

Algatechnológiák, és zöld innováció a szennyvíztisztításban

Nagy **Balázs** József

PhD hallgató, F-labor, BME
nagy.balazs.jozsef@mail.bme.hu

Előadás tematikája

1. Bevezetés – algák taxonómiája
2. Algatechnológiák fejlődése
3. Iparban jelentős algák
4. MAB2.0 projekt

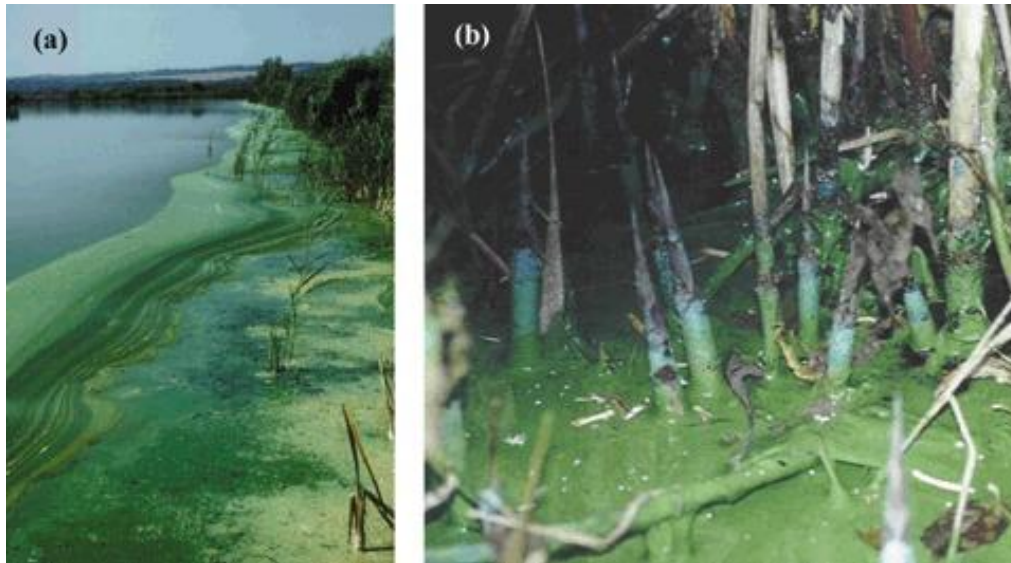




Cyanobacteria

Kékbaktériumok, kékmoszatok

Microcystis aeruginosa



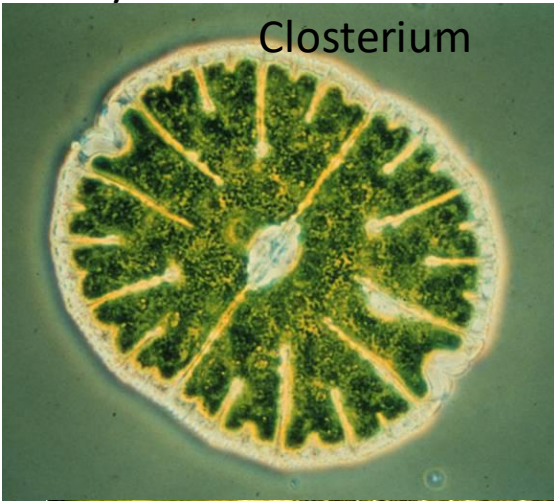
- Toxintermelés: hepato- és neurotoxinok; növényekre, állatokra, emberre.
- Algae bloom (vízvirágzás)
- Globális probléma
- Magas szervesanyag- és mesterséges kemikáliákkal szennyezett, eutrofizálódó édesvizekben
- Nyáron, magas vízhőmérséklet

Máthé Csaba, 2007, Kis-Balaton

Charophyta és Chlorophyta Csillárkamoszatok és Zöldalgák

Myrasterias

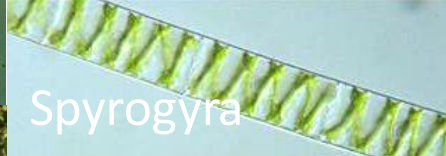
Closterium



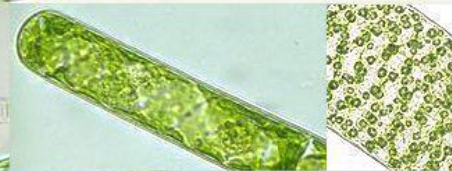
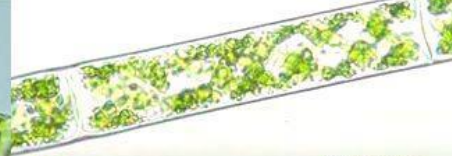
Acetabularia



Ulva



Spyrogyra



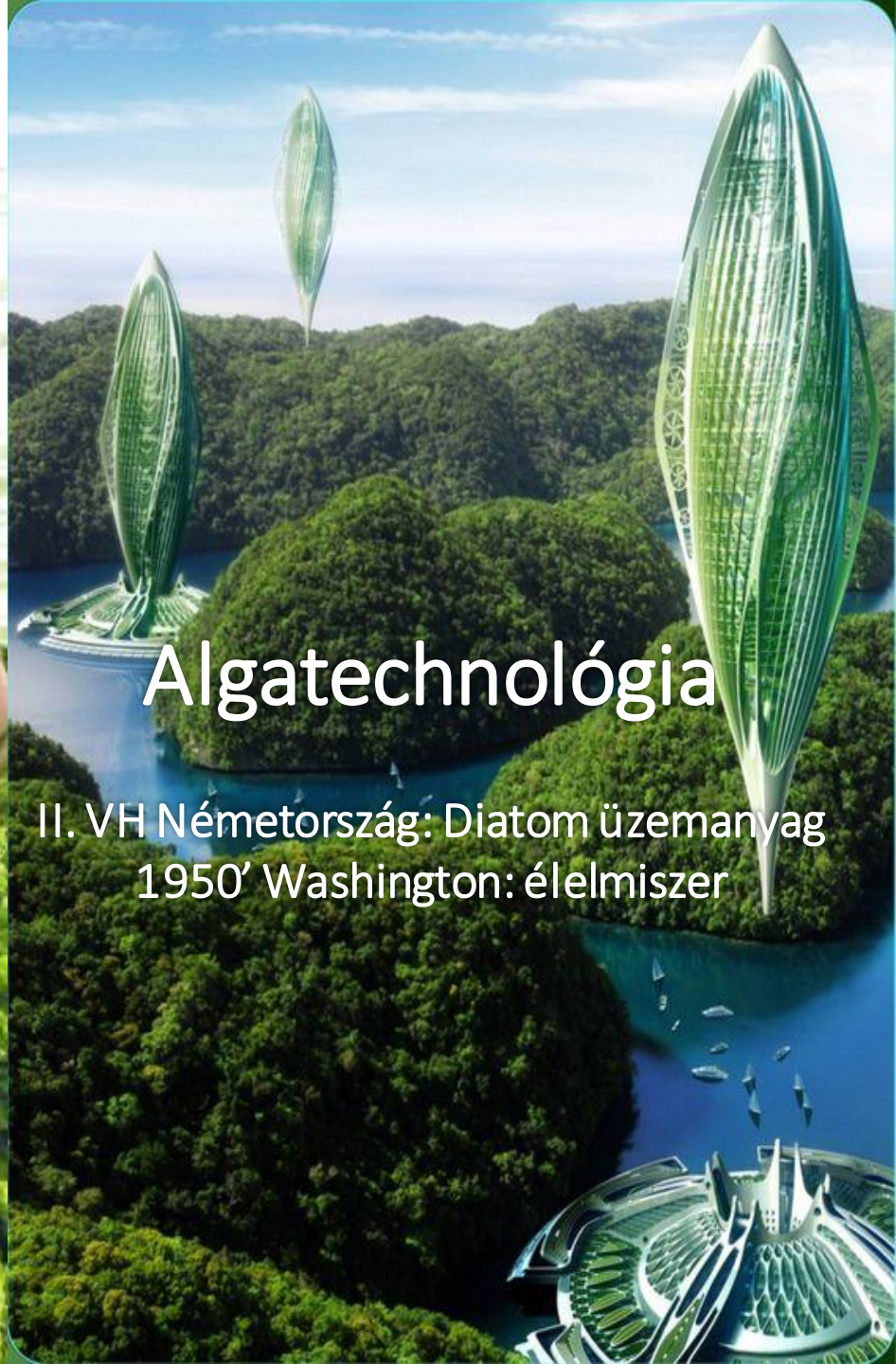
Volvox





Algológia

200 000-800 000 lehetséges fajból
ma 40 000-et ismerünk

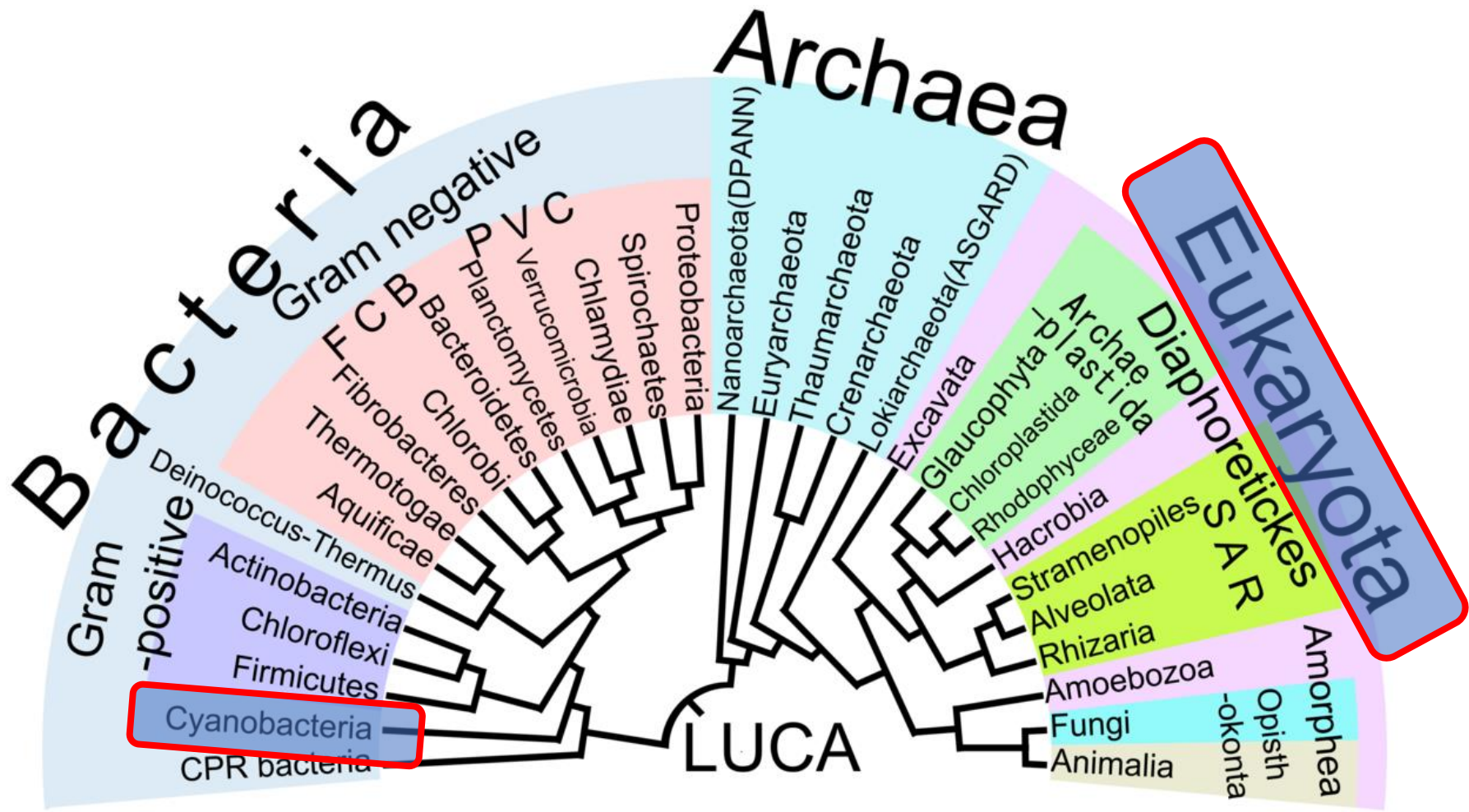


Algatechnológia

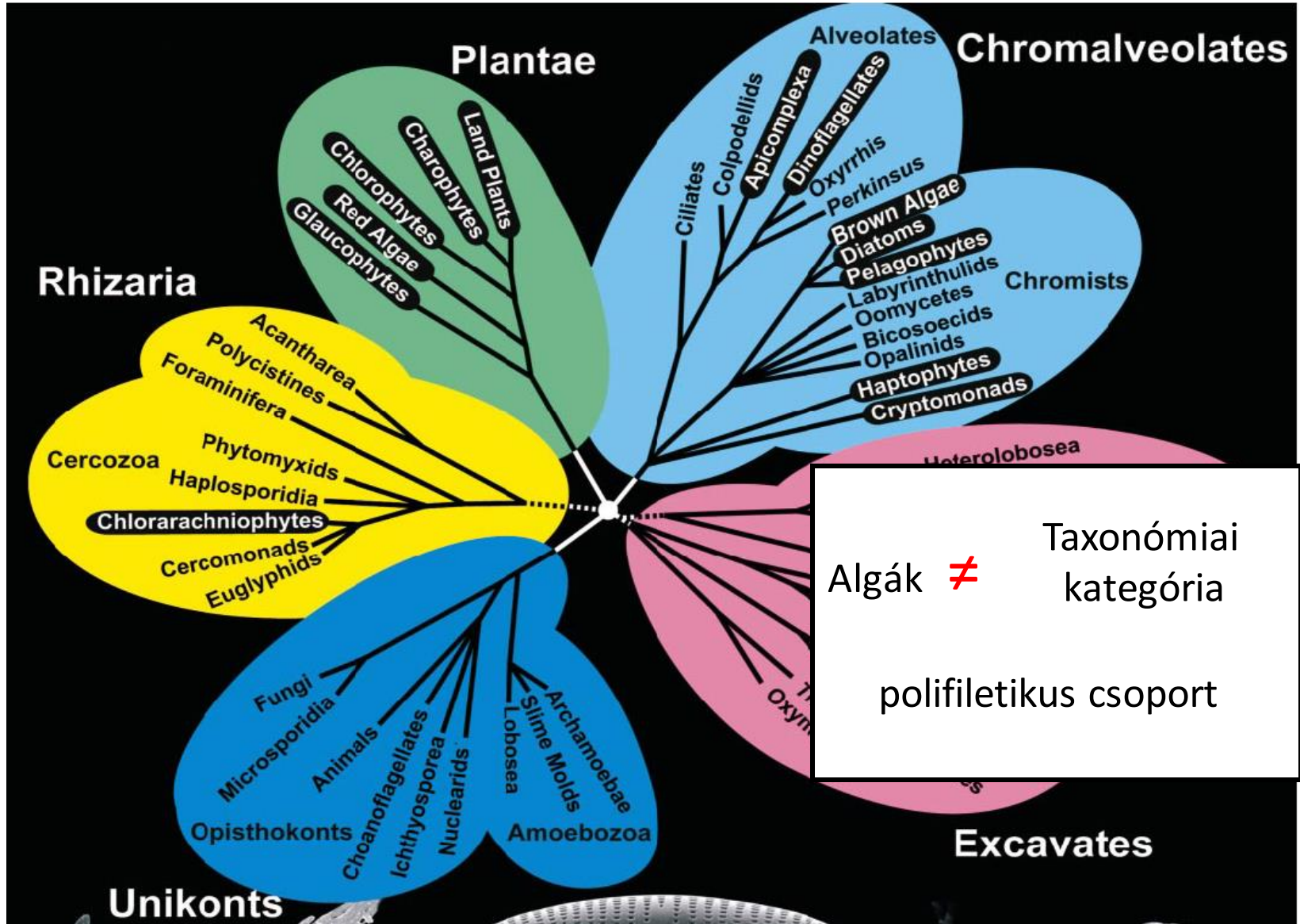
II. VH Németország: Diatom üzemanyag
1950' Washington: élelmiszer

Algatechnológia kialakulása

- Először morfológia, taxonómia, ökológia (primer termelők) → ALGOLÓGIA
- Ipari mértékű sejttömeg-előállítás
- Kiemelt szerepben a fotoautotróf tenyésztés, hiszen alacsony alapanyag- és energiaigényű
- Különféle reaktordizájn → fő irány a biodízelgyártás
- Alternatív megközelítés szerves szénforrás használatával → heterotróf tenyésztés

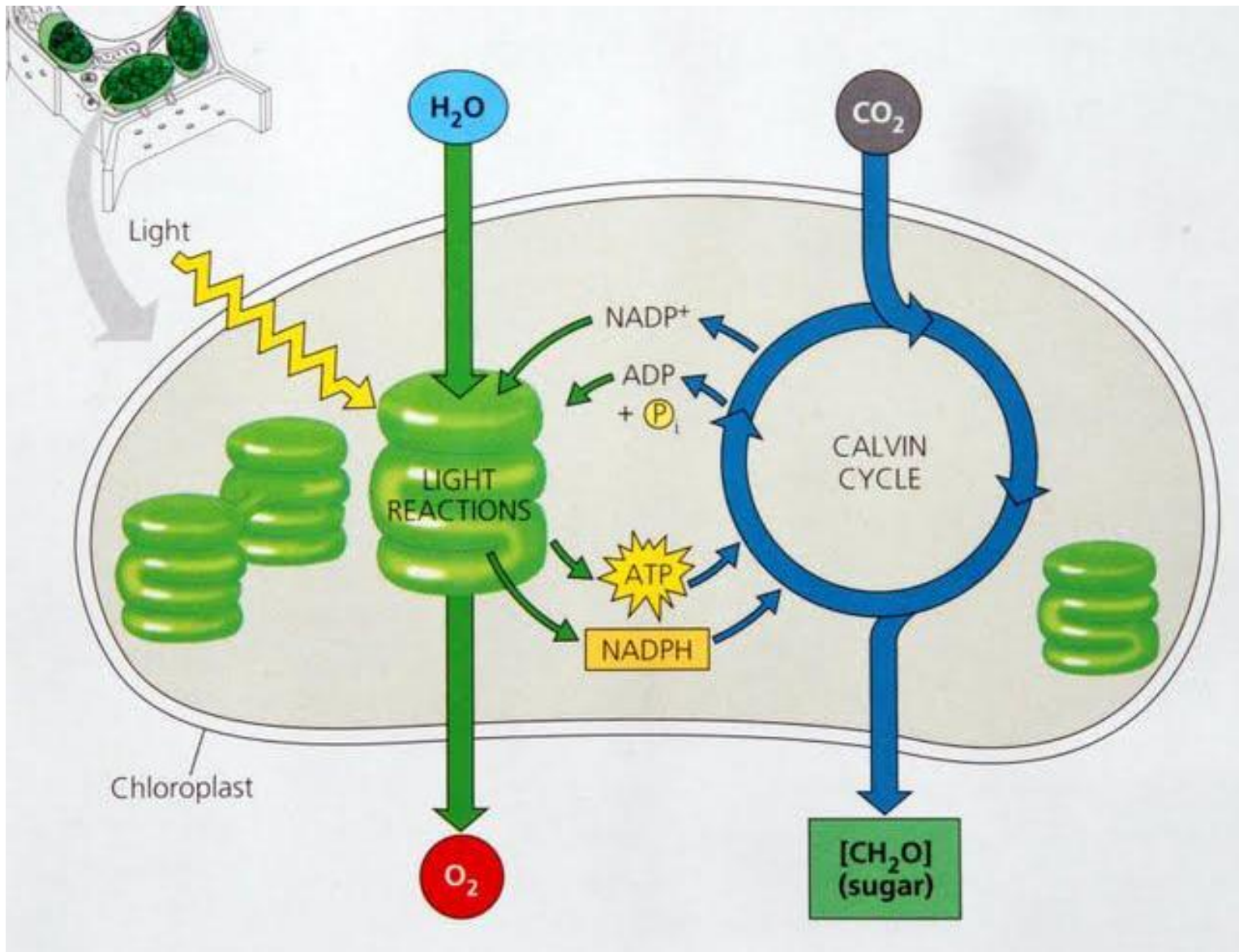


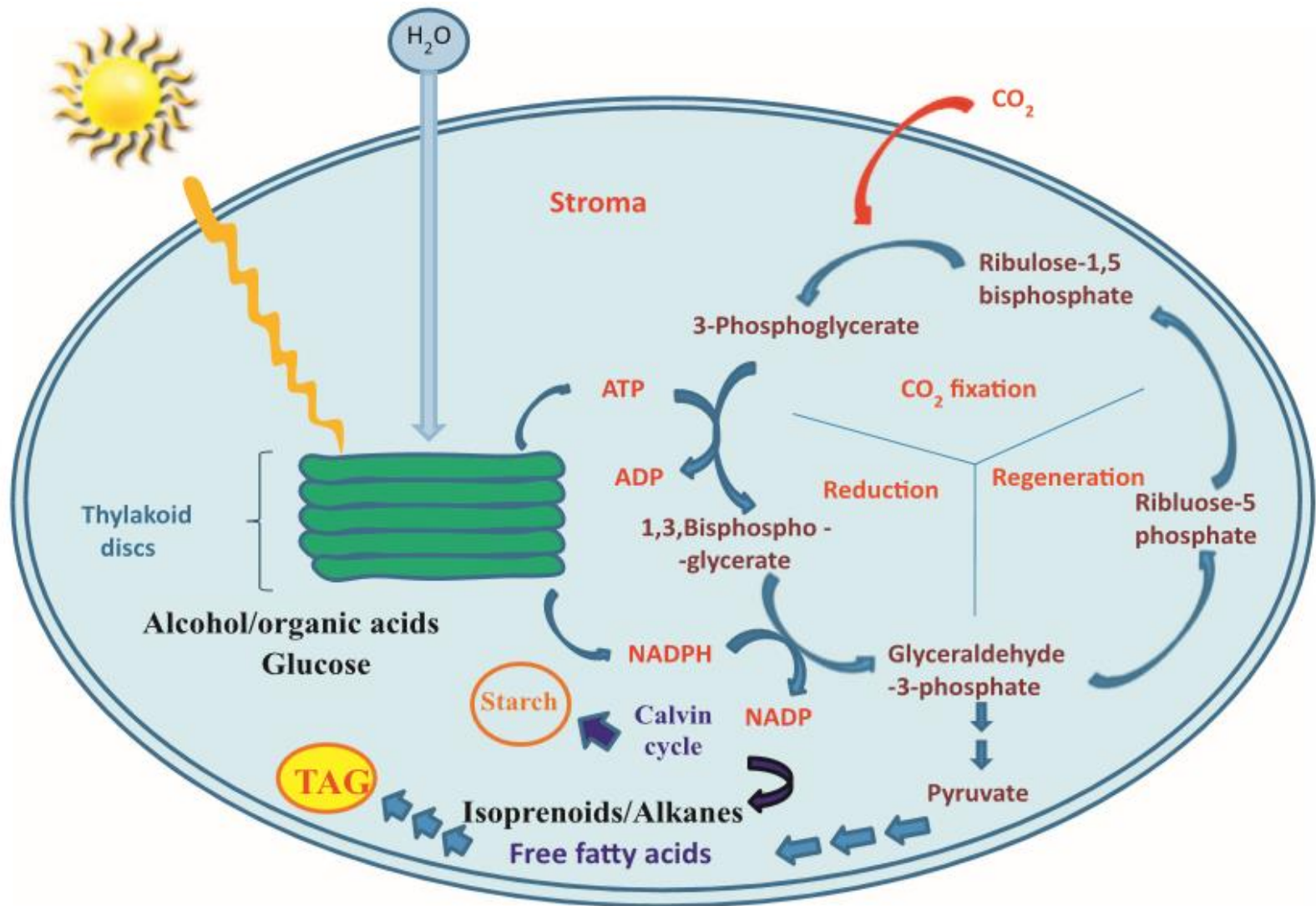
Eukarióták „élet fája”



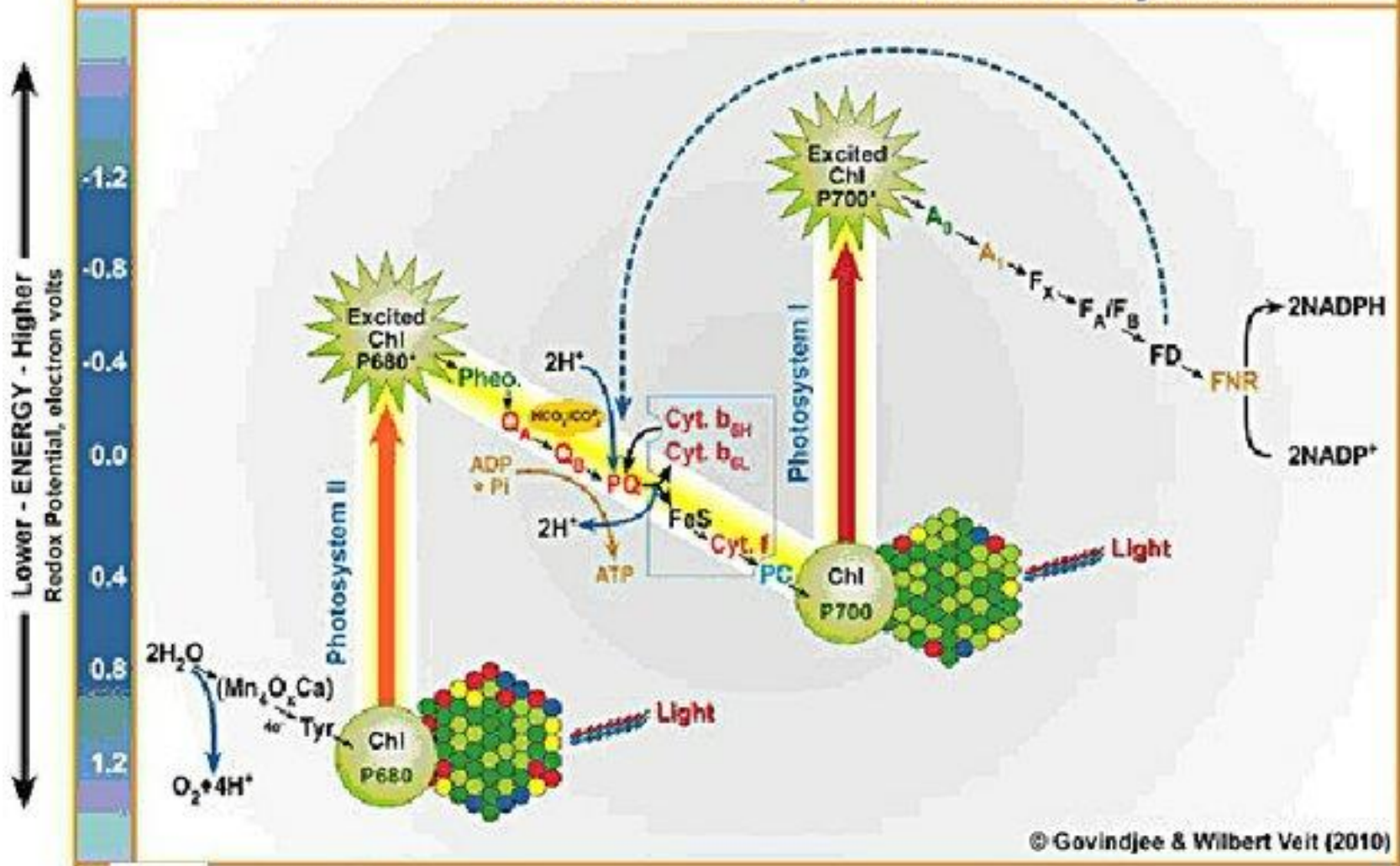
Algák közös tulajdonságai

- Egysejtű organizmusok (cianobaktériumok=kékalgák, többsejtes szerveződések)
- Rendelkeznek az oxigéntermelő fotoszintézis képességével. A cianobaktériumok az első szervezetek, amelyek minkét fotokémiai rendszerrel rendelkeznek.
- Pigmentjeik: klorofill *a*, *b*, *c*, *d*
- Kloroplasztisz az eukariótáknál





Z-Scheme of Electron Transport in Photosynthesis



Mikroalgák tenyésztési stratégiái

- **Autotróf:** a szénforrást a levegő CO₂-tartalmából nyerik, a szükséges ATP-t és redukáló erőt, pedig a napsugárzásból a fotoszintézis útján. A tenyésztés során nyitott medencéket vagy többnyire egyszerűbb, zárt fotobioreaktorokat használnak. Megvilágításként lehet mesterséges fényforrást is alkalmazni. Technológiailag ez a legegyszerűbb módszer, de a reaktor kialakításának és működtetésének döntő szerepe van.
- **Mixotróf:** a fotoszintézis mellett valamennyi mikroalga képes a szerves szénforrás hasznosítására is, amit az energiatermelés mellett a biomasszába is beépít. Ez a tenyésztés magasabb biomasszaproduktivitást eredményez. Lényegesen magasabb az elérhető sejtkoncentráció. Professzionális a reaktorigény, hiszen a szerves szénforrás alkalmazása idegen mikroorganizmusok jelenlétében komoly termelési gondokat okozhat.
- **Heterotróf:** megvilágítást ennél a tenyésztésnél nem alkalmazunk, csupán a szerves szénforrás biztosítja a szükséges szén- és energiaforrást. A tenyésztés legnagyobb előnye, hogy hagyományos fermentorokban is kivitelezhető, azonban ez nem minden algafajnál valósítható meg, hiszen a legtöbb igényli a fényt.

Autotróf tenyésztés

- Többgenerációs technológia
- Elrendezés, geometriai kihívások
- Limitált fényellátás
- Kiszolgáltatott a környezet változékonyságára
- Biomassza elválasztása energiaigényes
- Relatív alacsony sejtszám
- Szűkös gyártható terméklista
- Léptéknövelés nehézségei



Reaktortípusok autotróf tenyésztéshez

a reaktorok léptéknövelése
gyakran gazdaságossági
szempontból és
működtetésben is
körülményes, alaposan
megtervezendő feladat

Raceway pond, versenypálya alakú medence: nyitott, sekély (maximum 20-25 cm vízmélység), lapátkerékkel hajtott medence. Nagy területet foglal a sejtszuszpenzió térfogatához viszonyítva. Jelentősen ki van téve a változó környezetnek, az idegen mikroorganizmusoknak. A nagy felületen történő evaporáció miatt gyorsan bekoncentrálódik, így ügyelni kell az elpárolgott víz rendszeres visszapótlására. A fénylimit viszonylag alacsony sejtszuszpenzióánál már jelentkeznek.

Csőreaktor: gyakori a mesterséges megvilágítás alkalmazása is. A víztest átmérője lényegesen kisebb (maximum 5 cm), így jobb magasabb sejtdenzitás érhető el, mint az RWP esetében. Szivattyúval kevertetik a reaktort. Gyakran kilevegőztető egységet is hozzácsatlakoztatnak a körhöz, ahol CO₂ betáplálással javítható a tenyésztés produktivitása. Ez a reaktortípus többnyire zártnak tekinthető, de a tisztítása gyakran körülményes, gőzzel sterilizálni pedig nem biztonságos.

Flat panel: két üveglap közötti keskeny (kevesebb, mint 5 cm) térben történik a sejtszuszpenzió áramoltatása. Ennek a reaktortípusnak egy altípusa a „plastic bad reactor”, amikor egyszerhasználatos zsákokban tenyésztjük a mikroalgákat. Mivel a megvilágított (természetes vagy mesterséges fényforrás) víztest magassága meglehetősen alacsony, de a párolgás a reaktor zártsága miatt kismértékű, így nagy sejtkoncentrációhoz lehet jutni. A reaktortervezés körülményes, mert gondoskodni kell az intenzív napsütésnek kitett reaktor hűtéséről is.

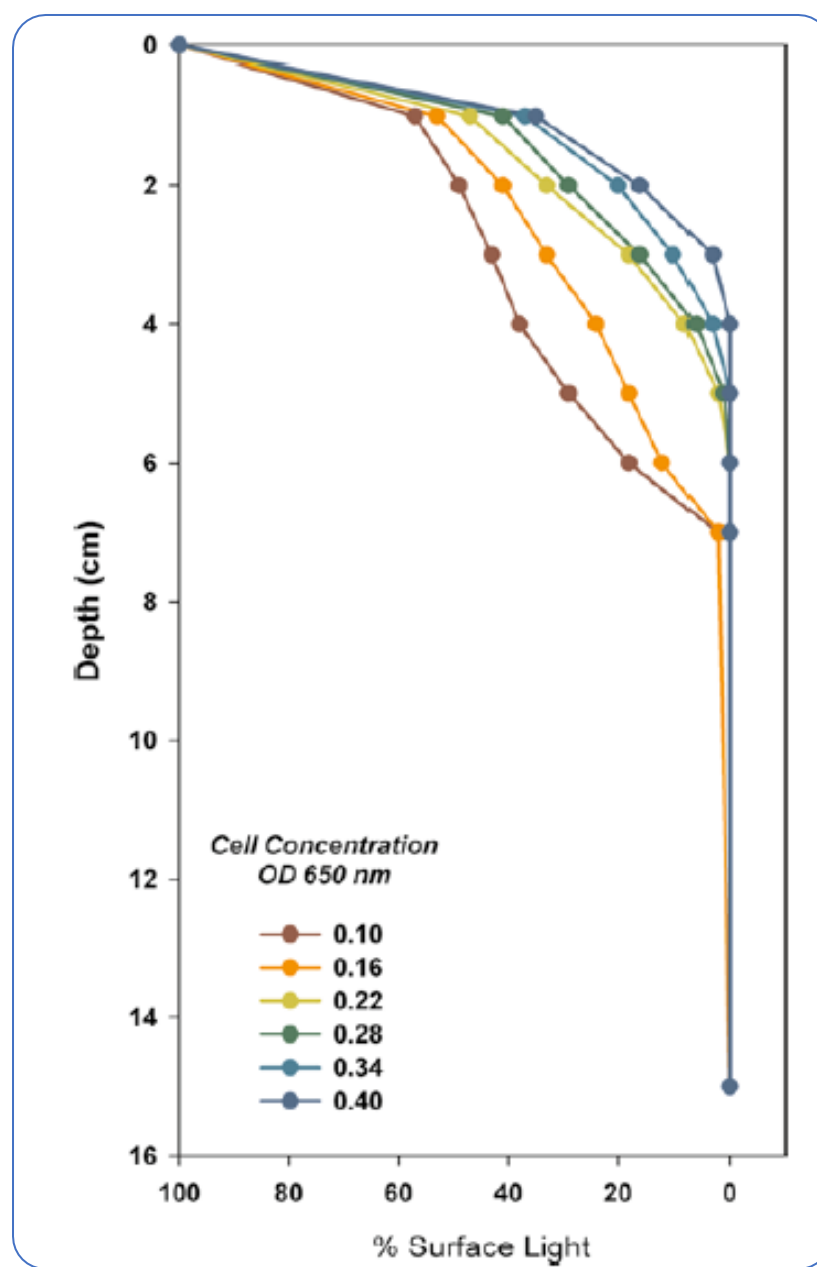


Fig.1 Light distribution in a shallow raceway pond with respect to cell density as measured by OD₆₅₀. 100 % incident light = 2300 μmol photons m⁻² s⁻¹ (Based on data from Richmond et al. (1980))

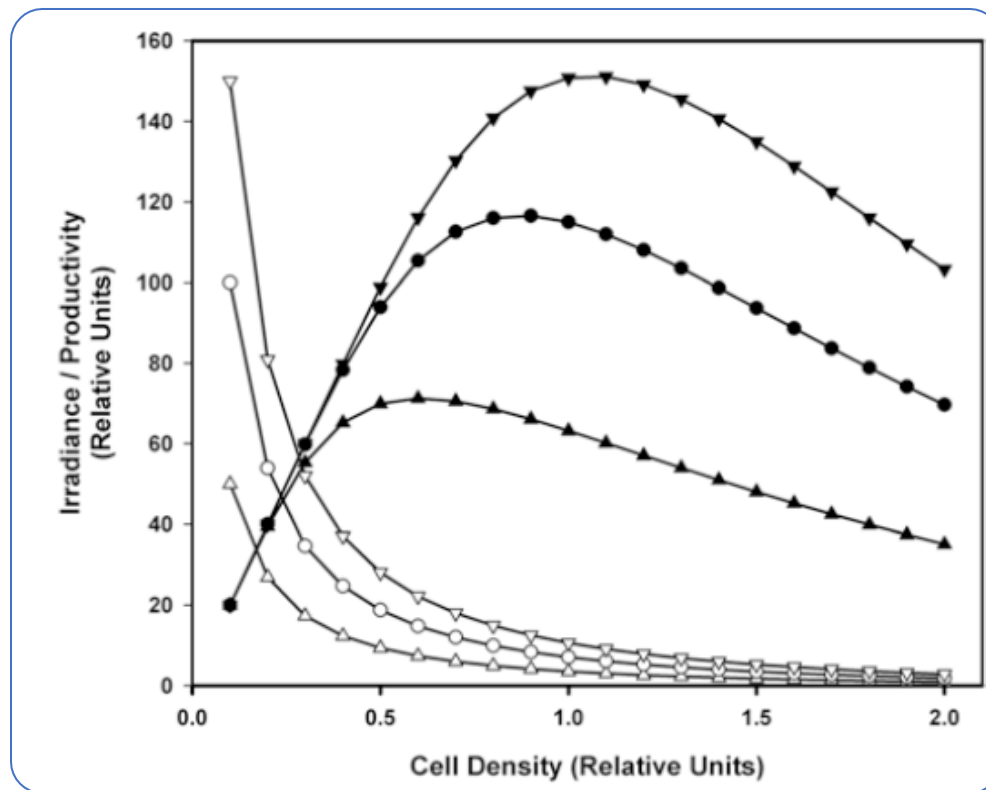
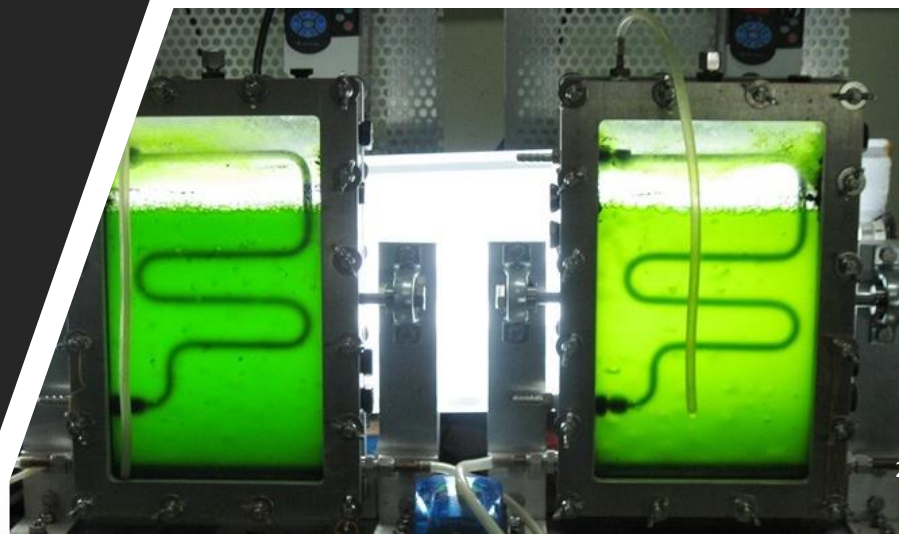


Fig. 2 Illustration of the relationship between cell density, the average irradiance, and the biomass productivity in a 20 cm deep pond. Average irradiance in the pond (*open symbols*) was calculated using Eq. 1 where the *triangle* is the lowest surface irradiance, the *circle* is 2× the lowest surface irradiance, and the *inverted triangle* is 3× the lowest surface irradiance. Biomass productivity (*closed symbols*) was calculated using Eqs. 2 and 3 (*closed symbols*) at the three different irradiances (the three different symbols represent the three different surface irradiances used to calculate the average irradiance in the pond). For the purposes of this model relative units have been used

Mixotróf tenyésztés reaktortípusai

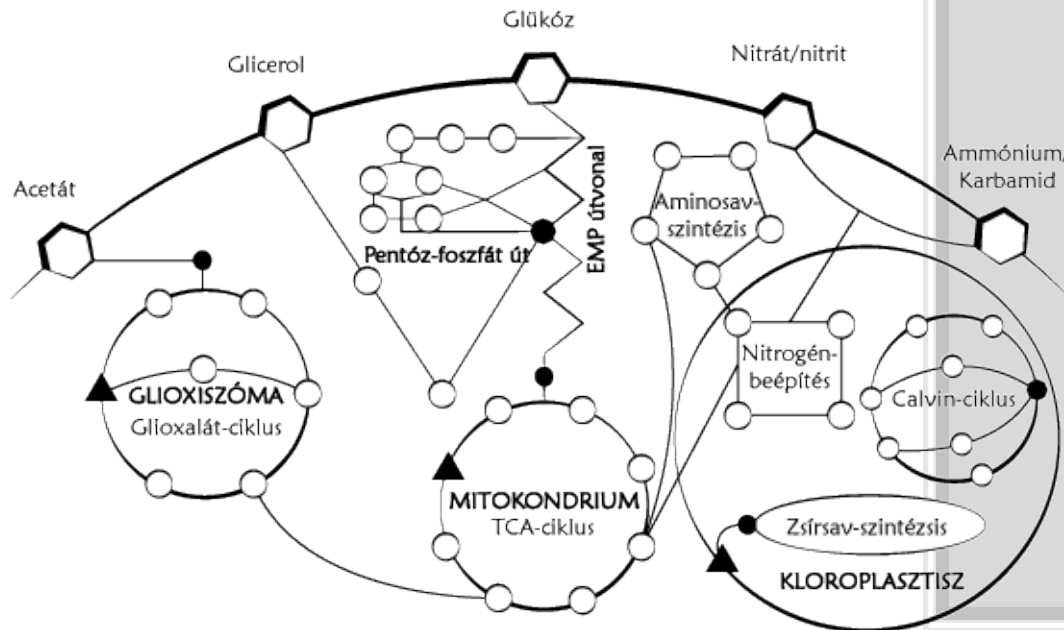
- Az autotróf tenyésztésnél alkalmazott reaktorok nem alkalmasak arra, hogy szerves szénforrás jelenléte mellett tenyészünk algákat. Üvegből készült fermentorokra lesz szükségünk, vagy professzionálisan kivitelezett egyedi geometriájú fotobioreaktorokra.
- A két képen a Wageningen Egyetem „flat panel” típusú laborléptékű reaktorai láthatók.





Heterotróf

- A szerves szénforrás transzporterei: glükóz – HUP
- Keményítő- és zsírsavszintézis
- „Nitrogénéhség” → növekvő lipidtartalom → feltehetőleg azért, mert kell N a keményítőszintézis enzimtermeléséhez



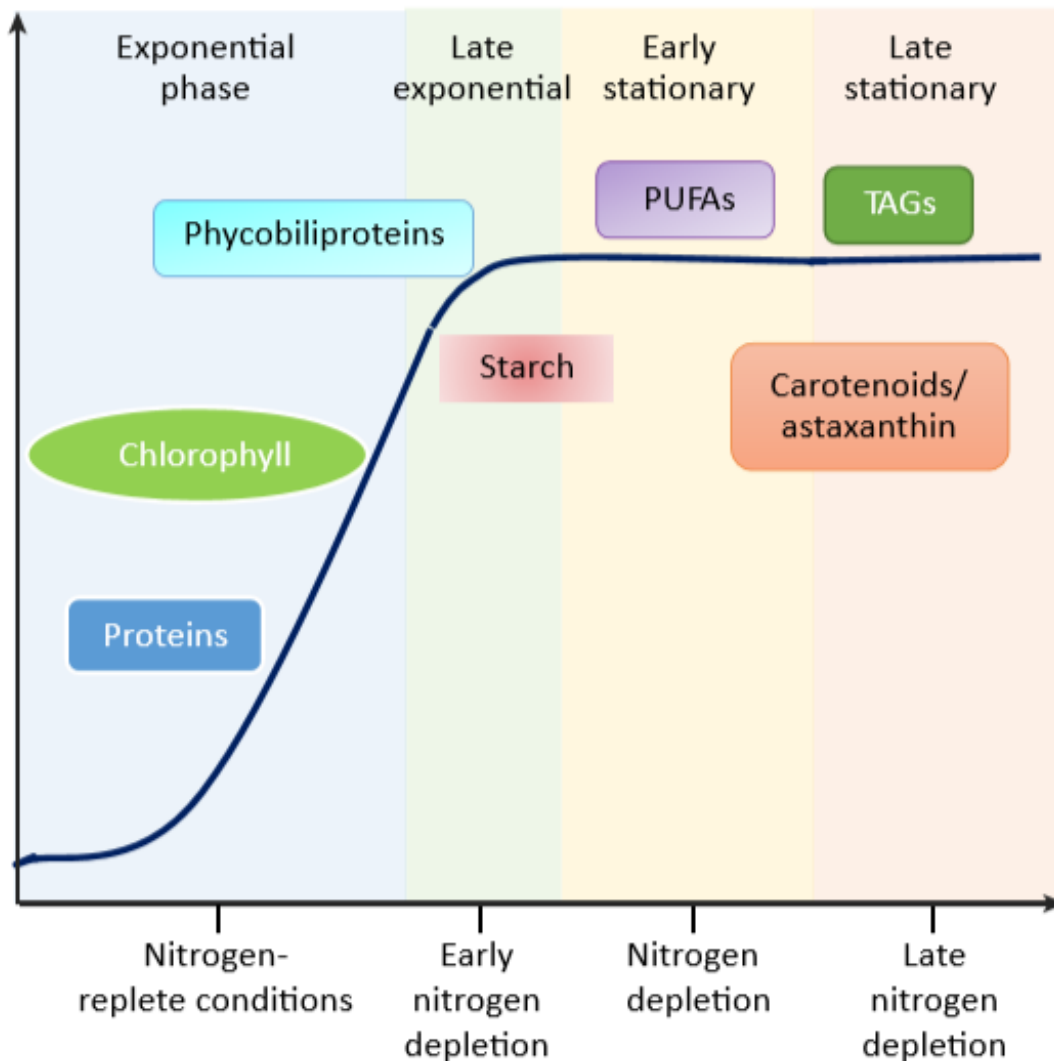


Figure 2. Optimal Conditions for Product Hyperaccumulation Over the Growth Phase as a Function of Nitrogen Concentration. Further details are given in [10,16,53–57]. Nitrogen is provided to microalgae as the key nutrient for growth. Nitrogen is consumed during growth and is used as a building block to synthesize several microalgal molecules, most prominently proteins. The decreasing nitrogen concentration in the medium reduces the growth of the microorganisms and causes metabolic imbalances which redirect the energy captured by photosynthesis towards the production of different molecules (mainly energy reserves such as starch and lipids, and antioxidants as carotenoids and astaxanthin). Abbreviations: PUFAs, polyunsaturated fatty acids; TAGs, triacylglycerols.

Heterotróf tenyésztés

- Szénforrással tápláljuk
- Nem minden alga törzs képes rá
- Magas elérhető sejtkoncentráció
- Axénikus, sterilizálható reaktor
- Könnyebb léptéknövelés, alacsonyabb fajlagos költségek
- Gyógyszeripari fermentációs eljárások alkalmazhatók
- Nagy hozzáadott értékű termékek előállítása



Heterotróf tenyésztés



OMEGA-6 TO OMEGA-3 RATIO¹

 REDUCES INFLAMMATORY RESPONSE²


REDUCES RISK OF CARDIAC DISEASE^{3,4,5}




SKIN AND COAT CONDITION⁶

 PREVENTS AGE-RELATED MENTAL DECLINE^{7,8}


 HEART RATE


 BLOOD PRESSURE


 IMMUNE FUNCTION


 SUPPORT ANTI-INFLAMMATORY AND ANTIARRHYTHMIC EFFECTS

DHA OMEGA-3

 IMPROVING YOUR PET'S HEALTH NATURALLY

DECREASES INTESTINAL INFLAMMATION⁹



LESSENS SEVERITY OF ARTHRITIS¹⁰

< 1%

 DOG'S CONVERSION RATE OF ALA TO DHA¹¹



SUPPORTS BRAIN AND EYE DEVELOPMENT^{11,12}

IMPROVES LEARNING AND TRAINABILITY^{13,15}









ENRICHED PET FOOD

References: 1. Sinopoulou AP. (Pharmacotherapy, 2002). 2. L'Abbate C, et al. (Am J Vet Sci, 2003). 3. Freeman J.M. (J Sm Anim Pra, 1998). 4. Samaha J, et al. (J Am Collig Card, 2007). 5. Smith C, et al. (J Vet Int Med, 2007). 6. Loggia D, et al. (Vet Derm, 1994). 7. Bauer J.C. (J Am Vet Med Assoc, 2006). 8. Fournier CR. (Vet Therapy, 2006). 9. Hickman MA. (Clinic Tech Sm. Ani Prac, 2016). 10. Fritsch D, et al. (J Am Vet Med Assoc, 2015). 11. Heinemann K, et al. (J Nutr), 2000. 12. Heinemann K, et al. (J Am Med Assoc, 2006). 13. Bauer J.C, et al. (J Nutr, 2006). 14. Kelly RL, et al. (Comp Int Sci Sm. Petty Ani Epidemiol, 2004). 15. Hoffman L, et al. (Unpublished data, 2007).



For more information about omega-3 and DHA, please contact your local Alltech representative.

Dokozahexénsav

- Áttörés a heterotróf algatenyésztésben
- Tiszta vegyület állítható elő

MIKROALGÁK AZ IPARBAN

I. Funkcionális
élelmiszerek –
nutraceutikumok
Pigmentek

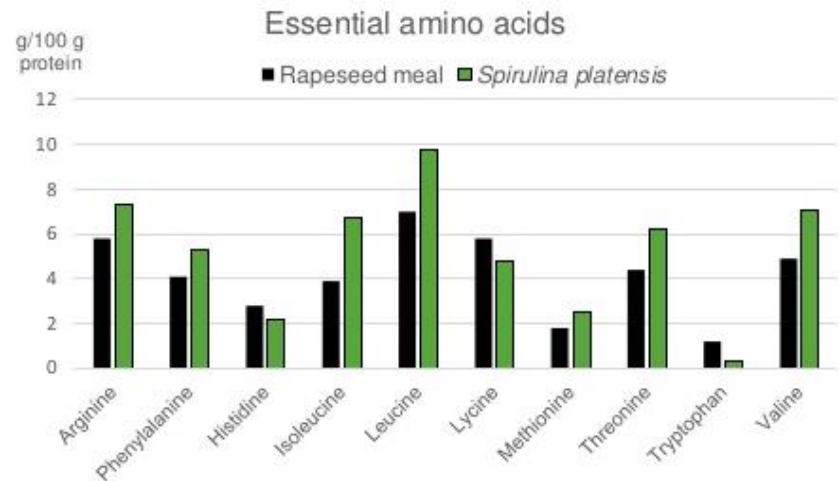


Land Area Needed to Produce One Kilogram of Protein

	Sq. Meters	Quality
Spirulina^a 65% protein	0.6	non-fertile
Soybeans^b 34% protein	16	fertile
Corn^b 9% protein	22	fertile
Grain-fed Feedlot Beef^b 20% protein	190	fertile

^a Y. Ota, Earthrise Farms, California 1995

^b Leesley, et al. "A low energy method of manufacturing high-grade protein using spirulina," University of Texas, 1980. Pimentel, 1975, USDA

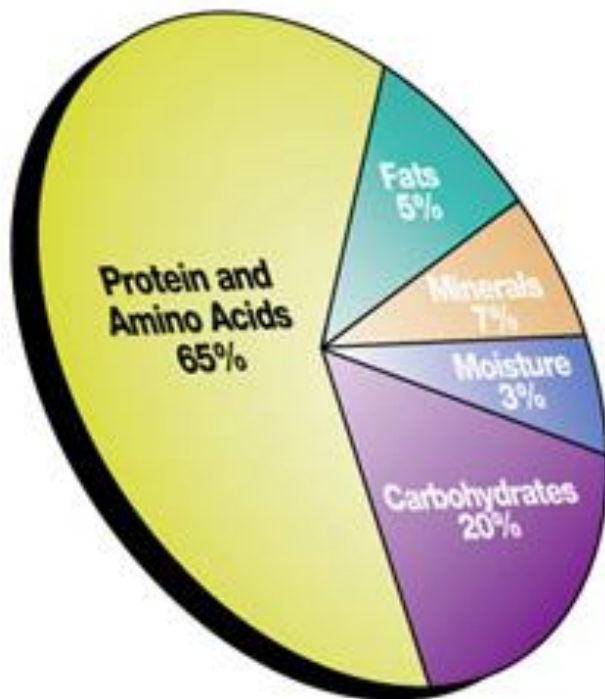


Water Needed to Produce One Kilogram of Protein

	Liters	Quality
Spirulina^a 65% protein	2100	brackish
Soybeans^b 34% protein	9000	fresh
Corn^b 9% protein	12500	fresh
Grain-fed Feedlot Beef^b 20% protein	105000	fresh

^a Y. Ota, Earthrise Farms, California 1995

^b Diet for a Small Planet, 1982, pg. 76-77, Dr. David Pimentel, Cornell University, 1981.



Spirulina vitamin content

Vitamins	per 10 grams	U.S. DV	% DV
Vitamin A (beta carotene)	23000 IU	5000 IU	460 %
Vitamin C	0 mg	60 mg	0 %
Vitamin E (a-tocopherol)	1.0 IU	30 IU	3 %
Vitamin K	200 mcg	80 mcg	250 %
Vitamin B1 (thiamin)	0.35 mg	1.5 mg	23 %
Vitamin B2 (riboflavin)	0.40 mg	1.7 mg	23 %
Vitamin B3 (niacin)	1.40 mg	20 mg	7 %
Vitamin B6 (pyridoxine)	80 mcg	2 mg	4 %
Folate (folic acid)	1 mcg	0.4 mg	0 %
Vitamin B12 (cyanocobalamin)	20 mcg	6 mcg	330 %
Biotin	0.5 mcg	0.3 mg	0 %
Panthenoic Acid	10 mcg	10 mg	1 %
Inositol	6.4 mg	***	***

Best beta carotene vegetables^a

Food	serving size	IU of beta carotene
spirulina^b	1 heaping tbsp. (10 g)	23000
papaya	1/2 medium	8867
sweet potato	1/2 cup, cooked	8500
collard greens	1/2 cup, cooked	7917
carrots	1/2 cup, cooked	7250
chard	1/2 cup, cooked	6042
beet greens	1/2 cup, cooked	6042
spinach	1/2 cup, cooked	6000
cantaloupe	1/4 medium	5667
chlorella^c	50 tablets (10 g)	5000
broccoli	1/2 cup, cooked	3229
butternut squash	1/2 cup, cooked	1333
watermelon	1 cup	1173
peach	1 large	1042
apricot	1 medium	892

a. Vegetarian Times, "Recipes with A+ Nutrition", May 1986, pg 47.

b. Earthrise Farms, 1995. c. Yaezama Chlorella, 1995.

Best food sources of Iron^a

Food	serving size	mg Iron
Spirulina^b	1 tbsp. (10g)	10.0
Chlorella^c	1 tbsp. (10g)	10.0
Chicken liver, cooked	3 ounces	7.2
Crab, pieces, steamed	1/2 cup	6.0
Beef liver, fried	1/2 cup	5.3
Soybeans, boiled	1/2 cup	4.4
Blackstrap molasses	1 tbsp.	3.2
Spinach, cooked	1/2 cup	3.2
Beef, sirloin, broiled	3 ounces	2.9
Potato, baked	one	2.8
Scallops, steamed	3 ounces	2.5
Pistachios, dried	1/4 cup	2.2
Broccoli, cooked	1 spear	2.1
Cashews, dry-roasted	1/4 cup	2.1
Turkey, dark meat	3 ounces	2.0
<u>Spinach, raw chopped</u>	<u>1/2 cup</u>	<u>0.8</u>

a. The Complete Book of Vitamins and Minerals for Health, pg. 182.

b. Earthrise Farms, 1995.

c. Yaezama Chlorella, 1995.

Spirulina essential fatty acids		
	mg per 10 grams	% total
C 14:0 Myristic	1 mg	0.2 %
C 16:0 Palmitic	244 mg	45.0 %
C 16:1 Palmitoleic	33 mg	5.6 %
C 17:0 Heptadecanoic	2 mg	0.3 %
C 18:0 Stearic	8 mg	1.4 %
C 18:1 Oleic	12 mg	2.2 %
C 18:2 Linoleic	97 mg	17.9 %
C 18:3 Gamma-linolenic	135 mg	24.9 %
C 20 Others	14 mg	2.5 %
Total	546 mg	100 %

Dietary sources of GLA	
Food sources	Oil extracts
Mother's milk	Evening primrose plant
Spirulina	Black currant and borage seeds

Spirulina natural pigments			
Pigments ^a	Color	per 10 grams	% total
Phycocyanin	(blue)	1400 mg	14 %
Chlorophyll	(green)	100 mg	1.0 %
Carotenoids	(orange)	37 mg	0.37 %
Carotenes	54 %	20 mg	0.20 %
Beta carotene	45 %	17 mg	0.17 %
Other Carotenes	9 %	3 mg	0.03 %
Xanthophylls	46 %	17 mg	0.17 %
Myxoxanthophyll	19 %	7 mg	0.07 %
Zeaxanthin	16 %	6 mg	0.06 %
Cryptoxanthin	3 %	1 mg	0.01 %
Echinenone	2 %	1 mg	0.01 %
Other Xanthophylls	6 %	2 mg	0.02 %



Hutt Lagoon, Australia

Dunaliella salina, 250 ha,
 β -karotin, A-pro-vitamin,
antioxidáns, ételszínezék,
kozmetikumok



Cyanotech – Hawaii 1984

<https://www.cyanotech.com/our-history/>

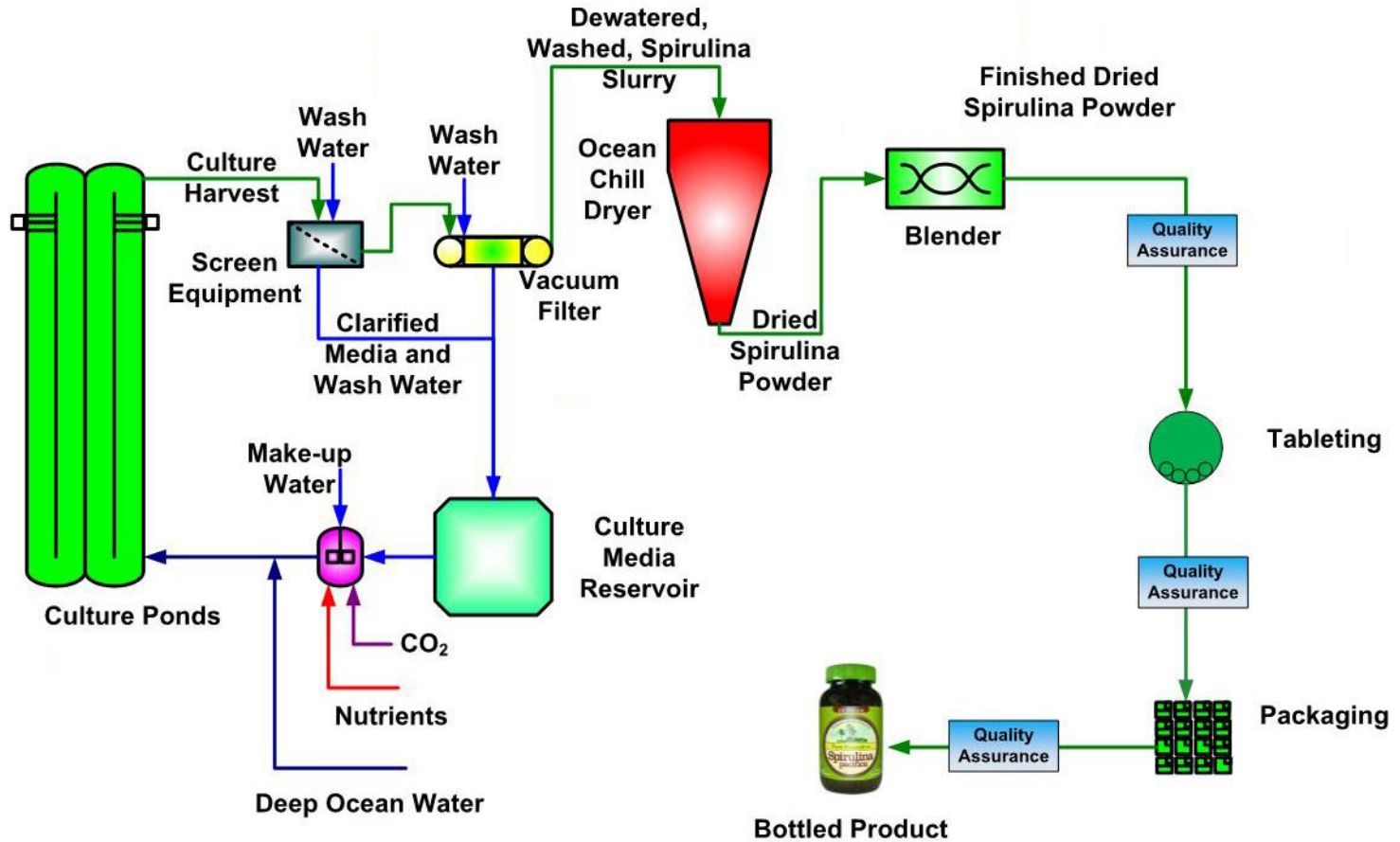
2019 - \$10,466,000
2018 - \$13,371,000

“The net loss this year was due substantially from forced water conservation efforts causing re-inoculation of our spirulina ponds, and errors in cultivation judgement and execution.”

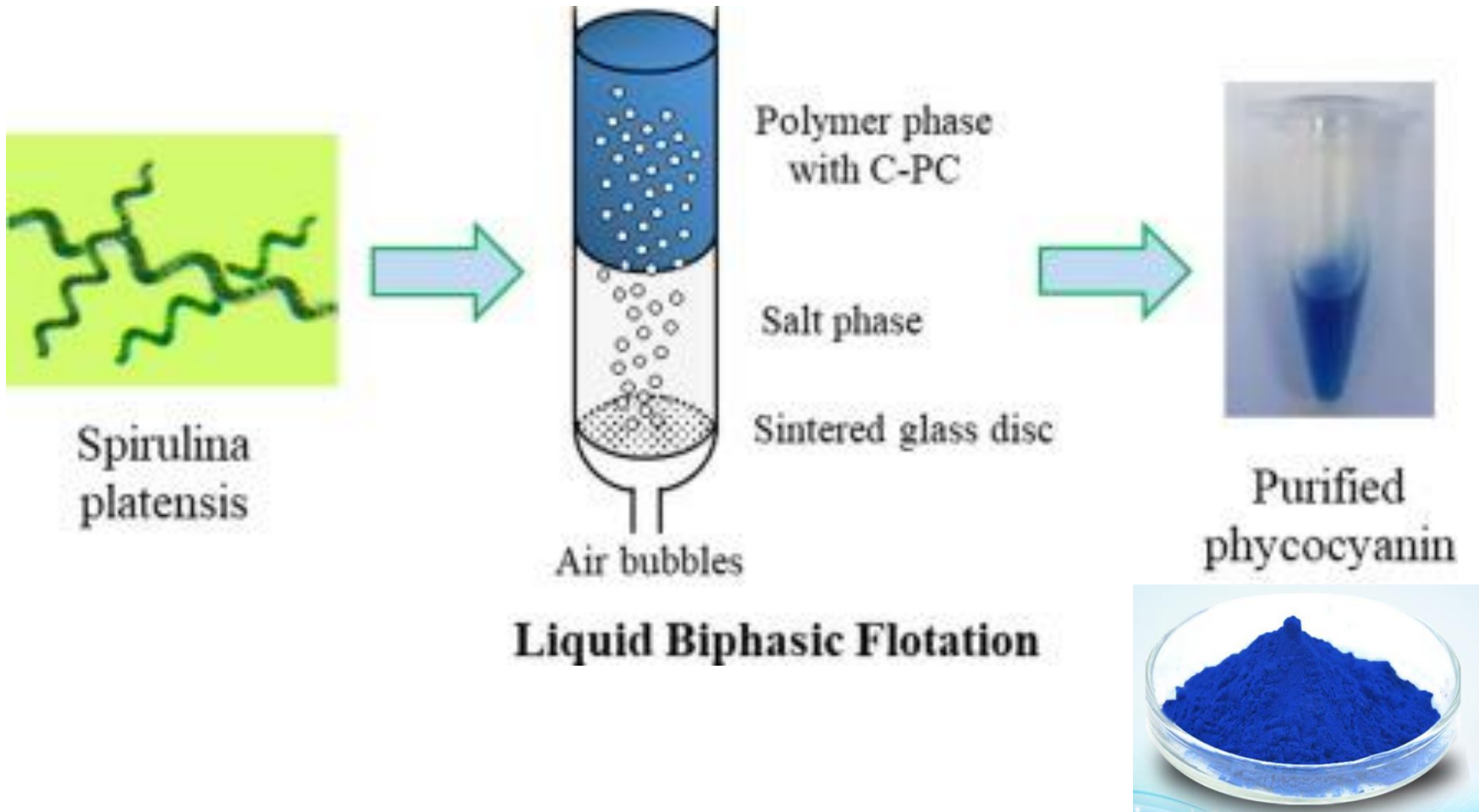


Cyanotech - Hawaii

Cyanotech - Hawaii



Aqueous two-phase system





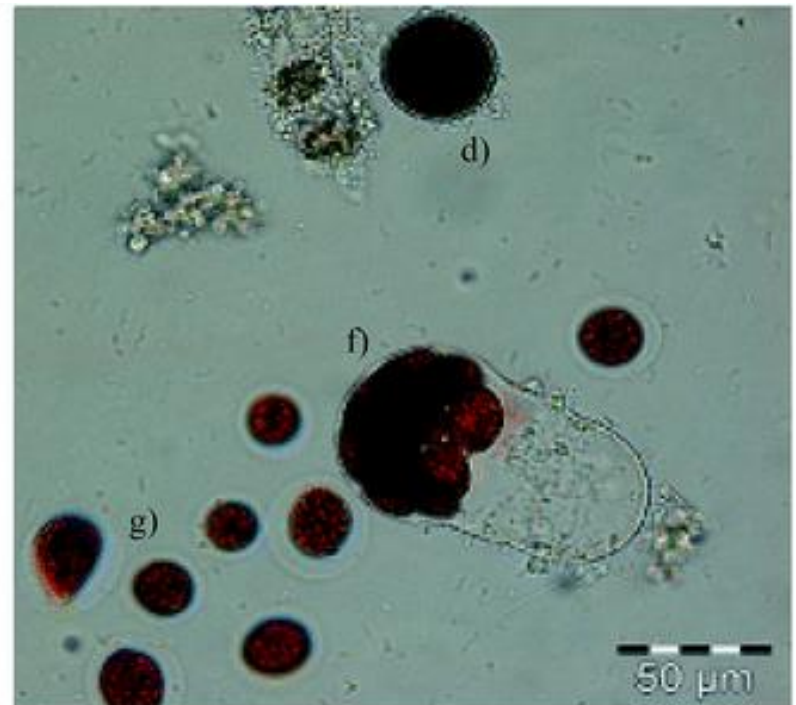
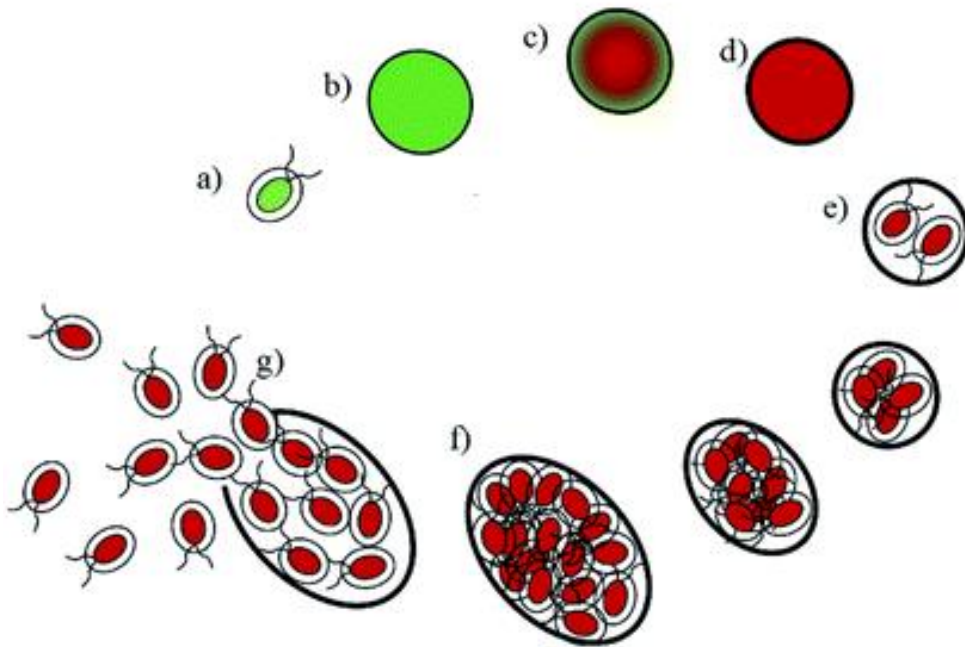
Kína – 2015 – *Haematococcus pluvialis*

1000 km csőszakasz

Asztaxantin 12000 \$/kg



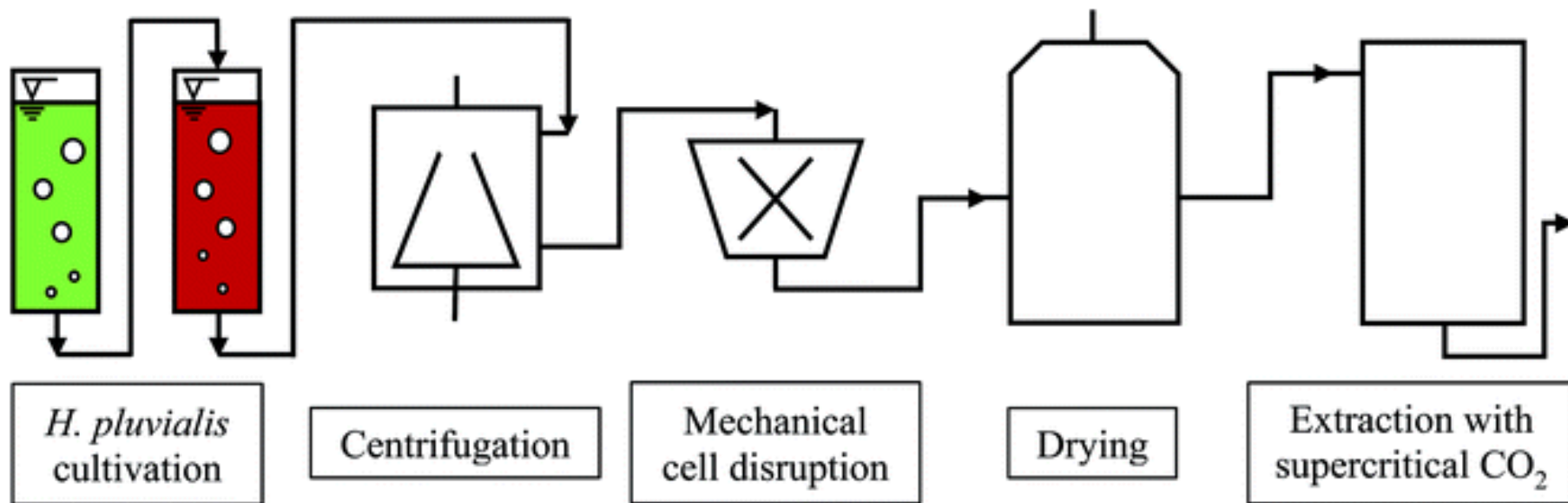
Haematococcus pluvialis szaporodása



Proliferation of *H. pluvialis*: (a) motile, flagellated cell, (b) aplanospore, (c) astaxanthin-accumulating aplanospore, (d) red cyst cell, (e) formation of a sporangium, (f) sporangium in the final stage, (g) zoospores released from the sporangium.

Folyamatábra a pigmentkinyerésről

Példa a „two-stage” fermentációra



„Two-stage” fermentáció

- Példa a *Haematococcus pluvialis* vagy *Chlorella zofingiensis* tenyésztése.
- A tenyésztés első lépcsőjén a biomasszatermelést részesítjük előnyben. Optimális környezetben ezek a mikroalgák zöld színűek.
- Megfelelően magas sejtkoncentráció után a sejteket betakarítják és átolttják egy másik reaktorba, vagy a tenyésztés paramétereit változtatják meg úgy, hogy a sejtek megkezdjék a céltermék termelését.
- A tenyésztés második lépcsőjén a kultúrát valamilyen stressznek tesszük ki. Ez a két alga esetében lehet nitrogénhiány, megnövekedett fényintenzitás, magas sókoncentráció.
- A stressz reaktív oxigéngyökök képződését váltja ki, amit a sejtek antioxidáns vegyületek termelésével próbálnak ellensúlyozni.
- Az egyik ilyen fő vegyület a vörös asztaxantin pigment.

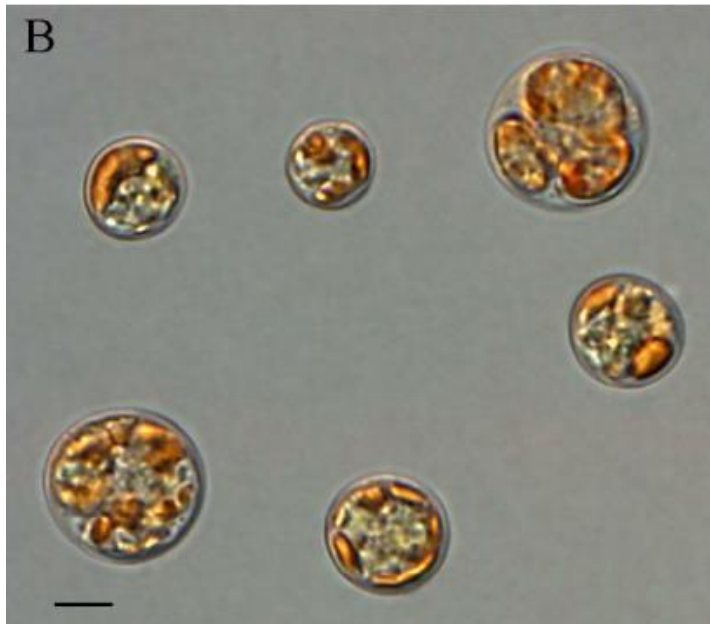
Verseny társak

- Lassú termelés, de gyors növekedés 😊

Chlorella zofingiensis

1-2 mg/g

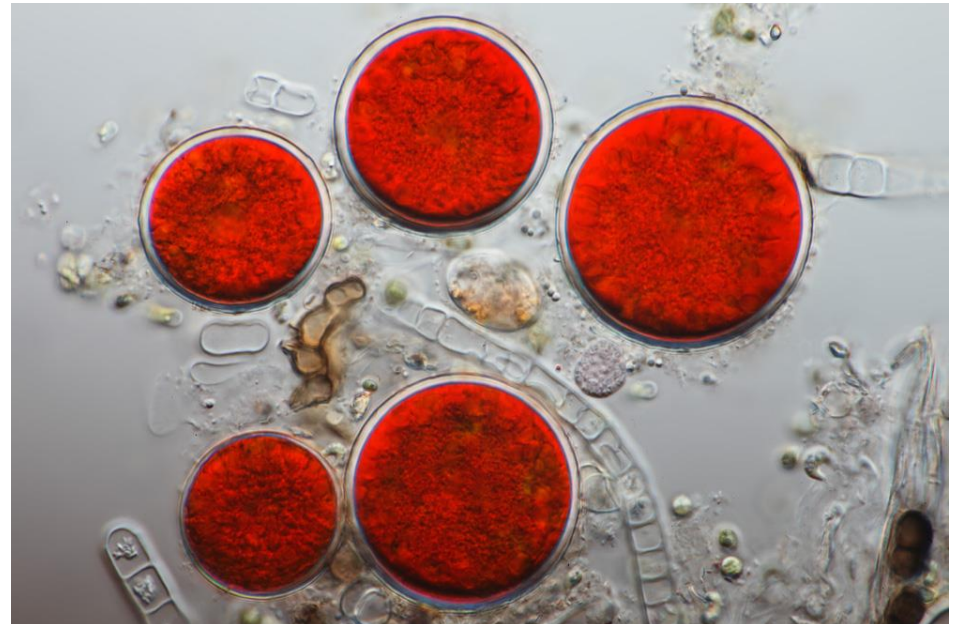
μ_{\max} 1.5-2 nap⁻¹



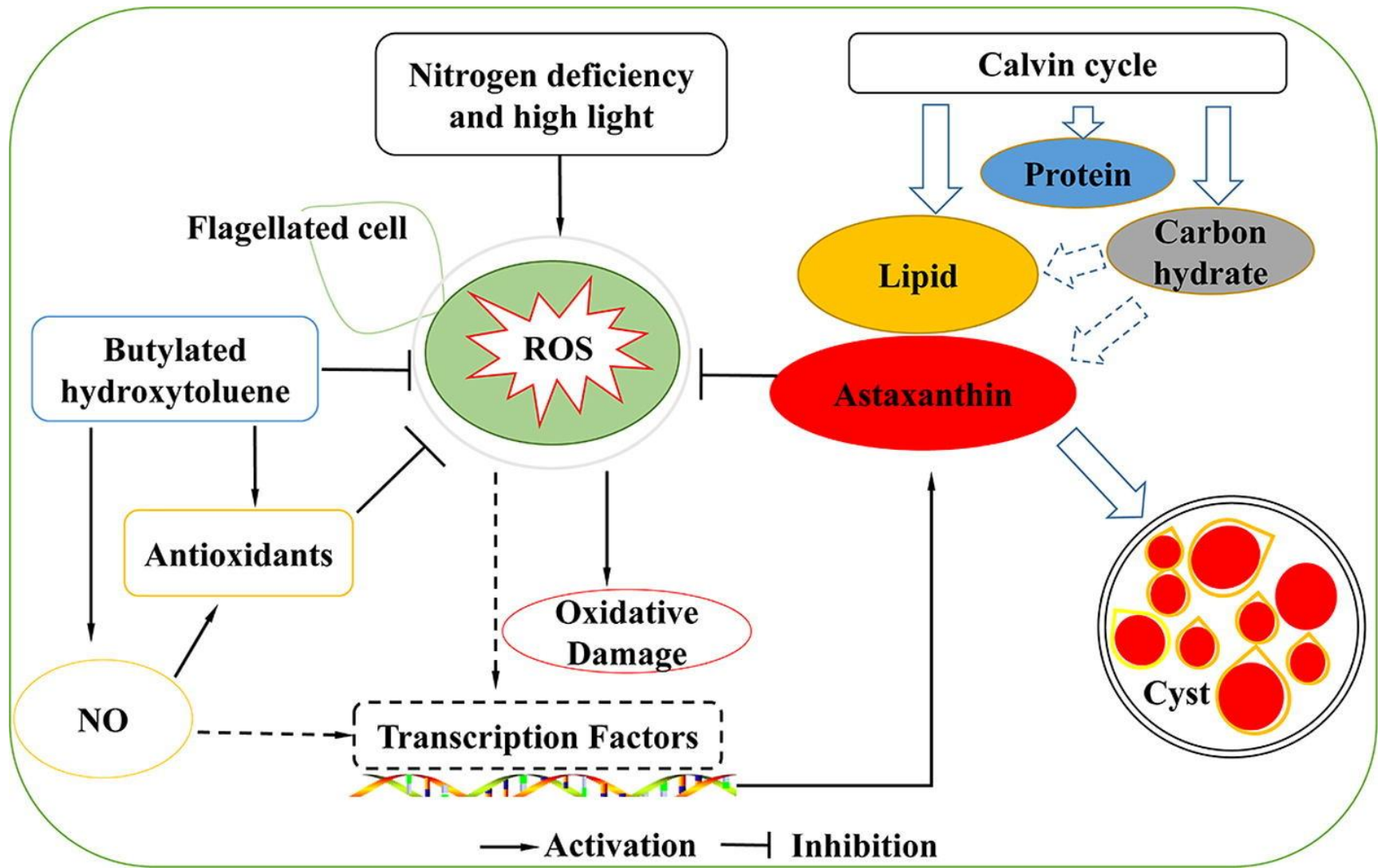
Haematococcus pluvialis

20-40 mg/g

0.2-0.6 nap⁻¹



asztaxantin



Zhao et al. Bioresource Technology, 2018. Butylated hydroxytoluene induces astaxanthin and lipid production in *Haematococcus pluvialis* under high-light and nitrogen-deficiency conditions.

MIKROALGÁK AZ IPARBAN

II. Mezőgazdaság

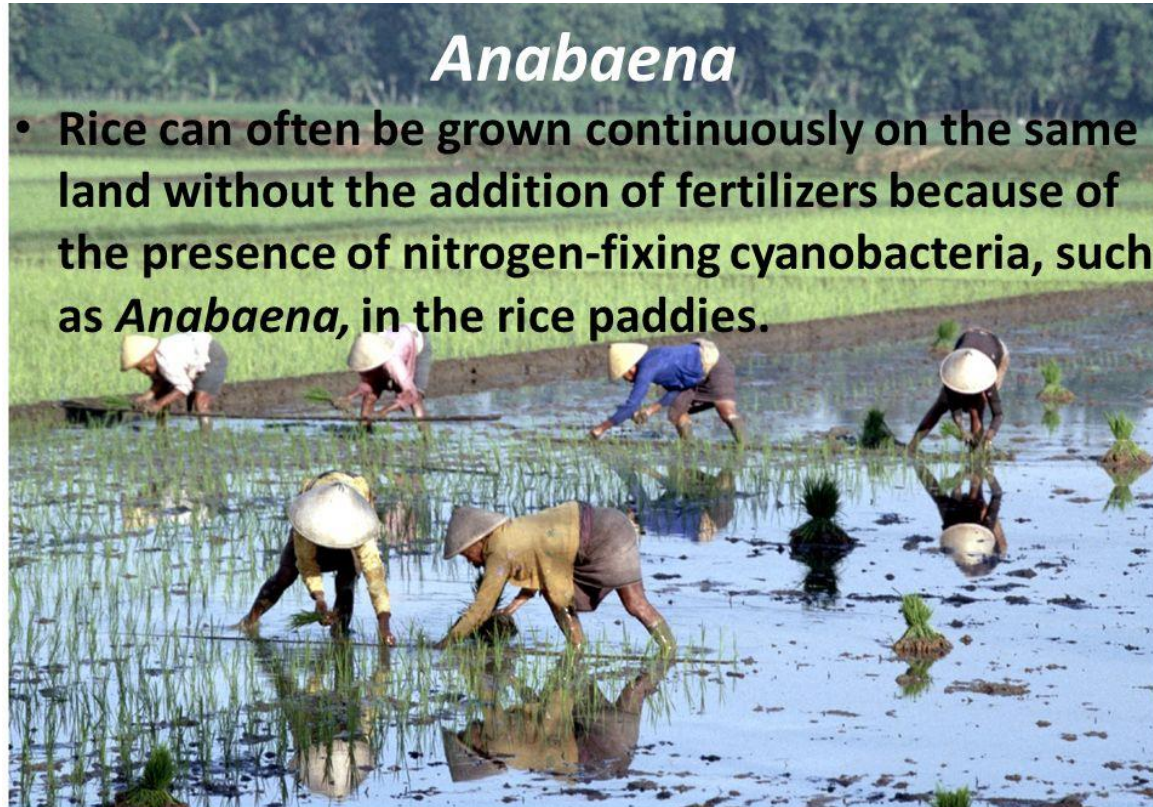


Figure 13-14
Biology of Plants, Seventh Edition
© 2005 W. H. Freeman and Company

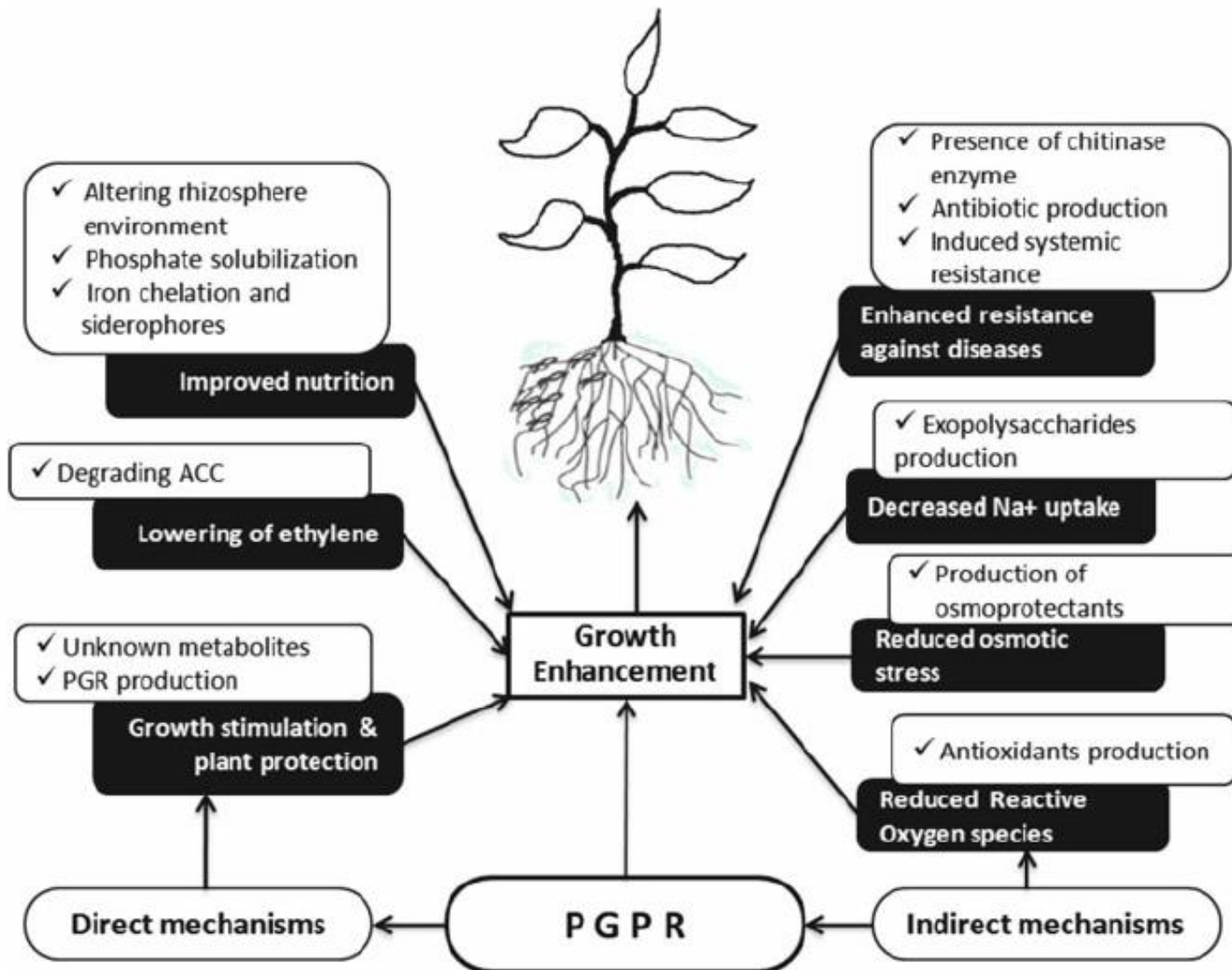
Talajjavítás - nitrogénmegkötés

Mútrágyázás hátrányai

- Zavarja a növény-mikroorganizmus kapcsolatokat, gátolhatja a nitrogénkötőkkel való szimbiózist.
- Gyengíti a növényi szövetek védekezőképességét a kártevőkkel és gombákkal szemben.
- Nem javítja a talajszerkezetet, ami a tápanyagok kimosódásához vezet.
- Elsavanyodás vagy lúgosodás. Visszafordíthatatlan károsodás, az ökoszisztéma felborulása.

Talajjavítók előnyei

- Növeli a természetes mikroflóra diverzitását.
- Patogének és paraziták elleni védelmet nyújt.
- A tápanyag-visszapótlás kiegyensúlyozottabb, amiben a mikroorganizmusok fontos szerepet játszanak.
- A szervesanyag növelésével a tápanyagok kolloidokat képezve javítják a talaj szerkezetét.



Plant Growth promoting Rhizoacteria – „PGPR“

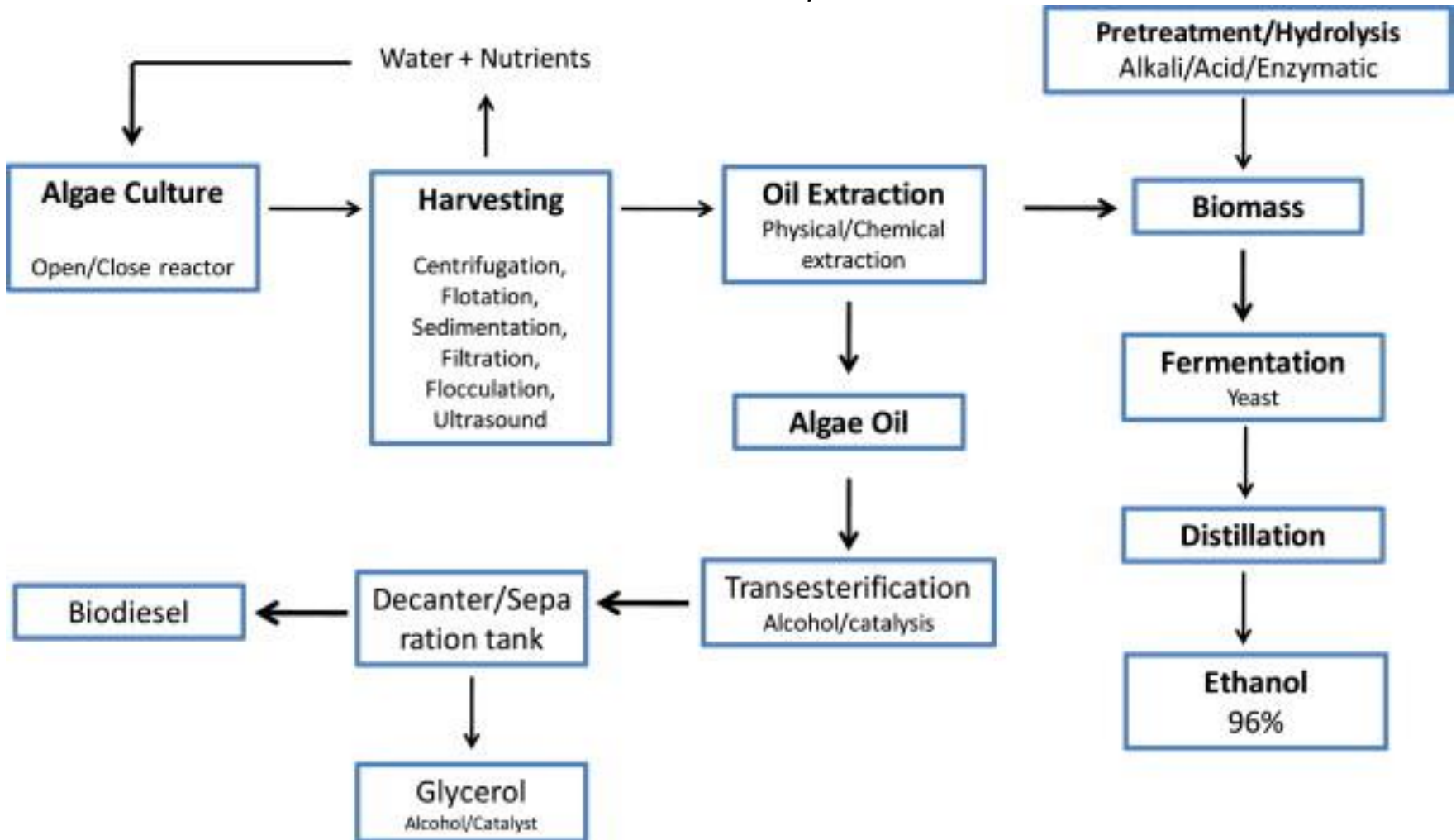
III. Biodízel

- Produktivitás mikroalgákkal: 52 000 – 121 000 kg/ha/év
- Produktivitás szójával: 562 kg/ha/év
- Egyes becslések szerint 39 000 km² algafarmon ki lehetne váltani a teljes fosszilis üzemanyagszükségletet. Ez az USA földterületének 0.42%-a.
- Palmitinsav, sztearinsav, olajsav.
- Alga biodízelnak magasabb a viszkozitása és kevésbé gyúlékony, mint a dízel üzemanyag.



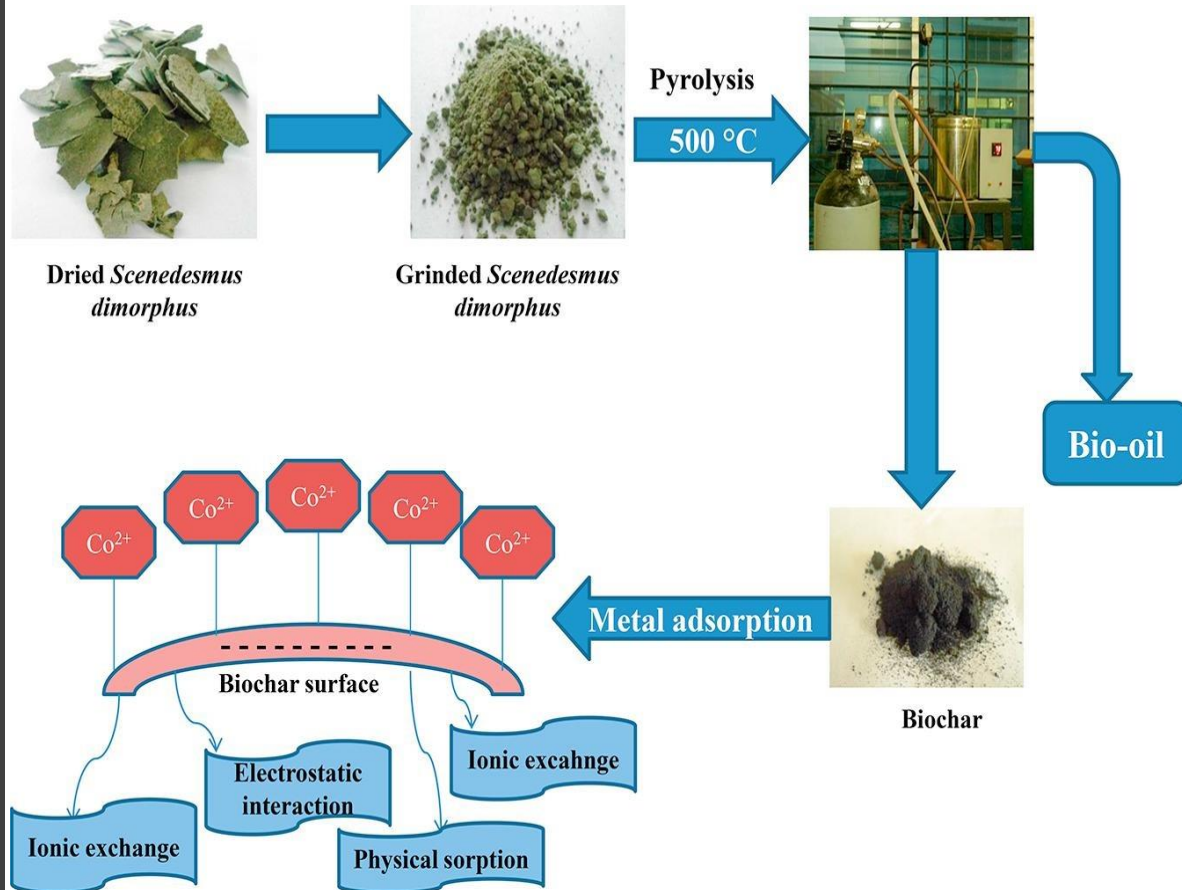
IV. Bioetanol

- Keményítőt, cellulózt és más szénhidrátokat termelnek.
- Előkezelés után fermentálható cukrokká konvertálhatók.
- Chlorella, Dunaliella, Spirulina, Chlamydomonas, Scenedesmus akár 50 wt% keményítő.



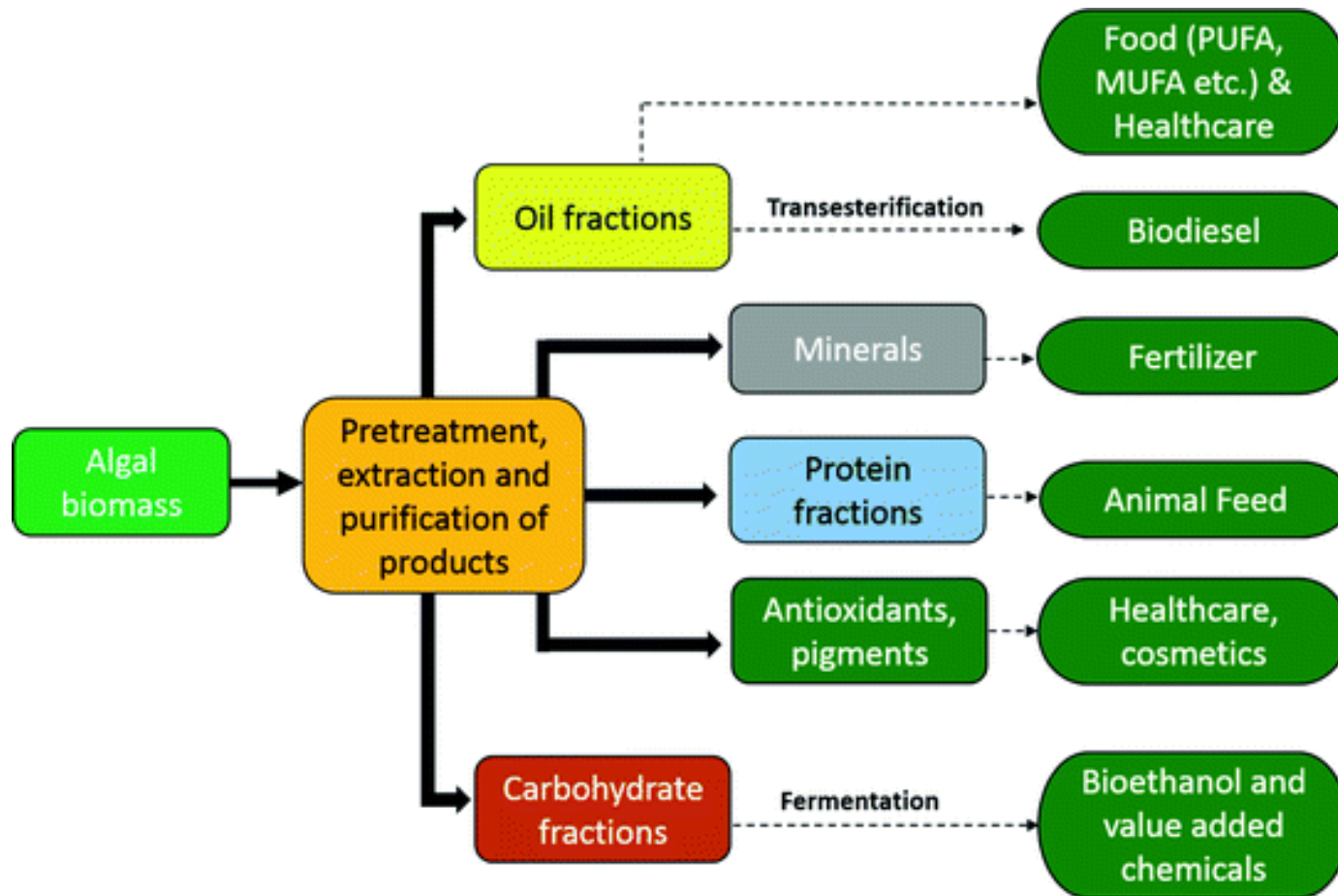
V.Bioszén (biochar)

- A bioszén nagy széntartalmú, finomszemcsés, porózus anyag, amely a biomassza termokémiai bontása során keletkezik oxigénhiányos környezetben és aránylag alacsony hőmérsékleten (200-750°C).
- Évente kb. 9200 tonna mikroalga biomassza keletkezik szennyvíztelepeken és akvakultúra-gazdálkodásokon.
- Termokémiai konverzió: lassú pirolízis
- Magas nitrogéntartalmú biochar kiváló talajjavító anyag, mellesleg más értékes elemeket is tartalmaz: Fe, Ca, Mg, K, Na.
- 30-65%-os hozam



Slow pyrolysis	300–700	<i>Chlorella</i> -based algal residue	<ul style="list-style-type: none"> - 56.3% at 300 °C - 66.2% at 500 °C - 65% at 700 °C - High concentration of nitrogen and other inorganic elements
Slow pyrolysis	350–950	Sewage sludge	<ul style="list-style-type: none"> - 39–52 wt% of biochar yield
Slow pyrolysis	400–1000	Olive husk	<ul style="list-style-type: none"> - 19.4–44.5 wt% of biochar yield
Slow pyrolysis	300–450	Pine sawdust	<ul style="list-style-type: none"> - 26–58 wt% of biochar yield
Slow pyrolysis	200–350	Willow chips	<ul style="list-style-type: none"> - 39.8–98.1 wt% of biochar yield - Highest char yield 98.1 wt% at 200 °C
Slow pyrolysis	200–350	Straw pellets	<ul style="list-style-type: none"> - 46.4–93.9 wt% of biochar yield - Highest char yield 93.9 wt% at 200 °C
Fast pyrolysis in fluidized bed reactor	500	Defatted <i>Chlorella vulgaris</i>	<ul style="list-style-type: none"> - 31% of biochar yield - Energy recovery of algal biomass in bio-oil and biochar is 94% - High inorganic biochar content
Pyrolysis in fixed bed reactor	350	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Nitrogen-rich biochar - Largest fraction in term of mass, 44 ± 1% w/w mass yield of biochar
Pyrolysis in fixed bed reactor	300–600	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Surface area of biochar increased from 1.72 to 123 m²/g when temperature increased from 300 to 500 °C; reduced to 89 m²/g at 600 °C - The recalcitrance of biochar increased from 0.62 to 0.76 with increasing temperature
Microwave pyrolysis	240–400	Macroalgae	<ul style="list-style-type: none"> - 54.8% of biochar yield
Microwave pyrolysis	480	Douglas fir sawdust pellets	<ul style="list-style-type: none"> - Highest biochar yield is 49.61 wt% based on torrefied biomass at 300 °C and reaction time of 20 min
Microwave pyrolysis	200	Straw pellets	<ul style="list-style-type: none"> - 33.7 wt% of biochar yield
Microwave pyrolysis	170	Willow chips	<ul style="list-style-type: none"> - 27.3 wt% of biochar yield
Vacuum pyrolysis	300–600 (573–873 K)	Napier grass (<i>Pennisetum purpureum</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - 36–52% w/w of biochar yield - Highest char yield 52% w/w at 300 °C/ 573 K
Hydrothermal carbonization	190–210	<i>Dunaliella salina</i>	<ul style="list-style-type: none"> - 25.3–45.7% of biochar yield
Hydrothermal carbonization	190–210	<i>Arthrospira platensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> - 21.6–36.7% of biochar yield
Hydrothermal carbonization	180–220	<i>Nannochloropsis</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> - 30–47% of biochar yield
Hydrothermal carbonization	175–215	<i>Spirulina</i>	<ul style="list-style-type: none"> - 23.3–49.3% of biochar yield
Torrefaction	200–300	<i>Chlamydomonas</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> - 51.3–93.9% of biochar yield
Torrefaction	200–300	<i>Chlamydomonas</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> - 50.8–95.7% of biochar yield
Microwave assisted wet torrefaction	160–180	<i>Chlorella vulgaris</i> ESP-31	<ul style="list-style-type: none"> - 61.7–52.6% of biochar yield

Biofinomító



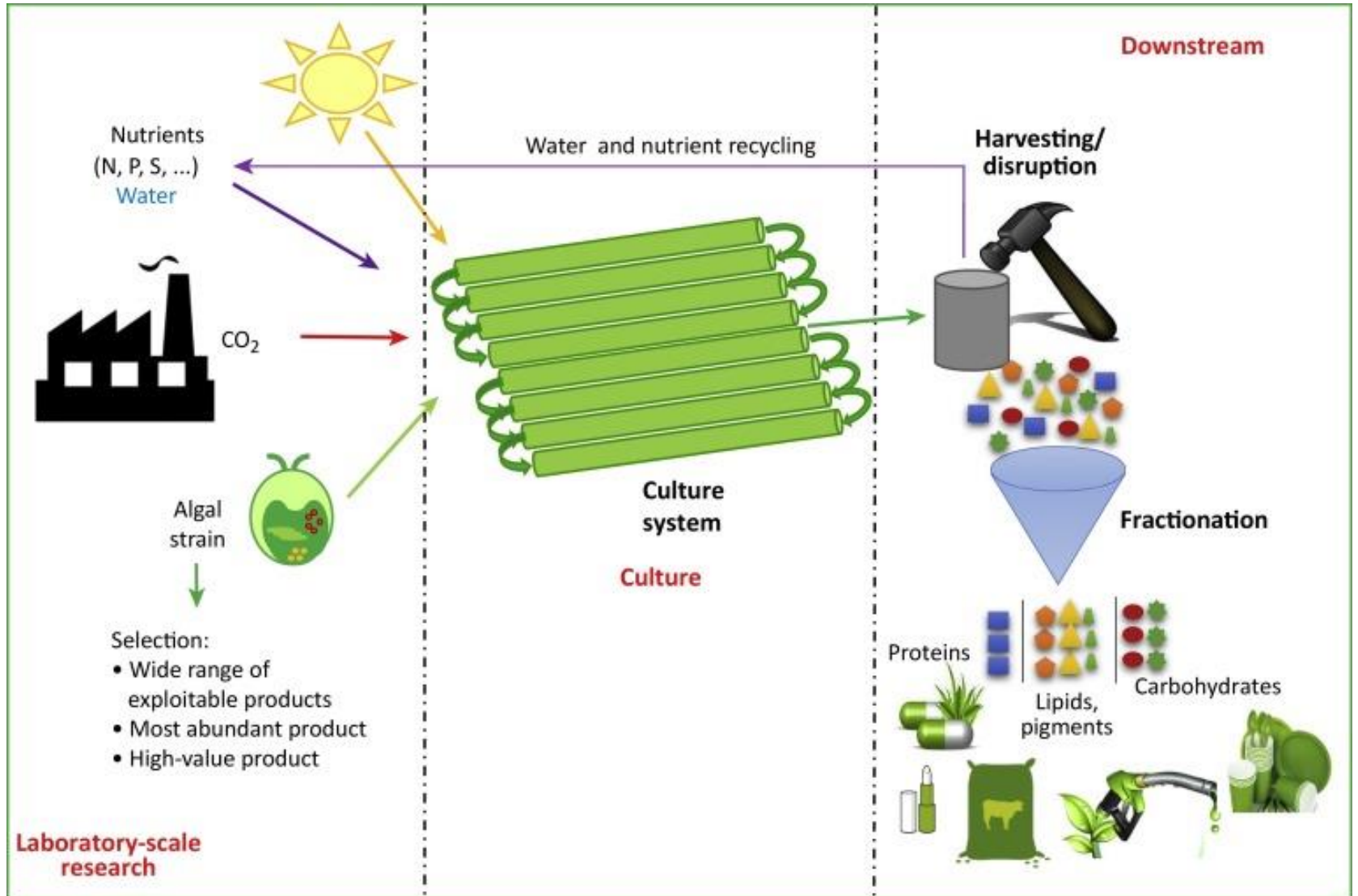


Table 1. Analysis of Advantages, Disadvantages, and Costs of the Different Strategies Reported for Interconnected Biorefinery Unit Operations

	Culture strategy		Culture system		Cascade extraction	
	Single product hyperaccumulation	Multiple product co-accumulation	Open thin cascade raceway	Thin flat-panel PBR	Maximum extraction of a single target product	Multiproduct extraction
Advantages	Simplified recovery of the target product	Multiple product exploitation	Low-cost installation and operation of the culture	Reduced contamination; high level of control over culture parameters	High purity and selectivity in the recovery of the target	Recovery and sale of several medium-value products
Disadvantages	Long depletion time; low culture productivity	Complex extraction and fractionation	Contamination; variable culture conditions (supporting only robust strains)	Elaborate installation and operation requirements for the culture system	Byproduct to low-value market (fuel, energy)	Mild product extraction and multistep fractionation
Costs	High cultivation cost owing to long starvation time	High profit and lower waste	Low cost (comparable to open pond culture)	High cost for material and operations	Low cost owing to fewer unit operations	High cost owing to mild extraction
Application (products/strain)	Astaxanthin by <i>Haematococcus</i> spp.	Soluble proteins, lipids, and starch by <i>Chlorella</i>	<i>Nannochloropsis</i> spp. oil production	PUFAs and fucoxanthin by <i>Phaeodactylum trycomutum</i>	β -Carotene production by <i>Dunaliella salina</i>	Proteins, PUFA-rich oil, and carbohydrates by <i>Tetraselmis</i> spp.

MAB^{2.0}

MICRO ALGAE BIOREFINERY

**Integration of algae production into waste water treatment:
Introduction of the Climate-KIC
Microalgae Biorefinery2.0 project**

Miklós Gyalai-Korpos, PANNON Pro Innovations Ltd.
Agriforvalor project meeting, 24 February 2017, Budapest



MAB2.0 project: Integrating algae production into wastewater treatment

Balázs József Nagy^{1,2}, Magdolna Makó¹, István Erdélyi¹, Andrea Ramirez³, Jonathan Moncada⁴, Iris Vural Gursel⁴, Ana Ruiz-Martínez⁵, Aurora Seco⁵, José Ferrer⁶, Fabian Abiusi⁷, Hans Reith⁷, Lambertus A.M. van den Broek⁸, Jordan Seira⁹, Diana Garcia-Bernet⁹, Jean-Philippe Steyer⁹ and Miklós Gyalai-Korpos^{10*}

R⁶



Home

Questions

Jobs

Search



Balázs József Nagy

PhD student · [Edit](#)

Overview

Contributions

Info

Stats

Wastewater streams and are able to grow using
as a promising outlook in wastewater treat-
into an existing wastewater treatment line
MAB2.0 project developed and demonstrated this
process this process by phases and protocols, as
these standardized technical protocols detailed
aspects such as strain selection, as well as eco-
treatment plants through the integration of
wastewater streams need specific attention and
focus on the engineering aspects of integration.
MAB2.0 treatment enabling algae growth.

Célok és hatókör

1. Előzetes értékelés
2. Célpontok definiálása
3. Kísérletüzemi tesztek
4. A biomassa minőségi elemzése



Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep

- Szennyvízgyűjtés (kb. 2 millió lakos) és kezelés
- Napi kapacitás: 200 000 m³
- Környezetbarát technológiák
- Biogáz-termelés és hulladékkezelés
- 11 800 MWh elektromos áram és 13 800 MWh hőenergia a biogázból
- Fejlett akkreditált labor

Előzetes
értékelés

szennyvíz

- Szennyvíztisztítás különböző szakaszain más-más összetételű víz
- Nagy fluktuáció a befolyóban
- Toxikus vegyületek jelenléte

KIJELÖLT PARAMÉTEREK ÁLLANDÓ
MONITOROZÁSA

Lehet-e algát termelni ezen a szennyvizen? Hogyan?

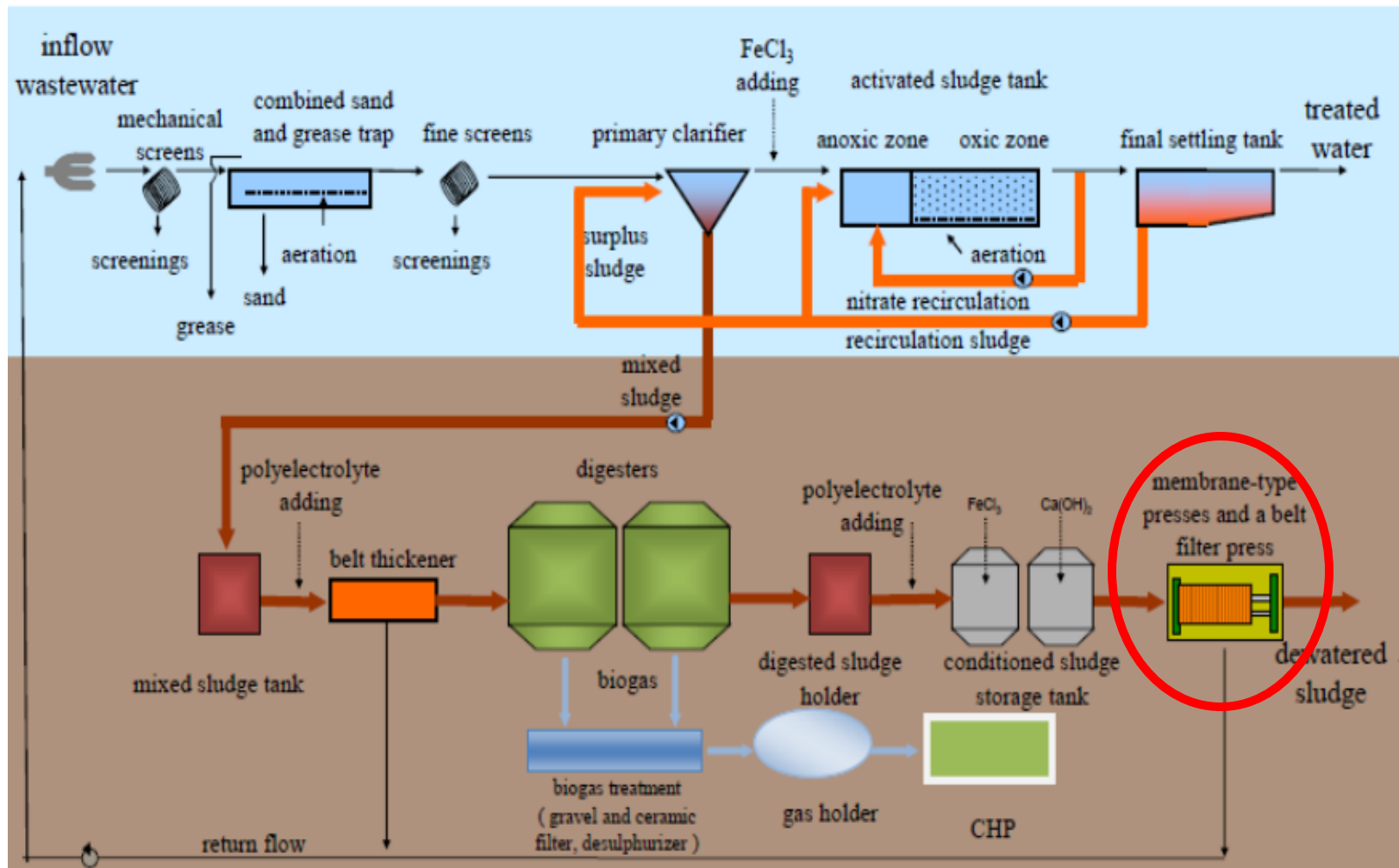
Melyik vonalon van
szükség további
szennyvíztisztításra?



Alkalmas-e
algatermelésre?

ÉRVEK AZ ALGÁK MELLETT:

- Hatékony nitrogén és foszforeltávolító képesség
- Gyors szaporodás
- „Korlátlan” ingyen alapanyagok (napfény, csurgalékvíz, füstgáz)
- **Értékes biomassza**





Előzetes értékelés protokoll

- Üzemeltetés, analitika, folyamatirányítás
- Szezonális figyelembevétele
- Adatbázisok felvétele és kiértékelése
- Szennyvíztisztítás hatékonysága
- Jogi oldal

50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól

- pH 5,5 ; nitrát 50 mg/L
- *termőrétegének vastagsága 60 centiméternél kevesebb,*
- Talajvizének évi átlagos szintje 150 cm-nél magasabb, és a talajvízszint legmagasabb átlaga éri el a 100 centimétert
- Tilos a szennyvíz vagy szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása, ha azokban a mérgező (toxikus) elemek vagy károsanyagok koncentrációja meghaladja a közölt határértékeket.
- A 6 százaléknál nagyobb lejtésű területen szennyvíz, illetve folyékony szennyvíziszap felhasználása tilos. Víztelenített szennyvíziszapot (ha szárazanyag tartalma több mint 25 százalék) csak 12 százaléknál kisebb lejtésű területen lehet felhasználni.
- Szennyvíz, szennyvíziszap felhasználása tilos a zöldségnövények és a talajjal érintkező gyümölcsök termesztése esetében a termesztés évében, valamint az azt megelőző évben.

Célpontok definiálása

- Törzsszelekció (MACC)
 - Gyors, sok párhuzamos mérés
- Infrastruktúra
- Technológia integrálása
- Termékfelhasználás

**ALGATECHNOLÓGIÁK INTEGRÁLÁSA A
SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBA**

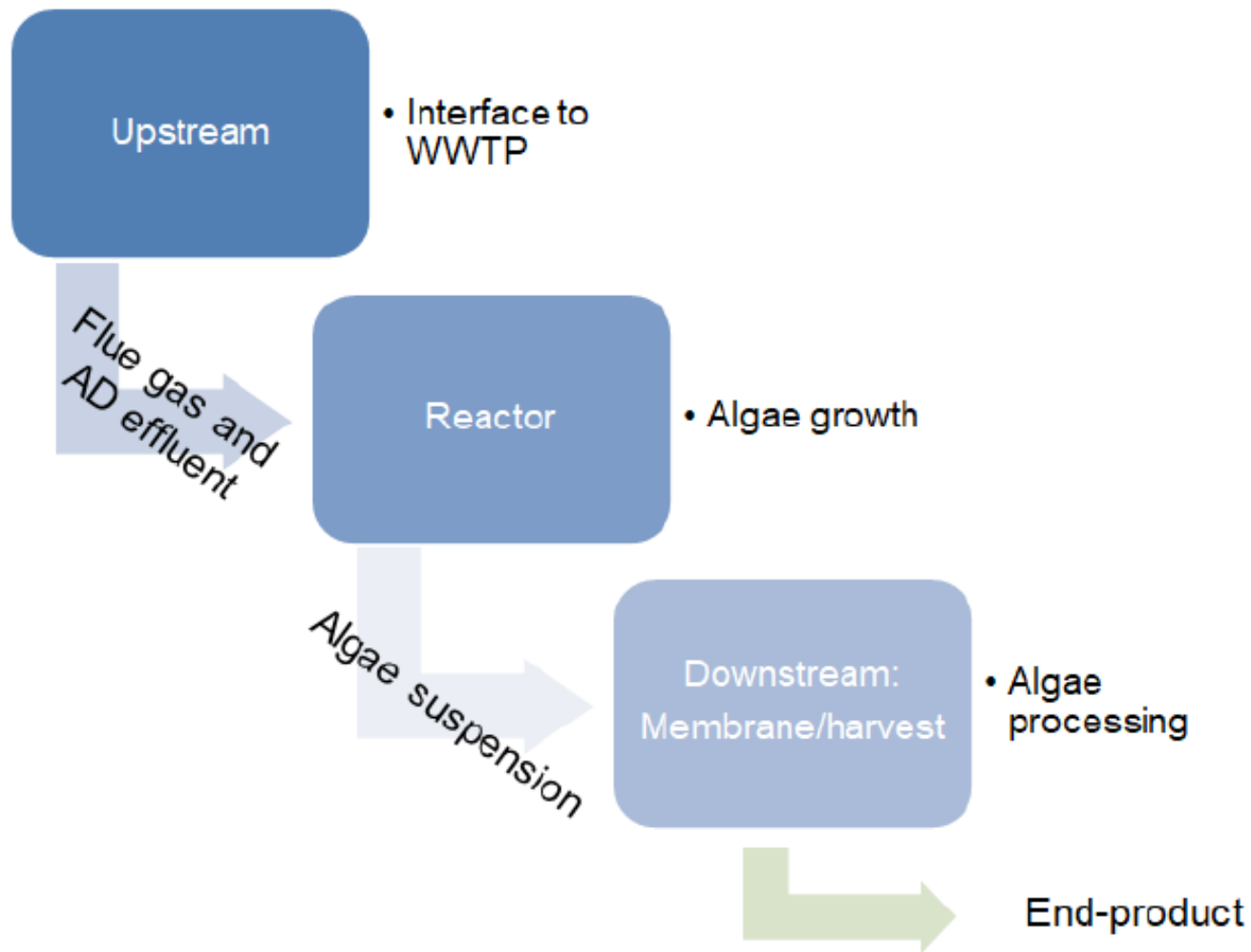


Figure 3. Flow chart of the technology integration including the three tailorable modules.

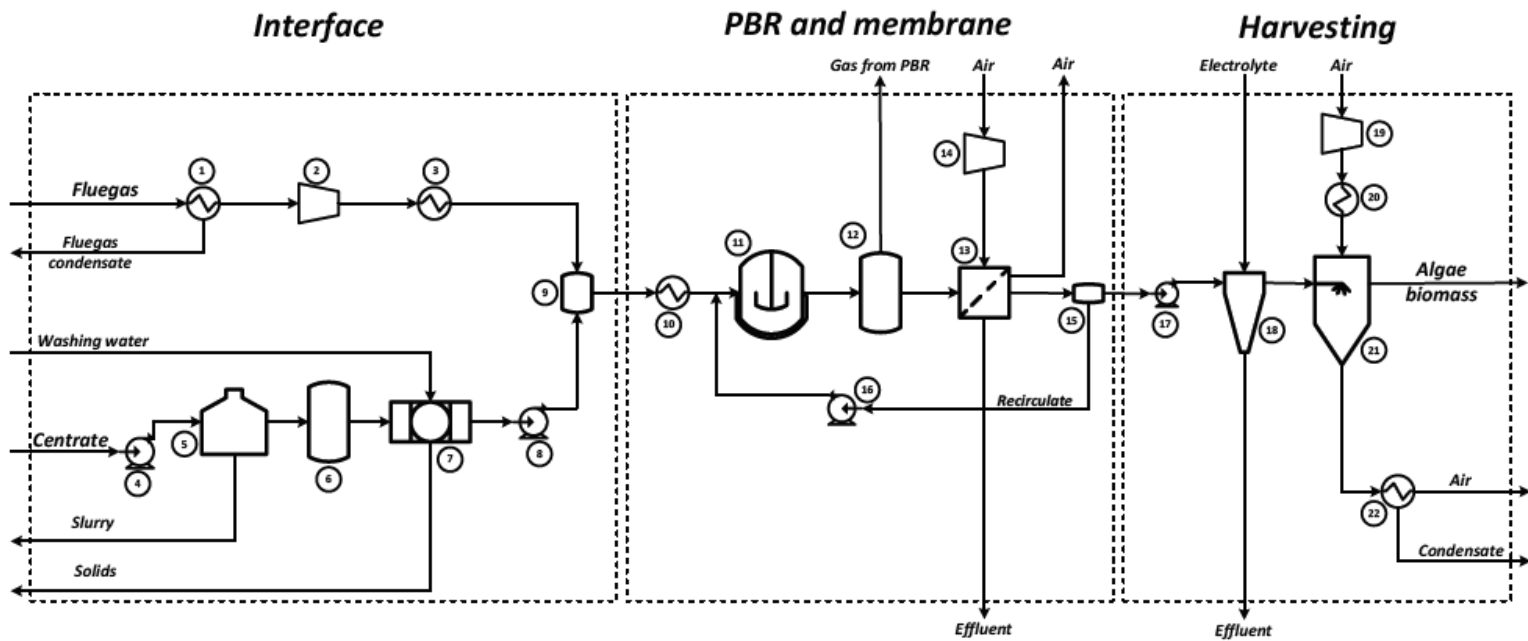
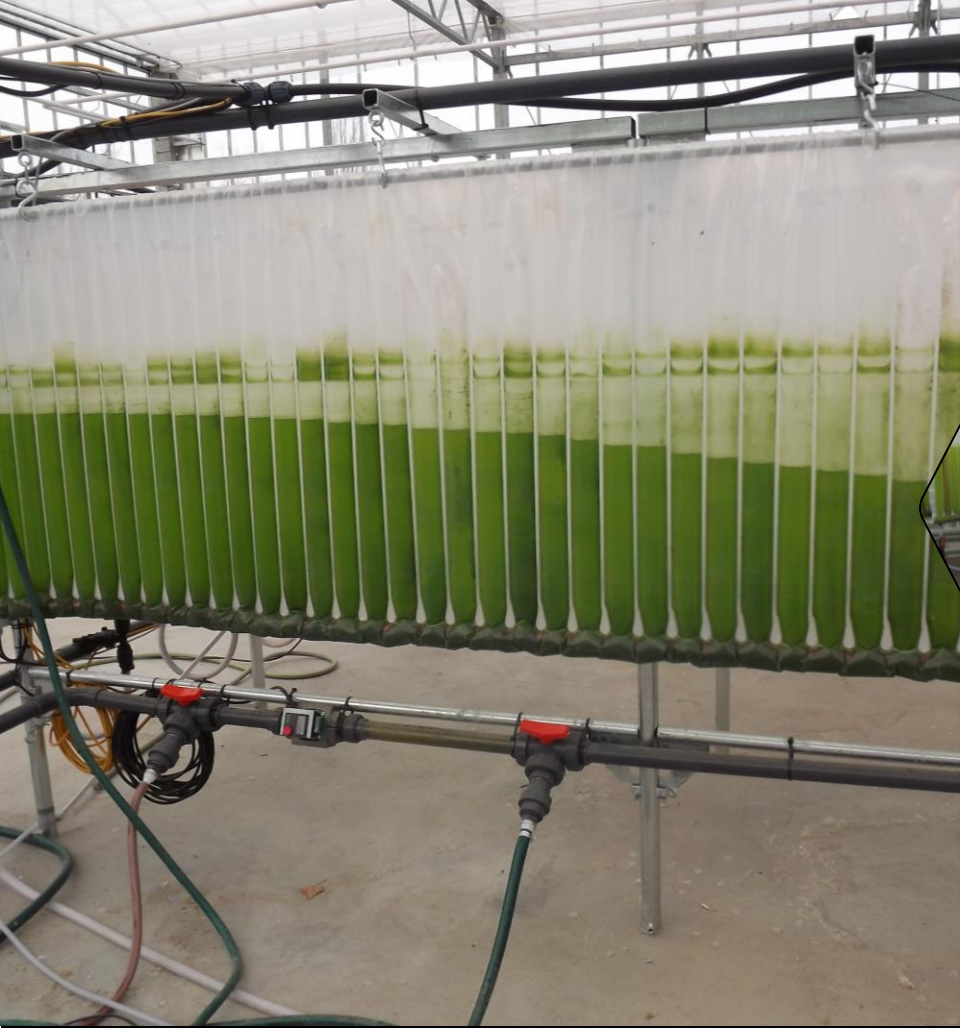


Figure 4. Simplified flowsheet diagram of the microalgae integration system. Major equipment list: 1. Heat exchanger, 2. Blower, 3. Heat Exchanger, 4. Pump, 5. Settler, 6. Buffer tank, 7. Sand filter, 8. Pump, 9. Mixer, 10. Heat exchanger, 11. Photobioreactor, 12. Degasing unit, 13. Membrane, 14. Blower, 15. Splitter, 16. Pump, 17. Pump, 18. Centrifuge, 19. Blower, 20. Heat Exchanger, 21. Dryer,

Kísérletüzemi tesztek

- Reaktorok
- Inputok
- Tenyésztéstechnológia



Testing different reactor designs
2013-2016
Plastic bag reactor

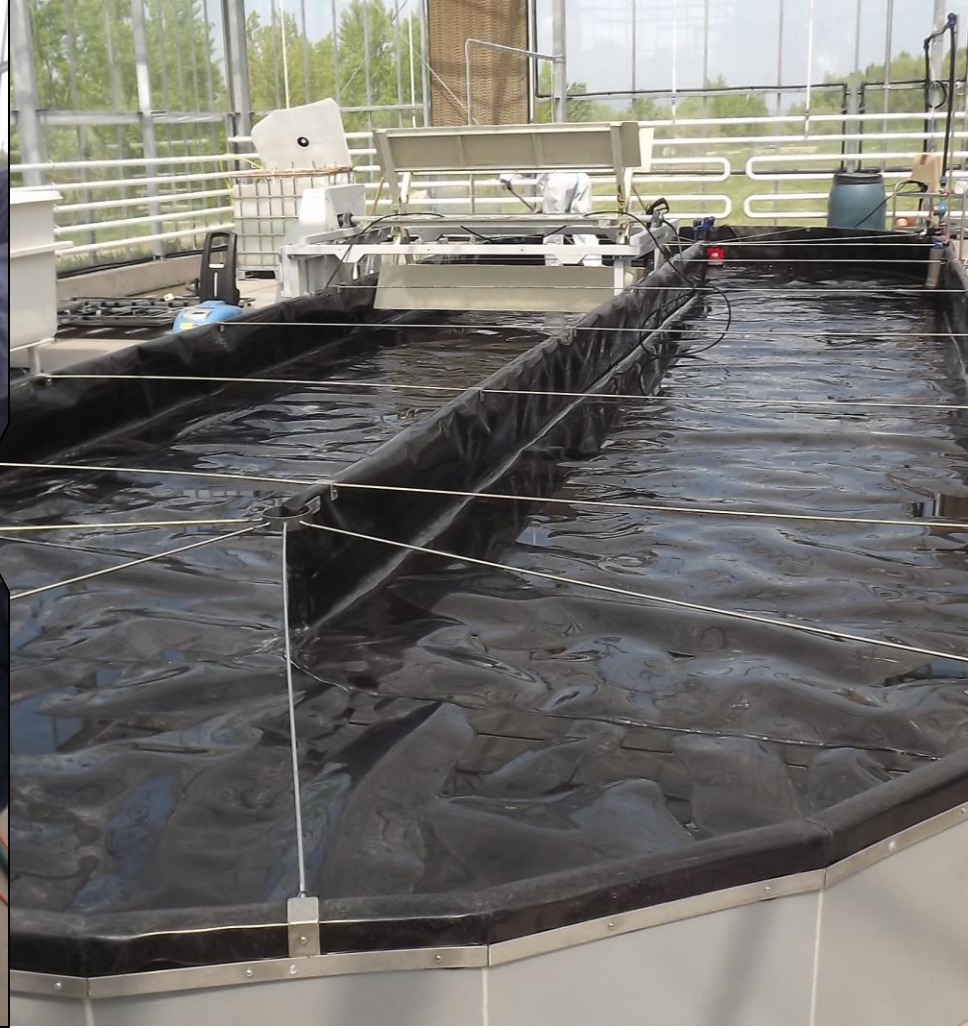
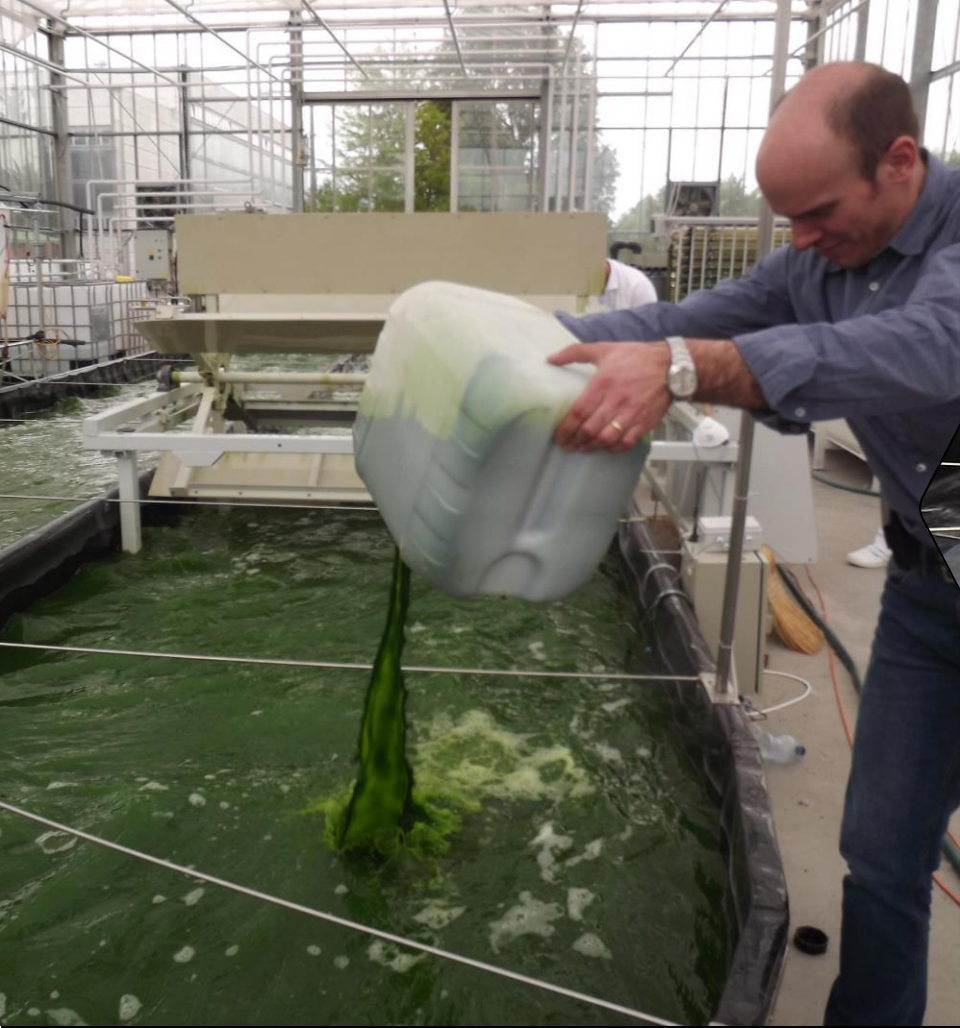


Testing different reactor designs
2015-2016
Tubular photobioreactor

Testing different
reactor designs
2016

Tank with internal LED
lighting





Focusing on the **raceway pond**
2017

Félfolytonos tenyésztés

Low algae cell
concentration

250 mg/L

Weekly AD
effluent feed

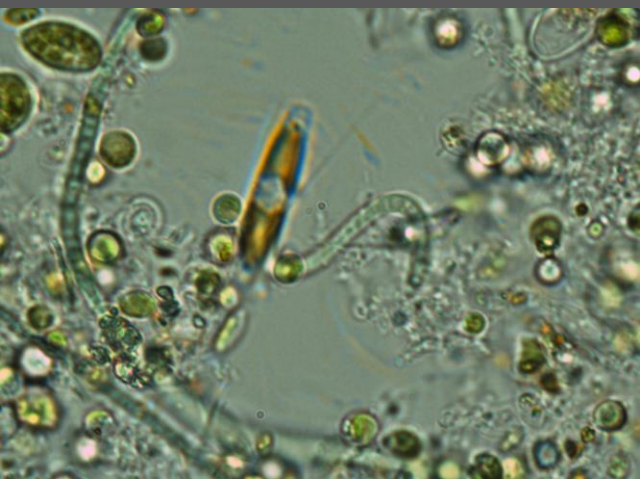
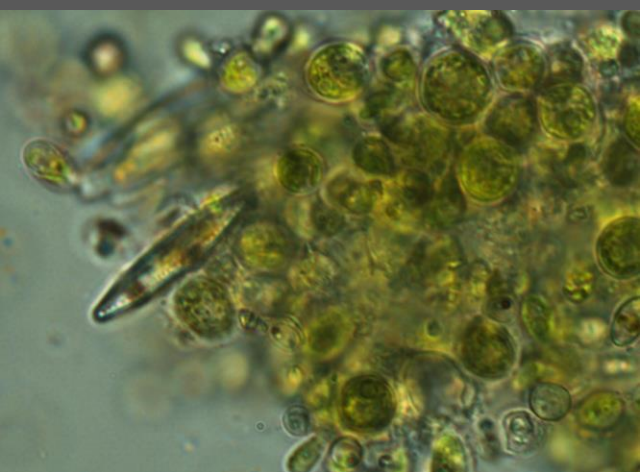
3-6 m³

Weekly
harvesting

1,5 kg CDW

CO₂ or flue gas
input

Less human
resources



Kihívások

- Megfelelő áramlás
- Nyitott rendszer
- Fertőzések, kitapadás
- Időjárás



Váratlan kipusztulás

- Paraziták, predátorok
- Idegen mikrobiális aktivitás
- Éhezés



Kihívások

- Füstgáz korrodálja az alkatrészeket
- Nagymennyiségű tiszta csurgalékvíz előállítása
- „Aratás” nagyteljesítményű folytonos centrifugával



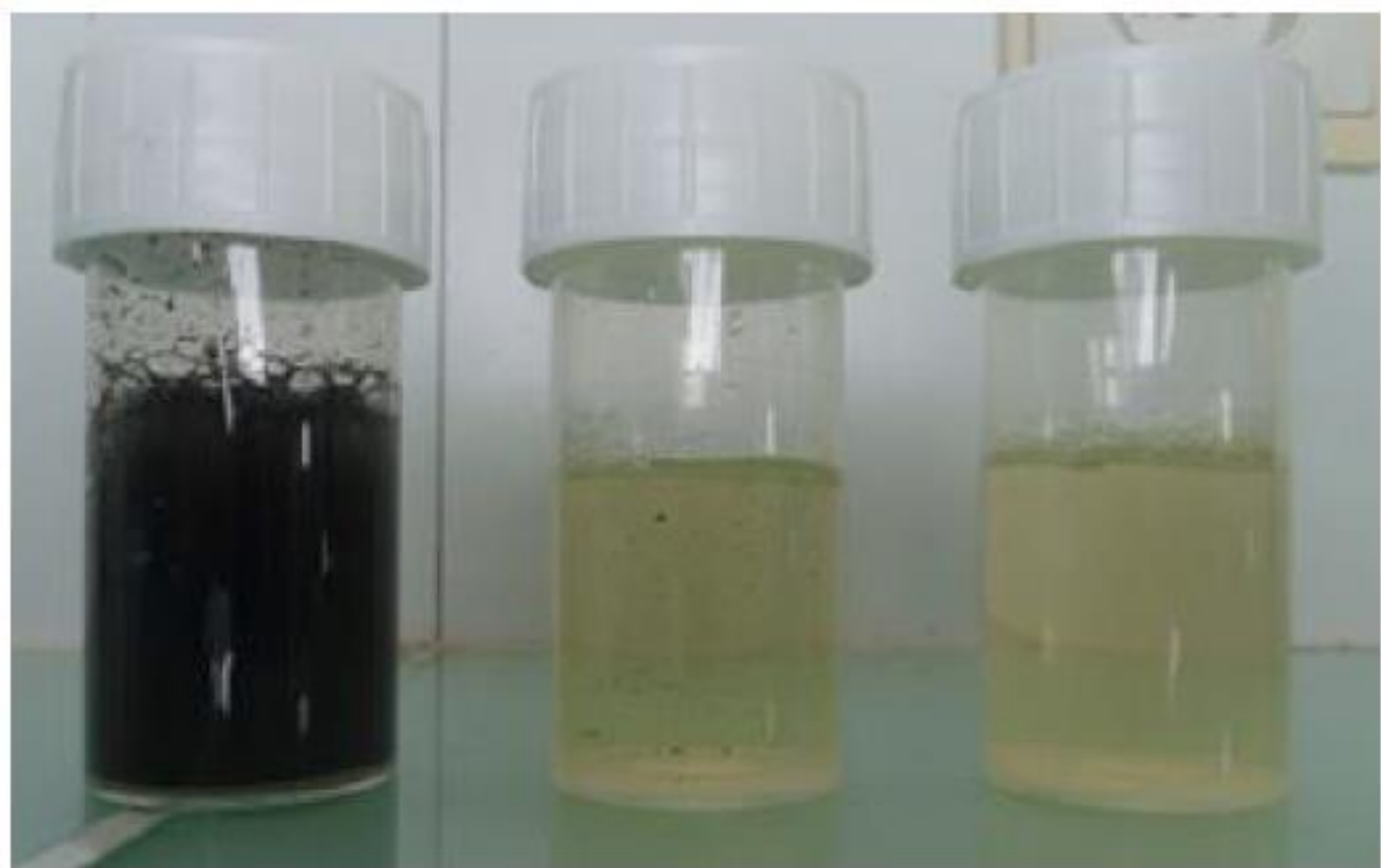
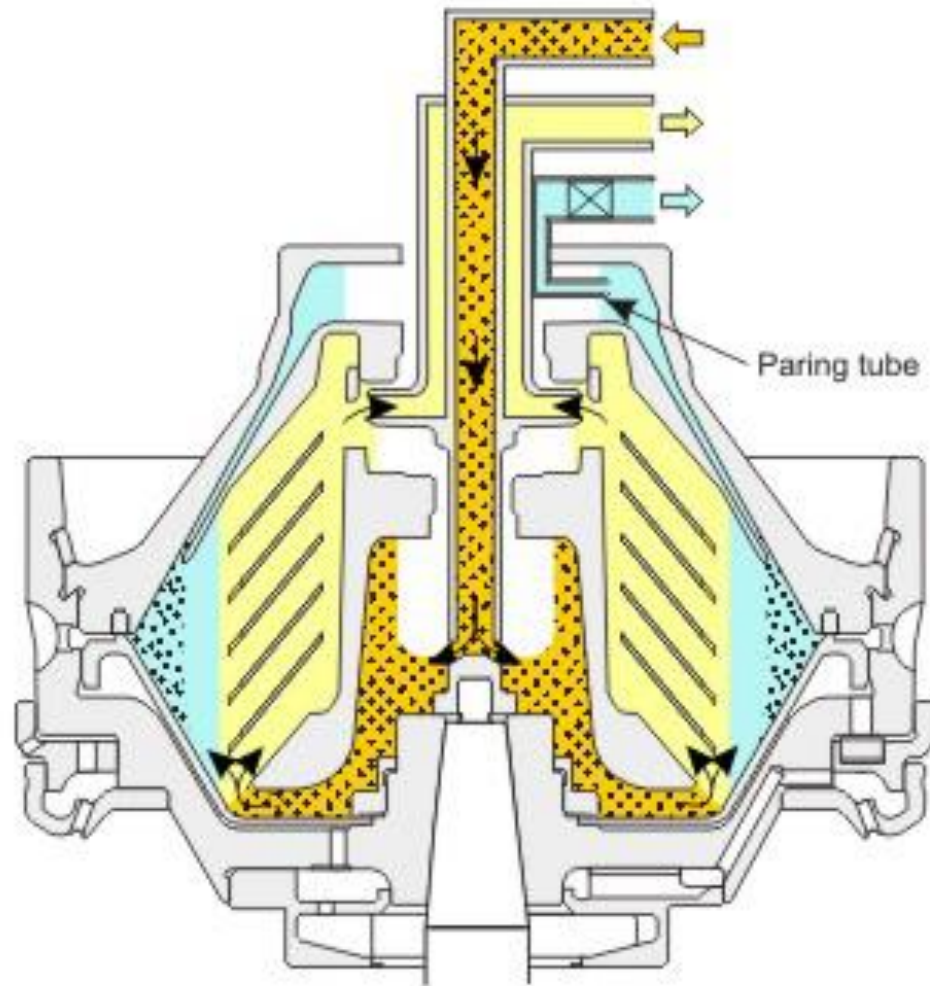


Figure 2. From left to right: untreated AD effluent, settled and filtered samples.



GEA Westfalia Separator



S-separator bowl

GEA Westfalia vagy Alfa Laval Separator

javasolt forrás: youtube



Biomassza elemzése

- Összetétel: makro- és mikroelemek
- Környezetterhelési bírságok
- Mikrobiológiai összetétel

Más felhasználási területek

- Bioműanyag, ragasztóanyag
- Fehérjekivonat (~40%)
- Parkzöldítés



Figure 7. Examples of pellets and tensile bars of compound (A) N17-I (reference), (B) N17-II (C1201 + 25% Microalgae (MAB)) and (C) N17-III (C1201 + 25% *Chlorella vulgaris*).



Köszönöm a figyelmet!

- Nagy Balázs József
- *Felhasznált tananyag: ELTE TTK, Kalapos Tibor, Növényrendszertan I.*
- *Gyalai-Korpos Miklós, PPIS*



Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.