

Opponensi vélemény

Futó Péter: A *Klebsormidium flaccidum* fonalas zöldalga fiziológiai és biotechnológiai vizsgálata – különös tekintettel a fotoszintetikus aktivitásra, növényi hormontermelésre és talajjavító képességre. Pannon Egyetem, 2025

Opponensi véleményem a Doktori Iskola által javasolt szempontok szerint készítettem el:

1. Téma újszerűsége

- **A kutatás tárgya:** *Klebsormidium flaccidum* barlangból izolált törzs fiziológiai és biotechnológiai vizsgálata, továbbá a mikroalga alkalmazása talajjavításra és eróziócsökkentésre (biológiai talajkéreg – BSC) fenntartható mezőgazdasági kontextusban.
- **Tudományos újdonság:** Noha a mikroalgák talajstabilizáló és eróziócsökkentő hatása már a 20. század közepén ismert volt (Booth, 1941; Fletcher & Martin, 1948), és a biológiai talajkéregre célzott kísérletes előállítását először Campbell et al. (1989) írta le, a zöldalgák – különösen a *Klebsormidium* nemzetség – ilyen irányú vizsgálata mindmáig ritka.
- **A társadalmi relevancia** a talajvédelem, no-till művelés, eróziómérséklés és vízmegtartás területére esik; ennél aktuálisabb célkitűzést aligha lehetne megfogalmazni, tekintve, hogy Magyarország szántóterületeinek mintegy 60 %-a -a legutóbbi EU-jelentések szerint- degradált állapotú.
(Booth WE (1941) Range Research: Basic Problems and Techniques. U.S. Forest Service., Fletcher JE & Martin WC (1948) Soil Science 65: 235–243.
Campbell SE, Seeler JS & Golubić S (1989) Great Basin Naturalist 49: 321–326., European Environment Agency (EEA, 2023) State of soil health in the EU.)
- A dolgozat kifejezetten barlangi eredetű izolátumot vizsgál – ilyen típusú törzsről korábban nem közöltek részletes fiziológiai és mezőgazdasági adatsort.
- GPS-koordinátával dokumentált izolálás.

2. Szakirodalom

- Irodalomjegyzék terjedelme: 22 oldal (92–114. o.), kb. 180–200 tétel.
- Túlnyomórészt nemzetközi (angol nyelvű) források (Soil Biology & Biochemistry, Journal of Applied Phycology, Phycologia stb.).
- A fejezetek további logikai tagolása: Biotechnológia a mezőgazdaságban, Mikrobiológia és mikroalgák szerepe, *Klebsormidium* nemzetség ismertetése.
- A mikroalgák definiálása és evolúciós biológiai bemutatása megtörtént.
- Az áttekintés tartalmaz időrendi és tematikus összehasonlításokat (4. ábra, 1 táblázat), valamint hiányazonosítást („barlangi törzsek vizsgálata eddig hiányzott”).
- A talajjavító hatással kapcsolatos irodalmi áttekintést a 4.1 fejezet tárgyalja. Ugyan a „regeneratív mezőgazdaság” kifejezés nem szerepel, de a talajkímélő, fenntartható

művelés, 'no-till' művelés hangsúlyos, pl. az erodált talajokat tekintve részletes nemzetközi és hazai térképekkel.

3. Kísérleti módszerek

- 1. Törzszazonosítás: DNS-szekvencia-elemzés (18S rRNS + ITS régió).
- 2. Fotoszintézis-mérés: DUAL-PAM-100 fluorométer, oxigénelektrodás rendszer.
- 3. Növekedési kísérletek: 10–40 °C hőmérséklettartomány, μ (lognormális illesztés).
- 4. Hormonanalízis: brasszinozid-meghatározás (UHPLC-MS/MS)
- 5. Bioassay: rizslevéllemez-elhajlási teszt (RLIA)
- 6. Terepi talajkísérlet: mesterséges esőztető rendszer terepi vizsgálatban, SEM-felvételek, porozitás- és aggregátum-stabilitás-mérés,
- Hat különböző, több tudományterületet átfogó vizsgálati módszer került bele a dolgozatba, ami önmagában is jelentős szakmai teljesítményt takar. A mérési módszerek nemzetközileg elfogadottak, korszerű műszeres hátterűek. A terepi kísérlet megfelel a nemzetközileg használt talajtani vizsgálatoknak.

4. Eredmények és statisztikai feldolgozás

- Többféle egy és többváltozós statisztikai eljárás került alkalmazásra, az egyszerű Welch-teszt, és varianciaanalízistől (+posthoc Tukey) a bonyolultabb lineáris modelleken át a többváltozós elemzésekig (különböző GLM, PERMANOVA (ADONIS2), SIMPER, RDA). Az idén kiadott R 4.4.3 szoftvert használták.
- Fő kvantitatív eredmények az 1. és 2. kísérletben (lásd tézispontok 4.1-4.3):
 - növekedés optimum 20–25 °C, viszont a fotoszintézis maximum 30–40 °C;
 - törzs magas fényhasznosítási tényezővel (α), és alacsony fényadaptációs paraméterrel (l_k) rendelkezik;
 - RLIA bioteszt és a brasszinozteroid tartalom közötti kapcsolat leírása; ennek pontossága és megbízhatósága is dokumentált (RSE, RMSE)
- Mivel az Alga-dominált biológiai talajkéreg hatása a talajra című fejezet eredményeiből a kézirat még nem került elbírálásra, ezért ezt a részt részletesen is megvizsgáltam. Mivel ugyanezt a házi védésnél is megtettem, itt beszámolok a javításokról is.
 - a talajtani mérési módszerek leírása megfelel a nemzetközi szakirodalomnak, a korábbi nem teljesen pontos kifejezések javításra kerültek
 - a mikrobiális közösség szerkezet változásának leírása szintén részletesebben lett bemutatva; maximálisan kielégíti a nemzetközi szakirodalomban várt elvárásokat. Egy elgépelési hiba került be (73 oldalon a 31. ábrára történő hivatkozás véletlenül 11. ábra számmal van). Az eredmény itt szó szerint: „A vizsgált mintákban a Streptophyta tagjai kizárólag a Klebsormidiophyceae családba tartoztak, azonban nemzetség szintű azonosításuk sajnos nem volt lehetséges, feltehetően a referencia-szekvenciák hiányos adatbázisban való reprezentációja miatt. Összességében az oltás sikerét az is megerősíti, hogy a Klebsormidiophyceae relatív abundanciája szignifikánsan magasabb volt a

kezelt területen (2,87–12,21%), mint a kontroll területen (0,43–0,57%) ($p < 0,001$).” Tehát az oltás talaj mikrobiológiailag igazolt.

- a 4.3.2. fejezet az öntözés talajfelszín morfológiájára gyakorolt negatív hatásának az algakéreg általi csökkentését mutatja be pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálattal.
- a következő fejezet ugyanennek a mesterséges esőztetésnek a talajvesztésre gyakorolt hatását mutatja ki.
- a mikroalga hatása a talajtulajdonságokra: +52 % makropórus, +44 % aggregátum-stabilitás, +2 % nedvesség, –43 % erózió
- RDA igazolták, hogy Streptophyta csoport növekedésével hozhatók kapcsolatba az egyes talajtulajdonságok kedvezőbb értékei
- Az eredmények statisztikai tesztekkel igazoltak, részletes ábrákkal és táblázatokkal. Több nemzetközi, talajtani folyóiratban végzett bírálói tapasztalom alapján kijelenthetem (pl. SBB, Applied Soil Ecology, =D1) hogy a vizsgálat eredményei szakmailag igazoltak, ezért, annak ellenére, hogy a kézirat még nem került elfogadásra, ezen eredmények az értekezésben bizonyítottan vehetőek.

5. Diszkusszió és publikációk

- A 2–4. fejezetek mindegyike külön Diszkusszió résszel zárul, összevetve más szerzők adataival (pl. Karsten et al. 2017; Míguez et al. 2020; Stirk et al. 2018).
- A 4.4 fejezet külön tárgyalja a Gyakorlati alkalmazhatóságot.
- Publikációs lista (5 tétel): Journal of Applied Phycology (2024, Q1), Acta Physiologiae Plantarum (2024, Q2), Hidrológiai Közlöny (2022), Borászati Füzetek (2022), Szőlő-Levél (2020).
- Minden publikáció a dolgozat témaköréhez kapcsolódik (fiziológia, RLIA bioassay teszt, talajvédelem).

6. Stílus és forma

- Ábrák: 34 db, egységes, részletes felirattal.
- Táblázatok: 4 db, statisztikai szignifikanciával
- Hivatkozásrend: következetesen formázva.
- Terjedelem: ~120 oldal + függelék.
- Szerkezet: a három vizsgálatnak megfelelően tagolva, mely megfelel a korszerű Ph.D tézis szerkezetnek.
- Nyelv: szakmailag korrekt, közérthető; illusztrációk és formátum doktori szintnek megfelelő.

Esztergom, 2025. 11. 08.

Dr. Dombos Miklós, talajökológus, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK TAKI



