

310109

成都工学院图书馆

~~023971~~

基本馆藏

国外小球藻 的试验和研究

中国农业科学院资料室 选译



上海科学技术出版社

國外小球藻的試驗和研究

(譯 丛)

中国农业科学院資料室 选譯

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书收集了苏、美、英、日、德、法、埃及等国有关小球藻試驗和研究的資料 31 篇,反映了各国在这方面的研究动态及其科学水平。内容包括小球藻的生长特性、生理要求、环境影响、培养技术以及食用价值等,可供高等农业院校师生和有关科研人員参考。

国外小球藻的試驗和研究

(譯 丛)

中国农业科学院資料室 选譯

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海市印刷三厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印張 8 6/32 字數 216,000

1961年12月第1版 1961年12月第1次印刷

印數 1—5,000

統一書号:16119·454

定 价:(十四)1.40元

目 录

大面积培养单胞藻是食物和工业原料的新来源.....

..... Г.Г. Винберг (1)

藻类的大量培养..... Hiroshi Tamiya (21)

藻类大量培养时的生长特性..... Jack Myers (37)

小球藻的发育生理——应用同步培养方法的研究...田 宫 (52)

小球藻同步培养的敏感期.....

..... A. Pirson, H. Lorenzen, A. Koepper (68)

藻类生理学..... Jack Myers (74)

藻类的无机营养..... Robert W. Kraus (92)

污水中生长的小球藻对有机物质的利用.....

..... Wesley O. Pipes, Havold B. Gotass (106)

关于埃及淡水藻类生理生化的研究——培养条件对拟椭圆小

球藻生长和细胞蛋白质的影响.....

..... Ezz Eldin M. Taha, Abdelaziz M. Allam (116)

不同培养因素对小球藻生长的影响..... M. A. Moyses (123)

重水对于小球藻增长的效应..... J. Walker, P. J. Syrett (129)

在异养性碳营养条件下小球藻的缺锰现象.....

..... Generald S. Reisner, John F. Thompson (132)

氯对粉核小球藻生长的影响..... Clyde Eyster (135)

乙醇作为普通小球藻生长的碳源..... H. E. Street et al. (137)

藻类的光合作用对于叶绿素含量和氮营养条件的关系.....

..... С.С. Баславская, З.С. Буркина, Н.Б. Феофанова (141)

抑制栅列藻发育的物质..... Н.Б. Заварзина (148)

工厂化试验性生产小球藻的研究.....

..... Based on Report by Arthur D. Little, Inc. (159)

工厂化試驗性生产准备阶段的藻类大面积培养.....	水戸谷 布谷 田宮 (186)
大量培养單胞藻类的若干总结.....	В. А. Чесноков, В. В. Пиневи́ч, Н. Н. Верзи́лин, А. М. Степа́нова (190)
大瓶和深发酵槽中大量培养不同藻类的研究.....	Louis Pruess, Peter Arnow et al. (197)
藻液内部安装氙气灯培养原球藻的試驗.....	Н. С. Гаевская (208)
小球藻蛋白质的人工消化試驗.....	田村盈之輔 馬場春夫 小島义树 田村敦 (210)
动物对脱色小球藻的消化吸收試驗.....	田村盈之輔 馬場春夫 田村敦 小島义树 (212)
脱色栅列藻蛋白质的生物价.....	田村盈之輔 馬場春夫 田村敦 小島义树 (214)
人体对脱色栅列藻的消化吸收試驗.....	田村盈之輔 馬場春夫 小島义树 田村敦 松野信郎 森本喜代 (216)
小球藻蛋白质經各种試药浸出及其自溶溶出試驗.....	馬場春夫 小島义树 田村敦 田村盈之輔 (220)
小球藻叶绿素蛋白质和其他蛋白质的分离.....	馬場春夫 小島义树 田村敦 田村盈之輔 (224)

附 录

一、变太阳能为可用燃料的生物学循环.....	R. L. Meier (228)
二、光能变为甲烷化学能的生物学轉化.....	C. G. Golueke, W. J. Oswald (232)
三、藻类的化学成分.....	Harold W. Milner (244)
四、藻类的营养价值.....	A. W. Fisher, John S. Burlew (256)

大面积培养单胞藻是食物和工业原料的新来源

Г. Г. Винберг

近来，水生藻类的大面积培养及其利用太阳能来合成食用和工业用有机物质的可能性，引起了人们的注意。不少国家正在研究各种不同的大面积培养藻类的方法，如美国、日本、德国和英国已设计和装配了不同类型的半工厂生产型装置，这些设计和装配需要研究和解决许多生物学上和技术上的问题。在苏联，为了找出一些有效应用矿物质肥料的方法，以便提高池塘养鱼业的生产率，和人工养鱼所用的饲料的最好生产途径。H.C. 盖耶夫斯卡娅及其学生(斯密尔诺夫，1955)研究出多种培养原球藻的简便有效方法。

大面积培养藻类之所以引人注意，在于通过这一途径可以有效地利用太阳辐射能来合成有机物质。现今，在实验室培养小球藻，光利用率已高达 23.5% (Wassink 等, 1953)。如果小球藻的单位面积可能产量按干藻类的最大产热值（一克干重产热 5770 卡）和年平均太阳辐射能（170 卡/平方厘米/天）来推算的话，那么在一平方米面积上每日可以得到 70 克干物质，即一公顷面积上每日可以得到 700 公斤干物质。如此之高的产量，大面积培养中虽未出现过，但在一些不够完善的大面积培养藻类的初步试验中得到的产量，已经相当可观(Burlew, 1953; Spoehr, 1953)。

美国卡内基研究所的露天装置(见下文)，光照总面积为 50 平方米左右，在工作良好时，产量很高。例如，1951 年 8 月 21—31 日

的十一天中,每一平方米面积平均收到11克干藻,折合一公顷面积的日产量为110公斤。这一数字不能说不高,因为这不是来自实验室的试验,而是大面积培养实际得到的数字。需要注意的,上述数字全系干重,其中蛋白质含量占到50%。

一般地说,藻类的培养全年均可最高速度地增殖,不受气候条件影响,而农作物在温和气候下的最高速度生长,仅限于很短的一个时期内。如果注意到这一种情况,就能更充分地评价上述数字的意义。同时,温带的农作物,对太阳辐射能的利用率仅为年辐射能的百分之几。此外,藻类培养不受土壤条件影响,可以占用农业上不适用的土地。

培养藻类的产品几都为动物能利用的有机物质构成的。藻类的化学成分在很大程度上随培养条件而改变,因而可以控制,这一特点更增加了藻类的生产意义。

因此,人们认为大量生产藻类是获得蛋白质、脂肪、维生素和其他饲用、食用、工业用物质新的丰富来源。

二

截至目前为止,最大的藻类培养装置在美国剑桥。这一装置从1951年7月7日工作到12月18日(中有数度间歇)的一段时间内,虽曾发生不同故障,严重妨碍其工作效益,但仍收到45公斤小球藻(干重)。在完成这一装置之前,卡内基研究所(Davis, 1953)和其他美国科学家(Myers, 1953; Krauss, 1953年)进行过大量实验室工作。

日本的田宫等人,根据自己的试验研究结果,吸取经验,建成了一座大面积培养藻类(拟椭圆小球藻)的半工厂型设备,该设备的构造将在186页介绍(水户谷、布谷和田宫, 1953)。

英国从1949年也开始进行是否可以利用藻类培养作为食物补充来源的试验。他们在不同装置的塑料容器中培养小球藻(*Chlorella vulgaris viridis*),其最大的容积为60升(Geoghegan, 1953)。

德国在战争时期和战后年代里,为了觅得新的食物来源,特

別是脂肪方面,在盖其根大学进行了培养菱形藻 (*Nitzschia palea*) 和粉核小球藻的实验室研究(Witsch、Harder, 1953)。

此外, 还会试用过鲁尔工业煤气的二氧化碳来作大量培养粉核小球藻用的营养, 设置了一套专门的实验设备。将藻类培养在温室和露天下。在露天下用四个内敷塑料的浅长槽子来培养藻类, 每个培养槽的容积为 600 升。在槽底装有带孔的管子, 以便向藻液内通入含有二氧化碳的空气 (1% 二氧化碳) (Gummert 等, 1953)。用这种设备虽然能使小球藻在大量液体內长时间的生长, 但是比起美国和日本的设备要简陋得多。因为: 第一, 这种开敞设备仅适合于二氧化碳供给便利和价廉的条件下应用; 第二(也是特别重要的一点), 这种设备沒有分离藻类、促使藻液循环流动和调节温度等装置。

荷兰 Wassink 和 Kok 等人在 1950 年和 1951 年夏季在露天条件下用容量 300 升的混凝土池子培养小球藻。对培养液通入二氧化碳, 并用电动机进行藻液搅拌。小球藻培养了 2~4 个月, 每隔 5~7 天采收一次(Wassink 等, 1953 年)。

以色列目前还进口食品和饲料, 这种状况促进了开辟新食源的研究。这个国家从 1951 年开始藻类培养方法的实验研究, 现已有一个新型的、大规模培养藻类的工厂设计, 但还未施工。设计的依据是以光学方法使光致弱和均匀分布于藻液內 (Evenari、Mayer、Gettesman, 1953)。

除了上述的以外, 目前各国的研究人员正在利用藻类培养来研究有关藻类生理学上不同问题。在这面积累的许多经验, 有助于当前藻类由实验室培养过渡到工厂培养, 凡此种种, 在最近时期已有一系列文献加以总结。

三

小球藻培养液的成分很不一致。大多数研究试验用的培养液其盐基性盐成分与通用的克诺普氏培养液 (含有磷酸二氢钾与硫酸镁的溶液) 相似。

多数培养液是用硝酸钾作为氮源,但也有用其他化合物的。例如, Witsh, Wassink 等用硝酸钙; Evenari, Mayer 和 Gettesman (1953) 培养粉核小球藻时用硫酸铵代替硝酸钾 (即用铵态氮代替硝酸盐氮), 效果很好。

据美国、日本的试验, 用有机氮(尿素)作为氮源, 小球藻能很好加以利用, 并具有不致改变培养液的酸碱反应, 保持 pH 值不变的优点。此外, 培养液中加入尿素, 比较加用硝酸钾时含有更多量的氮, 同时对藻类不生有害作用。

盐基性盐成分的浓度与相互间的比例, 在不同的培养液中变化很大。在日本田宫的实验室试验中, 每日更换培养液时, 三种盐基性盐的总浓度为 0.175 克/升, 但在大规模培养时, 培养液内盐基性盐的总浓度为 5~10 克/升。

大规模培养用的培养液内, 磷酸盐的浓度, 一般为 1.25~2.5 克/升, 硫酸镁的浓度为 2.5~5.0 克/升。一般(并非经常)用硫酸镁的浓度比磷酸盐的浓度大一倍(这一点和克诺普氏培养液相同)。至于硝酸钾的浓度有大有小。多数大规模培养用的培养液, 所用硫酸镁的浓度为 1.25~5.0 克/升。在个别一些专门试验中, 硫酸镁浓度有高达 10 克/升(Davis 等, 1953)的。有一些试验(主要见于欧洲)用的培养液, 含有少量硝酸盐——0.15~0.55 克/升(Wassink 等, 1953; Witsh 等, 1953)。

在用木槽和水泥池大量培养藻类(主要是栅列藻)时, H.C. 盖耶夫斯卡娅(1953)用过含有 5~60 毫克硝酸盐氮的培养液。

如不论及藻类用途、密度等方面, 则没有根据说上述所用各种浓度, 哪一种更好些, 因为在各种浓度的培养液中, 藻类的生长速度始终没有变动。

Myers 曾利用一种光电继电器自动地使藻液保持一定密度的方法, 结果表明, 三种盐基性盐($MgSO_4$, KH_2PO_4 和 KNO_3)的浓度, 作了 0.001~0.02M 的二十倍范围内的变化, 对小球藻的生长速度没有影响。

在绝大多数的情况下, 培养液的成分不是根据对藻类需要的

详细了解来配制的,而仅仅是一些不完全合理的实验与经验积累的反映。一般说来,硝酸钾与磷酸钾的浓度,或二者相等,或前者大于后者一倍,这样,氮与磷的重量比为1:1.64或1:0.82,前者一毫克当量氮有0.74毫克当量磷,后者一毫克当量氮有0.37毫克当量磷。在小球藻大规模实验性培养时(特别是美国),采用上述氮磷比例。日本田宫的试验中,所用培养液中硝酸钾浓度(5克/升)超过磷酸钾浓度不是一倍,而是三倍。在荷兰的一些试验中(Wassink等,1953),培养液中氮磷比例更大。用尿素作为氮源的培养液中,氮磷比例也很高。

R. W. Krauss 进行栅列藻培养试验时,鉴于藻类吸收不同离子的速度,参考已有资料,制出适用于淡水原球绿藻的培养液成分,并发现硝酸盐和磷酸盐离子的需要速度,折算为毫克当量时为5:1,折算为氮、磷的重量单位时为2.26:1。在这一种培养液中,Krauss认为磷的数量增多是必要的,他用了10毫克当量硝酸盐和5.5毫克当量磷酸盐。即使这样,Krauss的培养液(1克/升 KNO_3 、0.25克/升 KH_2PO_4 和0.25克/升 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)中含有的磷量,仍少于大部分其他试验用的培养液。培养液内一般含有过量的磷,这也就说明为什么培养时间长的藻类最先产生缺氮现象。

四

培养液中除含有较大浓度的盐基性盐外,还必须含有一些可给态铁和微量元素。用蒸馏水和化学纯药品配制培养液(主要见于实验室研究时),微量元素更为需要。

现在已很清楚地知道,对藻类的正常生长发育来说,培养液中必须含有可给态铁(这和一切绿色植物相同)。但是,低浓度的可给态铁已敷需用,据Mayers(1947)试验,对小球藻来说,有 $0.02 \cdot 10^{-5}\text{M}$ 或0.053毫克/升铁就够用了。

多数培养液中的铁是用少量硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$),少数是用硫酸铁 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$,在溶液中稳定性较差](Krauss, 1953)。

铁在溶液中较易沉淀，因此，采取了多种保持铁呈可利用状的方法，这一点在长时间利用培养液时特别重要。当在培养液中加入硫酸铁时，应再加入柠檬酸钠，或改用乳酸铁。有人认为，把土壤浸出液加于无机培养液内，其刺激作用多少与使铁在溶液中呈古敏酸盐趋于稳定而不还原这一点有关。

近年来，常有在培养液中加入抗铁沉淀剂的做法。这类物质，美国和日本常用的有乙二胺四乙酸，将乙二胺四乙酸加到无机盐溶液中，不仅能稳定溶液中的铁，还能稳定一些较易沉淀的微量元素阳离子。

E. A. Davis 等人指出，培养液中加入乙二胺四乙酸，产量可以增加 68%。在这样的条件下，对应用高浓度铁的作用进行过专门试验，在最高试验浓度(80毫克/升)下，未见有不良作用。

不同的试验，其培养液中所用微量元素的配合、浓度也不一样。常用的有阿尔隆培养液。

五

充分通入含有多量 CO_2 的空气，是顺利培养藻类的一个必要条件。最常用的是通入含有 5% CO_2 的空气。我们知道，培养液中有较低量的 CO_2 (0.1~0.5%)，已足敷藻类大量生长所需。据 Myers (1953) 试验，培养液中 CO_2 的浓度幅度虽大(0.1~5%)，但小球藻的生长速度不变。当培养液中含有 5% CO_2 时，出现毒害作用，但在细胞迅速生长和强度吸收 CO_2 的情况下，液相和气相状 CO_2 的含量二者尚未得到固定，培养液内 CO_2 的饱和程度已低于通入的空气。

保证大量培养藻类有必要数量的 CO_2 ，不是一个简单问题，尤其在考虑到经济和成本时，更是如此。大量生产藻类，必须要用开敞装置，方才合算，但这样将有不少 CO_2 逸失，使培养液中保持需要程度的 CO_2 含量比较困难。事实上，只有在 CO_2 含量较高的条件下，才能发挥出高浓度营养盐类的效益，否则将体现不出它的长处，因为 CO_2 不足时，盐类不能以较快速度供藻体应用。

小球藻和其他绿藻在现今条件下培养，最适宜的生长温度在25°C左右。事实上(至少是在夏季时期)，在闭合装置内培养藻类，需要注意的不是加温，而是过度曝晒日光的藻类如何降温。为此，可以用液泵通气，使藻液通过专门的换热装置来回循环，此一换热装置，夏季作降温器用，冬季作升温器用。如果选用喜热或耐热藻种(最高生长温度超过25°C者)，则更属理想，因为可以减少降温所需费用。寻找这样的藻种工作，已有初步成就。德哈斯大学已分离出一种喜热小球藻藻种，这一藻种在实验室培养时，延长光照时间，在39°C的高温下生长迅速，为一般小球藻所不及，它的生长速度常数(K)高达5.8[注]，而藻类培养在25°C时，一般的生长速度常数很少超过1.0(Myers, 1951)。

在强光照和弱光照下，由于温度的不同，藻类的光合作用与由此而产生的生长速度也有甚大差异(田宫, 1953, 以及其他报导)。在弱光照下，即光合作用最先决定于光时，光合作用在不同温度下的进行过程大致相似，甚至速度也相同。当在光照增强下，光合作用也表现有呼吸强度、其他生理过程与温度三者的相互关系，即温度提高10°C，光合作用增强1~2倍。

温度对大量培养藻类的意义，目前仅能通过观察的方式加以阐述。据美国和日本半工厂生产规模的装置的试验，可以认为不仅在高温条件下有顺利培养小球藻的可能性，在低温条件下也是有。

六

从已知材料看，培养藻类的光照条件非常重要。光对进行光

注：在生长以不变速度进行时(指数生长)，生长速度常数的计算公式如下：

$$K = \frac{1}{t} \log \frac{N}{N_0}$$

式中： t = 时间(以昼夜计算)， N = 观察期终的细胞数， N_0 = 观察期初的细胞数。

不难看出， $K=5.8$ 时，细胞每隔75分钟分裂一次，一昼夜之内，细胞数增加63,000倍。细胞在一昼夜分裂一次时， $K=0.301$ ，分裂二次时， $K=0.602$ ，依此类推。

合作用的细胞生长的作用很复杂，虽然这一作用的基础是光合作用速度和光照强度之间的关系，但不能将这些现象混为一谈。我们在分析光对藻类细胞生长的作用时（作用效果取决于藻液的密度、培养层的厚度和搅拌速度等一类因素），发现各种条件间有着复杂的关系。

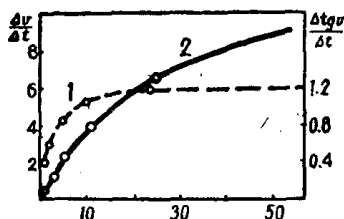


图 1 小球藻生长速度和光照强度的关系

- 1——密度小的藻液(右方数字);
2——密度大的藻液(左方数字);
●——一毫升藻液中细胞总数;
t——时间。

横轴上数字为光的计算单位(千勒克司)
(田宫等, 1953)

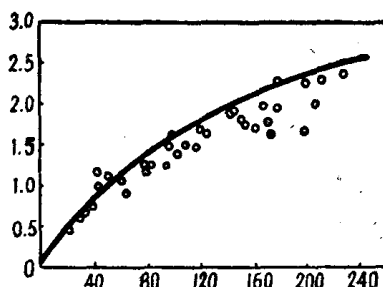


图 2 小球藻增殖与光照的关系

横轴上数字为一日的光量(千勒克司小时); 纵轴上数字为一升藻液一日的细胞增殖量(按毫升计)
(水戸谷等, 1953)

小球藻生长情况与光的关系如下 (Myers, 1953; 田宫等, 1953)。光强度 I_0 较弱时, 光合作用的速度与呼吸速度相同, 细胞不增殖, 但光照较强时, 细胞生长速度加大, 一直到光强度为 I_s 值时 (所谓“光饱和”) 方行停止。据 Myers 计算, I_s 值 (按实验室试验中短时间的光合作用强度求出) 接近 1000 勒克司, 但据培养试验, 较大的光强度, 譬如 3000~4000 勒克司 (相当于直射光强度 80,000 勒克司的 $\frac{1}{30} \sim \frac{1}{20}$), 生长最适宜。在田宫的慎密试验中, 拟椭圆小球藻的光饱和高达 10,000 勒克司 (图 1)。

在光强度 I (大于 I_0) 与藻液密度小时, 所有细胞在生长初期均处于光饱和条件下, 这时, 细胞生长不决定于光强度, 生长速度恒定不变; 如这时培养液也恒定不变, 它的生长速度最高。这一

最速生长一直持续到藻液密度值增大,使透入藻液内的 I_0 光强度降低时为止。此后的生长,因为透入藻液内的光强度小于 I_0 ,各细胞平均获得的光低于光饱和度,其平均生长速度则随藻液密度和光强度的不同而异。

继生长第一期(生长速度最大,且能保持不变——指数生长)后,便转入生长第二期——直线生长时期。这时,在细胞数增加的同时,生长速度和相对增殖量逐渐下降,而单位时间内的绝对增殖量仍居于同一水平。

据田宫的材料,在直线生长第二期与强光照(10,000~50,000勒克司)时,生长速度与光强度之间呈有明显的正比例关系。大规模露天生长的藻类,它的产量与光强度也有类似关系(图2)。

实验室的试验表明,藻液在光照下,强度越大,藻液密度越大,同时,指数生长期结束,直线生长期开始。在弱光(800勒克司)下,在不变速度的生长渐告结束时,1升藻液内分离出0.1毫升小球藻,当此数为1毫升/升时,直线生长期开始。在强光(10,000~50,000勒克司)下,前一值不低于1毫升/升,后一值不低于10毫升/升。

田宫等人的试验,弄清了小球藻直线生长期培养上的主要特点。他们同意其他试验材料(Geoghegan,1953),认为在藻液密度较大的一定范围内,按单位光照面积计算的增殖量始终保持恒定,不因培养层的深度而改变。

在指数生长的第一期,藻液密度较小时,生长速度不受培养层深度的影响,直线生长期内与此则有所区别;在密度大的藻液内,生长速度与培养层深度成反比例。在田宫等人所用条件下,培养层深度由0.70厘米到6.0厘米,不同深度层的一平方米日增殖量为170,030万个细胞。

光线过强,对小球藻有致死作用。在过强光线下培养的细胞颜色淡绿,生长速度缓慢,最后失色而死亡。光的有害作用的强度,低温时比较适宜温度(25°C)时为小。在田宫的试验中,在7°C时,光强度为2000勒克司,小球藻颜色发淡;在25°C,同样效

果见于 50,000 勒克司光照时。

七

在最小的光强度(足敷最大生长速度所需, 光强度相当于 I_0)时, 密度小的藻液利用光能的能力最大。光强度大, 藻液密度小, 这时, 生长速度不见增大, 可利用光能的绝对量维持不变, 而相对量(即光的利用效果)却有下降(Myers, 1953)。

藻类培养时, 实际上总会产生藻液密度或大或小的情况, 而培养层的深度可以调节得即使在直射光的光照下, 光也能全部或接近全部地被吸收, 但需要一定的设备。从光照方面讲, 由于不同的细胞所居位置不一样, 当大部分细胞处于背光状态下, 那么藻类对光的总利用率大大降低, 如果充分搅拌藻液, 情况又不一样, 每一个细胞可以轮流处在向光和背光的条件下, 因此, 搅拌能使光的总利用率显著提高。

实验证明, 在光照期和背光期轮迭次数较为频繁时, 间歇光对藻类培养的影响, 将和同等强度的连续光没有二样。

不过, 据 Kok (1953) 谓, 只在光照期甚短(约 3~4 毫秒)的情况下, 间歇闪光才与同等强度的连续光有相同的作用。

通过搅拌来提高光的利用率, 必须遵守另一个条件。譬如, 要把最大光能利用增大十倍, 那么, 光强度降低也要不小于十倍。当这一效果是通过间歇光的话, 应当把背光期的时间延长为光照期的十倍。如果是通过充分搅拌达到上述效果时, 应当把培养层的深度超过可完全吸收光的深度十倍左右。

采用浅层(藻液密度大、透明度小)或深层(藻液密度小)方法, 都可望获得理想的光吸收率。由于浅层容易做到充分搅拌, 因此, 在大规模培养藻类时, 常采用这一培养方法。这种培养由于体积小, 在温度控制、藻体分离和采收等方面都具有许多优点。

藻类生长上最大的光能利用率是在荷兰的一个实验室中获得(Wassink 等, 1953)。小球藻培养在 500 毫升的玻璃瓶内, 光照为低强度(1500~3000 勒克司)的人工光, 十日生长的总结果相当

于20~24%光能利用率。在同一实验室内, Kok 在严格控制的条件下, 将小球藻培养在容有100毫升培养液的 Warburg 氏装置内, 光照是不同强度的天然光(最大强度为 2.10^4 尔格/厘米² 秒), 一克干藻的产热值为5.77大卡。在30次试验中, 光利用率多为12~21%, 其中有一个试验, 藻类获得2335卡辐射能, 干重为88毫克, 相当于488卡热量, 即光利用率为

$$\frac{488.1}{2335} = 21.3\%。〔注〕$$

到目前为止, 这是藻类生长上光能利用率最大的一个数值。

英国 Geoghegan (1953) 曾获得大体相近的光能利用率。据计算, 小球藻的实验室弱光(12,000勒克司)培养, 产量是一平方米一昼夜内生产15.3克(干重), 相当于20%的光利用率。

荷兰用水泥池试验性地露天大规模生产小球藻, 通入CO₂, 用电动机搅拌(和其他一些实验相似), 但光利用率较低。全日照时, 光利用率仅为2.6~2.7%, 光减弱为全日照光强度的22%时, 光利用率为6.3%。三组同样的藻液, 用人工光照时, 光利用率平均为13.3%、10.9%和4.7%, 而最大值为19.7%。作者据此得出结论: 在良好条件下进行大规模培养, 可以获得较高的光利用率。在露天培养时, 光利用率较低的原因, 系白昼光过多之故, 根据他们的看法, 这一点同样见于陆地植物。陆地植物在实验室的弱光条件下生长时, 获得的光利用率也可能比较生长在自然条件下为高。值得注意的是: 种植在施肥土壤上的牧草, 三次收获时, 据作者计算, 光利用率为2.6%, 这一数值和在露天培养下的小球藻的光利用率一样。

许多研究试验表明, 在大量培养条件下要获得较高的光利用率(实验室的试验证明是可能的), 是一项相当困难而又未解决的任务。在现有的大规模培养试验(时间长短不一)中, 整个观察期内的平均光利用率, 看来和培养陆地植物时所获得的一样, 不过, 在个别的几天内, 大规模培养也同样显出有很高的光利用率。

注: 为原文的计算。

八

在大面积培养藻类的试验期间，曾经试验过几种不同构造的培养装置(Davis 等人, 1953 年)。例如, 有一种“振动托盘”, 它是一种长方形平置的容器, 一壁的上部为玻璃, 总面积 2.65 平方米。为了搅动散布在池底的一薄层培养物, 容器被电动机带动作往复运动, 摆动周期为十秒钟。有一专用以冷却藻液的蛇形管, 管长 18.3 米。在藻液中通过含有 5% 二氧化碳的空气(与一般常用者相同)。在四个月试验过程中, 这种装置获得了 966 克干藻粉。当浓度达到 13.6 克干重/升时, 一毫升中约含有 10^9 个细胞, 藻类生长暂停。

当浓度达到 2.7~11.5 克/升时, 藻类生长最好。试验人指出, 和其他情况一样, 最大增殖总量在最大生长速度后期出现, 而最大生长速度见于浓度较少时, 此时总增殖量尚低。在 20 天内, 这种装置每平方米面积每昼夜平均生产 8.2 克(干重)。

第二种实验装置是一个封闭系统, 由几根透明管和降温、沉淀藻类用的容器构成(图 3)。曾制成两种设备, 一种用玻璃管, 一种用塑料管。藻液由液泵驱使循环。试验人发现了一个特殊现象,

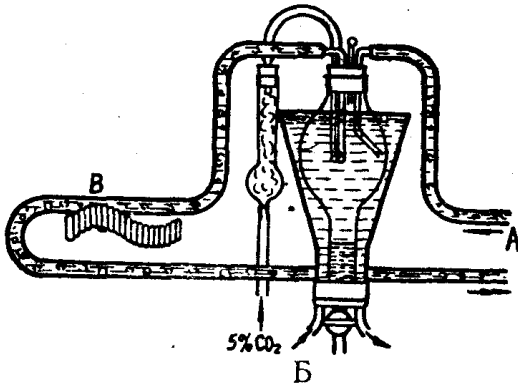


图 3 采收沉淀小球藻的一种实验装置

A—塑料管, 藻悬液即在其中流通; E—冷却水入口;
B—液泵。(Davis 等人, 1953 年)