

藻类的新陈代谢

G. E. 福格

科学出版社

藻类的新陈代谢

G. E. 福 格 著

紀明侯 方同光 譯
邓 昂 王筱庆

科 学 出 版 社

1 9 6 2

G. E. FOGG

THE METABOLISM OF ALGAE

John Wiley & Sons, Inc., 1953

內 容 簡 介

本书是根据 G. E. Fogg: The metabolism of algae, 1953 年版譯出的, 是关于藻类新陈代謝的綜合性专著。作者根据近代各有关学科的刊物上的資料綜述了藻类中的各种类型同化作用、新陈代謝以及生长与代謝的关系等問題, 內容丰富而精炼。可为从事藻类生理、生化、生态与藻类养殖等方面的科学研究技术人员提供有价值的参考資料, 同时也可作为高等院校生物系、水产系和有关水产专科学校等师生的参考。

藻 类 的 新 陈 代 谢

G. E. 福 格 著

紀明侯 方同光 譯
邓 昂 王筱庆

*

科 学 出 版 社 出 版 (北京朝陽門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1962 年 11 月 第 一 版

书号: 2645 字数: 90, 000

1962 年 11 月 第一次印刷

开本: 850×1168 1/32

(京) 0001—1, 130

印张: 3 7/8

定价: 0.65 元

序 言

藻类,总的看来,是一些不大使人注意的生物,虽然它們形状的美丽和生活史的多样性始終吸引着形态学者的注意,但从事新陈代謝研究的学者們通常是喜欢用更易获得的,或者表現有較明显的化学活度的材料来进行工作。然而人們不断地認識到,藻类代謝有明显的特点,并且对其研究具有学术上和經濟上的价值。在本书中我試图将分散在各种科学刊物上的資料汇集成一个关于本題的概括論述,它将对于从事植物学、微生物学和生物化学的学者們是有兴趣的。

我特別感謝 F. E. Fritsch, F. R. S. 和 W. H. Pearsall, F. R. S. 两教授。本书中有許多內容是从他們的耕授中得来的,这是不能以引用发表的文献方式来表达謝意的;如果沒有他們的鼓励和幫助,我将不会把这一工作坚持到底。我还感謝我的同事 P. J. Syrett, 他对原稿协助审定,如果仍然还有錯誤,則应归咎于我缺乏严密性,而不属于他。最后,我应当向那些在文献目录中所列的、允許我引用他們未发表論文的結果的学者們表示感謝。

G. E. 福 格

1952年8月于伦敦大学

目 录

| | |
|------------------------|--------|
| 第一章 緒論 | (1) |
| 第二章 碳的光能营养同化作用 | (15) |
| 藻类色素以及光合作用中光的利用 | (16) |
| 供氢体 | (25) |
| 二氧化碳的吸收 | (28) |
| 二氧化碳的固定 | (30) |
| 二氧化碳固定循环和其他代謝系統之間的相互关系 | (34) |
| 第三章 碳的化能营养同化作用 | (40) |
| 藻类的化能无机营养 | (40) |
| 兼性化能有机营养 | (41) |
| 光合作用与化能营养同化作用之間的关系 | (47) |
| 专性光能营养 | (48) |
| 专性化能有机营养 | (50) |
| 氧化同化作用 | (52) |
| 第四章 与氮代謝有特殊关系的自养同化作用 | (56) |
| 藻类的固氮作用 | (56) |
| 硝酸盐的同化作用 | (58) |
| 铵氮的同化作用 | (61) |
| 有机結合氮的同化作用 | (66) |
| 第五章 异养同化作用 | (69) |
| 藻类对氨基酸的需要 | (69) |
| 藻类对維生素的需要 | (70) |
| 未确定的生长因子 | (71) |

| | |
|-----------------|---------|
| 第六章 代謝产物..... | (73) |
| 可溶性的胞外产物..... | (73) |
| 碳水化合物与有关物质..... | (74) |
| 脂类化合物..... | (80) |
| 含氮化合物..... | (82) |
| 藻类的生物化学分类..... | (85) |
| 第七章 生长与代謝..... | (88) |
| 低等藻类的生长与代謝..... | (88) |
| 高等藻类的生长与代謝..... | (100) |
| 第八章 总述与結論..... | (106) |
| 参考文献..... | (109) |

第一章 緒論

“藻”这个名詞是难下定义的。根据近代一些权威学者^[106,259]所用的广义來說,它包括着很多种类型的有机体(見表 1),这些有机体彼此在細胞組織上极不相同,除了它們特有的营养方式是行光合作用和它們不能被包括在植物界的任何其他部門中以外,很少有共同之处。将这些在系統发育上疏远的有机体合在一起,尽管从某些观点看来是人为的,但还是方便的,特别是考虑到物質和能量的轉換作用(包含它們的新陳代謝)。从这方面来看,則这些有机体形成一个具有十分显著特征的比較同一的羣值得給予特别的考虑。

藻类一方面区别于在形态学上更为复杂的高等植物,即它們具有比較原始类型生物所特有的化学活动的多样性和易变性;另一方面它們又不同于細菌、真菌和原生动物等有机体,由于它們具有一种基于光合作用的化学經濟,在光合作用过程中占优势的是有机物的累积而不是它的分解。在所牽連的物質的量方面,这种藻类类型的代謝,是可能超过任何其他类型的。在海洋中,藻类是唯一进行光合作用的有机体,其光合作用的总产量据估計每年大約有 $1.6-15.5 \times 10^{10}$ 吨的被固定的碳,显然,这至少和陆地植物是一样多的^[209,247]。在土壤和淡水中,藻类的新陳代謝一般說來規模較小,但仍然是相当重要的。

因此,当各种藻类的描述和分类还处于混乱的时候,藻类的新陳代謝就已被人們所注意,这并不完全奇怪。Priestley^[237] 和 Ingenhousz^[152] 在 1779 年发表的书中,就描述过在他們的实验仪器中偶而生长的一些簡單藻类的光合作用所伴随的气体交換实验。

Priestley 对这种他怀疑是否曾經被植物学家給予适当注意的“綠色物质”感到非常有兴趣,从而作了进一步的实验,观察到許多现象,其中有關於某些有机物质可以促进这种“綠色物质”生长的情况。Priestley 还测定了含于海藻气囊中的气体成分。Ingenhousz 用藻类做了較少的实验,但他認識到更多的关于藻类在自然經濟中可能起的作用。

象在生理學中一样,通常藻类代謝研究的进一步发展必須等待物理科学的发展。在 19 世紀絕大部分的年代里,藻类几乎仅限于从形态学和分类学的观点去进行研究。Sachs^[256]在他的 1882 年出版的植物生理學教科书中,尽可能地用藻类作为例証,但除了提出藻类基本上与高等植物的新陳代謝相似的概念以外,只能提到很少关于它們的新陳代謝。接近 19 世紀末期,藻类的实验研究有所增加,但都是遵循着三个主要的路线,这三条路线在相当长的时期内,在很大程度上保留了它們的独立性。

关于藻类化学成分的研究,直到最近还局限在較大的海藻以及某些經常見到的、相当純的、而且有足够数量可供分析的小型藻体。有两类物质引起人們极大的注意。自从 Stanford^[265]在 1883 年描述过褐藻酸以后,人們对于存在于藻类中的碳水化合物和有关化合物进行了許多研究。还有一些学者則在色素方面感到很有兴趣,这些色素构成这些生物体的令人注目的主要特点。Willstätter 和 Stoll 在 1913 年^[301]所发表的論文对于构成我們当前有关藻类色素知識的基础是特別重要的。仅在最近,人們才对藻类中含氮成分和类脂成分发生了兴趣。Haas、Colin、Heilbron 和 Percival 以及他們各个人的合作者发表了一系列特別有价值的关于藻类化学方面的論文(見参考文献)。

第二种类型的研究是有关藻类在培养中的生长。微觀藻类沒有被 Pasteur 以后的微生物学家們所忽視,但是对它們的研究进度与微生物学的其他分支比較起来是緩慢的,这可能是因为在培养和操作上有較大的技术困难所致。許多的研究是用不是絕對純培养所进行的,这一类的工作,例如 Molisch 在 1896 年发表的

工作^[195]表明了，簡單藻类对无机物的需要与高等植物大致相同。关于营养方面更为可靠的工作只能以純种培养进行。1890年 Beijerinck 首先描述了用 Koch 所創造的細菌培养方法进行小球藻 (*Chlorella vulgaris*) 和相似的单細胞綠藻的分离 (可能是純培养)^[26]。随后,其他适应于特殊种藻类的技术得到了解决,但这些不必要詳細讲,因为关于藻类培养技术的历史已經由在这方面卓越的学者 Pringsheim^[241] 他本人概括地論述过了。到1920年,已有許多种以无菌状态被分离出来,并且研究是在控制的条件下进行的。起初,有关营养需要方面的定性研究占优势(例如見文獻132)。1926年 Bristol Roach 在研究含碳化合物对土壤藻类的效能时,为研究簡單藻类的生长,提出了精細的定量方法^[250]。这种工作,确定了那些极易在实验室条件下生长的藻类,在培养中的生长和主要的营养需要的主要特点。对于藻类在培养中的代謝更直接的研究是 Pearsall 和 Loose^[225]开始的;他們在1937年証明了:小球藻(*Chlorella*)种羣在生长期內发生的化学变化的主要傾向是与高等植物叶子发育期的变化傾向相似。

在第三类型的研究中,藻类材料已被用于短期的 (Short-term) 生物化学实验中。許多藻类具有特別适合于作精細的生理化学研究的性質,并且也曾偶而被那些对新陳代謝的特殊方面有兴趣的生物化学家們作为实验材料。Engelmann 在1883年^[80]所发表的关于光合作用中的光因子的优良工作中,就广泛地应用了藻类。后来,在1919年,Warburg^[29]描述了用小球藻作为可以在最不复杂的条件下研究光合作用的一个系統,自此以后,这一种以及与它相似的种类在說明此过程的机制中就占有更加重要的地位了。Barker 在1935—1936年間^[22,23]报告了用无色藻 *Prototheca* 作氧化同化作用的研究,提供了一个用藻类进行工作的范例,这在另一个生物化学領域中是非常重要的。

这些多年来不同的研究路綫之間的截然区分,現在正在消失过程中,因为人們更为普遍地認識到藻类的新陳代謝本身就是一个明显的研究范围,要适当地了解它的各种特点,就必须互相联

系起来进行。这种状态的比较迟缓的发展表现在：直到 1951 年 Myers 和 Blinks^[200,40] 的评论发表之前，还没有出现过有关藻类生理学或生物化学的广泛的总述。现今对这个课题的兴趣的提高，一部分是近年来在微生物化学领域中产生的一种普遍发展的反应；另一部分则是由于获取关于那些具有作为物质和力量来源的巨大潜力的有机体的资料的經濟需要。海藻一直就被人们多少加以利用，并且现在还正在发现越来越多的用途，用作生产工业上有价值的许多种物质的原料^[208]。微观藻类的合成能力迄今还没有得到任何直接的經濟用途，虽然显得好象它们在这方面的經濟价值终究可能比海藻还要大。自然生长的浮游藻类的收获没有表现出經濟的可能性，迄今，注意力集中在象小球藻这种类型的大规模培养上。利用大量培育硅藻以生产脂肪是第二次世界大战时期由 Harder 和 von Witsch 首次提出的^[133]，并且 Spoehr 和 Milner 1947 年独立地提出小球藻可以被用作同样目的的建议^[263]。因为用单细胞藻类比用普通的农作物更易于达到和维持高度的光合作用效能，因此，利用这些有机体以大规模生产工业上有用的有机物质是一个引人入胜的理想，并且曾经是许多的思考、讨论和试验的课题^[48,192,204,223,262]。

在我们现有关于藻类新陈代谢的知识情况下，有些事实在很大程度上应当用其他种有机体的生化研究确定的概念来解释。藻类新陈代谢的一般形式与其他类型的生物是相同的，这可能是没有什么怀疑的。因此，应当可以预料到，在藻类生活中也有高势化学能量的物质例如组成它们原生质组织的蛋白质和核酸类，经酶催化反应而进行的连续合成和分解。藻类的这些过程中的化学机制不一定和在其他有机体中已发现的机制一样。例如，虽然在象酵母和脊椎动物那样不相同的有机体中所发生的反应程序的显著相似性表明，碳水化合物在呼吸作用中的分解机制在一切生物中基本上都是一样的，但是没有很多证据假定藻类的呼吸过程是与其他有机体相同的。有关藻类呼吸作用的已知事实是值得在这方面给予相当详细的考虑，因为这将得出藻类和其他有机体之间的

化学机制相似程度的最好的概念，并且对于后几章中与呼吸作用有关的諸过程的討論，也将提供有用的基础。

除了曾經測定过不同种类中呼吸过程的速度以外（見参考文献 40），似乎只有 Genevois^[115] 和 Watanabe^[294, 295, 296] 做过关于藻类呼吸作用的一般研究。

己糖，为便利起见可考虑为呼吸过程的直接基質，它的呼吸作用是經由一系列的反應而發生的。这些反应首先可能分为两个阶段：一个为分解或糖酵解，另一个则为糖酵解产物的氧化作用。糖酵解的机制已由对肌肉和酵母^[19, 41, 267] 的研究工作得到相当詳細的闡明^[19, 41, 267]。此机制包括己糖磷酸化作用，这些 C₃ 化合物則經過一系列轉变作用之后产生丙酮酸 (pyruvic acid)，它通常被認為是呼吸过程的最后产物 (图 1)。在缺氧条件下，丙酮酸不被氧化机制除去，而发生发酵作用，然后糖酵解中間产物經過相互的氧化还原作用而生成最后产物，它們的性质根据有机体和有机体所处的条件而异。藻类中糖酵解的机制未曾詳細研究过，但是有間接的論証表明，它主要地是遵循着如刚略述过相同的过程进行的。例如已証明在綠藻的小球藻和栅列藻 (*Scenedesmus*) 中^[52] 存在有如同丙酮酸、磷酸甘油酸 (phosphoglyceric acid) 以及磷酸丙糖和磷酸己糖 (triose and hexose phosphates) 等物质 (已知为酵母和肌肉糖酵解中的中間产物)。已发觉丙酮酸对于綠藻網中的小球藻^[83]、*Prototheca*^[111] 和石蓴 (*Ulva*)^[295]，褐藻中的 *Myelophycus*^[295] 以及紅藻中的石花菜 (*Gelidium*) 为适宜的呼吸作用基質；但是对于藍藻的筒孢藻 (*Cylindrospermum*) 則纵然处于显然对此酸进入細胞內有利的条件下也并非如此^[298]。在缺氧条件下，不同种类的綠藻能够进行混合酸型 (mixed acid type) 的发酵^[115]，并且葡萄糖可被 *Prototheca* 发酵生成乳酸，如同在肌肉中那样，为唯一的产物^[22]。

在脊椎动物組織的有氧呼吸情况下，丙酮酸可依图 2 所代表的所謂 Krebs 或三羧酸^[19] 系統而完全被氧化，生成二氧化碳和水。这个系統，或者是包含二羧酸的某个相似系統，通常假定发生于所有需氧生物体中。有关的某些酸类已証明在小球藻和栅列

种物质进行直接氧化^[84]。可以得出結論：虽然有証据說明藻类中进行着与三羧酸循环有关的諸反应，但是至今仍然沒有关于此系統参与正常的藻类呼吸作用中的結論性的証明。

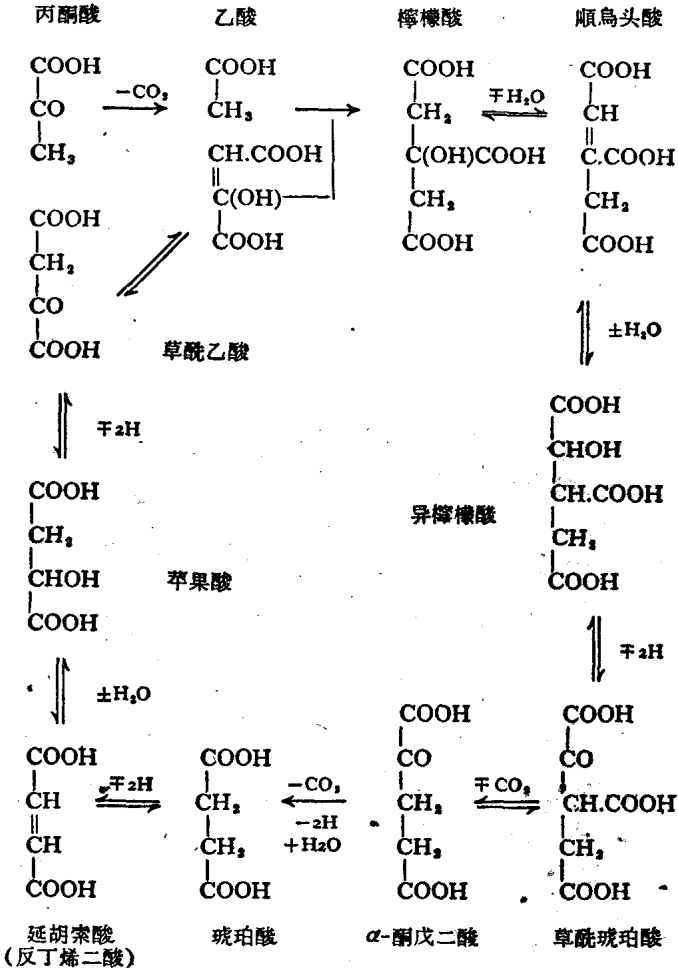


图2 綜合三羧酸循环中各反应(詳細資料見参考文献 19)

丙酮酸在氧化脱羧作用之后进入到三羧酸循环，生成乙酸，然后与草酰乙酸聚合生成柠檬酸(见图2和参考文献19)。以焦磷酸盐状态下的硫胺素(維生素B₁)，即輔羧酶(co-carboxylase)的存

在,对于此反应的进行是不可缺少的。这样,缺少硫胺素的 *Prototheca* 当加入硫胺素时可大大地提高丙酮酸的氧化作用速度^[14]。硫胺素的存在可能对于含于三羧酸循环中的其他种脱羧作用也是必需的。证明了硫胺素存在于所有许多藻类中,它们包括绿藻纲、褐藻纲、红藻纲^[116]、硅藻纲^[305]和蓝藻纲^[149,282]。那些不能合成为自己所需要的硫胺素或者其组成部分之一的藻类类型,当它们要生长下去,则必须得到适当物质的供应(见第五章)。因此,没有理由怀疑,硫胺素在所有藻类的新陈代谢中起着重要的作用,这暗示,它们的呼吸作用机制同其他类型生物是相似的。

三羧酸循环过程中所发生的氧化作用系借助脱氢酶来完成的,氢最终被传递给游离氧。这种末端过程往往是通过普遍存在于需氧生物体中的细胞色素,即氢载体来进行的^[19]。由于光合作用色素的存在,给藻类中细胞色素的证明带来困难,但是已经证实的有:红藻的紫菜(*Porphyra*)^[40]、通常分类为绿藻纲但其新陈代谢更接近于许多黄藻纲藻类的无隔藻(*Vaucheria*)^[143]、鞭毛藻类的眼虫藻(*Euglena*)^[143]以及褐藻纲的墨角藻(*Fucus*)^[143]。但是应注意的是:在后述的三种藻类中所发现的细胞色素好象是光合作用机制的一部分,而不是呼吸作用机制的一部分^[143]。小球藻当供给糖时,其呼吸作用以包含细胞色素的氧化作用所特有的方式受到一氧化碳的影响^[75]。已报导过,绿藻纲的一种无色种 *Polytomella caeca* 中含有细胞色素氧化酶^[153]。这些都是细胞色素系统普遍存在于藻类中的迹象。但是有证据表明,在许多种类中存在着另一种氧化机制。因为在各种绿藻中,足以抑制外源供应(即外部培养液中)的基质的氧化作用所需的氰化物浓度,对于内源呼吸作用(即利用贮存在细胞里的基质)则没有影响,或者甚至可以有刺激作用^[75,115,294,109,274,218]。氰化物对于含有重金属类的酶是一种抑制剂,因此妨碍细胞色素系统的工作。这些类型对氰化物稳定的呼吸作用可能是由黄素蛋白(flavo-protein)类型的酶来进行的。这类酶对氰化物不敏感,并且虽然可能主要与中间产物氢传递体有关,但是在一些情况下是能够将氢传递给分子氧^[19]。核黄素,是黄素蛋

白的一种輔基組分,已証明在所有藻类即綠藻綱、眼虫藻綱、褐藻綱和紅藻綱中的各代表种中找到^[1,85,141,296]。已証明在不同藻类中有过氧化酶和多酚氧化酶的存在^[40],但是还没有确定这些酶在呼吸作用中所起的作用。

呼吸作用中放出的自由能量的传递、貯存和利用通常似乎是通过磷酸化化合物实现的。生成这类化合物的最好例証即在酵母的糖酵解过程中发生的例子,在此过程中由于3-磷酸甘油醛的醛基的氧化作用而放出的能量,用以引导一新的磷酸基到碳1位置上,同时伴随着自由能的比較小的总变化(见图1)。磷酸根由所产生的1:3-磷酸甘油酸被传递给二磷酸腺苷,則生成三磷酸腺苷,磷酸根以这种形式可用以对其他物质进行磷酸化作用,从而使它們潛在的化学能量提高到参与合成反应所必需的水平^[19,41]。已知柵列藻、小球藻^[29,52]和眼虫藻^[1]中存在有含于酵母的磷酸化作用循环中的某些物质,例如磷酸己糖和磷酸甘油酸。三磷酸腺苷本身可能不存在于小球藻中,但是可能具有相似功能的磷酸化化合物,伴随一种能水解三磷酸腺苷的酶^[81]显然存在于这种藻中^[79]。二磷酸腺苷和三磷酸腺苷都証实存在于眼虫藻中^[1]。小球藻中不同含磷各部分的相对比例,随着細胞被光照而发生变化,其方式表明,磷酸化化合物的功能如同能载体(energy carriers)^[30]。在藻类和其他生物中磷酸鍵的能量被利用于合成中的方式是相似的这个証据,在淀粉或肝糖的形成实例中很适用,此时葡萄糖的聚合作用所需的能量是从1-磷酸葡萄糖的磷酸鍵提供的^[19,41]。已报导在*Polytomella caeca*^[25,183]和藍藻的大顛藻(*Oscillatoria princeps*)^[102]中存在有催化此反应的磷酸化酶,它們与高等动物和高等植物中所发现者相似。

因此,可利用的証据表明,藻类中的呼吸作用机制与其他生物中的一般形式是相同的。但是所包括的某些酶系統,至少在某几种藻类中,可能不同于酵母或脊椎动物中所发现的酶系統。但是,应当注意的是,所引用过的許多証据与綠藻綱各种类有关,而关于其他網藻类的呼吸作用机制的材料則是不充分的。这說明是值得

表 1 藻类的分类,表示各綱的共同特征和文章中提到的各屬的分类学地位
(带星符号的各属包括无色种类。关于分类和形态学的詳細資料可參閱
文献 106, 107, 259)

| 綠藻門 (Chlorophyta) | | |
|---|--------------------------|---|
| 綱 | 目 | 屬 |
| 綠藻綱 (Chlorophyceae) (綠藻; 鞭毛类, 球形和絲状类型; 淡水 比海水中較多, 并且趨 向于陆生) | 团藻目 (Volvocales) | 衣藻屬 (<i>Chlamydomonas</i>), 綠 梭藻屬 (<i>Chlorogonium</i>), 粘梭藻屬 (<i>Coccomyxa</i>), 紅球藻 屬 (<i>Haematococcus</i>), <i>Polyto-</i> <i>ma</i> *, <i>Polytomella</i> *, <i>Tetrachlo-</i> <i>ris</i> . |
| | 綠球藻目 (Chlorococcales) | 針連藻屬 (<i>Ankistrodesmus</i>), 小球藻屬 (<i>Chlorella</i>), <i>Proto-</i> <i>theca</i> *, 栅列藻 (<i>Scenedesmus</i>), 共球藻屬 (<i>Trebouxia</i>). |
| | 絲藻目 (Ulotrichales) | 浒苔屬 (<i>Enteromorpha</i>), 綫藻 屬 (<i>Hormidium</i>), 礁膜屬 (<i>Mo-</i> <i>nōstroma</i>), 裂絲藻屬 (<i>Sticho-</i> <i>coccus</i>), 石莖屬 (<i>Ulva</i>). |
| | 剛毛藻目 (Cladophorales) | 剛毛藻屬 (<i>Cladophora</i>) |
| | 胶毛藻目 (Chaetophorales) | — |
| | 鞘藻目 (Oedogoniales) | 鞘藻屬 (<i>Oedogonium</i>) |
| | 接合藻目 (Conjugales) | 双星藻屬 (<i>Zygnema</i>) |
| | 管藻目 (Siphonales) | 法囊藻屬 (<i>Valonia</i>), 无隔藻屬 (<i>Vaucheria</i>)(?) |
| | 輪藻目 (Charales) | 丽藻屬 (<i>Nitella</i>) |
| 金藻門 (Chrysophyta) | | |
| 黃藻綱 (Xanthophyceae) (黃-綠藻; 鞭毛类、球形 和絲状类型; 淡水中最 多) | 异鞭藻目 (Heterochloridales) | — |
| | 异球藻目 (Heterococcales) | <i>Monodus</i> |
| | 异絲藻目 (Heterotrichales) | 黃絲藻屬 (<i>Tribonema</i>) |
| | 异管藻目 (Heterosiphonales) | — |
| 硅藻綱 (Bacillariophyceae) (硅藻; 单細胞类型; 广 泛地分布于淡水和海水 中, 并且有陆生习性) | 羽紋硅藻目 (Pennales) | 星杆藻屬 (<i>Asterionella</i>), 舟形藻 屬 (<i>Navicula</i>), 菱形藻屬 (<i>Nitz-</i> <i>schia</i> *), 羽紋藻屬 (<i>Pinnularia</i>). |
| | 輻射硅藻目 (Centrales) | 双尾藻屬 (<i>Ditylium</i>) |

| 綱 | 目 | 屬 |
|---|------------------------|---|
| 金藻綱(Chrysophyceae) (主要为鞭毛类;生于淡水和海水中) | 金藻目(Chrysoomonadales) | 合尾藻屬(<i>Synura</i>), 楮球藻屬(<i>Ochromonas</i>). |
| | 金球藻目(Chrysosphaerales) | — |
| | 金絲藻目(Chrysotrichales) | — |

甲藻門(Pyrrophyta)

| | | |
|--------------------------------------|--------------------------|--|
| 隱藻綱(Cryptophyceae) (主要为鞭毛藻) | 隱藻目(Cryptomonadales) | 綠胞藻屬(<i>Chilomonas</i> *), 隱藻屬(<i>Cryptomonas</i>). |
| | 隱球藻目(Cryptococcales) | — |
| 橫列甲藻綱(Dinophyceae) (主要为鞭毛类;海水中最多) | (A) 縱裂甲藻亞綱(Desmokyontae) | 双甲藻屬(<i>Prorocentrum</i>) |
| | (B) 渦甲藻亞綱(Dinokontae): | |
| | 鞭毛甲藻目(Dinoflagellata) | 沟环藻屬(<i>Gymnodinium</i>), 多甲藻屬(<i>Peridinium</i>). |
| | 球甲藻目(Dinococcales) | — |
| | 絲甲藻目(Dinotrichales) | — |

眼虫藻門(Euglenophyta)

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| 眼虫藻綱(Euglenineae) (鞭毛藻;淡水中最多) | | 变形藻屬(<i>Astasia</i> *), 眼虫藻屬(<i>Euglena</i>). |
|----------------------------------|--|--|

褐藻門(Phaeophyta)

| | | |
|---|----------------------|---|
| 褐藻綱(Phaeophyceae) (褐藻;絲狀体, 精細类型;除少数外大多数为海水产) | 水云目(Ectocarpales) | 腔形鼓藻屬(<i>Coilodesme</i>), 水云屬(<i>Ectocarpus</i>), <i>Myelophycus</i> . |
| | 纒翼藻目(Tilopteridales) | — |
| | 馬鞭藻目(Cutleriales) | — |
| | 毛头藻目(Sporochnales) | — |
| | 酸藻目(Desmarestiales) | — |
| | 海带目(Laminariales) | 翅藻屬(<i>Alaria</i>), 繩藻屬(<i>Chorda</i>), 海带屬(<i>Laminaria</i>), 巨藻屬(<i>Macrocystis</i>), 囊根藻(<i>Saccorhiza</i>). |
| | 黑頂藻目(Sphacelariales) | — |
| | 网地藻目(Dictyotales) | — |
| | 墨角藻目(Fucales) | 泡叶藻屬(<i>Ascophyllum</i>), 墨角藻屬(<i>Fucus</i>), 鹿角菜屬(<i>Pelvetia</i>). |