

### III. ÜLEVAATED

#### ÜHERAKULISTE VETIKATE MASSKULTUURID JA NENDE KASUTAMINE

E. Kukk

Taimesüstemaatika ja geobotaanika kateeder

Käesoleva ajani on maakeral tundma õpitud ligikaudu pool miljonit taimeliiki. Inimkond on hakanud nendest kasutama ja kultuuris kasvatama umbes 20 000 liiki. Viimastest aga on üldisemat kasutamist leidnud vaid umbes 150 liiki (Moyses, 1956<sup>a</sup>, Глуздяков, 1960). Toodud äärmisi väärtusi omavahel võrreldes näeme, et inimene on teda ümbritsevatest rikkustest otstarbekalt ära kasutanud ainult kaduvväikese osa. On täiesti ilmne, et taime-riigi vormide ja funktsioonide määratus mitmekesisuses on veel olemas rikkalikult reserve, mida saab edukalt kasutada inimeste ja loomade eluks vajalike ainete, eelkõige valkude, rasvade ja süsivesikute sünteesil. Kuid sajandite vältel on olnud kasutatud taimeliikide hulgas enamasti kõrgemad taimed ja samade sajandite inertsuse tõttu on inimestes tugevalt juurdunud arvamine, nagu olekski kõrgemad taimed ainsateks inimesele vajalike taimsete ressursside produtseerijateks.

Rahvastiku järjest kasvav tihedus ja suurenevad orgaaniliste toorainete vajadused sunnivad inimkonda tahes-tahtmata pöörama pilgud uute objektide poole. Nii nagu enamikus vööra ja uudse puhul, nii läheb ka siin kõik esialgu suurte kahtluste ja isegi vastuseisuga. Tarvitseb aga heita korraks pilk minevikku ja asjade taoline areng osutub päris tavaliseks. Piisab vaid, kui tuletada meelde 1630. aastal Franche Comte's välja antud seadust, mis keelas kasvatada kartuleid kui toiduks kõlbmatuid taimi.

Kõrgete ja väärtuslike saakide saamisel püüab inimene orgaanilise aine sünteesil võimalikult täielikumalt ära kasutada kõiki võimalusi, sealhulgas ka päikesevalgust. Siin ongi tähelepanu paelunud organismid, mida õpiti tundma alles veidi üle sajandi tagasi. Alamad taimed, eriti mikrokoopilised üherakulised ja koloniaalsed vetikad on organismideks, mida on viimastel aastakümnetel hakatud järjest laialdasemalt rakendama orgaaniliste ainete sünteesil kultuurides. Rääkides taimedest kui orgaa-

niliste ainete moodustajatest mõeldakse esmajärjekorras muidugi põllu-, aia- ja metsakultuuridele, kuid juba liituvad nendele ka mikroorganismid. *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus* ja mitmete teiste rohevetikaperekondade esindajad seisavad juba üsna põllumajanduse ja tööstuse läheduses, õigemini põllumajanduse ja tööstuse vahepeal. Nii nagu kõrgemad taimedki, on nad vahepealseks lüliks ühelt poolt CO<sub>2</sub>, vee ja päikesevalguse, teiselt poolt süsivesikute, valkude ja rasvade vahel. Valguse optimaalne kasutamine, kiire CO<sub>2</sub> difusioon ja mineraalsete toitainete omandamine — kõik see võimaldab üsna lühikese ajal vältel koguda organismi rohkesti valgu- või rasvarikast kuivainet.

On teada, et ühe gramm-molekuli CO<sub>2</sub> vabanemisel põlemisprotsessis tekib 112 kcal soojust. See energia ongi organismides eluprotsesside lakkamatu teostaja. F. Danielsi (Даниэльс, 1957) andmetel kulub iga molekuli CO<sub>2</sub> taandamiseks vähemalt kolm punase valguse footonit. Katsed ja arvestused on aga näidanud, et kõige optimaalsemateski tingimustes kulub 1 CO<sub>2</sub> molekuli taandamiseks 8—10 footonit, sest põhilistele reaktsioonidele (süsivesiniku tekkimine CO<sub>2</sub>-st ja veest) kaasuvad mitmesugused energiat nõudvad lisareaktsioonid. (Neeldunud energia tehti kindlaks CO<sub>2</sub> ja O<sub>2</sub> rõhu mõõtmise, O<sub>2</sub> lahustumise jm. kaudu.) Taolistel katsetel vetikatega neeldus umbes 30% punasest valgusest. Põllumajanduslike kultuuride fotosünteesi kasulikkuse koefitsient aga on ülaltoodust tunduvalt väiksem. Mõõdukas kliimas moodustab põllumajanduslike kultuuride kasvuperiood vaid 1/3 aastast, päikesevalguse intensiivsus aga on tunduvalt suurem nendele kultuuridele efektiivseks fotosünteesiks vajalikust valgusest. Arvutused on näidanud, et 1 ha maisisaagi põletamisel vabanev energia moodustab ainult 0,1% aasta vältel sellele pindalale langenud energiast. Vetikate masskultuurides aga suureneb fotosünteesi produktiivsus võrreldes keskmiste põllumajanduslike kultuuridega kuni 20 korda. Kõrgeimad protsendid valgusenergia kasutamisel vetikate kasvatamiseks on saavutanud oma katsetes hollandi teadlased E. C. Wassink, B. Klok ja J. L. Oorschott (Wassink jt., 1953). Klorella kultuuris tarvitati madala intensiivsusega (1500—3000 luks) kunstliku valguse kasutamisel 10 päeva vältel ära 20—24% kultuurile langenud energiast. Kõrge fotosünteesikoefitsient võimaldab mikroskoopilistel rohevetikatel sünteesida lühikese aja vältel rohkesti orgaanilist ainet.

Omapärast pilti pakub ka nende organismide keemiline koosseis. A. Moys'e'i (1956<sup>b</sup>) töös on üksikute vetikaliikide keemilise koosseisu kohta kokku võetud mitmete uurijate (Milner, 1953; Tamiya, 1957 jt.) andmed, mis esitame allpool.

Juba esimesel pilgul paistab tabelis silma üks asjaolu, nimelt paljud näitajad võivad kõikuda väga suures ulatuses. See omapära on tingitud vetikate suurest plastilisusest. Nad on võimelised väga mitmeti reageerima ümbritseva keskkonna, s. t. toitelahuste ja toi-

Liik	Tuhk	Valgud	Kloro- füll	Süsive- sikud	Rasvad
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	3—4	8,7—88,2		5,7—37,5	4,5—85,6
<i>Stichococcus bacillaris</i>	2—10	22,6—62,3		25,8—38,5	11,9—38,9
<i>Chlamydomonas</i> sp.		36,3		58,2	5,5
<i>Oikomonas termo</i>		33,5		45,8	20,7
<i>Anabaenopsis</i> sp.		45,5		45,6	8,9
<i>Scenedesmus obliquus</i>	10	57,9	4	4,7	
<i>Ulothrix</i> sp.	20	46,2	2,6	11,6	2,6

tumistingimuste ning valgustusrežiimi muutumisele. A. H. Spoe-ehri (1953) ja H. W. Milneri (1953) andmetel võib mineraalse toitumise, gaasivarustuse, temperatuuri- ja valgustingimuste muutumisega saada samast *Chlorella* kultuurist väga erineval hulgal valke, süsivesikuid ja rasvu. Kui normaalselt sisaldab *Chlorella* 50% valke, 20% rasvu, 25% süsivesikuid ja 5% tuhka, siis lühikese aja vältel võib saada samast kultuurist 58% valku, 37,5% süsivesikuid ja 4,5% rasvu või 28,3% valku, 26,2% süsivesikuid ja 45,5% rasvu või 8,7% valku, 5,7% süsivesikuid ja 85,6% rasvu või 88,2% valku ja 5,2% rasvu. Klorofüll hulk võib varieeruda kuni 600-kordses suuruses (0,01%—6,0%). Analoogilisi muutusi saab esile kutsuda ka kuivkaalu ja tuhasisalduse suhtes. N. N. Smirnovi (Смирнов, 1955) andmetel muutus sõltuvalt tingimustest *Scenedesmus acuminatus*'e kuivkaal 13—31% piires toorkaalust.

Kõrge süsivesikute, valkude ja rasvade sisaldus vetikarakkudes on omakorda tingitud nende vetikate primitiivsest, enamasti üherakulisest organisatsioonist. Kõrgematel taimedel, eriti nendel, millel me tarvitame ainult seemneid või vilju, kulub valdav osa fotosünteesil akumuleerunud energiast mitmesuguste abimehhanismide nagu lehtede, varte, juurte jm. ehitamiseks. Primitiivse ehitusega vetikatel aga on iga rakk fotosünteesiv organism. Vees hõljuva oleku tõttu ei vaja rakk mingeid tugielemente (vastandina kõrgemate taimede üsna suurele tugikudedele hulgale). Ainete omastamine (CO<sub>2</sub>, vesi, mineraalained) toimub kogu rakupinna kaudu. Langeb ära vajadus juhteteede järele. Samas, kus toimub fotosüntees, säilitatakse ka sellel protsessil valminud produktid. Rakku ümbritsev tsellulooskest moodustab üldisest raku sisaldiste hulgast väga väikese osa. Kõrgematel taimedel, eriti toidutaimedel, jätab inimene kasutamata isegi üle poole taime poolt sünteesitud materjalist.

Arvatakse, et vetikarakkudes on side fotosünteesi intensiivsuse ja saagi vahel tihedam kui kõrgematel taimedel. Orgaaniline aine, mis valmib fotosünteesil, kasutatakse ära uute fotosünteesivate rakkude ülesehitamiseks. See omakorda soodustab assimilatsiooniprotsessi ulatuse suurenemist. On tähele pandud, et kõrgematel taimedel on ka suhteliselt kõrge assimilatsiooni intensiivsuse ajal orgaanilise aine produktsioon madal (Баславская jt., 1959). Peale nimetatud eelise võivad vetikarakkudes tekkida väga lühikese

aja vältel suured muutused pigmentide hulgas ja ainevahetusprotsessi tempos. Nii toimub lämmastikupuuduses olevas vetikakultuuris juba 4—6 tundi pärast N lisamist biomassi juurdekasvu tõus 5—10%, võrreldes kontrollkultuuriga. Fotosünteesi intensiivsuse tõus aga ilmneb juba 1—2 tunni möödudes.

Peale eespool nimetatud põhiliste taimorganismi sisalduste on kultiveeritavates rohevetikates kindlaks tehtud hulk vitamiine. Toome allpool andmeid *Chlorella* vitamiinide sisalduse kohta (Г а е в с к а я, 1956) ühes grammis kuivaines.

Vitamiin A (provitamiin)	1000—1600 $\mu$ g	Vitamiin K	6 $\mu$ g
„ B <sub>1</sub>	2—18	nikotiinhape	110—180
„ B <sub>2</sub>	21—28	pantoteenhape	12—17
„ B <sub>6</sub>	9	foliinhape (foolhape)	485
„ B <sub>12</sub>	0,025—0,1	leukoforiin	22
„ C (värsketes rakkudes)	1000—2500		
„ D (provitamiin)	1000		

Tugevasti sõltub vitamiinide hulk kultuuride vanusest. Nii on noortes *Chlorella* rakkudes C-vitamiini peaaegu niisama palju kui sidrunis, kuid see laguneb peaaegu täielikult materjali kuivatamisel. Noortes rakkudes võib olla B-vitamiini kuni 10 korda rohkem kui vanades rakkudes (В и н б е р г, 1957). F i s c h e r i (1959) andmetel ületab *Scenedesmus obliquus* B<sub>12</sub>- ja E-vitamiini sisalduselt piima. Üheksas analüüsitud proovis oli B<sub>12</sub>-vitamiini hulk 20—50 korda suurem kui kõrgemate taimede lehtedes, E-vitamiini aga leidus seal niisama palju kui spinatilehtedes (viimase E-vitamiini sisaldust peetakse üle keskmise ulatuvaks).

Rasvad, mida sisaldavad vetikarakud, on rikkad küllastumata rasvhapetest ja on seetõttu toatemperatuuris vedelas olekus. Oma koosseisult on nad üsna lähedased inimese poolt toiduks kasutatavatele taimsetele rasvadele.

Proteiinides leiduvatest amiinohapetest on normaalse valgusisaldusega rakkudes leitud 22 amiinohapet, sealhulgas ka kõik kümme amiinohapet, mida pole võimeline sünteesima inimorganism. Nende hulk klorellas ulatub kuni 42%-ni üldisest valkude hulgast.

Kõige vähem tähelepanu on pälvinud vetikate süsivesikud. Kuid ka siin peab märkima, et kõige rohkem esineb rakkudes glükoosi ja fruktoosi. Tselluloosi protsent aga on väga madal. Viimane omadus on oluline just vetikate kasutamisel looma- või inimtoiduna.

Järgnevas osas vaatleme lähemalt tingimusi, milledes toimub vetikakultuuride kasvatamine, ja selleks kasutatud septsiaalseid seadmeid. Nagu juba eespool märgitud, on vetikad võimelised ära kasutama rohkem päikeseenergiat kui kõrgemad taimed. On aga teada, et maksimaalselt saab taim valgusenergiat kasutada ainult

siis, kui ka kõik teised keskkonnatingimused on optimaalselt sobivad. Niisugune olukord on loodav ainult kultuuris kasvatamisel. Kaasaja põllumajanduse olukorda vaadeldes näeme, et taimede mineraalne toitumine on väetiste kasutamise kaudu täielikult kontrollitav ja reguleeritav. Niiskustingimusi aga saab suuremates mastaapides reguleerida juba tunduvalt vähem. Täiesti stiihiliselt mõjuvateks faktoriteks jäävad temperatuur ja CO<sub>2</sub>-ga varustus. Eriti tugevasti näib piiravat kõrgemate taimede fotosünteesi vähene CO<sub>2</sub> hulk õhus. Sellest tingituna ongi mõõduka kliimaga piirkondades taimede poolt fotosünteesiprotsessil kasutatud energia hulk, võrreldes aasta vältel ühele pinnaühikule langenud päikese radiatsiooniga, nii väike (Г а е в с к а я, 1956).

Vetikakultuurides on enamik eespool nimetatud faktoritest kergesti kontrollitavad ja seda just põhjusel, et vetikarakud elavad toitelahuses hõljuvas olekus. Üksikute faktorite mõjust ja reguleerimise võimalustest lähemalt aga toome andmeid allpool.

Juba esimestest vetikate kultiveerimise katsetest peale on toitelahuse koosseisu probleemid olnud pidevalt päevakorras ja vaatamata üle poole sajandi kestnud uurimistöole pole probleem kaugeltki veel lõplikult lahendatud. Nagu näitavad kirjanduse andmed, on põhiliseks koosseisuks lahustes jäänud Кнопи lahusega analoogiline koosseis. Lämmastikuallikana kasutatakse toitelahustes peamiselt karbamiidi (М и т у а jt., 1953; Моу се, 1956<sup>c</sup>; Champigny, 1957; Ч е с н о к о в jt., 1960), KNO<sub>3</sub> (Г о р я ч е в, 1947; Gummert jt., 1953; Pringsheim, 1954; Моу се, 1956<sup>c</sup>; Б а с л а в с к а я jt., 1959), Са(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (Wassink jt., 1953; Witsch, Harder jt., 1953; З а в а р з и н а, 1959; П ы р и н а, 1959; Н о м è s - B a l a s s e, Н о м è s, 1960) ning (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (E venari jt., 1953). Nagu näeme, on lämmastikuallikana kasutatud nii nitraatset kui ka ammoniaakset lämmastikku. Eriti levinud on karbamiid toitelahustes seepärast, et tema puhul ei toimu kultuuris nii kiireid ja järske pH muutusi (mineraalsete N-allikate puhul muutub lahuse reaktsioon intensiivse fotosünteesiprotsessi ajal üsna kiiresti). Karbamiidi kujul taluvad vetikad lahuses tunduvalt kõrgemaid lämmastiku hulki kui KNO<sub>3</sub> kujul (В и н б е р г, 1956). А. Моу се'i (1956<sup>c</sup>) andmetel on vetikarakkudes proteiinide hulk suurem siis, kui lämmastikuallikana kasutada karbamiidi.

S. S. B a s s l a v s k a j a jt. (Б а с л а в с к а я jt., 1959) katsed puhaskultuuridega näitasid, et küllaldase lämmastikuhulga korral oli *Scenedesmus quadricauda* kultuuris valgusisaldus nitraatse lämmastiku puhul 39,4%, ammoniaakse lämmastiku korral 51% ning 95—99% lämmastikust langes valgulämmastikule. M.-L. C h a m p i g n y (1957) andmetel suureneb vetikarakkudes lüsiini, arginiini ja leutsiini hulk tunduvalt, kui kasutada lämmastikuallikana karbamiidi. Ka on sel puhul tekkivad proteiinid paremini lahustuvad.

Tugevasti sõltub lämmastiku hulgest ja allikast ka klorofüllil hulk. Nii vähenes lämmastikupuuduses olevas kultuuris rakkudes klorofüllil hulk kuni 5 korda. Kui aga kultuurile lisati 10. 19. ja 43. katsepäeval piisav hulk lämmastikku, jõudis kultuur oma klorofülliproduktiooniga kontrollkatse tasemele (Б а с л а в с к а я jt., 1959). Samade autorite tööst nähtub, et klorofüllil hulk rakkudes suureneb ammoniaakse lämmastiku foonil 20—50% võrra, võrreldes nitraatse lämmastiku fooniga.

Peale nimetatud ainete kuuluvad lahuse põhikomponentide hulka veel  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (või  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) ja  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Kui tavalistes laboratooriumikultuurides ei soovitata toitelahuses soolade kontsentratsiooni tõsta üle 0,175—0,200 g/l, siis masskultuurides kõigub juba nimetatud põhikomponentide kontsentratsioon 5—10 g/l.

Tavaliseks fosfaatide kontsentratsiooniks kultuuris on 1,25—2,5 g/l ja  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  kontsentratsiooniks 2,5—5,0 g/l.  $\text{KNO}_3$  kontsentratsioon kõigub 1,25—5,0 g/l piires. Erandiks on siin D a v i s e jt. (1953) katsed, kus  $\text{KNO}_3$  kontsentratsioon ulatus 10 g-ni liitri kohta. Nagu kirjanduse analüüsimine näitas ja nagu märgib G. G. V i n b e r g (В и н б е р г, 1957) ei ole ühegi vetikakultuuri jaoks välja kujunenud mingit stabiilse koosseisuga toitelahust. Mitmed katsed on näidanud, et vetikate kasvutempo jääb muutumatuks üsna erineva kontsentratsiooniga toitelahustes. Sellele nähtusele on üheks üsna tõenäoliseks seletuseks uurijate ebapiisavad teadmised üksikute liikide mineraalainete vajaduste kohta. Väljakujunenud traditsioonide kohaselt on  $\text{KNO}_3$  ja  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  kaaluline suhe N ja P suhtes kas võrdne, s. t. 1 : 1,65, või võetakse  $\text{KNO}_3$  kaks korda rohkem, s. t. 1 : 0,82 (В и н б е р г, 1957), H. T a m i y a jt. (1953) kultuurides aga ületas  $\text{KNO}_3$  kontsentratsioon  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  oma isegi neljakordselt. Nagu juba eespool märkisime, on lämmastiku ja fosfori suhe veelgi suurem lahustes, kus lämmastikuallikana kasutatakse karbamiidi. Nagu näitavad R. K r a u s s i (1953) andmed, toimub lahustest lämmastiku ja fosfori ärakasutamine ühe ajaühiku vältel vastavalt suhtele 2,26 : 1 kaaluühikutes. Praktilised kogemused aga on näidanud, et esimeseks elemendiks, mis toitelahustest kõige kiiremini ära kasutatakse, on ikkagi lämmastik. Seetõttu peab masskultuurides eriti tähelepanelikult jälgima N hulga muutusi, sest see võib omakorda põhjustada väga suuri muutusi vetikate kasvutempos ja keemilises koostises.

Nii nagu on mikroelemendid vältimatult vajalikud kõrgematele taimedele, nii ei saa ilma nendeta läbi ka vetikakultuurides. G. S t e g m a n n i (1940) andmetel on vetikate elus vältimatult vajalik kaltsium. Optimaalseks Ca hulgaks *Chlorella pyrenoidosa* (*Chl. vulgaris* var. *pyrenoidosa*) jaoks peab ta 0,15  $\gamma$  kaltsiumi lämmastikhapu kaltsiumis  $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$  150 ml lahusele (autor on katsed teostanud kvartsnõudes, kasutades toitelahuste valmistamiseks eriti hästi puhastatud lähteaineid). Selgus, et toitelahuse pH suhtes on Ca üsna tugeva mõjuga, elemendi puudumine lahuses aga

rakkudes kloroosinähte ei põhjustanud (nagu see mõnikord esineb kõrgematel taimedel). Oletatakse, et tsink ja mangaan võivad teatud tingimustes asendada mõningal määral kaltsiumi. Nimetatud autori tööst selgub, et tsink on võimeline kaltsiumi asendada ainult siis, kui toitelahuse pH on kõrgem 5,8-st. Kui aga pH langeb nimetatud piirist allapoole, siis mainitud asendumist ei toimu. Samas märgitakse veel, et vetikate kasvu intensiivsuses on kaltsiumi puudumine alati tugevamini tuntav tsingi puudumisest.

Tsingi optimaalseks hulgaks peab Stegmann 30  $\gamma$  tsinki tsinksulfaadis 150 ml lahuse kohta. Tsingi mõju ei sõltu mingil määral lahuse pH-st. Kõige kiiremini väljendub tsingi positiivne mõju klorofüllil ja kromatofooride kujunemisele ning rakkude poolustumistele tõusule. Tsingi puudumine toitelahuses põhjustab rakkudes kloroosinähte. Peale eespool nimetatud tagajärgede mõjustab tsingi hulk lahuses rakkude mikstroofset toitumist.

Vältimatult vajalikuks elemendiks toitelahuses on ka raud omastataval kujul. Nagu katsed on näidanud, osutuvad piisavateks juba üsna madalad rauakontsentratsioonid. Myersi (1947; tsit. Винберг, 1957 järgi) andmetel piisab *Chlorella* jaoks juba 0,053 mg/l kontsentratsioonist. P. P. Gorjatševi (Горячев, 1947) andmetel ei avaldanud  $F_2O_3$  hulgad 1,6—31,0 mg/l veel *Pediastrum boryanum*'i kultuuridele kahjulikku mõju, üle 31,0 mg/l kontsentratsioon aga mõjus mürgiselt. E. Davise jt. (1953) andmetel aga ei mõjunud vetikakultuuridele kahjulikult isegi rauakontsentratsioon 80,0 mg/l. Toitelahusesse antakse raud tavaliselt kas  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  näol või  $FeCl_3$ -na, erandjuhtudel ka püsivama  $Fe_2(SO_4)_3$  kujul (Krauss, 1953). Palju ebaameeldivusi valmistab raua kiire väljasadestumine lahusest. Selle vältimiseks kasutatakse mitmesuguseid võtteid. Koos väävelhapu rauaga viiakse lahusesse kaltsiumtsitraati või raualaktaati (Винберг, 1957). Arvatakse, et ka mullaleotise lisamine kultuuri toitelahusele soodustab raua püsimist lahuses ja seda peamiselt mullas esinevate huumusainete mõju tulemusena. Raua ja teiste kergesti väljasadestuvate mikroelementide hoidmiseks lahuses on viimasel ajal lisatud (eriti ameerika ja jaapani uurijate poolt) etüleendiamiintetraäädikhapet (EDTA). Ka eespool märgitud Davise jt. (1953) katsetel lisati raua mõju uurimisel toitelahusesse EDTA-d. Mainitud katsetel saadi selle võtte arvel kultuurist kuni 68% enam saaki.

Oluliseks komponendiks vetikakultuuride kasvatamisel on fotosünteesivate rakkude piisav varustamine  $CO_2$ -ga. Terve rea katsete varal on kindlaks tehtud, et toitelahuses piisavaks süsihappegaasi hulgaks on 0,1—0,5% (Witsch ja Harder, 1953). Süsihappegaasi hulk üle 5% mõjub juba mürgiselt. Sellele vaatamata kasutatakse enamiku masskultuuride puhul toitelahuse läbipuhumist umbes 5%  $CO_2$  sisaldava õhuga (Aach, 1952; Moyses, 1956<sup>d</sup>; Горюнова, 1948; Фишер, 1957 jt.). Intensiivne fotosünteesi-

protsess ja rakkude kasv nähtavasti ei lase toitelahusel gaasiga küllastuda nii suures hulgas, kui seda võimaldab läbipuhutav õhk. F. G u m m e r t i jt. (1953) andmetel puhuti 1 m<sup>3</sup>-st kultuurist ühes tunnis läbi 1 m<sup>3</sup> 1% CO<sub>2</sub>-ga õhku. Jaapanis (T a m i y a, 1955, 1957; M i t u y a jt., 1953) aga kasutati 2,5—9% CO<sub>2</sub>-ga õhku 25 l sekundis 450 liitri toitelahuse kohta. Leningradi Riikliku Ülikooli Bioloogiainstituudi fotosünteesi laboratooriumis aga kasutati ja kasutatakse 10% CO<sub>2</sub> sisaldavat õhku (läbipuhumise kiirus on muutuv) (Ч е с н о к о в jt., 1960 ja suulised andmed). Nagu I. L. R a b o t n o v a ja I. V. K o n o v a (P a b o t n o v a, K o n o v a, 1950) oma töös näitasid, on kultuuride õhustamisel tähtis osa mitte ainult CO<sub>2</sub>-ga rikastamisel. Anaeroobsetes tingimustes, kui hapendustaan- duspotsiaali näitaja (rH<sub>2</sub>) on alla 18 (13—18), püsib *Chlorella* küll eluvõimelisena, kuid üldse ei pooldu. Nagu veenvalt on näidanud mitmete autorite katsed (A r t a r i, 1906, A r t a r i, 1903 ja M y e r s, 1947) võib *Chlorella* teatud keskkonnatingimustes täielikult üle minna heterotroofsele toitumisele ja isegi käärimist teosta (G e n e v o i s, 1927). Redokspotsiaali madalamates piirides muutubki tema toitumine autotroofsest heterotroofseks. Paljunemine algab alles siis, kui rH<sub>2</sub> on üle 19. Kõige intensiivsem paljunemise piirkonnaks peavad R a b o t n o v a ja K o n o v a piirkonda, kus rH<sub>2</sub> = 19—28.

Tihedalt on omavahel seotud kultuuride valgustus- ja temperatuurirežiimi küsimused. Senised katsetused on läinud peamiselt kahes suunas, vabaõhu- ja laboratooriumikultuuridena. Laboratooriumikultuure valgustatakse kunstlikult, vabaõhukultuurid aga saavad valgust enamasti ainult päikese radiatsiooni arvel. Vabas looduses oli juba ammu tuntud fakt, et enamikul planktonivetikatel toimuvad arengus sesoonsed muutused, ühed liigid domineerivad teatud aastaajal ja asenduvad siis teistega. Ühed algoloogid pidasid selle nähtuse põhjuseks valguse, temperatuuri ja vee kemismi sesooneid muutusi, teised aga teatud kindlat faktorite kompleksi (Г у с е в а, 1947; М е й с н е р, 1923, 1924; П ы р и н а, 1959; D a v i s, 1954; R a o, 1955). Vaatamata hulgalistele uurimustele polegi küsimuses jõutud ühtsetele põhjendatud järeldustele. Üheks põhjuseks on tõenäoliselt asjaolu, et hüdrobioloogid ja algoloogid, uurides veekogu vetikate esinemise dünaamikat ja selle sõltuvust ühest või mõnedest eespool nimetatud faktoritest, tegid eranditult oma katsed ja vaatlused veekogudes looduslikes tingimustes. Eriti üksikute faktorite mõju uurimisel viib taoline uurimismetoodika enamasti ebaõigetele järeldustele, sest looduslikes tingimustes meie ei saa eraldada ühe faktori mõju teisest. Valguse mõju fütoplanktoni arengule on uurinud hulk autoreid (Z a c h a r i a s, 1906; R o d h e, 1948; L u n d, 1954; Г у с е в а, 1947), kuid ainult looduslikes tingimustes, mille tõttu tulemused on vähe veenvad. Üksikute faktorite mõju uurimise ainsaks teeks näib olevat paralleelselt vaatlusele looduslikes veekogudes ja tingimustes eksperiment rangelt kont-

rollitavates katsetingimustes, nagu see mõningal määral toimus Põrina (Пырина, 1959) ja Feoktistova (Феоктистова, 1959) katsetes.

Masskultuuride valgustustingimuste uurimisel on tähelepanu pööratud valguse intensiivsuse, kvaliteedi ja kestuse mõju uurimisele. Valgusrežiimi küsimuste selgitamist raskendab asjaolu, et kultuurid pole alati ühtlase tihedusega ja vedelikukiht sama paksusega. Kultuuri toitelahuses olevad vetikarakud ei ole kõik ühtlastes tingimustes; osa neist on valguse käes osa aga varjus. Intensiivse segamise puhul on rakud perioodiliselt valguses ja varjus. Kultuuri vedelikukihi intensiivse segamise ja paksuse reguleerimisega on võimalik saavutada selline moment, et peaaegu kogu kultuurile langev valgus kasutatakse ära fotosünteesiprotsessil. A. P. Skabitševski (Скабичевский, 1950) andmetel ei saa vetikate puhul rääkida pika- ja lühipäevataimedest, vaatamata sellele, et tema poolt teostatud katsetes Irtõsi jõe planktoniproovidega olid muutused esinemissageduses nii räni- kui ka rohevetikatel vastavalt ööpäevase valgustusperioodi pikkusele (8, 16 ja 24 t.). Arvestades seda, et autor tegeles segakultuuridega, ei tarvitse samad organismid samasuguselt reageerida ka puhaskultuurides. Näib, et vabas looduses mõjub päeva pikkus planktoni loomulikele tsüonoididele ja tõenäoliselt kompleksis teiste faktoritega kujundab veekogu vetikatekooslused.

Valgustuse kestuse uurimisel on kasutatud nii pidevat, ööpäevast valgustamist, perioodilist valgustamist koos järgneva pimedusperioodiga ja vilkuvat valgust. Enamik autoreid jõuab siiski järeldusele, et kõige efektiivsem moodus on perioodiline valgustamine, mis tekib pidevas valguses oleva kultuuri küllaldasel segamisel (Гаевская, 1956; Смирнов, 1957; Аас, 1952; Гуммерт jt., 1953; Моузе ja Yvon, 1956). A. Моузе'i ja A. Yvoni andmetel mõjub kas kunstlikult esile kutsutud (vilkuv) katkendlik valgus või ka segamisest tingitud katkendlik valgus kultuuri kasvule vägagi soodsalt. Nii tekivad pidevas valguses suurema ruumalaga rakud, katkendlikus valguses aga väiksemad, kuid paljunemise kiirus on katkendlikus valguses tunduvalt suurem. Kultuuri kasvu üldine energeetiline summa on katkendliku valguse puhul tunduvalt suurem kui pidevas valguses. Et rakud võivad eriti soodsates tingimustes väheneda ka pidevas valguses, sellele viitavad oma töödes mitmed autorid (Моузе ja Yvon, 1956; Феоктистова, 1959).

Mis valguse tugevusse puutub, siis on siin olemas teatud kindel alammäär. Selleks on mingi nõrk valgusehulk, mille puhul on fotosünteesiprotsess ja hingamine tasakaalus. Valguse tugevnedes tõuseb kultuuris rakkude biomassi produktsioon selle momendini millal saabub nn. valgusest küllastumine (Винберг, 1957). Valguse maksimaalse hulga kohta on kirjanduses andmed väga mitmesugused. Nii peab J. Myers (1953) selliseks laeks 1000

luksi, Vinberg (Винберг, 1957) 3000—4000 luksi, Tamija jt. (1953) aga kasutasid oma katsetes valgustust 10 000 ja isegi 50 000 luksi. Smirnov (Смирнов, 1957) teostas oma katsed *Scenedesmus*-liikidega ja *Chlorella terricola*'ga 250—12000-luksisel valgusel, Gajevskaja (Гаевская, 1952) jälle 1300 luksi juures, H. Witsch ja R. Harder (1953) kasutasid valgust 400—10 000 luksi ja Moysе (1956<sup>c</sup>) 25 000 luksi. Omapäraseid tulemusi on saanud oma katsetes *Porphyridium cruentum*'i kultuuridega Koch (1953). Selgus, et katsealune liik' alla 150 luksi valguses üldse ei arenenud, kuni 30 000 luksini toimus juurdekasvu pidev tõus, sellest kõrgemal aga järsk langus. Valgustuste intensiivsuse «lagi» sõltub suuresti ka keskkonna temperatuurist. Nii esinesid valgustuskahjustused klorellal +7° C temperatuuril juba 2000-luksises valguses, +25° temperatuuril aga 50 000-luksises valguses. Nagu juba eespool märkisime, sõltub valgustuse tugevus ka vetikakultuuri vedelikukihi paksusest. On ilmne, et «laest» kõrgemad valgusehulgad võivad tihedas ja paksukihilises kultuuris põhjustada kahjustusi. Witsch ja Harder (1953) märgivad oma töös, et päikesevalguses kasvatatavatel kultuuridel peab kõrvaldama otsese kiirguse, vastasel korral saavutavad kultuuris ülekaalu värvuseta viburvetikad.

Mis puutub valguse kvaliteeti, siis on massikultuure kasvatatud ühesuguse eduga nii päikesevalguses kui ka kunstliku valgustuse juures. Viimasel juhul on kasutatud nii hõõglampe, neonlampe kui ka luminescentslampe. Lambid on enamasti asetatud kas kultuuri kohale või alla, mõnel juhul aga otse kultuuri sisse vedelikku (Гаевская, 1955). Paremini arenevad vetikad pikema lainepikkusega valguses (Algeus, 1951; Гаевская, 1952; Смирнов, 1957). Kunstlikus valguses esinevad, olenevalt valgusalikast, saagi väikesemad või suuremad kõikumised. Gajevskaja (Гаевская, 1952) andmetel on *Scenedesmus acuminatus*'ele parimaks kunstliku valguse allikaks läbipaistva klaasiga neonlambid ja luminescentslambid (katsel kasutati tsink-berülliumsilikaatлюминоfooriga lampe), kuid viimased kuumenevad tunduvalt rohkem. Päeva valguslampidega (argoon + elavhõbedaaaurud) valgustamisel saadi 1/3 võrra väiksemad saagid. Nagu näitasid Smirnovi (Смирнов, 1957) katsed, on ka hõõglampide valgusel kultuuride kasv esialgu üsna intensiivne, kuid hiljem kasvutempo aeglustub ning lõpptulemuseks on tunduvalt väiksem fotosünteesi aktiivsus ja saak.

Koos kunstliku valguse kasutamisega kerkib uus probleem — lampide kasutamisest tingitud temperatuurimuutused. Temperatuuriprobleemid ongi praegustes kultiveerimistingimustes üsna pakilised. Nagu juba eespool on märgitud, sõltuvad mitmed protsessid temperatuuritingimustest. Enamiku kultuurides kasvatatud *Chlorella* tüvede puhul on optimaalseks temperatuuriks +25° C. Nii vabaõhu- kui ka laboratooriumikultuurides seab see asjaolu

katsetajad mitmete ebameeldivate probleemide ette. Laboratooriumides on alati olemas oht kultuuride ülekuumenemiseks ning seda eriti luminescentslampide ja hõõglampide kasutamise puhul. Vabaõhukultuurid alluvad ööpäevastele ja sesoonsetele temperatuuri kõikumistele. Keskmistel laiustel võib suvel päeval tõusta kultuuri temperatuur üle  $+25^{\circ}$ , öösel jälle langeda tunduvalt allapoole optimumi. Kevadel ja sügisel jäävad ka maksimaalsed temperatuuri tõusud optimumist madalamateks. Sooja kliimaga piirkondades on kultuurid pidevalt ülekuumenemise ohus. Seetõttu ongi praegu uurijate tähelepanu suunatud külma- ja soojalembeste ning termoresistentsete tüvede otsimisele. Texase ülikooli juures ongi eraldatud *Chlorella* tüvi, mille optimaalne areng toimub ebaloomulikult kõrges temperatuuris ( $+39^{\circ}$ ).

Nagu andmetest selgub, on tulemused kultuuride kasvatamisel päikesevalguses ja kunstlikus valguses enam-vähem samasugused, kui vaid teised tingimused on ühesugused (G u m m e r t jt., 1953; В и н б е р г, 1957; Г а е в с к а я, 1957; С м и р н о в, 1957). Küsimus näib seisnevat vaid teistes kultuuridele vajalikes tingimustes ja valgustuse ökonoomsuses.

Lisaks eespool toodud iseärasustele vetikakultuuride kasvatamisega seotud küsimustes puudutame mõne sõnaga veel üksikuid uurijate ette kerkinud spetsiifilisi takistusi ja raskusi, mis pole võimaldanud kultuure kasvatada tööstuslikes kogustes.

Üheks tülikamatest probleemidest on vetikate sadestumise küsimus. Selleks et kõik kultuuris olevad rakud saaksid võrdselt valgust, on vaja, et nad oleksid vedelikus alalises liikumises. Niipea, kui vedeliku liikumine lakkab, setivad rakud nõu põhja ja üsna varsti algab alumiste rakkude lagunemine. See aga toob kaasa kogu kultuuri riknemise. Kultuuride segamisel on kasutatud väga mitmesuguseid võtteid. Väikeste, mõnesaja ml kuni liitri mahuga nõudes kasutatakse kõige laiemalt kas kultuuri pidevat või mõneminutiliste vaheaegadega perioodilist lõksutamist. Paljudel juhtudel on kultuuride segamiseks ära kasutatud sissejuhitav süsihapugaasirikas õhk. Viimane juhitakse nõu põhja läheduses ühe või paljude avadega varustatud toru kaudu vedelikku, kus ta pinnale tõustes paneb vedeliku kogu ulatuses liikuma. Suuremamahulistest seadmetes ja eriti vabas õhus basseinides on sellise süsteemi kasutamine raskendatud. Nii kasutas M o y s e (1956<sup>d</sup>) 2 m<sup>2</sup> pindalaga paakides toitelahuste segamiseks õhku, mis väljus paagi vaolises põhjas vagudes asetsevate torude peentest düüsidest. Suurema pindalaga basseinide puhul pole ka see moodus kasutatav. Suurtes horisontaalsetes ja vertikaalsetes polüetüleensilindrites on kasutatud mehhaanilisi segajaid, basseinides ja jaapani-ameerika tüüpi rennkultuurides aga näib olevat ainsaks segamismooduseks pumba abil saavutatav vedeliku sundtsirkulatsioon koos samaaegse õhustusega (M i l n e r, 1953; M i t u y a jt. 1953; Ч е с н о к о в jt., 1960 jt.). Vedeliku segamisel tuleb jälle ilmsiks uus ebameeldivus: kul-

tuuri pinnale tekib vaht, mis tunduvalt halvendab valgustingimusi kultuuri sügavuses ja viib osa rakke ebasobivatesse keskkonnaningimustesse. Vahustumise vältimiseks tuleb väga ettevaatlikult valida ka toitelahuses kasutatavaid mineraalaineid.

Õhu rikastamine süsihappegaasiga toimub väiksema ulatusega katsetes lihtsalt CO<sub>2</sub> balloonist, tööstusliku mahuga kultuurides kerkib üles juba tööstusgaaside kasutamine. Senini on taolisi katseid tehtud ainult Ruhri tööstuspiirkonnas (G u m m e r t jt., 1953).

Väga sageli põhjustab kultuuriide hukkumise pH kiire muutumine. Toitelahuse reaktsiooni hoidmine enam-vähem ühtlasel tasemel on samuti probleemiks, mille lahendamine ulatuslikuma pindalaga seadmetes pole sugugi lihtne. Autorite andmed vetikakultuuride pH nõudlustes on väga varieeruvad. Nii oli G u m m e r t i jt. (1953) katsetel *Chlorella pyrenoidosa* kultuuris pH 6,1, kuid tõusis üksikutel juhtudel 8,1-ni. G a j e v s k a j a (Гаевская, 1953) katsetes oli *Scenedesmus acuminatus*'e ja *Ankistrodesmus* sp. kultuuris pH 7,2, kuid ööpäeva vältel toimusid kõikumised 6,0—8,7 piires (ühel juhul isegi 9,1). Samas märgib autor, et segakultuuris surus *Scenedesmus acuminatus* pH tõustes teised liigid kiiresti (mõne tunni vältel) alla. H o p k i n s i ja W a n n i (1926) andmetel võib *Chlorella* elada veel pH 3,4 juures (tsit. Г а е в с к а я, 1953 järgi) M i t u y a jt. (1953) kasutasid oma kultuuride jaoks toitelahust, mille pH oli 5,2, M o y s e (1956<sup>d</sup>) *Chlorella pyrenoidosa* jaoks 5,2—7,4.

Nagu juba eespool märkisime, on üheks pH reguleerimise vahendiks aine, mille näol me viime toitelahusesse lämmastiku (Г о р я ч е в, 1947). N. B. Z a v a r z i n a ja A. J. P r o t s e n k o katsed näitasid, et kultuuride kahjustamisele ja lagunemisele, mis võib toimuda mõne tunni vältel, kaasub sageli pH tõus üle 8. Vetikarakud muutuvad heledateks, kleepuvad helvestena kokku ja surevad 1—2 päeva jooksul (З а в а р з и н а, П р о ц е н к о, 1958). Nimetatud autorid arvavad, et taoliste nähtuste põhjustajaks on organismid või ained, mis on lähedased viirustele ja nende elutegevuse produktidele.

Lõpuks vaatleme vetikate masskultuuride kasutamise perspektiive. Senised katsed on kõik toimunud laboratooriumikatsete mahus. Kultuure on kasvatatud mõnesajamilliliitrites kuni mõnesajaliitrites nõudes. Esimene suurem eksperimentaalne seadeldis valmistati USA-s Carnegie instituudi tellimusel Arthur Little'i firma poolt Cambridge'is (Massachusettsi osar.) 1951. aastal. Nõudena kasutati 1,5 m laiuseid ja 20 m pikkusi lamedaid polüetüleenitorusid. Üldine kultuuri maht oli 4000 liitrit ja valgustatav pind 60 m<sup>2</sup>. Nimetatud seadeldis oli muide üks paremini mehhaniseeritud. Ööpäevane saak oli 5—11 g ruutmeetri kohta. Jaapani seadeldistel (T a m i y a, 1955, 1957; M i t u y a jt., 1953) oli kultuuri pindala 15 m<sup>2</sup>, maksimaalsed saagid olid 13—19 g/m<sup>2</sup>-lt ööpäevas. Rootsis teostatud katsetel (E n e b o ja J o h a n s s o n, 1956, tsit. Ч е с

НОКОВ, jt. 1960 järgi) ulatus kultuuri pindala 14,5 m<sup>2</sup>-ni, seejuures oli vedeliku maht 450 l. Nõukogude Liidus teostatud katsetel oli kultuuride pindala G a j e v s k a j a l (Г а е в с к а я, 1953, 1956) 0,2—6,0 m<sup>2</sup>, Leningradi Riikliku Ülikooli Bioloogiainstituudis oli kaskaadi tüüpi vabaõhuseadeldise vedelikupindala 5,0 m<sup>2</sup> ja horisontaalseadeldisel 9,4 m<sup>2</sup>. Saagid märgitud pindalalt ulatusid 4,7—14,1 g/m<sup>2</sup>-l (keskmine 7—10 g/m<sup>2</sup>) ööpäevas. Üks suuremaid seadeldisi töötab Tokios. Selle pindala on 78 m<sup>2</sup> ja ta mahutab 7,8 tonni vedelikku (K a n a z a v a jt., 1958). Moskva oblastis on Söö-tade Instituudil 50 m<sup>2</sup> pindalaga seadeldis (suulised andmed). Osa nimetatud seadeldistest on pealt lahtised, osa kinnised. Nagu katsed on näidanud, pole mingit vajadust hoida kultuure bakterivabadena (R u s c h m a n n, 1956). Küll aga kipuvad lahtistes kultuurides ja basseinides ebasoovitavate külalistena sisse *Hydrodictyon reticulatum*, *Cladophora fracta*, *Spirogyra* sp. jt. nitrofiilid, keriloomad, kirpvähid ja kahetiivaliste vastsed (Г а е в с к а я, 1953) ning *Gloeo-capsa minuta* ja *Pseudanabaena catenata* (G u m m e r t jt., 1953).

Vetikatemassi on vedelikust alati eraldatud tsentrifuugimise teel. Saagi koristamisviisil ja ajal on kultuuri saagikusele üsna oluline tähtsus. Enamik autoreid on jõudnud järeldusele, et maksimaalse juurdekasvu annavad kultuurid siis, kui koristada osaliselt iga 2—3 päeva tagant. Kui rakkude tihedus vedelikus tõuseb üle teatud piiri, langeb järsult fotosünteesi aktiivsus ja seega ka biomassi juurdekasv.

On andmeid, et Jaapanis ja Hiinas on kasutusel juba pooltööstuslikud ja tööstuslikud seadeldised. Nii kasvatatakse Jaapanis mitmetes kohtades klorellat tooraineks toiduainetetööstusele mitmesaja ruutmeetrisega pindalaga basseinides (Nakamura suulised andmed), Hiinas aga kasutatakse sama objekti sigade nuumamiseks. Sinhua agentuuri Informatsioonilise Bületääni 304. numbris (juuli 1960), on anonüümses artiklis märgitud, et Tsetzani provintsis kasvatatakse klorellalt kokku 140 ha suurusel pindalal.

Millisteks kujunevad seadeldised ja mehhanismid tööstusliku ulatusega seadmetes, selle selgitavad tõenäoliselt lähemas tulevikus tehtavad katsed. Juba praegu on arutluse all projektid, mis näevad ette vetikate kasvatamist troopilistes merelahtedes ja laguumides. Lago Maracaibo kohta on olemas üsna detailselt läbitöötatud projekt ja vastavad plaanid (J ø r g e n s e n ja C o n v i t, 1953).

Eespool esitasime neid eeliseid, mida omavad vetikad võrreldes kõrgemate taimedega. Veel kord peab aga märkima, et siin tehakse uurimistöös alles esimesi samme. Mõned aastad tagasi avastati *Scenedesmus obliquus*'e rakkudes kondrillosterool, mis on laialt kasutatud ravimi — kortisooni lähteaineks (K r a u s s, 1953). Arvatakse, et sellega on täielikult lahendatud senini väga defitsiitse kortisooni saamise ja valmistamise küsimus.

Ka saagid ulatuvad esialgsetelt katsetel vaid 20—70 tonnini

kuivainet hektarilt aastas. Üsna hästi põhjendatud arvutuste põhjal aga eeldatakse, et võimatud pole aastas isegi 250—270 tonni (Фишер, 1957) või 450 tonni (Mothés, 1954) valgu- või rasvarikast kuivainet hektarilt. H. Rõmppi (1959) andmed kuni 1000-kordsest päevasest juurdekasvuist pole kahjuks täpsemalt kontrollitavad.

Suuremate toorainekoguste puhul saab võimalikuks ka ainete detailsem uurimine ja tõenäoliselt ka palju laialdasem kasutamine. Olgugi et paljud autorid näevad vetikate masskultuuride kasvatamise probleemis üht toiduainetemajanduse aktuaalsemat probleemi, on siiski tõenäoline, et kõigepealt kujunevad vetikakultuurid tooraineallikaks tööstusele. Vetikate kasutamine toiduainena tuleb muidugi kõne alla Idamaades, kus rahva peamiseks toiduobjektiks on võrdlemisi valkudevaene riis. Katsed kasutada ainurakseid rohevetikaid toiduks pärinevad juba eelmistest aastakümnetest. 1942.—1946. a. teostati taolisi katseid Blanco leprosooriumis Venetsueelas. Kahjuks pole nimetatud andmed detailsemalt kasutatavad, sest pole täiesti selge, missugustest planktoniorganismidest see toit koosnes. Kindel on aga see, et haigete toitmine planktonikultuuridest valmistatud toiduga andis positiivseid tulemusi. Katsed loomade toitmisel vetikatega on andnud erakordselt häid tulemusi. Laialdast ja otstarbekat kasutamist peaksid leidma vetikakultuurid kalamajanduses.

Viimasel ajal on esinenud kirjanduses mõtteid selle kohta, et vetikakultuurid kujunevad asendamatuteks aatomiallveelaevades ja kosmosesõidukites. Seal seisneks nende ülesanne kõigepealt hingamisel eraldunud CO<sub>2</sub> kõrvaldamises, O<sub>2</sub> regenereerimises ja isegi komponendina toitainetes (Rõmppi, 1959). Laialdased võimalused on vetikakultuuride kasutamiseks selliste radioaktiivsete orgaaniliste ainete saamisel, mida ei ole võimalik valmistada sünteetiliselt. Katsetamisstaadiumis on ka roiskvete kasutamine vetikakultuuride kasvatamiseks. Ka siin seisab uurijate ees üsna avar tööpõld.

Kokkuvõttes võime öelda, et juba praegu on olemas küllaldaselt andmeid selleks, et objektiivselt hinnata fotosünteesivate mikroorganismide masskultuuride kasvatamisega seotud küsimusi ja selle avaraid perspektiive. Tulevik aga näitab, missugused arengusuunad saavad endale eluõiguse inimkonna teenimiseks.

## KIRJANDUS

- Aach, H. G. 1952. Über Wachstum und Zusammensetzung von *Chlorella pyrenoidosa* bei unterschiedlichen Lichtstärken und Nitratmengen. Arch. Mikrobiol., 17, 3.
- Algeus, S. 1951. Studies on the cultivation of algae in artificial light. Physiol. plant., 4, 4.
- Artari, A. 1906. Der Einfluß der Konzentration der Nährlösungen auf die Entwicklung einiger grünen Algen. Journ. Wiss. Bot., 43, 2.

- Champigny, M.-L. 1957. Étude de la croissance d'algues monocellulaires en cultures accélérées. IV Variations de la composition en acides aminés de *Chlorella pyrenoidosa*, selon la nature de l'aliment azote. Journ. Recherches C.N.R.S., 38.
- Davis, C. 1954. A preliminary study of the plankton of the Cleveland harbor area. Ohio II. The distribution and quantity of the phytoplankton. Ecol. Monographs, 24, 4.
- Davis, E. A., Dedrick, J., French, C. S., Milner, H. W., Myers, J., Smith, H. C., Spoehr, H. A. 1953. Laboratory experiments on *Chlorella* culture at the Carnegie Institution of Washington, Department of Plant Biology. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Evenari, M., Mayer, A. M., Gettesman, E. 1953. Experiments on Culture of Algae in Israel. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Fischer, W. J. 1959. Die Grünalge *Scenedesmus obliquus* hat einen verhältnismäßig sehr hohen Gehalt an Vitamin B<sub>12</sub> und E. Kosmos, 5.
- Genevois, L. 1927. Über Atmung und Gärung in Pflanzen. Biochem. Zeitschr., 186.
- Gummert, F., Meffert, M.-E., Stratmann, H. 1953. Nonsterile large-scale culture of *Chlorella* in greenhouse and open land. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Homès-Balasse, E. J., et Homès, J. A. 1960. La culture in vitro des algues, des mousses et des prothalles de fougères. Les Naturalistes Belges, 41, 3.
- Jørgensen, J. and Convit, J. 1953. Cultivation of Complexes of Algae with other Fresh-Water Microorganisms in the Tropics. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Kanazawa, T., Fujita, C., Yuhara, T., Sasa, T. 1958. Mass culture of unicellular algae using the "open circular method". Journ. gen. appl. microb., 4, 3.
- Koch, W. 1953. Untersuchungen an bakterienfreien Massenkulturen der einzelligen Rotalge *Porphyridium cruentum* Naeg. Arch. Mikrobiol., 18, 2.
- Krauss, R. 1953. Growth and Evaluation of Species of Algae with Regard to Sterol Content. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Lund, J. W. G. 1954. The seasonal cycle of the plankton diatom *Melosira italica* Kütz. subsp. *subarctica* O. Müll. Journ. Ecol., 42, 1.
- Milner, H. W. 1953. The chemical composition of algae. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Mituya, A., Nyunoya, T., Tamiya, H. 1953. Pre-Pilot-Plant Experiments on Algal Mass Culture. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Mothes, K. 1954. Bakterien, Pilze und Algen, ein neuer Typ von Kulturpflanzen. Die Kulturpflanze 2. Berlin.
- Moyse, A. 1956<sup>a</sup>. L'utilisation biologique de l'énergie solaire. Année biol. 32, 1-2.
- Moyse, A. 1956<sup>b</sup>. Les bases scientifiques des perspectives nouvelles d'utilisation de la photosynthèse les cultures accélérées d'algues. Année biologique, 32.
- Moyse, A. 1956<sup>c</sup>. Étude de la croissance d'algues monocellulaires (Chlorelles et espèces voisines) en cultures accélérées II. Vitesse de croissance et milieux de culture. Journ. Recherches C.N.R.S., 35.
- Moyse, A. 1956<sup>d</sup>. Étude de la croissance d'algues monocellulaires (Chlorelles et espèces voisines) en cultures accélérées III Rapport sur les essais de cultures de Chlorelles a ciel ouvert. Journ. Recherches C.N.R.S., 36.
- Moyse, A. et Yvon, A. 1956. Étude de la croissance d'algues monocellulaires (Chlorelles et espèces voisines) en cultures accélérées. I vitesse de croissance, durée de l'éclaircissement et agitation des cultures. Journ. Recherches C.N.R.S., 35.
- Myers, J. 1953. Growth characteristics of algae in relation to the problems of mass culture. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.

- Pringsheim, E. G. 1954. Algenreinkulturen. Jena.
- Rao, C. B. 1955. On the distribution of algae in a group of six small ponds. II Algal periodicity. Journ. Ecol., 43, 1.
- Rodhe, W. 1948. Environmental requirements of fresh-water plankton algae. Symb. Bot. Upsal. X, 1.
- Ruschmann, G. 1956. Beiträge zur Mikrobiologie der *Chlorella*. I, II, III. Biol. Zentralbl., 75, 3/4; 7/8; 9/10.
- Römpf, H. 1959. Algennahrung für Weltraumfahrer? Kosmos, 4.
- Spoehr, H. A. 1953. The need for a new source of wood. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Stegmann, G. 1940. Die Bedeutung der Spurenelemente für *Chlorella*. Zeitschr. Bot., 35.
- Tamiya, H. 1955. Growing *Chlorella* for food and feed. World symposium on applied solar energy. Phoenix (Arizona).
- Tamiya, H. 1957. Mass culture of algae. Ann. rev. plant physiol., 8.
- Tamiya, H., Hase, E., Thibata, K., Mituya, A., Iwamura, T., Nihei, T., Sasa, T. 1953. Kinetics of growth of *Chlorella* with special reference to its dependence on quantity of available light and on temperature. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Wassink, E. C., Kok, B., Oorschott, J. L. 1953. The efficiency of light-energy conversion in *Chlorella* culture as compared with higher plants. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Witsch, H. von u. Harder, R. 1953. Stoffproduktion durch Grünalgen und Diatomeen in Massenkultur. Carnegie Inst. Wash. Publ., 600.
- Артаги А. 1903. К вопросу о влиянии среды на форму и развитие водорослей.
- Баславская С. С., Буркина З. С., Феофарова Н. Б. 1959. Фотосинтез и содержание хлорофилла в водоросли *Scenedesmus quadricauda* в зависимости от условий азотного питания. Проблемы фотосинтеза. М.—Л.
- Винберг Г. Г. 1957. Массовые культуры одноклеточных водорослей как новый источник пищевого и промышленного сырья. Усп. совр. биол., 43, 3.
- Гаевская Н. С. 1952. Опыт применения газосветных ламп для культивирования протококковых водорослей. Бюлл. МОИП, отд. биол., 57, 4.
- Гаевская Н. С. 1953. Выращивание массовых культур протококковых водорослей для рыбного хозяйства. Тр. Всесоюз. гидроб. о-ва, 5.
- Гаевская Н. С. 1955. Выращивание массовых культур протококковых водорослей при неоновых лампах, погруженных в культуру. Бюлл. МОИП, отд. биол., 60, 2.
- Гаевская Н. С. 1956. Проблемы использования одноклеточных водорослей. Природа, 4.
- Гаевская Н. С. 1957. О массовых культурах водорослей в свете проблем биологического использования солнечной энергии. II Всесоюз. конф. по фотосинтезу. Тезисы докладов.
- Глуздаков С. И. 1960. География культурных растений. М.—Л.
- Горьюнова С. В. 1948. Культивирование водорослей в лабораторных условиях. Микробиология, 17, 5.
- Горячев П. П. 1947. Влияние состава питательного раствора на *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh. Микробиология, 16, 1.
- Гусева К. А. 1947. Причины периодичности в развитии фитопланктона Учинского водохранилища. Бюлл. МОИП, отд. биол., 52, 6.
- Даниэльс Ф. 1957. Коэффициент полезного действия фотосинтеза. Сб. иссл. по использ. солн. энергии, М.—Л.
- Заварзина Н. Б. 1959. О веществах, тормозящих развитие *Scenedesmus quadricauda*. Тр. Всесоюз. гидроб. о-ва 9.
- Заварзина Н. Б., Проценко А. Е. 1958. О лизисе культур *Chlorella pyrenoidosa* Pringsh. Докл. АН СССР, 122, 5.

- Мейснер К. И. 1923, 1924. Фитопланктон р. Оки под Муромом. Работы Окской биол. ст., т. 2, 2, т. 3, 1.
- Пырина И. Л. 1959. Интенсивность фотосинтеза у водорослей в связи с сезонной освещенностью. Тр. инст. биол. водохрани., 1, 4.
- Работнова И. Л. и Конова И. В. 1950. Влияние степени аэрации на автотрофное и гетеротрофное питание *Chlorella*. Микробиология, 19, 1.
- Скабичевский А. П. 1950. Влияние продолжительности суточного освещения на развитие планктонных водорослей. Докл. АН СССР, 112, 1.
- Смирнов Н. Н. 1955. Влияние различных химических режимов на развитие кормовых протококковых водорослей. Тр. Моск. техн. инст. рыбн. пром., 7.
- Смирнов Н. Н. 1957. О географическом распределении некоторых протококковых водорослей в связи с вопросом их массового культивирования для рыбного хозяйства. Тр. Моск. техн. ин-та рыбн. пром. и хоз., 8.
- Феоктистова О. И. 1959. Влияние длины светового дня на образование органического вещества и размножение водорослей. Тр. инст. биол. водохрани., 1, 4.
- Фишер А. 1957. Экономика использования водорослей как потенциального топлива. Сб. иссл. по использ. солн. энергии.
- Чесноков В. А., Пиневич В. В., Верзилин Н. Н. и Степанова А. М. 1960. Некоторые итоги массовой культуры одноклеточных водорослей. Вестник Ленингр. ун-та, 9, сер. биол., 2.

## МАССОВЫЕ КУЛЬТУРЫ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Э. Кукк

Резюме

На Земле встречается приблизительно полмиллиона видов растений, на настоящее время возделывается около 20 000 видов культурных растений, но более широкое значение из них имеют около 150 видов. Среди других зеленых растений одноклеточные водоросли являются эффективными производителями биомассы. Коэффициент использования солнечной энергии у протококковых водорослей двадцатикратно и больше превышает этот показатель у обыкновенных культурных растений. В массовых культурах одноклеточных водорослей легко достигается полное поглощение энергии солнечной радиации, проникающей в суспензию — то есть, в течение неопределенного времени легко поддерживается плотность суспензии водорослей на оптимальном уровне для процесса фотосинтеза. Имеющиеся данные показывают, что по содержанию белков, жиров и ряда других веществ, пригодных для пищевых и сырьевых целей, водоросли превышают наши сельскохозяйственные растения. Из-за ряда специфических особенностей водоросли не могут

заместить культуры сельскохозяйственных растений, но они могут быть дополнительным источником органических продуктов. Для того, чтобы широко использовать водоросли в производственных масштабах, нужно хорошо изучить и усовершенствовать технику массовых культур, найти штаммы, при помощи которых можно преодолеть сезонные изменения в скорости роста, нужно всесторонне изучить возможности использования получаемой биомассы и дать экологическую оценку эффективности массовых культур водорослей.

## MASSENKULTUREN EINZELLIGER ALGEN UND IHRE NUTZUNG

E. Kukk

### Zusammenfassung

Die Zahl der dem Menschen bekannten Pflanzenarten der Erde wird gegenwärtig mit ungefähr einer halben Million angegeben, von denen im weiteren Sinne rund 20 000, im engeren nur etwa 150 Arten vom Menschen angebaut und genutzt werden. Nun hat es sich erwiesen, daß auch einzellige Algen äußerst ergiebige Erzeuger von Biomasse sind. Hinsichtlich der Menge an ausgenutzter Sonnenenergie übertreffen die Algen die entsprechenden Werte bei den gewöhnlichen Kulturpflanzen um das Zwanzig- bis Dreißigfache. Bei Algen-Massenkulturen läßt sich eine vollständige Absorption der auf eine Algensuspension einfallenden Sonnenstrahlung leicht erreichen, mit anderen Worten, es ist ein leichtes, die Suspensionsdichte während der Photosynthese für eine unbegrenzte Zeitdauer auf dem optimalen Stand zu halten. Wir besitzen Angaben darüber, daß die Algen unsere Kulturpflanzen im Gehalt an Eiweißen, Fetten wie auch manchen anderen Nahrungsmittel- und Rohstoffbedarf befriedigenden Stoffen übertreffen. Wegen einer Reihe von spezifischen Besonderheiten sind die Algen jedoch nicht geeignet, an die Stelle der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen zu treten, doch können sie als zusätzliche Quellen bei der Produktion von organischen Stoffen in Betracht kommen. Um eine Algenverwertung in industriellem Maßstabe in die Wege zu leiten, ist es vorerst notwendig, die Technik ihrer Massenkultivierung eingehend zu untersuchen und zu vervollkommen, Stämme von Algen ausfindig zu machen, die den jahreszeitlich bedingten Veränderungen ihrer Zuwachsgeschwindigkeit nicht unterliegen, die Verwertungsmöglichkeiten der zu gewinnenden Biomasse gründlich zu studieren, sowie die Effektivität einer Massenkultivierung auch vom wirtschaftlichen Standpunkt zu erwägen.