

MEMBRÁN-

TECHNIKA

IPARI

BIOTECHNOLÓGIA



VIII. évfolyam 2. szám

2017. április

TARTALOM

oldal

Keller E., Bakonyi P., Koók L., Nemestóthy N., Bélafiné Bakó K., Guangyin Zhen: Algák a bioelektrokémiai rendszerekben	22
Meghívó a MKE Membrántechnikai Szakosztály ülésére.....	29
Az IWA konferencia felhívása.....	30
Közelgő membrános konferenciák, kurzusok.....	31

Algák a bioelektrokémiai rendszerekben

**Keller Enikő¹, Bakonyi Péter¹, Koók László¹, Nemestóthy Nándor¹,
Bélafiné Bakó Katalin¹, Guangyin Zhen²**

**¹Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatóintézet
Veszprém, Egyetem u. 10.**

**²Shanghai Key Laboratory for Urban Ecological Processes and Eco-Restoration, School
of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Dongchuan
Rd. 500, Shanghai, 200241, China**

1. Bevezetés

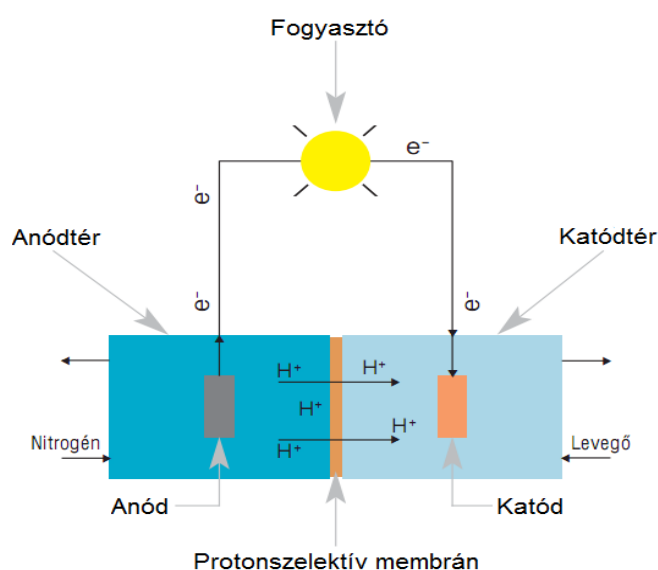
A bioüzemanyagok kutatása, fejlesztése igen időszerű napjainkban, és a bioelektrokémiai rendszerek az egyik legújabb irányzatot képviselik.

Az első generációs bioüzemanyagokat olyan olaj- illetve keményítő-tartalmú növényekből, termésekből nyerték, amelyek az élelmiszertermeléssel versengtek, s így azt veszélybe sodorhatták. A második generációs üzemanyagok előállítása során (cellulóz alapú biomasszából kiindulva) az alacsony konverzió jelenti a legnagyobb korlátot (Saratale et al., 2013; Saratale and Oh, 2015; Adenle et al., 2013). Az algákból származó üzemanyagokat tekintik a harmadik generációnak. Az algák a földterületet igénylő növényekhez képest ígéretes alternatívát jelentenek a bioüzemanyagok előállítása terén (Najafi et al., 2011; Chisti, 2007; Khayoon et al., 2012). Méretük és morfológiájuk szerint az algák lehetnek mikroalgák vagy makroalgák. A mikroalgák mikroszkopikus méretű egysejtű fotoszintetizáló növények, amelyek képesek a nap energiáját CO₂, víz és tápanyagok felvételével nagyobb mennyiségű biomasszává alakítani (Demirbas, 2010; Slade and Bauen, 2013; Alam et al., 2012). A makroalgák többsejtűek és a tengerpartokon találhatók (Chen et al., 2009).

Az algák tehát a napenergiát fotoszintetikus úton biokémiai energiává tudják alakítani, az erdőből vagy mezőgazdasági termelésből származó biomasszához képest gyorsabb a növekedési sebességük (Brennan and Owende, 2010; Ndimba et al., 2013), és szűkös élettérben is képesek a túlélésre. A mikroalgák növesztéséhez többféle vizes rendszert használnak: nyitott tavakat, zárt tavakat, fotobioreaktorokat. Széles körben alkalmazzák őket a szennyvíztisztításban illetve a CO₂ biomassza célú megkötésénél (Popp et al., 2014; Brennan and Owende, 2010; Chen et al., 2009; John et al., 2011).

2. Mikroalgák a mikrobiális üzemanyagcella (MÜC) rendszerekben

Nemrégiben kezdték el a mikroalgáknak különféle mikrobiális üzemanyagcellákban történő alkalmazási lehetőségeit kutatni, ahol elektromosság előállítása a cél (Bajracharya et al. (2016), Butti et al. (2016), Singh et al. (2012), Freguia et al. (2012) és Kelly and He (2014, Saratale et al, 2017). A klasszikus kétcellás MÜC berendezésekben (1. ábra) a biológiailag lebontható szubsztrátok oxidációja és elektronok generálása zajlik az anód cellában anaerob körülmények között, míg a katódtérben aerob körülményeket kell biztosítani, s a bevezetett oxigénből, az idevándorló protonokból és elektronokból víz képződik. Az aerob körülményekhez levegőt (vagy oxigént) kell áramoltatni a cellába, így a levegőztetés extra energia befektetést jelent. A minimális energia felhasználás céljából a közelmúltban egyes tanulmányok azt javasolták, hogy algáknak a MÜC-be történő integrálásával megoldható lenne ez a probléma, hiszen így a katódtérben a fotoszintézis révén (fény jelenlétében) in situ oxigén termelés valósítható meg (Liu et al 2015). Ráadásul az algák CO_2 -t vesznek fel a folyamat során, ami további előnyt jelent környezetvédelmi szempontból.



1. ábra: Klasszikus (kétcellás) mikrobiális üzemanyagcella elvi sémája

Az algákat hatékony elektronakceptoroként lehet használni a MÜC rendszerek katódján a fotoszintézis során, illetve elektrondonorként a cella anódján (Wu et al., 2013a,b; Gude et al., 2013; Commault et al., 2014), s így alkalmasak lehetnek a szerves anyagok eltávolítására,

lebontására is. Az alga alapú MÜC szintropikus kölcsönhatásban van a jelenlévő baktérium populációval. A katód cellában tehát napfény jelenlétében az algák fotoszintetizálnak és a CO₂-ot különféle szerves anyagokká, oxigénné és biomasszává alakítják, illetve sötétségben az oxigén felhasználásával energiát termelnek a korábban képzett szerves anyagokból közvetlen oxidációval.

2.1. Kétcellás alga-MÜC

Ezekben a rendszerekben a két cella proton szelektív membránnal van elválasztva. Gajda és munkatársai (2015) közleményükben kísérletileg is demonstrálták, hogy egy olyan MÜC is képes áramot generálni, ahol az anaerob biofilm az anódon van jelen, míg a fototróp biofilm a katódon oxigént termel, valamint alga biomasszát. Ez a rendszer szennyvíz remediációt és áram termelést is megvalósított a biomassza termelés mellett.

Chlorella vulgaris (Zhang et al 2011), *Pseudokircheneriella subcapitata* (Xiao, et al., 2012) algákat vizsgáltak még két-cellás MÜC rendszerekben. Strik és társai (2008) mediátor nélküli fotoszintetikus alga MÜC cellát vizsgáltak nyitott rendszerben 100 napon át, s 110 mW/m² maximális teljesítmény sűrűséget tudtak elérni.

2.2. Egy-cellás alga-MÜC

A membrán nélküli, egyetlen cellát tartalmazó MÜC-ben a fotoszintézisre képes biokatalizátorok képesek elektronokat juttatni az elektród felületére, mediátor anyag jelenléte nélkül (Lin et al., 2013). A *Spirulina platensis* nevű kék-zöld mikroalga esetén a MÜC rendszer fény jelenlétében 0,132 mW/m² elektromos teljesítményre volt képes, míg sötétben 1,64 mW/m² –re (Fu et al., 2010). Tehát sötétben több elektromos energia volt termelhető, mint fény jelenlétében. Az ilyen típusú MÜC-ben ráadásul a mikroalgák számára jobb kötődés biztosítható az elektródok felületére. Az egy-cellás MÜC rendszerekben a két elektród (anód és katód) elektromos vezetékekkel van összekötve.

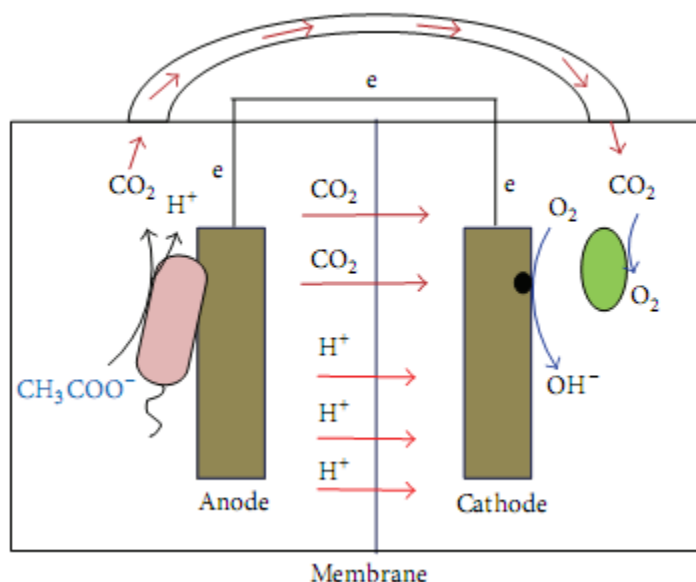
2.3. Fotoszintetikus üledék MÜC

Ennél a MÜC fajtánál az anód az üledékben van elhelyezve és a katód cellát töltik meg mikroalgával, amely az üledék tetején helyezkedik el. Az anódon észlelhető bakteriális

aktivitás CO_2 -t termel, amit az algák fogyasztanak el a katód térben, majd oxigént termelnek és elektromos áramot. He és munkatársai (2009) arról számoltak be, hogy az általuk alkotott üledékes fototróp MÜC 0,054 mA áramot termelt 1 k Ω ellenállásnál egy 145 napon át működő rendszerben.

2.4. Szén-dioxid felvételével működő alga-MÜC

Az alga-MÜC működésénél a fotoszintézishez az algáknak szükségük van folyamatos CO_2 betáplálásra. A levegőztetéshez hasonlóan ez is extra energia befektetéssel jár. Ezért született egy olyan megoldás, ahol az anód cellában, a szubsztrát lebontásból származó CO_2 -ot használják fel ennek az igénynek a kielégítésére. Wang és társai (2010) mutattak be egy olyan MÜC-öt, amelynél az anódtérből származó CO_2 -ot közvetlenül átvezették a katódtérbe, ahol az algák használták fel a fotoszintézisre. Ez az eljárás a biológiai szén-dioxid megkötés (carbon capture) egyik újabb formája, s el is nevezték mikrobiális szénmegkötő cellának (*microbial carbon capture cell*, MCC). A folyamat során a CO_2 emisszió csökkentése és az elektromos áram generálása egy bioelektrokémiai cellában szimultán játszódik le. Liu és munkatársai (2015) mutattak be egy ilyen rendszert, amit megvilágítva és sötétben egyaránt működtettek, és 187 mW/m² csúcsteljesítményt értek el.



2. ábra: CO_2 transzportja az alga-MÜC-ben

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a GINOP-2.3.2-15-2016-00016 számú, „Vízbázis-védelem, moduláris, mobil vízkezelő rendszerek és szennyvízkezelő technológiák fejlesztése a Pannon Egyetem bázisán hazánk dinamikus export növekedésének elősegítése érdekében” című projekt és az Emberi Erőforrások Minisztériuma PE-ÚNKP-2016-4-04 kódszámú (Nemestóthy Nándor) Új Nemzeti Kiválóság Programja támogatta.



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA

Irodalomjegyzék

- Adenle, A.A., Haslam, G.E., Lee, L., 2013. Global assessment of research and development for algae biofuel production and its potential role for sustainable development in developing countries. *Energy Policy* 61, 182e195.
- Alam, F., Date, A., Rasjidin, R., Mobin, S., Moria, H., Baqui, A., 2012. Biofuel from algae -is it a viable alternative? *Procedia Eng.* 49, 221e227.
- Bajracharya, S., Sharma, M., Mohanakrishna, G., Benneton, X.D., Strik, D.P., Sarma, P.M., Pant, D., 2016. An overview on emerging bioelectrochemical systems (BESs): technology for sustainable electricity, waste remediation, resource recovery, chemical production and beyond. *Renew. Energy* 98, 53e170.
- Brennan, L., Owende, P., 2010. Biofuels from microalgae a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 557e577.
- Butti, S.K., Velvizhi, G., Sulonen, M.L., Haavisto, J.M., Koroglu, E.O., Cetinkaya, A.Y., et al., 2016. Microbial electrochemical technologies with the perspective of harnessing bioenergy: maneuvering towards upscaling. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 53, 462e476.
- Chen, P., Min, M., Chen, Y., Wang, L., Li, Y., Chen, Q., Wang, C., Wan, Y., Wang, X., Cheng, Y., Deng, S., Hennessy, K., Lin, X., Liu, Y., Wang, Y., Martinez, B., Ruan, R., 2009. Review of the biological and engineering aspects of algae to fuels approach. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2, 1e30.
- Chisti, Y., 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.* 25, 294e306.
- Commault, A.S., Lear, G., Novis, P., 2014. Photosynthetic biocathode enhances the power output of a sediment-type microbial fuel cell. *NZ. J. Bot.* 52, 48e59.
- Demirbas, A., 2010. Use of algae as biofuel sources. *Energy Convers. Manag.* 51, 2738e2749.
- Freguia, S., Virdis, B., Harnisch, F., Keller, J., 2012. Bioelectrochemical systems: microbial versus enzymatic catalysis. *Electrochim. Acta* 82, 165e174.
- Fu, C.-C., Hung, T.-C., Wu, W.-T., Wen, T.-C., Su, C.-H., 2010. Current and voltage responses in instant photosynthetic microbial cells with *Spirulina platensis*. *Biochem. Eng. J.* 52, 175e180.

- Gajda, I., Greenman, J., Melhuish, C., Ieropoulos, I., 2015. Self-sustainable electricity production from algae grown in a microbial fuel cell system. *Biomass Bioenergy* 82, 87e93.
- Gude, V.G., Kokabian, B., Gadhamshetty, V., 2013. Beneficial bioelectrochemical systems for energy, water, and biomass production. *J. Microb. Biochem. Technol.* S6, 005.
- He, Z., Kan, J., Mansfeld, F., Angenent, L.T., Nealson, K.H., 2009. Self-sustained phototrophic microbial fuel cells based on the synergistic cooperation between photosynthetic microorganisms and heterotrophic bacteria. *Environ. Sci. Technol.* 43, 1648e1654.
- John, R.P., Anisha, G.S., Nampoothiri, K.M., Pandey, A., 2011. Micro and macroalgal biomass: a renewable source for bioethanol. *Bioresour. Technol.* 102, 186e193.
- Kelly, P.T., He, Z., 2014. Nutrients removal and recovery in bioelectrochemical systems: a review. *Bioresour. Technol.* 153, 351e360.
- Khayoon, M.S., Olutoye, M.A., Hameed, B.H., 2012. Utilization of crude karanj (*Pongamia pinnata*) oil as a potential feedstock for the synthesis of fattyacid methyl esters. *Bioresour. Technol.* 111, 175e179.
- Lin, C.-C., Wei, C.-H., Chen, C.-I., Shieh, C.-J., Liu, Y.-C., 2013. Characteristics of the photosynthesis microbial fuel cell with a *Spirulina platensis* biofilm. *Bioresour. Technol.* 135, 640e643.
- Liu, T., Rao, L., Yuan, Y., Zhuang, L., 2015. Bioelectricity generation in a microbial fuel cell with a self-sustainable photocathode. *Sci. World J.* 2015, 864568.
- Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T.F., 2011. Algae as a sustainable energy source for biofuel production in Iran: a case study. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15,
- Ndimba, B.K., Ndimba, R.J., Johnson, T.S., Waditee-Sirisattha, R., Baba, M., Sirisattha, S., Shiraiwa, Y., Agrawal, G.K., Rakwal, R., 2013. Biofuels as a sustainable energy source: an update of the applications of proteomics in bioenergycrops and algae. *J. Proteom.* 93, 234e244.
- Popp, J., Lakner, Z., Harangi-Rakos, M., Fari, M., 2014. The effect of bioenergy expansion: food, energy, and environment. *Renew. Sust. Energy Rev.* 32, 559e578.
- Saba, B., Christy, A.D., Yu, Z., et al., 2017b. Simultaneous power generation and desalination of microbial desalination cells using *Nannochloropsis salina* (marine algae) versus potassium ferricyanide as catholytes. *Environ. Eng. Sci.* <http://dx.doi.org/10.1089/ees.2016.0291>.
- Saratale, R.G., C. Kuppam, A. Mudhoo, G.D. Saratale, S. Periyasamy, G. Zhen, L. Kook, P. Bakonyi, N. Nemestothy, G. Kumar: Bioelectrochemical systems using microalgae - A concise research update, *Chemosphere* 177 (2017) 35e43
- Saratale, G.D., Kshirsagar, S.D., Saratale, R.G., Govindwar, S.P., Oh, M.-K., 2015. Fermentative hydrogen production using sorghum husk as a biomass feedstock and process optimization. *Biotechnol. Bioproc. Eng.* 20, 733e743.
- Saratale, G.D., Oh, M.K., 2015. Improving alkaline pretreatment method for preparation of whole rice waste biomass feedstock and bioethanol production. *RSC Adv.* 5, 91171e91179.
- Saratale, G.D., Saratale, R.G., Chang, J.S., 2013. Biohydrogen from Renewable Resources *Biohydrogen Book*. Elsevier, pp. 185e221.
- Singh, A., Van Bogaert, G., Olsen, S.I., Nigam, P.S., Diels, L., Vanbroekhoven, K., 2012. Bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy production and product recovery from organic wastes and industrial wastewaters. *Rsc Adv.* 2 (4), 1248e1263.

- Slade, R., Bauen, A., 2013. Micro-algae cultivation for biofuels: cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. *Biomass Bioenergy* 53, 29e38.
- Strik, D.P.B.T.B., Terlouw, H., Hamelers, H.V.M., Buisman, C.J.N., 2008. Renewable sustainable biocatalyzed electricity production in a photosynthetic algal microbial fuel cell (PAMFC). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 81, 659e668.
- Wang, X., Feng, Y., Liu, J., Lee, H., Li, C., Li, N., Ren, N., 2010. Sequestration of CO₂ discharged from anode by algal cathode in microbial carbon capture cells (MCCs). *Biosens. Bioelectron.* 25, 2639e2643.
- Wu, X.Y., Song, T.S., Zhu, X.J., Wei, P., Zhou, C., 2013a. Construction and operation of microbial fuel cell with *Chlorella vulgaris* biocathode for electricity generation. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 171, 2082e2092.
- Wu, Y., Guan, K., Wang, Z., Xu, B., Zhao, F., 2013b. Isolation, identification and characterization of an electrogenic microalgae strain. *PLoS One* 8, e73442.
- Wu, Y.C., Wang, Z.J., Zheng, Y., Xiao, Y., Yang, Z.H., Zhao, F., 2014. Light intensity affects the performance of photo microbial fuel cells with *Desmodesmus* sp. A8 as cathodic microorganism. *Appl. Energy* 116, 86e90.
- Xiao, L., Young, E.B., Berges, J.A., He, Z., 2012. Integrated photo-bioelectrochemical system for contaminants removal and bioenergy production. *Environ. Sci. Technol.* 46, 11459e11466.
- Zhang, Y., Noori, J.S., Angelidaki, I., 2011. Simultaneous organic carbon, nutrients removal and energy production in a photomicrobial fuel cell (PFC). *Energy Environ. Sci.* 4, 4340e4346.

MEGHÍVÓ

Ezúton tisztelettel meghívjuk Önt és munkatársait a

Magyar Kémikusok Egyesülete Membrántechnikai Szakosztályának

nyílt ülésére.

Időpont: 2017. április 26. 16.40

Helyszín: Pannon Egyetem B épület II. emeleti konferencia terem
Veszprém, Egyetem u. 10.

Az ülésre a Műszaki Kémiai Napok konferencia keretei között, a Membrán-szeparációs szekció ülését követően kerül sor.

Program: 2016. évi beszámoló
2017. évi programok
Permea'19 előkészítése

9th Eastern European Young Water Professionals Conference



Call for Papers

Uniting Europe for Clean Water:

Cross-Border Cooperation of Old, New and Candidate Countries of EU,
for identifying problems, finding causes and solutions

24-27 May 2017 Budapest, Hungary

<http://iwa-ywp.eu/>



Organised by:



Co-organised by:



Hungarian Water Utility
Association



Hungarian Water Association



Hungarian Water Cluster



Budapest Waterworks



Szent István University



SAPientia Hungarian
University of Transylvania



University of Pécs



University of Pannonia

KÖZELGŐ KONFERENCIÁK, KURZUSOK

3rd International Conference on Desalination using Membrane Technology

2017. április 2-5., Gran Canaria (Spanyolország)

<http://www.desalinationusingmembrane.com>

Műszaki Kémiai Napok '17

2017. április 25-27., Veszprém

<https://mkn.uni-pannon.hu>

Engineering with Membranes, EWM2017

2017. április 26-28., Singapore (Singapore)

<http://www.ewm2017.com/>

44th International Conference of the Slovak Society of Chemical Engineering

2017. május 22-26., Demónovská Dolina (Szlovákia)

(<http://sschi.chtf.stuba.sk/>)

9th Eastern European Young Water Professionals Conference

2017. május 24-27., Budapest

<http://iwa-ywp.eu/>

6th International Conference on Organic Solvent Nanofiltration, OSN 2017

2017. június 4., Szentpétervár (Oroszország)

<http://www.osn2017.org>

2nd Workshop on ABE Fermentation and Recovery, ABE Workshop

2017. június 19-20., Torun (Lengyelország)

<http://www.pv.chem.umk.pl>

5th International Scientific Conference on Pervaporation, Vapor Permeation and Membrane Distillation, 5th PV VP MD Co,

2017. június 20-23., Torun (Lengyelország)

<http://www.pv.chem.umk.pl>

XXXIV. Membrános Nyári Egyetem (Membranes in Biorefineries)

2017. június 26-30, Lund, Svédország

<https://www.lth.se/membranportalen/english/ems-summer-school-2017/>

13th International Conference on Catalysis in Membrane Reactors, ICCMR-13

2017. július 10-13., Houston (USA)

<http://iccmr.tamu.edu/>

The 11th International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM 2017)

2017. július 29 – augusztus 4., San Francisco (USA)

<http://www.icom2017.org/>

ImagineMembrane

2017. szeptember 24-28., Horta, Faial, Azori Szigetek (Portugália)

<http://imaginemembrane.eu/web/index.html>

International Conference on Inorganic Membranes, ICIM,

2018. június 18-22., Drezda (Németország)

<http://www.icim2018.com/>

MEMBRÁNTECHNIKA ÉS IPARI BIOTECHNOLÓGIA

A MKE Membrántechnikai Szakosztályának kiadványa ISSN 2061-6392

Felelős szerkesztő:

Bélafiné Dr. Bakó Katalin, Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Intézet, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

E-mail: bako@almos.uni-pannon.hu

A szerkesztőbizottság tagjai:

a MKE Membrántechnikai Szakosztály vezetősége: Békássyné Dr. Molnár Erika, Dr. Mizsey Péter, Dr. Hodúr Cecília, Dr. Vatai Gyula; valamint Dr. Gubicza László (lektor)

Megjelenik: negyedévente, 300 példányban

Előfizetési díja: évi 1 500 Ft

Megrendelhető: MKE Membrántechnikai Szakosztály, 1015 Budapest, Hattyú u. 16.