Eksperimenta fikologio kaj la uzebleco de unuĉelaj algoj

Ralph Arnold Lewin (Usono)

Profesoro pri mara biologio ĉe la Instituto "Scripps" de Oceanologio, Universitato de Kalifornio, La Jolla, CA 92093 Usono. Universitataj diplomoj: BA, MA (Cambridge), MS, PhD (Yale), ScD (Cambridge).

Preskaŭ ĉion kion ni manĝas, krom fiŝoj, kaj preskaŭ ĉion, kio vestas nin, se ne fabrikitan el artefaritaj fibroj, ni rekte aŭ nerekte produktas el terplantoj. Eĉ tiaj ajoj kiel lakto, viando, lano kaj ledo devenas de bestoj manĝintaj terplantaĵojn. Krom fiŝoj, kies nutrado devenas de planktono, kaj krom malmultaj maralgoj, kiujn oni rekte manĝas aŭ el kiuj oni ekstraktas mukaĵojn kiel agar-agaron, ni ankoraŭ ne uzas multon produktitan de akvoplantoj. Tamen, sendube oni povus pli multe uzi algojn, ĉefe unuĉelajn speciojn. Jen mia temo ĉi-rilate.

Unuĉelaj algoj malsimilas la terplantojn, estante ĥemie relative homogenaj. Kvankam pomarbo konsistas ĉefe el ligno, ŝelo kaj folioj, kaj faras pomojn nur unu fojon jare, la ĉeloj de unuĉelaj (mikroskopaj) algoj estas plejparte protein-enhavaj, kaj ĉiu kapablas dividiĝi por krei du aŭ pli da samspecaj ĉeloj. Tia kreskometodo (neseksa, ĝenerale) estas eksponenta, la ĉelamaso duobliĝanta ĉiun kelkan horon, aŭ tagon, laŭ specio kaj laŭ kondiĉoj. Tial la rikoltoj povus esti grandegaj. Necesaj faktoroj estas, plejparte, facile kaj malmultekoste atingeblaj: akvo, sterkoj kiel nitrato kaj fosfato, sunlumo kaj atmosfera

dioksido de karbono, transformebla per fotosintezo al organikaĵoj kaj, eventuale, pli abundo da ĉeloj.

Post kiam oni eklernis kiel kultivi algojn, ĉu klone ĉu senbakterie, oni komencis esplori kiel utiligi ilin por praktikaj homaj celoj. Mi tie ĉi resumas la historion de tiuj esploroj.

Proksimume post 1930, oni uzas algojn, ĉefe *Chlorella ellipsoidea* Gerneck kaj *C. pyrenoidosa* Chick, en laboratorioj por la studado de fotosintezo. Precipe post 1940, kaj ĉefe en Germanio, oni esploris eblecojn por kreskigi grandajn kvantojn da diatomoj por produktado de oleoj hidrolizeblaj, tiel liberigante glicerolon. (Tiu ĉi substanco estis grandskale bezonata dum la Mondaj Militoj por sintezi nitroglicerolon, la ĉefan komponanton de dinamito.) Post 1950, tamen, oni pli multe celis produkti ĉelamasojn por eventuale nutri homojn kaj bestojn diversajn per parencaj genroj de verdalgoj: *Chlorella*, *Scenedesmus* kaj *Selenastrum* estis aparte esplorataj tiucele. Sed, same kiel ĉe aliaj unuspeciaj kultivaĵoj, la algojn en grandaj ujoj ofte infektis fibestetoj, ekz protozooj aŭ rotiferoj, kaj ŝajnis esti aŭ neeble aŭ tro multekoste forigi ilin de la kultivaĵoj sen samtempe damaĝi — aŭ eĉ mortigi— la algojn mem.

Tial, post 1960, oni fokusis atenton prefere ĉe genroj kiel *Spirulina* (ĉefe la specio *Spirulina platensis* [Nords.] Gomont) kaj *Dunaliella* (ĉefe la specio *Dunaliella salina* [Dunal] Teodoresco), kiuj toleras kaj eĉ bone kreskas en akvo tiom salenhava, ke preskaŭ neniu fibesto aŭ fiplanto povas ĝin toleri. Oni esperis produkti malmultekostan proteinaĵon. Tamen, oni estas konstatinta ke eĉ kultivado de *Spirulina*,

kvankam facile plenumebla en salaj, alkalecaj akvujoj (je pH inter 8 kaj 11), estas relative neekonomia, ĉar tia algo, kiel fonto de proteino, kostas ĉe mondaj merkatoj pli ol sojo. Kvankam la nunaj produktokvantoj, en Meksikio kaj Kalifornio interalie, estas sufiĉe altaj nuntempe, *Spirulina* estas vendata je alta prezo nur kiel sanitaraĵo. Mi dubas, cetere, ĉu ĝi efikas pli ol ekzemple freŝa herbo.

Tial, de post 1970, oni komencis pli intence esplori pri specialaj, relative valoraj produktaĵoj de kultiveblaj algoj. Inter tiaj estas polisaĥaridoj (uzeblaj kiel bazaĵoj de salatkremoj, dentopastoj, haŭtmoligantoj, ktp), lipidoj (uzeblaj diversmaniere en homa nutrado, sed ankaŭ kiel aŭ lubrikantoj aŭ surogatoj de nafto); naturaj, nevenenaj koloriloj por diversaj nutraĵoj; ktp. Inter tiuj ĉi, plej promesoplena estas karoteno. Kaj nun, de post 1980, oni esploras pri la produktado de eĉ pli specialaj ĥemiaĵoj, inklude certajn aminoacidojn, antibiotikojn, kancerkontraŭantojn, ktp, kvankam industrie oni ankoraŭ produktas nenion el ĉi tiuj. Estontece oni esperas pri la eblecoj uzi du, aŭ tri, malsamajn produktaĵojn de la sama algospecio. Ekzemple, eble oni povus ekonomie produkti glicerolon, karotenon kaj protein-riĉan ĉelrestaĵon (uzeblan kiel nutraĵon suplementan por kokoj, porkoj aŭ bovoj), ĉiujn el la ĉeloj de *Dunaliella* kultivataj en malprofundaj lagetoj aŭ fermitaj lagunoj.

Kompreneble, ekestas ĉiaj problemoj kiam oni klopodas pligrandigi la skalon de la kultiva sistemo, de laboratoriaj ujoj al ekonomie akcepteblaj produktorimedoj. Tiaj problemoj gamas de biologiaj, inkluzive genetikajn kaj fiziologiajn

(ekzemple, kiom kaj kiam aldoni da necesa nutraĵo, kiel kontroli fiestaĵojn), ĝis pli teĥnikaj (ekzemple, la plej taŭga grandeco kaj formo de la kultivujoj, kiel kaj kiom miksi aŭ alimaniere aerumi la ĉelsuspensiaĵon, la eble necesa uzo de elektra lumo krom tiu de la suno, kiam kaj kiom rakolti, kiel — ĉu per filtrado aŭ centrifugado), kaj, fine, kiel konservi aŭ ekstrakti la rikolton.

Ĉiun tian problemon oni devas taksi rilate kun ĉiu alia. Ekzemple, oni kompreneble ne traktus kultivaĵojn en mil-kubometraj rezervujoj same kiel tiujn en flakonoj de 100-ml. Ĉiuŝtupe oni devas ankaŭ kalkuli pri ekonomiaj aferoj. Ekzemple, kunamasigi la ĉelojn de *Chlorella* estas simple, kaj estus malmultekoste, se oni disponus pri la tempo por lasi ilin surfundiĝi; se ne, oni povas kolekti ilin per centrifugado, tamen je sufiĉe alta kosto pro la uzo de elektropovo.

Malprofundaj kultivaĵoj okupas pli da spaco ol profundaj, samvolume; tamen, ju pli malprofunda, des pli lumigebla la enhavo de la ujo, kaj des pli rapida la kreskado. Miksi la likvaĵojn, ĉu per aerumado en ujoj, ĉu per cirkulado en tuboj aŭ kanaletoj, ankaŭ konsumas energion kaj monon. Kaj tiel plu —por ĉiu algospeco, ĉiu klimato, ĉiu sistemo, necesas detale kalkuli por atingi plej bonan kostefikecon.

Ni —mia edzino kaj mi— iom aparte interesiĝas pri kelkaj diversaj projektoj por utiligi unuĉelajn algojn. Unu temas pri eventuala plibonigo de kultiveblaj grundoj per aldono de unuĉelaj algoj en la genro *Chlamydomonas* (ĉefe la specio *Chlamydomonas mexicana* Lewin), kiuj kapablas produkti eksterĉelajn polisaĥaridojn. Tiaj ĉi substancoj, pro la fakto ke

ili tendencas kunligi argilerojn, plibonigas la strukturon de la grundo, ties akvoretenivon kaj aerumadon, kaj tiel ili bonefikas por la sano de la radikoj de kultivataj plantoj. Grava problemo tiucela estas trovi specion aŭ teĥnikon kiu pliigus la penetrivon de la polisaĥaridoj en la grundon.

Dua problemo koncernas la sintezon de utila flava pigmento, karoteno, per *Dunaliella*, kiu bone kreskas en salaj akvujoj, ĉefe en sunaj subtropikaj lokoj. En pli malvarmaj kondiĉoj tiu algo malpli bone fartas. Tial oni serĉas alian specion produktantan ĉu karotenon, ĉu alian kolorilon, kiu pli bone toleras la malvarmon.

La tria el niaj ĉefaj celoj temas pri la eventuala ebleco uzi iun algon kiel fonton de uzebla oleo, per kiu oni povus anstataŭigi nafton en la venonta jarcento, kiam, oni kalkulas prave, la fontoj de fosiliaj brulaĵoj estos pli kaj pli elĉerpitaj ĝis kiam iliaj kostoj superos tiujn de oleoj renoveblaj. Tial niaj unuaj problemoj estas serĉi algospeciojn kiuj kapablas rapide kreski kaj produkti abunde lipidojn, prefere riĉenhavajn je multe da hidrokarbonidoj. Unu specio, kiun ni kolektis el marakvo ĉe la marbordo de norda Ĉinio, kapablas sintezi hidrokarbonidojn kun nebranĉitaj molekuloj, ĝis sufiĉe granda proporcio de la ĉela sek-maso. Oni eble utiligos tiajn oleaĵojn kiel fontojn de gazolinecaj fluidaĵoj. Kompreneble, la produktado de kvantoj ekonomie uzeblaj estas ankoraŭ nur je planoj, aŭ revoj, por la estonteco!

(Rilate niajn esplorojn, ni vizitis multajn kultivejojn kaj laboratoriojn kie oni esploras eventualan utiligon de algoj: en Francio, Italio, Japanio, Ĉinio, Rusio, Uzbekio, Aŭstralio,

Meksikio, kaj eĉ Kalifornio [kie ni kutime laboras kaj instruas]. Ni rakontis kelkajn niajn spertojn kaj esplor-problemojn, kaj montris diapozitivojn, dum la 72-a UK en Varsovio [1987], enkadre de la Internacia Kongresa Universitato.)

Literaturo

BARCLAY, W.R. k MCINTOSH, R.P. (red.) (1986): Algal Biomass Technologies: An Interdisciplinary Perspective. Nova Hedwigia Beiheft, 83, 1-273.

LEMBI, C.A. k WAALAND, J.R. (red.) (1988): Algae and Human Affairs. Cambridge University Press, Cambridge. 590 p.

RICHMOND, A. (red.) (1986): Handbook of Micro-algal Mass Cultures. C.R.C. Press, Boca Raton, Florida. 528 p.

STADLER, T., MOLLION, J., VERDUS, M.-C., KARAMANOS, Y., MORVAN, H., k CHRISTIAEN, D. (red.) (1988): Algal Biotechnology. Elsevier Applied Science, London k New York. 521 p.

Abstract

Experimental phycology and the utilization of unicellular algae

This historical review summarizes changes in human objectives and technical problems involved in the mass cultivation of microscopic algae for the production of biomass, carbohydrate, protein and lipid, for use as food or fuel, soil improvers or pharmaceutical products.