

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**MIKROALGA KEZELÉSEK HATÁSA AZ ŐSZI BÚZA
(*TRITICUM AESTIVUM* L.) TERMÉSÉRE ÉS VÍZHIÁNY
STRESSZ TŰRÉSÉRE**

Készítette:

Takács Georgina

doktorjelölt

MOSONMAGYARÓVÁR

2024

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
ALBERT KÁZMÉR MOSONMAGYARÓVÁRI KAR
MOSONMAGYARÓVÁR

WITTMANN ANTAL NÖVÉNY-, ÁLLAT- ÉS ÉLELMISZER-
TUDOMÁNYI MULTIDISZCIPLINÁRIS
DOKTORI ISKOLA
HABERLANDT GOTTLIEB NÖVÉNYTUDOMÁNYI
DOKTORI PROGRAM

Doktori Iskola vezető:
Prof. Dr. Varga László DSc
egyetemi tanár

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
doktorjelölt

Mosonmagyaróvár

2024

2

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

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 vízveszteség 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 gyökérszét, 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.

Napjainkra már ismertté vált, hogy a cianobaktériumok, mikroalgák és a makroszkópikus tengeri algák termelnek növényi hormonokat, ezért alkalmasak speciális növénykezelésekre. A tengeri algák számos fajából kimutattak auxinokat és citokinineket, amelyek hozzájárulnak számos növény termésének növeléséhez. Az algák hatással vannak még a transzspiráció csökkentésére, fokozzák a gyökér-, hajtásfejlődést és a termés fehérjetartalmát. Többek között elősegítik a levágott növény gyökeresedését, a gyökéreképződést és a -növekedést.

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. A mikroalgákat a növénytermesztésben biotrágyaként, talajkondicionálóként alkalmazzák, de a klimatikus stresszhatások csökkentésére is alkalmasak.

Kutatómunkám során egy cianobaktérium (*Nostoc piscinale*, MACC-612) és három zöldalga (*Tetracystis sp.*, MACC-430, *Chlorella vulgaris*, MACC-755 és MACC-1) hatását vizsgáltam a „Bőség” és a „GK Csillag” őszi búza fajtákra.

1.1. Kutatási 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).

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. 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. Az indokolta az új fajta kiválasztását, hogy a fajtalistán 2000-2018 között szerepelt, ezt követően a forgalmazása megszűnt.

2.2. Mikroalgák

Kísérleteimhez a Mosonmagyaróvári Algagyűjteményből egy cianobaktériumot és három zöldalgát választottam.

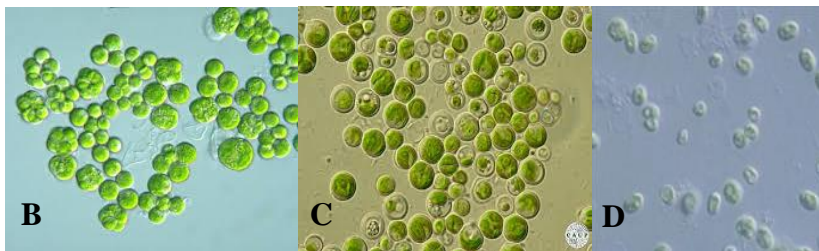
Cianobaktérium:

- MACC-612 *Nostoc piscinale* (A)

Zöldalgák:

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





A: MACC-612 *Nostoc piscinale*, B: MACC-430 *Tetracystis* sp.,
 C: MACC-755 *Chlorella vulgaris*, D: MACC-1 *Chlorella vulgaris*.

2.3. Liofilezés, mélyhűtés, tárolás, szonikálás, bioteszt

A tenyészeteket 7-napos inkubációt követően 14 és 15 óra között szüreteltem. 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. A mikroalga szuszpenziót mindig frissen készítettem a felhasználás előtt és a vizsgálatoknak megfelelően desztillált vízzel hígítottam.

A zöldalgák és a cianobaktérium citokininszerű hatásának a kimutatására az uborka sziklevel növekedési tesztet alkalmaztam, míg az auxinszerű hatást az uborka sziklevel gyökeresedési teszttel értékeltem.

2.4. Kísérleti terv

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 be a dolgozatba, hogy a laborban és a szennyvízben szaporított algabiomasszával történő növénykezelések termésre gyakorolt hatása közötti különbséget bemutassam. A kísérleti növények kisparcellán (10 m²) lettek elvetve. A kísérletet véletlen blokk elrendezésben négy ismétlésben állítottam be, 12 cm-es sortávolságra, 4,5 millió csíra ha⁻¹ és 4-6 cm mélységre vetettem. A növényeket bokrosodáskor, kalászhányáskor és virágzáskor kezeltem 0,1; 0,3; 1,0 és 2,0 g L⁻¹ koncentrációban. A mikroalgák levélhez történő jobb tapadása érdekében Trend 90 tapadást fokozó nedvesítő szert használtam. A kontroll parcellákat csupán nedvesítő szert tartalmazó csapvízzel kezeltem. A kezelt parcelláknál 400 L ha⁻¹ algaszuszpenziót használtam. A kijuttatást kézi permetezővel, 25 °C alatti hőmérsékleten végeztem.

Tápanyag utánpótlás ősszel történt 60 kg ha⁻¹ nitrogén, 60 kg ha⁻¹ foszfor és 60 kg ha⁻¹ kálium hatóanyag.

2.5. Laboratóriumi mérések

2.5.1. 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 részektől és 106 °C-on tömegállandóságig szárítottam 24 órán

keresztül, majd analitikai mérlegem megmértem a tömegüket. A gyökér száraz tömeget grammban adtam meg.

2.5.2. 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 alábbi képlettel számolva:

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

FW - friss tömeg

TW - turgescens tömeg

DW - száraz tömeg

2.5.3. Levél klorofill tartalom meghatározás

A klorofill tartalmat a zászlós levélen egy hordozható SPAD 502 Plus klorofill mérővel mértem. A készülék 1-2 másodperc után megadja a levélen áthatoló vörös (650 nm) és infravörös (940 nm) fényintenzitás arányából kalkulált, relatív klorofill tartalmat (SPAD egység). A mérést 5 növény/parcellán végeztem egy héttel az első kezelés után hetente 5 alkalommal. A klorofill tartalmat SPAD egységben adtam meg.

2.5.4. Levél prolin tartalom meghatározás

A zászlós levél prolin tartalmát Bates és munkatársai (1973) módszere alapján határoztam meg. Spektrofotometrázás 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:

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

2.5.5. Levél malondialdehid tartalom meghatározás

A lipidperoxidáció végtermékeinek mennyiségi meghatározására vannak diagnosztikai tesztek. 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 felülúszót abszorbeáltam 532 nm-en. Friss tömeg alapján határoztam meg a TBARS tartalmat az alábbiak szerint (Okem et al., 2016):

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

A_{532} - malondialdehid abszorbanciája

A_{600} - zavarosság abszorbanciája

V - őrlő közeg térfogata (5,0 mL)

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

W - friss minta tömege (0,5 g)

2.5.6. 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.

2.6. Betakarításkor mért paraméterek

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

- a kalász számot (m^2),
- a kaláshosszt (30 db kalász/parcella),
- a szemszám/kalászt (30 db kalász szemszáma/parcella),
- az ezerszem tömeget (1000 db mag tömege)
- a parcellánkénti terméshozamból (kg/parcella) számoltam a hektáronkénti terméshozamot ($kg\ ha^{-1}$).

Minőségi paramétereket FOSS Infratec 1241 típusú gabona analízátorral vizsgáltam. A gép a nedvesség-, fehérje-, sikértartalmat (%), Zeleny-számot és W alveográfias értékeket határozza meg.

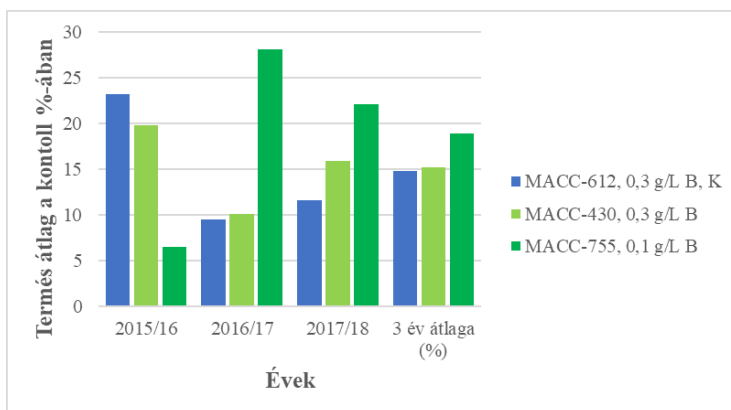
2.7. Statisztikai értékelés

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.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. Hozam

Vizsgálataim során a cianobaktériummal bokrosodás és kalászhányás fenofázisában végzett kezeléseknél volt a legnagyobb a hozam három év átlagában (14,8 %), míg a zöldalgákkal a bokrosodáskor végzett kezeléssel közel hasonló hozam volt elérhető három év átlagában (15,3 és 18,9 %). A három évig vizsgált cianobaktérium és a zöldalgák termésátlaga eltér egymástól, a legnagyobb a zöldalgáké lett, azok között is kiemelkedett az MACC-755-ös alga termésátlaga (18,9 %), amihez elegendő volt az egyszeri 0,1 g L⁻¹-es kezelés (1. ábra). 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. Az egyszeri kezelés 1,0 g L⁻¹-rel az MACC-1 laborban szaporított algánál két év átlagában (14,5 %), míg 2020/21-es évben a BG-11 tápoldatban, RWP természetben szaporított zöldalga biomasszájánál (13,5 %) eredményezte a legnagyobb hozamot.



1. ábra: Termésátlag a kontroll %-ában a legjobb termést eredményező kezeléseknél.

3.2. Többletbevétel

A kísérletekben legfeljebb $0,3 \text{ g L}^{-1}$ és az $1,0 \text{ g L}^{-1}$ koncentrációban egyszeri és kétszeri cianobaktérium vagy zöldalga kezelés volt a leghatásosabb. Ha feltételezzük, hogy az alga biomassa 50 Euro kg^{-1} áron beszerezhető, az őszi búza ára pedig 73.478 Ft t^{-1} (a három kísérleti év átlagában), akkor a legnagyobb hozam többletet a $0,1 \text{ g L}^{-1}$ egyszeri kezelés eredményezte (138.186 Ft), de a $0,3 \text{ g L}^{-1}$ kétszeri kezelés is jelentős hozam többletet eredményezett (103.842 Ft). A többletbevétel a mindenkori búzaár függvénye. A kijuttatást gyomirtással kombinálva csökkenthető a költség. Javasolt nem auxin tartalmú gyomirtó alkalmazása, ha külön kell kivinni az alga biomasszát kb. $5-15.000 \text{ Ft}$ között van a költsége, ami csak tájékoztató jellegű.

3.3. Terméselemek

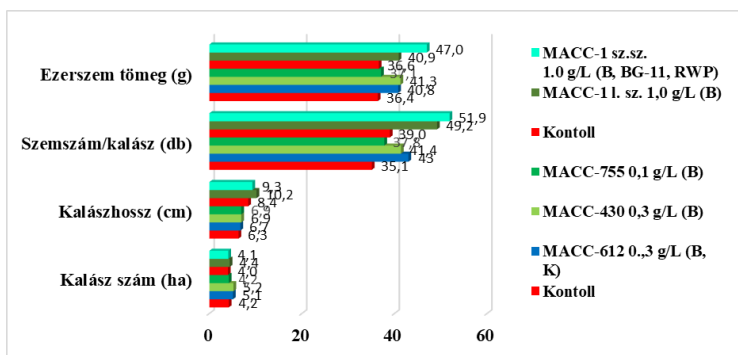
Három komponens határozza meg a termés mennyiségét a kalász szám, a kalázonkénti szemszám és az ezerszem tömeg. A kontroll

csíraszám 4,5 millió ha⁻¹. A kísérleteim során a cianobaktériummal 0,3 g L⁻¹ B, K kezelt parcellán a kalász szám 5,1 ezer ha volt három év átlagában, a kontrollhoz képest (4,2 ezer ha három év átlaga). A *Tetracystis sp.* zöldalgával kezelt parcellán a kalász szám 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél 5,2 ezer ha, míg a *C. vulgaris* zöldalgával 0,1 g L⁻¹ (B) kezelésnél 4,2 ezer ha volt a kalász szám három év átlagában. A *C. vulgaris* zöldalgánál (C) két év átlagában és a 2020/21-ben (C1) a BG-11 táptalajon RWP természetben szaporított zöldalga esetében 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél 4,4 és 4,1 ezer ha volt a legnagyobb kalász szám a kontrollhoz képest (4,0 ezer ha). Az *N. piscinale* cianobaktérium és a *T. sp.* zöldalga kezelések hasonló kalász számot eredményeztek, míg a *C. vulgaris* zöldalgáknál (C, C1) jóval kisebb lett a kalász szám.

Vizsgálataim során a kalász hossz a cianobaktérium 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 6,7 cm, a zöldalgákkal 0,1 és 0,3 g L⁻¹ (B) kezeléseknél 6,9 cm volt, jóval nagyobb a kontrollhoz képest (6,3 cm) három év átlagában. A *C. vulgaris* zöldalgánál (C) két év átlagában és a 2020/21-ben (C1) a BG-11 táptalajon RWP természetben szaporított zöldalga esetében 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél 10,2 és 9,3 cm volt a kalász hossz jóval nagyobb a kontrollnál (8,4 cm).

Szemszám/kalász 43 db volt a cianobaktériumos 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél a kontrollhoz képest (35 db) három év átlagában. A zöldalgák esetében 0,1 és 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél 38-41 db volt a szemszám/kalász három év átlagában. A *C. vulgaris* zöldalgánál (C) két év átlagában és a 2020/21-ben (C1) a BG-11 táptalajon RWP természetben szaporított zöldalga esetében 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél 49 és 52 db volt a szemszám/kalász szám (kontroll 39 db).

Ezerszem tömeg 0,3 g L⁻¹-nél (B, K) 40,8 g a cianobaktériumos kezelésnél, ami szignifikánsan nagyobb a kontrollnál (36,4 g) három év átlagában. A zöldalga kezelések (0,1 és 0,3 g L⁻¹ B) ezerszem tömege 37,1-41,3 g volt. A *C. vulgaris* zöldalgánál (C) két év átlagában és a 2020/21-ben (C1) a BG-11 táptalajon RWP termesztőben szaporított zöldalga esetében 1,0 g L⁻¹ (B) kezelésnél 40,9 és 47,0 g volt az ezerszem tömeg a kontrollhoz képest (36,6 g) (2. ábra).



2. ábra: A terméselemek hatása a legnagyobb hozamot eredményező algakezeléseknél három év átlagában a kontrollhoz viszonyítva.

1. 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.

3.4. Az élettani hatást befolyásoló paraméterek

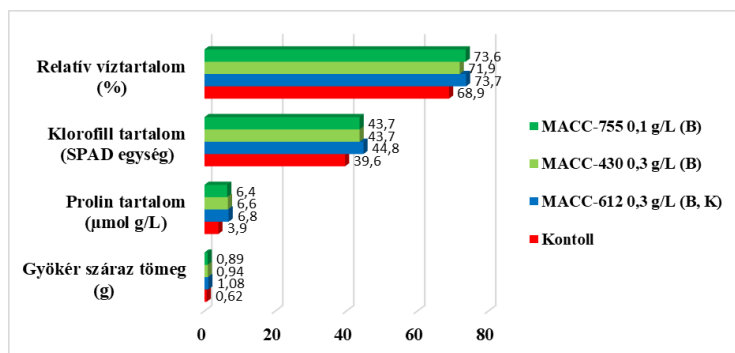
A gyökér száraz tömeg a cianobaktériumnál a 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 1,08 g volt, vagyis szignifikánsan nagyobb a kontrollnál (0,62 g) három év átlagában. A *T. sp.* és *C. vulgaris* zöldalgával 0,3 és 0,1 g L⁻¹ (B) kezeléskor a gyökér száraz tömege 0,94 és 0,89 g volt, szignifikánsan nagyobb a kontrollnál három év átlagában.

A cianobaktériummal kezelt növények legnagyobb átlagos RWC tartalma 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 73,7 % volt. A *T. sp.* zöldalgánál az 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél a legnagyobb átlagos RWC tartalom 71,9 %, a

kontroll 68,9% volt. A *C. vulgaris* zöldalgánál a 0,1 g L⁻¹ (B) kezelésnél a legnagyobb átlagos RWC tartalom 73,6 % volt három év átlagában.

A cianobaktériummal kezelt növények klorofill tartalma 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelésnél 44,8 SPAD egység, míg a zöldalgáknál *T. sp.* 0,3 g L⁻¹ (B) kezelésnél 43,7 SPAD egység, *C.vulgaris* 0,1 g L⁻¹ (B) kezelésnél 43,7 SPAD egység volt a kontrollhoz képest (39,6 SPAD egység) három év átlagában.

A prolin tartalom a cianobaktériummal 0,3 g L⁻¹ (B, K) végzett kezelésnél 6,8 μmol g⁻¹, míg a zöldalgáknál a *T. sp.*-vel végzett 0,3 g L⁻¹ (B) kezeléseknél 6,6 μmol g⁻¹ érték volt, a *C. vulgaris*nál a 0,1 g L⁻¹ (B) kezeléseknél 6,4 μmol g⁻¹ volt a prolin tartalom jóval a kontroll értéke felett (3,9 μmol g⁻¹) három év átlagában (3. ábra).



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

Az MDA tartalom cianobaktériummal 0,3 g L⁻¹ (B, K) kezelt növényeknél 0,85 μmol g⁻¹ volt, a kontrollhoz képest (0,40 μmol g⁻¹). A zöldalgák MDA tartalma 0,3 és 0,1 g L⁻¹ (B) kezelésnél 0,90-0,80 μmol g⁻¹ volt. Az MDA tartalmat egy év eredménye. Az MDA tartalom a

mikroalgákkal kezelt növényi mintákban minden mintavételi napon szignifikánsan megemelkedett a kontrollhoz képest, ami jelentős oxidatív stresszre és membránkárosodásokra utal.

A vízpotenciál a cianobaktériumnál 80,3 kPa volt a nappali, 73,9 kPa volt az éjszakai vízpotenciál érték 1,0 g L⁻¹ (B) kezelt parcellákon három év átlagában. A legnagyobb vízpotenciál értéket a zöldalgáknál az MACC-430 1,0 g L⁻¹ (B) és az MACC-755 0,1 g L⁻¹ (B) kezelése eredményezte, mind a nappali (71,4-69,8 kPa), mind az éjszakai (63,7-65,4 kPa) értékek esetében három év átlagában a kontrollhoz képest (nappali érték 63,9 kPa, éjszakai érték 54,9 kPa).

4. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A kísérletek során megállapítottam, hogy mindhárom évben kimutatható volt egy cianobaktériummal (*Nostoc piscinale*, MACC-612) és három zöldalgával (*Tetracystis sp.*, MACC-430, *Chlorella vulgaris*, MACC-755 és MACC-1) végzett kezelések hatása egy őszi búza fajtára. A 2018-21 között beállított kísérlet során is kimutatható volt a különbség a laborban és szennyvízben szaporított alga (MACC-1) közötti. A kontrollhoz képest a legnagyobb hozamot a *N. piscinale* cianobaktérium $0,3 \text{ g L}^{-1}$ bokrosodáskor és kalászhányáskor (B, K) végzett kezelés eredményezte ($8362,3 \text{ kg ha}^{-1}$). A *Tetracystis sp.* zöldalgával $0,3 \text{ g L}^{-1}$ (B) kezelés ($6500,1 \text{ kg ha}^{-1}$), a *C. vulgaris* zöldalgával $0,1 \text{ g L}^{-1}$ (B) kezelés ($7125,2 \text{ kg ha}^{-1}$) eredményezte a legnagyobb hozamot. Az $1,0 \text{ g L}^{-1}$ (B) kezelés a laborban szaporított zöldalgával $10994,6 \text{ kg ha}^{-1}$ lett a hozam és közel hasonló lett a hozam a BG-11 tápoldatban és RWP termesztőben szaporított algabiomassza kezelésnél is ($9331,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Gazdaságosság szempontjából az egyszeri és kétszeri $0,3$ és $1,0 \text{ g L}^{-1}$ kezelések használata javasolt, mind a cianobaktérium és a zöldalgáknál is. A 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, ami szintén hozzájárulhatott a nagyobb terméshez.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) esetében elsőként vizsgáltam egy cianobaktériummal (MACC-612 *Nostoc piscinale*) és három zöldalgalával (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 zöldalgalákkal 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 terméshozamhoz, míg a zöldalgaéknál 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 terméshozam kialakulásához. A C1 laborban és szennyvízen szaporított zöldalga esetében a kalászhossz, szemszám/kalász és az ezerszem tömeg növelte a terméshozamot.

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).

6. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

Az értekezés témakörében eddig megjelent publikációk

Tudományos közlemény, külföldi, idegen nyelvű lektorált folyóiratban:

- Ördög V. - Stirk, W. A. - **Takács G.** - Póthe 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.** - Póthe 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 entophytum 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.