

Környezettechnológiai kutatások a BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszéken

NÉMETH Áron*, FEHÉR Csaba, JOBBÁGY Andrea, MOLNÁR Mónika

BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék,
Szent Gellért tér 4., H-1111 Budapest, Magyarország

1. Bevezetés

A BME-n kialakított biomérnök képzésnek egyik oszlopa a környezetvédelmi szemlélet. Az itt tanuló hallgatók valódi problémák megoldásának kutatásába is bekapcsolódhatnak BSc-től MSc-n át PhD-ig minden szinten.

Az Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék (ABÉT) 2007. január 1-én jött létre a Biokémiai és Élelmiszertechnológiai Tanszék (BÉT) és a Mezőgazdasági Kémiai Technológia Tanszék (MGKT) egyesítésével. A megalakult új tanszék tudatosan törekszik alaptevékenységeinek - az oktatás, a kutatás-fejlesztés-innováció, valamint a szolgáltatások - korszerű, szakmailag hiteles, összehangolt és egymást erősítő művelésére. Szakmai tevékenységük meghatározó területei a biokémia, molekuláris biológia, az élelmiszertudomány, az ipari, mezőgazdasági és környezetvédelmi biotechnológia valamint a kapcsolódó határterületek. A tanszék 4 kutatócsoportja mutatkozik be ebben a közleményben, amelyek közös vonása az alkalmazott kutatás végzése, és azon belül is a környezetvédelem számára különböző eljárások és technológiák kifejlesztése.

2. A Fermentációs Félüzemben (F-Labor) zajló kutatások

A biotechnológia és azon belül az alkalmazott mikrobiológia szinte minden fontosabb kurrens területén végzünk kutatásokat, most a környezetvédelmi vonatkozású témákat a **Zöld Kémia 12 pontja**¹ mentén próbáljuk meg bemutatni.

2.1. Megelőzés

technológiák olyan kialakítása a legkiemeltebb cél, ahol nem keletkezik hulladék, mivel a hulladékok utólagos kezelése komoly erőfeszítéseket igényel a társadalom valamennyi résztvevőjétől, és a hatékonyság még így is viszonylag alacsony. Ilyen zéró landfill technológia kialakításáról már részben beszámoltunk a tejsav biofinomító kutatása során is^{2,3}, ezért most egy másik egyszerű szerves sav a propionsav előállításával kapcsolatos eredményeinket mutatjuk be röviden a hulladék megelőzés szem előtt tartva.

A propionsavas kutatás motivációja az volt, hogy magyar tejgyárakkal együttműködésekről egyeztetve kiderült, hogy bár évtizedek óta több 100.000 cikk jelent meg a tejsavó

hasznosításáról, a magyar termelés fele még mindig hasznosítás nélküli. A tejsavó a tejipari termékek előállítás után visszamaradó híg vizes oldat, melyben max 5% tejcukor, és 1-2% tejsav található egy kevés maradék kazein mellett. Ezen értékek ahhoz magasak, hogy szennyvízkezelésre bocsássák, ahhoz pedig elég alacsonyak, hogy költséghatékonyan ki lehessen nyerni. Az első elgondolásunk olyan komplex tejsavó hasznosítást képzelt el⁴, amelyben a tejcukorból élesztő segítségével nagy hozzáadott értékű ergosterolt állítunk elő, a visszamaradt tejsavból pedig propionsavat. Az idézett publikációnkban ezen út folyamat-szimulációja azzal zárult, hogy a propionsavas út voltaképpen ráfizetéses, és csak annyit tesz hozzá a folyamathoz, hogy tovább csökkenti a KOI értéket. Ezért a legújabb tanulmányunk⁵ során már mind a laktóz, mind a tejsav tartalmat propionsavvá alakítottuk úgy, hogy a laktózt 95-98%-os hozammal tejsavvá fermentáltuk *Lactobacillus casei* segítségével, majd a teljes (induló + előállított) tejsav tartalmat propionsavvá fermentáltuk. Bár a *Propionibacterium* fajok a tejsavat jobban tudják hasznosítani a tejcukornál, a tejsavbaktériumok a tápközeg nitrogén tartalmát kissé kimerítették, ezért csak 32%-os propionsav hozamot tudtunk elérni, amelynek fejlesztése jelenleg is folyik. Mivel azonban mind a LAB mind a PAB mikrobák a tejiparban használatosak, az eljárás várhatóan házon belül megoldja a hulladéktejsavó keletkezését.

2.2. Atom hatékonyság

Akár a korábbi publikációink, akár az előző bekezdés alapján jól látható, hogy a tejsav előállítás kimagasló hozammal rendelkezik, ami a bevitt szubsztrát közel teljes terméké alakítását teszi lehetővé azaz jó az atomhatékonysága. Korábban végeztünk már tejsav fermentációkat glükózból, cukorcirokléből, jelenlegi kutatásaink pedig a glicerín és a melasz⁶ hasznosításra irányulnak, mivel ezek elérhető, megújuló és hozzáférhető ipari alapanyagok. A jelenleg vizsgált mikrobák estében a *Bacillus coagulans* képes a szacharózt hasznosítani és tejsavvá alakítani, azonban a *Lactobacillus sp.*-ek (pl. saját izolátumaink MKT878 és HMF) egy sterilizéssel kapcsolt invertálást követően magasabb hozamot és produktivitást értek el, mint spórás rokonaik. Szintén korábban sokat foglalkoztunk a költséges kiegészítő tápkomponensek (elsődlegesen élesztő kivonat) kiváltásával, illetve mennyiségének csökkentésével. Legújabb eredményeink szerint a kukorica csíra liszt is alkalmas nitrogénforrás, így

* e-mail: naron@f-labor.mkt.bme.hu; Tel.: +36-1-463-2595

az élesztőt csak nyomelem forrásként szükséges alkalmazni. Bár korábban is foglalkoztak már a melasz felhasználásával tejsav fermentációban, az előkezelések során keletkező melléktermékek (pl. HMF) akadályozták a fermentációt, míg nem hatékony enzimes illetve enyhe hőkezeléssel megtaláltuk a megfelelő melasz előkezelést. Így végül is kiterjesztettük az atomgazdaságosságot glükóz, cukorcirokszőrpről melaszra is.

2.3. Kevésbé veszélyes szintézis

A négy szénatomos cukoralkohol eritrit fermentációs előállítása ozmofil élesztőkkel lényegesen veszélytelenebb a drága eritroz alapanyag nagynyomású (tehát robbanás-veszélyes) katalitikus hidrogénezésénél. Az eritrit fermentáció nehézsége a mikroba (esetünkben *Moniliella pollinis*) morfológiai viselkedésében rejlik. Dimorf gombáról lévén szó, hajlamos fonalas és élesztős morfológiában is növekedni, de az eritrit termelésnek az utóbbi kedvez. Megfelelő ozmolaritás és levegőztetés mellett sikerült 44%-os hozammal 150g/L fölötti eritrit koncentrációt elérni 350g/L cukorból⁷.

2.4. Biztonságosabb kemikáliák tervezése

A kemikáliák használatának egyik legvitatottabb módja a peszticidek alkalmazása a mezőgazdaságban. Az F-laborban a biopeszticidek közül az entomopatogén *Metarhizium anisopliae* alapú kukoricabogár illetve kullancsölő szerek fejlesztése történik közel 6 éve⁸. Jelen kutatás során számos nehézséggel kell megküzdeni: a) ez a fonalas gomba inkább szilárdfázisú fermentációkban tenyésztendő szemben a hatékonyabb szubmerz eljárással; b) a gombán kívül a célrovarokat is fent kell tartani a laborban, c) célszerű vizsgálni a gomba specifitását, nehogy más fajokat (pl: háziméh) is megtámadjon, d) ez is polimorf gomba azaz számos megjelenési formája van. Kutató csoportunknak sikerült már kis léptékben élesztő morfológiát fenntartva koncentrált tenyészetet előállítani, amellyel (egyelőre csak elpusztult) kukorica bogarak sikeresen fertőzhetőek voltak.

2.5. Biztonságosabb oldószerek és segédanyagok

Bár oldószerek fermentációjára is van példa (acetón, butánol stb.) most egy olyan biztonságos segédanyagot mutatunk be, amelyet sikeresen alkalmaztunk bioszorbensként és több mint 3 éve vizsgáljuk a hatékony előállítását és használatát. Célunk, hogy a bányászati meddőkről elszivárgó csurgalékvíz molibdén tartalmát határérték alá csökkenthessük. Az általunk előállított bioszorbens használata kockázat nélküli, mivel a természetben is gyakori nitrogénfixáló mikroorganizmus az *Azotobacter vinelandii* az alapja. A választást az indokolta, hogy a nitrogénkötés kulcsenzimének kofaktora éppen a molibdén, amelyből ezek a mikrobák a szükségesnél jóval többet tudnak raktározni egy speciális molibdén-kötő raktárfehérje segítségével, így elég szelektíven sok molibdént tudnak eltávolítani a tápanyagokkal kiegészített csurgalékvízből.

2.6. Energia hatékonyság

A cellulóz egy igen értékes anyag, amelyet jellemzően az olcsó mezőgazdasági hulladékokból állítanak elő. A növényekben azonban a cellulóz a ligninnel és ötszénatomos cukrokkal komplex rendszert alkot, amelynek megbontásához hőkezelésre és savas vagy lúgos hidrolízisre van szükség. Kutásaink során *Komagaeibacter xilynus* baktériummal állítottunk elő mikrokristályos cellulózt, jelenleg az előállítás fejlesztése, optimalása zajlik. Mivel a termelés szobahőmérsékleten zajlik, és a kinyerés szűréssel vagy centrifugálással megvalósítható, jelentős energiamegtakarítás érhető el a növényi cellulóz kipreparálásához képest. A termék pedig vékonyabb szálú, de nagyobb szakítószilárdságú és nagyobb tisztaságú a bakteriális cellulóz esetében. A kutatás nehézségét itt is az analitikai problémák okozzák, mivel a terméket és a mikrobákat nehéz külön-külön meghatározni, valamint a terméket és a szubsztrátot is nehéz egymás mellett mérni, mivel a termék cellulózt is (kipreparálva tömeg alapon vagy elhidrolizálva) glükóz ekvivalensben szokás kifejezni. Ezen fermentáció reológiai nehézségeket is rejt (begélesedik a fermentlé), ami a keverést és a reprezentatív mintavételt nehezíti meg. Jelenleg folyó vizsgálataink során ezért forgókémcsöves tenyésztést alkalmazunk.

2.7. Megújuló nyersanyagok használata

Egy fiatal kutatás a csoportunk munkájában a légylárvá alapú biofinomító, amely során elhullott állati tetemekből előbb légylárvák keletkeznek, majd abból lipideket és fehérjéket valamint kitint lehet extrahálni. A kutatás korai státusza és az ipari partner érdekeinek védelme okán egyelőre erről többet nem publikálhatunk.

2.8. Származékképzés csökkentése

Iparban is használatos eljárás a szteránvázak molekulák komplikált totál szintézise helyett a kész (pl. növényi) szteránvázak módosítása. Hasonlóképpen indítottuk 4 éve ergosterol (pre-D2 vitamin) fermentáció kutatásunkat, melyet tavaly kiegészítettünk 25-hidroxieléssel az aktív D2 vitamin előállítása céljából. Így a P450 citokrómokkal rendelkező mikrobák egy lépésben védőcsoportok és származékok nélkül közvetlenül el tudják végezni a szintézist. A biokonverziós hatékonyságról még nem tudunk beszámolni, első lépésben a megfelelő citokróm hatékony előállítása a kitűzött cél.

2.9. Katalitikus mennyiségű (és nagyon szelektív) reagensek

Kutató csoportunk 16 éve foglalkozik az 1,3-propándiol koenzimregenerációs enzimes biokonverzióján. A módszer lényegesen szelektívebb a fermentációs megoldásnál és a kémiai szintézisnél is, azonban számos kihívással jár, mivel a szükséges enzimek kereskedelmi forgalomban nem lévő, nehezen előállítható fehérjék. A legtisztább technológia az enzimes, mivel sem sejt, sem idegen metabolit nem

keletkezik, tehát a kismennyiségű enzimek igen szelektívnek bizonyultak ebben az esetben. Az eljárást részletesen már e folyóiratban is bemutattuk, amelynek lényege, hogy glicerin diszproporciójával 3 kulcsenzim segítségével 1,3-propándiol és 1,3-dihydroxiaceton állítható elő a NAD/NADH₂ koenzimregenerálás közben. A fejlesztés legnagyobb problémája az első vízkilépési folyamat az 1,3-propándiol úton, amelyhez általában B12 vagy SAM koenzimet igénylő enzimet szokás használni. Sajnos ez öninaktiválódást szenved, ezért ennek megfelelő alternatíváját kerestük, lehetőleg fakultatív anaerob mikrobában. Egy újonnan leírt mikroba a *Shimwellia blattae*, amely az *Escherichia coli* rokona, így nem zavarja a légköri oxigén, viszont szemben az *E. coli*-val képes *de novo* B₁₂ szintézisre. Érdekes módon a *S. blattae* DSM4481 (=ATCC29907) nem termelte a kulcsenzimeket szinte semmilyen körülmény mellett sem (egyedül az irodalmak szerint egy vírus fertőzés következtében a kódoló génbe egy *Mu* fág génszakasz került), míg a *S. blattae* ATCC33430 jó propándiol és enzim termelő. Bár egy ilyen mikroba használata sokat lendít az enzimek előállításán, a B₁₂ mediált inaktiválódást nem oldja meg, így az ideális enzimmagforrás megtalálása továbbra is egyik fő feladatunk.

2.10. Lebomlásra tervezve

Egy tipikus példa a biodegradálható műanyagokra a politejsav, amely műanyag alapanyag, monomerének fermentációs kutatásait már bemutattuk.

Hasonlóan nagy jelentőségű a szintén több mint 3 éve elkezdett biodetergens fermentációs előállításának kutatása. Ezen molekulák fizikai-kémiai paramétereikben is versenyképesebbek a kémiai társaiknál, továbbá legfőbb előnyük a biodegradálhatóság. Mint már számos esetben, itt is a termék analitikája okozta az első kihívásokat, mivel a biodetergens elég változatos szerkezetű molekulák (pl.: fehérje alapú vagy cukor alapú detergens), így számunkra legcélszerűbbnek a detergens hatás nyomkövetése tűnt. Erre kapilláris módszert adaptálva megvizsgáltuk a termék-előállítás hőmérséklet függését, amely alapján megállapítottuk, hogy a mikroba növekedés optimuma alacsonyabb (30°C) mint a termékképzésé (40°C), ezért a jövőben a kétszakaszú biodetergens fermentáció vizsgálatra az egyik kitűzött célunk.

2.11. Real-time analízis a szennyezés megelőzéséért

Egyik legújabb kutatásunk az évek óta kis és nagy léptékben tenyésztett mikroalgák mellett a diatómák (=kovamoszatok) fermentációja. Mint ismeretes, a kovamoszatok egyes fajai igen érzékenyen reagálnak a környezeti paraméterek legenyhébb változásaira is, ezért környezeti monitoring során is használják őket. Amennyire előnyös az érzékenységük a környezeti monitoring szempontjából, annyira hátrányos az izolálásuk és tenyésztésük szempontjából. A legszelektívebb tápközegen is gyakorta előbb jelennek meg a zöldalgák, mint a diatómák, az amerikai törzsgyűjteményből Magyarországra utazást pedig 2 féle diatóma sem élte túl. Végül sikerült diatómában dús tenyészetet előállítanunk, amely azonban még nem volt

monokultúra, mert a leggyakoribb törzs (*Naviculata*) is csak 50% körül volt benne megtalálható izolálási helytől függetlenül. Ugyanakkor az izolátum preparálással párhuzamosan online mérőrendszer fejlesztése is megkezdődött holografikus mikroszkópizálás segítségével. Ez az új technika egy kis cellatér fogatot fényképez le digitálisan egy fókuszponttal, így az ettől eltérő síkban lévő sejtek kissé életlenek lesznek, de szoftveresen kiélesíthetők. Ezt az eszközt bioreaktorokhoz kapcsolva folyamatosan és kontamináció nélkül lehet információt nyerni a tenyészetéről, illetve a fejlesztett adatbázis segítségével a lefényképezett mikrobák automatikusan azonosíthatóak. E rendszer fejlesztéséhez egyelőre jelenleg még nagyobb méretű sejtek szükségesek, amely célnak a tenyésztett diatómák jól megfelelnek.

2.12. Eredendően biztonságosabb anyagok tervezése a balesetek elkerülésére

A legbiztonságosabb kémia a biokémia. Így tehát bármely bioszintézis alapú kutatásunk idesorolható, mint például: tejsav, propionsav, borostyánkősav fermentációs kutatása. A bio-biztonsághoz legszorosabban azonban az impedimetriás mikroba kimutatás és kvantifikálás területén végzett kutatásaink kapcsolódnak.

Számos biotechnológiailag előállított termék esetében szigorú mikrobiológiai tisztasági illetve stabilitási előírásnak kell megfelelni. Például mind az élelmiszerekben mind a kozmetikumokban nem megengedett a *Staphylococcus aureus* és a *Pseudomonas aeruginosa* gennykeltő baktériumok jelenléte, de további mikrobákra is vizsgálni kell a termékeket (gomba szám, coliform mikrobák stb.). A tisztaság vizsgálatok esetében a mintákból hígítási sort készítenek, amelynek minden tagját min. 3 petricsészére kiszélezzik, így 1-1 mikroba jelenlétének és mennyiségének meghatározásához is 15-20 petri csésze szükséges, mivel általában 5 mikrobára kell vizsgálni ez a szám akár 100 tenyésztés is lehet, ami nagy manuális munkavégzést és jelentős anyagfelhasználást eredményez. Ezek kiváltására és csökkentésére a Sy-Lab (Ausztria) BacTrac készülékét adaptáljuk, amely 40 mérőcellát tud egyszerre kezelni, és ahol a tenyésztéseket impedimetriás módon lehet nyomon követni. Ezen módszer egyik előnye, hogy igen érzékeny, ezért nem kell 72h-n át várni a tenyésztési eredményre mint a klasszikus agarlemezekenél, mivel már 8-24h alatt is általában jól elkülöníthető jelet ad a háttértől. Mivel a mért relatív impedancia változás kirajzolja a klasszikus sejtnövekedési görbét, egy előre definiált impedancia küszöb eléréséhez tartozó idő a detektációs idő, ami a minta csíra számával fordítottan korrelál, ezért alkalmas a minták fertőzöttségének megállapítására. Ezt a készüléket a mikrobiológiai stabilitás vizsgálatra is adaptáltuk, ahol a vizsgálat kezdetén különböző mikrobák ismert mennyiségével kell a mintákat megfertőzni, majd hetente a készülék segítségével megmérni az egyes mikrobák csíraszámát detektációs idő vs telepszám (CFU) kalibráció alapján. Ideális esetben gyors csökkenés tapasztalható a mikrobaszámokban, amelynek mértékéből az eltarthatóság is jósolható. Ezen méréseket termékfejlesztéseinkhez is felhasználjuk, hogy biztonságos termékeket fejlesszünk és gyártsunk (pl. tartósítószer vizsgálata).

3. A Környezeti Mikrobiológia és Biotechnológia Csoport kutatásai

A BME ABÉT Környezeti Mikrobiológia és Biotechnológia Kutatócsoportja több mint 25 éve foglalkozik a környezeti kockázatmenedzsment két fő problémakörét - a környezeti kockázatelemzést valamint a kockázatsökkentést - támogató eszköztár fejlesztésével, bővítésével, ezen módszerek és eljárások alkalmazásával környezetvédelmi technológiákban, valamint a kapcsolódó tudás és ismeretanyag elérhetővé tételével.

3.1. Környezeti kockázatelemzés

Csoportunk tagjai sokrétű tapasztalattal rendelkeznek a vegyi anyagok és szennyezett területek kvantitatív környezeti kockázatelemzése, valamint az ehhez kapcsolódó talaj és víz tesztelésére alkalmazható környezettoxikológiai teszt-módszerek fejlesztése terén. Partnereinkkel együttműködve komplex környezeti kockázatelemzést végeztünk szénhidrogénekkel szennyezett területeken, továbbá a gyöngyösoroszi ércbánya és az ajkai vörösiszap katasztrófa területén is. A környezeti kockázatelemzéshez integrált monitoring módszeregyütteseket dolgozunk ki; ezeknek részeként kiemelt hangsúlyt kapnak a talajmikrobiológiai és környezettoxikológiai módszerek, melyekkel a szennyezőanyagok valós kockázata jellemezhető.

A kutatócsoport nevéhez fűződik a szennyezett környezet monitorozásában szerepet játszó „direkt toxicitás mérés” kiterjedt alkalmazása⁹, több direkt kontakt talajteszt és szubletális végpontot alkalmazó víztoxikológiai teszt fejlesztése, egyrészt bakteriális (pl. *Aliivibrio fischeri* biolumineszcencia gátlási teszt, *Salmonella typhimurium* mutagenitási teszt), valamint növényi (pl. *Lemna minor*, *Sinapis alba*, *Triticum aestivum*), továbbá egysejtű (pl. *Tetrahymena pyriformis*) és többsejtű (pl. *Daphnia magna*, *Heterocypris incongruens*, *Folsomia candida*) állati tesztorganizmusokkal.

Vízkezeléseink világszerte növekvő szennyeződése vegyi anyagokkal, köztük számos újonnan felismert káros hatású mikro-szennyezőanyaggal, napjaink környezetvédelmének egyik legégetőbb problémája. Így az utóbbi években a csoport kutatásaiban is fontos szerepet kap a környezettoxikológiai módszerek alkalmazhatóságának tesztelése és problémáspecifikus továbbfejlesztése ezen kis koncentrációban jelenlévő, biológiailag aktív mikro-szennyezőanyagok, köztük nanoanyagok, mint környezeti stressztényezők hatásának vizsgálatára, illetve korai jelzésére¹⁰. A csoport kiemelt hangsúlyt fektet a mérési eredmények értékelésére és a környezetirányítási döntések meghozatalában való hasznosítására is.

3.2. Környezeti kockázatsökkentés

3.2.1. Talaj- és talajvíz remediáció

A szennyezett területek kockázatsökkentéséhez kapcsolódva innovatív környezetbarát remediációs technológiák fejlesztése áll kutatás-fejlesztési tevékenységünk középpontjában. Munkáinkban kiemelt szerepet kapnak egyrészt a természetes folyamatok intenzifikálását célzó mérnöki megoldások a

szerves szennyezőanyagokkal szennyezett területek esetén, továbbá toxikus fémekkel szennyezett talajok esetén a hulladékokkal történő kockázatsökkentés.

Referencia munkáink között szerepel különböző partnerekkel együttműködve több szénhidrogénnel szennyezett terület bioremediációja, például ciklodextrinnel intenzifikált bioremediációval¹¹, a gyöngyösoroszi ércbánya területére kémiai stabilizálással kombinált fitoremediációs technológia kidolgozása¹², valamint mikro-szennyezőanyagok eltávolítását célzó ciklodextrin alapú víztisztítási technológiák megalapozása¹³.

3.2.2. Talajjavítás hulladékokkal

Csoportunk egyik legújabb kutatási területe a hulladékok felhasználásával történő talajjavítás. A vegyi anyagok használatát, a bányászati tevékenységeket és ezek környezeti kockázatait jól ismerve fordult érdeklődésünk a szennyezett területek felé, majd abból kiindulva a talajromlás irányába. Talajaink védelme, a termőtalajok, mint természeti erőforrások jó minőségének fenntartása, biztosítása; a leromlott szerkezetű talajok szerkezetének és fizikai-kémiai, valamint biológiai tulajdonságainak javítása, melyek révén elérhetővé válik a termőképesség fokozása, mind hazai, mind nemzetközi viszonylatban kiemelt jelentőségű. A jó hulladékgazdálkodás kulcsa pedig a kockázatközpontú koncepció és gondolkodás, a hosszútávú és dinamikus szemlélet. Ezen két problémakörhöz kapcsolódva – a mérnöki tudományok modern eszköztárának felhasználásával újrahasznosítható melléktermékek és hulladékok segítségével – alapoztunk meg és alkalmaztunk innovatív talajjavítási technológiákat leromlott talajokra, például vörösiszap valamint hulladékokból pirolízissel előállított bioszén alkalmazásával^{14, 15, 16}.

Kutatás-fejlesztési munkánk innovatív koncepciója, hogy ismerjük egyrészt a talaj hiányállapotát jellemző értékeket, másrészt a hulladékokban rendelkezésre álló hasznos anyagokat, értékeket.

A két oldal összehangolásával pedig hatékonyabban mehet végbe mind a leromlott talaj minőségének javítása, mind a szennyezett talajok remediációja.

3.3. Online Környezetvédelmi Tudásbázis KÖRINFO

Kutatócsoportunk hozta létre a dinamikus bővülő – lexikont, E-tanfolyamokat, térképes és képtáras adatbázist magában foglaló – KÖRINFO környezetvédelmi tudásbázist és döntéstámogató rendszert¹⁷, melynek célja, hogy az évek során felhalmozott tudás mindenki számára könnyen elérhetővé váljon, szélesítse a környezetirányításban, a kapcsolódó döntéshozatalban és a mindennapi gyakorlatban szerepet vállaló szakemberek látókörét. A helyes szakmai megoldásokhoz tudás és információ kell, ehhez a tudásbázis modern tudást közvetít, könnyen érthető formában. Felhasználói megismerhetik a modern környezetmérnöki munka tudományos és gyakorlati alapjait, a hagyományos és új környezetvédelmi technológiákat, szemléletes információt kaphatnak a innovatív tudományos és mérnöki eszközökről.

4. A Biofinomító csoport kutatásai

A lignocellulóz hulladékok és melléktermékek rendkívüli jelentőséggel bírnak, mint olcsó, széles körben elérhető, megújuló szénforrások, melyekből a fosszilis nyersanyagok kiváltására üzemanyagok és értékes kémiai komponensek állíthatók elő. A biomassza nyersanyagok fenntartható módon történő, teljes körű feldolgozásának igénye hívta életre a biofinomítás fogalmát, mely fogalmat az olajfinomítók analógiájára alkottak meg. Biofinomítás során nyersanyagként biomasszát használunk fel, melyet különböző, integrált feldolgozási lépéseken keresztül számos értéknövelt terméké és energiává alakítunk. Biofinomítás során a biomassza minden komponense felhasználásra kerül. Különös jelentőséggel bír azonban a lignocellulóz nyersanyagok szénhidrát tartalma. A szénhidrátok hidrolízisével nyert monoszacharidokból számos értéknövelt komponens állítható elő mind kémiai szintézis, mind pedig fermentációs eljárások segítségével.

Biofinomító Kutatócsoportunk célja a biomassza melléktermékek biofinomító szemléletben történő, értéknövelt feldolgozásának kutatása. Kutatócsoportunkban főként mezőgazdasági, agro-ipari és egyéb bio-ipari, lignocellulóz tartalmú melléktermékek feldolgozásának lehetőségeit vizsgáljuk. Az utóbbi évek kutatásai során foglalkoztunk kukoricarost, kukoricacsutka, kukoricaszár, búzaszalma, búzakorpa, hulladékpapír, olajbogyó mag, cukorcirok bagasz nyersanyagok biotechnológiai feldolgozásának vizsgálatával, különös tekintettel a következő termékek előállítására: bioetanol, biogáz, xilit, arabinóz, xilooligoszacharidok, itakonsav, celluláz enzimek.

Kutatásaink során laboratóriumi és félüzemi kísérleteket, valamint folyamatmodellezést és technológiai-gazdaságossági számításokat végzünk. Vizsgáljuk a biomassza hidrotermális és kémiai (savas, lúgos) előkezelését, frakcionálását, a szénhidrát frakciók enzimes bontását, valamint a kinyert frakciók fermentációs úton történő továbbalakítását. A kapott kísérleti eredményeket és irodalmi adatokat felhasználva pedig teljes biofinomító folyamatok számítógépes modellezését, különböző konfigurációk technológiai-gazdaságossági összehasonlítását tudjuk elvégezni.

5. A Szennyvíztisztítási biotechnológiák csoport kutatásai

A Szennyvíztisztítási Biotechnológiák Kutatócsoport a kommunális és ipari szennyvizek költségkímélő biológiai tisztításának feladathoz igazított kidolgozásával foglalkozik. Fontos alapkonceptiónk az, hogy napjainkban az ún. lakosegyenérték (LE) alapján történő tervezés, ami abból indul ki, hogy a szennyvíztisztító telepre beküldött szennyvíz minősége kiszámolható a lakosok által legalábbis átlagosan megadható kibocsájtott szennyezőanyag mennyiségek és vízmennyiségek lakosok számával való beszorzásával, hazánkban és nemzetközi viszonylatban sem tartható. A különböző csatornarendszerekbe különböző körülmények között és szokásokkal élő lakosok által bebocsájtott szennyvíz mennyisége és minősége is igen jelentősen különbözhet, minden konkrét esetben alapos vizsgálattal meghatározandó. Számos széleskörű felmérésünk azt mutatja, hogy a kiterjedő csatornarendszerekben a szennyvíz egyre hosszabb ideig

tartózkodik, ami alatt, különösen a nyári melegben a jól biodegradálódó szerves szénforrás mennyisége csökken, a takarékos céljából és egyes ipari üzemek bezárásával csökkenő szennyvíz mennyiségben pedig betöményedik az ammónia¹⁸. Ilyenformán a biológiai nitrogén eltávolítás befejező lépéséhez, a nitrifikáció nyomán keletkező nitrát nitrogén gázt képező denitrifikálásához kevés lesz a felvehető szénforrás, amit nemzetközi viszonylatban egyre gyakrabban pótolnak vegyszeresen, ún. pótszénforrással.

Kutatócsoportunk a csatornarendszerbeli hosszú tartózkodási idő következtében előálló problémák költségkímélő, biotechnológiai megoldásával több szempontból is foglalkozott. Kimutattuk azt, hogy a csatornarendszerek anaerob csőreaktorokként üzemelnek, és így a falon meglepedett biofilm baktériumai a biodegradációs termékeket egymásnak átadva, az anaerobitást elmélyülésével egyre inkább bűzös és korrozív anyagokat állítanak elő¹⁹. Laboratóriumi modellkísérletek alapján a Dunántúli Regionális Vízmű Zrt-vel közösen olyan, nemzetközi viszonylatban is kiemelkedő hatékonyságú, automatizált biotechnológiai eljárást dolgoztunk ki, mellyel biztonságosan és hatékonyan előzhető meg a bűzképződés és a műtárgyakban súlyos károkat okozó korrózió az azokért döntően felelős mikroorganizmusokat elnyomó, denitrifikáló mikroorganizmusok visszafogott elszaporításával.

Hasonló koncepció alapján, kutatásaink oda vezettek el, hogy a biológiai N- és P-eltávolításban valamint a világszerte leginkább elterjedt, ún. eleveniszapos szennyvíztisztításban döntő fontosságú biomassza szerkezet kialakításában használt, nem levegőztetett reaktorokból a lecsökkent szerves szénforrás mellett teljesen ki kell zárni az oxigén bejutását. Az oxigén felhasználása ugyanis minden további reakcióval szemben ún. metabolikus előnyt élvez és emellett jelenlétében kinetikai gátlás is előállhat. A Karsai Műanyagtechnika Holding Zrt-vel együttműködve, a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. által támogatott közös kutatásban nemzetközi viszonylatban elsőként fejlesztettük ki az un. úszó fedlapot a nem-levegőztetett reaktorok mindaddig fedetlen felszínének lezárására^{20,21}. Ez a technológiai fejlesztés elnyerte a Pro Progresszió alapítvány 2016 évi Innovációs Díját.

Hazai és széleskörű nemzetközi együttműködésben több tekintetben is foglalkoztunk az optimalizált bioreaktor elrendezés által nyújtott hatékonyságnövelés lehetőségeivel. Nemzetközi viszonylatban is elsőként alakítottunk ki fonalas baktériumok túlszorodását gátló, a biomassza ülepedését elősegítő szelektorokat az Északpesti Szennyvíztisztító Telepen kommunális szennyvizek tisztítására, éppen ellenkező irányban pedig fonalas baktériumok növekedésének serkentésére, a tisztított szennyvíz „szűrésére” dolgoztunk ki a bioreaktorokbeli szubsztrátgradiens csökkentésén alapuló eljárást biológiailag bontható, mérgező anyagok eliminációjában a baseli Sandoz – később Novartis - cég gyógyszer- és vegyszergyártó részlegének szennyvíztisztító telepén²². Anaerob szelektorok alkalmazásával serkentettük N- és/vagy P-hiányos szennyvizek tisztítása során a szerves szénforrás többletét a sejtekben felhalmozó, ún. glikogénakkumuláló mikroorganizmusok növekedését, ezáltal szükségtelessé téve a pót N- és/vagy P-adagolást²³.

Az optimalizált bioreaktor elrendezésű eleveniszapos szennyvíztisztítást a hatékonyságnövelés érdekében kötöttgázas bioreaktorokkal kombinálva, együttműködésben a BME Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszékkel pedig fizikai-kémiai elő, ill. utókezeléssel kiegészítve is alkalmaztuk. Ezek elsősorban biológiailag bontható, mérgező szennyezőanyagok eltávolításában nedves oxidációt, desztillációs eljárásokat és membránszűrést jelentettek²⁴. A különböző határterületek együttműködését az előrelépés fontos lehetőségének tartjuk, ennek szellemében a BME Víziközmű és Környezetmérnöki Tanszékével folytatunk egymást kiegészítő kutatást. Kutatási módszereink laboratóriumi szakaszos és folytonos üzemű modellkísérleteket, matematikai szimulációs számításokat és üzemi rendszerek mintázását, az egyes egységekben lejátszódó folyamatok ún. profilmérésekkel való követését egyaránt magukban foglalják.

Hivatkozások

- Anastas, P. T.; Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York, **1998**, p.30.
- Hetényi Kata, Németh Áron, Sevela Béla: Fehér Biotechnológiai Kutatások, *MAGYAR KÉMIAI FOLYÓIRAT - KÉMIAI KÖZLEMÉNYEK* (1997-), **2008**, 114, 102-106.
- Hetényi K.: Biofinomító technológiáinak optimalizálása, PhD értekezés (BME), **2010**
- Németh Á., Kaleta Z. Complex utilization of dairy waste (whey) in Biorefinery, *WSEAS TRANSACTIONS ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT*, **2015**, 11, 80-88.
- Vidra A., Németh Á., Whey utilization in a two-stage fermentation process, *LIQUID WASTE RECOVERY*, **2017**, 2 (1) <https://doi.org/10.1515/lwr-2017-0004>
- Vidra A., Tóth A. J., Németh Á. Lactic acid production from cane molasses *LIQUID WASTE RECOVERY*, **2017**, 2(2) pp. 5-11.
- Németh Á., Eritrit fermentációs előállítása, *362. KÉKI Tudományos Kollokvium*, Budapest, Magyarország, **2016**.02.19
- Tapasztó A., Németh Á., Sevela B. Examination of entomopathogenic fungi on western corn rootworms *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica: Abstracts of the Annual Meeting of the Hungarian Society for Microbiology*, Keszthely, Magyarország, **2012**, p. 31.
- Gruiz, K., Fekete-Kertész, I., Kunglné Nagy, Zs., Hajdu, Cs., Feigl, V., Vaszita, E., Molnár, M. Direct toxicity assessment – methods, evaluation, interpretation, *Science of The Total Environment*, **2016**, 563–564, 803–812
- Fekete-Kertész, I., Piszman, D., Molnár, M. Particle size and concentration dependent ecotoxicity of nano- and microscale TiO₂ -comparative study by different aquatic test organisms of different trophic levels, *Water Air & Soil Pollution*, **2017**, 228–245 <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3394-5>
- Molnár, M., Leitgib, L., Gruiz, K., Fenyvesi, É., Szaniszló, N., Szejtli, J., Fava, F. Enhanced biodegradation of transformer oil in soils with cyclodextrin – from the laboratory to the field – *Biodegradation*, **2005**, 16, 159–168. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10532-004-4873-0>
- Feigl, V., Gruiz, K., Anton, A. Remediation of metal ore mine waste using combined chemical- and phytostabilisation, *Periodica Polytechnica*, **2010**, 54 (2), 71–80. <https://doi.org/10.3311/pp.ch.2010-2.03>
- Nagy, Z.M., Molnár, M., Fekete-Kertész, I., Molnár-Perl, I., Fenyvesi, E., Gruiz, K. Removal of emerging micropollutants from water using cyclodextrin, *Science of the Total Environment*, **2014**, 485–486, 711–719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.003>
- Ujaczki, É., Feigl, V., Farkas, É., Vaszita, E., Gruiz, K., Molnár, M. (2016) Red mud as acidic sandy soil ameliorant: a microcosm incubation study, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, **2016**, 91 (6), 1596–1606. doi: 10.1002/jctb.4898 <https://doi.org/10.1002/jctb.4898>
- Ujaczki, É., Feigl V., Molnár, M., Vaszita E., Uzinger, N., Erdélyi A., Gruiz, K. The potential application of red mud and soil mixture as additive to the surface layer of a landfill cover system: field-study, *Journal of Environmental Sciences*, **2016**, 44, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.12.014>
- Molnár, M., Vaszita, E., Farkas, É., Ujaczki, É., Fekete-Kertész, I., Tolner, M., Klebercz, O., Kirckeszner, Cs., Gruiz, K., Uzinger, N., Feigl, V. Acidic sandy soil improvement with biochar – a microcosm study, *Science of the Total Environment*, **2016**, 563–564, 855–865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.091>
- KÖRINFO Online Tudásbázis és Döntéstámogató Rendszer - Dinamikus információs rendszer a környezethatékony és környezettudatos döntéshozatal szolgálatában. www.korinfo.hu / www.enfo.hu
- Tardy, G.M., Bakos V. and Jobbágy, A. Conditions and technologies of biological wastewater treatment in Hungary. *Water Science and Technology*, **2012**, 65(9), 1676-1683, <https://doi.org/10.2166/wst.2012.062>
- Jobbágy, A., Szántó, I., Varga, Gy. I., Simon, J. Sewer system odour control in the Lake Balaton area, *Water Science and Technology*, **1994**, 30(1), 195-204. <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0021>
- Wanner, J. and Jobbágy, A. Activated sludge solids separations. Jenkins, D. and Wanner, J. [Eds.] in *Activated sludge – 100 years and counting*, **2014**, IWA Publishing, Glasgow, UK:171-193.
- Jobbágy, A., Weinpel, T., Bakos, V., Vánkos, Zs. Factors potentially converting non-aerated selectors into „low-S – low-DO basins”, effects of seal-covering. *12th IWA Specialised Conference on LWWTs*, 6-9 Sept., **2015**, Prague, Czech Republic. Proc. 149-155.
- Jobbágy, A., Németh, N., Altermatt, R.H., Samhaber, W.M. Encouraging filament growth at an activated sludge treatment plant of the chemical industry, *Water Research*, **2000**, 34(2), 699-703. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00149-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00149-9)

23. Kiss, B., Bakos, V., Liu, W-T, Jobbágy, A. Full-Scale Use of Glycogen-Accumulating Organisms for Excess Biological Carbon Removal, *Water Environment Research*, **2011**,83(9), 855-864, <https://doi.org/10.2175/106143010X12851009156844>
24. Szabados, E., Jobbágy, A., Tóth, A.J., Mizsey, P., Tardy, G., Pulgarin, C., Giannakis, S., Takács, E., Wojnárovits, L., Makó, M. and Trócsányi, Z. Complex Treatment for the Disposal and Utilization of Process Wastewaters of the Pharmaceutical Industry, *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, **2017**, online available: <https://pp.bme.hu/ch/article/view/10543> <https://doi.org/10.3311/PPch.10543>
25. Tardy, G.M., Lóránt, B. and Lóka, M. Substrate concentration dependence of voltage and power production characteristics in two-chambered mediator-less microbial fuel cells with acetate and peptone substrates, *Biotechnology Letters*, **2017**, 39(3), 383-389 <https://doi.org/10.1007/s10529-016-2256-3>

Researches on environment technologies

In this report we summarized the broad range of researches on environmental technologies carried out by four individual research groups of the Department of Applied Biotechnology and Food Science.

First Fermentation Pilot Plant Research Group was introduced along the 12 principles of Green Chemistry: 1) Under prevention of waste forming we shortly mentioned our researches on whey (dairy waste) conversion into propionic acid in two stage fermentation (LAB+PAB); 2) For Atom Economy we introduced our recent results on lactic acid fermentation, since it provides high yields over 95% from several substrates including appropriate pretreated molasses; 3) Under Less Hazardous Chemical Syntheses we showed, how erythritol can be produced via osmophilic yeast fermentation in place of catalytic hydrogenation; 4) For Designing Safer Chemicals we reported manufacturing a bioinsecticide on entomopathogen fungi basis against corn root worm; 5) Under Safer Solvents and Auxiliaries we showed a solution for removing molybdenate from mining drain water with the help of a biosorbent, which can be used for soil enhancement as well; 6) For Energy Efficiency we introduced our researches on fermentative bacterial cellulose production, which is more simple and energy efficient versus physico-chemical pre-treatments of plant biomass. 7) Under Use of Renewable Feedstocks we shortly mentioned an industrial research on fly grub utilization in a biorefinery via fractionation of the raw material; 8) For Reduce Derivatives, we presented a recently started research on 25-hydroxylation of ergosterol with the help of a bacterial cytochrome for production of vitamin D2. 9) For Catalytic and very selective reagents we showed the enzymatic bioconversion of glycerol into 1,3-propanediol, because we have already verified, that 3 appropriate enzyme of the anaerobic glycerol metabolism are able to produce 1,3-propanediol, but the best enzyme source is still under searching. 10) Under the term Design for degradation despite mentioning the PLA (poly-lactic acid) of which monomer can be fermented resulting biodegradability, we focused on the bacterial production of biodegradents, which are certainly also biodegradable, and for which we successfully adapted a surface tension measurement method. With the application of this measurement, we compared the effect of different fermentation-temperatures on biodegradent activity. 11) For Real-time analysis for Pollution Prevention we introduced our diatom fermentation, since these microorganism are very sensitive against environmental change, therefore they can indicate the occurrence of pollutions. Finally 12), under this

topic, we presented our new method for detecting and quantifying product contaminating microorganism through an impedimetric measurement called BacTrac.

The next research group introducing here is the Research group for Environmental Microbiology and Biotechnology focusing on two major fields of environment protection: risk assessment and risk reduction. For risk assessment, this research group elaborate different tests since 25 years, including such environment monitoring methods like application of *Alivibrio fisherii*, *Lemna minor*, *Tetrahymena pyriformisor* *Daphnia magna* etc. A recent direction is to adapt, develop and improve tests for microcontaminant materials occurring and having effects even in very low concentrations. Researches for risk reductions have several directions: 1) soil and groundwater remediation with the help of cyclodextrins or phytoremediation 2) soil improvements with application of wastes (like bio-carbon) 3) development of the ENFO environmental and engineering database.

The Biorefinery Research Group focuses on the complex utilization of agricultural and agro-industrial by-products according to the concept of biorefinery. Over the past decades the research group has investigated different lignocellulosic materials, e. g. sweet sorghum bagasse, corn fibre, corn stover, wheat straw, wheat bran, waste paper, and olive stone to produce bioethanol, biogas, xylitol, arabinose, xylo-oligosaccharides, itaconic acid, cellulase enzymes. Generally, the experiments are carried out on a laboratory scale, and the obtained results are also used in process simulations to assess the techno-economic performance of the investigated process.

Finally, the Biotechnologies in Wastewater Treatment research group presented main research activities connectable to increasing retention times in sewer systems and resulting odour and corrosion problems as well as decreasing carbon source availability and their solutions, including the pioneer technology of excluding oxygen penetration from non-aerated activated sludge reactors. Research for optimization of bioreactor arrangement as well as application of combined activated sludge- biofilm systems aim to have high-rate removal of nutrients as N and P and obtain optimal activated sludge floc structure. Combining pre- and post- physico-chemical treatment has also been applied for removing toxic organics. Investigation of microbial fuel cells for kinetic studies and increasing efficiency has also been fit into the wide-range topics.