



## Doktori értekezés (Ph.D.) tézisei

**Futó Péter**

**A *KLEBSORMIDIUM FLACCIDUM* FONALAS ZÖLDALGA FIZIOLÓGIAI ÉS  
BIOTECHNOLÓGIAI VIZSGÁLATA - FOTOSZINTÉZIS, NÖVÉNYI  
HORMONTERMELÉS ÉS TALAJJAVÍTÓ KÉPESSÉG**

**Témavezetők**

**Dr. Bernát Gábor**

tudományos főmunkatárs, HUN-REN Balatoni  
Limnológiai Kutatóintézet, Hidrobotanikai és Mikrobiális  
Ökológiai Kutatócsoport, Tihany

**Dr. Lengyel Edina**

tudományos főmunkatárs, Pannon Egyetem, Mérnöki  
Kar, Természettudományi Központ, Limnológiai  
Kutatócsoport, Veszprém

**Veszprém**

**2025**

## 1. Előzmények

Munkahelyemen, az Albitech Biotechnológiai Kft.-nél egy barlangból izolált *Klebsormidium* zöldalga fajjal dolgoztam az elmúlt 10 évben. Az izolátumról bebizonyosodott, hogy nem csak lombik-, hanem félüzemi léptékben is kiválóan tenyészhető fonalas szerveződése ellenére, ami kiváló alapot szolgáltat a faj lehetséges biotechnológiai hasznosíthatóságához. Számos előkísérletet végeztünk az algatörzs tulajdonságainak megismerésére, amelyek során vizsgáltuk többek között:

- 1) talajkolonizációs képességét,
- 2) UV-ellenálló képességét,
- 3) különböző típusú talajok nedvességtartalmára gyakorolt hatását, és
- 4) növényi növekedést serkentő hatását.

A doktori (PhD) képzés keretein belül az előkísérletekben szerzett tapasztalatokra és összegyűjtött információkra alapozva folytattam kutatásaimat.

## 2. Célkitűzés

### 2.1. BARLANGBÓL IZOLÁLT *KLEBSORMIDIUM* TÖRZS ÖKOFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

A fejezet célja egy eddig nem vizsgált barlangi eredetű *Klebsormidium* törzs ökológiai és biotechnológiai szempontból történő jellemzése. Ehhez egy barlangból izolált törzs növekedési dinamikáját és fotoszintetikus aktivitását vizsgáltam különböző hőmérsékleti feltételek mellett, továbbá elemeztem a tenyészetekben jelenlévő brasszinoszteroid típusú növényi hormon hőmérsékletfüggését.

### 2.2. RIZSLEVÉLLEMEZ-ELHAJLÁSI BIOTESZT KIDOLGOZÁSA ALGATENYÉSZETEK BRASSZINOSZTEROID (BR) TARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA

Ennek a vizsgálatnak a célja, egy egyszerű és költséghatékony módszer kidolgozása volt a *Klebsormidium* kultúrákban található biológiailag aktív BR-ok hozzávetőleges mennyiségének becslésére drága analitikai eszközök használata nélkül.

### 2.3. ALGA-DOMINÁLT BIOLÓGIAI TALAJKÉREG HATÁSA A TALAJRA

Ennek a kutatásnak célkitűzése volt (i) megvizsgálni, hogy kialakulhat-e a vizsgált *Klebsormidium* törzs szántóföldi kijuttatásával biológiai talajkéreg, (ii) megvizsgálni a biológiai talajkéreg hatását a talajnedvességre és porozításra, (iii) valamint felmérni, hogy befolyásolja-e az algaoltás az eróziós veszteségeket mesterséges esőztetési szimuláció során.

### 3. Anyag és módszer

#### 3.1. BARLANGBÓL IZOLÁLT *KLEBSORMIDIUM* TÖRZS ÖKOFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

##### 3.1.1. IZOLÁLÁS ÉS ALGATENYÉSZTÉSI KÖRÜLMÉNYEK

A vizsgált alga törzset tartalmazó biofilmet egy észak-magyarországi barlang faláról gyűjtöttük be (GPS-koordináták: 47.90067, 20.37917). A tenyészetet módosított BBM tápközegben (Bold's Basal Medium, Starr és Zeikus 1993) tartottuk fenn  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ -on,  $35 \mu\text{mol foton m}^2 \text{s}^{-1}$  fényintenzitás mellett fénypolcon.

##### 3.1.2. AZ ALGATÖRZS AZONOSÍTÁSA – DNS-SZEKVENCIA ELEMZÉS

Az 18S rRNS gén és az ITS régió PCR-amplifikációját az Euk328f–Chlo02R (Moon-Van der Staay és mtsai, 2000; Zhu és mtsai, 2005), illetve ITS\_f–ITS\_r primerekkel (Liu és mtsai, 2014), Somogyi és mtsai (2013) és Greipel és mtsai (2023) protokolljai alapján végeztük. A szekvenciák azonosítása BLAST-tal (GenBank; Sayers és mtsai, 2022), SINA-val (Pruesse és mtsai, 2012), és ClustalW-val (MEGA 11; Tamura és mtsai, 2021) történt. A törzsfákat 817 bp (18S, K2 modell) és 757 bp (ITS, K2P+G modell) alapján rekonstruáltuk.

##### 3.1.3. OXIGÉNHOZAM MÉRÉSEK

A kísérleteket egy 9-cellás fotoszintetronban végeztük. Az inkubációs rendszerben a méréseket kilenc különböző fényintenzitáson (0, 5, 18, 40, 100, 200, 450, 900 és  $1200 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR), valamint tíz eltérő hőmérsékleteken (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 és  $50^\circ\text{C}$ ) végeztük el. A mérések során az oldott oxigén mennyiségét LDO szenzorral mértük meg. Az algaminták klorofill-*a* tartalmát spektrofotometriás módszerrel határoztuk meg (Caesar és mtsai, 2018). A fotoszintetikus és respirációs rátákat biomassza-specifikusan számítottuk ki Wetzel és Likens (2000) módszere szerint.

##### 3.1.4. FOTOSZINTETIKUS AKTIVITÁS MEGHATÁROZÁSA KLOROFILL-FLUORESZCENCIA MÉRÉSEKKEL

A *Klebsormidium* tenyészetet homogenizálás után Karlsruhe-lombikokba töltöttük, majd  $5\text{--}50^\circ\text{C}$ -on 1 órán át sötétben inkubáltuk. Ezt követően gyors fény- és fluoreszcencia-indukciós görbéket rögzítettünk DUAL-PAM-100 készülékkel. A gyors fénygörbéket  $11\text{--}830 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$  tartományban, míg az indukciós görbéket  $131 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$  fényintenzitás mellett vettük fel. Mindkét mérésnél 600 ms időtartamú,  $10\,000 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$  intenzitású telítő

fényimpulzusokat alkalmaztunk. A fotoszintetikus kulcsparamétereket a berendezés szoftvere számította ki.

### 3.1.5. NÖVEKEDÉSI RÁTÁK MEGHATÁROZÁSA

A *Klebsormidium* tenyészet növekedési rátáit 10–40 °C között vizsgáltuk tenyésztőkamrában, 150 mL-es batch tenyészetekkel (n=4). A kultúrákat négy napon át, tartottuk 85  $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$  intenzitású hideg fehér fényben, 12:12 órás fotoperiódusban. Az optikai denzitást (OD750) naponta mértük, a specifikus növekedési rátákat ( $\mu$ ) Krzemińska és mtsai (2014) alapján számoltuk.

### 3.1.6. BRASSZINOLID MEGHATÁROZÁS

Az LC–MS analízishez 600 mL mintát szűrtünk Whatman GF/F szűrőn, majd szilárd fázisú extrakciót (SPE) végeztünk AutoTrace 280 készülékkel polimer gyenge kationcserélő kazettákon Maász és mtsai (2019) protokollja szerint. A mintákat acetonitrilben reszuszpendáltuk. A brasszinolid (BL) standardból 5–1000 ng L<sup>-1</sup> kalibrációs sorozatot állítottunk elő. Az elválasztást Agilent HPLC rendszeren, Phenomenex Kinetex Polar C18 oszlopon végeztük, ACN/vizes (0,1% hangyasav, 10 mM ammónium-formiát) eluensgradienssel. A BL detektálását Bruker amaZon SL ioncsapda tömegspektrométerrel (ESI+, MS/MS) hajtottuk végre a 315,56 és 479,68 m/z ionok alapján. Az adatokat Bruker Compass DataAnalysis 4.4 SR1 szoftverrel értékeltük ki.

## 3.2. RIZSLEVÉLLEMEZ-ELHAJLÁSI BIOTESZT KIDOLGOZÁSA ALGATENYÉSZETEK BRASSZINOSZTEROID TARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA

### 3.2.1. RIZS LEVÉLLEMEZ-ELHAJLÁSI BIOTESZT (RLIA) ÉS AZ ALKALMAZOTT RIZSFAJTÁK

Kísérleteinkben négy rizsfajtával dolgoztunk: az 'Arsenal', a 'Hoshinoyume' és az 'M 60', és a 'Koshihikari'. Az előkészített minták BR-tartalmát Han és mtsai (1997) módszerével határoztuk meg. A rizsmagokat 48 órán át csapvízben áztattuk, majd desztillált vizes agar felületén, sötétben, 30°C-on csíráztattuk. A hét napos, azonos magasságú növények hajtáscúcsaiból 4 cm-es darabokat vágunk, és 24 óráig desztillált vízben tartottuk 30°C-on. A lemetszett részeket kezeltük, majd az inkubációt követően (30°C, sötétben, 48 óra) után a második levéllemez és a szár közötti szöveget ( $\alpha$ ) az ImageJ szoftverrel határoztuk meg.

### 3.2.2. MINTAELŐKÉSZÍTÉS ÉS UHPLC-MS/MS ELEMZÉS

A mintaelőkészítéshez 18 L *Klebsormidium* tenyészetet használtunk. Centrifugálás után a felülúszót eltávolítottuk, és a sejtömeget négyszeres térfogatú, 80%-os jéghideg metanollal extraháltuk 5°C-on egy éjszakán át. Az extraktumot ismét lecentrifugáltuk, a felülúszót hűtve tároltuk, majd az extrakciót megismételtük. Az elválasztott felülúszót SPE oszlopon tisztítottuk, az eluátumot rotációs vákuumbepárlóval szárazra pároltuk, és 20 mL vízben oldottuk fel. Az analitikai mérések előtt a mintákból 3-(danzilamino)fenilbórsavval származékot képeztünk Gamoh és mtsai. (1990) protokollja szerint. Az UHPLC-MS/MS elemzést Dionex Ultimate3000 UHPLC rendszerrel és Orbitrap Q Exactive Focus tömegspektrométerrel végeztük, pozitív ESI forrással. Oszlop: Kinetex C18. Eluensek: A: 0,1% hangyasav, B: acetonitril:0,1% hangyasav (80:20). Gradiens: 0 perc: 80% B → 5 perc: 100% B → 10 perc: 100% B. ESI paraméterek: 3500 V (+), kapilláris hőmérséklet 256°C, N<sub>2</sub> gázok: 47,5 / 11,25 / 2,25 egység. MS/MS: 70 000 felbontás, 50 eV ütközési energia; prekursor: m/z 815, termékion: 174 (mennyiségi meghatározás).

### 3.3. ALGA-DOMINÁLT BIOLÓGIAI TALAJKÉREG HATÁSA A TALAJRA

#### 3.3.1. VIZSGÁLATI TERÜLET ÉS KÍSÉRLETI BEÁLLÍTÁS

A kísérleti terület egy forgatás nélküli művelésű kukoricatábla volt Esztergályhorváti közelében (GPS-koordináták: 46.68200, 17.10556, 133 m tszf.). A talaj gyengén erodált, vályog mechanikai összetételű, agyagbemosódásos barna erdőtalaj. A kukoricát április 21-én vetettük, az algatenyészetet pedig május 11-én juttattuk ki. A mintavétel és a mesterséges esőztetés 4,5 hónappal ezt követően valósult meg.

#### 3.3.2. *KLEBSORMIDIUM* VISSZAIZOLÁLÁSA

A talaj felső rétegéből mintákból dúsítótenyészetek készítettünk, majd két héten át 20°C-on, inkubáltuk. A minták vizsgálatához fénymikroszkópot használtunk.

#### 3.3.3. KÖZÖSSÉGI DNS IZOLÁLÁSA ÉS SZEKVENÁLÁS

A pro- és eukarióták 16S és 18S rRNS géneit amplifikáltuk fúziós primerekkel (Teske és Sørensen, 2008; Herlemann és mtsai, 2011; Apprill és mtsai, 2015). PCR-termékeket Qubit dsDNA HS teszttel mennyiségi szempontból ellenőriztük, majd Illumina MiSeq v2 2×250 bp páros végű szekvenálást végeztünk. A szekvenciaelemzést mothur v1.44.3-mal, ARB-SILVA

SSU Ref NR 138 és PR2 v4.10 adatbázisokkal végeztük, OTU-kat 97%-os küszöbértékkel határoztuk meg (Kozich és mtsai, 2013).

#### 3.3.4. MESTERSÉGES ESŐZTETÉS ÉS TALAJVIZSGÁLATOK

Beszivárgást és eróziót Meersmans-féle csapadékszimulátorral mértünk, 40 mm h<sup>-1</sup> csapadékintenzitással (Centeri és mtsai; 2011; Jakab és mtsai 2019). Differenciált talajporozitást 0–6 cm-es rétegből 100 cm<sup>3</sup>-es mintákkal határoztuk meg (Rowell, 2014). A vízálló aggregátumok (WSA) arányát nedves szitálással mértük (Kemper és Koch, 1966). A csapadék után kialakult kéreg szerkezetét vékonycsiszolatokon keresztül, pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk (Jakab és mtsai 2013).

#### STATISZTIKAI ELEMZÉSEK

Az egyes vizsgálatokból származó adatokstatisztikai elemzéseiket minden esetben az R szoftverrel végeztük (4.2.1 – R Core Team, 2021; 4.4.3 – R Core Team, 2024) a megfelelő csomagok felhasználásával: a vegan (Oksanen és mtsai, 2022), ggplot2 (Wickham, 2016), circlize (Gu és mtsai, 2014) és nlme (Pinheiro és mtsai 2022).

## 4. A legfontosabb eredmények tézispontokban

### 4.1. BARLANGBÓL IZOLÁLT *KLEBSORMIDIUM* TÖRZS ÖKOFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

A vizsgált barlangi eredetű *Klebsormidium* törzs széles hőmérséklettartományban képes fotoszintézisre (5-45°C) és növekedésre (10-40°C). A törzs fotoszintetikus optimuma [30-40°C ( $P_{max}$ ), illetve 35-40°C ( $rETR_{max}$ )] magasabb, mint a növekedési optimuma (20-25°C). A törzs magas fényhasznosítási tényezővel ( $\alpha$ ), és alacsony fényadaptációs paraméterrel ( $I_k$ ) rendelkezik. Az optimális tenyésztési hőmérséklet, valamint a tenyészetek intracelluláris brasszinoszteroid tartalma között negatív korreláció figyelhető meg.

### 4.2. RIZSLEVÉLLEMEZ TESZT KIDOLGOZÁSA *KLEBSORMIDIUM* ALGATENYÉSZETEK BRASSZINOSZTEROID TARTALMÁNAK KIMUTATÁSÁRA

A rizslevéllemez-elhajlási bioteszthez (RLIA) a vizsgált rizsfajták közül – 'Arsenal', 'Hoshinoyume', 'M 60', 'Koshihikari' – a 'Koshihikari' bizonyult a legjobban alkalmazhatónak a 0,001-0,1 mg L<sup>-1</sup> BL tartományban. Az alga sejttömegeből kivont metanolos minta, metanol-víz oldószercserét követően alkalmazható RLIA-ban. A kidolgozott módszer segítségével becsültük meg a vizsgált *Klebsormidium* tenyészet brasszinoszteroid tartalmát. Pontos és megbízható összefüggést mutattam ki a RLIA és BR koncentrációk közt [( $R^2$ : 0,947; RSE: 6,8% (Residual Standard Error – reziduumok szórása) és RMSE: 16,8% (root mean square error – négyzetes gyök átlagos hiba)].

### 4.3. ALGA-DOMINÁLT BIOLÓGIAI TALAJKÉREG HATÁSA A TALAJRA

A kísérlet során a kijuttatott *Klebsormidium* algatenyészet a kezdetben száraz időjárási feltételek mellett is életképes maradt, és biológiai talajkéreget képezett mezőgazdasági termelésbe bevett gyengén erodált, vályog mechanikai összetételű, agyagbemosódásos barna erdőtalajon. A kialakult *Klebsormidium*-dominált biológiai talajkéreg hatására szignifikánsan javult az erodált talaj szerkezete, amit a porozitás (+17%), a makropórusok (+52%) és stabil aggregátumok arányának növekedése (+44%), valamint a talaj térfogattömegének csökkenése (-8%) is alátámasztott. A kijuttatott *Klebsormidium* talajoltó tenyészet képes az eróziós veszteségek csökkentésére (-43%).

## **5. Köszönetnyilvánítás**

Szeretném hálámat és köszönetemet kifejezni Dr. Bernát Gábornak, Dr. Lengyel Edinának, Dr. Kutasi Józsefnek, Prof. Dr. Padisák Juditnak, Futó Máténak, Daoda Zoltánnak, Dr. Murvai Nikolettának, Zsuga-Biró Ritának, Dr. Pirger Zsoltnak, Németh Zoltánnak, Dr. Komáromy Andrásnak, Burányi Máténak, Dr. Madarász Balázsnak, Dr. Jakab Gergelynek, Dr. Jancsó Mihálynak, Dr. Felföldi Tamásnak, Dr. Szabó Attilának. Szüleimnek, Nagyszüleimnek, Futóné Németh Dórának, Futó Rékának és Futó Máté Samunak.

## 6. Irodalomjegyzék

- Apprill A, McNally S, Parsons R, Weber L (2015) Minor revision to V4 region SSU rRNA 806R gene primer greatly increases detection of SAR11 bacterioplankton. *Aquat Microb Ecol* 75:129–137. <https://doi.org/10.3354/ame01753>
- Caesar J, Tamm A, Ruckteschler N, és mtsai (2018) Revisiting chlorophyll extraction methods in biological soil crusts – methodology for determination of chlorophyll *a* and chlorophyll *a + b* as compared to previous methods. *Biogeosciences* 15:1415–1424. <https://doi.org/10.5194/bg-15-1415-2018>
- Centeri C, Jakab G, Szalai Z, és mtsai (2011) Rainfall simulation studies in Hungary. In: Fournier AJ (ed) *Soil Erosion: Causes, Processes and Effects*. Nova Science, New York, NY, pp 177–217
- Gamoh K, Okamoto N, Takatsuto S, Tejima I (1990) Determination of traces of natural brassinosteroids as dansylaminophenylboronates by liquid chromatography with fluorimetric detection. *Anal Chim Acta* 228:101–105. [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(00\)80484-5](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(00)80484-5)
- Greipel E, Kutasi J, Solymosi K, és mtsai (2023) Hidden diversity of *Chlorococcum* (Chlorophyta) in a shallow temporary freshwater lake: description of *Chlorococcum szentendrense* sp. nov. *Eur J Phycol* 58:110–120. <https://doi.org/10.1080/09670262.2022.2076291>
- Gu Z, Gu L, Eils R, és mtsai (2014) circlize Implements and enhances circular visualization in R. *Bioinformatics* 30:2811–2812. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu393>
- Han K-S, Ko K-W, Nam S-J, és mtsai (1997) Optimization of a rice lamina inclination assay for detection of brassinosteroids: I. effect of phytohormones on the inclination activity. *J Plant Biol* 40:240–244. <https://doi.org/10.1007/bf03030454>
- Herlemann DP, Labrenz M, Jürgens K, és mtsai (2011) Transitions in bacterial communities along the 2000 km salinity gradient of the Baltic Sea. *ISME J* 5:1571–1579. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.41>
- Jakab G, Dobos E, Madarász B, és mtsai (2019) Spatial and temporal changes in infiltration and aggregate stability: A case study of a subhumid irrigated cropland. *Water (Basel)* 11:876. <https://doi.org/10.3390/w11050876>
- Jakab G, Németh T, Csepinszky B (2013) The influence of short term soil sealing and crusting on hydrology and erosion at Balaton uplands. *Carpathian* 147–155
- Kemper WD, Koch EJ (1966) Aggregate stability of soils from western portions of the United States and Canada. *US dep agric* 1355

- Kozich JJ, Westcott SL, Baxter NT, és mtsai (2013) Development of a dual-index sequencing strategy and curation pipeline for analyzing amplicon sequence data on the MiSeq Illumina sequencing platform. *Appl Environ Microbiol* 79:5112–5120. <https://doi.org/10.1128/AEM.01043-13>
- Krzemińska I, Pawlik-Skowrońska B, Trzcińska M, Tys J (2014) Influence of photoperiods on the growth rate and biomass productivity of green microalgae. *Bioprocess Biosyst Eng* 37:735–741. <https://doi.org/10.1007/s00449-013-1044-x>
- Liu J, Gerken H, Li Y (2014) Single-tube colony PCR for DNA amplification and transformant screening of oleaginous microalgae. *J Appl Phycol* 26:1719–1726. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0220-3>
- Maász, G, Mayer M, Zrinyi Z, és mtsai (2019) Spatiotemporal variations of pharmacologically active compounds in surface waters of a summer holiday destination. *Sci Tot Environ* 677:545–555.
- Moon-van der Staay SY, van der Staay GWM, Guillou L, és mtsai (2000) Abundance and diversity of prymnesiophytes in the picoplankton community from the equatorial Pacific Ocean inferred from 18S rDNA sequences. *Limnol Oceanogr* 45:98–109. <https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.1.0098>
- Oksanen J, Simpson GL, Blanchet FG, és mtsai (2022) *Vegan: community ecology package*
- Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, és mtsai (2022) *Package ‘nlme’: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*
- Pruesse E, Peplies J, Glöckner FO (2012) SINA: accurate high-throughput multiple sequence alignment of ribosomal RNA genes. *Bioinformatics* 28:1823–1829. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts252>
- R Core Team (2021) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, 4.2.1-es verzió Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- R Core Team (2024) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, 4.4.3-as verzió Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rowell DL (2014) *Soil science Methods & Applications*. Routledge, New York
- Sayers EW, Bolton EE, Brister JR, és mtsai (2022) Database resources of the national center for biotechnology information. *Nucleic Acids Res* 50:D20–D26. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab1112>
- Somogyi B, Felföldi T, Solymosi K, és mtsai (2013) One step closer to eliminating the nomenclatural problems of minute coccoid green algae: *Pseudochloris wilhelmii*, gen.

- et sp. nov. (Trebouxiophyceae, Chlorophyta). *Eur J Phycol* 48:427–436.  
<https://doi.org/10.1080/09670262.2013.854411>
- Starr RC, Zeikus JA (1993) UTEX-The culture collection of algae at the University of Texas at Austin. *Journal of phycology* 23:1–47. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1993.00001.x>
- Tamura K, Stecher G, Kumar S (2021) MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11. *Mol Biol Evol* 38:3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Teske A, Sørensen KB (2008) Uncultured archaea in deep marine subsurface sediments: have we caught them all? *ISME J* 2:3–18. <https://doi.org/10.1038/ismej.2007.90>
- Wetzel RG, Likens GE (2000) *Limnological Analyses*. Springer-Verlag, New York
- Wickham H (2016) Ggplot2: Elegant graphics for data analysis. *Biometrics* 67:678–679. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2011.01616.x>
- Zhu F, Massana R, Not F, és mtsai (2005) Mapping of picoeukaryotes in marine ecosystems with quantitative PCR of the 18S rRNA gene. *FEMS microbiol* 52:79–92. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.10.006>

## 7. Publikációs lista

### 7.1. ÖSSZESÍTETT

Nemzetközi konferenciákon tartott előadások száma: 4

Nemzetközi konferenciákon bemutatott posztterek száma: 0

Hazai konferenciákon tartott előadások száma: 5

Hazai konferenciákon bemutatott posztterek száma: 1

Nemzetközi publikációk száma: 2

Hazai publikációk száma: 3

Impakt faktor: 5.2

Független hivatkozások száma: 2

### 7.2. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

1. **Futó Péter**, Lengyel Edina, Futó Máté, Németh Zoltán, Pirger Zsolt, Komáromy András, Padisák Judit, Felföldi Tamás, Kutasi József, Bernát Gábor: Ecophysiological characterisation of a *Klebsormidium* strain isolated from a cave environment Journal of Applied Phycology 36, 1197–1208 (2024) **IF: 3.0, SJR: Q2**.
2. **Futó Péter**, Kutasi József, Lengyel Edina, Futó Máté, Murvai Nikoletta, Jancsó Mihály, Bernát Gábor: Straightforward method for brassinosteroid detection in microalgae. Acta Physiologiae Plantarum: 46, 25 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11738-024-03649-5> **IF: 2.2, SJR: Q2**.
3. **Futó Péter**, Kutasi József; Lengyel Edina; Bernát Gábor: *Klebsormidium* sp. BEA\_IDA\_0061B fonalas zöldalga fotoszintetikus aktivitásának fény és hőmérsékleti optimuma. HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY (0018-1323): 102 1 pp 43-47 (2022)
4. Zsigrai György, **Futó Péter**, Kovács Tibor, Daoda Zoltán, Kutasi József: Egy talajjalga-készítmény erózióvédelmi potenciáljának vizsgálata a Tokaji borvidéken BORÁSZATI FÜZETEK 32 : 3 pp. 31-36. , 6 p. (2022)
5. **Futó Péter**, Kutasi József, Zsigrai György, Daoda Zoltán: A biológiai talajbevonatok jelentősége és talajvédelmi szerepe. SZŐLŐ-LEVÉL 10: 36-44. (2020)

### 7.3. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ KONFERENCIÁK

#### HAZAI KONFERENCIA

1. **Futó Péter**, Lengyel Edina, Futó Máté, Németh Zoltán, Pirger Zsolt, Komáromy András, Padisák Judit, Felföldi Tamás, Kutasi József, Bernát Gábor: Egy

biotechnológiai jelentőségű *Klebsormidium* törzs ökofiziológiai vizsgálata, Magyar Mikrobiológiai Társaság 2024. évi Nagygyűlése, Siófok 2024. október 16-18.

2. **Futó Péter**, Lengyel Edina, Futó Máté, Németh Zoltán, Pirger Zsolt, Komáromy András, Padisák Judit, Felföldi Tamás, Kutasi József, Bernát Gábor: Ecophysiological characterisation of a *Klebsormidium* strain isolated from a cave environment, poszterelőadás, FIBOK 2024 - Fial Biotechnológusok VI. Országos Konferenciája, Martonvásár, 2024. április 4-5.
3. **Futó Péter**, Kutasi József, Lengyel Edina, Bernát Gábor *Klebsormidium* sp. fonalas zöldalga fény-, és hőmérsékleti optimumának meghatározása LXII. Hidrobiológus Napok, Tihany 2021. október 6-8.
4. **Futó Péter**, Madarász Balázs, Bernát Gábor, Futó Máté, Jakab Gergely, Kutasi József: A talajpusztulás és talajszerkezet összehasonlító vizsgálata biológiai talajkéreget képző alga készítménnyel kezelt erózió és talajszáradás sújtotta termőterületeken. Első Országos Interdiszciplináris Éghajlatváltozási Tudományos Konferencia, online, 2021. április 12-15.
5. **Futó Péter**: *Klebsormidium* sp. BEA IDA\_0061B algatenyészet brasszinoszteroid tartalmának kimutatása HPLC fluorimetriás eljárással, rizslevéllemez elhajlási bioteszt optimalása. Tavaszi Szél Konferencia, online, 2020. október 16.

#### NEMZETKÖZI KONFERENCIA

1. **Futó Péter**, Madarász Balázs, Zsigrai György, Bernát Gábor, Futó Máté, Jakab Gergely, Daoda Zoltán, Kutasi József: The importance of biological soil crust forming microalgal cultures on soil in croplands and vineyards vulnerable to erosion, Budapest Soil Health Forum, Budapest 2024. december 4.
2. **Futó Péter**, Madarász Balázs, Zsigrai György, Bernát Gábor, Futó Máté, Jakab Gergely, Daoda Zoltán, Kutasi József: Investigating the effect of biological soil crust forming microalgal cultures on soil in erosion-prone croplands and vineyards, International Conference and TUDI Workshop on Alternatives to Reduce Soil Degradation, Budapest 2024. május 7.
3. **Futó Péter**, Madarász Balázs, Bernát Gábor, Futó Máté, Jakab Gergely, Kutasi József: Comparative analysis of soil degradation and soil structure in croplands affected by erosion and soil dehydration treated with a biological soil crust forming algal culture, AlgaEurope 2022, Róma, Olaszország 2022. december 13-15.

4. **Futó Péter**, Madarász Balázs, Bernát Gábor, Futó Máté, Jakab Gergely, Kutasi József  
Comparative analysis of soil degradation and soil structure in croplands affected by erosion and soil dehydration treated with a biological soil crust forming algal culture: A talajpusztulás és talajszerkezet összehasonlító vizsgálata biológiai talajkérget képző alga tenyésztéssel kezelt erózió és talajszáradás sújtotta termőterületeken, V. Kriptogám Konferencia, Eger 2021. november 25 – 26.