

## Bírálati vélemény

Dr. Táncsics András: Kőolaj eredetű szénhidrogénekkal szennyezett, oxigén-limitált felszín alatti közegek mikrobiális ökológiája c. MTA Doktori Értekezéséről.

A dolgozat Táncsics András utóbbi 10 éves kutatómunkájának eredményeit foglalja össze, amelyet Gödöllőn végzett a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem (leánykori nevén Szent István Egyetem) többszörösen átnevezett és átszervezett, a jelenlegi honlapjuk szerint Környezetvédelmi és Környezetbiztonsági Tanszékén, ami a dolgozat címlapján már/még (?) Molekuláris Ökológiai Tanszék néven szerepel. A változó elnevezés ugyanazt a kutató helyet takarja, ahol Táncsics András az évek során a sok átszervezés mellett/ellenére eredményesen működő kutatócsoportot alakított ki és vezet iskolateremtő munkával.

A dolgozat **témaválasztása** időszerű, sőt napjainkban a nem is leplezett globális fosszilis kőolaj és földgáz ellátás ellenőrzését és kereskedelmét veszélyeztető háborúk idején kifejezetten égető kérdéseket vet fel. A témát, a kőolaj kitermeléssel, szállítással és felhasználással kapcsolatos szennyezések egyre növekvő veszélyeit és ezzel kapcsolatos környezetvédelmi tennivalókat András alaposan körbejárva mutatja be a Bevezetés c. fejezetben.

Az **általános kritikai megjegyzések** között azonban a széles horizontot felvázoló kép alapján, valamint a Jelölt munkahelyének egyik nevét figyelembe véve (Környezetvédelmi és Környezetbiztonsági Tanszék), az olvasó azt várja, hogy a dolgozatban hangsúlyos szerepet kap a megfigyelt és újonnan felfedezett mikrobiológiai eredmények gyakorlati bioremediációban való hasznosítása. Ezzel szemben ilyesmire a dolgozatban szó alig esik és a mikrobiológiai, biokémiai alapvetési ismeretek gyarapítását bemutató kísérletek, az eredmények értékelése általában megtorpan a laboratórium ajtajában, nem látjuk a felhasználás felé vezető ösvényeket. Érdekes és magyarázatra szoruló kettősség ez egy olyan kutatótól, akinek tanszékén „Környezet- és katasztrófabiológia”, „Szennyezés-megelőzés és –csökkentés a környezetgazdálkodásban” és hasonló tárgyakat oktatnak.

Egy másik zavaró elem mindjárt a dolgozat címével kapcsolatos. A kőolajat alkotó főbb vegyületcsoportokat a szakirodalommal egyetértve három csoportba sorolja: alifás szénhidrogének (TPH), egy gyűrűs aromás vegyületek (BTEX), policiklusos aromás szénhidrogének (PAH). Ezek közül a dolgozat túlnyomó része a BTEX frakcióval foglalkozik, illetve annak egyes komponenseivel. Az alifás szénhidrogénekről a dolgozat legelején (II.1.3. Irodalmi összefoglaló fejezet) és legvégén (V.7.4. fejezet) esik röviden szó, a PAH szennyeződések lebontásáról még ennyit sem találtam a dolgozatban. Tehát a „kőolajeredetű szénhidrogénekkal szennyezett közeg” valójában csak a BTEX-re szorítkozik! Az is elég kemény dió és a dolgozat a BTEX lebontó mikrobiológiai eseményekről számos, értékes és új tudományos eredményt tartalmaz, de a címet jobb lett volna a valósághoz közelebbi, szerényebb formában megfogalmazni. Az „oxigén-limitált közeg” lehatárolással kapcsolatban két megjegyzésem van. Egyrészt a dolgozat egyik legérdekesebb eredménye, a *Malikia* nemzetség szinte kizárólagos dominanciája a benzol lebontásban és komoly abundanciája a toluol lebontásban, de ez csak teljesen aerob körülmények között nyilvánul meg (V.7.3. fejezet), jelentősen eltérve az „oxigén-limitált” mikroaerob dúsító tenyészetekben kialakuló környezettől. Tehát az „oxigén-függő” mikrobiológiai közösségeket szerencsésebb lett volna felkonferálni a címben. Ezt a megjegyzést persze lehet kevésbé lényeges szemantikai köztöködésnek is értelmezni, nem szeretnék róla vitatkozni, a dolgozat elolvasása után megérti az ember, mire gondolt valójában a szerző a kísérletek megtervezésekor és a megfigyelések leírásakor. Azt viszont régóta anaerob mikroba közösségekkel foglalkozó kutatóként hiányoltam, hogy a kőolajeredetű szénhidrogének anaerob lebontását kurtán-furcsán elintézte a dolgozat azzal, hogy ilyesmi csak „emberi léptékben beláthatatlan” idő alatt

valószínűleg (VI. fejezet, 167. oldal), ezért egyáltalán nem foglalkozik ezzel a lehetőséggel. Az elvi probléma abban van, hogy a felszín alatti szénhidrogén szennyeződések túlnyomó térfogati és tömeg hányada anaerob környezetben van, tehát nem elhanyagolható feladat megismerni, hogy ott mi történik. A gyakorlati nehézséget az jelzi, hogy ugyanakkor a bevezetésben (I. fejezet 9-10. oldal) rövid összefoglalást találunk arról, hogy ezeknek a szennyeződéseknek az anaerob lebontása igenis létezik és intenzív nemzetközi kutatás tárgya az alternatív elektron akceptorok jelenlétében megvalósuló anaerob szénhidrogénbontás – feltehetően emberi időskálán belül. Tehát ezt a lebontási irányt nem kellett volna egyszerűen a szőnyeg alá söpörni. Kétségtelen ugyanakkor, hogy az anaerob lebontási folyamatok csak bizonyos környezeti feltételek (megfelelő és elegendő elektron akceptor) fennállása esetén hatékonyak. Az aerob, mikroaerofil környezetben ez kevésbé limitáló tényező, mert az oxigén ott jól működő elektron akceptor. Természetesen egy 10 éves kutatási programtól nem várható el, hogy a szénhidrogén szennyeződések lebontásának minden aspektusával kimerítően foglalkozzon. A témaválasztás szempontjából egyértelműen jogos és indokolt volt, hogy Táncsics András a szennyezési csóva körül kialakuló néhány cm kiterjedésű mikroaerofil határ rétegre korlátozta figyelmét, ahol sok izgalmas mikrobiológiai esemény történik, főleg ha a figyelem elsősorban a BTEX lebontásra szorítkozik. De azok a jelenségek, események, amiket nem akar bevonni a kutatási programba, még léteznek, létezhetnek és nem zsigerből elvetendő!

Az általános kritikai megjegyzések sorában hiányolom, hogy a dolgozat adós marad annak magyarázatával, hogy miért éppen azokat a mintavételi helyeket választotta, amiket választott? Miből gondolta, hogy ezek a mintavételi helyek a legalkalmasabbak a kutatás célkitűzéseinek (III. fejezet) megválaszolására? Milyen előzetes tájékozódó vizsgálatok és milyen megfontolások alapján döntött úgy, hogy kutatói pályafutásának egyik legaktívabb időszakát éppen ezekről a szennyeződési helyekről származó minták tanulmányozásának érdemes szentelni?

A dolgozat **formai szempontból** megfelel a követelményeknek. 175 oldalon foglalja össze az elért eredményeket és értékeli azokat. A témával kapcsolatos nemzetközi irodalmat alaposan ismeri és kritikusan elemezi. Az ábrák minősége jól tükrözi a kutatói stílus fejlődését: az V.1. fejezet 2. és 3. táblázatok olvasásához még jó szolgálatot tesz egy kézi nagyító. A legfiatalabb munkákat bemutató V.7. fejezetben már kiválóan megszerkesztett és általában jól áttekinthető, bár szűkös ábramagyarázattal ellátott ábrákat találunk. Az olvasó felé barátságosabb megoldás lett volna a rövidítések jegyzékét a dolgozat elején elhelyezni, de a legvégére dugva is használható a lista. A szövegszerkesztő programoknak hála kevés gépelési hibába ütköztem a szövegben, ezek általában nem értelem zavarók. A szakmai idegen nyelvű zsargonokat a dolgozat elfogadható mértékkel kezeli, de például a „divas” szó jelentése nekem néhány másodpercnyi töprengést okozott.

A **kutatás célkitűzései** szépen csokorba vannak szedve, itt pontosan le van határolva az a kutatási program, aminek eredményeit a későbbi fejezetek bemutatják. A célkitűzések között már első olvasáskor hiányoltam, hogy a megismerő tudományos kíváncsiságot kielégítő alapkutatási eredmények valószínűsíthető gyakorlati hasznosítása még távlati célként sem fogalmazódott meg egy olyan programban, amely kifejezetten környezeti szennyeződések eltávolító, bioremediációs mikrobiológiát vizsgál a szennyezett területekről vett mintákon.

Az **Anyagok és Módszerek** (IV. fejezet) alaposan és eléggé részletesen foglalja össze az alkalmazott módszereket. Itt, vagy az Eredmények fejezetben egy fontos hiányosságként a szennyezett területek részletesebb jellemzése, földrajzi elhelyezkedése (hasonlóan a siklói mintavételi helyhez (V.2.1. fejezet 73. oldal) és az OM, BM, ZM minták bioremediációs előlétele kimaradt a dolgozathoz. Miért?

Mint minden hasonló értekezésben, itt is a tudományos eredményeket bemutató **Eredmények és Megbeszélés** fejezet a legizgalmasabb. A kutatási program szakmai értékelésének egyik módja annak

megvizsgálása, hogy mit szolt az eredményekből készült publikációkhoz a szűkebb szakterület szakmai közössége. Az értekezés alapjául 13+2 publikáció szolgál, amelyek mind közepes vagy annál kicsit jobb nevű nemzetközi folyóiratokban jelentek meg. A 15 cikk összesített IF értéke 46,32, ami 3,1 IF/cikk átlagnak felel meg. Ezek egy MTA Doktora szintű munka számára manapság egyáltalán nem lenyűgözően magas értékek, de kitartó, szorgos teljesítményt tükröz, főleg, ha figyelembe vesszük, hogy kevés mikrobiológiai folyóirat rendelkezik kimagasló IF értékkel.

Az alapvető stratégia arra épül, hogy különböző rendszerekben tanulmányozza a BTEX lebontással kapcsolatos mikrobiológiai, biokémiai eseményeket a szennyezett helyekről származó minták fiziko-kémiai és mikrobiológiai módszerekkel való jellemzésével. Az utóbbi vizsgálódási csoportba tenyésztési próbálkozások, valamint a mikroba közösség T-RFLP alapon végzett összetétel vizsgálatával és a BTEX lebontási útvonalak elején található katekol 2,3-dioxigenázokat kódoló 1.2.C-típusú *C230* gén jelenlétének kimutatásával. A stratégia jól körülhatárolt, céltudatos tervezésre utal. De ezzel a stratégiával kapcsolatban néhány nehézség és metodikai buktató merül/merült fel menet közben.

- 1.) A tenyésztéses, hagyományos mikrobiológiai módszerek általában nem jártak sikerrel. Ez nem meglepő annak fényében, hogy a mikroba közösségek kevesebb, mint 1%-át tudjuk izolálni tiszta tenyészetben. A mikrobiológia évszázados dilemmáját ezekben a vizsgálatokban is csak részben sikerült megoldani.

Az értekezésben bemutatott munka egyik jelentős mérföld köve és kiemelkedő tudományos eredménye a *Zoogloea oleivorans* Buc<sup>T</sup> törzs izolálása és nagyon alapos jellemzése (V.4. és V.5. fejezetek). A sokoldalú kísérletekkel nem csak az újonnan izolált baktérium törzs azonosítását, fenotípusos, kemotaxonomiai jellemzését végezte el, hanem a stabil izotópos jelölési módszer felhasználásával részletesen feltárta a toluol biodegradációjában szerepet játszó géneket és az ezeken kódolt enzimeknek a toluol lebontáshoz való funkcionális hozzájárulását. A mikrobiológus szíveket gyönyörködtető körültekintő és precízen kivitelezett vizsgálatok minden elismerést megérdemelnek. A BTEX lebontásban részt vevő géncsoportok feltehetően horizontális gén transzfer útján kerültek a *Zoogloea oleivorans* birtokába. Hasonlóan szép és alapos munka a *Malikia spinosa* AB6 törzs teljes genom szekvenciájának meghatározása és a genomban a BTEX bontó enzimeket kódoló gén klaszterek azonosítása (V.7.3.5 fejezet). A szekvencia elemzés feltárta, hogy valószínűleg ebben az esetben is horizontális gén transzfer segítette a törzset a túléléshez a BTEX-el szennyezett közegben. Harmadikként érdemes megemlíteni az V.7.4.5. fejezetben bemutatott *Candidatus* Saccharibacteria nemzetségbe tartozó mikrobákat, amelyeket genom-centrikus metagenomikai módszerrel sikerült virtuálisan nyakon csípni. A törzsek fizikai izolálása nem járt sikerrel de a rekonstruált genomi „bin” teljessége >99% volt, jószerével „csak” a 16S rRNS génjét nem sikerült hozzárendelni. De a „Candidatus” statusban maradt mikrobáról így is sokkal több funkcionális, metabolikus információt lehetett gyűjteni, mint a T-RFLP vizsgálatokból együttvéve.

Természetesen az olvasóban ilyenkor újabb kérdések merülnek fel: 1a.) az nagyon jó és szép, hogy most már tudjuk, mi mindenre képes a *Zoogloea oleivorans* Buc<sup>T</sup> törzs de ezekből a képességekből mit tud megvalósítani az összetett, kőolaj származékokat lebontani igyekvő mikroba közösségekben? A 102. oldalon András utal arra, hogy ez a kérdés benne is felmerült, de a válasz a dolgozatban „nem publikált eredmény”. Az én 1a.) kérdésem az, hogy publikálták-e azóta az eredményeket és azok mit mutatnak? 1b.) Kérdés: milyen szerepet kap/kaphat a *Zoogloea oleivorans* Buc<sup>T</sup> törzs a valós életben a kőolaj származékok lebontását végző mikroba közösségben, ahol nem csak toluollal, hanem sokkal összetettebb szennyeződésekkel kell a kevert mikroba közösségnek megbirkózni? 1c.) Az V.7.3. fejezetben

tárgyalt dúsítási kísérletekben a *Zoogloea oleivorans* törzs jelen van ugyan, de a benzol vagy toluol szénforrásért folytatott közösségi küzdelemben igencsak alulmarad aerob és mikroaerob körülmények között egyaránt a feldúsult közösség relatív abundanciái alapján (V.7.3.2. fejezet, 60. ábra, 143. oldal). A helyzetet tovább bonyolítja, hogy az első és második dúsítási kísérlet között az egyetlen lényeges eltérés az volt, hogy az elsőben BTEX volt a baktérium közösségnek felkínált szénforrás (V.7.2.1. fejezet), a másodikban pedig vagy benzol vagy toluol (V.7.3.1. fejezet). Az 53.-54. (132-133 oldal) és 60. ábrák (143. oldal) összevetéséből egyértelműen látszik, hogy az eltérő szénforrás eltérő abundanciákat eredményez, különösen a *Pseudomonas* nemzetségben. Milyen következtetést lehet levonni ezekből a kísérletekből egy komplex kőolajszármazék elegyet tartalmazó, „igazi” szennyeződésben lejátszódó mikrobiológiai eseményekről és a lebontást végző mikroba közösség biológiai aktivitásáról? 1d.) Hogyan illeszthető ebbe a képbe a dolgozatban többször kimutatott fontos megfigyelés arról, hogy a BTEX lebontást végző enzim családokat kódoló géncsoportok gyakran horizontális gén transzfer útján jutnak el a lebontást végző mikrobákba? Mennyiben reális az itt alkalmazott analitikus megközelítés, azaz a „próbáljuk meg izolálni az egyes résztvevő mikrobákat, vizsgáljuk meg, mit tudnak, majd ezeket a mozaik ismereteket összerakva alakítsuk ki a mikroba közösség összképét”?

- 2.) A T-RFLP módszer nagyon hasznos és elterjedt eljárás volt 10-15 évvel ezelőtt a komplex mikroba közösségek összetételének közelítő jellemzésére. A módszerek fejlődésével ma már nyilvánvaló, hogy nagyságrendekkel részletesebb, tehát összetettségben gazdagabb képet tudunk nyerni egy mikroba közösségről, annak változásairól és funkcionális állapotáról a teljes genom DNS és mRNS szekvenálások segítségével. Ezek a metagenom szekvenálási technikák már nálunk is elérhetőek az utóbbi 10 évben. Ilyen munkákról a dolgozat is beszámol a teljes genom szekvenálások tárgyalása során. A közösségi vizsgálatokban azonban kitarított a T-RFLP vizsgálatoknál. 2a.) Kérdésem, hogy miért ragadt le a marker gének T-RFLP módszerének alkalmazásánál lényegében az egész munka során? A dolgozat végén, a V.7.4.5. fejezetben Táncsics András még azt is bemutatja, hogy milyen sok információt nyerhetünk ki funkcióról, részletes anyagcsere útvonalokról a leolvasás alapú és genom-centrikus metagenomika segítségével, de ezt másutt nem alkalmazta.
- 3.) Az 1.2.C. *C230* katekol dioxigenáz enzimek csoportja a BTEX lebontás első lépésében kulcsfontosságú enzimek. Ez indokolja azt a munkahipotézis megfontolást, hogy „ahol van 1.2.C. *C230* gén, ott működik a BTEX lebontás”, illetve ennek fordítottja „ahol van BTEX bontás, ott 1.2.C *C230* génnek is lenni kell”. Tehát az 1.2.C *C230* a BTEX bontás marker géneként használható. A feltételezés általában igaznak mutatkozik, de az összetett lebontási útvonal egyik első enzimjét kódoló gén jelenléte nem garantálja azt, hogy az egész lebontási útvonal létezik és működik az adott körülmények között. Kérdésem: 3a.) Hogyan egyeztethető össze a fenti munkahipotézis a dolgozat V.6.2. és V.6.3. fejezetében bemutatott eredményekkel, amelyek szerint „... a *Zoogloea oleivorans* ... genomjának vizsgálata azt mutatja, hogy ennél sokkal összetettebb kérdésről van szó és nem lehet egyetlen gén, vagy enzim jelenlétéhez, illetve működéséhez kötni az aromás szénhidrogének mikroaerob lebontását.”? Lényegében ugyanezt mondja ki a V.7.2.7. fejezet: „...nem lehet minden 1.2.C *C230* „genotípust a mikroaerob BTEX lebontáshoz kötni.” és „...a mikroaerob toluol lebontásnak nem egyedüli feltétele az 1.2.C *C230* gén megléte...”. Az aerob toluol lebontásban jeleskedő *Malikia spinosa* AB6 törzs teljes genom szekvenciáját is meghatározta Táncsics András (V.5. fejezet). Ez szép, elismerésre méltó munka. A *Malikia spinosa* esetében ismét azt látjuk, hogy a BTEX lebontást ez a baktérium is kiválóan meg tudja oldani az 1.2.C *C230* gén terméke nélkül, ráadásul a BTEX bontásban kulcsfontosságú gének itt is horizontális gén transzfer segítségével érkező „vendégként” található meg. 3b.) Kérdés:

nem lehet itt arról szó, hogy a toxikus szubsztrátok jelenlétében azok a fajok/törzsek szelektálódnak ki, amelyek HGT segítségével szert tudtak tenni a BTEX lebontó enzimekre?

- 4.) Fontos új tudományos eredménynek számít az a felismerés, hogy a nemzetközi irodalomban az 1.2.C. C23O gén kimutatására egy új, degenerált PCR primer párt fejlesztett ki és validált Tánicsics András. Ennek kapcsán felvetődik a kérdés: (4a.) a korábbi, nemzetközi konszenzuson alapuló primer-pár szekvencia eltérései mekkora hibát okozhattak András és a témával foglalkozó nemzetközi kutatói közösség eredményeinek interpretálásában? 4b.) Hogyan reagált a nemzetközi kutató közösség a javasolt új primer-pár általános használatára?
- 5.) A dolgozatban bemutatott munka talán legizgalmasabb új eredményei az V.7. fejezetben tárgyalt dúsító kísérletek és az ott talált változások értékelése. Ebben a részben zavarók a dúsítási kísérletek leírásának szerkesztési hibái. Mindjárt az első dúsítási kísérlet leírásában (V.7.2.1. fejezet, 129. oldal) beígéri a kiindulási biofilm közösség bemutatását, de a kiindulási biofilm mikroba közösség összetételét csak a harmadik dúsítási kísérlet leírása előtt találjuk meg 25 oldallal később, a 154. oldalon. Azt is demonstrálni kellett volna, hogy a több hónapi tartó, három dúsítási kísérletben használt kiindulási biofilm összetétele nem változott, vagy ha változott akkor miben? Az egyes dúsítási kísérletek eredményeinek leírásában szereplő minták elnevezése eltérő, ráadásul az olvasóra van bízva, hogy kitalálja a rövidítések jelentését a hiányos ábraalírások miatt. Például a mikroaerob mintákat az első dúsítás során BFH, a másodikban M, a harmadikban MIK jelölés mutatja.
- Ha a buktatókon sikerrel átrágja magát az olvasó, kiderül, hogy ezek a kísérletek elég meggyőzően bizonyították, hogy a mikroba közösség összetétele és az egyes taxonok abundanciája jelentősen változik a környezetben található BTEX vegyületek szelektív nyomásának eredményeként. De izgalmas és meg nem válaszolt kérdéseket vet fel a második dúsítás „benzol-lebontó mikroaerob dúsító tenyészet” viselkedése (141. és 143. oldal). Ugyanis ez, a 100%-ban *Pseudomonas*-okból álló tenyészet (MB1) egyáltalán nem bontotta le a benzolt! 5a.) Kérdés: miből élt akkor ez a *Pseudomonas* nemzetség a kísérlet több hetes időszakában? A dúsító tenyészetek összetételének kissé pongyola leírása szerint (37. oldal) 5 ml „talajvíz”-et is kapott a 45 ml tápoldat mellé inokulumként. A tápoldat komoly mennyiségű szénforrást nem tartalmazott, tehát a benzol mellett csak a „talajvíz” jöhet számításba szénforrásként. Ha a „talajvíz” számottevő, emészthető szénforrást tartalmazott a *Pseudomonas*-ok növekedéséhez, akkor a dúsító közegben a mikrobák minden esetben két (több?) szénforrás szelektív, növekedést befolyásoló hatásának keverékén osztozkodtak, ami befolyásolhatta a végponti tenyészetek összetételét, így a BTEX lebontás mikrobiológiai eseményeit mutató képet. 5b.) Kérdés: azt tudjuk, hogy a *Pseudomonas*-ok szaporodtak a dúsítás alatt vagy csak a többiek elpusztultak a benzoltól, így érte el a *Pseudomonas* nemzetség a 100% relatív abundanciát? 5c.) A harmadik dúsítási kísérletből, ahol kőolaj/gázolaj keverék volt a szelektív szénforrás, tudjuk, hogy ezen a kőolaj frakción mikroaerob környezetben az *Acinetobacter* (*Pseudomonadales* rend) és *Pseudomonas* nemzetségek uralják a közösséget (77,3%, 157. oldal). Lehetséges, hogy a második kísérletben 100%-ra feldúsult *Pseudomonas* nemzetség valójában a „talajvízben” levő alifás szénhidrogéneket hasznosította a benzol helyett? Ha igen, akkor mennyire lehetünk biztosak abban, hogy a többi mintában a BTEX komponens volt a fő szénforrás?
- Fontos felismerés, hogy nagyon élesen megkülönböztethető mikroba közösség alakul ki ugyanazon BTEX szennyeződés körül mikroaerob és aerob oxigén ellátási körülmények között. 5d.) Kérdés: milyen relevanciája lehet ennek a megfigyelésnek a terepi körülmények között, ahol a szennyezési csóva körüli néhány cm vastag rétegben az oxigén koncentráció egy jórészt ismeretlen gradiens mentén dinamikusan változik?

- 6.) Az egyes részfejezetek olvasásakor ismét felvetődik a stratégiát érintő kérdés: (6a.) mennyire általánosíthatók a néhány és eltérő történeti háttérrel rendelkező minta eredményei a BTEX lebontásra bármilyen más rendszerben, más körülmények között dolgozó mikroba közösséggel?

A dolgozatban bemutatott vizsgálatok alapján fontos új tudományos eredményeknek tartom az alábbiakat:

- 1.) Hagyományos mikrobiológiai tenyésztésen és molekuláris mikroba közösség elemzésen alapuló kísérletekkel részben feltárta és gazdagította a BTEX szennyeződések hatékonyan eltávolító mikroba közösségekről rendelkezésünkre álló ismereteket.
- 2.) Kiemelt figyelmet szentelve a BTEX lebontás egyik kulcs enzimét kódoló 1.2.C *C23O* gén előfordulását eredményesen és precízen követte a gén előfordulását egy új, degenerált primer pár kifejlesztésével és alkalmazásával.
- 3.) Felismerte, hogy a BTEX lebontás folyamata változatos enzimatikus lépésekkel is indulhat és a lebontásban kulcsszerepet játszó enzimeket kódoló gének valószínűleg gyorsan terjednek a mikroba közösségben horizontális gén transzfer mechanizmus segítségével.
- 4.) Megállapította, hogy a 1.2.C *C23O* gén termékének megléte nem elegendő feltétele a mikroaerob BTEX lebontási képességnek, a sikeres BTEX lebontás kiegészítő feltételek megléte esetén valósul meg hatékonyan.
- 5.) Meghatározta néhány (*Zoogloea oleivorans*, *Malikia spinosa*) olyan faj teljes genom szekvenciáját, amelyeket elsőként izolált ilyen mikroba közösségekből. Ezek a mikrobák fontos szerepet játszhatnak/játszanak a BTEX lebontás folyamatában eltérő oxigén ellátottság esetén. Új tudományos eredményekkel gazdagította az általános képet ezeknek a törzseknek a BTEX lebontásban játszott enzimaktivitásainak feltérképezésével kapcsolatban.
- 6.) Azonosította az alifás szénhidrogéneket is tartalmazó szennyezett terület mikroba közösségéből metagenomikai módszerrel két *Candidatus Saccharibacteria* törzset és jellemezte azok fontosabb anyagcsere útjait.

A fentiekben összefoglalt véleményem alapján javaslom Tánics András MTA Doktori dolgozatának nyilvános vitára bocsátását és sikeres védelem esetén számára az MTA Doktora fokozat odaítélését.

2022. június 15.

Kovács Kornél, az MTA Doktora