

Növényi és állati eredetű hulladékok hasznosíthatósága biogáz előállítására

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Szilágyi Árpád

Témavezető:

Dr. Rákhely Gábor, tanszékvezető, egyetemi docens

Biológia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar
Biotechnológiai Tanszék



Szeged

2021

BEVEZETÉS

Korunk társadalmának számos környezeti problémával kell szembenéznie, mint például az egyre növekvő szerves hulladékok mennyisége és azok kezelése, a fosszilis tüzelőanyagok fokozott használata, ezen készleteink végeessége, valamint az azok használatából eredő különféle környezetszennyezések, mint például a levegő-, talaj- és vízszennyezés. Az egyre növekvő népesség energiaigénye napról-napra egyre nagyobb és jelentős növekedést mutat az elmúlt néhány évtizedben. Míg a globális energiafelhasználás 1978-ban mintegy 80.000 Terawatt óra (TWh) volt, addig 2018-ra ez a duplájára nőtt, mintegy 160.000 TWh-ra. Ezt a mindegyre növekvő energiafelhasználást napjainkban még legfőképpen a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével elégítjük ki, azonban a becslések alapján nem megújuló energia tartalékaink már csak rövid ideig elegendőek. Ezen tények mellett az égetés során az évmilliókkal ezelőtt megkötött szén-dioxid (CO_2) felszabadul és növeli a légkör üvegházhatású gázkoncentrációját, minek köszönhetően klímaváltozás és globális felmelegedés következik be. Egy 2019-ben megjelent jelentés alapján, 2017-ben a világ energiatermelését 79,7%-ban még mindig a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével fedeztük, a fennmaradó 20,3%-ot pedig megújuló energiaforrások felhasználásából. Ennek megfelelően korunk kutatói számára az egyik legnagyobb kihívást az jelenti, hogy új, megújuló energiaforrásokat és technológiákat keressenek és dolgozzanak ki, melyek képesek a fosszilis tüzelőanyagok kiváltására és környezetkímélő módon képesek energiaigényünk fenntartható módon történő kielégítésére. Számos megoldás formálódóban van, mint például a természeti erők kiaknázásán alapuló nap-, szél-, víz-, geotermikus energia, a nukleáris energia, vagy a szerves hulladékok mennyiségének csökkentésére is alkalmas biomassa alapú energiák. Azonban ezen energiaforrások is rejtnek magukban problémákat, melyek jelentősen befolyásolhatják az azokhoz való hozzáférhetőséget. Napjainkban a biomasszából előállított energia a teljes energiaellátás mintegy 9,5%-át, valamint az összes megújuló energiaforrásból származtatott energia 70%-át biztosítja (Reid et al., 2020). A biomassa - bizonyos nedvességtartalom alatt - közvetlenül égetéssel átalakítható hővé, majd elektromossággá vagy különböző folyamatok révén akár folyékony (bioetanol, biobutanol, biodízel) vagy gáz halmazállapotú energiahordozókká (biohidrogén, biogáz), melyek számos módon felhasználhatóak például üzemanyagként, fűtésre,

elektromos áram előállítására, stb. (Creutzig et al., 2015). Dolgozatom szempontjából a legfontosabb hasznosítási mód a biogáz előállítása, mely az anaerob emésztés (Anaerobic Digestion, AD) során keletkezik. Az AD során egy komplex mikrobiális közösség, anaerob körülmények között alakítja át a szerves anyagokat biogázzá. Ezek a szerves anyagok lehetnek kifejezetten erre a célra termelt energianövények, de lehetnek akár ipari termelésben, mezőgazdaságban és lakossági felhasználás során keletkező hulladékok is. A keletkező biogáz mennyiségét és minőségét a biogáz fermentorba betáplált biomassa típusa és az oltóanyag fajtája határozza meg (Senés-Guerrero et al., 2019). Előnye az, hogy sokféle biomassa alkalmazható biogáz előállítására, mint például települési szennyvíziszap, mezőgazdasági hulladék, állati eredetű hulladékok, ipari hulladékok, energianövények, stb. (Anna Schnürer; Asa Jarvis, 2009; Kushkevych et al., 2018). Mivel hulladékok is jól alkalmazhatók az AD során, így kialakult az ún. „waste to biogas”, azaz hulladékból biogázt szemlélet. Ennek jelentősége abban rejlik, hogy a korábban is említett hulladékok jelentős kockázattal bírnak mind a környezet, mind az emberiség tekintetében, ugyanis a hulladékokban jelen levő patogének, kemikáliák, antibiotikumok és tápanyagok szennyezhetik a felszíni, felszín alatti vizeinket, valamint a talajt is. Mindemellett a szerves hulladékokból jelentős mennyiségű metán keletkezik a légmentes lebomlásuk során, mely, üvegházhatást okozó gáz van és jelentősen hozzájárul a globális felmelegedéshez. Annak érdekében, hogy az üvegházhatású gázkibocsátásunkat és a környezetszennyezés kockázatát csökkentsük szükség van ezen szerves hulladékok kezelésére kontrollált körülmények között. A kezelés révén hulladékból megújuló energiahordozó állítható elő, mely révén a cirkuláris gazdasági modell célkitűzéseinek is eleget tudunk tenni, miszerint a nyersanyagok optimális felhasználása révén a hulladékok mennyisége is csökkenthető. A fermentációs maradvány pedig még mezőgazdasági alkalmazásokhoz, talajerőutánpótláshoz felhasználható. Doktori értekezésemben jómagam is növényi és állati eredetű hulladékok hasznosíthatóságát vizsgáltam biogáz előállítása céljából.

ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

Szakaszos üzemű fermentációs kísérleteimet 120 ml-es, valamint 500 ml-es zárható szérumban üvegekben végeztem el a VDI sztenderd(ek)nek (Verein Deutscher Ingenieure) megfelelően. Folyamatos kísérleteim során pedig 5 literes kísérleti fermentorokat alkalmaztam. A keletkező biogáz mennyiségét folyamatos üzemű fermentáció esetén a készülék automatikája rögzítette. A keletkező metán mennyiségét pedig minden esetben gázkromatográfiával vizsgáltam. A fermentáció szempontjából fontos paramétereket pH mérő, spektrofotometriai alapú analitikai munkaállomás, szén- és nitrogén mérő készülék, automata titrátor, égető kemence segítségével határoztam meg. A fermentáció során képződő szerves savak minőségi és mennyiségi meghatározása pedig magas nyomású folyadék kromatográf segítségével történt. A fermentációkhoz szükséges oltóiszap a sándorfalvi biogáz üzemből származott, a paradicsom növényi maradványokat a Növénybiológiai Tanszék biztosította, míg a bendőtartalmak a gorzsai Húsüzem vágóhídjáról származtak. A metagenomikai vizsgálatokhoz szükséges DNS izolálását a ZymoResearch Quick-DNA Fecal/Soil Microbe Kit segítségével végeztem el, integritásának ellenőrzését pedig agaróz gélelektroforézissel. Az egyes mintákból izolált DNS-eken 16S alapú metagenom szekvenálást vagy Shotgun teljes metagenom szekvenálást hajtottunk végre Illumina MiSeq készüléken az Illumina által javasolt protokollok alapján. A szekvenálás után kinyert nyers readok minőségi és mennyiségi analízisét CLC Bio Genomics Workbench, a trimmelést a Trimmomatic bioinformatikai programok segítségével végeztük el. A 16S alapú szekvenálás esetén a readok azonosítását a Onecodex online szoftvercsomag felhasználásával hajtottam végre. Shotgun metagenom szekvenálás esetén több bioinformatikai szoftvert is alkalmaztunk (FastQC, MultiQC, Trimmomatic, Diamond, MEGAN, MetaSPAdes, MetaQUAST, MetaWRAP, CheckM, GTDB Tk, eggNOG-Mapper, Circos, Bowtie 2, SAMtools).

AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEI

A fenti tényeket szem előtt tartva dolgozatomban bemutattam, hogy a mezőgazdasági-, illetve ipari termelés következtében nagy mennyiségben, hulladékként keletkező paradicsom növényi maradvány (PNM), valamint juh- és szarvasmarha bendőtartalom (JBT, SZBT) alkalmazható biogáz előállítására. Emellett feltérképeztem a folyamatban szerepet játszó mikrobiális közösségeket 16S rRNS gén alapú ampikon, valamint Shotgun teljes metagenom szekvenálásokkal.

- A fiziko-kémiai paraméterek meghatározása alapján megállapítást nyert, hogy a PNM egy ígéretes biogáz alapanyag. Szakaszos üzemű fermentációk során igazoltam, hogy a PNM mind mono-, mind pedig kukoricaszárral (KSZ) keverve koszubsztrátként valóban ígéretes nyersanyag. Mind mono-, mind koszubsztrátként a KSZ-val megegyező biometán potenciállal rendelkezik (egyszeres és kétszeres nyersanyag bevitel esetén is).
- Folyamatos üzemű fermentációs kísérletemben fény derült arra, hogy a PNM jelentősen csökkenti a keletkező biogáz mennyiségét a kontrollként alkalmazott KSZ-hoz képest, mind mono-, mind pedig kofermentációban alkalmazva. A fontosabb fermentációs paraméterek tekintetében (pH, összes szerves sav tartalom/pufferkapacitás (FOS/TAC), NH_4^+ ion koncentráció) azonban nem volt megfigyelhető eltérés a normál értékekhez képest.
- 16S rRNS gén alapú ampikon szekvenálással feltérképeztem a PNM alkalmazása következtében bekövetkező mikrobiális változásokat. Igazoltam, hogy a PNM alkalmazása esetén, jelentős változás következett be a mikrobiális közösségben, valamint a biodiverzitás is csökkent a KSZ-val táplált fermentorhoz képest.
- Szakaszos üzemű fermentációkban különböző koncentrációkban teszteltem két, a PNM-ban potenciálisan fellelhető glükokaloid, a tomatin és a tomatidin biometán képződésre gyakorolt hatását. Kísérleteim során igazoltam, hogy a tomatin már 0,025 $\mu\text{g/ml}$ koncentrációban is gátolja a metán képződését. Tomatidin esetén, a vizsgált koncentrációk esetén (0,0025 - 2.5 $\mu\text{g/ml}$) a gátlás nem volt megfigyelhető.

- További vizsgálatok, pl.: termofil rendszer, előkezelés, alacsonyabb koncentrációban való alkalmazás, stb., szükségesek ahhoz, hogy maximalizálni lehessen a PNM-ből kinyerhető biogáz mennyiségét.
- A juh-, (JBT) és a szarvasmarha bendőtartalom (SZBT) igen aktív hidrolitikus és szerves savképző mikrobiális közösséggel bír, mely aktivitásnak köszönhetően igen rövid idő alatt a fermentorok sav-bázis egyensúlyát savas irányba tolja el, így a metánképződés leáll. Ez a megfigyelés nincs összhangban azzal, hogy az irodalomban a bendőtartalmat több ízben is oltóanyagként alkalmazták. Ezért azt vizsgáltam meg, hogy a JBT és az SZBT betáplálása milyen módon növelte meg a biogáz kihozatalát. Valószínűsítettem, hogy a bendőtartalmak, könnyen felhasználható nyersanyagként szolgáltak a fermentációs folyamatokban.
- JBT és SZBT estén felállítottam egy koncepciót, mely azt mutatja be, hogy ilyen hulladékok milyen módon lennének hasznosíthatók szerves savak, valamint biogáz előállításra. Ezen tervek alapján a bendőtartalom hulladék hasznosítása egy kétlépcsős fermentációban valósul meg, ahol az első lépcsőben a bendőtartalomból annak saját mikroflóráját felhasználva szerves savakat állítanak elő a mikrobák, majd az első lépcsőben előemésztett bendőtartalom, illetve a megtermelt szerves savak a második lépcsőben metánná alakíthatók.
- Mindkét bendőtartalom esetén elmondható, hogy a savtermelési szakasz mintegy 5 napig tart, addigra a szerves sav koncentráció eléri a maximumot. Ezzel párhuzamosan az inkubációs napok előrehaladtával mindkét esetben a pH drasztikusan lecsökken, akárcsak a metántermelés. A legnagyobb mennyiségben keletkező szerves sav mind JBT, mind SZBT esetén az ecetsav, propionsav, illetve az izovajsav volt.
- Összehasonlítva a két állat bendőjének mikroflóráját, megállapítást nyert, hogy a két állat esetén a leggyakoribb mikroba csoportok azonosak, azonban az egyes csoportok előfordulási gyakorisága kisebb-nagyobb mértékben változik az állat fajtától.

- Vizsgáltam az mikroflóra változását az egyes állatok esetén a savtermelési lépcső 0., 2. és 5. napján, annak érdekében, hogy megállapítsam mely mikroba csoportok nyernek teret, illetve mely mikroba csoportok szorulnak vissza a felhalmozódó szerves savak következtében. Ezen elemzéseim megmutatták, hogy az Archaea domain tagjainak előfordulási gyakorisága nem változott egyik állat esetén sem, így azok valószínűleg csak inaktiválódtak és nem pusztultak el. A Bacteria domain esetén már jelentősebb változások voltak megfigyelhetők, míg az Eukarióta domain tekintetében egyes csoportok szinte teljesen eltűntek az inkubáció 5. napjára.
- Az összes mintából kinyert szekvenciákon további metagenom elemzéseket végezve, összesen 22 bin-t sikerült azonosítanom faj-, illetve nemzetség szinten, melyekben számos CAZy gént sikerült azonosítani. Az azonosított CAZy gének mintegy 90%-a a Bacteroidia (70%) és Clostridia (18%) osztályokhoz tartozott. Részletesebben elemezve ezen géneket, összesen 840 glikozil hidrolázt (GH) sikerült azonosítani melyek 41 GH családba sorolhatók be és 56%-uk 5 GH családhoz tartozik (GH3, GH5, GH9, GH31 és GH13).
- A binekben azonosított gének alapján vizsgáltam az egyes binekben fellelhető ecetsav képződési útvonalakat is. Mindhárom ecetsav képződési útvonalhoz (oxidatív-, Wood-Ljungdhal- és glicin szintáz útvonal) kapcsolódó géneket sikerült azonosítanom, így megállapítható, hogy az azonosított mikroorganizmusok mellett, hogy jelentős poliszacharid bontó képességgel rendelkeznek, fontos szerepet tölthetnek be az ecetsav képződés folyamatában is.
- Végezetül pedig igazoltam, hogy mind JBT, mind SZBT esetén az általam felvázolt séma alkalmazásával a bendőtartalom biometán potenciál értéke, mintegy 20%-kal fokozható, ahhoz képest, mintha a bendőtartalmat rögtön a vágást követően biogáz képzésre alkalmaznánk.

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

A dolgozat alapját képező közlemények:

1) **Árpád Szilágyi**; Attila Bodor; Norbert Tolvai; Kornél L. Kovács; László Bodai; Roland Wirth; Zoltán Bagi; Ágnes Szepesi; Viktória Markó; Balázs Kakuk; Naila Bounedjoum; Gábor Rákhely: **A comparison of biogas production from tomato bio-waste in mesophilic batch and continuous anaerobic digestion systems**, (2021), PlosOne, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248654>

(D1; IF: 2.87)

A dolgozat alapjául nem szolgáló, de hozzá szorosan kapcsolódó közlemények:

2) Roland Wirth; Gyula Kádár; Balázs Kakuk; Gergely Maróti; Zoltán Bagi; **Árpád Szilágyi**; Gábor Rákhely; József Horváth; Kornél L. Kovács: **The planktonic core microbiome and core functions in the cattle rumen by next generation sequencing**, Frontiers in Microbiology, (2018), <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02285>

(Q1, IF: 4,304)

Egyéb referált folyóiratban megjelent közlemények:

3) Krisztián Laczi; Ágnes Erdeiné Kis; **Árpád Szilágyi**; Naila Bounedjoum; Attila Bodor; György Erik Vincze; Tamás Kovács; Katalin Perei; Gábor Rákhely: **New Frontiers of Anaerobic Hydrocarbon Biodegradation in the Multi-Omics Era**, (2020), Frontiers in Microbiology, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.590049>,

(Q1, IF: 4.235)

4) Attila Bodor; Péter Petrovszki; Ágnes Erdeiné Kis; György Erik Vincze; Krisztián Laczi; Naila Bounedjoum; **Árpád Szilágyi**; Balázs Szalontai; Gábor Feigl; Kornél L. Kovács; Gábor Rákhely and Katalin Perei: **Intensification of Ex Situ Bioremediation of Soils Polluted with Used Lubricant Oils: a Comparison of Biostimulation and Bioaugmentation with a Special Focus on the Type and Size of the Inoculum**, International Journal of Environmental Research and Public Health, (2020), 17(11), 4106, <https://doi.org/10.3390/ijerph17114106>

(Q2, IF: 2,849)

5) Attila Bodor; Naila Bounedjoum; György Erik Vincze; Ágnes Erdeiné Kis; Krisztián Laczi; Gábor Bende; **Árpád Szilágyi**; Tamás Kovács; Katalin Perei; Gábor Rákhely: **Challenges of unculturable bacteria: environmental perspectives**, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, (2020), 19, 1-22., <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09522-4>

(Q1, IF: 4.957)

6) Ágnes Kis; Krisztián Laczi; Andrea Hajdú; **Árpád Szilágyi**; Gábor Rákhely; Katalin Perei: **Efficient removal of unctuous wastes from wastewater**, (2013), International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol. 3., No. 4., p. 395-397., <https://doi.org/10.7763/IJBBB.2013.V3.241>

(IF: -)

Konferencia kiadványban megjelent cikkek:

1) Violetta Tripolszki; Viktória Markó; Norbert Tolvai; **Árpád Szilágyi**; Etelka Kovács; Zoltán Bagi; Kornél L. Kovács; Katalin Perei; Zoltán Pásztory; Gábor Rákhely: **Isolation of cellulose degrading fungi from wooden wastes**; II. Sustainable Raw Materials Conference Book – International Project Week and Scientific Conference (2019); pp. 191-194.

2) Attila Bodor, Tibor Sipos; György Erik Vincze; Péter Petrovszki; Gábor Feigl; Naila Bounedjoum; Krisztián Laczi; **Árpád Szilágyi**; Gábor Rákhely; Katalin Perei: **Alterations in Soil Fertility after Used Lubricating Oil Bioremediation**, (2018), pp. 266-269.

Konferencia előadások:

Előadó:

1) **Árpád Szilágyi**; Ágnes Szepesi; Attila Bodor; Krisztián Laczi; Viktória Markó; Katalin Perei; Gábor Rákhely: **Tomato plant waste as a new substrate in biogas fermentation**, 7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Heraklion, Crete, (2019)

2) **Szilágyi Árpád**, Perei Katalin, Hódi Barbara, Ördög Katalin, Tolvai Norbert, Deim Zoltán, Bodor Attila, Laczi Krisztián, Rákhely Gábor: **Celluláz és xilanáz enzimaktivitással rendelkező törzs jellemzése csökkentett CO₂ tartalmú biogáz előállítás céljából**, I. RING – Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodás Tudományos Konferencia, Pécs, (2018)

3) **Árpád Szilágyi**, Katalin Perei, Norbert Tolvai, Barbara Hódi, Zoltán Deim, Viktória Markó, Péter Kós, Krisztián Laczi, Gábor Rákhely: **Sheep rumen content as a novel agent for intensifying of biogas fermentation**, A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2018. évi Nagygyűlése és a XIII. Fermentációs Kollokvium, Eger, (2018)

Társszerző:

1) Laczi Krisztián, Kis Ágnes, Bodor Attila, **Szilágyi Árpád**, Rákhely Gábor, Perei Katalin: **Biotechnológiai eljárások környezeti szennyező anyagok eltávolítására**, 4. Környezetkémiai Szimpózium, Tata, (2015)

2) Perei Katalin, Kis Ágnes, Laczi Krisztián, Bodor Attila, **Szilágyi Árpád**, Rákhely Gábor: **Környezet-biotechnológiai eljárások fejlesztése**, XII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia, Balatonszárszó, (2015)

Konferencia posztterek:

Elsőszerző:

- 1) **Árpád Szilágyi**; Katalin Perei; Szilvia Zsiros; Gábor Rákhely: **Isolation of cellulose degrading microorganisms from cow's rumen**, Kutatások az SZTE Biológus Tanszékein: 1. Biomedica Minikonferencia, Szeged, Magyarország, (2013)
- 2) **Árpád Szilágyi**, Katalin Perei, Marietta Zseni, Gábor Rákhely: **Isolation of cellulose degrading microorganisms from cow rumen**, 8th Euro Biotechnology Congress, Frankfurt, (2015)
- 3) **Árpád Szilágyi**, Barbara Hódi, Katalin Perei, Gábor Rákhely: **Characterization of cellulose and xylan degrading microorganisms from rabbit gastrointestinal tract**, 5th Central European Forum for Microbiology, Keszthely, Hungary, (2017)
- 4) **Árpád Szilágyi**, Katalin Perei, Barbara Hódi, Viktória Markó, Norbert Tolvai, Zoltán Deim, Péter Kós, Gábor Rákhely: **Comparative metagenomic analysis of sheep and cow rumen contents and their effect on methane production of anaerobic batch fermentation**, 18th European Congress on Biotechnology, Geneva, Switzerland, (2018)

Társszerző:

- 1) Ágnes Kis, Krisztián Laczi, Andrea Hajdú, **Árpád Szilágyi**, Gábor Rákhely, Katalin Perei, **Efficient removal of unctuous wastes from wastewater**, APCBEES Conference, Peking, Kína, (2013)
- 2) Barbara Hódi, Katalin Ördög, **Árpád Szilágyi**, Katalin Perei, Gábor Rákhely: **Isolation and characterization of a novel cellulose and hemicellulose degrading strain**, Straub napok, Szeged, Hungary, (2016)

- 3) Violetta Tripolszki, Viktória Markó, Norbert Tolvai, **Árpád Szilágyi**, Etelka Kovács, Zoltán Bagi, Kornél L. Kovács, Katalin Perei, Zoltán Pásztory, Gábor Rákhely: **Isolation of cellulose degrading fungi from wooden wastes**, II. SUSTAINABLE RAW MATERIALS CONFERENCE BOOK - International Project Week and Scientific Conference, Szeged Hungary, (2019)
- 4) Viktória Markó, **Árpád Szilágyi**, Violetta Tripolszki, Norbert Tolvai, Ágnes Szepesi, Gábor Rákhely: **Tomato plant waste as a new substrate for biogas fermentation**, II. SUSTAINABLE RAW MATERIALS CONFERENCE BOOK - International Project Week and Scientific Conference, Szeged Hungary, (2019)
- 5) Norbert Tolvai, **Árpád Szilágyi**, Viktória Markó, Tripolszki Violetta, Zoltán Deim, Kornél L. Kovács, Zoltán Bagi, Gábor Rákhely: **Utilization of rumen content waste for methane production**, II. SUSTAINABLE RAW MATERIALS CONFERENCE BOOK - International Project Week and Scientific Conference, Szeged Hungary, (2019)
- 6) Violetta Tripolszki, Viktória Markó, Norbert Tolvai, **Árpád Szilágyi**, Etelka Kovács, Zoltán Bagi, Kornél L. Kovács, Katalin Perei, Gábor Rákhely: **Isolation of cellulose degrading fungi from wooden wastes**, II. SUSTAINABLE RAW MATERIALS CONFERENCE BOOK - International Project Week and Scientific Conference, Szeged Hungary, (2019)
- 7) Viktória Markó, **Árpád Szilágyi**, Norbert Tolvai, Ágnes Szepesi, Violetta Tripolszki, Gábor Rákhely: **Tomato plant waste as a new substrate for biogas production**, Straub napok, Szeged, Hungary, (2019)
- 8) Norbert Tolvai, **Árpád Szilágyi**, Zoltán Deim, Viktória Markó, Violetta Tripolszki, Gábor Rákhely: **Utilization of rumen content waste for methane production**, Straub napok, Szeged, Hungary, (2019)
- 9) Violetta Tripolszki, **Árpád Szilágyi**, Etelka Kovács, Norbert Tolvai, Viktória Markó, Gábor Rákhely: **Isolation of wood industrial waste degrading fungi**, Straub napok, Szeged, Hungary, (2019)

Összesített impakt faktor: 19,215

MTMT azonosító: 10052536