KÉRI-SCHMIDTHOFFER ILDIKÓ[1]

Alga szuszpenziók hatása árpa csíranövények fotoszintetikus aktivitására és Hordeum spontaneum drught responsive 4 gén termelésére

1. BEVEZETÉS

A kalászos gabonák az élelmiszeriparban és a mezőgazdaságban betöltött szerepük miatt a világ legjelentősebb növényfajai közé tartoznak. A tavaszi árpát (*Hordeum vulgare*) Magyarországon főként söripari céllal termesztik mintegy háromszáz hektáron, de élelmezési és takarmányozási céllal is vetik. A termesztett növények fő terméscsökkentő tényezője a szárazság. A sörárpa különösen érzékeny a szárazságra rövid tenyészideje és a kora nyári hónapok szélsőséges csapadékviszonyai miatt.

A várható klímaváltozások azt mutatják, hogy a száraz napok száma és intenzitása növekedni fog, ezért egyre keresettebbek lesznek a szárazságstressznek ellenálló növények.[2] Mindez új kihívásokat jelent a növénytermesztés számára. Egyre nagyobb hangsúlyt kap a környezetkímélő gazdálkodás, ahol különböző növénykondicionáló készítmények alkalmazásával fokozható a kultúrnövények ellenálló képessége.[3] A tengeri algakivonatok és mikroalga készítmények pozitívan hatnak a növények életfolyamataira, amivel fokozható a termés mennyisége és minősége.[4] A mikroalgákat növényvédő és növekedésserkentő hatásuk miatt sikeresen alkalmazzák a növények kezelésében.[5]

---

[1] SZE Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer-tudományi Multidiszciplináris Doktori Iskola, doktorjelölt. Témavezető: Dr. habil Skribanek Anna, ELTE-Savaria Egyetemi Központ, Berzsenyi Dániel Pedagógusképző Kar, Biológiai Tanszék, főiskolai tanár.

[2] Bandurska, H. – Niedziela, J. – Pietrowska-Borek, M. – Nuc, K. – Chadzinikolau, T. – Radzikowska, D.: Regulation of proline biosynthesis and resistance to drought stress in two barley (Hordeum vulgare L.) genotypes of different origin, in *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017/118. no., pp. 427–437.

[3] Pőthe P. – Gergely I. – Ördög V.: Mikroalga kezelések hatása napraforgóra szántóföldi kísérletben, in *XXXVII. Óvári Tudományos Napok*, 2018, 193–200. o.

[4] Khan, W. – Rayirath, U. P. – Subramanian, S. – Jithesh, M. N. – Rayorath, P. – Hodges, D. M. – Critchley, A. T. – Craigie, J. S. – Norrie, J. – Prithiviraj, B.: Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development, in *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009/28. no., pp. 386–399.

[5] Ördög, V. – Pulz, O.: Diurnal changes of cytokinin-like activity in a strain of Arthronema africanum (Cyanobacteria), determined by bioassays, in *Algological Studies*, 1996/82. no., pp. 57–67.

Ha a környezetből felvehető víz mennyisége csökken, a növényi szervezetben vízhiány jelentkezik. Nem mindegy, hogy a növényt fejlődésének mely szakaszában éri a vízhiány és milyen mértékben. A stressz befolyásolhatja a növények növekedését, a levelek expanzióját főként, ha a vízhiány a növény csírázási vagy korai növekedési periódusában jelentkezik. A növények lehetséges védekezése a szárazságstresszel szemben, hogy vastag, mélyreható gyökérzetet fejlesztenek, ezzel biztosítva a folyamatos vízellátást.[6] Más kutatási eredmények szerint már mérsékelt vízhiány esetén is megfigyelhető a gyökér, valamint a szár növekedésének gátlása.[7]

Erősebb vagy hosszabb ideig tartó szárazság esetén a stressz a fotoszintetikus folyamatokra is hatást gyakorol.[8] A fotoszintetikus apparátus állapotának jellemzésére rendszerint a fotoszintetikus elektrontranszport jellemző paramétereit (Fo, Fi, Fm, Fv, Fp) és ezek arányait használják az egyes rendellenességek (kártevők által okozott károk, különböző stresszek, korai öregedés) megállapítására.[9] Fontos paraméter az Fv/Fm arány, mely a PSII fotorendszer maximális kvantum hatásfokát jellemzi, ennek állapotáról következtetni tudunk a növény fotoszintetikus kapacitására.[10]

A szárazság során bekövetkező morfológiai és élettani paraméterek változása molekuláris szinten is megfigyelhető. Árpa növények vizsgálatakor azonosították a Hsdr4 (Hordeum spontaneum drught responsive) gént, melynek expressziójában különbség mutatkozott a szárazságstresszre érzékeny és toleráns árpa genotípusok között.[11]

---

[6] Tari, I. – Csiszár, J. – Gallé, Á. – Bajkán, Sz. – Szepesi, Á. – Vashegyi, Á.: Élettani megközelítések gazdasági növényeink szárazságtűrésének genetikai transzformációval történő javítására, in *Botanikai Közlemények*, 2003/90. szám, 139–158. o.

[7] Blum, W. H.: Cadmium uptake by higher plants, in *Proceedings of Extended Abstracts from the Fourth International Conference on the Biochemistry of Trace Elements*, 1997, 109–110. o., Frensch, J.: Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution, in *Journal of Experimental Botany*, 1997/48. no., pp. 985–999., Munns, R.: Comparative physiology of salt and water stress, in *Plant, Cell and Environment*, 2002/25. no., pp. 239–250.

[8] Chaves, M. M. – Flexas, J. – Pinheiro, C: Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell, in *Annals of Botany*, 2009/103. no., pp. 551–560.

[9] Baker, N. R. – Rosenqvist, E.: Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities, in *Journal of Experimental Botany,* 2004/55. no., pp. 1607–1621., Baker, N. R.: Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo, in *Annual Review of Plant Biology,* 2008/59. no., pp. 89–113., Bączek-Kwinta, R. – Kozieł, A. – Seidler-Łożykowska, K.: Are the fluorescence parameters of German chamomile leaves the first indicators of the anthodia yield in drought conditions?, in *Photosynthetica*, 2011/49. no., pp. 87–97.

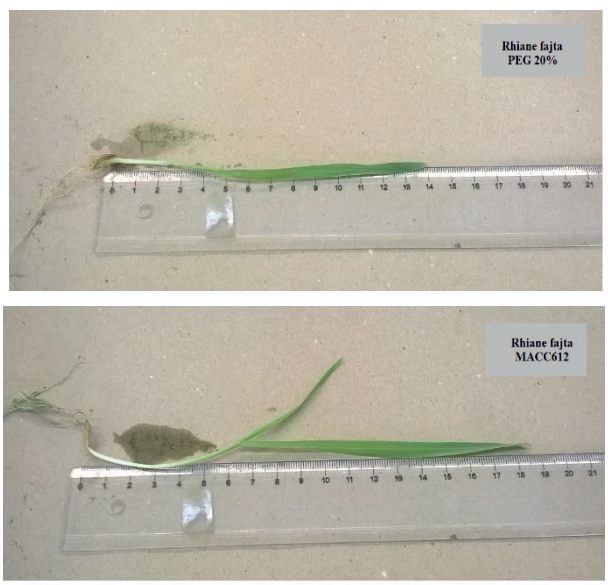
[10] Jamil, M. – Rehman, S. U. – Lee, K. J. – Kim, J. M. – Kim, H. S. – Rha, E. S.: Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish, in *Scientia Agricola,* 2007/64. no., pp. 111–118., Tang, Y. – Wen, X. – Lu, Q. – Yang, Z. – Cheng, Z. – Lu, C.: Heat stress induces an aggregation of the light-harvesting complex of photosystem II in spinach plants, in *Plant Physiology*, 2007/143. no., pp. 629–638., Balouchi, H. R.: Screening wheat parents of mapping population for heat and drought tolerance, detection of wheat genetic variation, in *International Journal of Biological. Life Sciences*, 2010/4. no., pp. 56–66.

[11] Suprunova, T. – Krugman, T. – Distelfeld, A. – Fahima, T. – Nevo, E. – Korol, A.: Identification of a novel gene (Hsdr4) involved in water-stress tolerance in wild barley, in *Plant Molecular Biology*, 2007/64. no., pp. 17–34.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérleteket a Gabonakutató Nonprofit Kft. Táplánszentkereszti Növénynemesítő Kutatóállomása által biztosított vízigényes (KH Lilla) és szélsőségesen szárazságtűrő (Rhiane) fajtákkal végeztük. A fajtákat szobahőmérsékleten, nedves környezetben előcsíráztattuk, a 2. napon csíráztató hálóra helyeztük. A csíranövényeket folyadékkultúrában neveltük. Kontroll, alga-szuszpenzióval (MACC612; MACC430) és PEG6000 20%-os oldatával kezelt mintákat vizsgáltunk (1. kép). Az algákat (*Nostoc entophyton* és *Tetracystis sp.)* a Mosonmagyaróvári Algagyűjtemény biztosította számunkra.

1. kép: MACC612-es alga szuszpenzióval és PEG6000 20% oldatával kezelt Rhiane fajta hajtáshossza



A liofilezett algákból desztillált vízzel 10 g L^{-1} koncentrációjú szuszpenziót készítettünk, amit ultrahangos sejtroncsolóval (VirSonic 600, USA) kezeltünk 2 percig. A kísérletekhez minden alkalommal frissen készített mikroalga szuszpenziót használtunk, melyet a csíráztatástól számított második és hetedik napon alkalmaztunk. A vízelvonó kezelést 20%-os PEG6000-es oldattal csíráztatást követő hetedik napon alkalmaztuk a kontroll és az algával kezelt minták esetén egyaránt. A kilencedik napon az összes növény hajtásából reprezentatív módon mintát vettünk a növekedési paraméterek (gyökér- és hajtáshossz, gyökér- és hajtás nedves tömeg), a fotoszintetikus aktivitás (Fv/Fm) valamint a Hsdr4 gén expressziójának méréséhez.

Kilenc napos csíranövényeken a morfológiai paraméterek mérését követően meghatároztuk a fotoszintetikus aktivitás változását pulzáló amplitúdómodulációs (PAM) hordozható MINI-PAM klorofill-a fluoriméterrel (Heinz Walz GmbH, Germany). Az elektrontranszportlánc üres állapotát minden esetben húsz percig tartó sötétadaptálással értük el. Növekvő fényintenzitással 0 $m^{-2}s^{-1}$-725 $m^{-2}s^{-1}$ PAR (Photosyntetically Active Radition) tizenhárom cikluson keresztül húsz másodpercenként végeztünk méréseket, melyhez IMAG-MIN/B kék fényt kibocsájtó mérőfejet használtunk. Fajtánként négy ismétlésben három-három növényen mértük a sötétadaptált minta fluoreszcenciáját (Fo), a maximális fluoreszcencia hozamot (Fm) fényadaptált állapotban a maximális fluoreszcenciát (F'm), valamint a megvilágított minta aktuális fluoreszcencia hozamát (F). A mért paraméterekből (Fo, Fm, F'm) kiszámítottuk növények fényhasznosítását (Fv/Fm= (Fm-Fo)/Fm).

Molekuláris biológiai mérések során RNS-t vontunk ki TRI-Reagent® reagenssel (Zymo Research) 0,1 g friss árpalevél felhasználásával, melyet folyékony nitrogénben elporítottunk. A minták tisztaságára az A260/A280 arányból következtettünk. Az ellenőrzés során megfelelő értékként fogadtuk el, ha az A260/A280> 1,9. Az arány meghatározása spektrofotométer (Hitachi U2910, Japán) segítségével történt. Az RNS mintákból RevertAid M-MuLV Reverse Transcriptase (Fermentas) enzim segítségével szintetizáltunk cDNS-t. Az összemérést követően a reakcióelegyet 42 °C-on 60 percig inkubáltuk SureCycler 8800 PCR (Agilent Technologies) készülék segítségével. A Real-Time RT-PCR reakcióhoz Luminaris Color HiGreen Low ROX qPCR Master Mixet (Thermo Scientific) alkalmaztunk a gyártó utasításának megfelelően. A reakciókat Mx3000P qPCR System (Agilent Technologies) Real-Time PCR készüléken futtattuk le normál üzemmódban. A reakció során referencia primerként stabilan expresszálódó, a növényekben nagy mennyiségben jelen levő alpha-tubulint alkalmaztuk, Forward primer: 5'AGTGTCCTGTCCACCCACTC 3', Reverse primer: 5' AGCATGAAGTGGATCCTTGG 3'.[12] A vizsgálni kívánt gén pedig a Hsdr4 Forward primer: 5'CCGGGCTTTATTCCTGGCT 3', Reverse primer: 5' TTTCCAGTACAACCCTCCGCT3'13. A Hsdr4 gén expressziójának mértékét az alábbi képlet szerint számoltuk ki: PEG Hsdr4/(PEG/K tub)*K hsdr4.

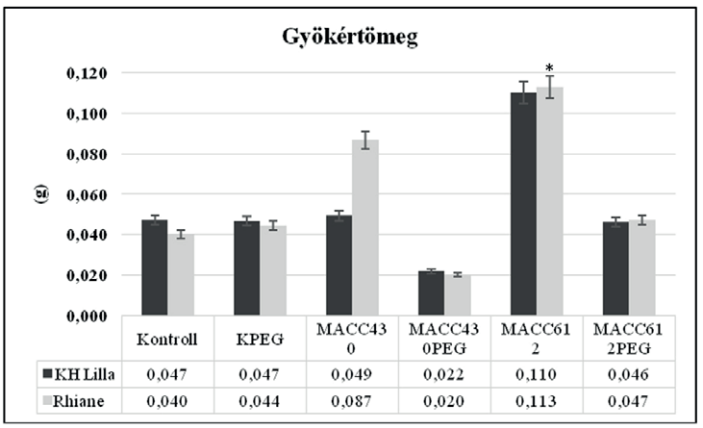
[12] Burton, R. A. – Shirley, N. J. – King, B. J. – Harvey, A. J. – Fincher, G. B.: The CesA gene family of barley. Quantitative analysis of transcripts reveals two groups of co-expressed genes, in *Plant Phsysiology*, 2004/134. no., pp. 224–236.

[13] Suprunova – Krugman – Distelfeld – Fahima – Nevo – Korol: i. m.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Az alga szuszpenzióval történő kezelések eddigi eredményeként a morfológiai bélyegek (gyökér– és hajtáshossz, gyökér- és hajtástömeg) kis mértékű növekedését tapasztaltuk. A KH Lilla fajta esetében a kontrollhoz képest a MACC430-as alga-szuszpenzióval történt kezelés fokozta a gyökérhossz, hajtáshossz növekedését, míg az MACC612-es alga-szuszpenzió a gyökértömegre volt pozitív hatással. A kapott eredmények közül a gyökérhossz változása MACC430-as algakezelés hatására szignifikáns eltérést mutatott a kontrollhoz képest (1. ábra). A Rhiane fajtánál a hajtáshossz, gyökértömeg, hajtástömeg növekedését tapasztaltuk a kontroll mintához képest MACC612 alga-szuszpenzióval történő kezelésnél. A gyökértömeg változása MACC430-as kezelést követően is pozitív volt. A gyökérhossz MACC430 kezelést követő PEG kezelés hatására nőtt. Szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest az MACC612 alga kezelés mutatott a gyökértömeg esetében (2. ábra). A PEG kezelés hatására bekövetkező gyökér és hajtástömeg csökkenés az algakezeléssel megszüntethető, a kontroll vízkultúrában nevelt növényekre jellemző mennyiségi karakterisztikákat kaptuk.

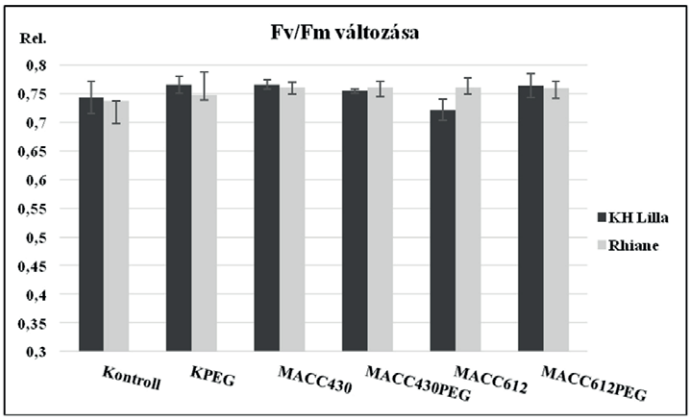
1. ábra: A gyökérhossz változása alga, szárazságstressz és kombinált kezelések esetében KH Lilla és Rhiane fajtáknál



	Kontroll	KPEG	MACC430	MACC430PEG	MACC612	MACC612PEG
KH Lilla	0,047	0,047	0,049	0,022	0,110	0,046
Rhiane	0,040	0,044	0,087	0,020	0,113	0,047

Jelmagyarázat: * szignifikáns P=0,05, Kontroll= kezeletlen minta, KPEG= PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta, MACC430= *Tetracystis sp* alga-szuszpenzióval kezelt minta, MACC430PEG= *Tetracystis sp* alga-szuszpenzióval és PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta, MACC612= *Nostoc entophyton* alga-szuszpenzióval kezelt minta, MACC612PEG= *Nostoc entophyton* alga-szuszpenzióval és PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta.

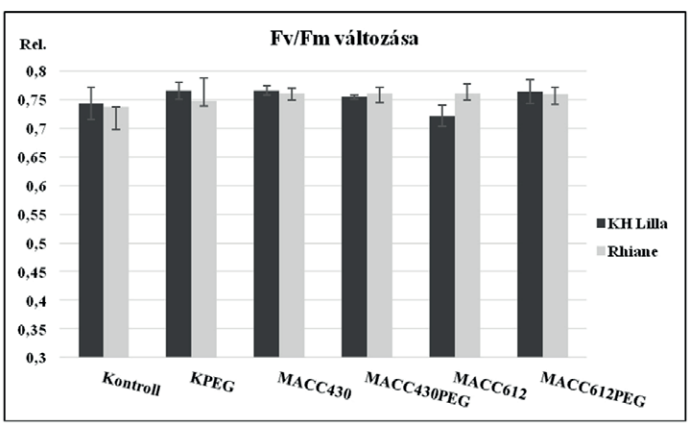
2. ábra: A gyökértömeg változása alga, szárazságstressz és kombinált kezelések esetében KH Lilla és Rhiane fajtáknál



Jelmagyarázat: * szignifikáns P=0,05, Kontroll= kezeletlen minta, KPEG= PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta, MACC430= *Tetracystis sp* alga-szuszpenzióval kezelt minta, MACC430PEG= *Tetracystis sp* alga-szuszpenzióval és PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta, MACC612= *Nostoc entophyton* alga-szuszpenzióval kezelt minta, MACC612PEG= *Nostoc entophyton* alga-szuszpenzióval és PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta.

Az alga kezelés hatását a fotoszintetikus paraméterekre nem tudtuk kimutatni. A szélsőségesen vízigényes (KH Lilla) és szélsőségesen szárazságtűrő (Rhiane) fajta fotoszintetikus aktivitása (3. ábra) nem változott szignifikánsan sem PEG, sem az alga kezelés hatására.

3. ábra: A fényhasznosítás (Fv/Fm) változása alga, szárazságstressz és kombinált kezelések esetében KH Lilla és Rhiane fajtáknál



Jelmagyarázat: Kontroll= kezeletlen minta, KPEG= PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta, MACC430= *Tetracystis sp* alga-szuszpenzióval kezelt minta, MACC430PEG= *Tetracystis sp* alga-szuszpenzióval és PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta, MACC612= *Nostoc entophyton* alga-szuszpenzióval kezelt minta, MACC612PEG= *Nostoc entophyton* alga-szuszpenzióval és PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta.

A kiválasztott árpafajtákon végzett génexpressziós vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a szárazságtűrésében szerepet játszó gén a Hsdr4 gén expresszsiójában különbség figyelhető meg a KH Lilla és Rhiane fajták között. A KH Lilla fajta esetében az MACC612-es alga-szuszpenzióval történő kezelést követő vízelvonó kezelés hatására a Hsdr4 gén expressziója csökkent. Ezzel szemben a Rhiane fajtánál az egyes alga szuszpenziókkal történő kezelés utáni vízelvonás fokozta a Hsdr4 gén expresszióját (1. táblázat).

1. táblázat: A Hsdr4 gén expressziójának változása alga, szárazságstressz és kombinált kezelések esetében KH Lilla és Rhiane fajtáknál

	(PEG hsdr4)/((PEG/K tub)*K hsdr4)	
	KH Lilla fajtánál	**Rhiane fajtánál**
KPEG	**0,9940**	0,9805
MACC612	0,9400	1,0062
MACC612PEG	**0,9822**	1,0258
MACC430	1,0280	1,0506
MACC430PEG	1,0472	1,0440

Jelmagyarázat: Kontroll= kezeletlen minta, KPEG= PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta, MACC430= *Tetracystis sp* alga-szuszpenzióval kezelt minta, MACC-430PEG= *Tetracystis sp* alga-szuszpenzióval és PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta, MACC612= *Nostoc entophyton* alga-szuszpenzióval kezelt minta, MACC612PEG= *Nostoc entophyton* alga-szuszpenzióval és PEG6000 20%-os oldatával kezelt minta. (PEG hsdr4)/((PEG/K tub)*K hsdr4))= A Hsdr4 gén relatív expressziójának változása a referencia génhez viszonyítva.

4. KÖVETKEZTETÉS

A munkánk során arra kerestük a választ, hogy a tavaszi árpa csíranövények egyes növényélettani paraméterei (gyökér és hajtáshossz, gyökér és hajtás nedves tömeg, Fv/Fm valamint a Hsdr4 expressziós szintje) milyen mértékben jelzik a fajták szárazságtűrő képességét. Továbbá, hogy a szárazságtűrő képesség fokozható-e alga-szuszpenzió alkalmazásával.

A morfológiai paraméterek estében a KH Lilla fajta gyökérhossz változásánál, valamint a Rhiane fajta gyökértömeg változásánál algahatást mutattunk ki. A KH Lilla esetében a *Tetracystis sp.,* míg a Rhiane fajtánál a *Nostoc entophyton* alga hatására szignifikánsan (P=0,05) nőttek egyes paraméterek.

A tényleges PSII teljesítmény (Fv/Fm) mérése során a kontroll mintákhoz képest nem sikerült változást kimutatnunk sem alga-szuszpenzióval történő kezelés, sem pedig vízelvonás esetén. Ennek feltételezhető oka az lehet, hogy a kezelések hatására nem sérült eléggé a növények elektronszállító rendszere.

A Hsdr4 gén génkifejeződésének mértéke elkülönül a kezelések hatására. Eddigi eredményeink alapján egyedül a vízigényes KH Lilla fajtánál nőtt a génexpresszió a referencia génhez képest a MACC 612-es alga-szuszpenzióval történő kezelést követő vízelvonás hatására. A pontos eredmények közléséhez még további mérések szükségesek. Az eredmények alapján feltételezhető, hogy az alga-szuszpenzióval történő kezelés a szenzitív fajtánál alkalmas lehet a szárazságtűrő képesség mértékének jellemzésére.

A Nostoc entophyton és *Tetracystis sp* alga-szuszpenzió adagolása a növények növekedésére különbözően hatott. A vízigényes KH Lilla fajtánál az MACC430-as alga főként a hajtáshosszra és a gyökérhosszra volt pozitív hatással. A szélsőségesen szárazságtűrő Rihane fajtánál a hajtáshossz, hajtástömeg és gyökértömeg növekedését az MACC612-es alga hatásaként figyeltük meg. Eddigi eredményeink alapján a vízkultúrában nevelt árpa csíranövényeknél a két alga közül a Nostoc entophyton alga alkalmas a szárazság-stressz káros hatásainak mérséklésére. A pályázati időszak végéig további méréseket tervezünk annak eldöntésére, hogy miként hat az alga-szuszpenzió a fajták szárazságtűrő képességére.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bączek-Kwinta, R. – Kozieł, A. – Seidler-Łożykowska, K.: Are the fluorescence parameters of German chamomile leaves the first indicators of the anthodia yield in drought conditions?, in *Photosynthetica*, 2011/49. no., pp. 87–97.
- Baker, N. R. – Rosenqvist, E.: Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities, in *Journal of Experimental Botany,* 2004/55. no., pp. 1607–1621.
- Baker, N. R.: Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo, in *Annual Review of Plant Biology,* 2008/59. no., pp. 89–113.
- Balouchi, H. R.: Screening wheat parents of mapping population for heat and drought tolerance, detection of wheat genetic variation, in *International Journal of Biological. Life Sciences*, 2010/4. no., pp. 56–66.
- Bandurska, H. – Niedziela, J. – Pietrowska-Borek, M. – Nuc, K. – Chadzinikolau, T. – Radzikowska, D.: Regulation of proline biosynthesis and resistance to drought stress in two barley (Hordeum vulgare L.) genotypes of different origin, in *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017/118. no., pp. 427–437.

▪ Blum, W. H.: Cadmium uptake by higher plants, in *Proceedings of Extended Abstracts from the Fourth International Conference on the Biochemistry of Trace Elements*, 1997, 109–110. o.
▪ Burton, R. A. – Shirley, N. J. – King, B. J. – Harvey, A. J. – Fincher, G. B.: The CesA gene family of barley. Quantitative analysis of transcripts reveals two groups of co-expressed genes, in *Plant Phsysiology*, 2004/134. no., pp. 224–236.
▪ Chaves, M. M. – Flexas, J. – Pinheiro, C: Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell, in *Annals of Botany*, 2009/103. no., pp. 551–560.
▪ Frensch, J.: Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution, in *Journal of Experimental Botany*, 1997/48. no., pp. 985–999.
▪ Jamil, M. – Rehman, S. U. – Lee, K. J. – Kim, J. M. – Kim, H. S. – Rha, E. S.: Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish, in *Scientia Agricola,* 2007/64. no., pp. 111–118.
▪ Khan, W. – Rayirath, U. P. – Subramanian, S. – Jithesh, M. N. – Rayorath, P. – Hodges, D. M. – Critchley, A. T. – Craigie, J. S. – Norrie, J. – Prithiviraj, B.: Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development, in *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009/28. no., pp. 386–399.
▪ Munns, R.: Comparative physiology of salt and water stress, in *Plant, Cell and Environment*, 2002/25. no., pp. 239–250.
▪ Ördög, V. – Pulz, O.: Diurnal changes of cytokinin-like activity in a strain of Arthronema africanum (Cyanobacteria), determined by bioassays, in *Algological Studies*, 1996/82. no., pp. 57–67.
▪ Pőthe P. – Gergely I. – Ördög V.: Mikroalga kezelések hatása napraforgóra szántóföldi kísérletben, in *XXXVII. Óvári Tudományos Napok*, 2018, 193–200. o.
▪ Suprunova, T. – Krugman, T. – Distelfeld, A. – Fahima, T. – Nevo, E. – Korol, A.: Identification of a novel gene (Hsdr4) involved in water-stress tolerance in wild barley, in *Plant Molecular Biology*, 2007/64. no., pp. 17–34.
▪ Tang, Y. – Wen, X. – Lu, Q. – Yang, Z. – Cheng, Z. – Lu, C.: Heat stress induces an aggregation of the light-harvesting complex of photosystem II in spinach plants, in *Plant Physiology*, 2007/143. no., pp. 629–638.
▪ Tari I. – Csiszár J. – Gallé Á. – Bajkán Sz. – Szepesi Á. – Vashegyi Á.: Élettani megközelítések gazdasági növényeink szárazságtűrésének genetikai transzformációval történő javítására, in *Botanikai Közlemények*, 2003/90. szám, 139–158. o.