



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN GREEN INNOVATION

Available online at <http://greeneconomy.karolyrobert.hu/>

SERTÉS-HÍGTRÁGYÁRA ALAPOZOTT KAPCSOLT ENERGIA- ÉS TAKARMÁNY-ELŐÁLLÍTÁS

Simultaneous Energy- and Feed Production Based on Pig Sludge

BAI Atilla¹

¹Debreceni Egyetem

Összefoglalás

A Világ talán legfontosabb, hosszú távon egyszerre nehezen megoldandó problémái az élelmiszer- és energia-ellátás, valamint az élhető környezet biztosítása. A nemzetközi tendenciák azt mutatják, hogy ezek megoldására a szennyvíz-gazdálkodással összekötött, füstgáz-bevezetéssel kombinált, a melléktermékeket takarmányozásra hasznosító és biodízel előállítására alkalmas nagy olajtartalmú algafajok termesztése tekinthető az egyik legígéretesebb alternatívának.

A Debreceni Egyetem AGTC és a Monergo Kft együttműködésével 2009-től folynak termesztéstechnológiai kísérletek ebben a témában. Kísérleteinket 4 algafajjal (*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus quadricauda*, *Sc. dimorphus*, *Spirulina platensis*) végeztük el. Kisüzemi kísérleteink alapján úgy véljük, hogy az algatelep megvalósítása a sertéstelepeken lehetővé teszi a képződő összes melléktermék hatékony hasznosítását, piacképes termékek előállítását, illetve jelentős költségek (takarmány, műtrágya, mosóvíz) megtakarítását. Kísérleteinket 2013-tól várhatóan kiterjesztjük a takarmányozási célú hasznosításra is.

Kulcsszavak: alga-előállítás, bio-üzemanyag, alga-olaj, takarmányozás, termesztés-technológia,

Abstract

Food- and energy supply as well as livable environment can be considered as the most important, but simultaneously hard to be solved troubles of mankind in the long run. Based on international tendencies, production of algae species with high oil-content and suitable for utilization of by-products for foddering- and biodiesel production, connected with sludge management and flue gas utilization can be regarded one of the most promising method.

Experimentations in algae production technology has been delivered since 2009 in this topic by the cooperation of University of Debrecen and Monergo Ltd. We tested 4 algae species (*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus dimorphus*, *Spirulina platensis*) during our investigations. Based on our small scale tests we suppose that establishment of an algae pond/plant can allow the effective utilization of all of by-products of a pig farm, the production of marketable final products and significant costs savings (foddering, fertilization, washing water). We are going to continue our experimentations from 2013 especially in the topic of algae use as animal feeding.

Keywords: algae-production, bio-fuel, algaol, feeding, production technology,

Bevezetés

A Világ talán legfontosabb, hosszú távon egyszerre nehezen megoldandó problémái az élelmiszer- és energia-ellátás, valamint az élhető környezet biztosítása. Növekvő népesség számára, igen korlátozottan bővíthető területen kellene egyszerre élelmiszert és energiát előállítanunk, fenntartható módon. Az energetika szerepe napjainkban kulcsfontosságú, hiszen forrásoldalról (a rendelkezésre álló fosszilis energiák, infrastruktúra és mezőgazdasági területek), valamint kibocsátási oldalról (üvegház-hatású gázok) is korlátozottak a lehetőségeink. Az élelmiszer- és ivóvíz előállítása szintén energiát igényel, az intenzív technológiák alkalmazása viszont környezetvédelmi szempontból lehet aggályos. Az állattartó telepeken képződő hígtrágya tárolása, kezelése és kijuttatása kötelező, ám költséges feladatot ró ezen vállalkozásokra, a kisszámú mezőgazdasági biogáztelepen pedig a jellemző kogenerációs technológiák alkalmazásakor képződő hulladékhő és füstgázok felhasználása

jelent nehezen megoldható problémát. Utóbbival szembesülnek az egyéb típusú megújuló és fosszilis hőerőművek is. Mindezekre a problémákra egyidejűleg képesek egyfajta lehetséges megoldást nyújtani az algák. Az algák elméletileg képesek lehetnének az olaj teljes mennyiségének helyettesítésére, növekedésükhöz pedig olyan anyagokat használnak fel, melyek más eljárásoknál melléktermékként keletkeznek, de többnyire kárba vesznek (hulladékhő), vagy kifejezetten káros hatásúak (széndioxid, szennyvízben található tápanyagok). A jelenleg alkalmazott eljárások közül hazánkban a nyíltvízi technológia az időszakos (nyári időszakra szorítkozó) termelés és a szennyeződés (más algafajok bekerülésének és elszaporodásának veszélye) miatt, a fotobioreaktoros (PBR) technológiák alkalmazása pedig beruházásuk és működtetésük igen jelentős költségigényének köszönhetően tekinthető problematikusnak (Bai et al, 2010).

A Debreceni Egyetem AGTC és a Monergo Kft együttműködésével 2009-2010 között végeztünk saját kisüzemi termesztés-technológiai kísérleteket ebben a témában, amit a gyakorlatban, üzemi méretben is meg szándékozunk valósítani, kiegészítve a megtermelt algából az algaolaj-metilészter kivonásával, a maradékanyagok pedig (pozitív eredmények esetén) a sertés-takarmányozásban való hasznosításával. A megvalósult kísérletek legfontosabb indokait, tapasztalatait és jövőben várható továbbfejlesztési lehetőségeit a következőkben foglalom össze.

Szakirodalmi áttekintés

Az előzőekben érintett, globális problémák nagyságát érzékeltetik a következő szám adatok (www.worldometers.info.hu, 2013):

- Egy nap alatt mintegy 22 ezer ember hal éhen, kb. 2 Mrd kevesebb, mint napi 2 USD-ből él
- 1,6 Mrd túlsúlyos ember él, súlycsökkentésre napi 488 M USD-t költenek csak az USA-ban
- Kb. 288 TWh energiát fogyasztunk el egy nap, ennek mintegy 7500-szorosa éri el a Földet napsugárzás formájában, az átlagos energiafogyasztás 1790 kgOE/fő/év
- A jelenlegi becslések szerint mintegy 15 ezer napig tart még ki az olaj, 60 ezer napig a földgáz, 150 ezer napig a szénkészletek.
- Az ideai széndioxid-kibocsátás várhatóan eléri a 33 Mrd t-t, a termőföld-veszteség (erózió, elsivatagosodás) a 19 Mha-t, az erdőveszteség az 5 Mha-t.
- Mindeközben 7,17 Mrd ember él a Földön, jövőre mintegy 82 millióval leszünk többen...

A Világ energiafogyasztása közel egyenletesen, az utolsó 20 évben évente átlagosan 2,3 %-kal növekedett és 2011-ben meghaladta az 550 EJ-t (1. táblázat).

1. táblázat: A Világ energetikai adatai (2011)

	M.e.	2011	2011 (EJ)	2011 (%)	2011 / 1990	2011 / 2010	Legfontosabb országok
Összes fogyasztás	EJ	549			2,3%	2,20%	CH, USA, IND, RUS
Összes termelés	EJ	555			2,4%	2,70%	CH, USA, RUS
Ebből kőolaj	Mt	4050	170	31%	1,3%	1,30%	SAA, RUS, USA
földgáz	Mrd m ³	3366	118	21%	3,0%	2,50%	USA,RUS
szén	Mt	7586	168	30%	2,9%	5,30%	CH, USA
atom	MtOE	703	30	5%			
megújulók	EJ	70	70	13%	2,3%	2,20%	
megújulók	%	13			NIG: 85 %, BRA:45%...EU: 13 %		

Forrás: Global Energy Statistics Yearbook, 2012, IEA, 2012

Az életszínvonal növelése – az energiatakarékossági intézkedések ellenére – egyre több energiát kíván. Nagy problémaként jelentkezik a termelés és a felhasználás térbeli struktúrájának eltérése, az EU energiafüggsége 54%, míg az olajimport eléri a 85 %-ot (Eurostat, 2013), ezek a számok gyakorlatilag megegyeznek a hazai mutatókkal is (52 %, illetve 82 %).

A megújulókat ugyanakkor jelenleg globálisan mindössze 13 %-át fedezik a felhasznált energiának. A megújuló iparág ugyanakkor ugrásszerűen fejlődik: a Világon az erre fordított beruházások értéke a 2004 évi 39 Mrd USD-ről 2011-ig 257 Mrd USD-re emelkedett, az ágazat jelenleg 5 millió embert foglalkoztat. Ugyanakkor ahhoz, hogy a 2 Celsius fokot ne haladja meg a globális hőmérséklet-emelkedés 36 ezer Mrd USD beruházás lenne szükséges (IEA, 2012). Jelenleg a megújuló energia aránya az EU energia-felhasználásában 13 %, melynek kétharmada biomasszából származik. Hazánkban a megújulókat részaránya kisebb (9,1 %), ennek azonban 90 %-a biomassza (Eurostat, 2013).

A hazai állatállomány a rendszerváltás óta folyamatosan csökken, a költségek meghatározó része a takarmányozáshoz kötődik. A sertéságazatban a nagy fehérjetartalmú abraktakarmányok felhasználása nélkülözhetetlen, ugyanakkor ezek döntő részét importáljuk, az alapanyagul szolgáló szója ára az utóbbi években többszörösére nőtt. Igen nagy jelentőse lenne tehát mind az állattartó telepek, mind a nemzetgazdaság szempontjából a hazai fehérjetakarmányok előállításának. A nagyüzemi sertésnevelésben általánosan alkalmazott, almózás nélküli tartástechnológia egyik következménye pedig a jelentős mennyiségű hígtrágya képződése, amelynek szakszerűtlen kezelése és elhelyezése komoly környezeti kockázattal jár. Az algák előállítása nemcsak a takarmányozásban játszhat nagy szerepet, hanem egyidejűleg lehetővé teszi a sertésnevelésben képződő hígtrágya kezelését is. Amennyiben utóbbit már biogáz-telep építésével megoldotta az adott vállalkozás, ott pedig a biogáztelep alapanyag-ellátásában, a hulladék- és a füstgáz felhasználásában lehet jelentős szerepe a kapcsolt algatelepeknek.

Az algatelepek létesítése tehát elősegíti a hazai sertéságazat fejlesztéséről szóló nemzeti koncepció (1323/2012 (VIII. 30.) számú Korm. határozat) és hazánk megújuló energetikai vállalásainak (megújuló energia: 14,65 %, ÜHG-kibocsátás: 20 %, Nemzeti Intézkedési Terv, 2010, Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terv, 2011) valamint az EU melléktermékek hasznosítását ösztönző előírásainak (Nürnbergi Deklaráció, 2007) teljesítését is. 2013-ban az EU Energiaügyi Bizottsága azt a javaslatot terjesztette az Európai Parlament elé, hogy azon bioüzemanyagok részaránya a kötelező bekeverésben, amelyeknek alapanyaga élelmiszer célra használatos, 2020-ban csak 6,5 százalékig legyen elszámolható. Az Európai Parlament döntése őszre várható (AKI, 2013). Az algaolaj-metilészter (AME) újabb generációs üzemanyagnak minősül, így nem érinti ez az esetleges korlátozás.

A mikroalga-termesztés jelenleg az alap- és alkalmazott kutatások egyik húzóágazatának számít, mivel mezőgazdasági termelésre egyébként kevésbé, vagy egyáltalán nem alkalmas területeken képes magas hozamokkal élelmiszer-, takarmány-, ipari-, illetve energetikai alapanyagok előállítására. Egyetlen mikroalga-faj akár több célra is alkalmas lehet.

Környezetvédelmi szempontból egészen egyedülállóan hatékony rendszerként működnek az algák. Mivel a nagymennyiségű szervesanyag-termeléshez a kiválóan hasznosított fényenergia mellett hatalmas széndioxid-mennyiség is szükséges, a levegőből vízbe diffundáló gáz pedig ehhez kevés, ezért sokszor a széndioxid hiánya jelenti a hozamkorlátozó tényezőt. Ennek pótlására akár a biogáz-üzem gázmotorjának füstgázánál képződő CO₂-gáz is alkalmas. Mindez azt eredményezi, hogy az algák által megkötött CO₂ nem kerül ki a légkörbe, így a biogáz-üzem károsanyag-kibocsátása töredékére csökken. Ezen túlmenően szennyvíz-tisztítási szempontból sem elhanyagolható a jövőbeni szerepük, hiszen az algák esetében a nap energiájával egyes szennyezőanyagok tápanyagként is hasznosíthatók.

Szennyvíz-tisztítási szempontból igen hatékony rendszerként működhetnek az algák. Napjainkban az oxidáció hagyományos folyamata jelentős mechanikai energiát igényel, ami az algák esetében a nap energiájával valósítható meg, amelyek számára egyes szennyezőanyagok tápanyagként is hasznosíthatók. Kísérleteink legfőbb célja a legnagyobb mennyiségű és legértékesebb alga-biomassza előállítása volt, ezért a nitrogén beépítésére vonatkozóan nem végeztünk kísérletet. Fogg (1941) és Craggs et al (2013) szerint viszont amennyiben az algahozam eléri a 300 kg szárazanyag/ha-t (kb. 60 t sz.a./ha/év), akkor maximum 24 kg/ha N-t (és 3 kg/ha foszfort) képes megkötni naponta. Park et al (2011) szerint ezzel a szennyvíz nitrogén-tartalma 1 g/m³ alá csökkenthető, a hagyományos szennyvíztisztítási eljárásoknál jóval alacsonyabb költséggel.

A légköri károsanyag-megkötésben is jelentős szerepük lehet. Az algafajok magas fotoszintetikus aktivitása lehetővé teszi a többi szántóföldi növényhez képest kiemelkedően magas hozamok elérését is, amennyiben a fotoszintézishez és a növekedéshez szükséges feltételek (fény, hőmérséklet, makro- és mikro-tápanyagok, valamint szén-dioxid) rendelkezésre állnak. Mivel a levegőben normál esetben mindössze 0,039 térf% (390 ml/l) a széndioxid-koncentráció és ebből is mindössze 0,7 ml (1,4 g)/l diffundál a vízbe egyensúlyi állapotban, ezért terméskorlátozó tényezőként sok esetben a széndioxid hiánya jelentkezik, ennek pótlására pedig akár a biogáz-üzem által kibocsátott CO₂-gáz is alkalmas lehet. A biogáz erre önmagában alkalmatlan, mert a szén-dioxid mellett képződő metán és kén-hidrogén az algákra káros hatással van.

Az algatermesztés legfontosabb jellemzői a szántóföldi növényekkel összehasonlítva (Bai-Herpergel, 2009):

- Rendkívül gyors a szaporodásuk és mivel nem tudják hosszabb ideig raktározni a tápanyagokat, tömegük jellemzően naponta megduplázódik. Ennek köszönhetően a betakarítás akár hetente elvégezhető, ami folyamatos bevételt jelent és a feldolgozóipari üzemek folyamatos üzemelését is lehetővé teszi rövid készletezési idővel.

- Igen jó (5-7 %) hatásfokkal hasznosítják a fényenergiát, aminek eredményeképpen egységnyi területről a szárazföldi növények többszörösét kitevő biomassza takarítható be (akár 150-300 t/ha). Ebből következően a magas olajtartalmú algafajok olajhozama (50-90 ezer l/ha) is nagyságrendileg felülmúlja a jelenleg felhasznált olajnövényekét.
- Nem igényel termőföldet, nem veszélyezteti az élelmiszer- és takarmány-előállítást, sőt a bioüzemanyag gyártása során képződő melléktermék élelmiszer- és takarmány-alapanyagként szolgál.
- Nem léteznek vetésváltási problémák, illetve egymástól eltérő befektetett eszközök beszerzése, hiszen a gazdasági hasznosításra szánt algafajok termesztésének a technológiai folyamatai megegyeznek. Egyedül az adott algafaj specifikus környezeti igényeit (fény, hőmérséklet, tápanyag, széndioxid) kell figyelembe venni, melyek megfelelően kiépített technológia esetén könnyedén megváltoztathatóak. Ebből adódóan könnyen át lehet térni energiacélú algatermesztésről takarmánycélúra, illetve lehetséges bármilyen formában előállítani az energiát (2. táblázat).
- A megújuló energiaforrások részaránya jelenleg energiaértékre vetítve 1,3 e%-ot tesz ki és ehhez felhasználja a Világ mezőgazdasági területének mintegy 3 %-át. Tekintettel az olajfogyasztás növekedésére, sem az előállítás arányának, sem a felhasznált területnek a lényeges növekedése rövid távon nem várható. Mindez aláhúzza, hogy az elsőgenerációs bio-hajtóanyagoknak a jövőben is csak kiegészítő szerepe lehet. Ugyanakkor megfelelő algafajokkal elvileg 110-120 millió ha-on, a Világ vízfelületének mindössze 3-4 %-én előállíthatnánk a jelenlegi olajfogyasztásunk nyersanyagát.

2. táblázat: Algafajok beltartalmi mutatói (M.e.: %)

Beltartalmi paraméter	Fehérje	Szénhidrát	Lipidek
Algafaj / opt. felhasználási cél	Takarmány	Bioetanol	Biodízel
Anabaena cylindrica	43-56	25-30	4-7
Chlamydomonas reinhardtii	48	17	21
Chlorella pyrenoidosa	57	26	2
<u>Chlorella vulgaris</u>	51-58	12-17	14-22
Dunaliella bioculata	49	4	8
Dunaliella salina	57	32	6
Euglena gracilis	39-61	14-18	14-20
<u>Porphyridium cruentum</u>	28-39	40-57	9-14
Prymnesium parvum	28-45	25-33	22-38
Scenedesmus dimorphus	8-18	21-52	16-40
<u>Scenedesmus obliquus</u>	50-56	10-17	12-14
Scenedesmus quadricauda	47	n.a.	1,9
Spirogyra sp.	6-20	33-64	11-21
Spirulina maxima	60-71	13-16	6-7
<u>Spirulina platensis</u>	46-63	8-14	4-9
Synechococcus sp.	63	15	11
Tetraselmis maculata	52	15	3

Forrás: Becker, (1994) in www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e0h.htm in Bai-Herpergel (2009)

Barlow et al. (1975) szerint a sertéshígrágya összetétele kedvező az algatermesztés szempontjából és az algafajok közül a *Chlorella vulgaris* az, amely ezen a táptalajon a legnagyobb biomassza-mennyiség előállítására képes. A sertéstrágya ammónia-nitrogénben rendkívül gazdag, amely az a N-forma, melyet ezen algák a leghatékonyabban képesek hasznosítani (Capblancq, 1982). Ördög (2009) is alátámasztja azt, hogy a mikroalgák egyszerre képesek csökkenteni a légkör széndioxid-tartalmát és a jövőben meghatározó szerepet játszani az újabb generációs bio-üzemanyagok előállításában.

Az algából előállított biodízel energiatartalma (41 MJ/kg) ugyan elmarad a gázolajétól (42,7 MJ/kg), de jelentősen magasabb a hagyományos növényolajokétól (39-40 MJ/kg, Demirbas 1998; Rakopoulos et al. 2006; Xu et al. 2006). A *Chlorella* fajokban található lipidekben nagyon magas a többszörösen (négyyszeresen) telítetlen

zsírsavak aránya, Demirbas (2009) szerint ennek átlagértéke 63 %, ami igen kedvező a belőle készült hajtóanyag hidegindítási tulajdonságainak szempontjából.

Az algából előállított biodízel önköltségére Christi (2007) PBR-rendszerekben 1,40 USD/l, nyílt tavakban 1,81 USD/l önköltséget adott meg, feltételezve az alga 30 %-os lipidtartalmát és a széndioxid ingyenes rendelkezésre állását. Összességében ugyan nem elhanyagolható (15-16 Mrd USD/év) az algák energetikán kívüli hasznosítása sem, azonban az üzemanyag-szektor gyakorlatilag korlátlan és fizetőképes piacot jelent.

Anyag és módszer

Az olcsó és mégis viszonylag biztonságos algatermesztés technológiájának kidolgozása felé tett komoly lépéseket a DE AGTC és a Monergo Kft. a Baross Gábor Program keretében. A kísérleteink alapján megvalósításra javasolt félig nyílt technológia a nyitott és a PBR-technológiák előnyeit igyekszik ötvözni. Ennek lényege, hogy nagyüzemi méretben a hazai állattartó telepeken a gyakorlatban is megvalósítható, a nyitott eljárásnál jóval nagyobb biztonsággal és hosszabb tenyészidővel, a PBR technológiánál viszont sokkal kisebb tőkeigénnyel létrehozható és működtethető.

2009-2010 folyamán 4 különféle laboratóriumi- és egy kültéri kísérletsorozatot végeztünk egy olyan algatermesztési technológia kialakítása érdekében, mely a nyitott eljárásnál jóval nagyobb biztonsággal és hosszabb tenyészidővel, az PBR-technológiánál viszont sokkal kisebb tőkeigénnyel létrehozható és működtethető. Kísérleteinket 4 algafajjal (*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus dimorphus*, *Spirulina platensis*) végeztük el (Bai et al, 2010). Vizsgálataink a következő - algatermesztésben legfontosabbnak tekinthető - problémák megoldására irányultak:

- A termesztési cél kiválasztása, az ennek megfelelő algafajok szelekciója és a fajspecifikus agrotechnológia (vízmélység, hulladékhő-felhasználás, CO₂-, tápoldat-adagolás) kidolgozása.
- A szennyvíz-összetételtől függően az optimális hígítási, szűrési szint megállapítása.
- A gazdaságos betakarítási technológia kidolgozása, aminek jelentőségét mutatja, hogy nyílttavi technológiánál meghaladhatja a termesztés költségeit.
- Mindezt egy komplett rendszerben megvalósítani, hiszen ennek révén egyes költségek (hő, tápanyag) jelentősen csökkenthetők, illetve a hozamok növelhetők.

Legfontosabb kísérleti eredményeinket és a kísérleti beállítások pontos adatait részletesen a Világon 4. legmagasabb impaktfaktorral jegyzett (IF=3,330) mezőgazdasági szakfolyóiratban, az Agriculture for Sustainable Development-ben publikáltuk (Bai et al, 2012). A releváns kísérleteink legfontosabb paramétereit a következőkben foglalom össze.

Megfelelő mennyiségű alga-szaporítóanyag birtokában, az átvilágítás hatásának vizsgálatára megkíséreltük a hígítás nélküli sertéshígtrágyán termesztetni a kísérleti algafajokat (laboratóriumi 1. kísérlet). Kísérleteinket 5 literes (20 cm-es átmérőjű) tenyészedenyekben, valamint 180 literes (3 cm-es vízmélységű) akváriumban végeztük. Az első esetben rossz, a másodikban viszont problémamentes volt az átvilágítás.

Az algafajok hozamainak és beltartalmi értékeinek összehasonlítására végzett laboratóriumi 2. kísérlet paramétereit a következők voltak:

- 77-126 mg/100 ml oltóanyag
- Megvilágítás: 4500 lux, 18 h/nap
- 24 C hőmérséklet
- Levegőztetés: 100 l/h
- 5 literes (20 cm-es átmérőjű) tenyészedeny
- Hígított hígtrágya: 25 %, 10 %, 5 %, 1 %-os oldat formájában (1. ábra)
- Széndioxid-dúsítás: ad libitum és nulla adagolás minden beállításnál.
- 4-féleképpen hígított trágyaoldat, 2-2 ismétléssel

A hagyományos növényekkel való összehasonlítás végett, valamint a széndioxid hozamnövelő hatásának illusztrálása érdekében az előzőekben bemutatott hozameredményeket átszámítottuk t/ha/év-es értékekre is. A vízmélységet 30 cm-es és 50 cm-es értékekkel kalkuláltuk, szakirodalmakra támaszkodó előzetes hipotézisünk szerint előbbi a keveréses, utóbbi az intenzív levegőztetéses technológia ideális értéke volt.

Az előző kísérleti adatok birtokában meg kívántuk határozni azt, hogy a vizsgálatba bevont fajok nagyobb kísérleti méretben is képesek-e az előző hozamszintek elérésére. Ennek érdekében trágyamentes, de megfelelő

tápelemekkel ellátott tápoldaton végeztünk kísérleteket. A laboratóriumi 3. kísérlet paraméterei az előző kísérlettel összehasonlítva a következők voltak:

Megegyező paraméterek:

- 77-126 mg/100 ml oltóanyag
- Megvilágítás: 4500 lux, 18 h/nap
- 24 C hőmérséklet

Eltérő paraméterek:

- 12 napos mérési intervallum (2010. június 28-július 10)
- 70 literes medencék, 20 cm-es vízmagasság
- Trágya és széndioxid adagolás nincs, helyette 500 ml tápoldat (fajonként 2 ismétléssel)
- Mérsékeltébb levegőztetés: 50 l/h

Szabadföldi (kisüzemi) kísérleteinkkel a tápanyag-ellátás, a levegőztetés, a hőmérséklet, a nagyobb tómeget, valamint a nyitott körülmények hatásait vizsgáltuk. A kísérleti paraméterek mindegyike eltért a megelőző kísérletek laboratóriumi körülményeitől:

- Az előzőeknél nagyobb, 3,84 g/500 ml oltóanyag (*Chlorella vulgaris*)
- 28-napos mérési intervallum (2010. július 9-augusztus 6., 4-naponként)
- 1 ismétlés változatoként (3 tápanyagszint, kétféle levegőztetés, összesen 12 tartály)
- 1000 literes medencék, 500 literes vízmennyiség, 30 cm-es vízmagasság
- Természetes megvilágítás (14-15 h/nap)
- Kültéri hőmérséklet (17-29 C napi átlaghőmérséklet, min.14 C, max. 35 C, 28-napos átlag: 24,5 C, részletezve a 2. mellékletben)
- Trágya és széndioxid adagolás nincs, helyette 250, 500, 1000 ml tápoldat (a 3. mellékletben részletezett összetétellel)
- Mérsékeltébb levegőztetés: 50 l/h, illetve levegőztetés nélküli változatok

Eredmények

Laboratóriumi kísérleteink eredményei alapján megállapítottuk, hogy a sertés-hígtrágyán való algatermesztésben nem a teljes (hígítás nélküli) hígtrágya tápanyag-koncentrációja, hanem a fotoszintetikus aktivitásra gyakorolt hatásán keresztül a fény a fő limitáló tényező. Kijelenthető, hogy a teljes sertés-hígtrágya semmiképpen nem alkalmas üzemi körülmények között az algával való hasznosításra, ez csakis hígított, vagy szűrt/ülepített sertés-hígtrágyával képzelhető el.

Eredményeink rámutattak arra, hogy nagyobb tápanyag koncentráció, valamint tiszta CO₂ adagolása során ugyan nagyobb hozamok érhetőek el, azonban ezzel párhuzamosan növekszik a biomasza fehérjetartalma, ami a lipidtartalom csökkenését eredményezi, ami csökkentette a vizsgálatainkban megcélzott biodízel előállítható mennyiségét. A laborvizsgálatokban (1. kép) kapott adatok szerint elsősorban a *Chlorella vulgaris*val érdemes folytatni a nagyüzemi kísérleteket, amennyiben célunk a minél nagyobb és egyöntetű biomasza-tömeg előállítása a legkisebb kockázattal. A *Chlorella*ban található lipid összetétele hasonlít az európai olajnövények összetételéhez, ami megkönnyítheti a hajtóanyagkénti hasznosítást. Mindezen okok miatt a nyílt, szabadföldi kísérleteinket ezzel az algafajjal végeztük el.

Szabadföldi kísérleteink (2-3. kép) során azt tapasztaltuk, hogy a hőmérséklet változásai (17-29 C) a mérési időszakban gyakorlatilag nem befolyásolták az algák szaporodását. A tápanyag-ellátásnak az optimum-pontig jelentős hozamnövelő hatása van, míg a levegőztetés csak mérsékelt és bizonytalan mértékű növekedést eredményez. Az intenzívebb tápanyag-ellátás indokoltá teheti a hosszabb rotációs idő alkalmazását. A 12-naposnál rövidebb rotációk esetén már olyan jelentős a hozamcsökkenés, hogy ezek alkalmazását már nem indokolhatja a nagyobb trágya-ártalmatlanító kapacitás, másrészt ezen idő alatt a tápanyagok jelentős része még bennmaradna a trágyában, ami jelentősen csökkentené a környezetvédelemben és víz-újrafelhasználásban rejlő lehetőségeket. A 16-napos rotációt követően nemcsak a hozam csökkenésére, hanem a termelés kockázatának jelentős növekedésére is számítani kell. Az idő előrehaladtával ugyanis egyre nő annak esélye, hogy összeomlik az algarendszer. Nagyobb méretű rendszerek jobb alkalmazkodó-képességgel rendelkeznek mind a hőmérséklet-ingadozás, mind az egyéb káros hatások semlegesítése céljából (3. táblázat).



1. kép: Laboratóriumi kísérletek



2. kép: Szabadföldi kísérletek



3. kép: A kapott alga-biomassza

3. táblázat: A szabadföldi kísérletek éves termésátlagai

Kezelés száma	Biomassza-tömeg (t/ha/200 nap, 30 cm-es vízmélységnél)							
	09. júl	13. júl	17. júl	21. júl	25. júl	29. júl	02. aug	06. aug
1.	5	115	144	250	281	311	211	86
1. i	5	115	158	211	266	0	0	156
2.	5	144	158	230	252	242	288	66
2. i	5	115	130	41	202	184	115	0
3.	5	86	115	173	223	0	0	0
3. i	5	144	173	202	0	0	0	0
4.	5	58	144	240	252	236	192	132
4. i	5	86	144	221	194	207	202	160
5.	5	86	158	269	274	72	197	0
5. i	5	115	130	230	187	0	0	0
6.	5	58	86	125	0	0	0	0
6. i	5	86	130	259	288	190	182	30

Forrás: BAI et al, 2010

Jelmagyarázat: i: ismétlés, 0: algapusztulás

(1),(4): 1 l/0,5 m³, (2),(5): 0,5 l/m³, (3),(6): 0,25 l/0,5 m³ tápoldat

	Levegőztetett medencék
	Nem levegőztetett medencék

aláhúzott – az adott rotáció maximum értéke

Az algák értéke a felhasználási cél függvényében igen nagymértékben változik. Az eltérő beltartalmi értékek és ezek piaci árának segítségével meghatározható egy tonna alga értékarányos elméleti ára is (4. táblázat) a vizsgált fajokkal és kezelésekkel, valamint felhasználási módokkal. Az árviszonyok radikális átrendeződése nélkül elvileg az olajhozam fokozása növeli leginkább, míg a szénhidrát-hozamé legkevésbé az értékarányos árat. A helyettesített termék (takarmány, energia) árváltozása a konkrét árarányokat természetesen némileg módosíthatja, ám ez a sorrendjükben nem okoz változást. Mindez nem azt jelenti, hogy a nagy olajtartalmú algák termesztése minden körülmények között a legígéretesebb, hiszen ezt befolyásolja az egyes fajok eltérő alkalmazkodó-képessége, valamint előállítási költsége is (Bai et al, 2011). Az algafajok beltartalmi értékei saját kísérleteinkből származnak, a felhasznált egyéb alapadatok és forrásaik a következők voltak:

Takarmányárak (www.aki.gov.hu, 2013)

- Fehérje: 244 Ft/kg (szója)
- Növényi olaj: 267 Ft/kg (napraforgó)
- Szénhidrát: 76 Ft/kg (kukorica)
- Növényolaj: 302 Ft/kg (napraforgóolaj)

Tüzelőanyag-árak (www.eh.gov.hu, 2013):

- földgáz 4060 Ft/GJ
- szén 2500 Ft/GJ
- tűzipellet 3474 Ft/GJ

Az alga elméleti fűtőértékének számításához szükséges fajlagosok (Pethes, 1987 in Husvéth, 1994):

- Fehérje égéshője: 24 GJ/t
- Lipid égéshője: 39 GJ/t
- Szénhidrát égéshője: 17 GJ/t
- Fűtőérték és égéshő átlagos aránya: 0,9

3. táblázat: A vizsgált algafajok értékarányos (elvi) takarmányozási értéke (M.e.: E Ft/t szárazanyag)

Faj	Takar- mányozás	Eltüzelés			AME+takarmány
		földgáz	szén	tűzipellet	
<i>Chlorella vulgaris</i>	148	83	51	71	155
<i>Chlorella vulgaris</i> +CO ₂	173	88	54	75	180
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	165	95	58	81	178
<i>Scenedesmus quadricauda</i> + CO ₂	187	97	60	83	200
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	186	105	64	90	204
<i>Scenedesmus dimorphus</i> +CO ₂	207	108	67	93	225
<i>Spirulina platensis</i>	138	76	47	65	141
<i>Spirulina platensis</i> +CO ₂	156	79	49	68	159

Forrás: saját számítás

Az eredmények azt igazolják, hogy amennyiben a megfelelő létszámú állatállomány helyben rendelkezésre áll és a tökeigény minimalizálása a cél, akkor mindenképpen célszerű az algát takarmányozási célra (esetleg emellett biodízel előállítására) felhasználni.

Következtetések, javaslatok

Miután kísérleteink egyértelműen bizonyították, hogy a fényviszonyok döntően befolyásolják az algahozamot és az egyéb ráfordítások hatékonyságát, ezért ezt a sertéstrágya kezelésével feltétlenül biztosítani kell. Véleményünk szerint azonban a hatalmas vízszükséglet és környezetvédelmi szempontok, valamint a technológiai méret jelentős növekedése miatt nem hígítással, hanem ülepítéssel és szűréssel célszerű biztosítani ezt. Vizsgálataink szerint az ilyen módon kapott közel víztisztaságú szüredék lehetővé teszi az 50 cm-es vízmélységben történő algatermesztést és a szüredékben maradó tápanyagok némi kiegészítésével megfelelő tápanyag-ellátás is biztosítható. A nagy száraz- és szervesanyag-tartalmú ülepített/szűrt anyag pedig legegyszerűbben jól kezelhető szerves trágyaként közvetlenül tápanyag-utánpótlásra, de akár anaerob erjesztésre is kiválóan alkalmas. A biogáz-telepen megvalósított alga-előállítás több szempontból is indokolt lehet:

- Kogenerációs eljárásnál a gázmotorok füstgáza az algatavakban megtisztítható, a hulladékhő pedig az algatavak fűtésére hasznosítható.
- Biometán előállításánál a leválasztott széndioxid közvetlenül a tavakba vezethető.
- A kiejlesztett trágyából származó nitrogén, foszfor és nyomelemek (megfelelő hígításban) szintén algává nemesíthetők.
- A megtermelt algatömeg egy része, vagy egésze a fermentorban is hasznosítható.

A hígtrágyával előállított algamennyiség felhasználására a vizsgált *Chlorella vulgaris* esetén a takarmányozás javasolható. Annak eldöntésére, hogy a különböző állatcsoportok esetén mennyi lehet a maximális takarmányadagba keverhető alga részaránya, még további vizsgálatok szükségesek. Nem tartjuk azonban kizártnak azt sem, hogy az algában található olaj kinyerése után megmaradó biomassza-mennyiség kerüljön csak feletetésre. Az algaolajból biodízel, vagy étkezési olaj is előállítható lenne, mindkettő unikumnak számítana a hazai piacon.

Összességében a kisüzemi szabadföldi kísérleteink alapján a 12-14 napos rotáció megvalósítását tartjuk a legindokoltabbnak a közepes intenzitású technológiai változatban, a sertéstrágya hígítását is tápanyagként hasznosítva, ami nagyobb algahozamot eredményez a jóval nagyobb ráfordítású (levegőztetéses, intenzívebben műtrágyázott) változatoknál is. Nem javasoljuk a levegőztetést, helyette a lassú keverést ajánljuk. Az optimális rotációs idő alatt egy évre (200 napos tenyészidőszakra) vonatkoztatott termésátlagok – technológiai változattól függően - elérték a 202-288 t/ha-t (szűrt állapotban).

Kísérleti eredményeink úgy véljük, hogy az algatelepe megvalósítása a sertéstelepeken lehetővé teszi az ott képződő összes melléktermék hatékony hasznosítását, piacképes termékek előállítását, illetve jelentős költségek (takarmány, műtrágya, mosóvíz) megtakarítását. A vállalkozás tevékenységének diverzifikálása jelentősen javítja annak biztonságát és jövedelemtermelő képességét. Utóbbinak egyik eleme az adó-megtakarítás lehetősége, amely abból adódik, hogy a jelentős beruházási költségből adódó amortizációs költség-növekedés csökkenti az adózás előtti jövedelmet, így annak adóját is. A cég pénzforgalmában viszont a működés során ez nem jelentkezik kiadásként, ezért mind jövedelmi-, mind pénzforgalmi szempontból előnyös hatást gyakorol a vállalkozásra. Számításaink szerint – 2010-es közgazdasági viszonyok között – üzemmérettől függően - mintegy 150-220 Mft beruházási- és évi 25-35 Mft működési költséggel számolhatunk hektáronként. Utóbbinak csak mintegy fele kiadás. A nettó jövedelem mintegy 1-8 Mft/ha-ra, az éves pénzforgalmi többlet pedig 15-20 Mft/ha-ra becsülhető.

Jövőbeni elképzelések

Kísérleteinket 2013-tól várhatóan kiterjesztjük a takarmányozási célú hasznosításra, melynek során nemcsak a nagyobb, üzemi mennyiségű alga-előállítás a célunk, hanem annak bekeverhetősége a sertéstakarmányba a következő vizsgálatok lefolytatásával:

- Alkalmas-e a *Chlorella vulgaris* mikroalgából nyert fehérjetakarmány a hízósertés tápok szójakomponensének helyettesítésére,
- Milyen mértékben helyettesítheti azt, és
- Hogyan befolyásolja a takarmány algatartalma a hízósertések növekedését és húsminőségét, valamint a hízlalás gazdaságosságát.

Kutatási hipotézisünk, hogy a *C. vulgaris* viszonylag magas fehérjetartalma (termesztéstechnológiától függően 30-40% nyersfehérje-tartalom) következtében kiválóan alkalmas a szójafehérje nagyobb arányú (akár 100%-os) kiváltására, valamint kedvező aminosav-összetételéből adódóan nem rontja a hízósertések mennyiségi- és minőségi tulajdonságait, illetve a hízlalás gazdaságosságát.

Amennyiben ezen vizsgálataink ténylegesen megvalósulnak és pozitív eredményekkel zárulnak, az a közeljövőben alapul szolgálhat a sertésletelepeken is előállítható mikroalga-alapú fehérjetakarmány hízósertések takarmányozási rendszerébe történő integrálásához, ezáltal hazánk fehérje-importfüggőségének csökkentéséhez is.

Forrásjegyzék

- BAI A, STÜNDL L, BÁRSONY P, HERPERGEL Z, FEHÉR M, JOBBÁGY P, VASZKÓ G (2010): Saját kísérleteink komplex gazdasági értékelése esettanulmánnyal.: Összefoglaló tanulmány. Baross Gábor Kutatási Program, Biomassza célú algatermesztés fejlesztése, állattartó telepi szubsztráton, gazdasági modellépítés (ATEBION, 2009-10) c. projekt. Debrecen, 2010. december 15. pp. 1-73.
- BAI A., JOBBÁGY P., DURKÓ E. (2011): Algae production for Energy and Foddering. Biomass Conversion and Biorefinery. Springer-Verlag. ISSN: 2190-6815 (print version) ISSN: 2190-6823 (electronic version) Journal no. 13399 DOI 10.1007/s13399-011-0015-1.
- BAI A., STÜNDL L., BÁRSONY P., JOBBÁGY P., HERPERGEL Z., FEHÉR M., VASZKÓ G. (2012): Algae production on pig sludge. Agronomy for Sustainable Development. Official journal of the Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) ISSN: 1774-0746 (print version) ISSN: 1773-0155 (electronic version). 2012 Impact Factor: 3,330. DOI: 10.1007/s13593-011-0077-2, Volume 32, Number 3, pp. 611-618
- BAI A., HERPERGEL Z. (2009): Hajtóanyagok előállítása algákból. Bioenergia. Bioenergetikai szaklap. Bioráma Kiadó, ISSN 1788-487X, Szekszárd, IV. évf. 2. sz, pp. 3-8
- BARLOW, E.W.R.; BOERSMA, L.; PHINNEY, H.K. és MINER, J.R. (1975): Algal growth in diluted pig waste. Agriculture and Environment, Volume 2, Issue 4, 339-355 p.
- CAPBLANCQ, J., (1982): Phytoplankton et production primaire. In: Pourriot, Capblancq, Champ, Meyer_Eds..., Ecologie du plancton des eaux continentales. Collec. Ecologie 16, Masson, Paris, pp. 1-48. p.
- CHISTI, Y. 2007. Biodiesel from Microalgae. Biotechnol Adv 25:294-306.
- R. J. CRAGGS , T. J. LUNDQUIST , J. R. BENEMANN (2013): Wastewater Treatment and Algal Biofuel Production in M.A. Borowitzka and N.R. Moheimani (eds.): Algae for Biofuels and Energy, Developments in Applied Phycology 5, 153 DOI 10.1007/978-94-007-5479-9_9, © Springer Science+Business Media Dordrecht, pp. 153-163.
- DEMIRBAS, A. (1998): Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils. Fuel 77:1117-1120.
- DEMIRBAS, A. (2009): Production of biodiesel from algae oils. Energy Sources A 31:163-168.
- G. E. FOGG (1941): Nitrogen Fixation By Anabaena Cylindrica Lemm Studies On Nitrogen Fixation By Blue-Green Algae, pp. 71-87
- Husvéth F. (szek.), 1994: A háziállatok élettana és anatómiája. Mezőgazda Kiadó. Budapest, pp. 450-453
- J.B.K. PARK, R.J. CRAGGS, A.N. SHILTON (2011): Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production Bioresource Technology www.elsevier.com/locate/biortech, Vol. 102, pp. 35-42
- ÖRDÖG V (2009) Mikroalgák a mezőgazdaságban és energiatermelésben. In IV. Regionális Természettudományi Konferencia. Conference paper, Budapest, pp. 6.
- RAKOPOULOS, C.D., ANTONOPOULOS, K.A., RAKOPOULOS, D. C., HOUNTALAS, D. T., GIACOUMIS, E.G. (2006): Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins. Energy Convers Manage 47:3272-3287.
- XU, H., MIAO, X., WU, Q. (2006): High quality biodiesel production from a microalga Chlorella protothecoides by heterotrophic growth in fermenters. J Biotechnol 126:499-507.
- Internet: www.aki.gov.hu, www.eh.gov.hu, epp.eurostat.ec.europa.eu, www.iea.org, www.worldometers.info.hu

Szerző

Dr. Bai Attila

Tudományos fokozat: Dr. habil

Beosztás: egyetemi docens

Intézményi adatok (megnevezés, cím): Debreceni Egyetem, 4032 Debrecen, Böszörményi u. 138

E-mail cím: abai@agr.unideb.hu