján négy csoportba sorolhatók (elkerülő, a menekülő, a tűró és a helyreállító típusba) (Llyas et al., 2021), melyek közül a két fő stratégiája a szárazságtűrés és a szárazságkerülés. A szárazságtűréskor a növények különböző élettani folyamatok szabályozásával például ozmotikumokat termelnek az úgynevezett ozmotikus kiigazításhoz. Kedvezőbb vízállapotot tudnak fenntartani szárazság stressz esetén azzal is, hogy minimalizálják a vízvesztést (Richards, 1996) és maximalizálják a vízfelvételt például fokozott gyökérnövekedéssel (Barnabás et al., 2008). Erdei és munkatársai (2002) egy szárazságtűrő tájfajta a „Kobomugi” és egy mérsékelten szárazságtűrő fajta a „GK Öthalom” stresszreakcióit hasonlította össze. A két fajta között vízpotenciálban, szénhidrát

akkumulációban jelentős különbséget találtak. A szárazságkerülés során a növény olyan élettani folyamatokat szabályoz, mint például a sztóma-működés szabályozása és a gyökérzet fejlődése.

A szárazság stresszre a növények molekuláris, sejt és élettani szinten is reagálnak. A válasz reakció fajtól, genotípustól, a vízvesztesség tartamától és mértékétől, a fejlődési szakasztól, a sejt típusától függ (Barnabás et al., 2008).

2.3. A búza vízigénye

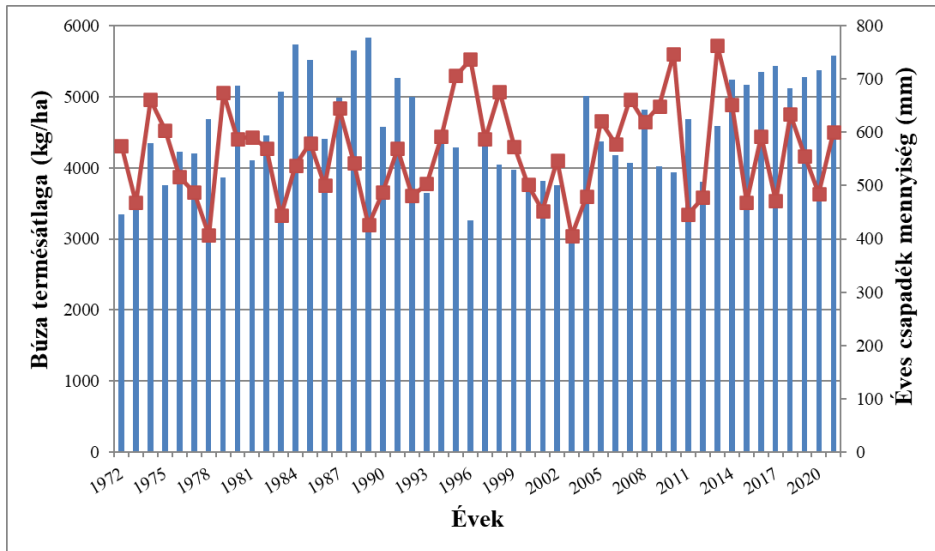
A búza (*Triticum aestivum* L.) az egyik legrégebb óta termesztett és fogyasztott gabona a világon (Farooq et al., 2011). Az Európai Unióban 2022 nyarán 21 millió hektárról takarítottak be őszi búzát (URL2). Magyarországon 951 ezer hektárról 4,2 millió tonna búzát takarítottak be, ami 4400 kg ha⁻¹ termésátlagot jelent.

A globális klímaváltozás és a növekvő vízhiány a termesztett növényeket egyre nagyobb mértékű szárazság stressznek teszi ki (Daryanto et al., 2016). Ezért fontossá vált a növények vízfelvevő és párologtató rendszerének, valamint élettani változásainak minél pontosabb megismerése és az ismeretek felhasználásával a növények vízvesztésének csökkentése, szárazságtűrésének növelése.

A környezeti hatások befolyásolják a növények növekedését, fejlődését és termőképességét. Ha a környezeti hatások az adott fajra/fajtára jellemző optimumtól eltérnek, pl. nagyon alacsony vagy nagyon magas hőmérséklet vagy vízhiány, akkor a növény stresszhelyzetbe kerül és helyhez kötött életmódja miatt alkalmazkodik a szélsőséges környezeti feltételekhez. A stressz megváltozott fiziológiai

állapothoz vezet, amit különböző tényezők okoznak, ezzel megváltoztatva a növényi életfolyamatok egyensúlyát (Gaspar et al., 2002). A vízhiány azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló vízmennyiség nem elegendő a növény teljes életciklusának befejezéséhez (Zhu, 2002). A szárazság stressz azzal, hogy befolyásolja a növények fejlődését és növekedését hatással van a termőképességre és ezzel az egyik legkomolyabb fenyegetést jelenti a világ mezőgazdaságára (Subhani et al., 2011).

A búza mérsékelt vízigényű növény, 480-550 mm csapadékot igényel. Transzspirációs koefficiense $300-350 \text{ L kg}^{-1}$ szárazanyag. A csapadék mennyiségén túl annak eloszlása is lényeges a növény számára. A vízellátás szempontjából az őszi időszak hazánkban kritikusnak mondható, mivel gyakran száraz, így rossz kelést, egyenetlen búza állományt eredményez (URL3). A vízfogyasztása a szárnövekedéstől a termékenyülésig, vagyis április közepétől - június elejéig intenzív (Harmati, 1987). A legtöbb vizet a virágzás és megtermékenyülés (máj. 21. - jún. 10.) időszakában veszi fel, de az érés előtti időszak is jelentős a vízfogyasztás szempontjából. A tavaszi vízigényt a télen lehullott csapadék fedezi (Antal, 2005). Május, június hónapokban a szükséges csapadék mennyiség átlagosan 115 mm. Az 3. ábra az elmúlt 50 év éves csapadék mennyiségét és a termésátlagokat mutatja be Mosonmagyaróváron. A két adatsor között még tendenciaszerű összefüggés sem figyelhető meg.



3. ábra: Az átlagos évi búzatermés és csapadék mennyiség Mosonmagyaróváron 1972 és 2021 között. Az oszlopok a csapadékot, a vonal a termést mutatja (URL4, Varga-Haszonits, 1977).

A legkevesebb termés 1996-ban 3260 kg ha^{-1} volt, pedig a 737 mm éves csapadék mennyiség meghaladta a búza éves vízigényét, de megoszlása nem volt kedvező. A bőséges téli csapadék (114 mm) mellett májusban 9% -kal, júniusban pedig 50% -kal kevesebb csapadék hullott az optimális mennyiségnél. A legnagyobb termés 1989-ben 5830 kg ha^{-1} volt, bár a 426 mm éves csapadék mennyiség nem érte el a búza számára ideális mennyiséget, sőt a megoszlása sem volt kedvező: májusban 44% -kal, júniusban 52% -kal volt kevesebb; a téli csapadék mennyisége összesen 42 mm volt, ami nem fedezte a tavaszi vízigényt. A kiemelt adatok azt sugallják, hogy a terméseredményt az éves csapadék mennyisége mellett leginkább annak megoszlása és egyéb tényezők, összefoglalóan az évjárat hatása és az alkalmazott fajtás is jelentősen

meghatározza. Ágoston és Pepó (2005) három érési csoportba tartozó búzafajtánál szignifikáns összefüggést mutattak ki a terméseredmény és a márciusi-áprilisi hónapok csapadéka és hőmérséklete között.

2.4. A vízhiány hatása a búzanövény növekedésére és fejlődésére

A Közép-Európára vonatkozó éghajlat előrejelző modellek egyre gyakoribb aszályos időszakokat jeleznek (Baranyiova et al., 2014). Ennek a jelentősége a jövőben növekedni fog, mivel a várhatóan csökkenő átlagos csapadék mennyiség mellett az emelkedő átlaghőmérséklet növeli az evapotranszpirációt (Lobell et al., 2008). A növényzet evapotranszpirációjának 30-70 %-át a talaj párolgása adja a félszáraz területeken (Singh et al., 2011). A talajfelszíni víz párolgása, az evaporáció csökkenti a növény számára felvehető víz mennyiségét, viszont növeli a levegő páratartalmát, továbbá csökkenti a talajfelszín közelében és növeli a felső levelek körül a levegő hőmérsékletét (Leuning et al., 1994). Ezeken a közvetett és közvetlen hatásokon keresztül az evaporáció képes csökkenteni a növény párologtatását, vagyis transzspirációját feltételezhetően anélkül, hogy az megváltoztatná a teljes evapotranszpirációt (Singh et al., 2014).

A búzának a teljes növekedési időszakban szüksége van vízre, de vannak olyan szakaszok, amelyek vízhiánya jelentős hozam csökkenést okozhat (Araus et al., 2002). A tenyészidőszak korai szakaszában súlyos következményekkel járhat az aszály, mivel csökkenti a növények növekedését (Jaleel et al., 2008). A kora tavasszal jelentkező szárazság a másodlagos gyökérszét kifejlődését és a bokrosodást érinti hátrányosan (Harmati, 1987; Araus et al., 2002). A vízhiány az oldalhajtások

megjelenését és a megtermékenyülést is késlelteti, ami termés kieséshez vezet (Mosaad et al., 1995). A vízhiány mellett az ebben az időszakban jelentkező vízfelesleg negatív hatással van a termés minőségére, mivel növeli bizonyos betegségek fertőzésének veszélyét és a gyökér oxigénhiányához vezet, de nehezíti a talajmegmunkálást is.

A korábban érő fajták általában ellenállóbbak az aszály sújtotta területeken, mert elkerülik a száraz periódust, ami viszont korábbi virágzással jár együtt és csökkentheti a terméshozamot (Singh et al., 2010). Néhány fajta nagyobb lombozatot alakít ki, így képes csökkenteni a talajból elpárolgó víz mennyiségét. A szárazságtűrő képességet növeli a kiterjedt gyökérrendszer is (Rizza et al., 2004). A víz hiánya a gyökérnyak kialakulásakor, a szárba induláskor és a korai szemtelítődési időszakban jelentős hozamvesztést eredményez (Mahpara et al., 2014). Zhang és Oweis (1999) szerint a búza a szárba indulástól a kalászoslásig és a kalászoslástól a tejes érésig bekövetkező vízhiány stresszt kevésbé tűri. Baser és munkatársai (2004) vizsgálták az őszi búza hozamát és 40 %-os hozameséket találtak vízhiányos körülmények között a kontrollal összehasonlítva. Általában a növényi ökoszisztémában a víz a legfőbb meghatározója a hozamnak, így a búzában is (Nix and Fitzpatrick, 1968).

Saini és Westgate (2000) leírták, hogy a szemfejlődés korai szakaszában, amikor a sejtszétválás intenzív, a szárazság stressz csökkenti az endospermiumban a sejtszámot és emiatt a raktározható tápanyag mennyisége is csökken. Mindez hatással van a szemtelítődés mértékére és ütemére. A szárazság a szemfeltöltődés befolyásolásán túl, korábbra hozhatja az érést, így a szemek mérete lecsökkenhet, mivel az

érés ideje lerövidül (Kobata et al., 1992; Altenbach et al., 2003). A növények a szárban és a levelekben tápanyagokat halmoznak fel, melyet vízhiány esetén mobilizálnak a magképződéshez (Chaves et al., 2002), ezzel megnövelve a feltöltődés mértékét (Yang et al., 2000). A virágzás előtti fejlődési szakaszban a vízhiány csökkenti a növényenkénti kalászok és a kalásonkénti szemtermés számát (Mary et al., 2001; Khan and Naqvi, 2011). A virágzást követő vízhiány hatására lerövidül a szemtelítődés ideje (Hoffmann et al., 2006) és ezzel csökken a szemek tömege (Gupta et al., 2001), mivel a virágzást követő két hét során halmozódik fel a szárazanyag 90 %-a (Simmons and Crookston, 1979). A virágzás utáni időszakban a szárazság az akkumuláció mértékét nem befolyásolja, azonban annak idejét jelentősen lecsökkenti (Panozzo et al., 2001; Triboï et al., 2003). Búzánál az anthézis néhány nappal azután történik, hogy a kalász kiemelkedik a levélhüvelyből. A virágzás során számos folyamat játszódik le néhány perc alatt. A pollen a portokokból a bibére esik, majd a termőben, kettős megtermékenyítés történik az embriózsákban. A megtermékenyülés utáni 11-16. napon megkezdődik a szemek feltöltődése (Berger, 1999; Faragóné Guóth, 2009). A búzában a vízhiánya kisebb szemtermést és csökkent keményítőtartalmat eredményez (Ahmadi and Baker, 2001).

A magas hőmérséklet hazánkban leggyakrabban a kalászolás utáni időszakban okoz stresszhatást, ezzel csökkentve a termésmennyiséget. A termés csökkenés jelentősebb akkor, ha a stressz hirtelen következik be és a szemtelítődés korai szakaszában jelentkezik, mintha az a növényeket fokozatosan, a szemtelítődés későbbi fázisában éri (Stone and Nicolas, 1995). A szemtelítődéskor jelentkező kevés eső

és a magas hőmérséklet a szántóföldön sokszor együtt fordul elő, ami növeli az evapotranszpiráció mértékét és vízhiányt okoz a növényekben. Plaut és munkatársai (2004) szárazság-, majd hőstressznek tettek ki különböző búzafajtákat virágzás után 8 nappal és vizsgálták a levelek, a szár és a kalász száraztömegének változását. Kísérletükben a vízhiány nem, míg a magas hőmérséklet szignifikánsan csökkentette a szemtermést. Magas hőmérséklet hatására felgyorsulnak az öregedési folyamatok és a gabonaféléknél lerövidül a szemtermés kifejlődésének az ideje (Rahman et al., 2009). A búzában a szemtömeg és a szemszám is érzékeny a hőstresszre, ugyanis virágzáskor a hőmérséklet növekedésével a kalázonkénti szemek számának a csökkenése figyelhető meg (Ferris et al., 1998).

A fajták csoportosíthatók őszi vagy tavaszi típus szerint. A teljes vegetációs időszak 100-130 nap a tavaszi búzánál, míg az őszi búzánál 180-250 nap az érésig (URL5). Azokon a területeken, ahol a búzatermesztésben a víz a korlátozó tényező (Oweis et al., 2000) szárazság tűrő vagy szárazságra érzékeny fajtákat érdemes alkalmazni. Fábrián és munkatársai (2011) egy szárazságra érzékeny, „Cappelle Desprez” és egy toleráns, „Plainsman V” búza fajtát vizsgáltak a meiózis, anthézis és a korai szemfejlődés idején előidézett szárazság stressz körülmények között. A kísérlet rávilágított arra, hogy a szárazságtűrő fajta kalázonkénti szemszámát csak a korai szemfejlődéskor előidézett vízhiány stressz csökkentette szignifikánsan, míg az érzékeny fajtánál mindhárom fázisban előidézett stressz hatására szignifikáns volt a csökkenés. Vízhiánykor a hozam csökkenés általában kisebb a stressztűrő, mint a vízhiányra érzékeny fajtáknál (Gáspár et al., 2005). A

szárazság tűrő „Plainsman V” búzafajta toleranciájának egyik fontos eleme az ozmotikus adaptáció képessége. Ez lehetővé teszi a felvett víz megtartását, és még kisebb sztómanyitottság mellett is a fotoszintézis fenntartását (Fábián et al., 2011). Fábián és munkatársai (2011) megfigyelték a vizsgált toleráns fajtánál a fiziológiai folyamatok esetében is a jobb regenerációs képességet, mely tulajdonság erős stressz esetén különösen fontos.

2.5. A vízhiány élettani és biokémiai hatása a búzanövényre

A növények vízhiányra adott válasza komplex folyamat. A szárazság által aktivált gének részt vesznek a növény vízleadásának a csökkentésében, a sejt működésének a biztosításában és a károsodások kiküszöbölésében (Hanson and Hitz, 1982).

A növény vízleadása elsősorban párologtatással (transzspirációval) a gázcsere nyílásokon át történik, míg a víz kisebb része a kutikulán keresztül távozik a növényből. A párologtató levelek hőmérséklete alacsonyabb, mint a környezet hőmérséklete a párologtatás hűtő hatása miatt. Ezzel szemben a nem párologtató vagy napsütötte levelek hőmérséklete olykor meghaladhatja a levegő hőmérsékletét (Riberio et al., 2005). A nyomáskülönbség a víz hajtóereje a talajból a levelekbe. A vízgőz távozása a levélből a sztómán keresztül a légkörbe negatív nyomást (tenziót) hoz létre. A leveleken keresztül elpárologtatott víz miatt csökken a növényben a vízpotenciál (Bajji et al., 2001). Ez a gyökerekben fokozott szívóhatást eredményez, a száradó talajból azonban a növény nem tud elegendő vizet felvenni. A növények a párologtatás csökkentésével takarékoskodnak a vízzel és ez kis

mértékben csökkenti a CO₂ bejutását a levélbe, ezzel a fotoszintézis kis mértékben csökken, ami végül csökkenti a biomassza termelést és a terméshozamot.

Az egyik legjelentősebb változás a növényi produkció szempontjából a vízhiány esetén bekövetkező fotoszintézis csökkenés (Yordanov et al., 2000). Ennek elsődleges oka az, hogy a CO₂-fixáció a sztómazáródás miatt gátlódik (Cornic, 2000). Enyhe vízhiány esetén a növény a szövetek relatív víztartalmát (RWC %) változatlan szinten tartja a hatékony fotoszintézis érdekében (Yordanov et al., 2000). A levél relatív víztartalma rossz vízellátás esetén fokozatosan csökken (Chaves, 1991). A levél fotoszintetikus pigmentjeinek (klorofill-a és -b, karotinoidok) mennyisége szárazság hatására csökkenhet (Behera et al., 2002), bár ezt nem minden esetben mutatták ki (Tambussi et al., 2002). A szénhidrát anyagcsere során a növényben felhalmozódó cukroknak és más szerves oldott anyagoknak fontos élettani szerepe van. A szárazságtűrő növények nagyobb koncentrációban képesek cukrokat előállítani, mint a közepes vízigényű növények (Iljin, 1957). Polietilén-glikollal indukált szárazság stressz esetén búzában emelkedett az oldható cukrok mennyisége, míg a keményítő tartalom csökkent (Bogdan and Zagdanska, 2006).

A talaj kiszáradása a gyökerekben abszcizinsav (ABS) termelést indukál, ami hosszabb távon szabályozza a növény védekezését. Az ABS nagyobb vízfelvételt eredményez, késlelteti a vízhiány hatását a hajtásban, végül sztómazáródást előidézve csökkenti a levelek vízvesztését (Barnabás et al., 2008).

Az ABS számos stressz válaszban (pl. szárazság-, só stressz) játszik szerepet, ezért stressz hormonnak is nevezik (Marcotte et al., 1992; Koorneef et al., 1998). A gyökérben már enyhe vízhiány hatására ABS termelődik, ami fokozza a gyökér növekedését (Sharp et al., 2004) és az oldalgöyker képződést (Price et al., 2002). A megnövekedett ABS csökkenő transzspirációt, kisebb leveleket, dúsabb levélszörzetet, vastagabb viaszréteget, csökkent bokrosodást és korábbi kalászolást eredményez (Quarrie and Jones, 1977; Baker and Hunt, 1981; Hall and McWha, 1981; Quarrie, 1982). Kalászoló növényeknél a zászlóslevél ABS termelése összefügg a szemfeltöltődéssel, ugyanis a hormon transzportja a szemekbe innen történik. A fejlődő szemekben az abszcizinsav tartalom hirtelen megemelkedik, majd egy maximum elérése után fokozatosan lecsökken (Yang et al., 2001) és ez a folyamat a zászlóslevélből a szemekbe irányuló tápanyagtranszport sikerének egyik fontos tényezője (Guóth et al., 2009). Stressz esetén a termés hozam szempontjából a zászlóslevelek sikeres akklimatizációja és optimális ABS termelése nagy jelentőségű. Az abszcizinsav az abiotikus stressz toleranciát szabályozza és a növekedést késlelteti (Sreenivasulu et al., 2012).

A transzgénikus növényekben a fokozott ABS termelődés a sztómák záródását, kevesebb víz felhasználást, ezáltal lassúbb hervadást eredményez (Blum, 2015). Szárazság stressz esetén a növény gyökérben, levelében és a fejlődő magvakban ABS képződik. Morgan és King (1984) elsőként írták le, hogy a búza kalászában felhalmozódik az ABS, de aszály esetén a pollen meiózis gyenge vetőmag termelést eredményez. A szárazság stressz csökkenti a zászlós levelek turgorát, de

a kalászokét nem. A nagy ABS koncentráció a kalászokban a zászlós levelekből származik. Az eltérő nemesítésű búza fajták ABS érzékenysége eltérhet (Blum and Sinmena, 1995). Izanloo és munkatársai (2008) *T. aestivum* cv. „Excalibur” szárazságtűrő ausztrál fajttal kísérleteztek ismétlődő vízhiánynak tették ki a növényeket. Nagyobb mértékű ozmotikus szabályozás, nagyobb sztómakonduktancia és kisebb ABS-tartalom volt megfigyelhető a kevésbé ellenálló fajttal szemben.

A növény egyik válasza a vízhiányra ozmolitok, például prolin szintézise, ami lehetővé teszi az úgynevezett ozmotikus hozzáigazítást és ezzel a levelek turgor állapotának fenntartását (Maggio et al., 2002; Singh et al., 2020). A prolin általában a citoplazmában halmozódik fel (Chen and Murata, 2002). Oxidatív stressz esetén a prolin oxidációja gátolt, de a növény rehidratációja után végbemegy a folyamat (Peng et al., 1996). A prolin a szárazság stresszhez való alkalmazkodás indikátora lehet, annak ellenére, hogy különféle stressz hatására is nő a szintje (Shafiq et al., 2019).

A szárazság a növényekben oxidatív stresszt vált ki, ezáltal reaktív oxigénfajták (ROS) keletkeznek, mint például HO•, H₂O₂, ¹O₂ és O₂⁻ szabad gyökök, amelyek hatással vannak a membrán lipidekre, fokozzák a malondialdehid (MDA) tartalmat és a lipidperoxidációt, amely az oxidatív károsodás indikátorának tekinthető (Moller et al., 2007; Farooq et al., 2009). Kasim és munkatársai (2015) kísérleteik során *Sargassum latifolium* és *Ulva lactuca* algával történő kezelések eredményei azt mutatták, hogy a szárazság stressz kezelés az MDA tartalmat növelte, ami a membrán lipid peroxidációnak tulajdonítható. A legnagyobb MDA tartalom a kevert algával (1,5 % *S. latifolium* és 1 %

U. lactuca) 20 % szárazság stressznek kitett növényeknél 100-110 $\mu\text{M g}^{-1}$ f.m. értéket mértek, míg a kontroll 15 $\mu\text{M g}^{-1}$ f.m. volt. Ghafarizadeh és munkatársai (2017) 20 %-os *Nizamuddinia zanardinii* tengeri alga kivonat és karbamid kezelés nélkül mérte a legnagyobb (19,5 mM g^{-1} friss tömeg) MDA tartalmat, a kontrollhoz képest (12,5 mM g^{-1} friss tömeg) ($P < 0,05$ %).

2.6. Módszerek a növény vízellátottságának és vízhiány stressz állapotának mérésére

A növények vízhiányát, nem csupán a csapadékhiány, hanem a magas-, illetve alacsony hőmérséklet és a talaj nagy só koncentrációja miatt csökkent vízfelvétel is okozhatja. A vízhiánnyal szembeni ellenálló képesség kialakulásában szerepet játszó tényezők vizsgálata kiemelt jelentőségű a termelés biztonsága és a gazdaságosság szempontjából. A vízhiányhoz történő adaptáció a turgor fenntartásával lehetséges, ami a vízfelvétel növelésével vagy csökkent vízleadással érhető el. A növény vízállapotának meghatározására többféle mérési módszer létezik. „A vízpotenciál (π) egy rendszer, vagy egy rendszer részében lévő víznek a kémiai potenciálja nyomás értékekben kifejezve, a tiszta víz kémiai potenciáljához viszonyítva” (Taiz and Zeiger, 2006).

A vízpotenciál értékének meghatározására több módszert is kifejlesztettek, mint például a szövet térfogati módszert, a Chardakov-féle módszert (Salisbury and Ross, 1991) vagy a Scholander-féle nyomáskamrát (Scholander et al., 1965). A leggyakrabban használt eszköz a Scholander nyomáskamra, ahol a leolvasott nyomásérték (ellenkező előjellel) megegyezik a növény vízpotenciál értékével (Wei et

al., 2000). A Scholander-féle nyomáskamrán kívül még számos hasonló elven működő eszközt fejlesztettek ki pl. ZLZ5 nyomáskamra, mellyel az őszi búza zászlós levelének mérték a vízpotenciál értékét (Zhang et al., 2015). Shangguan és munkatársai (2000) méréseik alapján a levél vízpotenciál értéke szárazság stressz esetén jelentős csökkenést mutatott. Az előidézett szárazság stressz során jóval kisebb volt a vízpotenciál érték (-1,67 MPa), mint megfelelő öntözési körülmények között (-0,32 MPa).

Vízpotenciál jellemzésére alkalmas a ZIM (Zimmermann Irrigation Monitoring) - szonda, amit már búzánál és repcénél is alkalmaztak (Bramley et al., 2013; Kant et al., 2014). A műszer károsodásmentesen és folyamatosan képes mérni az intakt növényben végbemenő nagyon kicsi turgor változást. A levél egy mozgatható felső és egy nyomásérzékelővel ellátott alsó tórikus mágnes közé kerül. A mágneses erő optimális beállítása a levél vastagságának figyelembevételével történik. A ZIM-szonda a különbséget méri a mágnesek nyomása és a levél turgor nyomása között. A ZIM-szondával mért érték fordítottan arányos a levél turgor nyomásával, vagyis amikor nyitott sztómáknál a levél vizet veszít akkor a vízpotenciált jellemző P_p (patch pressure) érték növekszik és fordítva, csökken, ha a levél vizet vesz fel. A készülék a P_p meghatározása mellett a hőmérséklet, relatív páratartalom, talajnedvesség, napsugárzás és talaj hőmérséklet mérésére is alkalmas, a jeladóhoz kapcsolható megfelelő eszköz segítségével (Zimmermann et al., 2013). A búza hajlamos még vízhiány esetén is nyitva tartani leveleinek gázcserenyílásait (Henson et al., 1989). A párologtatás növekedésével csökken a levél vízpotenciálja és ezzel

egyidejűleg növekszik a P_p . Bramley és munkatársai (2013) vizsgálták a búza napi P_p érték változását kétszeri és háromszori öntözés esetén. Az eredmények alapján a háromszori öntözés nagyobb P_p értékeket eredményezett (35-50 P_p (kPa), mint a kétszeri öntözés.

A növények párologtatása (transzspirációja) a gázcsere nyílásokon (sztómák) keresztül történik, aminek mértéke függ a sztómák számától, azok nyitottsági fokától, a levélfelület nagyságától, a hőmérséklettől, a levegő páratartalmától, a fényintenzitástól, mindazon tényezőktől, amelyek befolyásolják a levélben a széndioxid koncentrációt. A sztómakonduktancia a gázcsere nyílások vízgőzre vonatkoztatott vezetőképessége (Cornic, 2000), a sztómák nyitott állapotával arányos és porométerrel meghatározható. Az egész növényre, illetve levélre jellemző érték több mérés átlagával fejezhető ki. A porométeren kívül hordozható infravörös CO_2 gázanalizátor, pl. LCA-3 (Avola et al., 2008; Shangguan et al., 2000) vagy LI-COR-6400 is használható a sztómakonduktancia mérésére (Zhang et al., 2015; Wang et al., 2013). A LI-COR rendszer használatával 180 - 340 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ értékeket mértek 5 durum búza fajtánál (Monneveux et al., 2006). Az őszi búzában infravörös gázanalizátorral meghatározott sztómakonduktancia (180,2 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) növekedett a jól öntözött és a nitrogénben gazdag környezetben, míg szárazság stressz esetében, még jó nitrogén ellátás mellett is csökkent a sztómakonduktancia (85,7 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Shangguan et al., 2000).

A levél relatív víztartalmának (RWC %) meghatározása gyakran használt és műszert nem igénylő eljárás. Azt fejezi ki, hogy a vizsgált levélben a vízzel telítetthez képest milyen a tényleges víztartalom. A

frissen levágott (friss tömeg, FW), majd egy napig desztillált vízbe helyezve meghatározható a víztelített tömeg (turgescens tömeg, TW), ezt követően egy napig 60 °C-on szárítószekrényben szárított (száraz tömeg, DW) levelek tömegéből számítható a relatív víztartalom (Barrs and Watherley, 1968; Cabrera-Bosquet et al., 2009) a következő képlet alapján:

$$\text{RWC \%} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW}) \times 100$$

Három durum búzafajtánál két nitrogén koncentráció (alacsony és magas) és három különböző vízellátás (40, 70 és 100 %) mellett az RWC értékek között nem lehetett jelentős különbséget mérni, de a jobb vízellátás növelte a relatív víztartalom értéket (91,3 %) (Cabrera-Bosquet et al., 2009).

A prolin az egyik leggyakrabban előforduló ozmolit, amely felhalmozódik a növényekben víz-, vagy só stressz hatására (Székely et al., 2008). A prolin meghatározása 0,25 g friss növényi mintából történik Bates és munkatársainak leírása alapján (1973). A minta először folyékony nitrogénbe kerül, majd -20 °C-ra a vizsgálat megkezdéséig. Az 5 mL 3 %-os vizes szulfo-szalicilsav oldatban homogenizált, majd szűrőpapíron szűrt oldatból 0,5 mL-t 1,0 mL ninhidrin reagenssel (0,625 g ninhidrin, 15 mL jégcet, 10 mL 6 M-os foszforsav) és 1 mL jégcettel 1 órán keresztül 100 °C-on reagál. A reakció jégfürdőben leállítható. A reakciókeverék extrahálása 2 mL toluollal történik, majd a fényelnyelés 520 nm-en mérhető. Saedipour (2013) egy szárazságra érzékeny „Marvdasht” és egy toleráns „Zagros” őszi búzafajta prolin tartalmát hasonlította össze szárazság stressz (talajnedvesség 50 %) körülmények

között. Vízhiányos körülmények között mindkét fajtának a levelében növekedett a prolin tartalom. A jelentős növekedés mégis a toleráns fajtánál volt megfigyelhető (17 μmol prolin g^{-1} friss tömeg) a virágzás után előidézett vízhiány 7. napján. A 15. és 31. napon kevesebb volt a prolin tartalom (3,1 és 3,3 μmol prolin g^{-1} friss tömeg).

2.7. Biostimulánsok alkalmazása a növénytermesztésben

„A növényi biostimuláns olyan anyag vagy mikroorganizmus, amely fokozza a növények tápanyag felvételét, az abiotikus stressztűrést és/vagy a termés minőségi jellemzőit, függetlenül a tápanyagtartalomtól.” A definíció a biostimulánsok hatásmódjára és a termésre gyakorolt hatására utal, ezzel segítve az elkülönítést a műtrágyától, peszticidektől, biokontroll szerektől.

A biostimulánsok kategóriái du Jardin (2015) szerint:

- huminsavak, fulvosavak
- fehérje hidrolizátumok és egyéb nitrogén tartalmú vegyületek
- tengeri algakivonatok és növényi anyagok
- kitozán és más biopolimerek
- szervesetlen vegyületek
- hasznos gombák
- hasznos baktériumok

A biostimulánsokat a növény növekedésére gyakorolt hasonló hatásuk alapján három csoportba sorolhatjuk:

- szerves, természetes anyagok (pl. huminsavak, fulvosavak, állati-, és növényi fehérje hidrolizátumok, tengeri moszat

kivonatok, füstből származó vegyületek és vermikomposzt, valamint vermikomposzt-csurgalékvíz)

- szervesetlen vegyületek (pl. alumínium, réz, nátrium, szelén és szilícium vegyületek)

- kedvező hatású mikroorganizmusok (pl. mikorrhiza gombák, N₂ kötő baktériumok és rizobaktériumok) (Calvo et al., 2014; Roupael and Colla, 2020).

2.7.1. Huminanyagok

A huminanyagok mikrobiális anyagcseréből származó szerves anyagok, amelyek nagyrészt elhalt növényi és állati eredetűek (Graber and Rudich, 2006). A huminanyagok befolyásolják a talaj termékenységét, fizikai-kémiai paramétereit (szerkezetét, porozitását, kationcserélő kapacitását) (du Jardin, 2015). A huminanyagokat oldhatóság alapján három csoportba sorolhatjuk:

- lúgos és savas oldhatatlan huminanyagok (szén alapú makromolekuláris anyag)

- lúgosan oldódó huminsavak és lúg

- savban oldódó fulvosavak

A növényi és állati maradványok természetes lebomlásának végső termékei a huminsavak és a fulvosavak (Trevisan et al., 2010). A huminsavak több sav összetett keverékei, sötétbarna színű, hosszú láncú, nagy molekulatömegű, ami lúgban oldódik.

A huminsavak javítják a tápanyagfelvételt, a talaj szerkezetét, kiváló kelátképzők és nedvességmegtartók, elősegítik a mikrobiális

aktivitást (du Jardin, 2015). A fulvosavak a leghatékonyabb kelátképzők, kisebb molekulatömegűek, mint a huminsavak és nagyobb számú oxigén vagy karboxil csoportot tartalmazó vegyületek (Flaig et al., 1975). A fulvosavak segítik a tápanyagok felszívódását, mivel a sejtmembránokon keresztül könnyen átjutnak (du Jardin, 2015). Megfelelő arányú huminsavakat és fulvosavakat tartalmazó talajban a növények egészségesebbek, nagyobb hozamot termelnek és a tápértékük is nagyobb. A huminanyagok elősegítik a kation cserekapacitást, semlegesítik a talaj pH-t, ezáltal növelik a tápanyagok hozzáférhetőségét a növények számára (Canellas et al., 2015).

Néhány huminanyag exogén auxinként viselkedik, ami befolyásolja a gyökérnövekedést, de ennek a mechanizmusa még nem teljesen ismert. A huminanyagok befolyásolják a talajban található baktériumközösséget (a rizoszférát vagy a mikrobiomot) és a gyökerek endofita baktériumközösségét is (pl. *Acidobacterium*, *Bacteroidetes*) (De Hita et al., 2020). Huminsavak stimulálják a baktériumokat, így ezek valódi auxinokat (indol-3-ecetsav, IAA) termelhetnek, amivel szintén befolyásolják a gyökérnövekedést (De Hita et al., 2020). A huminanyagok „hormonszerű aktivitással” rendelkeznek az auxinokhoz, gibberellinekhez, citokininekhez hasonlóan (Nardi et al., 2009). Mindez pozitív hatással van például a levél klorofill tartalomra is (Vaughan and Malcom, 1985). A huminanyagok számos molekuláris folyamatot váltanak ki a növényi sejtekben, ami erősíti a növény toleranciáját számos abiotikus stresszel szemben (Van Oosten et al., 2017).

2.7.2. Tengeri algakivonatok

A tengeri moszatok (makroalgák) legkorábbi felhasználása során nagyméretű barna tengeri moszatokat gyűjtöttek (Laminariales rend) és a mezőgazdaságban trágyaként alkalmazták (Boot, 1965). Ezt követően szemcse vagy por alakban („tengeri algaliszt”) alkalmazták a tápanyagok lassú felszabadulása érdekében (Quastel and Webley, 1947). A további kutatások a folyékony kivonatok kifejlesztéséhez vezettek (Crouch and van Staden, 1993). Az első folyékony tengeri algakivonatot 1949-ban fejlesztették ki, amit a mezőgazdaságban alkalmaztak (Milton, 1952). Azóta különböző tengeri alga fajokból készítenek kivonatotokat.

A barna makroalgák, mint az *Ascophyllum nodosum* (Fucales rend), *Ecklonia maxima*, *Durviellaea potatorum* és *Macrocystis pyrifera* (Laminariales rend) a fő forrása a tengeri algakivonatoknak (Pereira et al., 2020). A termesztett vörösalgák, mint például a *Kappaphycus alvarezii* nemrégiben jelent meg biostimuláns termékként (Trivedi et al., 2018). A vörösalgák több összetevőt tartalmaznak a barnamoszatokhoz képest, de hasonló biotikus és abiotikus stresszcsökkentő hatással rendelkeznek (Ravi et al., 2018). Az ozmolitok pl. mannitol (Reed et al., 1985) és fitohormonok pl. abszcizinsav, auxinok, brasszinoszteroidok, citokininek és gibberellinek, mind hozzájárulnak a növények növekedéséhez (Stirk and van Staden, 2014). A tengeri algákból származó biostimulánsok alkalmazása javította a vetőmag csírázását, a fotoszintetikus pigmenttartalmát (Masondo et al., 2018; Patel et al., 2018), és az abiotikus, biotikus stresszel szembeni tűrőképességét (Bajpai et al., 2019) különböző növényeknél. A tengeri algakivonatok alkalmazása csökkenti az abiotikus stressz, mint például a magas

hőmérséklet-, sótartalom-, és vízhiány stressz hatását különböző szántóföldi növényeknél (Moeller and Smith, 1998; Nabati et al., 1994, Little and Neily, 2010).

A vállalatok által gyártott tengeri algakivonatok elfogadott növényi biostimulánsok az elmúlt évtizedekben. Ilyen készítmény például a Kelpak (*Ecklonia maxima*), amely már számos területen kertészeti növényeknél, fáknál és gabonaféléknél is bizonyította jótékony hatását (Stirk and van Staden, 2006). A tengeri algakivonatok számos jótékony hatást fejtenek ki a növényfajok széles körében. Egyre fontosabb, hogy megismerjük a biostimulánsok hatásmechanizmusát a bioaktív termékekre vonatkozó szabályozás végett és a hatékonyabb mezőgazdasági felhasználás érdekében.

2.7.3. Fehérje hidrolizátumok

A fehérje hidrolizátumok (PH) polipeptidek, oligopeptidek és aminosavak keverékei, melyek a fehérje részleges hidrolíziséből származnak (Schaafsma, 2009). A fehérje hidrolizátumokat hidrolízis alapján csoportosítják (kémiai, termikus, enzimatis), ami befolyásolja a kémiai jellemzőket. Állati eredetű fehérjék hidrolízise kémiai hidrolízissel történik savas közegben (sósav, kénsav), magas hőmérsékleten (> 121 °C) és nyomáson (> 220,6 kPa) (Colla et al., 2015). Növényi eredetű fehérjék hidrolízise enzimatis hidrolízissel történik (Niculescu et al., 2009).

A fehérje hidrolizátumokat por vagy folyadék készítmények formájában juttatják ki a levelekre permetezéssel vagy a

gyökérrendszerre csepegtető öntözéssel (Colla et al., 2017). A növényi PH-ok peptideket, szénhidrátokat, ásványi elemeket, fitohormonokat és egyéb anyagokat tartalmaznak, pl. lucerna esetében zsíralkoholt, ami elősegíti a növény növekedését (Ertani et al., 2013). Lucerna alapú PH-okban a növényi hormonok közül indol-3-ecetsav is előfordul (Ertani et al., 2014).

A fehérje hidrolizátumok a kertészeti növényeknél növelik a csírázást, a biomassza mennyiségét és minőségét (Lisiecka et al., 2011; Colla et al., 2014). A PH-ok csökkentik az abiotikus stressz negatív hatásait só-, aszály-, hőmérséklet stressz esetén (Botta, 2013; Calvo et al., 2014). A PH-ok a kezelt növények fejlődését fitohormon egyensúlyának megváltoztatásával befolyásolja (Colla et al., 2014). A fehérje hidrolizátum alapú biostimulánsok hatékonyak bizonyultak a fenntartható mezőgazdaságban és a kertészetekben.

2.7.4. Mikroalgák

A mikroalgák közé tartoznak a többnyire mikroszkópikus méretű prokarióta cianobaktériumok és az eukarióta algák. Számos élőhelyen előfordulnak szennyvizekben, tavakban, folyókban, óceánokban és nedves talajokon is. A legismertebb mikroalga nemzetségek a *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Isochrysis*, *Nannochloropsis*, *Porphyridium* és a *Spirulina*, melyeket a kereskedelem forgalmaz (Wijffels et al., 2013). A mikroalgákat számos területen használják, például funkcionális élelmiszerként, étrendkiegészítőként (pl. *Arthrospira sp.*, korábbi nevén *Spirulina sp.* és *Chlorella sp.*) (Schiavon

et al., 2017), nitrogénmegkötő képességük miatt biotrágyaként, bioüzemanyag előállítására és szennyvizek biológiai tisztítására (Priyadarshani and Rath, 2012; Spolaore et al., 2006; Renuka et al., 2018).

A mikroalgát tartalmazó biostimulánsok használata jelenleg korlátozott annak ellenére, hogy serkentik a vetőmag csírázását, növelik a hajtás-, és gyökérrendszer biomasszáját különböző kultúráknál, mint a cukorrépa, paradicsom stb. (Barone et al., 2018, 2019), kukorica (Bi et al., 2011).

A mikroalgák és az általuk termelt poliszacharidok hozzájárulnak a kezelt növények termésmenéséhez, tápanyag felvételének fokozásához, valamint biotikus és abiotikus stressz elleni védelméhez. A felhasználás módját befolyásolja, hogy szárítva, feldolgozatlanul vagy hidrolizált formában alkalmazzák. A hidrolízis lehet fizikai vagy kémiai, ami eltérő tulajdonsággal és hatékonysággal rendelkező mikroalga biomasszát eredményez.

A mikroalgák sejtkivonata eltérő koncentrációban/arányban tartalmaz különböző fitohormonokat pl. gibberellinokat, auxinokat és citokininokat, melyek fontos szerepet játszanak a növények növekedésében, fejlődésében (Tarakhovskaya et al., 2007). Shukla és Gupta (1967) rizs magjára vitték fel a *Phormidium foveolarum* kivonatot, ami gyorsabb csírázást, magasabb növényt és hosszabb leveleket eredményezett. A mikroalga kivonatok az abiotikus stressz káros hatásait csökkentik, főleg a vízhiány-, és só stressz hatásait. A búza (*Triticum aestivum* L.) esetében a *Chlorella ellipsoidea* és a *Spirulina maxima* kivonata csökkentette a só-, és szárazság stressz hatásait (Abd El-Baky et

al., 2010). Ugyanennek a két mikroalgának a vizes kivonata elősegítette a búza só stresszel szembeni ellenállását és a teljes kiőrlésű gabonák antioxidáns tartalmát fokozta (Abd El-Baky et al., 2010).

Az elmúlt három évtizedben a mikroalgák biostimuláns hatásával kapcsolatban ígéretes eredmények születtek, de sajnos nem kerültek széles körű mezőgazdasági felhasználásra. A tengeri algakivonatokhoz képest a mikroalgák alkalmazására tömegtermesztésük hiányában alig került sor, jóllehet számos tömegtermesztő berendezést fejlesztettek ki (Gupta et al., 2015; Lu et al., 2020). Felhasználást tekintve az *Arthrospira platensis* cianobaktérium kivételt képez, a nyílt tavakban szaporítható speciális környezeti igénye miatt. Szaporítása ezért olcsó, biomasszája biostimulánsként használható (Mógor et al., 2018).

Vizsgálatok folytak repcében és burgonyában tengeri algát tartalmazó algakészítménnyel a termésbiztonság növelése érdekében (Kruppa et al., 2004). Az elmúlt években néhány mikroalga hatását vizsgálták fűszerpaprikára (400, 700 g ha⁻¹ mennyiség) és napraforgóra (Tóth et al., 2014; Pöthe et al., 2014). Egyes algák gátolják a növénypatogén gombák szaporodását és fertőzését (Németh et al., 2006), amit vizsgáltak sárgarépánál 0,2 %-os mennyiségben alkalmazva a mikroalga kivonatot (Jayaraj et al., 2008). Az algát szuszpenzió formájában juttatják ki a termesztett növényre, amely egyrészt befolyásolja az élettani folyamatokat, biostimuláns hatású, másrészt gátolhatja a növény patogén gombák szaporodását, így védve meg a növényt.

Napjainkra már ismertté vált, hogy a cianobaktériumok, mikroalgák és a makroszkópikus tengeri algák termelnek növényi

hormonokat (Ördög et al., 1996), amelyek alkalmasak speciális növénykezelésekre. A tengeri algák számos fajából kimutattak citokinint, ami növeli a hozamot, többek között a burgonyánál (Lang et al., 1984). Az algák hatással vannak még a transzspiráció csökkentésére, fokozzák a gyökér-, hajtásfejlődést és a termés fehérjetartalmát (Ördög et al., 2013). Többek között elősegítik a levágott növény gyökeresedését, a gyökéreképződést és a -növekedést (Atzmo et al., 1994).

A biostimuláns termékek segítenek a növényeknek a tápanyagfelvételben, növelik az abiotikus és biotikus stressz elleni toleranciát és javítják a termés minőségét. A tengeri algakivonatot tartalmazó Kelpakot ilyen célra széles körben alkalmazzák a mezőgazdaságban. Javítják a gyökér- és hajtásnövekedést, nagyobb hozamot és jobb ellenállást biztosítanak a biotikus és abiotikus stresszel szemben (Beckett et al., 1994). A mikroalgákat a növénytermesztésben biotrágyaként, talajkondicionálóként alkalmazzák (Stirk et al., 2004), de a klimatikus stresszhatások csökkentésére is alkalmasak.

3. CÉLKITŰZÉSEK

Kísérleteim során kisparcellás kísérleti körülmények között a „Bőség” és „GK Csillag” őszi búza fajtát (*Triticum aestivum* L.) kezeltem levélpermetezéssel a Mosonmagyaróvári algagyűjteményből (MACC) származó a biotesztekben auxin-szerű hatást mutató és gyorsan szaporodó cianobaktérium (MACC-612 *Nostoc piscinale*) és zöldalga törzsekkel (MACC-430 *Tetracystis* sp., MACC-755 és MACC-1 *Chlorella vulgaris*).

A munkám alapvető célkitűzése annak megállapítása, hogy hatnak-e a mikroalga kezelések és ha igen akkor milyen módon, továbbá:

1. az algákat a növény melyik fenofázisában és milyen koncentrációban kijuttatva érhető el a legjobb biostimuláns hatás, a legnagyobb termés,

2. az algás kezelés hogyan hat a terméseredményre, melyik kezelés, milyen koncentrációban és mely fenofázisban kijuttatva eredményezi a legnagyobb többletbevételt,

3. a termésváltozás mely terméselemekkel magyarázható,

4. a kezelések hatására milyen élettani és vízhiány stresszt jellemző változások mennek végbe a növényben (levél relatív víz-, klorofill-, prolin-, malondialdehid tartalom, vízpotenciál mérés, gyökér száraz tömeg meghatározás).

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Kísérleti növény

A kísérlet során két őszi búza (*Triticum aestivum* L.) fajtát használtam, 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2018/19- ben a „Bőség”, míg 2019/20 és 2020/21-ben a „GK Csillag” -ot. A „Bőség” búzafajtát konzulensem Dr. Gergely István javaslata alapján, valamint a Mosonmagyaróváron végzett fajtakísérlet és az alábbiakban felsorolt kedvező termés és minőségi mutatók figyelembevételével választottam. A második fajta a „GK Csillag” kiválasztása az első fajtánál leírt elvek szerint történt, valamint az is indokolta az új fajta kiválasztását, hogy a fajtalistán 2000-2018 között szerepelt, ezt követően a forgalmazása megszűnt.

A „Bőség” középérésű, tar kalászú őszi búzafajta. Termőképessége átlagos körülmények között $7,0 \text{ t ha}^{-1}$, a fajtaösszehasonlító kísérlet során 2005-ben Mosonmagyaróváron $8,22 \text{ t ha}^{-1}$ volt a szemtermése. Magassága 90 cm.

Minőségi mutatói a következők:

- Esésszám: 390 s
- Zeleny-féle index: 49 mL
- Nyersfehérje-tartalom: 13,3 %
- Ajánlott csíraszám: 550 csíra m^{-2}
- Sütőipari osztály: B1-B2 (Az adatokat az Agroszen Kft.

bocsátotta rendelkezésemre.)

A „GK Csillag” korai érésű, tar kalászu őszi búzafajta, amelyet nagy területen, régóta termesztnek hazánkban. Termőképessége átlagos körülmények között 6,5-9,0 t ha⁻¹, ami kiváló alkalmazkodóképességének is köszönhető. Terméseredménye 2020-ban Mosonmagyaróváron 8,74 t ha⁻¹ volt a GOSZ-VSZT-NAK eredménye alapján. Magassága 75-90 cm, állóképessége jó, szemek pelyvalevele vékony, így könnyen csépelhető, szemtermése éretten acélos, az előveteményre nem érzékeny.

Minőségi mutatói a következők:

- Ezerszem tömeg: 40-43 g
- Hektoliter tömeg: 80-82 kg
- Esésszám: 250-320 s
- Zeleny-féle index: 45-55 mL
- Nedves sikértartalom: 28-34 %
- Nyersfehérje-tartalom: 12,5-14,5 %
- Ajánlott csíraszám: 500-550 csíra m⁻²
- Sütőipari osztály: B1-A2 (URL6)

4.2. Mikroalgák

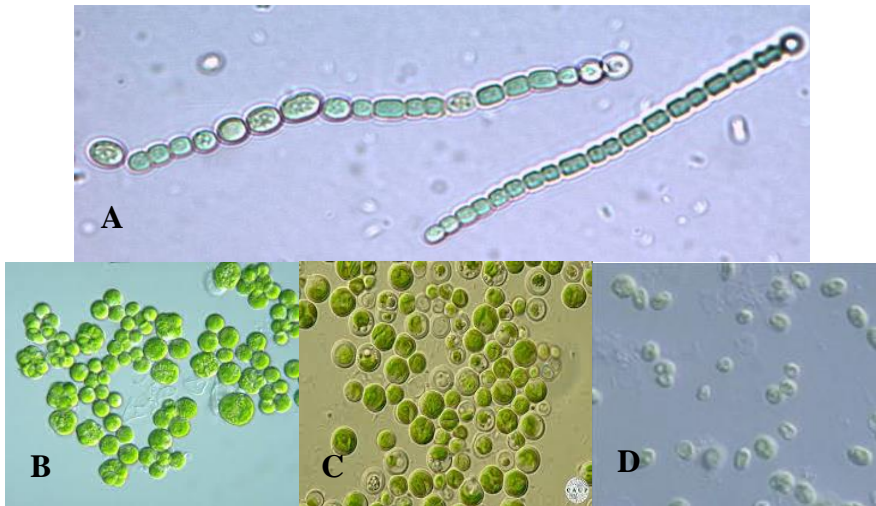
Kísérleteimhez a Mosonmagyaróvári Algagyűjteményből egy cianobaktériumot és három zöldalgát választottam.

Cianobaktérium:

- MACC-612 *Nostoc piscinale* (4. ábra A)

Zöldalgák:

- MACC-430 *Tetracystis sp.* (4. ábra B)
- MACC-755 *Chlorella vulgaris* (4. ábra C)
- MACC-1 *Chlorella vulgaris* (4. ábra D)



4. ábra A, B, C, D: Az alkalmazott cianobaktérium és zöldalgák mikroszkópikus képe. A: MACC-612 *Nostoc piscinale*, B: MACC-430 *Tetracystis sp.*, C: MACC-755 *Chlorella vulgaris*, D: MACC-1 *Chlorella vulgaris*.

4.2.1. Mikroalgák fenntartása

A törzstenyészeteket az izoláláshoz használt, agarral szilárdított táptalajon tartottam fenn (5. ábra).



5. ábra: A Mosonmagyaróvári Algagyűjteményben (MACC) táptalajon fenntartott törzstenyészetek

A tápközegből 100 cm³-es Erlenmeyer lombikba 70 cm³-t töltöttem, majd alumínium fóliával lefedve autoklávban sterilizáltam, a gézzel betekert vattadugókat szintén alufóliában hőlégenderilizáltam. Lamináris boxban a táptalajt az izolált algatenyészetből oltókaccsal beoltottam, majd a steril vattadugóval lezártam, zsírpapírral lefedtem, amit gumikarikával rögzítettem. A tenyészeteket 10 napig inkubáltam a laboratóriumi tenyésztés körülményei között, majd a törzstenyésztő szobában tartottam fenn. A törzstenyésztő szobában a hőmérséklet 15±2 °C, a megvilágítás napi 12 óra, a fényintenzitás 25-50 μmol foton m⁻² s⁻¹.

A tenyészetek a táptalajon egy évig fenntarthatók ilyen körülmények között. A törzstenyészetek ellenőrzése hetente kétszer történt, szokatlan szín és kinézet esetén átoltásra, szélsőséges esetben tisztításra van szükség.

4.2.2. Mikroalgák szaporítása

Az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériumot, valamint az MACC-430 *Tetracystis* sp., MACC- 755 és MACC-1 *Chlorella vulgaris* zöldalga törzseket tenyésztő laboratóriumban, ellenőrzött körülmények között szaporítottam (Ördög, 1982). A törzseket agar-agar törzstenyészetekből Tamiya tápoldatba oltottam (Kuznetsov and Vladimirova, 1964). Hét napos inkubáció után a tenyészeteket 4 darab 500 mL-es lombikban lévő 250 mL Tamiya tápoldatba oltottam úgy, hogy a kezdeti algaszárazanyag (DW) 10 mg L⁻¹ legyen. A tenyészeteket óránként 20 L (=1,33 L levegő L⁻¹ tápközeg per perc) levegővel buborékoltattam át a mikroalga sejtek lebegésben tartásához. A tenyészeteket naponta kétszer manuálisan is felkevertem. A levegőt a

megvilágítás idején palackról adagolva 1,5 % széndioxiddal dúsítottam. A buborékoltatásra használt levegőt steril egyedi vattaszűrővel ellátott üvegcsövön át juttattam be a tenyészetekbe. A tenyésztő szobában 25 ± 2 °C, 14:10 óra fény: sötét megvilágítás volt, a látható fény intenzitása a tenyész edények alján mérve pedig $130 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ értéknek felelt meg (6. ábra).



6. ábra: Az MACC törzsek szaporítása a tenyésztő laboratóriumban

A 7 nap eltelte után a 4 tenyészet szuszpenzióját összeöntöttem, a szuszpenzió sűrűségét megmértem és 48 lombik beoltására használtam úgy, hogy a kiindulási koncentráció $10 \text{ mg L}^{-1} \text{ DW}$ legyen.

Az MACC-1 zöldalga hatásának a vizsgálatához az utolsó kísérleti évben (2020/21) Trebonban (Csehország) az Algatech cég által tápoldatban és szennyvízben szaporított és liofilezett mintát kaptam. A szaporítás üvegházban elhelyezett, nyitott rendszerű „Thin-Layer Cascade (TLC)” és „Race-Way Pond (RWP)” algatermesztő berendezésben történt. Az algatörzset egy hétig BG-11 tápoldatban szaporították (Rippka et al. 1979), majd az algaszuszpenzió 20 %-át naponta szüretelték és BG-11 tápoldattal vagy háztartási szennyvízzel egészítették ki. A két termesztő berendezésben tápoldatban és

szennyvízen szaporított szuszpenziót szüretelték és liofilezve adták át a növénykísérlethez.

4.2.3. Liofilezés, mélyhűtés, tárolás, szonikálás

A tenyészeteket 7 napos inkubációt követően 14 és 15 óra között leszedtem a tenyésztő berendezésről és a mikroalga szuszpenziót 2150 g-vel 15 percig centrifugáltam (Sigma 6K15, Germany), majd a felülúszót kiöntöttem és a kiülepedett biomasszát Petri csészébe tettem és liofilizáltam (Christ Gamma 1-20, Germany) 22 órán keresztül 25 ± 2 °C-on, 0,035 mbar nyomáson. A fagyasztva szárított mintákat zárt műanyag edényben -20 °C-on tároltam. A hormonhatás tesztelés előtt a mintákból desztillált vízzel 10 g L^{-1} koncentrációjú szuszpenziót készítettem, amit 3 percig ultrahangos sejtroncsolóval (VirTis, VirSonic 600 Ultrasonic Cell Disruptor, USA) 40 %-os pulzáló energiával kezeltem (Stirk et al., 2020). A mikroalga szuszpenziót mindig frissen készítettem a felhasználás előtt és a vizsgálatoknak megfelelően desztillált vízzel hígítottam.

4.2.4. Citokinin- és auxin-szerű hatás kimutatása

A zöldalgák és a cianobaktérium citokininszerű hatásának a kimutatására az uborka sziklevel növekedési tesztet alkalmaztam (Zhao et al., 1992), míg az auxinszerű hatást az uborka sziklevel gyökeresedési teszttel értékeltem (Zhao et al., 1992).

Citokininek kimutatása uborka sziklevel növekedési teszttel

Sterilezett uborka (*Cucumis sativus* L.) magokat csíráztattam 7 g L⁻¹ agarral megszilárdított Knop-táptalajon (Knop 1865) 5 napig sötétben, 25±1 °C-on. Azonos méretű magokat válogattam a tesztekhez. A fagyasztva szárított mikroalga mintákat desztillált vízben szuszpendáltam (10 g L⁻¹ szárazanyag) és ultrahangos roncsolóval a sejteket feltártam, majd a szuszpenziót desztillált vízzel ötszörösére hígítottam (2,0 g L⁻¹ száraz anyag) és Petri csészékbe (6 cm) helyezett szűrőpapírra öntöttem (3 cm³). A szikleveleket zöld fényen izoláltam, ezzel kivédve a proplasztizokérésének indukcióját. A Petri csészébe 10-10 db sziklevelet helyeztem az ötnapos csíranövényből figyelve arra, hogy ne maradjon mezokotil darab rajtuk, mivel az csökkenti a citokininszerű hatás kimutatásának a pontosságát. A szikleveleket 3 napig 25±1 °C-on sötétben inkubáltam, majd ezt követően megmértem a sziklevelek friss tömegét. Kalibrációs görbe készítéséhez eltérő koncentrációjú kinetin (KIN) desztillált vizes oldatait (0,1; 0,3; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10 mg L⁻¹) használtam. A kontroll desztillált víz volt. A biotestet 3 alkalommal végeztem el, 4 ismétlésben. Az adatokat statisztikailag értékeltem (Microsoft Excel 2010). A minták citokininszerű hatását a kalibrációs sor alapján kinetin koncentrációban adtam meg.

Auxinok kimutatása uborka sziklevel gyökeresedési teszttel

Sterilezett uborka (*Cucumis sativus* L.) magokat csíráztattam 7 g L⁻¹ agarral megszilárdított Knop-táptalajon (Knop, 1865) 5 napig sötétben, 25±1 °C-on. A fagyasztva szárított mikroalga mintákat

desztillált vízben szuszpendáltam (10 g L^{-1} szárazanyag) és ultrahangos roncsolóval a sejteket feltártam, majd a szuszpenziót desztillált vízzel ötszörösére hígítottam ($2,0 \text{ g L}^{-1}$ száraz anyag) és Petri csészékbe (6 cm) helyezett szűrőpapírra öntöttem (3 cm^3). A szikleveleket zöld fényen izoláltam, ezzel kivédve a proplasztiszok érésének indukcióját. A Petri csészébe 10-10 db a szik alatti 1 mm-es szárrészt hordozó sziklevelet helyeztem az ötnapos csíranövényből zöld fényű megvilágítás mellett. A szikleveleket 5 napig $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ -on sötétben inkubáltam, majd ezt követően megszámláltam a képződött gyökerek számát. Kalibrációs görbe készítéséhez eltérő koncentrációjú indol-3-vaajsav (IBA) desztillált vizes oldatait (0,1; 0,3; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10 mg L^{-1}) használtam. A kontroll desztillált víz volt. A biotesztet 3 alkalommal végeztem el, 4 ismétlésben. Az adatokat statisztikailag értékeltem (Microsoft Excel 2010). A minták auxinszerű hatását a kalibrációs sor alapján IBA koncentrációban adtam meg.

4.3. Szabadföldi kísérletek és a kísérleti terület talajtani adottságai, tápanyag utánpótlása

A kísérletet Nyugat-Magyarországon a Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar Tangazdaságában ($47^\circ 52' \text{N}$; $17^\circ 16' \text{E}$) állítottam be 2015/16, 2016/17, 2017/18-ban. A 2018/19, 2019/20, 2020/21-es évben beállított kísérlet eredményeit csak azért vontam bele a dolgozatba, hogy a laborban és a szennyvízben szaporított alga közötti termésben jelentkező esetleges különbségeket bemutassam. Az utóbbi kísérletek egy EU-projekt (SABANA) részét képezték. Ezekben az években is elvégeztem a különböző növényi

paraméterek és meteorológiai adatok mérését, de azok nem kerültek közlésre. A kísérleti növényeket kispárcellán (10 m²) vetettem el. A kísérletet véletlen blokk elrendezésben négy ismétlésben állítottam be, 12 cm-es sortávolságra, 4,5 millió csíra ha⁻¹ és 4-6 cm mélységre vettem. A vetés és betakarítás idejét a 2. táblázatban foglaltam össze. A növényeket bokrosodáskor (B), kalászhányáskor (K) és virágzáskor (V) kezeltem levélpermetezéssel.

2. táblázat: Alga kezelések vetésének és betakarításának időpontjai a „Bőség” és „GK Csillag” őszi búzafajtával hat kísérleti évben.

Dátumok	Vetés	Betakarítás
2015/16	2015.10.27.	2016.07.21.
2016/17	2016.10.27.	2017.07.05.
2017/18	2017.11.06.	2018.07.02.
2018/19	2018.10.29.	2019.07.08.
2019/20	2019.10.31.	2020.07.07.
2020/21	2020.10.26.	2021.07.05.

A 2016/17-es évben későn került sor a vetésre és vetőgép hiba miatt sem lett egyenletes a vetés. Általában véve alacsony vetéskori szemszámmal dolgoztam, mivel a rendelkezésre álló vetőgéppel így volt jó a vetés minősége.

A 3. táblázat a laboratóriumban szaporított mikroalgákkal végzett kísérletek kezeléseit mutatja be. A 4. táblázatban az MACC-1 zöldalga laboratóriumban szaporított (2018/2019 és 2019/2020) és szennyvízen szaporított (2020/2021) biomasszájával beállított kísérletek kezeléseit foglaltam össze. A mikroalgák levélhez történő jobb tapadása érdekében Trend 90 tapadást fokozó nedvesítő szert használtam. A kontroll

parcellákat csupán nedvesítő szert tartalmazó csapvízzel kezeltem. Mind a kezelt, mind a kontroll parcellákat 400 L ha^{-1} vízzel öntöztem. A kijuttatást kézi permetezővel, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ alatti hőmérsékleten végeztem.

3. táblázat: Algakezelési kísérletek a „Bőség” őszi búzafajtaival három kísérleti évben.

Alga törzs	2015/16			2016/17			2017/18		
	Fenofázis	Koncentráció	Kezelés időpontja	Fenofázis	Koncentráció	Kezelés időpontja	Fenofázis	Koncentráció	Kezelés időpontja
MACC-612	B	0,3 g L ⁻¹	2016.03.12.	B	0,3 g L ⁻¹	2017.04.01.	B	0,3 g L ⁻¹	2018.04.14.
	B, K, V	1,0 g L ⁻¹	2016.05.06.	B, K, V	1,0 g L ⁻¹	2017.05.13.	B, K, V	1,0 g L ⁻¹	2018.05.16.
		0,3 g L ⁻¹			0,3 g L ⁻¹			0,3 g L ⁻¹	
		1,0 g L ⁻¹			1,0 g L ⁻¹			1,0 g L ⁻¹	
MACC-430	B	0,3 g L ⁻¹	2016.03.12.	B	0,3 g L ⁻¹	2017.04.01.	B	0,3 g L ⁻¹	2018.04.14.
	B, K	1,0 g L ⁻¹	2016.05.21.	B, K	1,0 g L ⁻¹	2017.05.20.	B, K	1,0 g L ⁻¹	2018.05.16.
		0,3 g L ⁻¹			0,3 g L ⁻¹			0,3 g L ⁻¹	
		1,0 g L ⁻¹			1,0 g L ⁻¹			1,0 g L ⁻¹	
MACC-755	B	0,1 g L ⁻¹	2016.03.12.	B	0,1 g L ⁻¹	2017.04.01.	B	0,1 g L ⁻¹	2018.04.14.
	B, K	0,3 g L ⁻¹	2016.05.21.	B, K	0,3 g L ⁻¹	2017.05.20.	B, K	0,3 g L ⁻¹	2018.05.16.
		0,1 g L ⁻¹			0,1 g L ⁻¹			0,1 g L ⁻¹	
		0,3 g L ⁻¹			0,3 g L ⁻¹			0,3 g L ⁻¹	

B: bokrosodás, K: kalászhányás, V: virágzás

4. táblázat: MACC-1 *Chlorella vulgaris* kezelések 2018/19-ben a „Bőség”, 2019/20 és 2020/21-ben a „GK Csillag” őszi búza fajtaival három kísérleti évben.

		2018/19		2019/20		2020/21			
Alga törzs	Fenofázis	Koncentráció	Kezelés időpontja	Fenofázis	Koncentráció	Kezelés időpontja	Fenofázis	Koncentráció	Kezelés időpontja
MACC-1	B	0,3 g L ⁻¹	2019.04.06	B	0,3 g L ⁻¹	2020.04.03.	B		2021.03.15.
		1,0 g L ⁻¹			1,0 g L ⁻¹			1,0 g L ⁻¹	
		2,0 g L ⁻¹			2,0 g L ⁻¹				
	B, K	0,3 g L ⁻¹	2019.05.17.	B, K	0,3 g L ⁻¹	2020.05.18.			
		1,0 g L ⁻¹			1,0 g L ⁻¹				
	2,0 g L ⁻¹			2,0 g L ⁻¹					

B: bokrosodás, K: kalászhányás.

Tápanyag utánpótlás őszele történt 60 kg ha⁻¹ nitrogén, 60 kg ha⁻¹ foszfor és 60 kg ha⁻¹ kálium hatóanyag. A pH a talaj kémhatását mutatja (5. táblázat).

5. táblázat: Talajadottságok a kísérleti területen

	2015/16	2016/17	2017/18
Talajtípus	Dunai öntéstalaj		
Elővetemény	kukorica		
Humusztartalom (m/m %)	3,3	3,1	3,2
Aranykorona érték		39	
Arany-féle kötöttség (K _A)	53	51	52
pH KCl	7,2	7,1	7,2
Termőréteg (cm)		130	
Sótartalom (%)		0	
CaCO ₃ (m/m %)	21,1	21,0	21,4
AL-P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	186	183	189
AL-K ₂ O (mg kg ⁻¹)	199	195	200
NO ₂ -NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	11,8	11,9	12,8

A szántóföldi növények többsége számára a semleges körüli (pH 6,8-7,2) és gyengén savas kémhatás (pH 5,5-6,8) az optimális, de jól bírják a gyengén lúgos közeget is (pH 7,2-8,0). A KCl-os pH mérés a talaj potenciális savanyúságának egy részét is megadja. A kalcium-karbonát lassabban oldódó, lúgosan hidrolizáló só a talajban. Jelentős szerepe van a talajok jó szerkezetének kialakításában, a növények Ca-ellátásában és a műtrágyák savanyító hatásának tompításában. A humusz a talaj nagy molekulájú, sötét színű, stabil szervesanyaga, amely állati és növényi maradványok lebomlása és átalakulása útján jött létre.

4.4. Vizsgált növényi paraméterek és vizsgálati módszerek

4.4.1. Gyökér száraz tömeg mérés

A mintákat a parcellák három középső sorából gyűjtöttem az első kezelés előtt két nappal és utána tíz nappal. Minden parcelláról egy 30 x 30 cm-es területről tíz növényt gyűjtöttem. A gyökereket megtisztítottam a talaj részekről és 106 °C-on tömegállandóságig szárítottam 24 órán keresztül, hűlni hagytam, majd analitikai mérlegen megmértem a tömegüket. A gyökér száraz tömeget grammban adtam meg.

4.4.2. Levél relatív víztartalom meghatározás

A relatív víztartalmat (RWC, relative water content, %) a zászlós levélen mértem hetente (3 növény/parcella) Cabrera-Bosquet és munkatársai (2009) módszerével. Az első mikroalga kezelés után kezdtem egy héttel. A módszerrel mérhető, hogy a vizsgált levélben a vízzel telítethez képest milyen a tényleges víztartalom. A frissen levágott (friss tömeg, FW), majd egy napig desztillált vízbe helyezve meghatározható a víztelített tömeg (turgescens tömeg, TW), ezt követően egy napig 60 °C-on szárítószekrényben szárított (száraz tömeg, DW) levelek tömegéből számítható a relatív víztartalom:

$$\text{Relatív víztartalom (\%)} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW}) * 100$$

4.4.3. Levél klorofill tartalom meghatározás

A klorofill tartalmat a zászlós levélen egy hordozható SPAD 502 Plus klorofill mérővel mértem. A készülék felső része csipeszszerű, amit

rácsíptettem a növény levelére, majd 1-2 másodperc után megadja a levélen áthatoló vörös (650 nm) és infravörös (940 nm) fény intenzitás arányából kalkulált, relatív klorofill tartalmat (SPAD egység). A mérést 5 növény/parcellán végeztem egy héttel az első kezelés után hetente 5 alkalommal, délután 4 óra körül. A klorofill tartalmat SPAD egységben adtam meg.

4.4.4. Levél prolin tartalom meghatározás

A zászlós levél prolin tartalmát (0,3 g friss tömeg) Bates és munkatársai (1973) módszere alapján határoztam meg. A növényi mintát (0,3 g) mozsárban 8,0 mL szulfoszalicilsavval eldörzsöltem, majd átszűrtem Wassermann kémcsőbe, tölcsérbe helyezett Whatmann szűrőpapírral. A mintákból átpipettáztam 0,5 mL-t Wassermann kémcsövekbe és hozzáadtam 2,0 mL ninhidrin oldatot, majd összeráztam vortex kémcső rázóval. A csöveket alufóliával lefedve 1 órán keresztül vízfürdőben reagáltattam, ezt követően 5-10 perc alatt jégfürdőben lehűtöttem. A csövekbe 3,0 mL toluolt mértem mikropipettával, és 20 másodpercig rázattam, majd 5 percet állni hagytam. Spektrofotométerelés előtt Wassermann kémcsövekbe levettem a felső 2,0 mL-es toluol réteget mikropipettával, majd onnan öntöttem a küvétába. Az abszorbanciát 520 nm-en olvastam le, a toluol volt a referencia oldat.

A mérést egy héttel a mikroalgás kezelés után kezdtem el hetente egyszer (4 növény/parcella). A minták prolin tartalmát ($\mu\text{g mL}^{-1}$) kalibrációs görbe alapján határoztam meg. Friss tömeg alapján határoztam meg a prolin tartalmat az alábbiak szerint:

$$[(\mu\text{g prolin mL}^{-1} * 3,0 \text{ mL toluol}) / 115,5 \mu\text{g } \mu\text{mol}^{-1}] / [0,3 \text{ g minta}/5] =$$

$$\mu\text{mol prolin g}^{-1} \text{ friss tömeg}$$

4.4.5. Levél malondialdehid tartalom meghatározás

A lipidperoxidáció végtermékeinek mennyiségi meghatározására vannak diagnosztikai tesztek, ilyen például a malondialdehid (MDA) meghatározása. A leggyakrabban használt teszt a TBARS (tiobarbitursav reaktív anyagok vizsgálata). Az oxidatív károsodás mértéke 2-tiobarbitursav reaktív anyag (TBARS) tartalom elemzésével lehetséges, ami egyenértékű az MDA-val.

A 0,5 g friss levélmintát homogenizáltam mozsárban 5,0 mL 0,1 % (w/v) triklór ecetsavban (TCA) 4 °C-on (a mozsarat jégkásába állítottam) és ezután centrifugáltam a mintákat 12 500g 5 percre. Ezt követően 1,0 mL felülúszót hozzáadtam 4,0 mL 20 %-os TCA-hoz, amely 0,5 % 2-tiobarbitursavat tartalmaz. A mintákat 90 °C-on vízfürdőben alufóliával lefedve 30 percet inkubáltam, majd a reakciót leállítottam jégfürdőben, majd centrifugáltam 10 000g 5 percre és a felülúszót abszorbeáltam 532 nm-en. Friss tömeg alapján határoztam meg a TBARS tartalmat az alábbiak szerint (Okem et al., 2016):

$$(A_{532} - A_{600}) * V * 1000 / E * W = \text{TBARS tartalom } \mu\text{mol g}^{-1} \text{ friss}$$

$$\text{tömeg}$$

A_{532} – malondialdehid abszorbanciája

A_{600} - zavarosság abszorbanciája

V - őrölt közeg térfogata (5,0 mL)

E - extinkciós koefficiens ($155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

W - friss minta tömege (0,5 g)

4.4.6. Levél vízpotenciál mérés

A zászlós levelek vízpotenciálját ZIM (Zimmermann Irrigation Monitoring)-szondával, a levelek eltávolítása nélkül folyamatosan 3 hétig mértem az első kezelés időszakában (előtte 5 napig és a kezeléstől 16 napig). A ZIM-szonda a különbséget méri a mágnesek nyomása és a levél turgor nyomása között. A ZIM-szondával mért érték fordítottan arányos a levél turgor nyomásával, vagyis amikor nyitott sztómáknál a levél vizet veszít akkor a vízpotenciált jellemző P_p (patch pressure) érték növekszik és fordítva, csökken, ha a levél vizet vesz fel. Az eszköz minden 5 percben rögzíti a P_p értékeket. Mértékegysége kPa.

4.4.7. Betakarításkor mért paraméterek

A betakarítás előtt a parcellák középső sorából 1 métert kijelölve gyűjtöttem a mintát, amelyből meghatároztam:

- a kalász számot (ha),
- a kaláshosszt (30 db kalász/parcella),
- a szemszám/kalászt (30 db kalász szemszáma/parcella),
- az ezerszem tömeget (1000 db mag tömege)
- a parcellánkénti terméshezamból (kg/parcella) számoltam a hektáronkénti terméshezamot (kg ha^{-1}).

Minőségi paramétereket FOSS Infratec 1241 típusú gabona analízátorral vizsgáltam (7. ábra). Az analízátor közeli infravörös (NIR) transzmisszió elvén működik, ami lehetővé teszi a szemes termények egy percen belüli, nagy pontosságú analízisét.



7. ábra: FOSS Infratec 1241 típusú gabona analizátor képe
(URL7)

A minta szkennelése nagy felbontású monokromátorral történik 800-1050 nm-es közeli infravörös tartományban. A gép a nedvesség-, fehérje-, sikértartalmat (%), Zeleny-számot és W alveográfias értékeket határozza meg.

4.5. Statisztikai értékelés

A kísérlet statisztikai értékelését Dell Statistica 13.2 program felhasználásával végeztem. Az adatok értékelése során egytényezős varianciaanalízist, LSD és Duncan tesztet, valamint lineáris regresszióanalízist alkalmaztam. A grafikonokat Ms Excel 2019 programmal készítettem.

5. EREDMÉNYEK

5.1. A kísérleti terület meteorológiai adatai

A csapadék a kísérleti periódus alatt 2015/16-ban 16 %-kal, 2017/18-ban pedig 6 %-kal volt több, míg 2016/17-ben 23 %-kal volt kevesebb a csapadék mennyiség 50 év átlagos csapadékmennyiségénél. A csapadék eloszlása egyenlőtlen volt mindhárom kísérleti évben, de kedvező az őszi búza számára 2017-ben a tavaszi hónapokban.

Az átlag hőmérséklet mindhárom kísérleti évben nagyobb volt, mint az 50 éves átlag. Az átlag hőmérséklet október és november hónapban nagyobb 2015-ben 8,3 °C, 2017-ben 9,1 °C volt és kevesebb volt 2016-ban 7,3 °C-al, mint az 50 éves átlag (7,7 °C) (6. táblázat).

6. táblázat: Havi csapadékmennyiség (mm) és havi átlaghőmérséklet (°C) Mosonmagyaróváron az őszi búza vegetációs ideje alatt három kísérleti évben és 50 év átlagában 1966 és 2016 között.

Hónapok	Kísérleti évek						50 év átlaga (1966-2016)	
	2015/16		2016/17		2017/18		mm	°C
	mm	°C	mm	°C	mm	°C		
Október	91	9,8	63	9,7	56	12,2	41	10,4
November	22	6,9	62	5,0	44	6,0	47	5,0
December	11	2,7	8	0,4	37	2,5	39	1,1
Január	45	-0,6	15	-4,6	30	3,2	36	-1,2
Február	82	5,8	24	2,7	31	-0,5	33	0,8
Március	12	6,4	26	8,9	34	3,8	35	5,2
Április	15	11,3	35	10,4	24	15,5	39	10,5
Május	75	15,7	27	16,5	64	18,9	57	15,4
Június	58	20,2	42	21,9	107	21,2	64	18,7
Július	120	22,1	49	22,1	58	21,9	65	20,4
Összes/Átlag	531,0	10,0	351,0	9,3	485,0	10,5	456,0	8,6

Megjegyzés: a vastagon szedett csapadék értékek legalább 20 %-kal kisebbek, a hőmérséklet pedig legalább 2 °C-kal kisebb az 50 éves átlagnál.

5.2. Vizsgálati eredmények

A hatéves (2015-2021) kísérletet az Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Karon állítottam be. Kísérleti növény 2015-2019-ig a „Bőség”, míg 2020-2021-ig a „GK Csillag” őszi búzafajta volt. A növényeket *Nostoc piscinale* cianobaktériummal (2015-2018), *Tetracystis sp.* (2015-2018) és *Chlorella vulgaris* (2015-2018; 2018-2021) zöldalgákkal kezeltem bokrosodáskor (B), kalászhányáskor (K) és virágzáskor (V), levél permetezéssel különböző koncentrációban (0,1; 0,3; 1,0; 2,0 g L⁻¹).

5.2.1. Az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériom kezelés hatása a három kísérleti évben

Gyökér száraz tömeg

Az első kezelés (bokrosodás) után 10 nappal az összes kezelt növény erősebb gyökérrzettel rendelkezett (7. táblázat), a kontroll növények gyökérnövekedéséhez képest. A N 0,3 g L⁻¹-rel mindkét fenofázisban kezelt növények erősebb gyökérrzettel rendelkeztek mindhárom kísérleti évben.

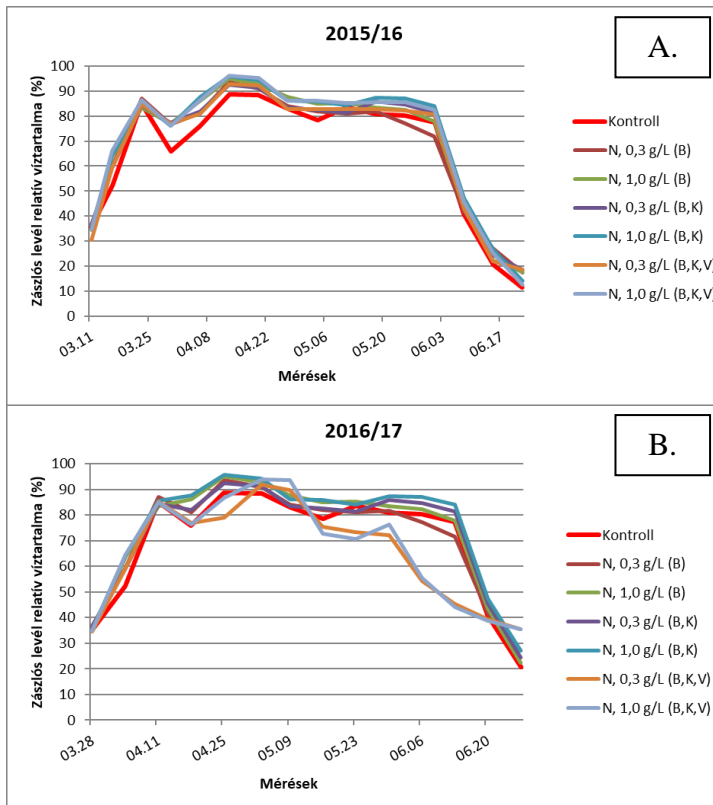
7. táblázat: A „Bőség” őszi búzafajta gyökerének száraz tömege (g/növény) a három kísérleti évben az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal történt első kezelés (bokrosodás) előtt és 10 nappal ezt követően.

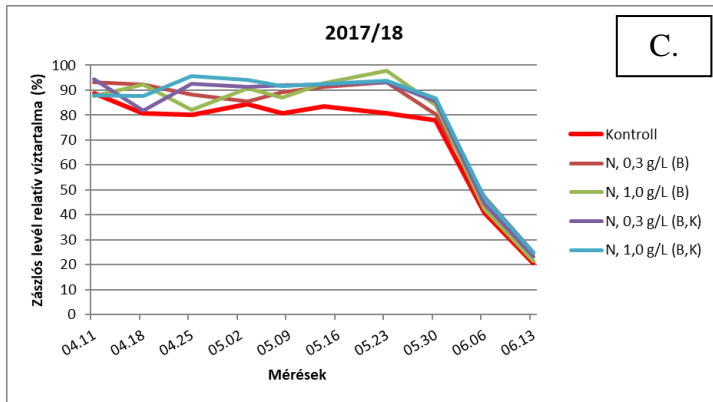
Kezelések	Kísérleti évek					
	Gyökér száraz tömeg (g/növény)					
	2015/16		2016/17		2017/18	
	1.	2.	1.	2.	1.	2.
Kontroll	0,48±0,1 ^a	0,55±0,1 ^c	0,49±0,1 ^a	0,52±0,1 ^d	0,75±0,0 ^b	0,80±0,0 ^c
N, 0,3 g L ⁻¹ (B)	0,49±0,0 ^a	0,94±0,0^b	0,42±0,1 ^a	0,97±0,1^b	0,75±0,1 ^b	1,00±0,1^b
N, 1,0 g L ⁻¹ (B)	0,49±0,0 ^a	0,94±0,0^b	0,49±0,0 ^a	0,94±0,0^b	0,73±0,0 ^c	1,12±0,0^a
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	0,48±0,1 ^a	1,05±0,1^a	0,46±0,1 ^a	1,05±0,1^a	0,76±0,1 ^a	1,13±0,1^a
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	0,46±0,1 ^a	1,02±0,1^a	0,48±0,0 ^a	0,88±0,0^c	0,70±0,0 ^d	1,15±0,0^a
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K, V)	0,47±0,1 ^a	0,93±0,0^b	0,48±0,0 ^a	0,95±0,1^b		
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K, V)	0,46±0,0 ^a	0,95±0,0^b	0,47±0,0 ^a	0,94±0,0^b		

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás; B, K, V: bokrosodás, kalászhányás és virágzás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak. 1. 2 nappal az első kezelés előtt, 2. 10 nappal az első kezelés után

Levél relatív víztartalom

Mindegyik évben a maximum RWC tartalom a kontroll leveleknél (88 %) júniustól csökkenni kezdett 20-25 %-ra. A cianobaktériummal kezelt növények zászlós levelének relatív víztartalma mindig nagyobb volt, mint a kontroll növényeké, például a N 0,3 g L⁻¹ (B) 2016. május 25. és 2017. május 23-tól. A legnagyobb átlagos RWC tartalom a N 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél volt megfigyelhető (8. ábra A, B, C).

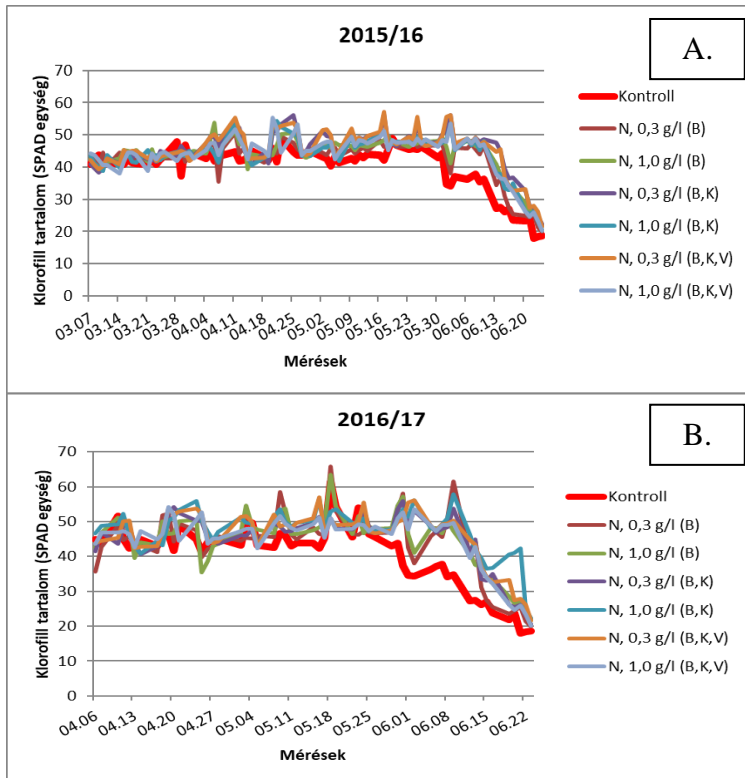




8. ábra A, B, C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének relatív víztartalma (%) 2015/16-ban (A), 2016/17-ben (B) és 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor és virágzáskor (B, K, V).

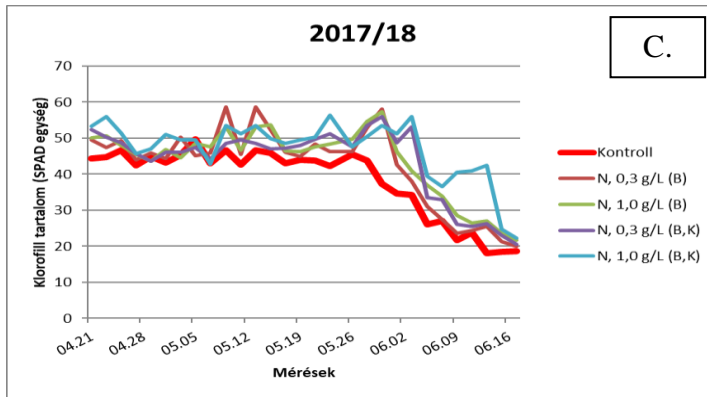
Levél klorofill tartalom

A cianobaktériummal kezelt növényeknek nagyobb levél klorofill tartalma (SPAD-érték) volt, mint a kontroll növényeknek mindhárom kísérleti évben. A kontroll értékei 45 SPAD-érték körül voltak, ami május utolsó napjaiban elkezdett csökkeni. Hasonló csökkenést mértem a N 0,3 g L⁻¹ (B) és N 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) kezeléseknél, míg ez a csökkenés később jelentkezett a N 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél az első két évben (9. ábra A, B).



9. ábra A, B: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének klorofill tartalma (SPAD egység) 2015/16-ban (A) és 2016/17-ben (B) a vegetációs időszakban hetente 5 napon 16 órakor mért adatok alapján az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor és virágzáskor (B, K, V).

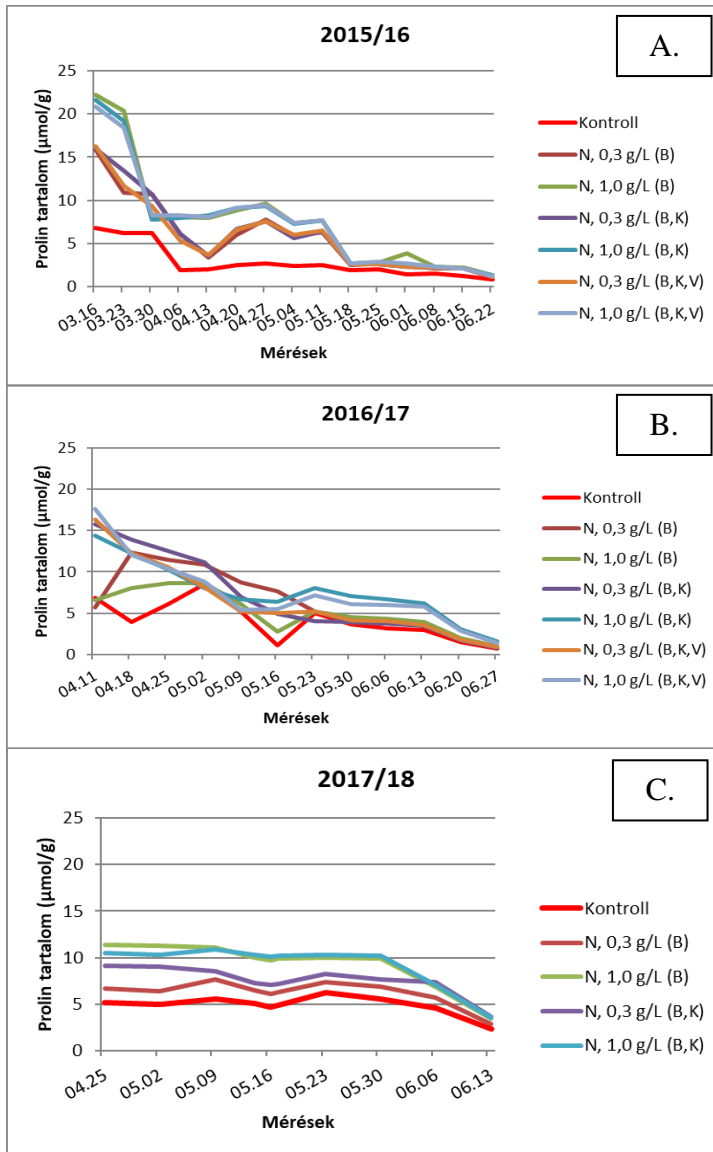
A harmadik kísérleti évben a klorofill tartalom két nappal korábban kezdett csökkeni és a cianobaktériummal kezelt növények klorofill tartalma is korábban kezdett el csökkeni (9. ábra C).



9. ábra C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének klorofill tartalma (SPAD egység) 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 5 napon 16 órakor mért adatok alapján az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

Levél prolin tartalom

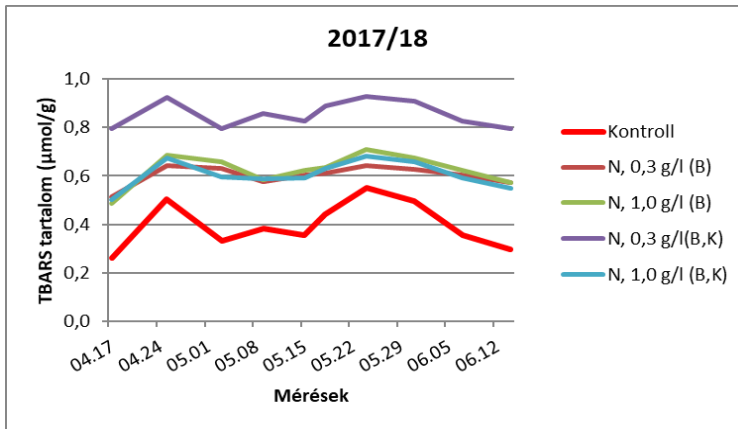
Az összes kísérleti évben a prolin tartalom a cianobaktériummal kezelt parcellák növényeinél nagyobb volt, mint a kontrollnál, néhány kivétellel 2016/17-ben. A legnagyobb értéket a N 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) kezelt növényeknél, míg a legalacsonyabb értékeket a N 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezeléseknél mértem egy héttel az első kezelés után. Ezt követően a prolin tartalom folyamatosan csökkent, de nagyobb maradt a kontroll értékeinél a mérési periódus végéig (10. ábra A, B, C).



10. ábra A, B, C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének prolin tartalma ($\mu\text{mol g}^{-1}$) 2015/16-ban (A), 2016/17-ben (B) és 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor és virágzáskor (B, K, V).

Levél malondialdehid tartalom

Az összes kísérleti évben a TBARS tartalom mindegyik cianobaktériummal kezelt növénynél nagyobb volt, mint a kontroll. A legnagyobb értéket a N 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelt növényeknél, míg a többi kezelésnél közel hasonló értékeket mértem. Ezt követően a TBARS tartalom folyamatosan csökkent, de nagyobb maradt a kontroll értékeinél a mérési periódus végéig (11. ábra).



11. ábra: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének tiobarbitursav (TBARS) tartalma ($\mu\text{mol g}^{-1}$) 2017/18-ban a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

Levél vízpotenciál

A ZIM-próba nappali adatoknak nagyobb volt a P_p értéke (62,2-93,2 kPa között) a kezelt növénynél, mint a kontrollnál (55,6-79,9 kPa) mindhárom kísérleti évben. Az éjszakai adatoknál is a kezelt növények P_p értéke nagyobb volt (49,7-91,6 kPa), mint a kontroll (45,2-70,2 kPa) mindegyik évben. Jelentős különbség látható a kezelt és a kontroll

növények P_p értékei között. A nappali adatok értékei nagyobbak, míg az éjszakai értékek alacsonyabbak, mert a növények ilyenkor vizet vesznek fel (8. táblázat).

A mérés 2015/16-ban 03. 07 – 03. 27 között, 2016/17-ben 03. 27 – 04. 16 között, 2017/18-ban 04. 09 – 04. 29 között volt.

A kezelés előtti hónapban (február) 2015/16-ban elég sok csapadék 82 mm hullott, míg a másik két évben ennél kevesebb 24 és 31 mm volt. 2016/17 és 2017/18-ban 24 és 34 mm volt márciusban, ami jóval több a 2015/16-os év ugyanazon hónapjához képest (12 mm). Áprilisban közel hasonlóan alakult az évenkénti csapadék megoszlás, mint márciusban (2015/16-ban 15 mm, 2016/17-ben 35 mm, 2017/18-ban 24 mm). A hőmérséklet februárban a három év során -0,5 és 5,8 °C között alakult, a legnagyobb hőmérséklet 2015/16-ban, míg a legalacsonyabb 2017/18-ban volt. Márciusban nagyobb volt a hőmérséklet 3,8 és 8,9 °C között alakult (2017/18, 2016/17), ami jóval nagyobb, mint az előző havi érték. Április hónapban még feljebb emelkedett a hőmérséklet 2015/16-ban 11,3 °C, 2016/17-ben 10,4 °C, 2017/18-ban 15,5 °C volt.

8. táblázat: A “Bőség” őszi búzafajta levelének vízpotenciál mérése ZIM-szondával (kPa) a három kísérleti évben az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal történt első kezelés (bokrosodás) hatására.

Átlag	2015/16		2016/17		2017/18	
	nappal	éjjel	nappal	éjjel	nappal	éjjel
Kontroll	56,1±30,6	45,2±29,5	55,6±27,1	49,2±26,9	79,9±43,8	70,2±27,0
Minimum	16,2	5,1	16,7	15,6	16,1	17,9
Maximum	127,7	128,5	117,9	109,5	166,1	111,9
N 1,0 g L ⁻¹ (B)	62,2±64,9	49,7±64,0	85,4±39,6	91,6±44,8	93,2±51,5	80,4±46,7
Minimum	4,3	2,1	13,5	10,7	15,8	16,5
Maximum	213,0	190,1	135,7	138,9	168,5	170,3
Hőmérséklet (°C)	17,6±5,9	10,4±5,4	20,8±7,2	11,3±5,3	25,7±4,1	14,9±2,8
Rel. páratart. (%)	67,0±16,3	88,5±12,8	57,7±13,8	84,0±10,0	45,7±13,0	73,9±10,7

B: bokrosodás. Eredmények: átlag ± SD. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól (P<0,05).

Termés és termésелеmek

Az alábbiakban kiemelt összes növényi paraméter statisztikailag eltér a kontrolltól, míg a fehérje-, és sikértartalmat, valamint a Zeleny -számot csak néhány kezelés befolyásolta. Valamennyi kísérleti évben a cianobaktériummal kezelt növények kalász száma (ha) nagyobb volt, mint a kontrollé. A 2015/16 -os és a 2017/18 -as kísérleti években a kétszer kezelt növényeket, míg a 2016/17 -es évben csak egyszer kezelt növények kalász száma volt nagyobb, mint a kontrollé (9. táblázat A).

9. táblázat A: A "Bőség" őszi búzafajta kalász száma (ha) (millió) a három kísérleti évben az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal történt kezeléseket követően.

Kezelések	Kalász szám (ha)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	4,4±88388,7 ^d	4,0±475985,8 ^d	4,3±80687,2 ^c
N, 0,3 g L ⁻¹ (B)	4,8±106739,1^b	5,1±465963,9^a	4,6±78644,1^d
N, 1,0 g L ⁻¹ (B)	5,0±206502,4^b	5,0±289681,0^a	4,9±251945,6^c
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	5,3±80687,2^a	4,8±767800,9^c	5,2±186629,9^a
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	5,2±80687,2^a	4,8±323840,9^c	5,2±16703,3^b
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K, V)	4,8±36000,0^c	4,8±75000,0^b	
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K, V)	4,7±37000,0^c	4,7±145000,0^c	

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás; B, K, V: bokrosodás, kalászhányás és virágzás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

A kalászkok minden kezelésnél hosszabbak voltak (cm), mint a kontroll 2015/16 és 2017/18. 2016/17-ben az N 0,3 g L⁻¹ (B) növények és az N 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) nagyobbak voltak, mint a kontroll (9. táblázat B).

9. táblázat B: A “Bőség” őszi búzafajta kalász hossza (cm) a három kísérleti évben az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal történt kezeléseket követően.

Kezelések	Kalászhossz (cm)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	6,3±0,3 ^e	6,5±0,1 ^c	6,2±0,2 ^c
N, 0,3 g L ⁻¹ (B)	6,8±0,3^d	6,8±0,3^{a,b}	6,6±0,3^{a,b}
N, 1,0 g L ⁻¹ (B)	7,5±0,2^a	6,6±0,2 ^c	6,5±0,2^b
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	7,1±0,3^c	6,5±0,1 ^c	6,5±0,1^b
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	7,2±0,2^c	6,9±0,2^a	6,8±0,2^a
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K, V)	7,0±0,2^c	6,9±0,1^a	
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K, V)	7,3±0,5^{b,c}	6,7±0,3^b	

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás; B, K, V: bokrosodás, kalászhányás és virágzás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

A kalásonkénti szemek és a cianobaktériummal kezelt növények ezerszemtömege néhány kezelés kivételével minden évben magasabb volt, mint a kontroll, de a legnagyobb a N 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) és N 1,0 g L⁻¹ (B, K) növényekben volt (10. táblázat A, B).

10. táblázat A: A “Bőség” őszi búzafajta szemszám/kalász száma (db) a három kísérleti évben az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal történt kezelések követően.

Kezelések	Szemszám/kalász (db)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	29,3±1,7 ^f	36,0±4,7 ^c	40,0±0,8 ^e
N, 0,3 g L ⁻¹ (B)	36,0±1,4^e	39,6±1,2^a	46,8±1,5^{a,b}
N, 1,0 g L ⁻¹ (B)	37,7±2,2^d	38,0±1,8^b	43,8±1,3^d
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	41,0±1,8^b	40,0±2,7^a	48,0±0,4^a
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	41,8±1,6^a	37,8±1,7^b	45,8±1,0^{b,c}
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K, V)	39,9±1,9^c	31,4±1,3 ^d	
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K, V)	40,3±2,2^c	39,5±1,3^a	

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kaláshányás; B, K, V: bokrosodás, kaláshányás és virágzás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

10. táblázat B: A “Bőség” őszi búzafajta ezerszem tömege (g) a három kísérleti évben az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal történt kezelések követően.

Kezelések	Ezerszem tömeg (g)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	32,0±1,3 ^d	38,7±0,8 ^e	38,6±1,8 ^c
N, 0,3 g L ⁻¹ (B)	39,5±0,8^c	41,7±0,7^a	41,0±2,6^{a,b,c}
N, 1,0 g L ⁻¹ (B)	39,8±1,2^c	39,7±1,5^d	42,6±1,0^{a,b}
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	40,1±1,5^c	39,6±0,8^d	42,8±0,8^a
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	41,7±0,8^a	39,8±1,7^c	39,8±1,4 ^c
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K, V)	40,0±2,2^c	39,4±1,0^d	
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K, V)	40,2±1,5^b	40,9±1,3^b	

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kaláshányás; B, K, V: bokrosodás, kaláshányás és virágzás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

Az összes kezelt növény termése nagyobb volt, mint a kontroll minden kísérleti évben. A legnagyobb átlagos terméshozadék a kétszer (B, K) 0,3 és 1,0 g L⁻¹-rel kezelt parcellákon volt: 38,4 % és 29,5 % 2015/16, 29,2 és 28,8 % 2016/17, valamint 23,7 és 26,0 % 2017/18 (11. táblázat).

11. táblázat: A "Bőség" őszi búzafajta hozama (kg ha⁻¹) a három kísérleti évben az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal történt kezeléseket követően.

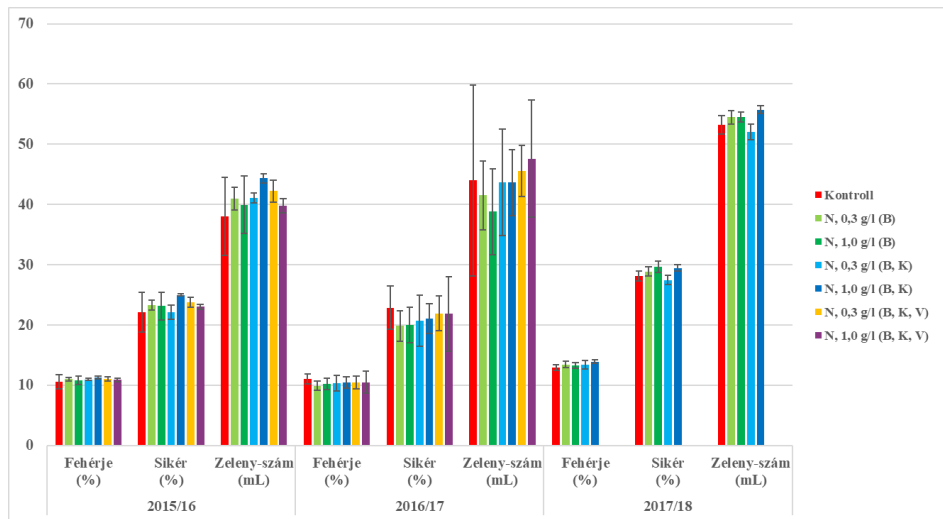
Kezelések	Hozam (kg ha ⁻¹)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	6041,9±841,8 ^e	3253,0±185,9 ^e	4913,4±594,2 ^e
N, 0,3 g L ⁻¹ (B)	7702,3±698,4^c	3635,9±300,4^d	5899,3±337,0^d
N, 1,0 g L ⁻¹ (B)	7684,1±519,5^c	4018,0±414,2^b	6024,1±321,9^c
N, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	8362,3±496,0^a	4203,3±614,8^a	6078,4±246,7^d
N, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	7827,8±1080,1^b	4191,0±818,7^a	6189,8±833,6^a
N, 0,3 g L ⁻¹ (B,K,V)	6925,0±606,2^d	3769,0±206,2^c	
N, 1,0 g L ⁻¹ (B,K,V)	6987,5±335,1^d	4197,6±761,5^a	

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás; B, K, V: bokrosodás, kalászhányás és virágzás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

A gabonafélék átlagos fehérje-, sike- és Zeleny-értékét a kezelések változó mértékben befolyásolták: a fehérjetartalom (14,0 %) csak 2017/18-as évben a N 1,0 g L⁻¹-rel kétszer kezelt növényekben nőtt, a sike-érték 2015/16-ban (25,0 %) a N 1,0 g L⁻¹-rel kétszer és 2017/18-ban (29,5 %) N 1,0 g L⁻¹-rel egyszer kezelt növényekben lett nagyobb, míg a Zeleny-érték 2015/16-ban az összes kezelésnél (40,0-44,4 %), 2016/17-ben a N 0,3 és 1,0 g L⁻¹-rel háromszor kezelt

parcellákon (45,5 és 47,6 %), 2017/18-ban a N 0,3 és 1,0 g L⁻¹-rel egyszer kezelt (54,5%) és 1,0 g L⁻¹-rel kétszer kezelt (55,8%) növényeknél volt nagyobb a Zeleny-érték a *N. piscinale* cianobaktériummal történt kezelések hatására (12. ábra).

12. ábra: A “Bőség” őszi búzafajta minőségi paraméterei a három kísérleti évben az MACC-612 *N. piscinale* (N) cianobaktériummal történt kezeléseket követően.



B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás; B, K, V: bokrosodás, kalászhányás és virágzás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4.

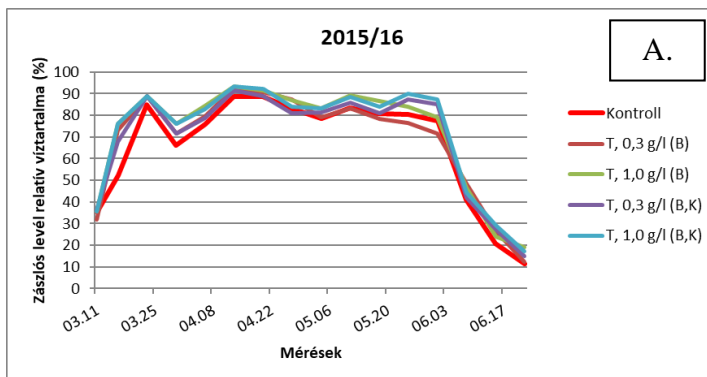
5.2.2. Az MACC-430 *Tetracystis sp.* zöldalga kezelés hatása a három kísérleti évben

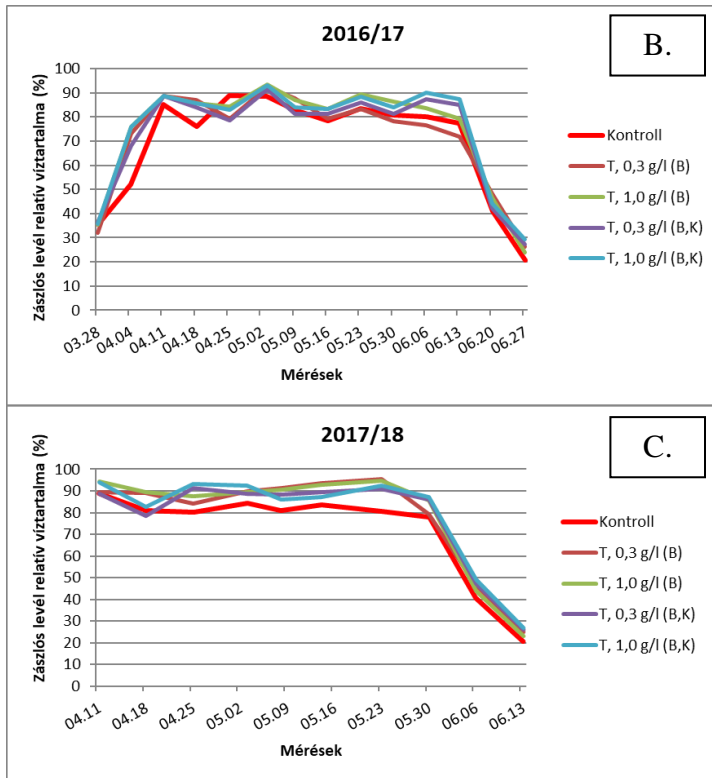
Gyökér száraz tömeg

Az első kezelés (bokrosodás) után 10 nappal, az összes kezelt növény erősebb gyökérrzettel rendelkezett (12. táblázat), a kontroll növények gyökérnövekedéséhez képest. A T 1,0 g L⁻¹-re a bokrosodás fenofázisában kezelt növények erősebb gyökérrzettel rendelkeztek mindhárom kísérleti évben.

Levél relatív víztartalom

Mindegyik évben a maximum relatív víztartalom (RWC) a kontroll leveleknél (88 %) május vége, június elejétől csökkenni kezdett 20-25 %-ra. Az MACC-430 zöldalgával kezelt növények zászlós levelének relatív víztartalma általában nagyobb volt, mint a kontroll növényeké, a legnagyobb átlagos RWC tartalmat mindhárom évben a T 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) kezeléseknél volt megfigyelhető (13. ábra A, B, C).



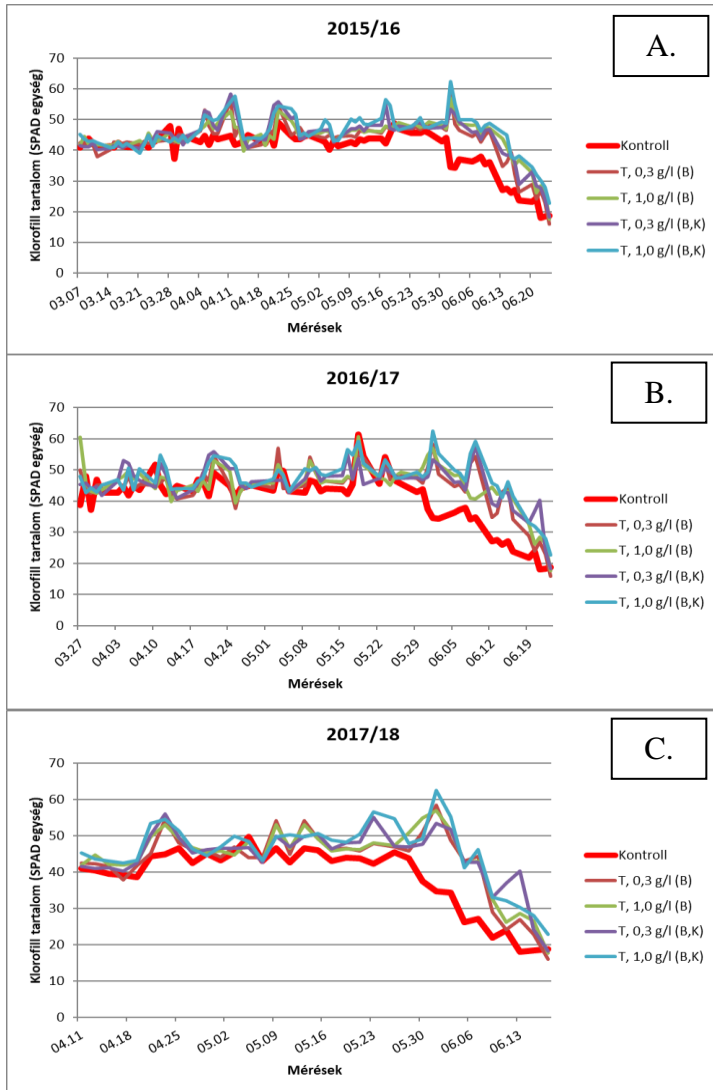


13. ábra A, B, C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének relatív víztartalma (%) 2015/16-ban (A), 2016/17-ben (B) és 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

Levél klorofill tartalom

Az MACC-430 zöldalgával kezelt növényeknek nagyobb levél klorofill tartalma (SPAD-érték) volt, mint a kontroll növényeknek mindhárom kísérleti évben. A kontroll értékei 45 SPAD-érték körül voltak, ami május utolsó napjaiban elkezdett csökkenni. Hasonló csökkenést mértem a T 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél, míg ez a csökkenés

később jelentkezett a T 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezeléseknél mindhárom kísérleti évben (14. ábra A, B, C).



14. ábra: A, B, C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének klorofill tartalma (SPAD egység) 2015/16-ban (A), 2016/17-ben (B) és 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 5 napon 16 órakor mért adatok alapján az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

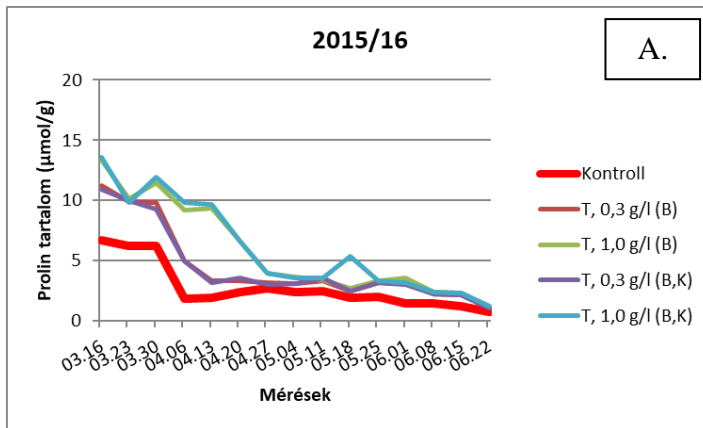
12. táblázat: A „Bőség” őszi búzafajta gyökerének száraz tömege (g/növény) a három kísérleti évben az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával történt első kezelés (bokrosodás) előtt és 10 nappal ezt követően.

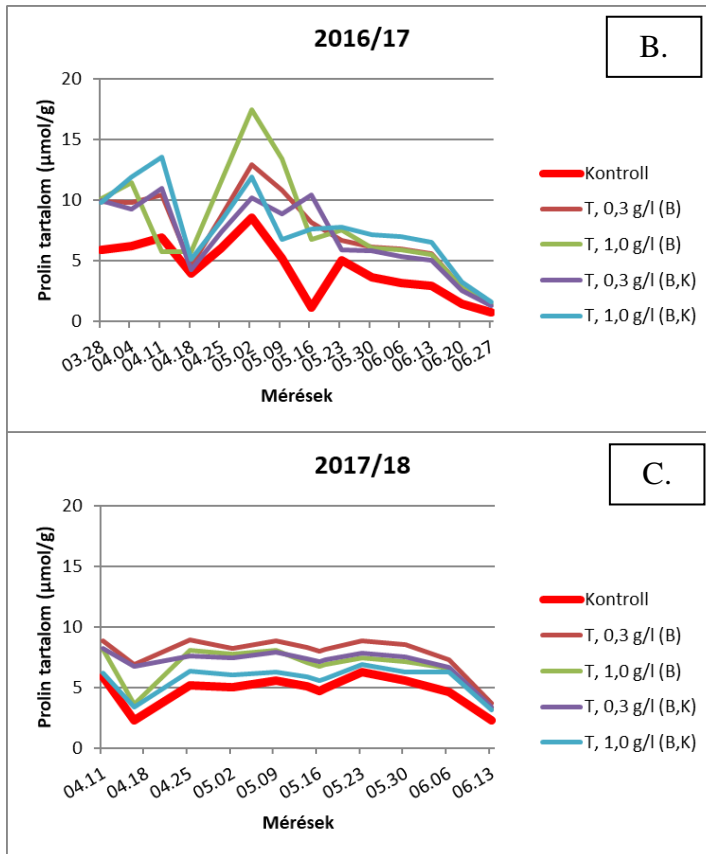
Kezelések	Kísérleti évek					
	Gyökér száraz tömeg (g/növény)					
	2015/16		2016/17		2017/18	
	1.	2.	1.	2.	1.	2.
Control	0,48±0,1 ^b	0,55±0,1 ^d	0,49±0,1 ^b	0,52±0,1 ^c	0,75±0,0 ^b	0,80±0,0 ^b
T, 0,3 g L ⁻¹ (B)	0,67±0,0 ^b	0,88±0,1^c	0,60±0,1 ^b	0,84±0,2^c	0,66±0,1 ^b	1,09±0,0^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B)	1,22±0,2 ^a	1,64±0,1^a	1,13±0,0 ^a	1,59±0,0^a	1,14±0,0 ^a	1,73±0,0^a
T, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	0,71±0,0 ^b	1,02±0,2^b	0,64±0,1 ^b	0,98±0,1^b	0,69±0,1 ^b	1,17±0,0^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	1,12±0,1 ^a	1,63±0,1^a	1,15±0,0 ^a	1,56±0,1^a	1,08±0,0 ^a	1,70±0,0^a

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak. 1. 2 nappal az első kezelés előtt, 2. 10 nappal az első kezelés után.

Levél prolin tartalom

Az összes kísérleti évben a prolin tartalom az MACC-430 zöldségével kezelt növényeknél nagyobb volt, mint a kontroll. A legnagyobb értéket a T 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) kezelt növényeknél az első két évben, míg a harmadik évben a T 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél mértem. A legalacsonyabb értékeket a T 0,3 g L⁻¹ (B, K), míg a harmadik évben a T 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezeléseknél mértem. A prolin tartalom folyamatosan csökkent az első évben április elejétől, míg a másik két évben május közepétől, de nagyobb maradt a kontroll értékeinél a mérési periódus végéig (15. ábra A, B, C).



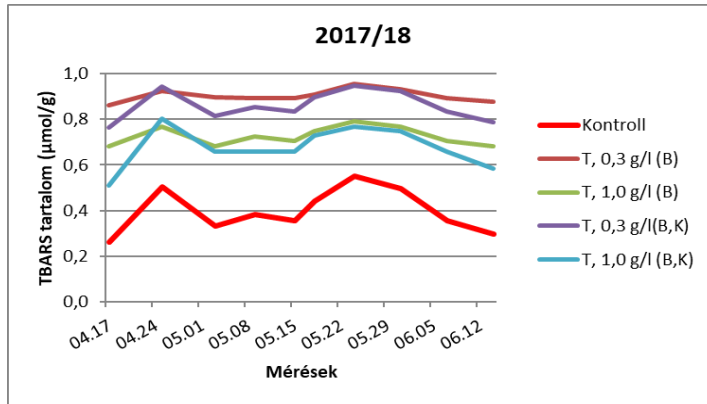


15. ábra A, B, C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének prolin tartalma ($\mu\text{mol g}^{-1}$) 2015/16-ban (A), 2016/17-ben (B) és 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

Levél malondialdehid tartalom

Az összes kísérleti évben a tiobarbitursav (TBARS) tartalom az MACC-430 zöldalgával kezelt növényeknél nagyobb volt, mint a kontroll. A legnagyobb értéket a T 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezelt növényeknél mértem, míg a másik két kezeléskor 0,6 - 0,8 $\mu\text{mol g}^{-1}$

között volt a TBARS tartalom, ami május végétől folyamatosan csökkent, de nagyobb maradt a kontroll értékeinél a mérési periódus végéig (16. ábra).



16. ábra: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének tiobarbitursav (TBARS) tartalma ($\mu\text{mol g}^{-1}$) 2017/18-ban a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

Levél vízpotenciál

A ZIM-próba nappali adatoknak nagyobb volt a P_p értéke (77,7-106,5 kPa között) a kezelt növénynél, mint a kontrollnál (55,6-56,1 kPa) 2015/16 és 2016/17-es kísérleti években. 2017/18-ban a nappali értékek kisebbek voltak a kezeltnél a kontrollhoz képest. Az éjszakai adatoknál is a kezelt növények P_p értéke nagyobb volt (66,0-92,9 kPa), mint a kontroll (45,2-49,2 kPa) az első két évben, az éjszakai eredmények szintén kisebbek voltak a kontrollnál 2017/18-ban. Jelentős különbség látható a kezelt és a kontroll növények P_p értékei között. A nappali adatok értékei nagyobbak, míg az éjszakai értékek alacsonyabbak, mert a növények ilyenkor vizet vesznek fel (13. táblázat).

13. táblázat: A “Bőség” őszi búzafajta levelének vízpotenciál mérése ZIM-szondával (kPa) a három kísérleti évben az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával történt első kezelés (bokrosodás) hatására.

Átlag	2015/16		2016/17		2017/18	
	nappal	éjjel	nappal	éjjel	nappal	éjjel
Kontroll	56,1±30,6	45,2±29,5	55,6±27,1	49,2±26,9	79,9±43,8	70,2±27,0
Minimum	16,2	5,1	16,7	15,6	16,1	17,9
Maximum	127,7	128,5	117,9	109,5	166,1	111,9
T 1,0 g L ⁻¹ (B)	77,7±70,8	66,0±62,2	106,5±64,1	92,9±56,9	29,9±12,5	32,2±17,8
Minimum	6,0	4,4	18,1	12,84	16,7	17,7
Maximum	200,3	179,4	273,6	211,80	49,9	60,4
Hőmérséklet (°C)	17,6±5,9	10,4±5,4	20,8±7,2	11,3±5,3	25,7±4,1	14,9±2,8
Rel. páratart. (%)	67,0±16,3	88,5±12,8	57,7±13,8	84,0±10,0	45,7±13,0	73,9±10,7

B: bokrosodás. Eredmények: átlag ± SD. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól (P<0,05).

A mérés 2015/16-ban 03. 07 – 03. 27 között, 2016/17-ben 03. 27 - 04. 16 között, 2017/18-ban 04. 09 – 04. 29 között volt.

A kezelés előtti hónapban (február) 2015/16-ban elég sok csapadék 82 mm hullott, míg a másik két évben ennél kevesebb 24 és 31 mm volt. 2016/17 és 2017/18-ban 24 és 34 mm volt márciusban, ami jóval több a 2015/16-os év ugyanazon hónapjához képest (12 mm). Áprilisban közel hasonlóan alakult az évenkénti csapadék megoszlás, mint márciusban (2015/16-ban 15 mm, 2016/17-ben 35 mm, 2017/18-ban 24 mm). A hőmérséklet februárban a három év során -0,5 és 5,8 °C között alakult, a legnagyobb hőmérséklet 2015/16-ban, míg a legalacsonyabb 2017/18-ban volt. Márciusban nagyobb volt a hőmérséklet 3,8 és 8,9 °C között alakult (2017/18, 2016/17), ami jóval nagyobb, mint az előző havi érték. Az áprilisi hónapban még feljebb emelkedett a hőmérséklet 2015/16-ban 11,3 °C, 2016/17-ben 10,4 °C, 2017/18-ban 15,5 °C volt.

Termés és terméselemek

Az alábbiakban kiemelt összes növényi paraméter statisztikailag eltér a kontrolltól. Majdnem mindegyik kísérleti évben az MACC-430 zöldalgával kezelt növények kalász száma (ha) nagyobb volt, mint a kontrollé. A 2015/16 -os és a 2016/17 -es kísérleti években az egyszer kezelt növényeket, míg a 2017/18 -as évben csak kétszer kezelt növények kalász száma volt nagyobb, mint a kontrollé (14. táblázat A).

14. táblázat A: A “Bőség” őszi búzafajta kalász száma (ha) (millió) a három kísérleti évben az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Kalász szám (ha)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	4.4±88000 ^d	4.0±476000 ^e	4.3±81000 ^e
T, 0,3 g L ⁻¹ (B)	5.4±60000^a	5.0±427000^{c,d}	5.2±164000^c
T, 1,0 g L ⁻¹ (B)	5.2±108000^c	5.2±704000^a	5.1±139000^d
T, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	5.3±108000^b	5.1±694000^{b,c}	5.3±130000^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	5.4±81000^a	4.8±1111000^d	5.3±114000^b

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kaláshányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

A kalászok minden kezelésnél hosszabbak voltak (cm), mint a kontroll 2017/18-as évben. 2015/16 és 2016/17-ben a T 0,3 g L⁻¹ (B) és a T 1,0 g L⁻¹ (B) kezelt növényeknél volt nagyobb a kaláshossz, mint a kontroll (14. táblázat B).

14. táblázat B: A “Bőség” őszi búzafajta kaláshossza (cm) a három kísérleti évben az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Kaláshossz (cm)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	6,3±0,3 ^c	6,5±0,1 ^b	6,2±0,2 ^b
T, 0,3 g L ⁻¹ (B)	6,9±0,4^b	7,0±0,1^a	6,9±0,1^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B)	7,0±0,4^{a,b}	6,9±0,1^a	6,8±0,2^a
T, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	6,6±0,7 ^{b,c}	6,9±0,2^a	6,8±0,2^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	6,7±0,3 ^{b,c}	6,8±0,2 ^{a,b}	6,7±0,1^a

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kaláshányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A

vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

Az MACC-430 zöldalgával kezelt növények kalásonkénti szemszáma 2016/17-ben nem volt nagyobb a kontrollnál. A másik két kísérleti évben mindegyik kezelés szignifikánsan nagyobb volt a kontrollnál. Az ezerszem tömege esetében 2016/17-ben csak két kezelés volt szignifikánsan nagyobb a kontrollnál. A legjobb eredményt a T 0,3 g L⁻¹ (B) és 1,0 g L⁻¹ (B, K) növény kezelésekkkel értem el (15. táblázat A, B).

15. táblázat A: A “Bőség” őszi búzafajta szemszám/kalász száma (db) a három kísérleti évben az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Szemszám/kalász (db)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	29,3±1,7 ^c	36,0±4,7 ^a	40,0±0,8 ^e
T, 0,3 g L ⁻¹ (B)	39,3±1,8^a	37,4±1,4 ^a	47,5±1,3^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B)	36,0±2,5^b	34,4±1,8 ^a	44,5±1,7^c
T, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	39,1±3,9^a	36,1±1,3 ^a	46,3±1,3^b
T, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	34,7±2,4^b	34,9±3,5 ^a	42,5±1,9^d

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalázhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

15. táblázat B: A “Bőség” őszi búzafajta ezerszem tömege (g) a három kísérleti évben az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Ezerszem tömeg (g)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	32,0±1,3 ^b	38,7±0,8 ^c	38,6±1,8 ^b
T, 0,3 g L ⁻¹ (B)	40,8±0,2^a	41,8±1,2^a	41,3±1,2^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B)	40,6±0,8^a	41,0±1,6^a	41,0±1,2^a
T, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	39,7±0,7^a	39,8±1,7 ^{b,c}	40,6±1,2^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	40,0±2,1^a	39,4±1,2 ^{b,c}	41,4±0,6^a

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

Az összes kezelt növény termése nagyobb volt, mint a kontroll minden kísérleti évben. A legnagyobb átlagos termésnövekedés a T 0,3 és 1,0 g L⁻¹-rel (B) kezelt parcellákon volt 27,7 % és 27,1 % 2015/16-ban, T 0,3 g L⁻¹-rel (B és B, K) kezelt parcellákon 9,6 és 4,8 % 2016/17-ben, valamint T 1,0 g L⁻¹-rel (B és B, K) kezelt parcellákon 5,3 és 6,7 % 2017/18-ban (16. táblázat).

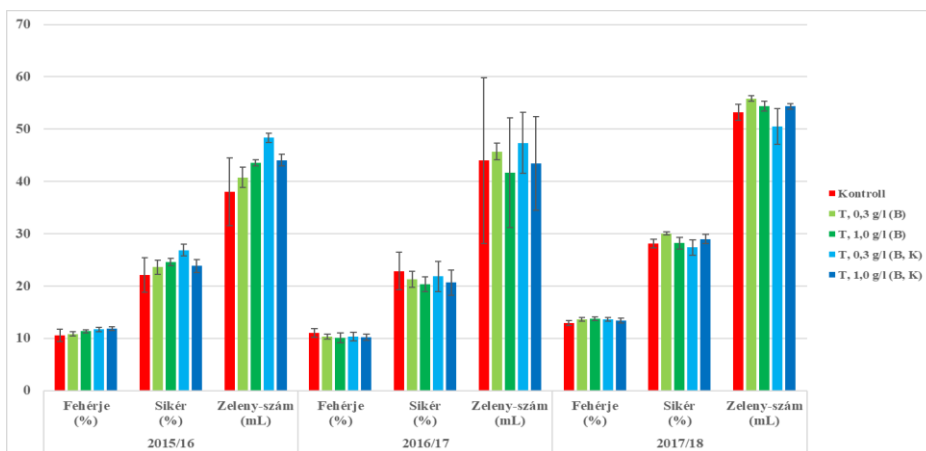
16. táblázat: A “Bőség” őszi búzafajta hozama (kg ha^{-1}) a három kísérleti évben az MACC-430 *T. sp.* (T) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Hozam (kg ha^{-1})		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	6041,9±841,8 ^e	3253,0±185,9 ^e	4913,4±594,2 ^e
T, 0,3 g L ⁻¹ (B)	8025,7 ±881,8 ^b	4259,7 ±1104,2 ^a	6500,1 ±787,6 ^a
T, 1,0 g L ⁻¹ (B)	7810,4 ±567,7 ^c	3986,9 ±329,9 ^b	5971,5 ±522,5 ^c
T, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	7310,3 ±1171,2 ^d	3909,3 ±597,5 ^c	5516,3 ±881,1 ^d
T, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	8139,0 ±832,0 ^a	3581,0 ±399,0 ^d	6278,5 ±781,8 ^b

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan ($P < 0,05$) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

A fehérjetartalom 2015/16 és 2017/18-ban a T 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) kezelt növényeknél (11,9-13,8 %), míg a sikértartalom szintén ebben a két évben, de a T 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) (23,6-26,9 %) és az utolsó évben T 0,3 g L⁻¹ (B) (30,1 %) és 1,0 g L⁻¹ (B, K) (29,0 %) kezelt növények voltak szignifikánsan nagyobbak a kontrollnál. A Zeleny - szám 2015/16-ban az összes kezelésnél (40,8-48,4 %) nagyobb volt a kontrollnál (38,1 %) és 2016/17-ben a T 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezelt növényeknél (45,7-47,4 mL), míg 2017/18-ban T 0,3 g L⁻¹ (B) (55,9 mL) és T 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) (54,4 mL) kezelt növények voltak nagyobbak a kontroll növényeknél (17. ábra).

17. ábra: A “Bőség” őszi búzafajta minőségi paramétereit a három kísérleti évben az MACC-430 *T. sp* (T) zöldalgával történt kezeléseket követően.



B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4.

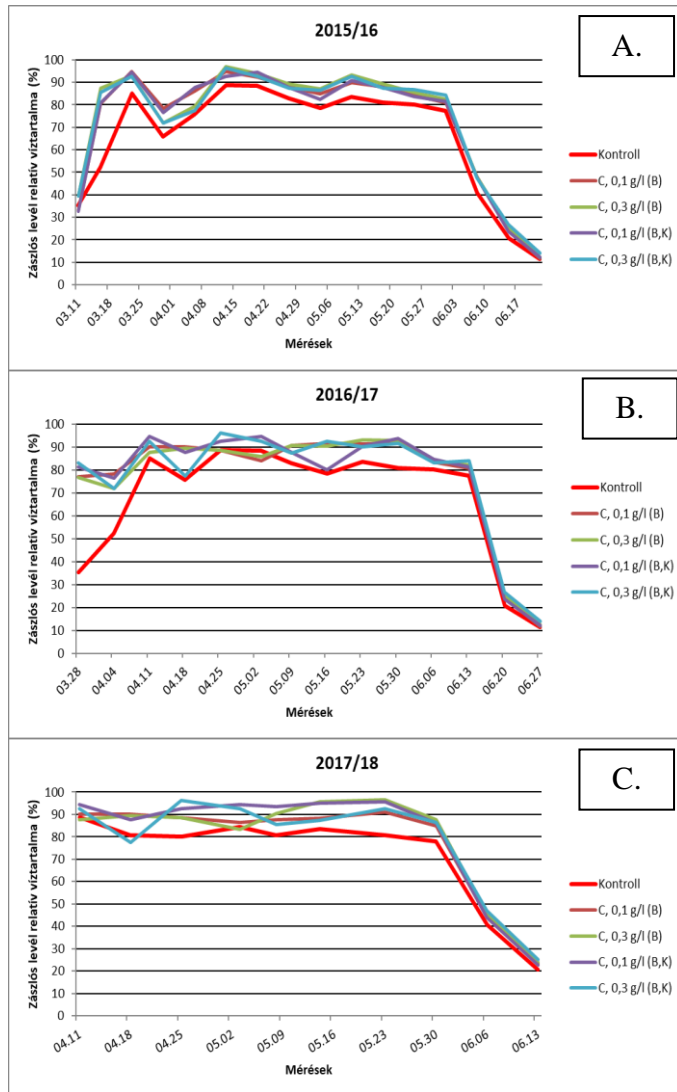
5.2.3. Az MACC-755 *Chlorella vulgaris* zöldalga kezelés hatása a három kísérleti évben

Gyökér száraz tömeg

Az első kezelés (bokrosodás) után 10 nappal, majdnem az összes kezelt növény erősebb gyökérrzel rendelkezett (17. táblázat), a kontroll növények gyökérrnövekedéséhez képest. A 2015/16 és 2016/17-es kísérleti években az összes kezelés erősebb gyökérrzel rendelkezett, mint a kontroll. A 2017/18-as évben csak a C 0,3 g L⁻¹-rel egyszer és kétszer kezelt növények gyökérrzete volt szignifikánsan nagyobb a kontrollhoz képest.

Levél relatív víztartalom

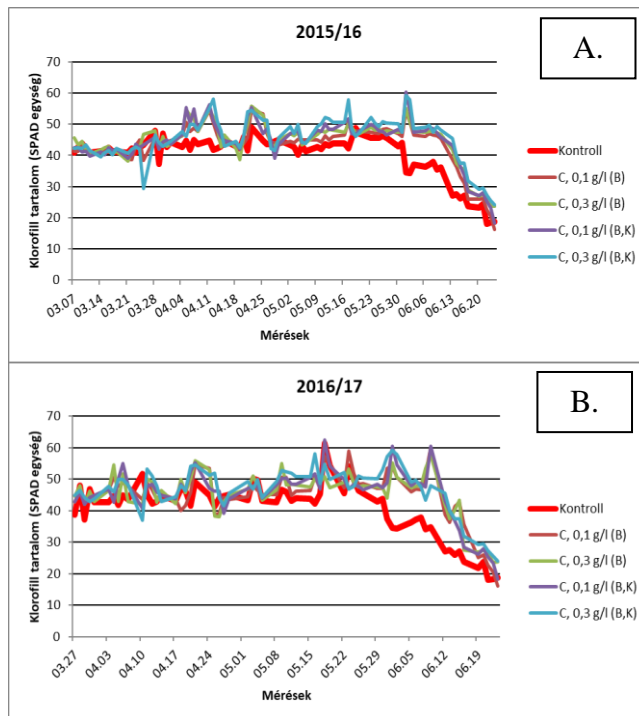
Mindegyik évben a maximum relatív víztartalom (RWC) a kontroll leveleknél (88 %) júniustól csökkeni kezdett 20-25 %-ra. Az MACC-755 zöldalgával kezelt növények zászlós levelének relatív víztartalma mindig nagyobb volt, mint a kontroll növényeké. A 2015/16 és 2016/17-es években a legnagyobb átlagos RWC tartalmat a C 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezeléseknél volt megfigyelhető, míg 2017/18-ban a kétszer kezelt C 0,1 g L⁻¹ kezelésnél (18. ábra A, B, C).



18. ábra A, B, C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének relatív víztartalma (%) 2015/16-ban (A), 2016/17-ben (B) és 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-755 *C. vulgaris* zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

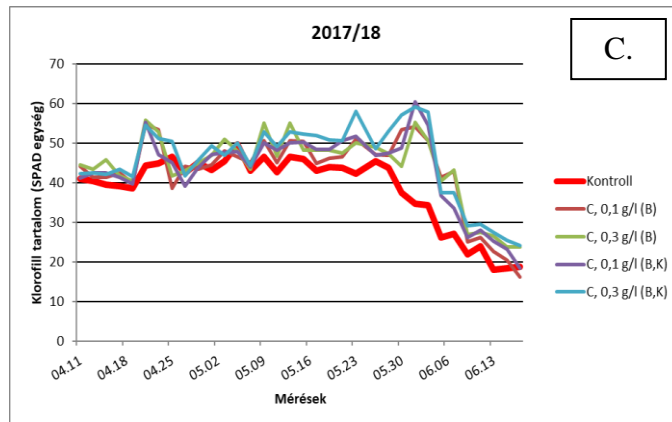
Levél klorofill tartalom

Az MACC-755 zöldalgával kezelt növénynek nagyobb levél klorofill tartalma (SPAD-érték) volt, mint a kontroll növényeknek mindhárom kísérleti évben. A kontroll értékei 45 SPAD-érték körül voltak, ami május utolsó napjaiban elkezdett csökkenni. Hasonló csökkenést mértem a C 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezeléseknél, míg ez a csökkenés később jelentkezett a C 0,1 g L⁻¹ (B, K) kezeléseknél az első két évben (19. ábra A, B).



19. ábra A, B: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének klorofill tartalma (SPAD egység) 2015/16-ban (A) és 2016/17-ben (B) a vegetációs időszakban hetente 5 napon 16 órakor mért adatok alapján az MACC-755 *C. vulgaris* zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

A harmadik kísérleti évben a klorofill tartalom két nappal később kezdett csökkenni és a mikroalgával kezelt növények klorofill tartalma is később kezdett el csökkenni (19. ábra C). A legnagyobb klorofill tartalmat a C 0,1 g L⁻¹ (B és B, K) kezeléseknél mértem.



19. ábra C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének klorofill tartalma (SPAD egység) 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 5 napon 16 órakor mért adatok alapján az MACC-755 *C. vulgaris* zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

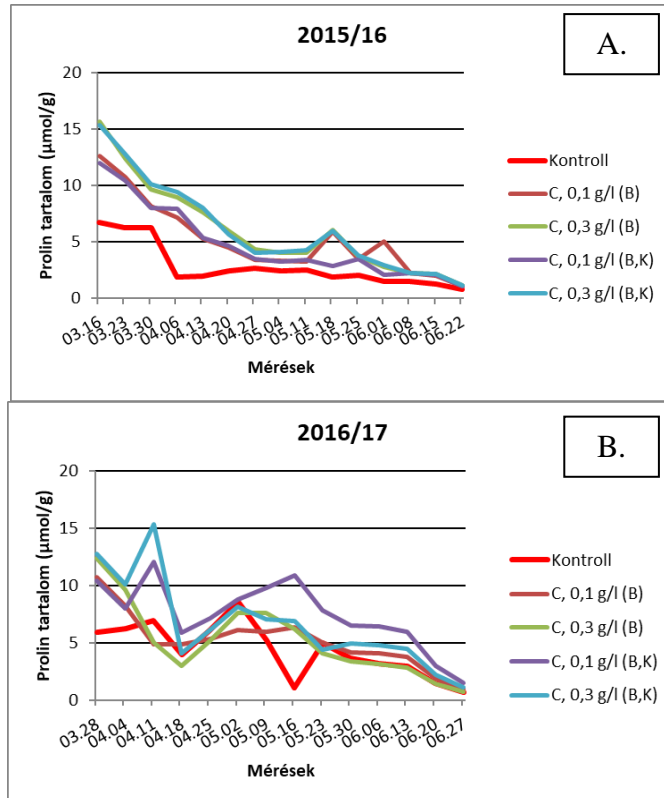
17. táblázat: A „Bőség” őszi búzafajta gyökerének száraz tömege (g/növény) a három kísérleti évben az MACC-755 *C. vulgaris* (C) zöldalgával történt első kezelés (bokrosodás) előtt és 10 nappal ezt követően.

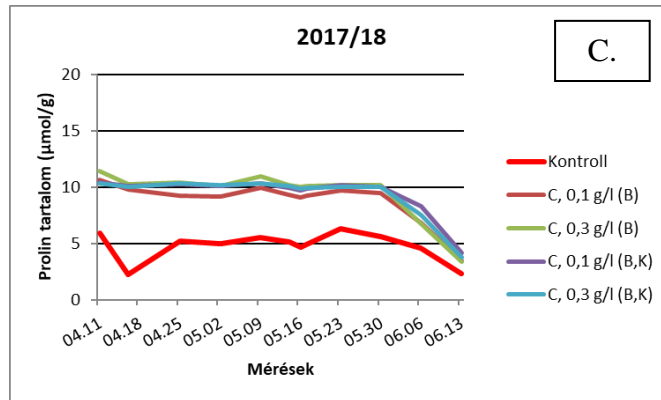
Kezelések	Kísérleti évek					
	Gyökér száraz tömeg (g/növény)					
	2015/16		2016/17		2017/18	
	1.	2.	1.	2.	1.	2.
Kontroll	0,48±0,1 ^b	0,55±0,1 ^c	0,49±0,1 ^c	0,52±0,1 ^c	0,75±0,0 ^b	0,80±0,0 ^c
C, 0,1 g L ⁻¹ (B)	0,57±0,1 ^c	1,07±0,1^b	0,57±0,1 ^d	0,79±0,0^c	0,99±0,1 ^c	0,81±0,0 ^c
C, 0,3 g L ⁻¹ (B)	0,80±0,1 ^a	1,17±0,2^a	0,85±0,1 ^a	1,09±0,0^a	1,87±0,6 ^a	1,11±0,0^a
C, 0,1 g L ⁻¹ (B, K)	0,54±0,1 ^c	1,15±0,1^a	0,62±0,1 ^c	0,74±0,0^d	1,30±0,2 ^b	0,77±0,0 ^c
C, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	0,72±0,1 ^b	1,16±0,4^a	0,69±0,1 ^b	0,84±0,0^b	1,36±0,2 ^b	0,86±0,0^b

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan ($P < 0,05$) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak. 1. 2 nappal az első kezelés előtt, 2. 10 nappal az első kezelés után.

Levél prolin tartalom

Az összes kísérleti évben a prolin tartalom az MACC-755 zöldalgával kezelt növényeknél nagyobb volt, mint a kontroll, néhány kivétellel 2016/17-ben. A legnagyobb értéket a C 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezelt növényeknél mértem mindhárom évben, míg a legalacsonyabb értékeket a C 0,1 g L⁻¹ (B és B, K) kezeléseknél mértem egy héttel az első kezelés után. Ezt követően a prolin tartalom folyamatosan csökkent, de nagyobb maradt a kontroll értékeinél a mérési periódus végéig (20. ábra A, B, C).

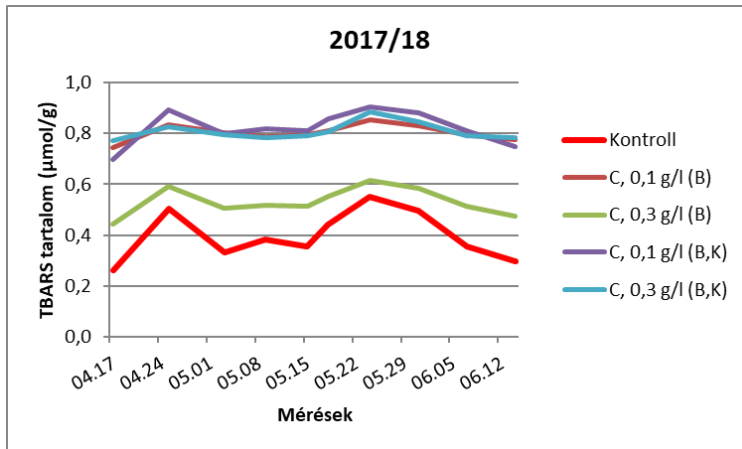




20. ábra A, B, C: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének prolin tartalma ($\mu\text{mol g}^{-1}$) 2015/16-ban (A), 2016/17-ben (B) és 2017/18-ban (C) a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-755 *C. vulgaris* zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

Levél malondialdehid tartalom

Az összes kísérleti évben a tiobarbitursav (TBARS) tartalom az MACC-755 zöldalgával kezelt növényeknél nagyobb volt, mint a kontroll. A legnagyobb értéket a C 0,1 g L⁻¹ (B és B, K), valamint a C 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelt növényeknél, míg a kontrollhoz közeli értékek a C 0,3 g L⁻¹ (B) kezelt növényeknél mértem. Ezt követően az TBARS tartalom folyamatosan csökkent, de nagyobb maradt a kontroll értékeinél a mérési periódus végéig (21. ábra).



21. ábra: A „Bőség” őszi búzafajta zászlós levelének tiobarbitursav (TBARS) tartalma ($\mu\text{mol g}^{-1}$) 2017/18-ban a vegetációs időszakban hetente 1 napon mért adatok alapján az MACC-755 *C. vulgaris* zöldalgával kezelve bokrosodáskor (B) vagy bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K).

Levél vízpotenciál

A ZIM-próba nappali és éjszakai adatai csak 2016/17-ben voltak nagyobbak (87,4 és 84,3 kPa) a kezelt növénynél, mint a kontrollnál (55,6 és 49,2 kPa). 2015/16-ban az éjszakai értékek nagyobbak voltak az alga kezelésnél, mint a kontrollnál. 2015/16 nappali és 2017/18-ban a nappali és éjszakai értékek kisebbek voltak a kezeltnél a kontrollhoz képest. Jelentős különbség látható a kezelt és a kontroll növények P_p értékei között. A nappali adatok értékei nagyobbak, míg az éjszakai értékek alacsonyabbak, mert a növények ilyenkor vizet vesznek fel (18. táblázat).

18. táblázat: A “Bőség” őszi búzafajta levelének vízpotenciál értékei ZIM-szondával (kPa) a három kísérleti évben az MACC-755 *C. vulgaris* (C) zöldalgával történt első kezelés (bokrosodás) hatására.

Átlag	2015/16		2016/17		2017/18	
	nappal	éjjel	nappal	éjjel	nappal	éjjel
Kontroll	56,1±30,6	45,2±29,5	55,6±27,1	49,2±26,9	79,9±43,8	70,2±27,0
Minimum	16,2	5,1	16,7	15,6	16,1	17,9
Maximum	127,7	128,5	117,9	109,5	166,1	111,9
C 0,1 g L ⁻¹ (B)	56,5±44,4	54,4±49,2	87,4±52,1	84,3±48,4	65,4±29,5	57,4±25,0
Minimum	10,9	10,9	18,0	14,3	23,8	28,9
Maximum	208,2	205,6	171,0	158,3	124,7	98,2
Hőmérséklet (°C)	17,6±5,9	10,4±5,4	20,8±7,2	11,3±5,3	25,7±4,1	14,9±2,8
Rel. páratart. (%)	67,0±16,3	88,5±12,8	57,7±13,8	84,0±10,0	45,7±13,0	73,9±10,7

B: bokrosodás. Eredmények: átlag ± SD. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól (P<0,05).

A mérés 2015/16-ban 03. 07 – 03. 27 között, 2016/17-ben 03. 27 – 04. 16 között, 2017/18-ban 04. 09 – 04. 29 között volt.

A kezelés előtti hónapban (február) 2015/16-ban elég sok csapadék 82 mm hullott, míg a másik két évben ennél kevesebb 24 és 31 mm volt. 2016/17 és 2017/18-ban 24 és 34 mm volt márciusban, ami jóval több a 2015/16-os év ugyanazon hónapjához képest (12 mm). Áprilisban közel hasonlóan alakult az évenkénti csapadék megoszlás, mint márciusban (2015/16-ban 15 mm, 2016/17-ben 35 mm, 2017/18-ban 24 mm). A hőmérséklet februárban a három év során $-0,5$ és $5,8$ °C között alakult, a legnagyobb hőmérséklet 2015/16-ban, míg a legalacsonyabb 2017/18-ban volt. Márciusban nagyobb volt a hőmérséklet $3,8$ és $8,9$ °C között alakult (2017/18, 2016/17), ami jóval nagyobb, mint az előző havi érték. Az áprilisi hónapban még feljebb emelkedett a hőmérséklet 2015/16-ban $11,3$ °C, 2016/17-ben $10,4$ °C, 2017/18-ban $15,5$ °C volt.

Termés és terméselemek

Az alábbiakban kiemelt összes növényi paraméter statisztikailag eltér a kontrolltól. Valamennyi kísérleti évben az MACC-755 zöldalgával kezelt növények kalász száma (ha) nagyobb volt, mint a kontrollé. A 2015/16 és 2017/18 -as kísérleti években a C $0,1$ g L⁻¹ (B, K) kezelt növények, míg a 2016/17 -es évben a C $0,3$ g L⁻¹ (B, K) kezelt növények kalász száma volt nagyobb, mint a kontrollé (19. táblázat A).

19. táblázat A: A “Bőség” őszi búzafajta kalász száma (ha) (millió) a három kísérleti évben az MACC-755 *C. vulgaris* (C) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Kalász szám (ha)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	4,4±88388,4 ^a	4,0±475985,8 ^d	4,3±80687,2 ^b
C, 0,1 g L ⁻¹ (B)	4,4±42099,8 ^a	4,2 ±56880,7 ^c	4,2±64043,4 ^b
C, 0,3 g L ⁻¹ (B)	4,2±49328,8 ^b	4,0±28894,6 ^d	4,1±42157,2 ^c
C, 0,1 g L ⁻¹ (B, K)	4,4±42031,7 ^a	4,5 ±153269,9 ^b	4,3±99674,0 ^d
C, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	4,1±27537,9 ^b	4,7 ±148436,3 ^a	4,2±35179,3 ^a

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalázhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan ($P < 0,05$) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

A kalászkok minden kezelésnél hosszabbak voltak (cm), mint a kontroll 2015/16 és 2017/18-ban, a legjobb eredményt a C 0,3 g L⁻¹ (B) és C 0,1 g L⁻¹ (B) kezelés eredményezte. 2016/17-ben szinté ez a két kezelés bizonyult a legeredményesebbnek a kontrollhoz képest (19. táblázat B).

19. táblázat B: A “Bőség” őszi búzafajta kalászhossza (cm) a három kísérleti évben az MACC-755 *C. vulgaris* (C) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Kalászhossz (cm)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	6,3±0,3 ^e	6,5±0,1 ^c	6,2±0,2 ^e
C, 0,1 g L ⁻¹ (B)	6,8±0,4^c	7,0±0,2^a	6,9±0,1^a
C, 0,3 g L ⁻¹ (B)	7,4±0,2^a	6,9±0,1^a	6,6±0,1^b
C, 0,1 g L ⁻¹ (B, K)	7,0±0,4^b	6,6±0,2^b	6,5±0,1^c
C, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	6,6±0,3^d	6,5±0,1 ^c	6,4±0,1^d

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kaláshányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

Az MACC-755 zöldalgával kezelt növények kalásonkénti szemszáma és ezerszem tömege egy-két kivétellel minden évben nagyobb volt a kontrollnál. A legnagyobb szemszám/kalász érték 2017/18-ban a C 0,1 g L⁻¹ (B) kezeléssel értem el. 2015/16-ban a C 0,1 g L⁻¹ (B) és 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezeléssel hasonló eredményt értem el. 2016/17-ben a C 0,3 g L⁻¹ (B) kezelés volt szignifikánsan nagyobb a kontrollnál. A legnagyobb ezerszem tömeget mindhárom kísérleti évben a C 0,3 g L⁻¹ (B) kezelés eredményezte a kontrollhoz képest (20. táblázat A, B).

20. táblázat A: A “Bőség” őszi búzafajta szemszám/kalász száma (db) a három kísérleti évben az MACC-755 *C. vulgaris* (C) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Szemszám/kalász (db)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	29,3±1,7 ^c	36,0±4,7^a	40,0±0,8 ^b
C, 0,1 g L ⁻¹ (B)	33,0±0,8^a	36,3±1,5^a	44,0±0,8^a
C, 0,3 g L ⁻¹ (B)	32,0±0,5^b	37,0±0,0^a	42,0±0,8^a
C, 0,1 g L ⁻¹ (B, K)	30,0±0,8 ^c	32,5±1,7 ^c	42,5±1,7^a
C, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	33,0±0,8^a	33,4±0,7 ^b	43,3±1,0^a

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

20. táblázat B: A “Bőség” őszi búzafajta ezerszem tömege (g) a három kísérleti évben az MACC-755 *C. vulgaris* (C) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Ezerszem tömeg (g)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	32,0±1,3 ^b	38,7±0,8 ^c	38,6±1,8 ^b
C, 0,1 g L ⁻¹ (B)	32,5±0,5 ^b	40,1±0,8^a	38,7±0,3 ^b
C, 0,3 g L ⁻¹ (B)	34,0±1,4^a	40,3±0,2^a	39,8±2,0^a
C, 0,1 g L ⁻¹ (B, K)	33,6±0,8^a	40,4±1,0^a	39,2±0,3^a
C, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	33,8±0,8^a	39,2±0,3^b	39,3±0,3^a

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

Az összes kezelt növény termése nagyobb volt, mint a kontroll mindegyik kísérleti évben. A legnagyobb átlagos terménövekedés 2015/16-ban az egyszeri (B) C 0,1 g L⁻¹-rel kezelt parcellákon volt 10,7

%, míg 2016/17 és 2017/18-ban a C 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 88,0 és 45,7 % volt (21. táblázat).

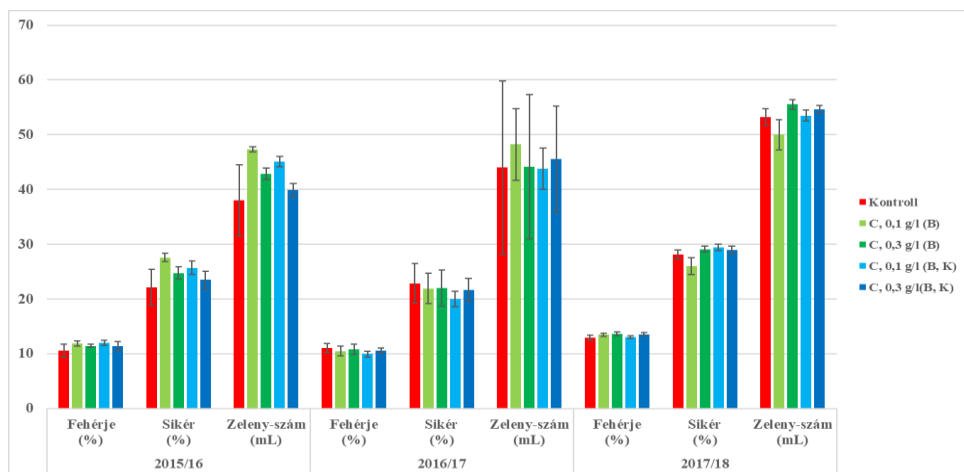
21. táblázat: A “Bőség” őszi búzafajta hozama (kg ha⁻¹) a három kísérleti évben az MACC-755 *C. vulgaris* (C) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Hozam (kg ha ⁻¹)		
	2015/16	2016/17	2017/18
Kontroll	6041,9±841,8 ^d	3253,0±185,9 ^e	4913,4±594,2 ^d
C, 0,1 g L ⁻¹ (B)	6689,2±143,3^a	6068,5±37,5^b	7125,2±29,2^a
C, 0,3 g L ⁻¹ (B)	6619,1±94,9^b	5993,1±38,4^c	6861,3±101,5^c
C, 0,1 g L ⁻¹ (B, K)	6440,4±105,7^c	5871,3±86,5^d	7085,3±74,3^b
C, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	6599,1±34,0^b	6115,4±43,8^a	7159,2±110,4^a

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

A gabonafélék átlagos fehérje-, sikértartalmát és Zeleny-számát a kezelések 2016/17-ben általában nem befolyásolták, kivéve a Zeleny-számnál C 0,1 g L⁻¹ (B) (48,2 mL) és 0,3 g L⁻¹ (B, K) (45,6 mL) kezeléseknél. A 2015/16-os évben mindegyik kezelésnél szignifikánsan nagyobb volt a fehérje tartalom (11,5-12,0 %), a sikértartalom (23,5-27,6 %) és a Zeleny-szám (39,9-47,4 mL) a kontrollhoz képest. 2017/18-ban a fehérjetartalom egyik kezelésnél sem volt nagyobb, a Zeleny-szám (55,6-54,7 mL) a C 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezeléseknél, a sikértartalom (29,5 %) a C 0,1 g L⁻¹ (B, K) és 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) (29,1-29,0 %) kezelt növényekben volt nagyobb (22. ábra).

22. ábra: A “Bőség” őszi búzafajta minőségi paramétereit a három kísérleti évben az MACC-755 *C. vulgaris* (C) zöldalgával történt kezeléseket követően.



B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4.

5.2.4. Az MACC-1 Chlorella vulgaris zöldalga kezelés hatása két kísérleti évben, valamint szennyvizen szaporított egy kísérleti évben

Termés és terméselemek

Az alábbiakban kiemelt összes növényi paraméter statisztikailag eltér a kontrolltól. Az MACC-1 zöldalgával kezelt növények kalász száma (ha) néhány kivétellel nagyobb volt, mint a kontrollé. A 2019/20-ban az összes kezelés szignifikánsan nagyobb volt a kontrollnál. A legjobb eredményt a C1 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelés eredményezte. 2018/19-es kísérleti évben a C1 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelt növények kalász száma volt a legnagyobb, míg a C1 0,3 g L⁻¹ (B, K) és C1 2,0 g L⁻¹ (B) kezelés közel hasonló kalász számot eredményezett. A kalászkok minden kezelésnél hosszabbak voltak (cm), mint a kontroll 2018/19 és 2019/20-ban, a legjobb eredményt a C1 0,3 g L⁻¹ (B) és C1 2,0 g L⁻¹ (B) kezelés eredményezte (22. táblázat).

22. táblázat: A „Bőség” (2018/19) és a „GK Csillag” (2019/20) őszi búzafajta kalász száma (ha) (millió) és kaláshossza (cm) a két kísérleti évben az MACC-1 *C. vulgaris* (C1) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Kalász szám (ha)		Kaláshossz (cm)	
	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20
Kontroll	4,5±40792,9 ^c	4,0±41794,8 ^d	8,3±0,3 ^c	8,5±0,3 ^d
C1, 0,3 g L ⁻¹ (B)	4,3±57209,4 ^d	4,2±12909,9^c	10,0±0,5^a	10,5±0,4^c
C1, 1,0 g L ⁻¹ (B)	4,6±55602,8 ^c	4,3±151440,0^c	9,5±0,4^b	10,8±0,3^b
C1, 2,0 g L ⁻¹ (B)	5,1±10680,0^b	4,3±52915,0^c	9,6±0,2^b	11,6±0,3^a
C1, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	5,1±42426,4^b	4,3±44347,1^c	9,5±0,1^b	10,5±0,1^c
C1, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	5,2±58523,5^a	4,7±175874,9^a	9,6±0,4^b	10,9±0,2^b
C1, 2,0 g L ⁻¹ (B, K)	4,3±26010,8 ^d	4,4±42426,4^{b,c}	9,2±0,2^b	11,2±0,2^a

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kaláshányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

A kalásonkénti szemek és az MACC-1 zöldalgával kezelt növények ezerszem tömege egy kivétellel minden évben nagyobb volt a kontrollnál. A legjobb szemszám/kalász és ezerszem tömeg érték 2018/19-ban a C1 1,0 g L⁻¹ (B) és 2019/20-ban C1 1,0 g L⁻¹ (B, K) volt (23. táblázat).

23. táblázat: A „Bőség” (2018/19) és a „GK Csillag” (2019/20) őszi búzafajta szemszám/kalász száma (db) és ezerszem tömege (g) a két kísérleti évben az MACC-1 *C. vulgaris* (C1) zöldalgalával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Szemszám/kalász (db)		Ezerszem tömeg (g)	
	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20
Kontroll	39,0±1,4 ^c	39,0±0,8 ^d	34,3±0,1 ^b	36,6±0,4 ^c
C1, 0,3 g L ⁻¹ (B)	49,8±3,5^a	45,0±0,8^b	38,7±0,8^a	37,8±0,2 ^c
C1, 1,0 g L ⁻¹ (B)	50,0±3,6^a	48,4±2,3^a	39,5±0,4^a	42,3±0,7^a
C1, 2,0 g L ⁻¹ (B)	46,8±1,7^b	49,0±0,8^a	39,2±0,8^a	40,1±0,5^b
C1, 0,3 g L ⁻¹ (B,K)	47,5±2,4^b	44,3±1,7^c	39,9±0,5^a	39,7±0,8^b
C1, 1,0 g L ⁻¹ (B,K)	46,3±1,7^b	49,1±0,8^a	40,3±1,0^a	43,7±0,8^a
C1, 2,0 g L ⁻¹ (B,K)	45,3±3,9^b	43,0±1,4^c	40,0±0,7^a	40,5±0,4^b

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

2018/19-ben az összes kezelt növény termése nagyobb volt, mint a kontroll. A legnagyobb átlagos terménövekedés 2018/19-ben egyszeri (B) C1 1,0 g L⁻¹-rel kezelt parcellákon volt 14,3 %, míg 2019/20-ban C1 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 9,2 % volt (24. táblázat).

24. táblázat: A „Bőség” (2018/19) és a „GK Csillag” (2019/20) őszi búzafajta hozama (kg ha⁻¹) a két kísérleti évben az MACC-1 *C. vulgaris* (C1) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Hozam (kg ha ⁻¹)	
	2018/19	2019/20
Kontroll	8624,5±504,2 ^c	10311,3±439,9 ^c
C1, 0,3 g L ⁻¹ (B)	8780,2±392,1 ^c	10995,2±347,5^b
C1, 1,0 g L ⁻¹ (B)	9854,0±532,0^a	10994,6±368,0^b
C1, 2,0 g L ⁻¹ (B)	9659,5±669,7^a	9936,6±673,0 ^d
C1, 0,3 g L ⁻¹ (B, K)	9083,4±571,8^b	11262,6±717,5^a
C1, 1,0 g L ⁻¹ (B, K)	9275,3±400,6^b	9621,3±339,8 ^c
C1, 2,0 g L ⁻¹ (B, K)	9435,1±218,0^b	10241,5±702,2 ^c

B: bokrosodás; B, K: bokrosodás és kalászhányás. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

2020/21 -es évben mindegyik kezelés szignifikánsan nagyobb volt a kontrollnál, de a nagyobb kalász szám és kalászhossz a BG-11 tápoldatban és TLC termesztőben szaporított algabiomasszával kezelt parcellákon volt. A BG-11 tápoldatban és RWP termesztőben szaporított algabiomassza kezelés is közel hasonló értékeket eredményezett a kalász számnál és a kalászhossznál. A kalásonkénti szemek száma és az ezerszem tömege mindegyik kezelésnél nagyobb volt a kontrollhoz képest. A legjobb szemszám/kalász és ezerszem tömeg értéket a BG-11 tápoldatban és RWP termesztőben szaporított algás kezeléssel értem el (25. táblázat).

25. táblázat: A „GK Csillag” (2020/21) őszi búzafajta kalász száma (ha), kaláshossza (cm), szemszám/kalász száma (db) és ezerszem tömege (g) az MACC-1 *C. vulgaris* (C1) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Kalász szám	Kaláshossz	Szemszám/ kalász	Ezerszem tömeg
	(db)	(cm)	(db)	(g)
	2020/21	2020/21	2020/21	2020/21
Kontroll	3,506±120679,7 ^d	8,4±0,3 ^b	39,0±0,8 ^e	39,0±0,9 ^c
BG-11, TLC	4,239 ±295326,9 ^a	9,4 ±0,2 ^a	46,8 ±1,7 ^b	45,2 ±1,6 ^a
BG-11, RWP	4,104 ±388724,9 ^b	9,3 ±0,1 ^a	51,9 ±2,3 ^a	47,0 ±0,9 ^a
WW, TLC	3,869 ±365480,5 ^c	9,1 ±0,1 ^a	44,2 ±2,6 ^c	44,0 ±1,8 ^b
WW, RWP	3,912 ±365119,7 ^c	9,0 ±0,1 ^a	43,7 ±2,2 ^c	44,6 ±2,6 ^b
Labor biomas.	3,805 ±147946,1 ^c	9,2 ±0,1 ^a	41,7 ±1,0 ^d	43,4 ±1,1 ^b

B: bokrosodás, 1,0 g L⁻¹, BG-11: tápoldat, WW: háztartási szennyvíz, TLC (Thin-Layer Cascade) vékony réteg algatermesztő berendezés, RWP (Race-Way Pon) nyitott rendszerű algatermesztő. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

2020/21-ben az összes kezelt növény termése nagyobb volt, mint a kontroll. A legnagyobb a BG-11 tápoldatban és RWP termesztőben szaporított algás kezelésnél 17,0 % volt (26. táblázat).

26. táblázat: A „GK Csillag” (2020/21) őszi búzafajta hozama (kg ha⁻¹) az MACC-1 *C. vulgaris* (C1) zöldalgával történt kezeléseket követően.

Kezelések	Hozam (kg ha ⁻¹)
	2020/21
Kontroll	7976,8±347,7 ^c
BG-11, TLC	9051,0±631,0^a
BG-11, RWP	9331,7±852,6^a
WW, TLC	8767,3±780,6^b
WW, RWP	8861,0±857,4^b
Labor biomassa	8643,5±280,3^b

B: bokrosodás, 1,0 g L⁻¹, BG-11: tápoldat, WW: háztartási szennyvíz, TLC (Thin-Layer Cascade): vékony réteg algatermesztő berendezés, RWP (Race-Way Pon): nyitott rendszerű algatermesztő. Eredmények: átlag ± SD, ahol n = 4. A különböző betűk a kontrolltól szignifikánsan (P<0,05) eltérő különbségeket jelzik. A vastagított értékek szignifikánsan eltérnek a kontrolltól, a kék színnel jelölt értékek a legnagyobbak.

6. EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA

Hozam

A mezőgazdasági termelés akkor válik fenntarthatóvá, ha a termésmennyiség csökkenését előidéző abiotikus stressz tényezők, mint például a szárazság negatív hatása mérséklődik. A fejlődő búzaszemekben a zászlólevélből tápanyagtranszport történik a szemfeltöltődés során. A vízhiány a zászlólevél szenescenciáját befolyásolhatja, így hozamcsökkenést eredményezhet. Csapadékhiányos körülmények között a termésbiztonság növelése lehetséges mikroalgákkal és tengeri algakivonatokkal, melyek növényi hormonokat tartalmaznak (Ördög et al., 1996). Nagyobb hozamot és ellenálló képességet biztosítanak a biotikus és az abiotikus stresszel szemben (Abd El-Bakery et al., 2010). A cianobaktériumok és a zöldalgák képesek termelni növekedésszabályozó és bioaktív vegyületeket, melyek bizonyos növényfajok fejlődését és növekedését serkenthetik (Shanan and Higazy, 2009; Pszczolkowski et al., 2012).

Nelson és van Staden (1989) kísérleteik során mérték az átlagos szemtömeg értéket a búzánál (szem tömeg/edény) az 1,0 cm³-es Kelpak 66 (*Eclonia maxima*) tengeri alga kezelésnél 93,5 mg volt a szem tömeg, ami szignifikánsan nagyobb a kontrollnál 32,7 mg (P<0,05). Mooney és van Staden (1985) „Inia” fajtájú búzánál vizsgálták a Kelpak 66 hatását szárazság stressz körülmények között. Üvegházban nevelt növényeket három szárazság stressz kezelésnek tették ki (T0: nem stresszelt növények; T1: vegetatív fázis alatt szárazságnak kitett növények; T2: virágzás alatt szárazságnak kitett növények), három koncentrációval kezelték (C1: 1,0 dm³ ha⁻¹, C2: 1,5 dm³ ha⁻¹, C3: 3,0 dm³ ha⁻¹). A kísérletet 3 ismétlésben egyszer

végezték el. Három hónappal a vetés után takarították be a növényt. A T0 kezelést egy héten egyszer tápoldattal, háromszor csapvízzel öntözték. Mindhárom kezelésnél a C3 koncentráció eredményezte a legnagyobb szemtömeget (T0: 2,5 g, T1: 2,2 g, T2: 1,8 g száraz tömeg) a kontrollhoz képest (T0: 1,8 g, T1: 1,2 g, T2: 1,4 g). Vizsgálataim során a cianobaktériummal bokrosodás és kalászhányás fenofázisában végzett kezeléseknél volt a legnagyobb a hozam, míg a zöldalgákkal csak bokrosodáskor végzett kezelések közel hasonló hozamot eredményeztek, ami jóval nagyobb volt a tengeri algával végzett kezelésnél, bár ezek a kezelések üvegházi körülmények között folytak. Ezekben a fenofázisokban végzett kezelések a szemtermésre nézve meghatározóak. A három évig vizsgált cianobaktérium és a zöldalgák termésátlaga eltér egymástól, a legjobb a zöldalgáké lett, azok között is az MACC-755-ös alga termésátlag lett a legjobb, mivel elegendő volt az egyszeri 0,1 g L⁻¹-es kezelés. A cianobaktériumnál a kétszeri kezelést az is indokolta, hogy a cianobaktériumok hormontermelése kisebb, mint a zöldalgáké. A cianobaktériumok poliszacharidokat termelnek, ez a kocsonyás anyag csökkenthette a sejtfeltárás eredményességét és így a kezelések hatását. A BG-11 tápoldatban és RWP termesztőben szaporított zöldalga biomasszájánál is az egyszeri kezelés eredményezte a legnagyobb hozamot (27. táblázat).

27. táblázat: A legnagyobb hozamot eredményező kezelések algánként, a kontrollhoz viszonyított %-os hozamnövekedéssel kiegészítve.

Algák	Kezelések	Átlagtermés (kg ha⁻¹)
Kontroll		4736,1
MACC-612	0,3 g L ⁻¹ B, K	6214,7
MACC-430	0,3 g L ⁻¹ B	6261,8
MACC-755	0,1 g L ⁻¹ B	6627,6
Kontroll		8970,9
MACC-1 l. sz.	1,0 g L ⁻¹ B	10424,3
MACC-1 sz. sz.	1,0 g L ⁻¹ B, BG-11, RWP	9331,7

Megjegyzés: l. sz.: laborban szaporított alga, sz. sz.: szennyvízben szaporított alga, B: bokrosodás, B, K: bokrosodás és kalászhányás, BG-11: tápoldat, RWP (Race-Way Pon): nyitott rendszerű algatermesztő.

Az időben elvetett magok 4,73 t ha⁻¹ hozamot eredményeztek, míg a későn elvetettek 3,49 t ha⁻¹-t (Dhyani et al., 2013). Bushra (2021) kísérletei során só stressznek kitett búzát vizsgált friss tehéntrágyával és moringa levéllel történt alapozás után, összehasonlítva más alapozó technikákkal, mint például a gibberellin savval (GA3). A friss tehéntrágya alkalmazása segíti a búzát a csírázás alatt és a később kialakuló só stressz minimalizálásában.

Többletbevétel

Az MACC-755 kivételével a 0,3 g L⁻¹ és az 1,0 g L⁻¹ egyszeri és kétszeri kezelés volt a leghatásosabb a cianobaktériumnál és a zöldalgáknál is. A kijuttatást gyomírtással kombinálva csökkenthető a költség. Javasolt nem auxin tartalmú gyomírtó alkalmazása, ha külön kell kivinni az alga biomasszát kb. 5-15.000 Ft között van a költsége, ami csak tájékoztató jellegű. Ha feltételezzük, hogy az alga biomassza 50 Euro kg⁻¹ áron

beszerezhető, az őszi búza ára pedig 73.478 Ft t⁻¹ (a három kísérleti év átlagára) (28. táblázat). A többletbevétel a mindenkori búzaár függvénye.

28. táblázat: A legnagyobb többletbevételt eredményező kezelések algánként, MACC-612, MACC-430, MACC-755 három év átlaga (2015-2018), MACC-1 két év átlaga (2019-2020), míg az MACC-1 sz. sz. egy kísérleti év (2021) eredménye.

Algák	Kezelések	Alga ára (Euro)	Átlagtermés (kg ha⁻¹)	Többlet- bevétel (Ft)
Kontroll			4736,1	
MACC-612	0,3 g L ⁻¹ B, K	12	6214,7	103.842
MACC-430	0,3 g L ⁻¹ B	6	6261,8	109.708
MACC-755	0,1 g L ⁻¹ B	2	6627,6	138.186
Kontroll			8970,9	
MACC-1 I. sz.	1,0 g L ⁻¹ B	20	10424,3	65.019
MACC-1 sz. sz.	1,0 g L ⁻¹ B, BG-11, RWP	20	9331,7	116.994

Megjegyzés: I. sz.: laborban szaporított alga, sz. sz.: szennyvízben szaporított alga, B: bokrosodás, B, K: bokrosodás és kalászhányás, BG-11: tápoldat, RWP (Race-Way Pon): nyitott rendszerű algatermesztő.

A számítások alapján a legnagyobb hozam többlet a 0,1 g L⁻¹ egyszeri kezelés eredményezte, de a 0,3 g L⁻¹ kétszeri kezelés is jelentős hozam többletet eredményezett.

Terméselemek

Három komponens határozza meg a termés mennyiségét a kalász szám, a kalásonkénti szemszám és az ezerszem tömeg. Különböző terméselemekre van hatással a szárazság attól függően, hogy milyen fenofázisban jelentkezik, de a termés csökken megfelelő vegetatív fejlődés

esetén is (Hoffmann et al., 2006; Passioura, 2012). A kalászolás és a virágzás között jelentkező vízhiány hatására kevesebb szem fejlődik, míg a szem tömeget a virágzáskor és szentelítődéskor jelentkező szárazság csökkenti (Vaezi et al., 2010; Khan and Naviq, 2011). A kalászolás előtt jelentkező szárazság növeli az ezerszem tömeget, de ennek ellenére akár 70 % is lehet a termés kiesés a steril pollenszemek képződése miatt, ami szemszám csökkenést eredményez (Hoffmann et al., 2006; Rajala et al., 2011).

Salim (2016) tengeri algával végzett kezelése során (1,0 és 2,0 g L⁻¹) egyik sem volt szignifikáns hatással a kalász számra, míg a kísérleteim során a cianobaktériummal kezelt parcellákon a kalász szám 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezelésnél 5,1–5,3 ezer ha, míg 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 5,2 ezer ha-ra növelte a kalász számot a kontrollhoz képest (4,0–4,4 ezer ha). A *Tetracystis sp.* zöldalgával kezelt parcellákon a kalász szám 0,3 g L⁻¹ (B, K) 5,3 ezer ha, 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) 5,2-5,4 ezer ha volt, míg a *C. vulgaris* zöldalgával 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 4,7 ezer ha volt a kalász szám. 2020/21-ben *C. vulgaris* (C1) zöldalgánál a BG-11 táptalajon TLC termesztőben szaporított zöldalga esetében 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél 4,2 ezer ha volt a legnagyobb kalász szám. Az *N. piscinale* cianobaktérium és a *T. sp.* zöldalga kezeléseket hasonló kalász számot eredményeztek, míg a *C. vulgaris* zöldalgáknál (C, C1) jóval kisebb lett a kalász szám (29. táblázat).

29. táblázat: A legjobb kezelések termésadatai algánként, MACC-612, MACC-430, MACC-755 három év átlaga, MACC-1 két év átlaga, míg az MACC-1 sz. sz. egy kísérleti év eredménye.

Algák	Kezelések	Kalász szám (ha)	Kalász-hossz (cm)	Szemszám /kalász (db)	Ezerszem tömeg (g)
Kontroll		4,2	6,3	35,1	36,4
MACC-612	0,3 g L ⁻¹ B, K	5,1	6,7	43,0	40,8
MACC-430	0,3 g L ⁻¹ B	5,2	6,9	41,4	41,3
MACC-755	0,1 g L ⁻¹ B	4,2	6,9	37,8	37,1
Kontroll		4,0	8,4	39,0	36,6
MACC-1 I. sz.	1,0 g L ⁻¹ B	4,4	10,2	49,2	40,9
MACC-1 sz. sz.	1,0 g L ⁻¹ B, BG-11, RWP	4,1	9,3	51,9	47,0

Megjegyzés: I. sz.: laborban szaporított alga, sz. sz.: szennyvízben szaporított alga, B: bokrosodás, B, K: bokrosodás és kalázhányás, BG-11: tápoldat, RWP (Race-Way Pon): nyitott rendszerű algatermesztő.

A kalázhossz az első évben 12,33 és 13,20 cm volt az 1,0 és 2,0 g L⁻¹ tengeri alga kezelésnél, mindkét kezelés szignifikánsan nagyobb a kontrollnál (9,33 cm). A második évben 12,33 és 11,33 cm volt 1,0 és 2,0 g L⁻¹ tengeri alga kezelésnél, mindkét kezelés szignifikánsan nagyobb a kontrollnál (9,50 cm) (Salim, 2016). Vizsgálataim során a kalázhossz a cianobaktérium 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) kezelésnél 6,8-7,5 cm, a zöldalgákkal 0,1, 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél 6,9-7,4 cm között alakult, jóval nagyobb a kontrollhoz képest (6,2-6,5 cm). 2020/21-ben *C. vulgaris* (C1) zöldalgánál a BG-11 tápoldalon TLC termesztőben szaporított zöldalga esetében 1,0 g L⁻¹

¹ (B) kezelésnél 9,4 cm volt a kaláshossz. A tengeri alga kivonathoz képest körülbelül a fele lett a mikroalga kezelésekre hatására a kaláshossz, de a kontrollhoz képest szignifikánsan nagyobbak lettek az értékek. Mind a cianobaktériumnál, mind a zöldalgáknál hasonló kaláshossz értékeket mértem, kivéve a C1 zöldalgánál, ahol kb. 2 cm-rel nagyobb lett az átlagos kaláshossz.

A tengeri alga kezelésnél a szemszám/kalász 2013/14-ben csak az 1,0 g L⁻¹-es kezelésnél (32,67 db) volt szignifikánsan nagyobb, mint a kontroll (21,00 db). 2014/15-ben mindkét kezelés (35,00, 33,67 db) szignifikánsan nagyobb volt a kontrollnál (23,67 db) (Salim, 2016). Szemszám/kalász 40-48 db volt a cianobaktériumos 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél a kontrollhoz képest (29-40 db). A zöldalgák esetében 0,1 és 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél 33-48 db volt, nagyobb a kontrollhoz képest. 2020/21-ben *C. vulgaris* (C1) zöldalgánál a BG-11 táptalajon RWP természetben szaporított zöldalga esetében 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél 52 db volt a szemszám/kalász. Qayyum és munkatársai (2021) 80 %-os szántóföldi vízkapacitásnál mindkét kenyérbúza fajtánál a szemszám/kalász szám 28,7 és 29,7 db volt. A mikroalgás kezelésekre jobban megnövelték a szemszám/kalász számot, mint a tengeri algával végzett kezelésekre. Mind a cianobaktériumnál, mind a zöldalgáknál hasonló szemszám/kalász értékeket mértem, kivéve a C1 zöldalgánál, ahol nagyobb lett az átlagos szemszám/kalász.

Százszem tömeg csak a 2013/14-es kísérleti évben volt nagyobb a kontrollnál (5,30 g) mindkét kezelés esetében (6,33 és 6,40 g) (Salim, 2016). Ezerszem tömeg 0,3 g L⁻¹-nél (B és B, K) 41,7-42,8 g, 1,0 g L⁻¹-nél (B, K) 41,7 g a cianobaktériumos kezelésnél szignifikánsan nagyobb a

kontrollnál (38,7-32,0 g). A zöldalga kezelések ezerszem tömege 39,8-43,7 g volt. 2020/21-ben *C. vulgaris* (C1) zöldalgánál a BG-11 táptalajon RWP természetben szaporított zöldalga esetében 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél 47,0 g ezerszem tömeg növekedést eredményezett a kontrollhoz képest. A tengeri alga kezelések jobban megnövelték az ezerszem tömeget a mikroalga kezelésekhez képest. Mind a cianobaktériumnál, mind a zöldalgáknál hasonló ezerszem tömeget mértem, kivéve a C1 zöldalgánál, ahol kb. 4 g-al nagyobb lett az átlagos ezerszem tömeg. Qayyum és munkatársai (2021) 80 %-os szántóföldi vízkapacitásnál mindkét kenyérbúza fajtánál az ezerszem tömeg 36,1 és 38,4 g volt. A csökkentett szántóföldi vízkapacitásnál közel hasonló ezerszem tömeget mértek, mint amit a mikroalgás kezelésnél mértem.

Az élettani hatást befolyásoló paraméterek

A 30. táblázatban is jól látható, hogy a cianobaktériumnál a 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelés és a két zöldalgánál a T 0,3 g L⁻¹ (B) és C 0,1 g L⁻¹ (B) kezelések voltak legjobban hatással az élettani folyamatokra, ami a nagyobb terméshozamot eredményezhette.

30. táblázat: A legjobb kezelések élettani hatást befolyásoló paramétereit algánként, gyökér száraz tömeg, relatív víztartalom, klorofill-, prolin tartalom három év átlaga, malondialdehid tartalom egy év eredménye.

Algák	Kezelések	Gyökér száraz tömeg (g)	Relatív víztartalom (%)	Klorofill tartalom (SPAD egység)	Prolin tartalom ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	Malondi-aldehid tartalom ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
Kontroll		0,62	68,9	39,6	3,9	0,40
MACC-612	0,3 g L ⁻¹ B, K	1,08	73,7	44,8	6,8	0,85
MACC-430	0,3 g L ⁻¹ B	0,94	71,9	43,7	6,6	0,90
MACC-755	0,1 g L ⁻¹ B	0,89	73,6	43,7	6,4	0,80

Megjegyzés: B: bokrosodás, B, K: bokrosodás és kalászhányás.

Gyökér száraz tömeg

A gyökérzet mérete és a növekedése nehezen meghatározható tulajdonság, azonban meghatározó szerepe van a szárazsághoz való alkalmazkodásban (Davies and Zhang, 1991). A szárazság a hajtástömeget csökkenti, de a gyökérzetre a hatása lehet pozitív (növekedés fokozó), semleges vagy negatív (gyökértömeg csökkentő) (Ehdaie et al., 2012). A fokozódó gyökérnövekedés a vízhiányhoz való alkalmazkodást szolgálja, mivel az erősebb, mélyebbre hatoló gyökérzetet fejlesztő genotípusok előnyben vannak stressz körülmények között, így a még nedves talajrétegben lévő víz elérhető a növény számára (Gowda et al., 2011). A termés és a fokozott gyökérnövekedés közötti kapcsolatról eltérő eredmények vannak (Ingram et al., 1994; Chloupek et al., 2010).

Kasim és munkatársai (2015) „Gemeza 9” búzafajtaival kísérleteztek 1,5 % *Sargassum latifolium* (Ext.1) és 1 % *Ulva lactuca* (Ext.2) tengeri alga kivonattal és ezek 1:1 arányú keverékével kezelték a növényeket szárazság stressz körülmények között 40 és 20 %-os szántóföldi vízkapacitásra beállítva. A magokat 3 órára beáztatták a kivonatokkal és a kontrollnál vízzel, 30 napos növényekről vettek mintát. Gyökér száraz tömeg a kontrollnál 0,043 g volt, míg a legjobb eredményt az Ext.1 0,046 g, Ext.2 0,049 g, míg az Ext.2 és 40 %-os szárazság stressz kezelés 0,056 g gyökér száraz tömeget eredményezett.

Ghafarizadeh és munkatársai (2017) *Nizamuddinia zanardinii* tengeri algával kezelték „Chamran 2” fajtájú búzát, 0 %, 5 %, 10 %, 15 % és 20 % alga kivonattal és 0 %, 25 % és 50 % karbamid kezeléssel. A növényeket műanyag edényekben nevelték és a 30. napon történt a kezelés és a 60. napon történt a mintavétel. A gyökér száraz tömeg a 10 %-os alga

kivonat és 25 %-os karbamid műtrágyával kezelt növények esetében volt a legnagyobb (0,090 g) a kontrollhoz képest (0,020 g). Az 50 %-os karbamid és szintén a 10 %-os alga koncentrációval végzett kezelés eredményezte a legjobb gyökér száraz tömeget (0,065 g).

Nelson és van Staden (1989) Kelpak 66 (*Ecklonia maxima*) tengeri alga készítménnyel kezelt 0; 0,01; 0,05; 1,0 és 2,0 cm³ koncentrációval az „Inia” fajtájú búzát, melyet 300 m³ edényben neveltek. Három héttel a vetés után kezelték a növényeket. A gyökér száraz tömeg a 2,0 cm³ kezelésnél volt a legnagyobb 0,51 g/edény a kontrollhoz képest 0,23 g/edény. Szintén Kelpak 66 hatását vizsgálták „Inia” fajtájú búzánál szárazság stressz körülmények között (Mooney és van Staden, 1985). A T0 (1,0 g) és T1 (1,5 g) kezelésnél a C1 koncentráció eredményezte a legnagyobb gyökér száraz tömeget a kontrollhoz képest (T0: 0,5 g, T1: 0,5 g). A T2 kezelésnél a C3 koncentráció eredményezte a legnagyobb gyökér száraz tömeget (0,9 g) a kontrollal összehasonlítva (0,5 g).

A saját eredményeimnél a gyökér száraz tömeg a cianobaktériumnál a 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 1,05 és 1,15 g volt, vagyis szignifikánsan nagyobb a kontrollnál (0,52-0,80 g). A *T. sp.* zöldalgával 1,0 g L⁻¹ (B) kezeléskor a gyökér száraz tömege 1,69-1,73 g volt, szignifikánsan nagyobb a kontrollnál. A *C. vulgaris* zöldalgánál 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél a gyökér száraz tömeg 1,09-1,17 g volt. A cianobaktériumnál és a *C. vulgaris* zöldalgánál hasonló eredményeket mértem, míg a *T. sp.* zöldalgánál nagyobb volt a gyökér száraz tömeg a másik két algához képest. Az irodalmakkal összevetve a mikroalga kezelések jelentősen növelték a gyökér száraz tömeget a tengeri algával végzett kezelésekhöz képest azt kiemelve,

hogy a fent hivatkozott cikkekben üvegházban, tenyészedényben nevelt növényeken végezték a vizsgálatot.

Relatív víztartalom

A növényi szövetekben a vízhiány stressz csökkenti a víz relatív mennyiségét. Ezt figyelembe véve az egyik legmegbízhatóbb és széles körben használt mutató a levél relatív víztartalom (RWC) a növények vízhiány stresszel szembeni érzékenységének és toleranciájának meghatározására (Soltys-Kalina et al., 2016). Soltys-Kalina és munkatársai (2016) szerint az RWC a toleráns és érzékeny genotípusok elkülönítésének egyik legjobb indikátora. A vízháztartás jellemző paraméterei a szárazság stressz alatt a relatív víztartalom (RWC) és a vízpotenciál (Turner, 1981). Azoknál a fajtáknál, ahol a szárazság hatására kevésbé csökken a termés, a relatív víztartalom csökkenését az aktív ozmoreguláció eredményezi, így lehetséges, hogy az alacsonyabb víztartalmú levelek nagyobb szívóerőt fejtenek ki ezzel elősegítve a talajban erősen kötött víz felvételét (Hoffmann et al., 2006).

Pokharel és Pandey (2012) 60 búza genotípus relatív víztartalmát mérték szárazság stressz körülmények között üvegházban nevelve. Szárazság stressz esetén az értékek 45,5 és 82,1 % között voltak, a legjobb RWC tartalmat a „Vijaya” 78,0 %, „NPGR 8752” fajtának 82,1 % volt. A legalacsonyabb RWC érték az „NPGR 8749” fajtánál 45,5 %, míg az „ABL 12”-nél 46,0 % volt. A kontroll relatív víztartalom értéke 40,0 % volt. Az RWC tartalom 90 % körül alakult a kontrollnál, míg a 11. napon végzett szárazság stressz kezelés csökkentette a RWC tartalmat bár csekély

mértékben (89 %), míg a 15. napon végzett kezelés már 80 % relatív víztartalom csökkenést eredményezett (Amoah et al., 2019).

Qayyum és munkatársai (2021) megfigyelték, hogy a növekvő vízhiány stresszel egyenes arányban növekedett az RWC tartalom. A legnagyobb relatív víztartalom 87,7 % volt a 80 % szántóföldi vízkapacitásnál a „Chakwal-50” búzafajtánál, a legkisebb RWC 56 % volt a másik búzafajtánál 20 % szántóföldi vízkapacitás esetén.

A cianobaktériummal kezelt növények legnagyobb átlagos RWC tartalma 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 73,7-75,6 % volt. A *T. sp.* zöldalgánál az 1,0 g L⁻¹ (B és B, K) kezelésnél a legnagyobb RWC tartalom 74,6-75,2 %, a kontroll 68,9% volt. A *C. vulgaris* zöldalgánál a 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezelésnél a legnagyobb RWC tartalom 74,7-74,9 % volt. Mindegyik mikroalgával végzett kezelés hasonló mértékben növelte meg a relatív víztartalmat. A kísérletek során elvégzett szárazság stressz kezeléseket jelentősen megemelték a különböző búza fajták RWC tartalmát, míg a mikroalgával végzett kezeléseket is megnövelték közel hasonló mértékben az RWC tartalom értékét.

Klorofill tartalom

A klorofill tartalom meghatározást széles körben használják az abiotikus tolerancia szint jelzőjeként, a klorofill tartalom csökkenését okozhatja a nagyobb sótartalom a talajban. Quan és munkatársai (2021) megerősítő kísérlete azt mutatta, hogy a klorofill tartalom csökkenése minden toleráns fajtánál alacsonyabb volt, mint az érzékeny fajtáknál. Számos fiziológiai paraméter módosulása jelzi a levél öregedési folyamatainak megkezdődését, mint például a klorofill tartalom csökkenése,

a lipidperoxidáció alatt keletkező malondialdehid szint emelkedése. Ezeket a szeneszcencia indikátoraiként is alkalmazzák (Yang et al., 2001).

Salim (2016) vizsgálatai során mérte a klorofill tartalmat SPAD készülékkel. Mindkét koncentrációval végzett kezelés szignifikánsan nagyobb ($P < 0,05$) volt a kontrollnál. Az első évben 50,0 és 51,3 SPAD egység az 1,0 és 2,0 g L⁻¹-es koncentrációban (kontroll 44,3 SPAD egység). A második évben 50,7 és 51,3 SPAD egység, míg a kontroll 43,7 SPAD egység volt. Klorofill tartalom (SPAD egység) különböző búza genotípusoknál 37,7-47,7 SPAD egység 90. nap után és 33,3-45,6 SPAD egység 110. nap után. Klorofill tartalom a „PBW-574”, „K-0-307” és „HS-240” genotípusoknál csökkent (38,9-44,7 SPAD egység) a késői vetés esetén, összehasonlítva az időben elvetett (34,5-41,5 SPAD) növényekkel a 90. és 110. nap után (Dhyani et al., 2013).

A búza klorofill tartalmát csökkentette a hő stressz 17 SPAD egység, míg a kontrollnál 29 SPAD egység volt a klorofill tartalom. Szalicilsav kezelés hatására a kontroll és a hő stressz kezelés esetén is megnőtt a klorofill tartalom (35 és 25 SPAD egység) (Khan et al., 2013).

A cianobaktériummal kezelt növények klorofill tartalma 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 43,4-45,2 SPAD egység, míg a zöldalgáknál *T. sp.* 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 45,0-46,4 SPAD egység., *C. vulgaris* 0,3 g L⁻¹ (B és B, K) kezelésnél 44,7-45,8 SPAD egység volt a kontrollhoz képest (39,8 SPAD egység). Mindhárom mikroalgánál hasonló értékek voltak a 0,3 és 1,0 g L⁻¹ egyszeri és kétszeri kezeléseknél. Az irodalmakkal összehasonlítva a mikroalgás kezelések kicsit kisebb klorofill tartalmat eredményeztek, mint a tengeri algás kezelések. A hő stressz és a későn elvetett búza kisebb klorofill tartalmat eredményezett.

Prolin tartalom

A jó terméshozam biztosítása érdekében a vízhiány körülmények között nevelt növények ozmoprotektánsokat halmoznak fel, mint a prolin (Kishor et al., 1995), amely növeli az ellenállóképességet az ozmotikus stresszel szemben. Nagymértékű a prolin felhalmozódás ozmotikus stressz esetén (Kerepesi and Galiba, 2000). Vízhiány stressz (20 % PEG-6000) a négyszeresére emelte a prolin tartalmat a kontrollhoz képest. A növény szárazságtűrő képességére lehet következtetni a prolin felhalmozódás mértékéből (Sinha et al., 2006). A „GK Habzó” szárazság tűrő fajtánál szignifikánsan ($P < 0,05$) nőtt a prolin szint $160 \mu\text{mol g}^{-1}$. A növény fiziológiai állapotát meghatározó jellemzők, mint a prolin-, keményítő tartalom mérése a durum búza korai fejlődési szakaszában segíthet a szárazságtűrő genotípusok kiválasztásában (Guellim et al., 2020).

Latique és munkatársai (2014) két tengeri algával 25 % *Ulva rigida* és 50 % *Fucus spiralis*-al vízhiány körülmények között (mérsékelt és súlyos stressz) kezelték a „Karim” fajtájú búzát. A kísérlet 45 napig tartott. Mérsékelt és súlyos stressz kezelésnél lett a legnagyobb a prolin tartalom mindhárom esetben, az alga nélküli kezelésnél ($12-16 \mu\text{mol } 100\text{mg}^{-1}$ friss tömeg), 25 % *F. spiralis* kezelésnél ($10-11 \mu\text{mol } 100\text{mg}^{-1}$ friss tömeg) és az 50 % *U. rigida* kezelésnél ($6-7,4 \mu\text{mol } 100\text{mg}^{-1}$ friss tömeg), mint a kontroll ($2-3 \mu\text{mol } 100\text{mg}^{-1}$ friss tömeg). Qayyum és munkatársai (2021) -8 bar ozmotikus stressz kezelés (PEG-6000) esetén $3,8-4,0 \text{ mg g}^{-1}$ friss tömeg prolin tartalmat mértek két kenyér búza fajtánál. A prolin tartalom $1,4-2,0 \mu\text{mol g}^{-1}$ friss tömeg volt a 11. és 15. napon végzett szárazság stressz

kezelés hatására, mint a kontrollnál ($1,2 \mu\text{mol g}^{-1}$ friss tömeg) (Amoah et al., 2019).

A prolin tartalom ($\mu\text{g g}^{-1}$ friss tömeg) az összes vizsgált genotípusban nagyobb lett (30,3, 160,5, 135,2, 262,1, 184,0 és 221,7, 236,6, 261,8, 419,4) a későn elvetett növényeknél az időben elvetett növényekhez képest (89,6, 106,8, 119,6, 62,0 és 22,0, 20,7, 37,0, 20,9, 18,4) a virágzásnál (Dhyani et al., 2013). A hő stressz ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) megnövelte a búzában a prolin tartalmat ($10 \mu\text{mol g}^{-1}$ friss tömeg) a kontrollhoz képest ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) ($5 \mu\text{mol g}^{-1}$ friss tömeg), míg a $0,5 \text{ mM}$ szalicilsav kezelés (15 napos növény) és a hő stressz tovább növelte a prolin tartalmat ($14 \mu\text{mol g}^{-1}$ friss tömeg), még a kontroll esetében is ($9 \mu\text{mol g}^{-1}$ friss tömeg) (Khan et al., 2013).

A cianobaktériummal $1,0 \text{ g L}^{-1}$ (B és B, K) végzett kezelésnél $7,4\text{--}8,1 \mu\text{mol g}^{-1}$, míg a zöldalgáknál a *T. sp.*-vel végzett $0,3$ és $1,0 \text{ g L}^{-1}$ (B) kezelések $6,6\text{--}6,8 \mu\text{mol g}^{-1}$ között voltak, a *C. vulgaris*-nál a $0,1$ és $0,3 \text{ g L}^{-1}$ (B, K) kezelések $7,2\text{--}7,4 \mu\text{mol g}^{-1}$ voltak a kontroll értéke felett ($4,0 \mu\text{mol g}^{-1}$). A tengeri algákkal végzett kezelések nem eredményeztek ilyen magas prolin tartalmat, mint a mikroalgákkal végzett kezelések. Az időben és a későn elvetett búzafajtáknál és hő stressz esetében már jóval nagyobb prolin értékeket mértek a vizsgálatok során.

Malondialdehid tartalom

Az öregedés mellett oxidatív stressz esetén is megemelkedik a malondialdehid tartalom, így a szárazság stresszel együtt jelentkező oxidatív stressz, a megnövekedett lipidperoxidáció mértékét is jelezheti (Uchida, 2003).

Kasim és munkatársai (2015) eredményei azt mutatták, hogy a szárazság stressz kezelése a malondialdehid (MDA) tartalmat növelte, ami a membrán lipidperoxidációnak tulajdonítható. A legnagyobb MDA tartalom a mix algával 20 % szárazság stressznek kitett növényeknél mérték 100-110 $\mu\text{M g}^{-1}$ f.m. érték között, míg a kontroll 15 $\mu\text{M g}^{-1}$ f.m. volt. Ghafarizadeh és munkatársai (2017) 20 %-os alga kivonat és karbamid kezelés nélkül mérték a legnagyobb (19,5 mM g^{-1} friss tömeg) MDA tartalmat, a kontrollhoz képest (12,5 mM g^{-1} friss tömeg) ($P=0,05\%$). A 25 % és 50 %-os karbamid tartalom 15-17 mM g^{-1} friss tömegre csökkentette az MDA mennyiségét, de még így is nagyobb volt az MDA tartalom a kontrollnál (13,5 mM g^{-1} friss tömeg).

Az MDA tartalom cianobaktériummal 0,3 g L^{-1} (B, K) kezelt növényeknél 0,85 $\mu\text{mol g}^{-1}$ volt, a kontrollhoz képest (0,40 $\mu\text{mol g}^{-1}$). A búza különböző genotípusaiban a membránban előforduló többszörösen telítetlen zsírsavak lipidperoxidációja során keletkező malondialdehid mennyisége 13,1, 11,8 és 7,3, 4,2 $\mu\text{mol g}^{-1}$ friss tömeg a „HS 240” és „K-0-307” genotípusok esetében a virágzás idején késői és időben vetett körülmények között (Dhyani et al., 2013). Az MDA tartalom növekedett a -8bar ozmotikus stressz kezelésnél 50 nM g^{-1} friss tömeg a „Chakwal-50” búzafajtánál (Qayyum et al., 2021). A tiobarbitursav (TBARS) tartalom hő stressz hatására nagyobb lett (36 nmol g^{-1} friss tömeg), mint a kontroll (19 nmol g^{-1} friss tömeg), míg a 15 napos növénynél végzett szalicilsavas kezelés és a hő stressz csökkentette a TBARS tartalmat (27 nmol g^{-1} friss tömeg) még a kontrollnál is (16 nmol g^{-1} friss tömeg) (Khan et al., 2013).

A zöldalgák MDA tartalma 0,1 (B, K) és 0,3 g L^{-1} (B) kezelésnél 0,82-0,90 $\mu\text{mol g}^{-1}$ volt. Az MDA tartalom a mikroalgákkal kezelt növényi

mintákban minden mintavételi napon szignifikánsan megemelkedik a kontrollhoz képest, ami jelentős oxidatív stresszre és membránkárosodásokra utal.

Kasim és kollégái (2015) tengeri algával végzett kísérletének eredményei jóval nagyobb MDA tartalmat eredményeztek, mint a mikroalga kezelések. A különböző búza genotípusok eltérő időben vetése is nagyobb MDA tartalmat eredményezett (Dhyani et al., 2013). A fent említett többi kísérlet bár eredményes volt a kontrollhoz képest, de jóval kisebb MDA tartalmat eredményezett a cianobaktérium és zöldalga kezeléseknél.

Vízpotenciál érték

Vízhiányos körülmények között a levél vízpotenciál fontos élettani tulajdonság a szárazságtűrés szempontjából. A szárazság stressz korlátozza a vízellátást, csökkenti a levelek víztartalmát és vízpotenciálját, ami a turgor, a sztóma vezetőképesség és a fotoszintézis csökkenéséhez vezet, valamint a szemtermés esetleges csökkenéséhez. A sejtek zsugorodását eredményezi a szárazság, ami a sejtturgor elvesztését, a sejtmembrán szétesését eredményezi, amivel csökkennek az anyagcsere folyamatok.

A toleráns genotípusnál kisebb, míg az érzékeny köles genotípusnál nagyobb levél vízpotenciál csökkenés volt megfigyelhető stressz körülmények között (Ninja Reddy et al., 2021).

Bramley és munkatársai (2013) vizsgálták a búza napi P_p érték változását kétszeri és háromszori öntözés esetén. Az eredmények alapján a háromszori öntözés nagyobb P_p értékeket eredményezett (35-50 P_p (kPa), mint a kétszeri öntözés. A vízpotenciál nagyobb volt (-0,29MPa) 80 %

szántóföldi vízkapacitásnál és alacsonyabb (-1,51 MPa) 20 % szántóföldi vízkapacitásnál a „Wafaq-2001” búzafajtánál (Qayyum et al., 2021).

A búza levél vízpotenciálját növelte a hő stressz kezelés -1,2 MPa-ra a kontrollhoz képest -0,7 MPa (Khan et al., 2013). A cianobaktériumnál 62,6-93,2 kPa volt a nappali, 49,7-91,6 kPa volt az éjszakai vízpotenciál érték 1,0 g L⁻¹ (B) kezelt parcellákon. A legnagyobb vízpotenciál értéket a zöldalgák (MACC-430, 1,0 g L⁻¹ (B) és 755, 0,1 g L⁻¹ (B)) kezelése eredményezte, mind a nappali (87,4-106,5 kPa), mind az éjszakai (84,3-92,9 kPa) értékek esetében.

A mikroalga kezelések jelentősen megnövelték a vízpotenciál értékeket Bramley és munkatársai (2013) eredményeihez képest ugyanezzel az eszközzel mérve a vízpotenciált, míg a hő stressz kezelés MPa-ban kifejezett eredményeihez képest alacsonyabbnak bizonyultak a mikroalgás kezelések értékei (1 MPa = 1000 kPa).

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- 1.) Az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) esetében elsőként vizsgáltam egy cianobaktériummal (MACC-612 *Nostoc piscinale*) és három zöldalgával (MACC-430 *Tetracystis* sp., MACC-755 és MACC-1 *Chlorella vulgaris*) történt levél permetezést bokrosodáskor (B), kalászhányáskor (K) és virágzáskor (V). Megállapítottam, hogy a „Bőség” őszi búzafajta kezelése három mikroalga törzssel bokrosodáskor és/vagy kalászhányáskor 0,1, 0,3 és 1,0 g L⁻¹-rel végzett kezelések 10,4-47,4 % termésnövekedést eredményeztek.
- 2.) Javaslatot tettem a legnagyobb többletbevételt adó kezelésre, figyelembe véve a búza három kísérleti éves (2015-2018) tonnánkénti piaci átlagárát a KSH adatai alapján (73 478 Ft) és feltételezve azt, hogy a mikroalga piaci ára legfeljebb 50 Euro kg⁻¹. A cianobaktériumnál a 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelés eredményezte a legnagyobb többletbevételt (103 842 Ft). A zöldalgákkal végzett kezelések esetén 0,1, 0,3 és 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél (legkevesebb 65 019 Ft és a legnagyobb 138 186 Ft) volt ez az érték. A kijuttatást gyomírtással kombinálva csökkenthető a költség, viszont javasolt nem auxin tartalmú gyomírtó alkalmazása.
- 3.) A terméselemek közül a cianobaktériummal 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél a kalász szám, szemszám/kalász és az ezerszem tömeg hozzájárult a nagyobb terméshez, míg a zöldalgáknál a T 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél szintén a kalász szám, szemszám/kalász és az ezerszem tömeg, míg C 0,1 g L⁻¹ (B) csak a szemszám/kalász járult hozzá a nagyobb terméshez kialakulásához. A C1 laborban és szennyvízen szaporított zöldalga esetében a kalászhossz, szemszám/kalász és az ezerszem tömeg növelte a terméshez.

4.) A legnagyobb termést eredményező kezeléseknél mérhető különbséget találtam a kontroll és a kezelt növények gyökértömege, valamint fotoszintézisét (klorofill) és vízháztartását jellemző paraméterekben (relatív víztartalom, prolin-, malondialdehid tartalom).

8. ÖSSZEFOGLALÁS

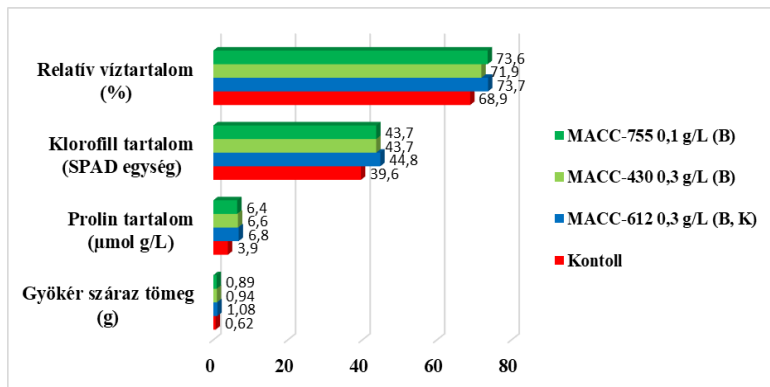
A globális felmelegedés miatt a szárazság és a magas átlag hőmérséklet nagy kihívást jelent a gazdálkodók számára az egész világon. A globális klímaváltozás növeli az abiotikus és biotikus stressz hatását, ami csökkentheti a növények hozamát. Az utóbbi időben a termés és a növények szárazságtűrésének a növelésére elterjedt a biostimulások alkalmazása. Ezek közé tartoznak a tengeri algakivonatok és újabban a mikroalga készítmények is. A munkám során az alábbi problémakörök megoldását tűztem ki célul:

1. az algákat a növény melyik fenofázisában és milyen koncentrációban kijuttatva érhető el a legjobb biostimuláns hatás, a legnagyobb termés,
2. az algás kezelés hogyan hat a terméseredményre, melyik kezelés, milyen koncentrációban és mely fenofázisban kijuttatva a leggazdaságosabb, eredményezi a hozam többletet,
3. a termésváltozás mely terméselemekkel magyarázható,
4. a kezelések hatására milyen élettani és vízhiány stressz változások mennek végbe a növényben.

A kísérletet a Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar Tangazdaságában állítottam be 2015/16, 2016/17, 2017/18-ban. A 2018/19, 2019/20, 2020/21-es évben beállított kísérlet eredményeit csak azért vontam bele a dolgozatba, hogy a laborban és a szennyvízben szaporított alga közötti termésben jelentkező esetleges különbségeket bemutassam. A kísérleti növények kisparcellán (10 m²) lettek elvetve. A kísérletet véletlen blokk elrendezésben négy ismétlésben állítottam be. A növényeket bokrosodáskor, kalászhányáskor és virágzáskor

kezeltem egy cianobaktériummal (MACC-612 *N. piscinale*) és három zöldalgával (MACC-430 *T. sp.*; MACC-755 és MACC-1 *C. vulgaris*) 0,1; 0,3; 1,0 és 2,0 g L⁻¹ koncentrációban.

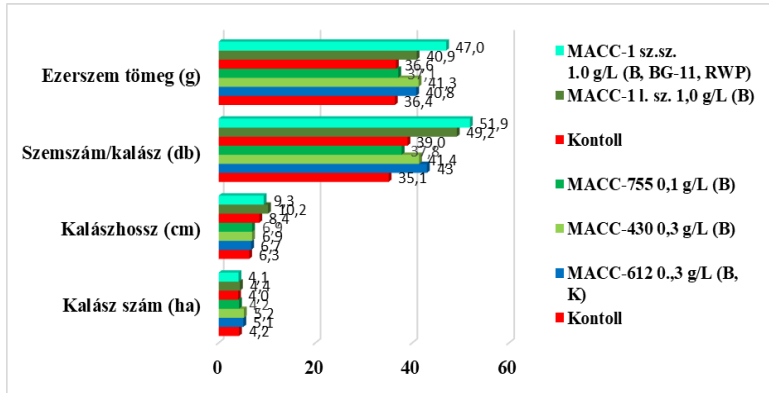
Gyökér száraz tömeg meghatározáshoz a mintákat a parcellák három középső sorából gyűjtöttem az első kezelés előtt két nappal és utána tíz nappal. Minden parcelláról egy 30 x 30 cm-es területről tíz növényt gyűjtöttem. A relatív víztartalmat a zászlós levélen mértem hetente (3 növény/parcella). A klorofill tartalmat a zászlós levélen (5 növény/parcella) mértem egy héttel az első kezelés után hetente 5 alkalommal, délután 4 óra körül. A prolin és malondialdehid tartalom mérését egy héttel a mikroalgás kezelés után kezdtem el hetente egyszer (4 növény/parcella). A vízpotenciált a levelek eltávolítása nélkül folyamatosan 3 hétig mértem az első kezeléstől számítva (23. ábra).



23. ábra: Az algával kezelt növények gyökértömege, valamint fotoszintézisét és vízháztartását jellemző paramétereinek alakulása három év átlagában a kontrollhoz viszonyítva. B: bokrosodás; K: kalászhányás.

A betakarítás előtt parcellánként a középső sorból 1 métert kijelölve mintát gyűjtöttem, amelyből meghatároztam a kalász számot (ha), kalászhosszt (30 db kalász/parcella), szemszám/kalászt (30 db kalász

szemszáma/parcella), ezerszem tömeget (1000 db szem tömege). A parcellánkénti terméshezamból (kg/parcella) számoltam a hektáronkénti termés hozamot (kg ha⁻¹) (24. ábra).



24. ábra: A terméselemek hatása a legnagyobb hozamot eredményező algekezeléseknél három év átlagában a kontrollhoz viszonyítva.

l. sz.: laborban szaporított alga, sz. sz.: szennyvízben szaporított alga, B: bokrosodás, B, K: bokrosodás és kaláshányás, BG-11: tápoldat, RWP (Race-Way Pon): nyitott rendszerű algatermesztő.

A kísérletek során megállapítottam, hogy a legnagyobb hozamot a *N. piscinale* cianobaktérium kezelésnél 2015/16-ban a 0,3 g L⁻¹ bokrosodáskor és kaláshányáskor (B, K) végzett kezelés eredményezte (8362,3 kg ha⁻¹). A zöldalgával végzett kezelések a *T. sp.* esetében 2017/18-ban a T 0,3 g L⁻¹ (B) kezelés eredményezte (6500,1 kg ha⁻¹). A *C. vulgaris* zöldalgáknál 2017/18-ban a C 0,1 g L⁻¹ (B) kezelés (7125,2 kg ha⁻¹), 2019/20-ban a C1 1,0 g L⁻¹ (B) kezelés eredményezte (10994,6 kg ha⁻¹) a legnagyobb hozamot. 2020/21-ben a C1 1,0 g L⁻¹ (B) BG-11 tápoldatban és RWP termesztőben szaporított algabiomassza kezelésnél lett a legnagyobb a hozama (9331,7 kg ha⁻¹). A leggazdaságosabb kezelés az egyszeri és kétszeri 0,3 és 1,0 g L⁻¹ kezelések eredményezték a cianobaktérium és a zöldalgáknál is. Mikroalgák

használata javította a terméselemek eredményeit a kontrollhoz képest, ami szintén hozzájárult a nagyobb terméshozamhoz. A kezelések kedvezően befolyásolták a növény élettani változásait és meghosszabbították a vegetációs időt.

9. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

Az értekezés témakörében eddig megjelent publikációk

Tudományos közlemény, külföldi, idegen nyelvű lektorált folyóiratban:

- Ördög V. - Stirk, W. A. - **Takács G.** - Pöthe P. - Illés Á. – Bojtor Cs. - Széles A. - Tóth B. - van Staden, J. - Nagy J. (2021): Plant biostimulating effects of the cyanobacterium *Nostoc piscinale* on maize (*Zea mays* L.) in field experiments. South African Journal of Botany, 140: 153-160.
- **Takács G.** – Stirk, W. A. - Gergely I. - Molnár Z. - van Staden, J. - Ördög V. (2019): Biostimulating effects of the cyanobacterium *Nostoc piscinale* on winter wheat in field experiments. South African Journal of Botany, 126: 99-106.

Tudományos közlemény, magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:

- **Takács G.** - Pöthe P. - Gergely I. - Molnár Z. - Nagy J. - Ördög V. (2020): A *Nostoc piscinale* cianobaktérium biostimuláns hatása a Zephir kukorica hibridre - Mosonmagyaróvár. Növénytermelés, 69: 95-113.
- **Takács G.** - Gergely I. - Ördög V. (2021): A búza (*Triticum aestivum* L.) vízigénye és a vízhiány hatása a növényre. Acta Agronomica Óváriensis, 62 (2): 116-140.

Idegen nyelvű konferencia kiadvány:

- **Takács G.** - Gergely I. - Molnár Z. - Ördög V. (2019): Plant biostimulating effects of the green alga *Chlamydomodium fusiforme* on winter wheat in field experiments In: Ördög V.; Molnár Z. (szerk.): 9th

Symposium on Microalgae and Seaweed Products in Plant/Soil-Systems: Book of Abstracts, p. 34.

- **Takács G.** - Gergely I. - Ördög V. (2017): Effects microalgae leaf treatments on proline concentration, relative water content and patch-pressure values of "Bőség" winter wheat variety leaves. In: 8th Symposium on Microalgae and Seaweed Products in Plant/Soil-Systems, p. 81.

- **Takács G.** - Gergely I. - Ördög V. (2015): ZIM-probe for measurement of winter wheat hydration status. In: Ördög V.; Molnár Z. (szerk.): 7th Symposium on Microalgae and Seaweed Products in Plant/Soil-Systems "Contribution to Sustainable Agriculture, p. 69-70.

Magyar nyelvű konferencia kiadvány:

- **Takács G.** - Gergely I. - Ördög V. (2018): Mikroalga kezelések hatása a "Bőség" őszi búzafajta levelének prolin- és víztartalmára. In: Szalka É. (szerk.): XXXVII. Óvári Tudományos Napok, 2018. november 9-10.: Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő Mosonmagyaróvár, Magyarország: VEAB Agrártudományi Szakbizottság, Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, p. 231-237.

- **Takács G.** - Gergely I. - Ördög V. (2016): A *Nostoc entophyllum* cyanobaktérium hatása a "Bőség" őszi búzafajta növekedésére és termésére. In: Szalka É.; Bali Papp Á. (szerk.): XXXVI. Óvári Tudományos Nap: Hagyomány és innováció az agrár- és élelmiszergazdaságban I-II Mosonmagyaróvár, Magyarország: Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, p. 224-231.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- Abd El-Baky, H. H. - Ri-Baz, F. K. - El Baroty, G. S. (2010): Enhancing antioxidant availability in wheat grains from plants grown under seawater stress in response to microalgae extract treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 299-303.
- Ahmadi, A. - Baker, D. A. (2001): The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Plant Growth Regulation*, 35: 81-91.
- Altenbach, S. B. - DuPont, F. M. - Kothari, K. M. - Chan, R. - Johnson, E. L. - Lieu, D. (2003): Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in US spring wheat. *Journal of Cereal Sciences*, 37: 9-20.
- Antal J. /szerk./ (2005): A növénytermesztés alapjai, Gabonafélék. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 183-204.
- Amoah, J. N. – Ko, C. S. – Yoon, J. S. – Weon, S. Y. (2019): Effect of drought acclimation on oxidative stress and transcript expression in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Interactions*, 14 (1): 492-505.
- Araus, J. L. - Slafer, G. A. - Reynolds, M. P. - Royo, C. (2002): Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Annals of Botany*, 89: 925-940.
- Atzmon, N. - van Staden, J. (1994): The effect of seaweed concentrate on the growth of *Pinus pinea* seedlings. *New Forest*, 8: 279-288.
- Avola, G. - Cavallaro, V. - Patanè, C. - Riggia, E. (2008): Gas exchange and photosynthetic water use efficiency in response to light, CO₂ concentration and temperature in *Vicia faba*. *Journal of Plant Physiology*, 165. 8: 796-804.
- Ágoston T. - Pepó P. (2005) Évjáráthatás vizsgálata őszi búzafajták termésére és termésstabilitására. *Agrártudományi Közlemények* 16. különszám. 62-67.
- Bajji, M. - Lutts, S. - Kinet, J. M. (2001): Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, 160: 669-681.
- Bajpai, S. - Shukla, P. S. - Asiedu, S. - Pruski, K. - Prithiviraj, B. (2019): A biostimulant preparation of brown seaweed *Ascophyllum nodosum* suppresses powdery mildew of strawberry. *Plant Pathology Journal*, 35: 406-416.

- Baker, E. A. – Hunt, G. M. (1981): Cuticle development in stressed plants and response to exogenous growth substances. Abstracts of AAB/BPGRG Meeting. British Plant Growth Regulator Group, Letcombe, 5-6.
- Baranyiova, I. - Klem, K. - Kren, J. (2014): Effect of exogenous application of growth regulators on the physiological parameters and the yield of winter wheat under drought stress. Mendel Net, 442-446.
- Barnabás, B. – Jäger, K. – Fehér, A. (2008): The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant, Cell and Environment, 31: 11-38.
- Barone, V. - Baglieri, A. - Stevanato, P. - Broccanello, C. - Bertoldo, G. - Bertaggia, M. et al. (2018): Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Journal of Applied Phycology, 30: 1061-1072.
- Barrs, H. D. - Watherley, P. E. (1968): A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. Australian Journal of Biological Sciences, 15: 413-428.
- Başer, I. - Şehirali, H. - Orta, A. H. - Erdem, T. - Erdem, Y. - Yorgancılar, Ö. (2004): Effect of different water stresses on the yield and yield components of winter wheat. Cereal Research Communication, 32. 2: 217-223.
- Bates, L. S. - Waldren, R. P. - Teare, I. D. (1973): Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.
- Beckett, R. P. - Mathegka, D. M. - van Staden, J. (1994): Effect of seaweed concentrate on yield of nutrient-stressed tepary bean (*Phaseolus acutifolius* Gray). Journal of Applied Phycology, 6: 429-430.
- Berger, F. (1999): Endosperm development. Current Opinion in Plant Biology, 2: 28-32.
- Behera, R. K. - Mishra, P. C. - Choudhury, N. K. (2002): High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. Journal of Plant Physiology, 159: 967-973.
- Bi, F. - Iqbal, S. - Arman, M. - Ali, A. - ul Hassan, M. (2011): Hassan Carrageenan as an elicitor of induced secondary metabolites and its effects on various growth characters of chickpea and maize plants. Journal of Saudi Chemical Society, 15: 269-273.
- Blum, A. – Sinmena, B. (1995): Isolation and characterization of variant wheat cultivars for ABA sensitivity. Plant, Cell & Environment, 18: 77-83.

- Blum, A. (2015): Towards a conceptual ABA ideotype in plant breeding for water limited environments. *Functional Plant Biology*, 42. 6: 502-513.
- Bocz E (1998): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p:887.
- Bogdan, J. - Zadonska, B. (2006): Changes in pool of soluble sugars induced by dehydration at the heterotrophic phase of growth of wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44: 787-794.
- Booth, E. (1965): The manurial value of seaweed. *Botanica Marina*, 8: 138-143.
- Botta, A. (2013): Enhancing plant tolerance to temperature stress with amino acids: an approach to their mode of action. *Acta Horticulturae*, 1009: 29-35.
- Bramley, H. - Ehrenberger, W. - Zimmermann, U. - Palta, J. A. - Rüger, S. - Siddique, K. H. M. (2013): Non-invasive pressure probes magnetically clamped to leaves to monitor the water status of wheat. *Plant Soil*, 369: 257-268.
- Bushra, U. P. (2021): Seed priming...a cohort to boost wheat harvest in hostile environment. *Academic letters*, 3813. <https://doi.org/10.20935/AL3813>.
- Cabrera-Bosquet, L. - Molero, G. - Nogue' s, S. - Araus, J. L. (2009): Water and nitrogen conditions affect the relationships of $\Delta^{13}\text{C}$ and $\Delta^{18}\text{O}$ to gas exchange and growth in durum wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60: 1633-1644.
- Calvo, P. - Nelson, L. - Kloepper, J. W. (2014): Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383: 3-41.
- Canellas, L. P. - Olivares, F. L. - Aguiar, N. O. - Jones, D. L. - Nebbioso, A. - Mazzei, P. - Piccolo, A. (2015): Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: 15-27.
- Chaves, M. M. (1991): Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, 42: 1-46.
- Chaves, M. M - Pereira, J. S. - Maroco, J. (2002): How plants cope with water stress in the field. *Photosynthesis and Growth. Annals of Botany*, 89: 907-916.
- Chen, T. H. H. – Murata, N. (2002): Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Current Opinion in Plant Biology*, 5: 250-257.

- Chloupek, O. – Dostál, V. – Středa, T. – Psota, V. – Dvořáčková, O. (2010): Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding*, 129 (6): 630-636.
- Colla, G. - Rouphael, Y. - Canaguier, R. - Svecova, E. - Cardarelli, M. (2014): Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Front. Plant Science*, 5: 448.
- Colla, G. - Nardi, S. - Cardarelli, M. - Ertani, A. - Lucini, L. - Canaguier, R. - Rouphael, Y. (2015): Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: 28-38.
- Colla, G. - Hoagland, L. - Ruzzi, M. - Cardarelli, M. - Bonini, P. - Canaguier, R. - Rouphael, Y. (2017): Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Front. Plant Science*, 8: 2202.
- Cornic, G. (2000): Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture - not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plants Science*, 5: 187-188.
- Crouch, I. J. - van Staden, J. (1993): Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regul.*, 13: 21-29.
- Daryanto, S. - Wang, L. - Jacinthe, P. A. (2016): Global synthesis of drought effect on maize and wheat production. *Plos One*, 11.5: 1-15.
- Davies, W. J. – Zhang, J. (1991): Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42: 55-76.
- De Hita, D. - Fuentes, M. - Zamarreño, A. M. - Ruiz, Y. - Garcia-Mina, J. M. (2020): Culturable bacterial endophytes from sedimentary humic acid-treated plants. *Frontiers of Plant Science*, 11: 837.
- Dhyani, K. – Ansari, M. W. – Rao, Y. R. – Verma, R. S. – Shukla, A. – Tuteja, N. (2013): Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. *Plant Signaling & Behavior*, 8 (6): 24564 1-6.
- du Jardin, P. (2015): Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196: 3-14.
- Ehdaie, B. – Layne, A. P. – Waines, J. G. (2012): Root system plasticity to drought influences grain yield inbred wheat. *Euphytica*, 186: 219-232.
- Erdei L. - Tari I. - Csiszár J. - Pécsváradi A. - Horváth F. - Szabó M. - Ördög M. - Cseuz L. - Zhiponova M. - Szilák L. - Györgyey J. (2002): Osmotic stress responses of wheat species and cultivars

- differing in drought tolerance: some interesting genes (advices for gene hunting) Proceeding of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. Acta Biologica Szegediensis, 46. 3-4: 63-65.
- Ertani, A. - Schiavon, M. - Muscolo, A. - Nardi, S. (2013): Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. Plant Soil, 364: 145-158.
- Ertani, A. - Pizzeghello, D. - Francioso, O. - Sambo, P. - Sanchez-Cortes, S. - Nardi, S. L. (2014): Growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: chemical and metabolomic approaches. Front. Plant Science, 5: 375.
- Faragóné Guóth A. (2009): Búzafajták szárazságtűrésének élettani indikátorai. Doktori PhD értekezés, Szeged.
- Farooq, M. – Wahid, A. – Kobayashi, N. – Fujita, D. – Basra, S. M. A. (2009): Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 2 (9): 185-212.
- Farooq, J. - Khaliq, I. - Ali, M. A. - Kashif, M. - Ali, Q. - Rehman, A. - Naveed, M. - Nazeer, W. - Farooq, A. (2011): Inheritance pattern of yield attributes in spring wheat at grain filling stage under different temperature regimes. Australian Journal of Crop Science, 5. 13: 1745-1753.
- Fábián A. - Jäger K. - Rakszegi M. - Barnabás B. (2011): Embryo and endosperm development in wheat (*Triticum aestivum* L.) kernels subjected to drought stress. Plant Cell Reports, 30: 551-563.
- Ferris, R. - Ellis, R. H. - Wheeler, T. R. - Hadley, P. (1998): Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field grown crops of wheat. Plant Cell Environment, 34: 67-78.
- Flaig, W. - Beutelspracher, H. - Rietz, E. (1975): Chemical composition and physical properties of humic substances. In: Gieseking, J. E. (Ed.), Soil Components, vol. 1. Springer Verlag, Berlin, Organic Components, 1-211.
- Gaspar, T. - Franck, T. - Bisbis, B. - Kevers, C. - Jouve, L. - Hausman, J. F. - Dommes, J. (2002): Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. Plant Growth Regulators, 37. 3: 263-285.
- Gáspár L. - Czövek P. - Fodor F. - Hoffmann B. - Nyitrai P. - Király I. - Sárvári É. (2005): Greenhouse testing of new wheat cultivars compared to those with known drought tolerance. Acta Biologica Szegediensis, 49. 1-2: 97-98.

- Ghafari-zadeh, A. – Syyednejad, S. M. – Gilani, A. (2017): Synergistic effect of seaweed extract and urea fertilizer on growth and biochemical parameters of *Triticum aestivum* at vegetative stage. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 6 (4): 545-556.
- Gowda, V. R. P. – Henry, A. – Yamauchi, A. – Shashidhar, H. E. – Serraj, R. (2011): Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. *Field Crops Research*, 122 (1): 1-13.
- Graber, E. R. - Rudich, Y. (2006): Atmospheric HULIS: how humic-like are they? A comprehensive and critical review. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6: 729-753.
- Guellim, A. - Hirel, B. - Chabrierie, O. - Catterou, M. - Tetu, T. - Dubois, F. - Ahmed, H. B. – Kichey, T. (2020): Screening for durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar resistance to drought stress using an integrated physiological approach. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 23: 355–365.
- Guóth A. - Tari I. - Gallé Á. - Csiszár J. - Pécsváradi A. - Cseuz L. - Erdei L. (2009): Comparison of the drought stress responses of tolerant and sensitive wheat cultivars during grain filling: changes in flag leaf photosynthetic activity, ABA levels and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28: 167-176.
- Gupta, N. K. - Gupta, S. - Kumar, A. (2001): Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield in wheat cultivars at different growth stages. *Journal of Agronomy*, 86: 1437-1439.
- Gupta, N. - Bajpai, M.S. - Majumdar, R. S. - Mishra, P. K. (2015): Response of iodine on antioxidant levels of *Glycine max* L. grown under Cd stress. *Advances in Biological Research*, 9: 40-48.
- Hall, H. K. – McWha, J. A. (1981): Effects of abscisic acid on growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Botany*, 47: 427-433.
- Hanson, A. D. - Hitz, W. D. (1982): Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology*, 33: 163-203.
- Harmati I. (1987): A búza vízigénye, vízfogyasztása, és vízhasznosítása. (Water requirements, water consumption and water utilisation of wheat.) [In: Barabás Z. (szerk.) *Wheat Production Manual.*] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Henson, I. E. – Jensen, C. R. – Turner, N. C. (1989): Leaf gas exchange and water relations of lupins and wheat. I. Shoot responses to soil water deficits. *Australian Journal of Plant Physiology*, 16: 401-413.

- Hoffmann B. - Cseuz L. - Pauk J. (2006): Az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésének lehetőségei és korlátai. [In: Dudits D. (szerk.) A búza nemesítésének tudománya: A funkcionális genomikától a vetőmagig.] Winter Fair Kft., Szeged, 191-224.
- Ijgin, W. S. (1957): Drought resistance in plants and physiological processes. *Plant Physiology*, 8: 257-274.
- Ilyas, M. – Nisar, M. – Khan, N. – Hazrat, A. – Khan, A. H. – Hayat, K. – Fahad, S. – Khan, A. – Ullah, A. (2021): Drought tolerance strategies in plants: A mechanistic approach. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40: 926-944.
- Ingram, K. T. – Bueno, F. D. – Namuco, O. S. – Yambao, E. B. – Beyrouy, C. A. (1994): Rice root traits for drought resistance and their genetic variation. In: Kirk, G. J. D. (ed.): *Rice Roots: Nutrients and Water Use*, International Rice Research Institute. Manila, Philippines.
- Izanloo, A. – Condon, A. G. – Langridge, P. – Tester, M. – Schnurbusch, T. (2008): Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *Journal of Experimental Botany*, 59: 3327–3346.
- Jaleel, C. A. - Gopi, R. - Sankar, B. - Gomarhinayagam, M. - Panneerselvam, R. (2008): Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 42-47.
- Jayaraj, J. - Wan, A. - Rahman, M. - Punja, Z. K. (2008): Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. *Crop Protection*, 27: 1360-1366.
- Kant, S. - Burch, D. - Ehrenberger, W. - Bitter, R. - Rüger, S. - Mason, J. - Zimmermann, U. - Spangenberg, G. (2014): A novel crop water analysis system: identification of water stress tolerant genotypes of canola (*Brassica napus* L.) using non-invasive magnetic turgor pressure probes. *Plant Breeding*, 133 (5): 602-608.
- Karthikeyan, B. – Jaleel, C. A. – Gopi, R. – Deiveekasundaram, M. (2007): Alteration in seedling vigour and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8 (7): 453-457.
- Kasim, W. A. – Hamada, E. A. M. – Shams El-Din, N. G. – Eskander, S. (2015): Influence of seaweed extracts on the growth, some metabolic activities and yield of wheat grown under drought stress. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7 (2): 173-189.

- Kerepesi, I. – Galiba, G. (2000): Osmotic and Salt Stress-Induced Alteration in Soluble Carbohydrate Content in Wheat Seedlings. *Crop Science*, 40 (2): 482-487.
- Khan, M. I. R. - Iqbal, N. - Masood, A. - Per, T. S. - Khan, N. A. (2013): Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Signaling & Behavior*, 8 (11): 1-10.
- Khan, N. - Naqvi, F. N. (2011): Effect of water stress in bread wheat hexaploids. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 5: 487-498.
- Kishor, P. B. K. – Hong, Z. – Miao, G. H. – Hu, C. A. A. – Verma, D. P. S. (1995): Overexpression of 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiology*, 108 (4): 1387-1394.
- Knop, W. (1865): Quantitative Untersuchungen über die Ernährungsprozesse der Pflanzen. *Landw. Vers. Sta.*, 7: 93.
- Kobata, T. - Palta, J. A. - Turner, N. C. (1992): Rate of development of post anthesis water deficits and grain filling of spring wheat. *Crop Science*, 32: 1238-1242.
- Koorneef, M. - Loeo-Kloosterziel, K. M. – Swartz, S. H. – Zeevaart, J. A. D. (1998): The genetic and molecular dissection of abscisic acid biosynthesis and signal transduction in *Arabidopsis*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 36: 83-89.
- Kováts A és Ragasits I (1981): *Búza* In.: Kováts A. (szerk.): Növénytermesztési Praktikum. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p: 386.
- Kruppa, J. - Ördög V. - Petróczki F. - Pócsi K. (2004): Effect of hormone producing microalgae on potato growth in arid conditions. 2nd Symposium on Microalgae and Seaweed Products in Plant/Soil-Systems, Mosonmagyaróvár (Hungary), 30 June – 2 July, p: 1.
- Kuznetsov, E. D. - Vladimirova, M. G. (1964): Iron as a factor limiting the growth of *Chlorella* on Tamiya medium. *Soviet Plant Physiology*, 11 (4):82-89.
- Lang, D. J. - Langille, A. R. (1984): Influence of plant growth stage and concentration of Cytex and Kinetin applications on tuber yield of two potato cultivars. *Host Science*, 19: 582-583.
- Latique, S. – Mansori, M. – Chernane, H. – El Kaoua. M. (2014): Reduction of water stress effect by seaweed liquid extract used as foliar spray of *Triticum durum* variety Karim. In.: Farooq, R. (ed.): *Biotechnology and Conservation*, 2: 449-454.

- Leuning, R. - Condon, A. G. - Dunin, F. X. - Zegelin, S. - Denmead, O. T. (1994): Rainfall interception and evaporation from soil below a wheat canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 67: 221-238.
- Lisiecka, J. - Knaflowski, M. - Spizewski, T. - Fraszczak, B. - Kaluzewicz, A. - Krzesinski, W. (2011): The effect of animal protein hydrolysate on quantity and quality of strawberry daughter plants cv. 'Elsanta'. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 10: 31-40.
- Little, H. - Neily, W. (2010): Commercial extracts of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* improve plant water use and drought stress resistance in the greenhouse and field. In: Oral Presentation. Western Plant Growth Regulator Society Annual Meeting. Davis, California.
- Lobell, D. B. - Burke, M. B. - Tebaldi, C. - Mastrandrea, M. D. - Falcon, W. P. - Naylor, R. L. (2008): Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319: 607-610.
- Lu, W. - Alam, MdA. - Liu, S. - Xu, J. - Saldivar, R. P. (2020): Critical processes and variables in microalgae biomass production coupled with bioremediation of nutrients and CO₂ from livestock farms: a review. *Science of the Total Environment*, 716: 135247.
- Maggio, A. - Miyazaki, S. - Veronese, P. - Fujita, T. - Ibeas, J. I. - Damsz, B. - Narasimhan, M. L. - Hasegawa, P. M. - Joly, R. J. - Bressan, R. A. (2002): Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction? *Plant Journal*, 31: 699-712.
- Mahpara, S. - Hussain, S. T. - Farooq, J. (2014): Drought tolerance studies in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova*, 4. 160: 133-140.
- Marcotte, W. R. Jr. - Guiltinan, M. J. - Quatrano, R. S. (1992): ABA-regulated gene expression: cis-acting sequences and trans-acting factors. *Biochemical Society Transactions*, 20. 1: 93-97.
- Mary, J. G. - Stark, J. C. - Brien, K. O. - Souza, E. (2001): Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science*, 41: 327-335.
- Masondo, N. A. - Kulkarni, M. G. - Finnie, J. F. - van Staden, J. (2018): Influence of biostimulants-seed-priming on *Ceratotherca triloba* germination and seedling growth under low temperatures, low osmotic potential and salinity stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147: 43-48.
- Milton, R. F. (1952): Improvements in or Relating to Horticultural and Agricultural Fertilizers. The Patent Office London, 664989: 2.

- Moeller, M. - Smith, M. (1998): The significance of the mineral component of seaweed suspensions on lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedling growth. *Journal of Plant Physiology*, 153: 658-663.
- Moller, I. M. – Jensen, P. E. – Hansson, A. (2007): Oxidative modifications to cellular components in plants. *The Annual Review of Plant Biology*, 58: 459-481.
- Monneveux, P. - Rekika, D. - Acevedo, E. - Merah, O. (2006): Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Science*, 170: 867-872.
- Mooney, P. A. - van Staden, J. (1985): Effect of seaweed concentrate on the growth of wheat under conditions of water stress. *South African Journal of Science*, 81: 632-633.
- Mosaad, M. G. - Ortiz Ferrarra, G. - Mahalakshmi, V. (1995): Tiller development and contribution to yield under different moisture regime in two *Triticum* species. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 174: 173-180.
- Morgan, J. M. – King, R. W. (1984): Association between loss of leaf turgor, abscisic acid levels and seed set in two wheat cultivars. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11: 143–150.
- Mógor, A. F. - Ördög V. - Lima, G. P. P. - Molnár Z. - Mógor, G. (2018): Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines. *Journal of Applied Phycology*, 30: 453-460.
- Nabati, D. - Schmidt, R. - Parrish, D. (1994): Alleviation of salinity stress in Kentucky Bluegrass by plant growth regulators and iron. *Crop Science*, 34: 198-202.
- Nardi, S. - Carletti, P. - Pizzeghello, D. - Muscolo, A. (2009): Biological activities of humic substances. In: Senesi, N. - Xing, B. - Huang, P.M. (Ed.), *Biophysico-chemical Processes Involving Natural Nonliving Organic Matter in Environmental Systems, Part 1: Fundamentals and Impact of Mineral-Organic Biota Interactions on the Formation, Transformation, Turnover, and Storage of Natural Nonliving Organic Matter (NOM)*, vol. 2. Wiley, Hoboken, 305-339.
- Nelson, W. R. – van Staden, J. (1989): Effect of seaweed concentrate on the growth of wheat. *South African Journal of Science*, 82: 199-200.
- Nezhadahmadi, A. – Prodhon, Z. H. – Faruq, G. (2013): Drought tolerance in wheat. Hindawi Publishing Corporation, *The Scientific World Journal*, 1-12.

- Németh L. - Ördög V. (2006): Antifungal and antibacterial activity of extracts from selected microalgae. 3rd Symposium on Microalgae and Seaweed Products in Agriculture, Mosonmagyaróvár (Hungary), 21-23 June, p: 1.
- Niculescu, M. - Bajenaru, S. - Gaidau, C. - Simion, D. - Felipescu, L. (2009): Extraction of the protein components as amino-acids hydrolysates from chrome leather wastes through hydrolytic processes. *Reviews Chemical*, 60: 1070-1078.
- Ninja Reddy, Y. A. - Priya Reddy, Y. A. - Ramya, V. - Suma, L. S. - Narayana Reddy, A. B. - Sanjeen Krishna, S. (2021): Drought adaptation: Approaches for crop improvement. In: Singh, M (ed.): *Millets and Pseudo Cereals, Genetic Resources and Breeding Advancements*, A volume in Woodhead Publishing Series in Food Sciences, Technology and Nutrition. Chapter 8, 143-158.
- Nix, H. A. - Fitzpatrick, E. A. (1968): An index of crop water stress related to wheat and grain sorghum yields. *Agricultural Meteorology*, 6: 321-337.
- Növénytermesztés tan 1. Digitális Tankönyvtár, <https://www.tankonyvtar.hu> >2011_0001_521_Novenytermesztestan1. 2019.09.26.
- Okem, A. – Moyo, M. – Stirk, W. A. – Finne, J. F. – van Staden, J. (2016): Investigating the effect of cadmium and aluminium on growth and stress-induced responses in the micropropagated medicinal plant *Hypoxis hemerocallidea*. *Plant Biology*, 18: 805-815.
- Oweis. T. - Zhang, H. - Pala, M. (2000): Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agronomy Journal*, 92: 231-238.
- Ördög V. (1982): Apparatus for laboratory algal bioassay. *Internationale Revue gesamten Hydrobiologie*, 67 (1):127-136.
- Ördög V. - Pulz, O. (1996): Diurnal changes of cytokinin-like activity in a strain of *Arthronema africanum* (Cyanobacteria), determined by bioassay. *Algological Studies*, 82: 57-67.
- Ördög V. - Stirk, W. A. - Bálint P. - Lovász Cs. - Pulz, O. - van Staden, J. (2013): Lipid productivity and fatty acid composition in *Chlorella* and *Scenedesmus* strains grown in nitrogen-stressed conditions. *Journal of Applied Phycology*, 25 (1): 233-243.
- Panozzo, J. F. - Eagles, H. A. - Wootton, M. (2001): Changes in protein composition during grain development in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 52: 485-49.

- Passioura, J. B. (2012): Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders? *Functional Plant Biology*, 39: 851-859.
- Patel, J. K. - Madaan, S. - Archana, G. (2018): Antibiotic producing endophytic *Streptomyces spp.* colonize aboveground plant parts and promote shoot growth in multiple healthy and pathogen-challenged cereal crops. *Microbiology Research*, 215: 36-45.
- Peng, Z. - Lu, Q. - Verma, D. P. S. (1996): Reciprocal regulation of 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes controls proline levels during and after osmotic stress in plants. *Molecular and General Genetics*, 253: 334-341.
- Pereira, L. - Morrison, L. - Shukla, P. S. - Critchley, A. T. (2020): A concise review of the brown macroalga *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus). *Journal of Applied Phycology*, 32: 3561–3584.
- Plaut, Z. - Butow, B. J. - Blumenthal, C. S. - Wrigley, C. W. (2004): Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crop Research*, 86: 185-198.
- Pokharel, D. – Pandey, M. (2012): Genetic variability of drought adaptive traits in nepalese wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *Hydro Nepal Journal of Water Energy and Environment*, 11 (1): 64-68.
- Póthe P. - Gergely I. - Ördög V. (2014): Effect of microalgae leaf treatments on sunflower growth and production. *Pannonian Plant Biotechnology Association Conference for PhD Students in Plant Biology, Mosonmagyaróvár, 27-29 Aprile*, p: 73-75.
- Price, A. H. - Cairns, J. E. - Horton, P. - Jones, H. G. - Griffiths, H. (2002): Linking drought-resistance mechanisms to drought avoidance in upland rice using a QTL approach: progress and new opportunities to integrate stomatal and mesophyll responses. *Journal of Experimental Botany*, 53: 989-1004.
- Priyadarshani, I. - Rath, B. (2012): Commercial and industrial applications of micro algae a review. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 3: 89-100.
- Pszczolkowski, W. – Romanowska-Duda, Z. – Owczarczyk, A. – Grzesik, M. – Sakowicz, T. – Chojnacka, A. (2012): Influence of secondary metabolites from Cyanobacteria on the growth and plant development. *Phycological Reports: Current advances in algal taxonomy and its applications: phylogenetic, ecological and applied perspective*. Institute of Botany Polish, Academy of Sciences, Krakow, 195-203.

- Qayyum, A. – Al Ayoubi, S. – Sher, A. – Bibi, Y. – Ahmad, S. – Shen, Z. – Jenks, M.A. (2021): Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28: 5238-5249.
- Quan, X. – Liang, X. – Li, H. – Xie, C. – He, W. – Qin, Y. (2021): Identification and characterization of wheat germplasm for salt tolerance. *Plants*, 10 (268): 1-15.
- Quarrie, S. A. – Jones, H. G. (1977): Effects of abscisic acid and water stress on development and morphology of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 28: 192-203.
- Quarrie, S. A. (1982): The role of abscisic acid in the control of spring wheat growth and development. [In: Wareing, P. F. (ed.) *Plant growth substances.*] Academic Press, London.
- Quastel, J. H. - Webley, D. M. (1947): The effects of the addition to soil of alginic acid and other forms of organic matter on soil aeration. *Journal of Agricultural Science*, 37: 257-266.
- Radics L. (2010): Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztés tan 1. Agroinform Kiadó, Budapest.
- Rahman, M. A. - Chikushi, J. - Yoshida, S. - Karim, J. M. S. (2009): Growth and yield components of wheat genotypes exposed to high temperature stress under controlled environment. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34: 361-372.
- Rajala, A. – Hakala, K. – Mäkelä, P. – Peltonröen-Sainio, P. (2011): Drought effect on grain number and grain weight at spike and spikelet level in six-row spring barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197 (2): 103-112.
- Ravi, I. - Kamaraju, K. - Kumar, S. - Nori, S. S. (2018): Foliar application of seaweed bio formulation enhances growth and yield of banana cv. *Grand Naine* (AAA). *Indian Journal of Natural Sciences*, 8: 13482-18488.
- Reed, R. H. - Davison, I. R. - Chudek, J. A. - Foster, R. (1985): The osmotic role of mannitol in the *Phaeophyta anappraisal*. *Phycologia*, 24: 35-47.
- Renuka, N. - Guldhe, A. - Prasanna, R. - Singh, P. - Bux, F. (2018): Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnol. Advances*, 36: 1255-1273.

- Riberio, R. V. - Machado, E. C. - Santos, M. G. (2005): Leaf temperature in sweet orange plants under field conditions: influence of meteorological elements. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 13: 353-368.
- Richards, R. A. (1996): Defining selection criteria to improve yield of winter wheat under drought. *Plant Growth Regulation*, 20: 157-166.
- Rippka, R. - Deruelles, J. – Waterbury, J. B. – Herdman, M. – Stanier, R. Y. (1979): Generic assignments, strains histories and properties of pure cultures of Cyanobacteria. *Journal of General Microbiology*, 111: 1-61.
- Rizza, F. - Badeck, F. W. - Cattivelli, L. - Li Destri, O. - Di Fonzo, N. - Stanca, A. M. (2004): Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science*, 44: 2127-2137.
- Rouphael, Y. - Colla, G. (2020): Editorial: biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40.
- Saeedipour, S. (2013): Relationship of grain yield, ABA and proline accumulation in tolerant and sensitive wheat cultivars as affected by water stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India – Section B: Biological Sciences*, 83 (3): 311-315.
- Saini, H. S. - Westgate, M. E. (2000): Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*, 68: 59-96.
- Salim, B. B. M. (2016): Influence of biochar and seaweed extract applications on growth, yield and mineral composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) under sandy soil conditions. *Annals of Agricultural Science*, 6 (2): 257-265.
- Salisbury, F. B. - Ross, C. W. (1991): *Plant Physiology - fourth edition*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, 52-56.
- Schaafsma, G. (2009): Safety of protein hydrolysates, fractions thereof and bioactive peptides in human nutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63: 1161-1168.
- Schiavon, M. - Ertani, A. - Parrasia, S. - Vecchia, F. D. (2017): Selenium accumulation and metabolism in algae. *Aquatic Toxicology*, 189: 1-8.
- Scholander, P. F. - Hammel, H. T. - Bradstreet, E. D. – Hemmingsen, E. A. (1965): Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148: 339-346.
- Shafiq, S. - Akram, N. A. - Ashraf, M. (2019): Assessment of physio-biochemical indicators for drought tolerance in different cultivars of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 51 (4): 1241-1247.

- Shanan, N. T. - Higazy, A. M. (2009): Integrated biofertilization management and cyanobacteria application to improve growth and flower quality of *Matthiola incana*. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5 (6): 1162-1168.
- Shangguan, Z. P. - Shao, M. A. - Dyckmans, J. (2000): Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 44: 141-149.
- Sharp, R. E. - Poroyko, V. - Hejlek, L. G. - Spollen, W. G. - Springer, G. K. - Bohnert, H. J. - Nguyen, H. T. (2004): Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany*, 407 (55): 2343-2351.
- Shiran, X. J. B. – Wan, J. (2010): Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant, Cell and Environment*, 33 (6): 926-942.
- Shukla, A. C. - Gupta, A. B. (1967): Agriculture: influence of algal growth-promoting substances on growth, yield and protein contents of rice plants. *Nature*, 213: 744.
- Simmons, S. R. – Crookston, R. K. (1979): Rate and duration of growth of kernels formed at specific florets in spikelets of spring wheat. *Crop Science*, 19: 690-693.
- Singh, B. - Eberbach, P. L. - Humphreys, E. - Kukal, S. S. (2011): The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India. *Agricultural Water Management*, 98: 1847-1855.
- Singh, B. - Eberbach, P. L. - Humphreys, E. (2014): Simulation of the evaporation of soil water beneath a wheat crop canopy. *Agricultural Water Management*, 135: 19-26.
- Singh, S. – Prakash, P. – Singh, A. K. (2020): Salicylic acid and hydrogen peroxide improve antioxidant response and compatible osmolytes in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit. *Journal of Agricultural Research*, <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00490-3>.
- Singh, V. - van Oosterom, E. J. - Jordan, D. R. - Messina, C. D. - Cooper, M. - Hammer, G. L. (2010): Morphological and architectural development of root systems in sorghum and maize. *Plant Soil*, 33: 287-299.
- Sinha, N. C. – Patil, B. D. (2006): Screening of barley varieties for drought resistance. *Plant Breeding*, 97 (1): 13–19.

- Soltys-Kalina, D. - Plich, J. - Strzelczyk-Zyta, D. - S'liwka, J. - Marczewski, W. (2016): The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a Half-Sib Family of 'Katahdin'-derived potato cultivars. *Breeding Science*, 66 (2): 328–331.
- Spolaore, P. - Joannis-Cassan, C. - Duran, E. - Ismbert, A. (2006): Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101: 87-96.
- Sreenivasulu, N. – Harshavardhan, V. T. – Govind, G. – Seiler, C. – Kohli, A. (2012): Contrapuntal role of ABA: does it mediate stress tolerance or plant growth retardation under long-term drought stress? *Gene*, 506: 265–273.
- Stirk, W. A. - Ördög V. - Novak O. - Strnad, M. - van Staden, J. - Szigeti J. - Németh L. (2004): Potential benefits of using microalgae (*Chlorophyta*) as soil additives for agricultural production. – 30th Annual Conference as South African Association of Botanists, Durban, South Africa, p: 1.
- Stirk, W. A. - van Staden, J. (2006): Seaweed products as biostimulants in agriculture. In: Critchley, A., Ohno, M., Largo, D. (Eds.), *World Seaweed Resources*. ETI BioInformatics, The Netherlands.
- Stirk, W. A. - van Staden, J. (2014): Plant Growth Regulators in Seaweeds: Occurrence, Regulation and Functions, *Advances in Botanical Research*. Elsevier, 125-159.
- Stirk, W. A. – Bálint P. – McMaster, V. – Lovász Cs. – Molnár Z. - van Staden, J. - Ördög V. (2020): Effect of cell disruption methods on the extraction of bioactive metabolites from microalgal biomass. *Journal of Biotechnology*, 307: 35-43.
- Stone, P. J. - Nicolas, M. E. (1995): Effect of timing of heat stress during grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance. I. Grain growth. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22: 927-934.
- Subhani, G. M. - Hussain, M. - Ahmad, J. - Anwar, J. (2011): Response of exotic wheat genotypes to drought stress. *Journal of Agricultural Research*, 49. 3: 293-305.
- Szabó I. (2021): Az őszi búza fejlődése és terméselemei. *Agro Napló*, 9: 19-23.
- Székely Gy. - Ábrahám E. - Cséplő Á. - Rigó G. - Zsigmond L. - Csiszár J. - Ayaydin, F. - Strizhov, N. - Jásik, J. - Schmelzer E. - Koncz Cs. - Szabados L. (2008): Duplicated P5CS genes of *Arabidopsis* play

- distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis. *Plant Journal*, 53: 11-28.
- Taiz, L. - Zeiger, E. (2006): *Plant Physiology* – fourth edition. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA, USA.
- Tambussi, E. A. - Casadeus, J. - Munné-Bosch, S. - Araus, J. L. (2002): Photoprotection in water-stressed plants of durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum*) changes in chlorophyll fluorescence, spectral signature and photosynthetic pigments. *Functional Plant Biology*, 29: 35-44.
- Tarakhovskaya, E. R. - Maslov, Y. I. - Shishova, M. F. (2007): Phytohormones in algae. *Russ. Journal of Plant Physiology*, 54: 163-170.
- Tóth J. - Ördög V. (2014): Effect on the growth, condition, number of quality and other parameters of pepper kaldum by using *Nostoc entophytum* microalgae-treatment. Pannonian Plant Biotechnology Association Conference for PhD Students in Plant Biology, Mosonmagyaróvár, 27-29 Aprile, p: 76-77.
- Trevisan, S. - Francioso, O. - Quaggiotti, S. - Nardi, S. (2010): Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling & Behavior*, 5: 635-643.
- Triboï, E. - Marte, P. - Triboï-Blondel, A. M. (2003): Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *Journal of Experimental Botany*, 54: 1731-1742.
- Trivedi, K. - Vijay Anand, K. G. - Vaghela, P. - Ghosh, A. (2018): Differential growth, yield and biochemical responses of maize to the exogenous application of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract, at grain-filling stage under normal and drought conditions. *Algal Research*, 35: 236-244.
- Turner, N. C. (1981): Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58: 339-366.
- Uchida, K. (2003): 4-Hydroxy-2-nonenal: a product and mediator of oxidative stress. *Progress in Lipid Research*, 42: 318-343.
- URL1: <https://iskolaellato.hu/A-buza-es-a-kukorica>, 2023.12.01.
- URL2: <https://www.magro.hu/agrahiredk/kukorica-es-buza-statisztikak-igyalakult-a-ket-fonoveny-termoterulete-es-az-ara-2019-ben/>, 2023.12.01.

- URL3:https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3608/2011-0029_de_novenyterm_es_kerteszet_termesztese_elmelet.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 2023.12.01.
- URL4: <http://www.ksh.hu/>, 2023.12.01.
- URL5:<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/wheat/en/>, 2023.12.01.
- URL6: <https://www.gabonakutato.hu/hu/vetomag/buza/oszi-buza/malmibuzak/gk-csillag>, 2023.12.01.
- URL7: <https://www.servitec.hu/>, 2023.12.01.
- Vaezi, B. - Bavei, V. - Shiran, B. (2010): Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological traits in field condition. *African Journal of Agricultural Research*, 5 (9): 881-892.
- Van Oosten, M. J. - Pepe, O. - De Pascale, S. - Silletti, S. - Maggio, A. (2017): The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4: 5.
- Varga-Haszonits Z. (1977): *Agrometeorológia*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Vaughan, D. - Malcom, R. E. (1985): Influence of humic substances on growth and physiological processes. In: Vaughan, D. - Malcom, R. E. (Ed.), *Soil Organic Matter and Biological Activity*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, 37-76.
- Wang, Y. - Zhang, X. - Liu, X. - Zhang, X. - Shao, L. - Sun, H. - Chen, S. (2013): The effects of nitrogen supply and water regime on instantaneous WUE, time-integrated WUE and carbon isotope distribution in winter wheat. *Field Crops Research*, 144: 236-244.
- Wei, C. - Tyree, M. T. - Bennink, J. P. (2000): The transmission of gas pressure to xylem fluid pressure when plants are inside a pressure bomb. *Journal of Experimental Botany*, 51. 343: 309-316.
- Wijffels, R. H. - Kruse, O. - Hellingwerf, K. J. (2013): Potential of industrial biotechnology with cyanobacteria and eukaryotic microalgae. *Current Opinion in Biotechnology*, 24: 405-413.
- Yang, J. - Zhang, J. - Huang, Z. - Zhu, Q. - Wang, L. (2000): Remobilization of carbon reserves is improved by controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Science*, 40: 645-655.
- Yang, J. - Zhang, J. - Wang, Z. - Zhu, Q. - Liu, L. (2001): Water deficit induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, 93: 196-206.

- Yordanov, I. - Velikova, V. - Tsonev, T. (2000): Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica*, 38: 171-186.
- Zhang, H. P. - Oweis, T. (1999): Water yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Manual*, 38: 195-211.
- Zhang, X. – Zhang, X. – Liu, X. – Shao, L. – Sun, H. – Chen, S. (2015): Incorporating root distribution factor to evaluate soil water status for winter wheat. *Agricultural Water Management*, 153: 32-41.
- Zhao, Z. R. - Wu, Z. L. - Huang, G. Q. - Li, G. R. (1992): An improved disk bioassay for determining activities of plant growth regulators. *Journal of Plant Growth Regulation*, 11: 209-213.
- Zhu, J. K. (2002): Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 53: 247-273.
- Zimmermann, U. - Bitter, R. - Marchiori, P. E. R. - Rüger, S. - Ehrenberger, W. - Sukhorukov, V. L. - Schüttler, A. - Ribeiro, R. V. (2013): A non-invasive plant-based probe for continuous monitoring of water stress in real time: a new tool for irrigation scheduling and deeper insight into drought and salinity stress physiology. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25 (1): 2-11.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek Prof. Dr. Ördög Vince professzor emeritusnak, valamint Dr. Gergely István egyetemi docensnek, a kutatási feltételek biztosításáért, a szakmai irányításért és tanulmányaim során nyújtott segítségükért és tanácsaikért.

Köszönetemet szeretném kifejezni opponenseimnek, Dr. Bizóné Prof. Dr. Sárdi Katalin és Prof. Dr. Vörös Lajosnak az értekezés végleges formába öntéséhez nyújtott segítségükért.

Szívből jövő köszönettel tartozom Édesanyámnak, aki rendületlenül támogatott és biztatott.