

ALGÁK A FEHÉR BIOTECHNOLÓGIÁBAN

Kiss Bernadett, Németh Áron, Sevella Béla
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Összefoglaló

A világ üzemanyag szükségletének dinamikus növekedése és a fosszilis üzemanyagkészlet kimerülésének állandó fenyegetése elősegítette az alternatív üzemanyagok előállításának rohamos fejlődését. Egyik téma, amely központi figyelmet kapott az utóbbi évtizedekben, a növényi olajokból előállítható biodízel. A mikroalgák előkelő helyet kapnak a biodízel gazdaságos előállítását célzó kutatásokban, ugyanakkor számos egyéb felhasználási lehetőségük van a mezőgazdaságban, kozmetikai iparban, az élelmiszeriparban és a szennyvíztisztítási technológiákban egyaránt. Jelen összeállításunkban erről a komplex kérdéskörrel szándékozunk vázlatos áttekintést adni.

Bevezetés

Kutatócsoportunk régóta foglalkozik a fehér biotechnológia „platform-alkotó” vegyületeinek előállításával, felhasználásával. Ezen a területen „platform-alkotó” kifejezéssel azon molekulákat illetik, amelyek (vegy)ipari potenciállal rendelkező származékok egész sorával (készletével, azaz platformmal) rendelkeznek. Ezek analógiájára célul tűztük ki a széles körben használható „platform”-enzimek kutatását. Ugyancsak előtérbe kerültek a „platform”-mikroorganizmusok is, mint például az algák, amelyek hatalmas potenciállal rendelkeznek többek között biofinomítóban történő hasznosításhoz. Számos területen való felhasználhatóságuk (biodízel előállítás, gyógyszeripar, kozmetikai ipar, mezőgazdaság, élelmiszeripar, szennyvíztisztítás), továbbá biológiai előállításuk miatt tartjuk őket alkalmasnak biofinomítóban történő előállításra és felhasználásra. Ennek okán kutatásaink fókuszában állnak a mikroalga fermentációk, amelyek elsődleges célja a hatékony alga-biomassza előállítás megvalósítása. Ehhez szükséges előbb laboratóriumi léptékben, a későbbiekben pedig kísérleti üzemi léptékben meghatározni azokat a legfontosabb paramétereket, amelyek meghatározzák a biomassa hozamot [1-2].

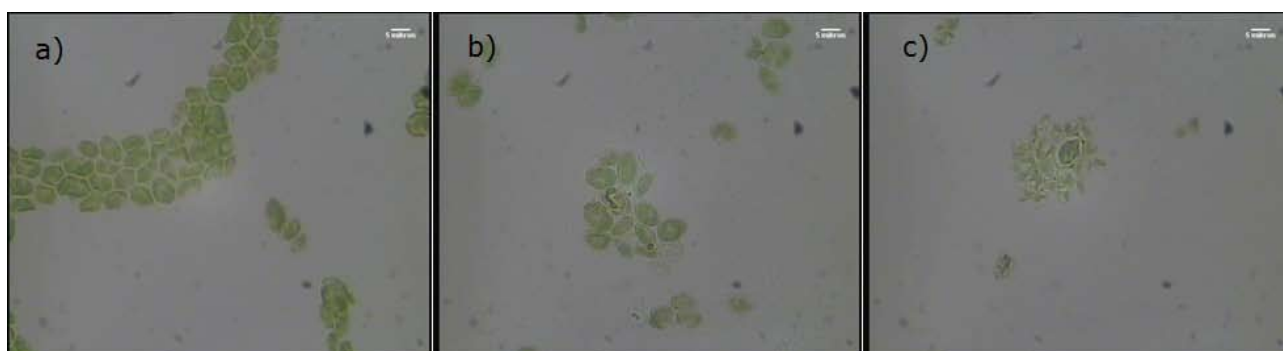
Algák

Az algák olyan fotoszintetikus élőlények, amelyek valódi gyökérrel, szárral, levéllel és virággal nem rendelkeznek. Méretük igen változatos, a néhány μm -es, bakteriális méretű, szabadon úszó sejtektől egészen a több méteres, növény-szerű társulásokig. Korábban az algákat méretük szerint (nem taxonómiailag) mikro- és makroalgákra osztották. A makroalgák nagyobb méretűek, az aljzathoz rögzülve nőnek, szabad szemmel is jól láthatóak (1. ábra). Idetartoznak a vörös-, barna- és zöldmoszatok.



1. ábra. Makroalgák [27].

A mikroalgák ezzel szemben kisméretűek (2. ábra), általában egyedül vagy kisebb sejtcsoportokban úszva élnek [3-7].



2. ábra. Kutatócsoportunk által fenntartott mikroalgák mikrosztópos képe 1000-szeres nagyításban: a) *Chlorella vulgaris* tihanyi izolátum, b) *Chlorella vulgaris* hamburgi izolátum, c) *Nannochloropsis* sp.

Az utóbbi évek kutatásai alapján az evolúciós elágazások rekonstruálásával és proteomikai, illetve filogenetikai alapon próbálják besorolni az algákat különböző taxonómiai csoportokba, figyelembe véve a morfológiát, az ultrastruktúrát, valamint a genetikai állományt. Egybehangzó vélemény még nem alakult ki pontos besorolásukat illetően [2]. A mikro- és makroalgákra történő felosztás mellett prokarióta és eukarióta szempontból is megkülönböztetik őket, ami jelzi a sejtszerkezeti jelentős különbségeket e két csoport között, és alapvetően befolyásolja a felhasználási lehetőségeket.

A jó termelési kihozataluk, gazdag aminosav, vitamin és ásványi anyag tartalmuk helyezi az algákat előtérbe más ipari mikrobákkal, illetve növényekkel szemben. Hektáronkénti olajtermelő kapacitásuk jóval nagyobb (58.700 l/ha), mint más szárazföldön termelt haszonnövényé (kukorica:172 szója:446, pálma:5950 l/ha) [1].

Kozmetikumok

Jelentős igény tapasztalható a tengeri élőlényekből készített termékek iránt a bennük lévő vitaminok, antioxidánsok és olajok miatt a kozmetikumok piacán is. Felhasználják őket szappanok, testápolók, krémek, arc maszkok, pakolások, bőrtisztítók készítésénél. A *Chlorella vulgaris* (*Trebuxiophyceae*, eukarióta, mikroalga) fajból előállított termékek ránceltávolító hatása is ismert, mivel elősegítik a kollagén termelését a bőrben, ezáltal serkentve annak regenerálódását, hidratálódását [8-10].

Élelmiszeripar

Táplálkozási szempontból jelentős az algák esszenciális aminosav, fehérje, vitamin, zsírsav, antioxidáns és rost tartalma. Makro méretű képviselőiket régóta használják salátaként nyersen fogyasztva. Egyes fajok, mint például a *Gracilaria sp.* (*G. domingensis*, *G. birdiae*)(*Rhodophyta*, eukarióta) és a *Laurencia sp.* (*L. filiformis*, *L. intricata*)(*Rhodophyta*, eukarióta) igen gazdagok többszörösen telítetlen omega-3 és omega-6 zsírsavakban, valamint megfelelő proteinforrások a magas fehérje, illetve esszenciális aminosav tartalmuk miatt. A *Sargassum vulgare* (*Phaeophyceae*, eukarióta, makroalga) fajt esszenciális aminosav tartalma miatt fogyasztják előszeretettel a keleti országokban. Napjainkban egyre elterjedtebbé válik a mikroalgák étrend kiegészítő kapszulaként való fogyasztása (*Spirulina* (*Cyanophyceae*, mikroalga), *Chlorella*) és természetes étel színezőként történő használata [11-15].

Mezőgazdasági felhasználás

Az állati takarmányozásnál - hasonlóan az emberi táplálkozáshoz - fontos szerepet játszanak az ásványi anyagok, aminosavak, fehérjék, melyek mind megtalálhatóak az algákban. A szójafehérjéhez képest az algák esszenciális aminosav (metionin, treonin, valin, hisztidin) tartalma magasabb, valamint egyéb amino-karbonsavak, illetve -amidok is megtalálhatóak bennük, pl. *Enteromorpha* (*Ulvophyceae*, eukarióta) esetén: szerin, aszparagin, glutamin, alanin, prolin, tirozin. Felhasználásuk történhet közvetlen etetéssel vagy a takarmányba kiegészítőként keverve.

A mezőgazdaság további területein is felhasználják az algákat. Egyrészt szerves trágyaként a szántóföldekre kiszórva, kiegészítve a szervesetlen műtrágyákat, ezzel csökkentve azok felhasznált mennyiségét, valamint egyre elterjedtebb hazánkban is a lombtrágyázás alkalmazása. Ez elősegíti a növények ellenálló képességének kialakulását, jobb terméshozamok érhetőek el a használatával. Mérések szerint növekedett a hasznos nyomelem tartalom a termésekben azokhoz viszonyítva, amelyeken nem használtak alga kivonatot tartalmazó lombtrágyát [14,16-20].

Gyógyszeripar

Bioaktív anyagaik révén előszeretettel alkalmazzák az algákat a gyógyszer előállításokban is. Klorofill tartalmuk miatt (főként *Chlorella vulgaris* fajt) fekély kezelésére alkalmas krémekbe keverik, elősegítve a bőr regenerálódását. Koreában a népi gyógyászatban már régóta használnak terápiás kezelésre alga

készítményeket. Az új gyógyszeripari alga kutatások számos bioaktív anyag felfedezését tették lehetővé, melyek új gyógyszerek kifejlesztését segíthetik elő az elkövetkezendő években. Antiallergén hatásuk mellett a kutatók vérnyomás csökkentő (*Ecklonia stolonifera*: florofukofuroekol-A, dieckol), rák megelőző, gyulladásgátló (*Ulva laetuea*: 3-O- β -D-glükopiranozil-sztigmaszta-5,25-dién) és elhízás ellenes hatásokat tulajdonítanak az algáknak [23-24].

Környezetvédelem (szennyvíztisztítás, CO₂ felhasználás)

Környezetvédelmi fontosságuk és alkalmazhatóságuk abban nyilvánul meg, hogy képesek kis molekulatömegű elemeket és ionokat felvenni, mint például nehézfémeket és foszfort, illetve nitrogént elnyelni. További nagyon jelentős felhasználási terület lehet a gyárak/erőművek által kibocsátott szén-dioxid megkötése és abból hasznos biomassza tömeg előállítása.

Ipari szennyvizek és kommunális szennyvizek tisztításában is használnak algákat. Előbbinél kitüntetett szerepük van a nehézfémek eltávolításában, utóbbinál a degradáció javításában, a CO₂ egyensúly beállításában és a baktériumok oxigén ellátásában [25-26].

Kihívások az alga biomassza előállításban

Az algák növekedéséhez nem szükséges összetett tápközeg, néhány esetben elegendő a tengervíz kiegészíteni szervesen nitrogén (pl. műtrágya) és foszfor forrással, valamint néhány mikro mennyiségben szükséges tápkomponenssel. A tenyésztés a makroalgák esetében lehet tengervízben, az erőművek által termelt szén-dioxidot felhasználva szervesen szénforrásként. A mikroalgáknál viszont előnyösebb az úgynevezett Raceway tavak és fotobioreaktorok használata. Egyik legnagyobb üzem, amely Raceway tó kialakítást használ, az Earthrise Spirulina farmja Kaliforniában. 108 hektáron, 30 tóban tenyésztene mikroalgát élelmiszeripari célra. A kivitelezés lehet betonozott, földbe vást, esetleg fehér fóliával bélelt recirkuláltatott csatorna rendszer.

Ezzel ellentétben a fotobioreaktorok egy zárt csőrendszert alkotnak. A csőátmérő fontos szempont a fény hasznosulásánál, mivel annak behatolása a biomassza tömegbe fontos tényező a növekedésnél. Mivel zárt a rendszer, így a nappali órákban szükséges hűtést alkalmazni, hogy az ideális 20-30 °C közötti hőmérséklet fenntartható legyen, valamint a gázvezetést gáztalanítók beszerelésével kell megoldani. Azonos CO₂ felhasználás mellett összehasonlították a két szárazföldi termelést. Mind volumetrikus termelékenységekben (fotobioreaktorok: 1,535 kg/m³d; Raceway tavak: 0,117 kg/m³d), mind területi termelékenységekben (fotobioreaktor: 0,048 kg/m²d; Raceway tavak: 0,035 kg/m²d) a fotobioreaktorok tűnnek hatékonyabbnak, de egyúttal költségesebbnek is [1,28].

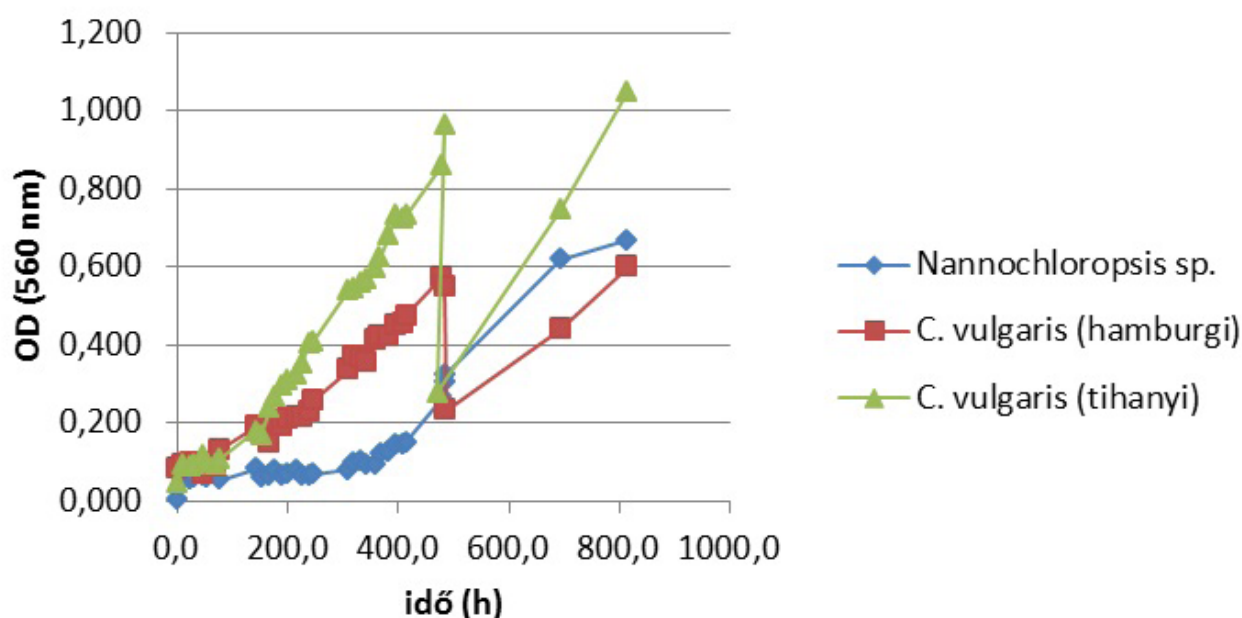
Kísérleteink és terveink

Az előbbi összefoglalóból jól látszik, hogy biomassza tömegük számos fontos ipari területen felhasználható, ezért tűztük ki célul a hatékony, jól hasznosítható algák előállítását. Ennek okán beszereztünk 4, gyakran alkalmazott alga törzset: egy *Nannochloropsis* sp.-t és három *Chlorella* sp.-t. Céljaink közt szerepel a

gyűjtemény kibővítése egyéb, iparban használatos fajokkal, például *Spirulina* törzsekkel is.

Összehasonlító kísérleteket a *Nannochloropsis* fajjal, valamint két *Chlorella vulgaris* fajjal (tihanyi és hamburgi izolátum) végeztünk és a növekedésüket vizsgáltuk üvegtestű asztali bioreaktorokban (B. Braun Biostat Q). A felvett növekedési görbék alapján fajlagos szaporodási sebességeket határoztunk meg (3. ábra). Ez alapján a további vizsgálatokat a tihanyi izolátummal tervezzük, mivel az jóval gyorsabban szaporodott a másik kettőhöz képest és a biomassa végtitere is közel duplája lett (*Nannochloropsis* sp.: 0,21 g/L, *Chlorella vulgaris* (hamburgi): 0,23 g/L, *Chlorella vulgaris* (tihanyi): 0,37 g/L).

Összehasonlító fermentációk



3. ábra. Mikroalga fermentációk összehasonlítása. Spektrofotométerrel 560 nm-nél mért optikai denzitás mérések eredményei.

A nagyobb sejttömeg elérése érdekében atmoszférikus változtatások vizsgálatát tervezzük CO₂ adagolás és a levegőztetés térfogatáramának változtatásával. Heterotróf vizsgálatok mellett mixotróf kísérletek elvégzését is ígéretesnek tartjuk, mely esetben a heterotróf és az autotróf növekedési formák előnyei kombinálhatóak. Terveink között szerepel még a beltartalom (olaj, vitamin) meghatározása a nálunk fenntartott törzsekből és tartalmi változásuk vizsgálata az eltérő kísérleti körülmények között.

Összegzés

A felsorolt számos példa jól illusztrálja az algák széleskörű alkalmazási lehetőségeit. Ezek indokolják, hogy mint „platform élőlényt” a fehér biotechnológiai kutatásaink keretein belül tanulmányozzuk és az alga előállítás hatékonyságát

fejlesszük. A szerteágazó platform miatt a biofinomító-koncepcióba történő bevonásuk is megvalósíthatónak tűnik, hiszen ha a feldolgozási műveleteket megfelelő sorrendben végezzük, akkor egy maradéktalanul hasznosítható, jól frakcionált termékspektrumot lehet előállítani, miközben a technológiához szükséges energiát is részben vagy egészben szolgáltatja.

Irodalomjegyzék

- [1] Chisti, Y. (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* **25**: 294–306.
- [2] Day, J.G., Slocombe, S.P., Stanley, M.S. (2012) Overcoming biological constraints to enable the exploitation of microalgae for biofuels. *Bioresource Technology* **109**: 245–251.
- [3] Pröschold, T., Leliaert, F. (2007) [Unravelling the algae: the past, present, and future of algal systematics](#). In: Systematic of the green algae: conflict of classic and modern approaches (Brodie, J., Lewis, J., Ed.)(CRC Press Taylor & Francis Group, London) pp. 123–153.
- [4] Bhattacharya, D., Medlin, L. (1998) Algal Phylogeny and the Origin of Land Plants, *Plant Physiol* **116**: 9–15.
- [5] van den Hoek, C., Mann, D.G., Jahns, H.M. (1995) Algae, an introduction to phycology. (Cambridge University Press, Cambridge) pp. 1–41.
- [6] <http://www.slideshare.net/nataliepopik/algae-book>
- [7] <http://www.reference.com/browse/algae>
- [8] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. (2006) Commercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* **101**: 87–96.
- [9] <http://www.alga-net.com/cosmetics/cosmetics.htm>
- [10] <http://www.alga-net.com/seavegetables/spirulina.htm>
- [11] Imhoff, J. F., Labes, A., Wiese, J. (2011) Bio-mining the microbial treasures of the ocean: New natural products. *Biotechnology Advances* **29**: 468–482.
- [12] Gressler, V., Yokoya, N.S., Fujii, M. T., Colepicolo, P., Filho, J. M., Torres, R. P., Pinto, E. (2010) Lipid, fatty acid, protein, amino acid and ash contents in four Brazilian red algae species. *Food Chemistry* **120**: 585–590.
- [13] Plaza, M., Cifuentes, A., Ibáñez, E. (2008) In the search of new functional food ingredients from algae. *Trends in Food Science & Technology* **19**: 31–39.
- [14] Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., Danquah, M.K. (2010) Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **14**: 1037–1047.
- [15] <http://www.balintcseppek.hu/a-honap-gyogynovenye.html>
- [16] http://egeszsegbolt.unas.hu/spd/unas_983912/Spirulina_alga_kapszula_360_db_sb
- [17] <http://spirulina-chlorella.biomax.hu/>
- [18] Víg, R., Dobos, A., Molnár, K., Nagy, J. (2010) Természetes alapú lombtrágyák hatékonysága szabadföldi kísérletekben: Kukorica (*Zea Mays* L.) *Növénytermelés* **59**: 89–105.
- [19] Tripathi, R.D., Dwivedi, S., Shukla, M.K., Mishra, S., Srivastava, S., Singh, R., Rai, U.N., Gupta, D.K. (2008) Role of blue green algae biofertilizer in ameliorating the nitrogen demand and fly-ash stress to the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Chemosphere* **70**: 1919–1929.

- [20] Aguilera-Moralesa, M., Casas-Valdeza, M., Carrillo-Dominguez, S., Gonzalez-Acosta, B., Perez-Gil, F. (2005) Chemical composition and microbiological assays of marine algae *Enteromorpha* spp. as a potential food source. *Journal of Food Composition and Analysis* **18**: 79–88.
- [21] <http://www.alga-net.com/industry/fertilizers.htm>
- [22] <http://naturah.hu/index-2.html>
- [23] Voa, T.-S., Ngoa, D.-H., Kim, S.-K. (2012) Marine algae as a potential pharmaceutical source for anti-allergic therapeutics. *Process Biochemistry* **47**: 386–394.
- [24] El Gamal, A.A. (2010) Biological importance of marine algae. *Saudi Pharmaceutical Journal* **18**: 1–25.
- [25] Pires, J.C.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., Martins, F.G., Simões, M. (2012) Carbon dioxide capture from flue gases using microalgae: Engineering aspects and biorefinery concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**: 3043–3053.
- [26] Stewart, C., Hessami, M.-A. (2005) A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration—the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach. *Energy Conversion and Management* **46**: 403–420.
- [27] <http://open-reef.com/phpbb/viewtopic.php?f=4&t=22>
- [28] <http://www.earthrise.com/farm.html>



Kiss Bernadett 5. éves (2. éves MSc) hallgató a Budapesti Műszaki Egyetem Vegyészmérnöki karán, biomérnök szakon, alkalmazott biotechnológia szakirányon. A témával a BME Kutató Egyetemi pályázatának keretein belül közel 2 éve foglalkozik.



Németh Áron 2002-ben végzett a Budapesti Műszaki Egyetem Vegyészmérnöki karán mint biomérnök, ipari biotechnológia szakirányon. 2008-ban szerzett PhD fokozatot, majd előbb tanársegédként, jelenleg pedig adjunktusként dolgozik a Fermentációs Kísérleti Üzemi kutató csoportban (F-labor). Főbb kutatási területei: mikrobiális és enzimes folyamatok vizsgálata, fermentációs technológiák kifejlesztése.



Sevella Béla vegyészmérnök, 1970 óta a BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Karának oktatója, a tudomány kandidátusa, 1993 óta habilitált professzor és a Mezőgazdasági Kémiai Technológia Tanszék tanszékvezetője 2007-ig, továbbá a fermentációs kutató csoport vezetője. Főbb kutatási területei: fermentációs technológiák fejlesztése, optimalizálása, fermentációs rendszerek kinetikai, anyagátadási folyamatainak vizsgálata. Az általa vezetett iskolából graduális vegyészmérnökök és biomérnökök százai kerültek ki, több egyetemi doktori és kandidátusi, illetve PhD disszertáció készült irányítása alatt, jelenleg is aktív PhD témavezető.