

SZÉNALAPÚ NANOANYAGOK HATÁSA AZ AEROB GRANULÁRIS ISZAPOS SZENNYVÍZTISZTÍTÁSI TECHNOLOGIÁRA

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

KEDVES ALFONZ

TÉMAVEZETŐ:

PROF. DR. KÓNYA ZOLTÁN

KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA



SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
ALKALMAZOTT ÉS KÖRNYEZETI KÉMIAI TANSZÉK

SZEGED

2023

1. ELŐZMÉNYEK ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban a szénelapú nanoanyagokat (CBN), például a grafént (G), grafén-oxidot (GO), egyfalú szén nanocsövet (SWCNT) és többfalú szén nanocsövet (MWCNT), kiváló elektrokémiai tulajdonságaiknak köszönhetően az iparban egyre szélesebb körben alkalmazzák. Egyes előrejelzések alapján a globális CBN gyártási piaca 2023-ra megközelítőleg 1,3 milliárd dollárra növekedhet, ezért elkerülhetetlen környezetbe való kijutásuk. Antimikrobiális tulajdonságaik miatt pedig kockázatot jelentenek a biológiai szennyvíztisztítás folyamatára és hatékonyságára. Egy átfogó tanulmányban a kutatók a szennyvíztisztító telepeken előforduló nanoanyagok mennyiségét vizsgálták. Eredményeikben arról számoltak be, hogy a szennyvíztisztító telepeken a különféle nanoanyagok mennyisége akár 150 mg/kg is lehet, ezért potenciális negatív hatásuk vizsgálata aktuális és szükségszerű.

Korábbi tanulmányokban, ahol a CBN hatását hagyományos eleven iszapos (CAS) szennyvíztisztítási rendszerek esetében vizsgálták többnyire csak rövid távú (akut: 4-5 óra) kísérleteket végeztek el, a nanoanyagok hosszú távú (krónikus: minimum 1 hét) hatásával csak kevesen foglalkoztak. A tapasztalt eredmények nagyon eltérőek, az akut kísérletek során a nanoanyagok nem okoztak negatív hatást (ha mégis, akkor csak rendkívül magas koncentrációk esetén, >100 mg/L), ezzel szemben a CBN-ok néhány napos expozíciót követően a bioreaktorok tisztítási hatásfokára negatív hatást fejtettek ki.

Az aerob granuláris iszapos (AGS) eljárás egy viszonylag új és ígéretes technológia a szennyvíztisztításban, mivel a granuláris iszap alkalmazásának a hagyományos eleveniszappal szemben több előnye is van köszönhetően a granuláris iszap magas extracelluláris polimer anyag (EPS) tartalmának és a granulumok szerkezetének. Ilyen előnyök például a bizonyos toxikus anyagokkal szembeni ellenállóképesség, a kiváló ülepedési képesség, a gazdag mikrobiális összetétel, emellett a szerves- és szervesetlen anyagok eltávolítása térben és időben egyszerre történik, továbbá ipari szennyvizek tisztítására is alkalmas.

A CBN-ok AGS-ra gyakorolt krónikus vagy hosszú távú hatását még nem vizsgálták. Két korábbi tanulmány felmérte a GO nanorészecskék (NP) hatását 60 mg/L mennyiségben, melyekben csak a rendszer nitrogén és foszfor eltávolítási képességét mérték 4 órán át. A G NP, GO NP, SWCNT és MWCNT krónikus hatása az AGS bioreaktor működésére, az EPS mennyiségére és a mikrobaközösségre így továbbra is ismeretlen.

A fentieket figyelembe véve a disszertáció fő célja a G NP, GO NP, SWCNT és MWCNT krónikus hatásainak vizsgálata volt az aerob granuláris iszapos biológiai szennyvíztisztítás technológia esetében, nyomon követve a tápanyagok eltávolítási hatásfokát, az EPS termelését és a mikrobiális közösségben végbemenő változásokat. A kutatás első célja egy bioreaktor tervezése, megépítése és a granuláris iszap előállítása volt, valamint az AGS bioreaktor stabil működtetése, amellyel az irodalom alapján és jelen tudomásunk szerint Magyarországon még nem kísérleteztek. Ezt követően pedig célunk volt a GO NP hatásának vizsgálata különböző koncentrációkban, továbbá felmérni az AGS szakaszos üzemű bioreaktor (SBR) regenerálódó képességét. Végül megvizsgáltuk és összehasonlítottuk a G NP, GO NP, SWCNT és MWCNT krónikus hatását a szakaszosan működő AGS esetében.

2. KÍSÉRLETI RÉSZ

A kísérleteknél használt G NP (fajlagos felület $300 \text{ m}^2/\text{g}$) és SWCNT ($\geq 90\%$) nanoanyagokat a Sigma-Aldrich Kft.-től szereztük be, a GO NP és MWCNT nanoanyagokat pedig a Szegedi Tudományegyetem (SZTE) Alkalmazott és Környezeti Kémia Tanszéken alkalmazott módosított Hummer's és katalitikus kémiai gőzleválasztás (CCVD) módszerekkel állítottuk elő. A nanoanyagokat pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM), röntgen diffraktométerrel (XRD) és Raman-spektroszkóppal jellemeztük.

Az eleveniszapot a Szeged Városi Szennyvíztisztító Telepről szereztük be, a granuláris iszapot egy üveg, szakaszos betáplálású reaktorban állítottuk elő, melynek magasság-szélesség aránya 7 és hasznos térfogata $1,4 \text{ L}$ volt. A bioreaktort szintetikus szennyvízzel (SWW) működtettük, a szennyvíz hidraulikus tartózkodási ideje (HRT) 8 óra volt, 4 órás ciklusokra felosztva. A granulom képződést biomassza kimosásos módszerrel értük el.

A kísérletek során az elfolyó szennyvíz kémiai oxigénigényét (KOI), az ammónium-nitrogént ($\text{NH}_4\text{-N}$), a nitrit-nitrogént ($\text{NO}_2\text{-N}$), a nitrát-nitrogént ($\text{NO}_3\text{-N}$) és a foszfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) koncentrációját a HACH által forgalmazott gyorsesztekkel és UV-VIS spektrofotométerrel vizsgáltuk. A kevert szennyvíz szuszpendált lebegőanyag (MLSS) és illékony szuszpendált lebegőanyag (MLVSS) tartalmát és az iszap térfogati indexet (SVI) 30 illetve 5 perc alatt (SVI_{30} és SVI_5) az irodalomban elfogadott standard módszerek segítségével határoztuk meg. A granuláris iszap EPS mennyiségének meghatározása során az EPS-t kinyertük, majd a fehérje és a poliszacharid (PN és PS) mennyiségét Anthrone és módosított Lowry módszereket alkalmazva

mértük meg. A granuláris iszapot pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk, a felvételek készítése előtt az iszapot stabilizáltuk, dehidratáltuk, majd arannyal vontuk be.

Az első kísérlet során 11 darab AGS SBR-t (mindegyik bioreaktor kezdeti biomassza tartalma 6,2 g/L MLSS) üzemeltünk be, majd különböző GO tartalmú SWW-vel (0-95 mg/L GO NP) tápláltuk a bioreaktorokat 1 héten keresztül (egyenként 42 darab ciklus). Minden harmadik ciklus végén mértük az elfolyó szennyvíz tápanyag koncentrációját, valamint a kísérletek végén megvizsgáltuk a biomassza és annak EPS mennyiségét, továbbá a mikrobiális összetételben történő változásokat. A mikrobiális közösségekben történő esetleges változásokat denaturáló gradiens gélelektroforézissel (DGGE) és 16S rRNS gén amplikon szekvenálással határoztuk meg. Annak érdekében, hogy megvizsgáljuk a környezeti tényezők és a mikrobiális közösség közti kapcsolatot, redundancia elemzést (RDA) végeztünk el.

A következő kísérletben a GO NP hosszú távú hatását, valamint az AGS SBR regenerálódó képességét vizsgáltuk meg. A betáplált SWW GO NP koncentrációját folyamatosan növeltük 0-ról 15, 35, 55, 75, 95 és 115 mg/L-re, ahol minden kísérleti fázis 14 napig tartott. Végül a bioreaktor regenerálódó képességének vizsgálatához 14 napig a rendszerhez GO NP mentes SWW-et adagoltunk. A bioreaktort összesen 112 napot működtettük. A kísérlet alatt a vízkémiai és iszap tulajdonságok vizsgálatán túl meghatároztuk a különböző fázisok végén az AGS mikrobiális aktivitását, amely magába foglalta az iszap specifikus oxigén felhasználási mértékét (SOUR), a specifikus ammónia oxidációs mértékét (SAOR), a specifikus nitrit oxidációs mértékét (SNOR), a specifikus nitrit redukciós mértékét (SNIRR), a specifikus nitrát redukciós mértékét (SNRR), a specifikus foszfor felvétel mértékét (SPUR) és a specifikus foszfor leadási mértékét (SPRR).

Végül négyféle CBN, a G NP, GO NP, SWCNT és MWCNT krónikus hatását vizsgáltuk meg az AGS SBR esetében. A kísérlet során a kontroll bioreaktor mellett (amelyet nanoanyag mentes szintetikus szennyvizet adagoltunk) további bioreaktorokat 1, 5 és 10 mg/L nanoanyag tartalmú szintetikus szennyvízzel tápláltuk 10 napon át, vizsgálva az AGS SBR-ek tápanyag eltávolítási hatásfokát és az iszap tulajdonságait. A mikrobiális közösségekben bekövetkezett változásokat újgenerációs (NGS), 16S riboszómális RNS metagenomikai szekvenálási módszerrel határoztuk meg. Végül megvizsgáltunk a mikrobiális közösség Alfa diverzitását, valamint főkoordináta elemzést (PCoA) is végeztük.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T1. Bebizonyítottuk, hogy az extracelluláris polimer anyagok (főként PN) kulcsszerepet játszanak a GO toxikus hatásának enyhítésében.

1.1. Elsőként publikáltunk az aerob granulomok kialakításáról és az aerob granuláris iszapos szennyvíztisztítás témájában Magyarországon. A szennyvíztisztítóból származó eleveniszappal összeállított bioreaktorban 4 hét üzemidő során a granulom képződés végbement, ekkor a granulomok közel gömb alakúak voltak és méretük 0,5-10 mm között változott. Ez idő alatt az iszap tulajdonságaiban több változást is megfigyeltünk. Az MLSS 2,3-ról 6,2 g/L-re növekedett, az SVI_5 219-ről 32 mL/g-ra csökkent, ezáltal az ülepedési sebesség 0,2-ről 53 m/h-ra növekedett. A granulom képződés alatt az iszap EPS mennyisége jelentősen, 2,25-ről 5,95 mg/g MLVSS-re emelkedett, amelybe a különböző mikroorganizmusok beágyazódtak, ahogy azt a SEM felvételekkel is bizonyítottuk.

1.2. Megállapítottuk, hogy 35 mg/L GO NP koncentrációig az AGS SBR hatékonyan képes eltávolítani a szennyvízből az NH_4-N -t és a KOI-t. Az EPS mennyiség a kezdeti kontroll mennyiséghez képest megnövekedett, amikor a bioreaktorhoz 15, 25 és 35 mg/L GO NP mennyiséget adagoltunk, ezért a hatékony NH_4-N és a KOI eltávolítást a granuláris iszap megnövekedett EPS tartalmának tulajdonítható be. Ezzel szemben, a GO NP nagyobb mennyiségben (55, 75 és 95 mg/L) negatív hatással volt az EPS szekréciójára, amely következtében a bioreaktorok tápanyag eltávolítási képessége és a biomassza mennyisége is csökkent. Azt is megfigyeltük, hogy az EPS változása befolyásolja az NH_4-N eltávolítási határfokát, mivel a PN mennyiségének csökkenése az ammónia koncentrációjának növekedését eredményezte a kezelt szennyvízében.

1.3. A megfigyelt változások szorosan összefüggtek a biomassza mennyiségével is. A kezdeti biomassza mennyiség minden esetben $6,2 \pm 0,1$ g/L MLSS körüli volt, viszont 15, 25 és 35 mg/L GO NP adagolást követően a biomassza jelentős mértékben növekedett (7,9; 7,6 és 7,02 g/L MLSS). Azonban a GO mennyiségének további növelése a bioreaktorok biomassza mennyiségét és ülepedési sebességét csökkentette, míg az SVI_5 növekedett. Ezen megfigyelések is bizonyítják, hogy az AGS szennyvíztisztítási eljárás 35 mg/L GO nanorészecske koncentrációig még képes volt a hatékony tápanyag eltávolításra, viszont nagyobb mennyiségben

alkalmazva a GO NP (≥ 55 mg/L) a bioreaktor működésében jelentős negatív hatást okoz (csökkenő biomassza és EPS mennyiség, ezáltal csökkenő tápanyag eltávolítás).

1.4. Kimutattuk, hogy az általunk alkalmazott koncentrációban alkalmazott GO nanorészecskék a $\text{NO}_2\text{-N}$ és a $\text{NO}_3\text{-N}$ eltávolítási hatásfokot nem befolyásolták.

1.5. Kimutattuk, hogy a GO nanoanyag koncentrációjának növelése a mikrobiális közösség összetételének jelentős csökkenését eredményezte, valamint a GO NP 95 mg/L mennyiségben alkalmazva okozta a legnagyobb változást a mikrobiális összetételben az általunk alkalmazott koncentrációk közül.

T2. Igazoltuk, hogy az AGS SBR kiváló regenerálódó tulajdonsággal rendelkezik, mivel a bioreaktor tápanyag eltávolítási hatásfoka jelentősen javult 14 nap elteltével, amikor a szintetikus szennyvíz nem tartalmazott GO nanorészecskéket.

2.1. Bebizonyítottuk, hogy az AGS SBR kiváló regenerálódó képességgel rendelkezik. A GO adagolást megszüntetve, amikor a SWW már nem tartalmazott nanorészecskéket, 14 nap elteltével az elfolyó szennyvíz KOI és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja, valamint a SOUR és a SAOR is megegyezett a kezdeti fázisban mért értékekkel.

2.2. Kimutattuk, hogy az elfolyó szennyvíz nitrit és nitrát koncentrációja nem változott még 115 mg/L GO NP tartalmú SWW adagolást követően sem, továbbá a granuláris iszapban a SNRR és SNIRR sem változott jelentősen. Ez a jelenség magyarázható a granulumok szerkezetének és a benne kialakult mikrokörnyezetnek, melyek következtében az anaerob mikroorganizmusok a granulumok belső részében vannak jelen, így a denitrifikáló mikroorganizmusok védve voltak a granulumok belső részében.

2.3. Megállapítottuk, hogy a GO NP koncentrációjának növelése a SOUR és a SAOR jelentős csökkenését okozta. Ez indokolja az elfolyó szennyvíz megnövekedett KOI és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációját, jellemzően, amikor a SWW GO NP tartalma 55 mg/L fölött volt. Az eredmények összhangban vannak az EPS mennyiségének változásával, mivel 55 mg/L GO NP adagolást követően az iszap EPS tartalma csökkenő tendenciát mutatott.

2.4. Kimutattuk, hogy az össz-foszfor eltávolítási hatásfoka és a SPUR már 15 mg/L GO NP hatására is csökkent, ami arra utal, hogy a grafén-oxid elsősorban a foszfor felvételt gátolta aerob körülmények között. A GO NP negatívan befolyásolta az iszap anaerob foszfor leadását is,

viszont csak 55 mg/L fölött, ami szintén hozzájárult foszfor eltávolítási hatásfokának csökkenéséhez.

2.5. Az utolsó kísérleti fázis esetében, amikor a GO adagolást megszüntettük, az EPS mennyisége megnövekedett. Az iszapban felhalmozódott GO további negatív hatás kifejtésére nem volt képes, valamint a nanorészecskék hosszú távú expozíciója nem okozott maradandó kárt az EPS-t termelő mikrobaközösségben.

T3. Elsőként hasonlítottuk össze környezeti szempontból releváns koncentrációkban a G, GO, SWCNT és MWCNT krónikus hatását az AGS SBR esetében, továbbá kifejtett hatásuk alapján meghatároztuk ezen CBN-k toxicitás sorrendjét.

3.1. Kimutattuk, hogy az AGS SBR-ok nitrogén eltávolítási hatásfokát nem befolyásolták a G, GO, SWCNT és MWCNT nanoanyagok 1, 5 és 10 mg/L mennyiségekben. A *Comamonas*, *Dyadobacter*, *Lysobacter*, *Gemmobacter* és *Pseudoxanthomonas* nitrogén vegyületeket eltávolító nemzetségek abundanciája eltérő módon változott a CBN adagolás hatására. Ez a megfigyelés magyarázza a változatlan nitrifikációs és denitrifikációs folyamatokat, mivel az egyes hasonló funkciót ellátó baktériumok különböző módon reagálnak a kezelésre (míg egyik nemzetség mennyisége csökkent, addig a másiké nőtt) és így kiátlagolódik a negatív hatás.

3.2. Megállapítottuk, hogy az AGS jó toleráló képességgel rendelkezik, mivel a nanoanyagok 1 mg/L koncentrációban nem befolyásolták negatívan a bioreaktorok működését. Ez a megfigyelés arra utal, hogy az AGS toleránsabb a CBN expozícióval szemben, mint az AS, mivel a szakirodalomban a kutatók a CAS bioreaktorok tápanyag eltávolítási hatékonyság csökkenését tapasztalták már 1 mg/L CBN adagolást követően is.

3.3. Kimutattuk, hogy a GO NP és SWCNT 5 mg/L mennyiségben adagolva kissé megnövekedett KOI és PO_4^{3-} koncentrációkat eredményezett az elfolyó szennyvízben, míg a G NP és MWCNT ugyanezen koncentrációban történő adagolását követően nem tapasztaltunk hasonlót. Ez arra utal, hogy a GO és SWCNT nanoanyagok toxikusabb hatást fejtenek ki az AGS reaktor mikrobaközösségére, mint a G és MWCNT. A nitrit és nitrát eltávolításában nem tapasztaltunk változást.

3.4. A G és MWCNT mennyiségének növelése (1, 5, majd 10 mg/L) az AGS EPS mennyiségében folyamatos növekedést okozott. Ezzel szemben a GO NP és SWCNT adagolása

10 mg/L koncentrációban alacsonyabb EPS termelést eredményezett, mint amikor tartalmuk a SWW-ben 5 mg/L volt. A GO NP és SWCNT 10 mg/L mennyiségben erőteljesebb negatív hatást fejtettek ki azon mikroorganizmusokra, amelyek képesek lehetnek volna a megfelelő mennyiségű és védelmet biztosító EPS előállítására, ezáltal az elfolyó szennyvíz tápanyag koncentrációja is magasabb volt, mint a G NP és MWCNT esetében.

3.5. A CBN-ok adagolását követően a *Zoogloea* és a *Flavobacterium* EPS termelő nemzetségek mennyisége növekedett, így ezek bizonyultak a legfontosabb, valamint a legtoleránsabb mikroorganizmusoknak a granuláris iszapban. A nanoanyagok hatására abundanciájuk magasabb volt a kezdeti, kontrollhoz képest, ami megmagyarázza a granuláris iszap magasabb EPS mennyiségét a kezdeti iszapéhoz képest.

3.6. A vízkémiai eredmények alapján megállapítottuk, hogy a nanoanyagok közül a GO volt a legtoxikusabb, míg a G okozta a legenyhébb negatív hatást. Eredményeink alapján a CBN-k toxicitás szerinti hatása a következő volt: $G < MWCNT < SWCNT < GO$. A hatásbeli különbséget az anyagok szerkezeti és minőségi tulajdonságaira tudjuk visszavezetni. A grafén oxid magasabb toxicitást mutatott, mint a grafén, amely annak tudható be, hogy a G hidrofób tulajdonsággal rendelkezik, ezáltal hajlamos az aggregálódásra, így a betáplált G fajlagos felülete jelentős mértékben lecsökken. A SWCNT toxikusabb mivolta a MWCNT-vel szemben a „nano-darts” hatásnak köszönhető, amely által a sejtmembránokon erőteljesebb károsodást okozhat.

4. Summary

The main aim of this dissertation was to investigate the chronic effects of G NP, GO NP, SWCNT, and MWCNT on the aerobic granular sludge biological wastewater treatment technology, by monitoring the removal efficiency of nutrients, the production of EPS, and changes occurring in the microbial community. The first goal of the research was to design and construct a bioreactor and produce granulated sludge, as well as to ensure the stable operation of the AGS bioreactor, which, according to the literature and our knowledge, has not yet been investigated with in Hungary. Afterwards, our aim was to investigate the effect of GO NPs at different concentrations and to assess the regenerative capacity of the AGS sequencing batch reactor (SBR). Finally, we examined and compared the chronic effects of G NP, GO NP, SWCNT, and MWCNT on the AGS operating in a sequencing batch mode.

We were the first to publish in Hungary about the formation of aerobic granules and the topic of granulated aerobic sludge wastewater treatment. In a bioreactor assembled with activated sludge from a wastewater treatment plant, granule formation took place during a 4-week operation period, when the granules were nearly spherical and their size varied between 0.5-10 mm. We have demonstrated that extracellular polymeric substances (mainly PN) play a key role in mitigating the toxic effects of GO NPs. Furthermore, we confirmed that the AGS SBR has excellent regenerative properties, as the nutrient removal efficiency of the bioreactor significantly improved after 14 days when the synthetic wastewater did not contain GO nanoparticles.

We determined that among the nanomaterials, GO was the most toxic, while G caused the mildest negative effects. According to our results, the toxicity of the CBNs was as follows: $G < MWCNT < SWCNT < GO$. We can attribute the differences in their effects to their structural and qualitative properties. Graphene-oxide exhibited higher toxicity than graphene, which can be attributed to G's hydrophobic properties, making it prone to aggregation, thereby significantly reducing its specific surface area. The greater toxicity of SWCNTs compared to MWCNTs is due to the "nano-darts" effect, which can cause more severe damage to cell membranes.

5. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10056885

1. Chronic responses of aerobic granules to the presence of graphene oxide in sequencing batch reactors.

Kedves Alfonz, Sánta Levente, Balázs Margit, Kesserű Péter, Kiss István, Rónavári Andrea, Kónya Zoltán.

Journal of Hazardous Materials, Volume 389, 5 May 2020.

DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121905

IF₂₀₂₀ = 10,39 Független hivatkozások: 24

2. Long-term effect of graphene oxide on the aerobic granular sludge wastewater treatment process.

Kedves Alfonz, Rónavári Andrea, Kónya Zoltán.

Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 9, Issue 1, February 2021.

DOI: 10.1016/j.jece.2020.104853

IF₂₀₂₁ = 7,49 Független hivatkozások: 12

6. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KONFERENCIA MEGJELENÉSEK

1. Grafén-oxid hatása az aerob granulátumos szennyvíztisztítási technológiára.

Kedves Alfonz, Buchholz Balázs, Kedves Orsolya, Sánta Levente, Rónavári Andrea, Halász János, Kónya Zoltán.

XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Gödöllő, 2018 (poszter).

2. Insight into the impact of graphene-oxide (GO) nanoparticles on aerobic granular sludge (AGS) under shock loading.

Kedves Alfonz, Buchholcz Balázs, Varga Tamás, Rónavári Andrea, Kónya Zoltán.

8th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, Szeged, 2018 (poszter).

3. A grafén-oxid nanorészecske-terhelés hatása az aerob granulátumos szennyvíztisztítás mechanizmusára.

Kedves Alfonz, Buchholcz Balázs, Varga Tamás, Rónavári Andrea, Kónya Zoltán.

A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2018. évi Nagygyűlése és a XIII. Fermentációs Kollokvium, Eger, 2018 (poszter).

4. Grafén-oxid hatása a granulált iszapos bioreaktor működésére: szerves anyag-, nitrogén- és foszfor eltávolítás, polimer anyagok kiválasztása és a mikrobiális közösség változása.

Kedves Alfonz, Rónavári Andrea, Kesserű Péter, Balázs Margit, Kiss István, Kónya Zoltán.

XXIII. Tavaszi Szél Konferencia, MI és a tudomány jövője, Budapest (online konferencia), 2020 (előadás).

5. Szénalapú nanoanyagok hatása az aerob granulált iszapos bioreaktorokra: tápanyag eltávolítás, extracelluláris polimer anyagok és mikrobiális összetétel.

Kedves Alfonz, Rónavári Andrea, Kónya Zoltán.

A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2020. évi Nagygyűlése és a XIV. Fermentációs Kollokvium, Kecskemét, 2020 (előadás).

7. Egyéb közlemények

1. Chaetomium and Chaetomium-like Species from European Indoor Environments Include Dichotomopilus finlandicus sp. nov.

Kedves Orsolya, Kocsubé Sándor, Bata Teodóra, Andersson Maria A., Salo Johanna M., Mikkola Raimo, Salonen Heidi, Szűcs Attila, **Kedves Alfonz**, Kónya Zoltán, Vágvölgyi Csaba, Magyar Donát, Kredics László.

Phatogens, Volume 10, Issue 9, September 2021.

DOI: 10.3390/pathogens10091133

IF₂₀₂₁ = 4,41

Független hivatkozások: 7

8. EGYÉB KONFERENCIA MEGJELENÉSEK

1. A gyökérkorhadást okozó *Armillaria* (tuskógomba) fajok elleni biológiai védekezés.

Kedves Orsolya, Liqiong Chen, Bóka Bettina, **Kedves Alfonz**, Kónya Zoltán, Vágvölgyi Csaba, Sipos György, Kredics László.

XXIII. Tavaszi Szél Konferencia, MI és a tudomány jövője, Budapest (online konferencia), 2020 (előadás).

2. Zárt térből izolált *Chaetomium* fajok diverzitásának és fiziológiájának vizsgálata.

Kedves Orsolya, Kocsubé Sándor, Magyar Donát, Andersson A. Maria, Salo M. Johanna, Mikkola Raimo, Salonen Heidi, **Kedves Alfonz**, Kónya Zoltán, Vágvölgyi Csaba, Kredics László.

A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2020. évi Nagygyűlése és a XIV. Fermentációs Kollokvium, Kecskemét, 2020 (poszter).

Összes referált közlemény: 3

Ebből az értekezéshez kapcsolódik: 2

Összesített impakt faktor: 22,29

Ebből az értekezéshez kapcsolódik: 17,88

Összes független hivatkozás: 43

Ebből az értekezéshez kapcsolódik: 36