

**Biogáz termelő mikroorganizmus közösségek vizsgálata metagenomikai
megközelítéssel**

Ph.D. Tézisek

Készítette:

Wirth Roland

Témavezetők:

Prof. Dr. Kovács L. Kornél

Dr. Maróti Gergely

Szegedi Tudományegyetem Biotechnológiai Tanszék

MTA SzBK Biofizikai Intézet

Szeged

2014

Bevezetés

Napjaink társadalmának gazdasága nem megújuló fosszilis energiahordozókon (kőolaj, szén, földgáz) alapszik, melyek energiafelhasználásunk 80%-át teszik ki. Kiváltásuk szükségességét sürgeti a Föld népességének növekedése, és az ezzel párhuzamos egyre növekvő ipari igény. A gazdaságosan kiaknázzható fosszilis energiahordozók jelen tendencia szerinti fogyása már nem fogja tudni kielégíteni a fogyasztók energiaszükségletét. A fosszilis energiahordozók kitermelésének drágulása miatt egyre inkább versenyképességüket fogják veszíteni. Ennél is riasztóbb a globális klímaváltozás jelensége, a fosszilis energiahordozók fokozott használata miatt a légkörbe jutó üvegházhatású gázok az egész bolygónkon veszélyeztetik az életfeltételeket. Ezért a kutatók figyelmének középpontjában már évek óta a jelenlegi energiahordozók kiváltása áll alternatív, megújuló energiahordozókkal, melynek köszönhetően a technológia rohamosan fejlődik. Számos kutatás foglalkozik ilyen alternatívákkal, melyekben közös pont az, hogy az energia teljes mértékben megújuló forrásból származik, azaz az alkalmazott alapanyag a felhasználás mértékében újratermelődik. Ezeknek a megújuló energiahordozóknak a használata csökkenthetné a légkörbe kerülő káros anyag kibocsájtást, ami a klímaváltozás elleni küzdelmet is elősegítené. Ilyen alternatíva például a biogáz.

A legegyszerűbb és legelterjedtebb hasznosítása a biogáznak a gáz elégetése, melyből egyszerre nyerhetünk hőt és elektromos energiát. A keletkező fermentációs maradékot pedig műtrágya kiváltására hasznosíthatjuk, mely kiváló talajerő pótló. A biogáz legnagyobb része metán, mely fermentációs alapanyagtól függően a gáz 50-75%-át teszi ki, ezen kívül ugyancsak alapanyagtól függően szén-dioxidot (28-48%), és ~1-2%-ban egyéb gázt, kénhidrogént, nitrogén vegyületeket tartalmaz. A földgáz több mint 90%-a metán, mely a fűtőértékének kb. 70%-át adja. Ezt az értéket a biogáz esetén is elérhetjük, ha a keletkezett biogázból a szén-dioxidot eltávolítjuk. Tisztítás után a biogáz gyakorlatilag a földgázzal egyenértékű fűtőértékkel rendelkezhet, így a gáz akár a földgázhálózatba is táplálható.

Régóta ismeretes, hogy a biogáz termelődése spontán is lejátszódik mocsarakban, hulladéklerakó telepeken, ahol kialakulhat anaerob környezet. Tehát a biogáz képződési folyamat anaerob körülmények között zajlik le, azonban a szerves anyagok bontásában fakultatív anaerobok is részt vesznek. A különböző anyagok anaerob átalakítása bonyolult biokémiai folyamatok láncja, mely az erjesztésre kerülő anyag összetételétől, minőségétől függően változó összetételű mikroorganizmus közösségek segítségével történik. A

baktériumok tevékenysége meghatározott sorrendben követi egymást, minden lépést más speciális mikroba csoport végez. A különböző típusú mikrobák egymásra utaltak, és egymással összhangban működnek. A komplex szerves molekulák metánná történő átalakítása csak akkor sikeres, ha kialakul a baktériumok speciális közössége, melyben mindegyik faj meg tud élni, valamint olyan terméket hagy hátra, mely a következő mikroba csoportnak táplálékul szolgál. A biogáz termelés tehát összetett mikrobiológiai folyamat, melyben a biogáz termelő mikroorganizmusok bonyolult láncolatot építenek fel, melynek végtermékeként keletkezik a biogáz. Az ilyen közösségekben minden mikroba faj a túlélésért versenyez, a győztesen kikerülő fajok, melyek leginkább képesek az adott körülményekhez adaptálódni túlélnek, dominánssá válnak.

A fő probléma jelenleg a megújuló energia hordozókkal, hogy árban még nem veszik fel a versenyt a fosszilis energiahordozókkal szemben. Ezért a bioenergetikában a gazdaságos megoldások kifejlesztése, valamint a hatékonyság növelése a minél gyorsabb elterjedést segítheti elő, így meghatározó fontosságú. A biogáz gyártás szempontjából az olyan ismeretek, melyek segítségével megismerhetjük a folyamatban részt vevő mikroorganizmusokat, valamint ezek funkcióit az egyre jobb és hatékonyabb rendszerek kialakítását teszik lehetővé. A metagenomika –mikroorganizmusok közösségeinek genetikai analízise- egy újfajta lehetőség a mikrobiológiai ismeretek bővítésére. A metagenomikai módszerek alkalmazásával olyan ismeretekre tehetünk szert, amelyeknek alkalmazása hatékonyabb, gazdaságosabb biogáz termelő mikroba közösségek kifejlesztéséhez vezet. Ilyen vizsgálatok kivitelezéséhez napjainkban rendelkezésre állnak a „második” vagy „Next Generation Sequencing” (NGS), valamint a legújabb „harmadik generációs” („Third Generation Sequencing -TGS”) szekvenáló technológiák. Ezek az eljárások új utat nyitnak a mikrobiális közösségek vizsgálatában.

Napjainkban a modern biogáz gyárak szubsztrátként 80%-ban kukorica szilázst használnak. Azonban a kukorica szilázs előállítási és tárolási ára egyre nő, valamint a kukorica biogáz célú felhasználása miatt csökken az élelmiszertermelésre használható földterület. A biogáz gyártás szempontjából komoly lehetőségek rejlenek a napenergiát hasznosító mikroorganizmusok használatában. Ezért egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik világszerte a különböző alga –különösen az ún. „mikroalga”-fajok iránt. A mikroalgák mikroszkopikus autotróf organizmusok nagy és diverz csoportja. A mikroalga biomassza hasznosításának a biogáz gyártás szempontjából számos előnye van a hagyományosan használt kukorica szilázssal szemben. Egyes fajaik képesek megduplázni biomasszájukat 24 óra alatt, így jóval nagyobb mennyiségű biomasszát nyerünk, mint bármely más földön

termesztett növényvel. Továbbá nincs szükség gyomirtókra és növényvédő szerekre sem. Sokféle vizes közegben megélnek, de az előállított biomassza tömegre vetített vízigényük kevesebb, mint a szárazföldi növényeknek. A mikroalga biomassza anaerob fermentációjának előnye, hogy a keletkezett biogáz minősége jobb (60-75% metán tartalom, míg kukorica szilázs esetében 50-55%). Megfelelő infrastruktúra mellett elvi lehetőség a biogáz elégetése során keletkező szén-dioxid elnyelése, ugyanis a mikroalga fotoszintézis útján a CO₂-ot ismét felveheti saját biomasszájának növelésére. Így egy olyan körfolyamat építhető fel, mely teljes mértékben nulla-emissziós eljárássá teheti a biogáz gyártás technológiáját. Továbbá a mikroalgákat felhasználhatjuk biodízel vagy biohidrogén, esetleg más értékes vegyületek gyártására is biomasszájuk biogázzá történő fermentálása előtt. Az eljárásokat így kombinálva sokkal több energiát nyerhetünk ugyanabból a biomasszából.

Célkitűzés

Munkám során célul tűztem ki, hogy megvizsgáljam egy biogáz üzemet modellező kísérleti fermentorban élő anaerob konzorcium összetételét újgenerációs szekvenátor segítségével. Így kiegészíthetjük és validálhatjuk az újgenerációs szekvenátorok eredményeit és használatukat az olyan komplex minták vizsgálatában, mint a biogáz termelő közösség.

Kutatócsoportunkban kiterjedt vizsgálatok folynak mikroalgákkal (*Chlamydomonas sp.* és *Scenedesmus sp.* kevert kultúra) és azok szintróf baktériumaival történő hidrogéntermeléssel kapcsolatban. A hidrogéntermelés után visszamaradó biomassza anaerob fermentációja során céltom volt az alga-baktérium keverékből keletkező biogáz minőségének, mennyiségének összevetése a kukorica szilázsából és a kofermentációból keletkezett biogázéval. Feladatul tűztem ki továbbá a kísérlet teljes időtartama alatt a fermentációs paraméterek nyomon követését, a fermentáció stabilitásának, illetve a fermentorok biogáz termelő mikroba közösségének vizsgálatát. Ezekkel a paraméterekkel jellemezhető az alternatív szubsztrát hasznosítása biogáz előállításra.

Fotoautotróf módon tenyésztett *Scenedesmus obliquus* mikroalga mellett jelentősen kevesebb a szintróf baktériumok mennyisége. Ezekben a kísérletekben az előzőhöz hasonlóan a fermentáció stabilitásának, és a keletkezett biogáz mennyiségének, minőségének vizsgálata, továbbá a fermentációk mikroba közösségének monitorozása volt a cél, összevetve a baktériummal erősen kevert korábbi mintákkal.

A *Sc. obliquus* mikroalga fajra jellemző, hogy vastag sejtfallal rendelkezik, ezért nehezebben fermentálható. Az irodalomban sokféle előkezelési technológiát javasolnak a probléma megoldására. Ezek közül a hőkezelést és a mikrohullámú kezelést alkalmaztam. Ezekben a kísérletekben a cél az volt, hogy a mikroalga biomassza különféle előkezelése után vizsgáljuk biogáz termelés eredményességét.

Módszerek

A kísérletsorozatok során speciálisan biogáztermelés laboratóriumi léptékű tanulmányozására tervezett 5 literes kísérleti fermentorokat használtam. Emellett batch típusú fermentációt végeztem a VDI (Verein Deutscher Ingenieure) nemzetközileg követett szabvány alapján, mely egységesített rendszert nyújt egy adott szubsztrát maximális biogáz hozamának megállapítására. A keletkezett biogáz mennyiségét a speciális 5 literes fermentor automatikája rögzítette, míg a batch fermentáció során a gázmennyiséget vízkiszorításos módszerrel határoztuk meg. A biogáz minőségi összetételét mindkét esetben gázkromatográf segítségével állapítottam meg. A fermentációs paramétereket pH mérő, összes szerves sav és pufferkapacitást mérő automata titrátor, spektrofotometriás elven működő analitikai munkaállomás, és automata szén és nitrogénmérő berendezésekkel követtem nyomon. A közvetett felhasználást modellező kísérletünkhöz a kevert mikroalga és szintróf baktériumainak biomasszáját nem steril körülmények között TAP (Tris-acetát-foszfát) tápoldatban tenyésztettük. A *Scenedesmus obliquus* mikroalgát 2,5 m³-es ipari fotofermentorban fotoautotróf tápoldatban tenyésztette az Első Magyar Algatechnika Kft. A kísérletsorozatok során az adagolt szubsztrátok és a fermentorok metagenomikai vizsgálatait újgenerációs szekvenátorok segítségével végeztem. A ligálás alapon működő Applied Biosystem SOLiD típusú szekvenátora nagy mennyiségű és jó minőségű leolvasásokat készített, melyeket filogenetikus és funkcionális vizsgálatok előtt CLC Bio Genomics Workbench 4.6 bioinformatikai program segítségével *in silico* kontigokba szereltünk össze. A Life Technologies Ion Torrent PGM újgenerációs szekvenátora a SOLiD-tól eltérő mechanizmus alapján működik. E szekvenátor segítségével kapott leolvasásokat közvetlenül kontig összeszerelés nélkül használtuk filogenetikai vizsgálatokra. A metagenom eredmények kiértékelését az online elérhető MG-RAST szoftvercsomag segítségével végeztem.

Eredmények

1. Biogáz üzem szimulációs kísérletben olyan paramétereket állítottunk be, melyek az ipari biogáz üzemeket tükrözik. A metagenom vizsgálathoz az Applied Biosystems SOLiD újgenerációs szekvenátorát használtam, melyet még nem alkalmaztak ilyen fajta közösségi vizsgálatokra. A biogáz fermentorban rendezett, egymásra épülő mikrobiális rendszert tártam fel. Az adatok elemzése alapján a cellulóz tartalmú biomassza bontásában és másodlagos fermentációjában a Firmicutes és a Bacteroides törzsek tagjai játszanak fontos szerepet. A Firmicutes törzsön belül a *Clostridia* genus tagjai vannak túlnyomó többségben, melyek cellulolitikus és gyakran hidrogén termelő tulajdonsággal rendelkeznek. Ezért szerepük a hatékony cellulózbontásban és hasznosításban valószínűleg jelentős. Az Archaea doménben a Methanomicrobiales rend képviselői voltak túlsúlyban, mely rendben a *Methanoculleus marisnigri* hidrogenotróf metanogén volt többségben. A metagenom vizsgálat eredményeit alátámasztják korábbi vizsgálatok is, melyeket újgenerációs 454 típusú szekvenátorral végeztek, így a metagenomikai módszerek ilyen komplex mikrobiális közösségek vizsgálatában reprodukálhatónak és validálhatónak bizonyultak.
2. A közvetett felhasználást vizsgáló fermentációban mikroalga keveréket és azok szintrófjait használtam fel biogáz előállításra. A vizsgálat alapján elmondható, hogy a mikroalga keverék alacsony C/N aránya miatt a biogáz mennyisége elmarad a kukorica szilázshoz képest, bár minősége jobb. A fermentáció két hónapig stabilan működött, a mikroalga fermentációja során annak magas N tartalma miatt ammónium felhalmozódást tapasztaltam. A kofermentációban ez a hatás kompenzálódik. Ebből arra a következtetésre jutottam, hogy az alacsony C/N (szén/nitrogén) arányú mikroalgát kofermentációban érdemes fermentálni. A metagenom eredmények alapján a mikroalgával együtt bevitt szintróf organizmusok kiszorítják, illetve elfedik a fermentorban élő természetes közösséget. Az Archaea doménben a Methanosarcinales rend dominanciáját figyeltem meg a fermentáció teljes ideje alatt.
3. A fotoautotróf módon tenyésztett *Scenedesmus obliquus* mikroalga faj magasabb C/N aránnyal rendelkezik, mint az előző kísérletben használt mikroalga keverék. Fermentációja során nem tapasztaltam jelentős ammónium koncentráció növekedést. A tiszta alga biomasszából keletkezett biogáz mennyisége körülbelül megegyezik a

mikroalga keverékével, illetve a gáz összetétele is hasonló. A fermentációk a három hónapos működési idő alatt stabilan működtek. A *Sc. obliquus* vastag sejtfa miatt a fermentor mikrobái az alga biomasszát lassabban képesek bontani. Így annak ellenére, hogy nem történt már további biomassza bevitel az utolsó hónapban, mégis jelentős mennyiségű biogáz termelődött. Ennek alapján az ilyen típusú mikroalgák fermentációja során hosszabb retenciós idő alkalmazása látszik indokoltnak. A kofermentációból keletkező metán mennyisége az előző kísérlethez hasonlóan magasabb, mint a monoszubsztrátként adagolt mikroalgáé. Ezek az eredmények összefügghetnek a kofermentációban a szubsztrát adagolási időszakban tapasztalt Clostridiales rend relatív többségével, mely hatékonyan képes bontani a mikroalga biomasszát. A fermentáció teljes ideje alatt az Archaea doménben a Methanosarcinales rend dominanciáját figyeltem meg, mely a metánképződéshez vezető anyagcsere útvonalak sokféleségét támasztják alá.

4. A *Sc. obliquus* vastag hemicellulóz tartalmú sejtfa rendelkezik. Az irodalomban többféle előkezelési technológiát ajánlanak mikroalgák feltárására különféle célból. Ezek közül a hőkezelést és a mikrohullámú kezelést alkalmaztam. Az eredmények alapján a mikrohullámmal, illetve autoklávval történő kezelés a leghatékonyabb. A mikroalga feltárása azonban nem volt teljes mértékben eredményes, mindkét kezelés során megfigyeltem épen maradt sejteket. A feltárt mikroalgák sejtfa tartalmát a fermentor mikroba közössége gyorsan és hatékonyan képes felhasználni, így az első napokban keletkező gáz mennyisége és minősége is meghaladja az összehasonlításként alkalmazott silókukoricáét, de a hatás nem tart sokáig, mert miután a mikroba közösség felhasználta a könnyen hozzáférhető anyagokat az egészben maradt sejtek fermentációjára szorul a rendszer. Az előkezelések hatékonysága batch fermentációban mérsékelte, ugyanis az egységnyi mikroalgára vonatkoztatott C/N arány és szervesanyag tartalom nem változik, csak a fermentorban élő mikrobák számára tesszük könnyebben hozzáférhetővé az értékes tápanyagokat.
5. A dolgozatban bemutatott adatok szerint a metagenomikai módszerek biogáz termelő közösségek vizsgálatában reprodukálhatóak és validálhatóak. A biogáz iparban a kukorica szilázs kiváltására ígéretes jelölt a mikroalga biomassza, azonban annak fajtája és alkalmazási technológiája befolyásolja a hatékonyságot. A legelőnyösebb alkalmazási mód a kofermentáció.

A dolgozat témájához szorosan kapcsolódó közlemények

Wirth R, Kovacs E, Maróti G, Bagi Z, Rákhely G, Kovács KL.
Characterization of a biogas-producing microbial community by short-read next generation DNA sequencing.
BIOTECHNOLOGY FOR BIOFUELS 5: 1-16. (2012)

Wirth R, Kovács E, Maróti G, Bagi Z, Rákhely G, Kovács KL.
Characterization of a biogas-producing microbial community by short-read next generation DNA sequencing.
BULETINUL AGIR / AGIR SCIENTIFIC BULLETIN 18:5-8. (2013)

Kovács KL, Ács N, Kovács E, Wirth R, Rákhely G, Strang O, Herbel Z, Bagi Z.
Improvement of biogas production by bioaugmentation.
BIOMED RESEARCH INTERNATIONAL ID:482653. 7 p. (2013)

Maróti G, Pap B, Horváth B, Kondorosi É, Wirth R, Kovács E, Bagi Z, Kovács KL, Rákhely G.
Next generation sequencing–based metagenomics assessment of complex microbial communities.
ACTA MICROBIOLOGICA ET IMMUNOLOGICA HUNGARICA 60:48-49. (2013)

Wirth R, Kovács E, Maróti G, Bagi Z, Rákhely G, Kovács KL.
Characterization of a biogas-producing microbial community by short-read next generation DNA sequencing.
In: Conference on Advances in Environmental Sciences.
Konferencia helye, ideje: Timisoara, Románia, 2013.06.11-2013.06.12.

Wirth R, Kovács E, Maróti G, Bagi Z, Rákhely G, Kovács KL.
Characterization of a biogas-producing microbial community by short-read next generation DNA sequencing.
ACTA MICROBIOLOGICA ET IMMUNOLOGICA HUNGARICA 60: 108. (2013)

További közlemények

Kovács E, Wirth R, Maróti G, Bagi Z, Rákhely G, Kovács KL.
Biogas production from protein-rich biomass: fed-batch anaerobic fermentation of casein and of pig blood and associated changes in microbial community composition.
PLOS ONE 8:N°e77265. (2013)

Kovács E, Wirth R, Maróti G, Bagi Z, Ács N, Kovács KL.
Changing in microbial community metagenome upon adaptation to protein substrate.
ACTA MICROBIOLOGICA ET IMMUNOLOGICA HUNGARICA 60:36-37. (2013)

Ács N, Kovacs E, Wirth R, Bagi Z, Strang O, Herbel Zs, Rákhely G, Kovács KL.
Changes in the Archaea microbial community when the biogas fermenters are fed with protein-rich substrates.
BIORESOURCE TECHNOLOGY 131: 121-127. (2013)

Ács N, Bagi Z, Kovács E, Wirth R, Kovács KL.
Monitoring the biogas producing Archaea community via molecular biological methods.
ACTA MICROBIOLOGICA ET IMMUNOLOGICA HUNGARICA 60:1. (2013)

Bagi Z, Kovacs E, Wirth R, Ács N, Böjti T, Strang O, Kakuk B, Kovács KL.
Microbiology and biotechnology of biogas production.
In: Zagreb: Croatian Microbiological Society, p. 18.(2013)
Konferencia helye, ideje: Primošten, Horvátország, 2013.10.09-2013.10.12.

Bagi Z, Ács N, Böjti T, Kakuk B, Kovács E, Strang O, Wirth R, Kovács KL.
Example strategy: smart specialisation in the field of agribusiness/biomass.
In: Mission of the Four Motors within the Framework of the EU Strategy for the Danube Region, konferencia helye, ideje: Novi Sad 2013.07.02.

Strang O, Bagi Z, Ács N, Kovács E, Wirth R, Kovács KL.
Biogas production from cellulosic substrates.
ACTA MICROBIOLOGICA IMMUNOLOGICA HUNGARICA 60:80-81. (2013)

Ács N, Bagi Z, Kovács E, Wirth R, Rákhely G, Kovacs KL.
Monitoring Archaea and selected strains of bacteria in a biogas producing system via their unique genes.
In: A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2012. évi Nagygyűlése: Absztraktk füzet.
Konferencia helye, ideje: Keszthely, Magyarország, 2012.10.24-2012.10.26.

Kovács E, Wirth R, Bagi Z, Ács N, Kovács KL.
Anaerobic fermentation of protein-rich industrial by-product.
In: 8th International Conference of PhD Students; Miskolc: Miskolci Egyetem (ME GTK szerk.), 2012. p. 31.
Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2012.08.06-2012.08.10.

Kovács E, Maróti G, Wirth R, Bagi Z, Ács N, Rákhely G, Kovács KL.
Biogas producing microbial population living in protein rich environment.
In: Straub-days.
Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2012.05.23-2012.05.24.

Ács N, Bagi Z, Kovács E, Wirth R, Rákhely G, Kovács KL.
Monitoring Archaea and selected strains of bacteria in a biogas producing system via their unique genes.

In: 1st International Conference on Biogas Microbiology. p. 67.

Konferencia helye, ideje: Leipzig, Németország, 2011.09.14-2011.09.16.

Kovács KL, Bagi Z, Ács N, Kovács E, Wirth R, Rákhely G.
Biohydrogen and biogas biotechnology.

In: The Bioenergy Question: Reality or Wishful Thinking. p. 11-13.

Konferencia helye, ideje: Tulln, Ausztria, 2011.05.16-2011.05.18.

Kovács KL, Bagi Z, Ács N, Kovács E, Wirth R, Maróti G, Rákhely G.
Engineering biogas microbial communities.

In: 1st International Conference on Biogas Microbiology. p. 47.

Konferencia helye, ideje: Leipzig, Németország, 2011.09.14-2011.09.16.

Kovács KL, Bagi Z, Kovács E, Maróti G, Szőri-Dorogházi E, Ács N, Wirth R, Tengölics R, Fülöp A, Rákhely G.

Industrial microbiology for the production of biohydrogen and biogas.

ACTA MICROBIOLOGICA ET IMMUNOLOGICA HUNGARICA 58. p. 171-172. (2011)

Ács N, Bagi Z, Rákhely G, Kovács E, Wirth R, Kovács KL.

Improvement of biogas production by biotechnological manipulation of the microbial population.

IEEE 3rd International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources (EXPRES)

In: Budapest: IEEE Hungary Section - IEEE Romania Section, 2011. p. 39-43.

Konferencia helye, ideje: Subotica, Szerbia, 2011.03.10-2011.03.12.

Kovács KL, Kovács E, Ács N, Wirth R, Bagi Z.

Egy különösen hasznos megújuló energiahordozó: A biogáz.

ELEKTROTECHNIKA 98:(11) p. 5-8. (2010)

Kovács E, Wirth R, Bagi Z, Kovács KL.

Szabadalom a biogáz termelésben.

ZÖLD IPAR MAGAZIN III:(12) p. 15. (2013)

Magyarországon bejelentett szabadalom

Kovács KL, Rákhely G, Ács N, Maróti G, Wirth R, Kovács E.

Biogáz termelés fehérjében gazdag alapanyagokból

Lajstromszám: P1100510

Közzététel éve: 2011

Köszönetnyilvánítás

Ezúttal szeretném megköszönni a munkámhoz nyújtott segítséget, támogatást és sok ötletet, biztató szót Prof. Dr. Kovács L. Kornélnak, és Dr. Maróti Gergelynek. Szeretném megköszönni a munkámhoz nyújtott segítségét az SZTE Biotechnológiai Tanszékén illetve az MTA SZBK Biofizikai Intézetében dolgozó minden munkatársnak, különösen Dr. Bagi Zoltánnak, aki sokat segített a fermentációk kivitelezésében, tervezésében, továbbá Kovács Etelkának, aki a biogáz üzem szimulációs kísérletben segédkezett. Ugyancsak szeretném megköszönni munkámhoz nyújtott értékes segítségüket két közvetlen munkatársamnak Lakatos Gergelynek, akivel a mikroalga és szintrófikus közösségének fermentációs kísérletsorozatát végeztük, illetve Böjti Tamásnak, ő az alga fermentációk során nyújtott segítséget.

Szeretném köszönetemet kifejezni az ELMAT Kft.-nek, a kísérletekhez biztosított jelentős mennyiségű fotoautotróf módon tenyésztett *Sc. obliquus* mikroalga biomassza előállításáért. Dr. Kis Mihály (MTA SZBK Növénybiológiai Intézet) hasznos tanácsokkal látott el munkám során.

Szeretném megköszönni az SZTE Mérnöki Karán Prof. Dr. Keszthelyi-Szabó Gábornak, és Beszédes Sándornak a mikroalga mikrohullámú kezelés kivitelezésének lehetőségét és az ebben való közreműködésüket.

Az SZTE Biotechnológiai Tanszék vezetője, Dr. Rákhely Gábor tette lehetővé a tanszéken folyó munkát, amiért köszönetemet fejezem ki.

Szeretnék köszönetet nyilvánítani a munka támogatóinak:

EU támogatás: HUSRB/1002/214/041 IPA és HURO/1001/193/2.2.2.

Hazai: GOP-1.1.2.-07/1-2003/8-0007, TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005,

Baross ALGOLABH, OMFB-00356/2010 és TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0012.

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott kijelentem, hogy tudatában vagyok a jelen téziszben megfogalmazott tudományos eredményekkel. Ezeket az eredményeket az eddigiekben nem használtam fel semmilyen tudományos fokozat megszerzéséhez, illetve a jövőben sem fogom felhasználni.

Szeged 2014.03.03

Prof. Dr. Kovács L. Kornél

Dr. Rákhely Gábor

Dr. Maróti Gergely

Dr. Bagi Zoltán

Kovács Etelka

Ács Norbert

| Böjti Tamás

| Strang Orsolya