

DIANCHI
COMMON PHYTOPLANKTON
HANDBOOK



滇池 常见浮游藻类 图册

云南省环境监测中心站 编著



滇池

常见浮游藻类 图册

DIANCHI
COMMON PHYTOPLANKTON
HANDBOOK

云南省环境监测中心站 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

滇池常见浮游藻类图册 / 云南省环境监测中心站编著. — 北京: 中国环境出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-5111-1673-4

I. ①滇… II. ①云… III. ①滇池—浮游植物—藻类—图册 IV. ①Q949.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 292077 号

出版人
责任编辑
责任校对
装帧设计



主新程
田怡
唐静
彭杉

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67168033 (监测与监理图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京盛通印刷股份有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2014 年 5 月第 1 版
印 次 2014 年 5 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 7.75
字 数 100 千字
定 价 50.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

编委会

主 编：施 择

副 主 编：张榆霞 李爱军 杨 良

参与编制人员：金 玉 施 择 张榆霞

杨 良 铁 程 赵琦琳

李 颖

前言

作为悬浮在开放水体中营光合自养生存的微型生物 (Reynolds, 2006), 浮游藻类的变迁可直观地反映水环境的发展变化, 为水环境评价提供生物学佐证 (European Parliament & Council, 2000)。

滇池浮游藻类的系统监测始于 20 世纪 90 年代, 在此之前仅有几次经典的调查工作 (黎尚豪和俞敏娟, 1963; 钱澄宇, 1964; 钱澄宇等, 1985; 邓新晏和赵宏, 1985; Wang, 2001; 张梅等, 2005, 2006; 李原等, 2005; 周春丽, 2009)。云南省环境监测中心站自 2001 年参加国家重大科技专项“滇池蓝藻水华污染控制技术”

(K99-05-35-01) 的监督性监测工作以来, 在云南省环保厅和中国环境监测总站的支持下, 连续开展滇池浮游藻类及次生代谢物逐月监测研究已十多年, 为改进水环境监测技术、培养生物监测技术人员、积累生物监测经验做了大量工作, 本书即在此工作基础上整理完成。全书选编了滇池常见浮游藻类中的蓝藻门、绿藻门、硅藻门、甲藻门、隐藻门、裸藻门共 6 个门 47 个属的显微图片, 并简述了每属藻类的形态特征及生活习性, 编写了分属检索表, 使读者对滇池浮游藻类有大体的了解。

淡水藻类的形态特征极其复杂多样 (胡鸿钧等, 1980; 胡鸿钧和魏印心, 2006; Lee, 2008), 且会随着水环境的时空变化而变化, 更详细的分类知识请参阅相关专著或文章。

本书是国家水体污染控制与治理科技重大专项“滇池流域水环境综合管理支撑技术研究与平台建设” (2010ZX07102-006) 课题研究成果之一, 可满足滇池等富营养化湖泊浮游藻类监测业务需要, 也可以作为社会公众的通识图册, 鉴于编者知识和经验有限, 错误和不足之处在所难免, 敬请使用者批评指正, 并期望随着显微摄影设备的改进, 更精致、完善的图册会早日诞生。

目 录

一、滇池概况 / 1

二、滇池水环境变化和浮游藻类的历次调查 / 3

(一) 滇池污染和富营养化进程 / 3

(二) 水环境的变化 / 4

(三) 浮游藻类的历次调查 / 5

三、滇池常见浮游藻类分类系统 / 9

四、滇池常见浮游藻类分属检索表 / 11

五、滇池常见浮游藻类特征描述 / 16

(一) 微囊藻属 (*Microcystis*) / 16

(二) 蓝纤维藻属 (*Dactylococcopsis*) / 18

(三) 色球藻属 (*Chroococcus*) / 19

(四) 小雪藻属 (*Snowella*) / 20

(五) 隐球藻属 (*Aphanocapsa*) / 21

(六) 乌龙藻属 (*Woronichinia*) / 22

(七) 束丝藻属 (*Aphanizomenon*) / 23

(八) 鱼腥藻属 (*Anabaena*) / 24

(九) 假鱼腥藻属 (*Pseudanabaena*) / 25

(十) 脆杆藻属 (*Fragilaria*) / 26

- (十一) 针杆藻属 (*Synedra*) / 27
- (十二) 星杆藻属 (*Asterionella*) / 28
- (十三) 舟形藻属 (*Navicula*) / 29
- (十四) 异极藻属 (*Gomphonema*) / 30
- (十五) 桥弯藻属 (*Cymbella*) / 31
- (十六) 双眉藻属 (*Amphora*) / 32
- (十七) 菱形藻属 (*Nitzschia*) / 33
- (十八) 直链藻属 (*Melosira*) / 34
- (十九) 小环藻属 (*Cyclotella*) / 35
- (二十) 角甲藻属 (*Ceratium*) / 36
- (二十一) 多甲藻属 (*Peridinium*) / 37
- (二十二) 隐藻属 (*Cryptomonas*) / 38
- (二十三) 裸藻属 (*Euglena*) / 39
- (二十四) 顶棘藻属 (*Chodatella*) / 40
- (二十五) 四角藻属 (*Tetraëdron*) / 41
- (二十六) 月牙藻属 (*Selenastrum*) / 42
- (二十七) 蹄形藻属 (*Kirchneriella*) / 43
- (二十八) 卵囊藻属 (*Oocystis*) / 44
- (二十九) 并联藻属 (*Quadrigula*) / 45
- (三十) 纤维藻属 (*Ankistrodesmus*) / 46
- (三十一) 栅藻属 (*Scenedesmus*) / 47
- (三十二) 四星藻属 (*Tetrastrum*) / 49
- (三十三) 十字藻属 (*Crucigenia*) / 50
- (三十四) 集星藻属 (*Actinastrum*) / 51
- (三十五) 盘星藻属 (*Pediastrum*) / 52
- (三十六) 空星藻属 (*Coelastrum*) / 53
- (三十七) 弓形藻属 (*Schroederia*) / 54

- (三十八) 多芒藻属 (*Golenkinia*) / 55
- (三十九) 网球藻属 (*Dictyosphaerium*) / 56
- (四十) 衣藻属 (*Chlamydomonas*) / 57
- (四十一) 实球藻属 (*Pandorina*) / 58
- (四十二) 空球藻属 (*Eudorina*) / 59
- (四十三) 游丝藻属 (*Planctonema*) / 60
- (四十四) 新月藻属 (*Closterium*) / 61
- (四十五) 角星鼓藻属 (*Staurostrum*) / 62
- (四十六) 鼓藻属 (*Cosmarium*) / 63
- (四十七) 水绵属 (*Spirogyra*) / 64

六、推荐阅读 / 65

附表 不同年代滇池全湖浮游藻类群落物种构成调查结果汇总 / 69

七、致谢 / 114

一、滇池概况

滇池位于云南省昆明市西南部，是我国四大构造型湖泊之一，属重碳酸型淡水湖泊。经过长期的湖盆淤积、退田还湖，当前的滇池面积仅有约 309 km^2 ，湖体位于东经 $102^\circ 37' \sim 102^\circ 48'$ 、北纬 $24^\circ 40' \sim 25^\circ 02'$ ，略呈弓形，弓背向东，南北最长 40 km （含草海），东西最宽 12.5 km ，湖岸线长 163.2 km ，当水位在 1886.5 m （黄海高程）时，平均水深 4.4 m ，最大深度为 10.9 m ，湖容 12.9 亿 m^3 ，为浅水湖泊。

滇池湖周有 20 余条主要入湖河流，仅有 1 条出湖河流，水体交换缓慢（流域水系示意图见图 1），每年输入的营养盐有 $70\% \sim 90\%$ 在湖内滞留，成为难以削减的内部污染源（卢升良，1997）。

滇池地处低纬度、高海拔的亚热带地区，光照时间长，四季不分明，年温差较小，多年平均气温 14.7°C ，5—9 月水温基本可达 20°C 以上。雨季（5—10 月）和旱季（11 月至次年 4 月）分明，雨季降水量占全年的 $80\% \sim 90\%$ 。滇池北端有一堤坝，将湖分割为北部的草海和南部的外海，外海是滇池的主体部分，面积为 290.4 km^2 ，草海与外海之间湖水很少有机会交换。草海较浅，只有 1 m 多深。

滇池流域面积 2920 km^2 ，2010 年流域总人口为 367.74 万人。作为滇池流域所有污染物的最终受纳水体，流域内人口的增长和工农业发展为滇池水体提供了长期持续的外源营养负荷，并为作为浅水湖泊而存在的滇池具有较高水平的内源营养负荷积累了物质基础。

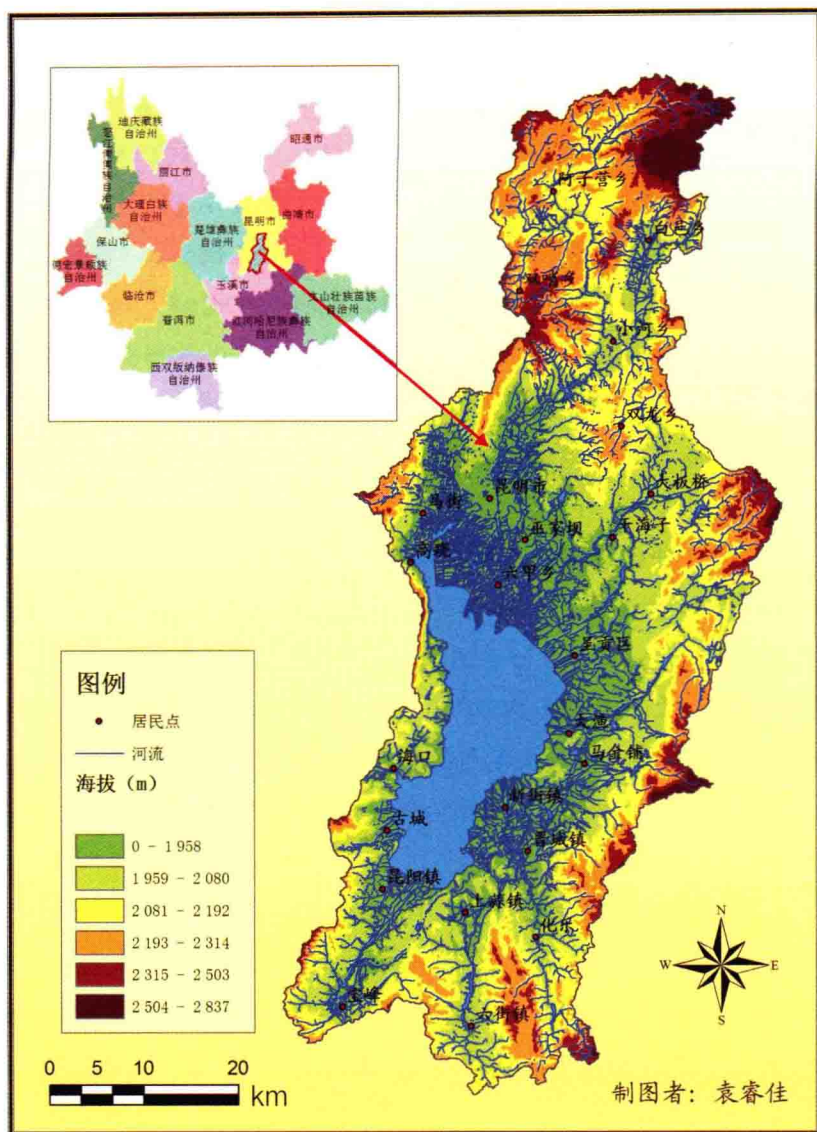


图 1 滇池流域水系示意图

二、滇池水环境变化和浮游藻类的历次调查

作为人口高度聚集、工农业快速发展的城市下游浅水湖泊，滇池经历了长期的以世纪为单位的自然和人为富营养化进程，20 世纪 70 年代以来，这一过程明显加快，滇池水环境和浮游藻类群落与此同步发生了变化。

（一）滇池污染和富营养化进程

滇池是一个具有 7 000 万年历史的湖泊，经历了其幼年、成年阶段，现已进入老年阶段，完全成为一个浅水性湖泊（戴全裕，1985），大部湖区以 3 ~ 4m 的水深最常见，全湖湖底平缓。

20 世纪 60—70 年代的围海造田运动和 70 年代末以来滇池沿湖的防浪堤建设，使滇池原有的湖滨湿地基本消失，水体自净能力严重降低。

20 世纪 70 年代末，滇池水系沿岸有大小 7 个城镇，近 200 个市属以上的工厂。据粗略估计，每天约有 68 万 m^3 的污水排入滇池水系的三个水体（草海、外海、螳螂川），其中，城市生活污水 6 万 m^3 ，工业废水 62 万 m^3 。随废水排入的有毒物质达 30 多种，主要是镉、汞、砷、铅、锌、铬、酚类、氰化物、氟、有机磷、元素磷、有机物、酸、碱和灰渣，这些含有有毒有害物质的污水大部分（ $> 95\%$ ）未经净化处理直接排入水系。草海面积小，纳污量大；外海水体大，纳污量小（段金书等，1983；《滇池污染与水生生物》研究课题协作组，1983）。

20 世纪 80 年代后，随着工农业发展和城镇居民生活水平的提高，入湖污染物的总量成倍增长。尽管近 30 年来逐步强化了入湖污染物

的治理,但入湖污染物总量并没有明显减少(李亚,2008;吕利军和王嘉学,2009;“九五”、“十五”、“十一五”的《滇池水污染防治规划》等公开发表的资料)。

(二) 水环境的变化

长期的外源营养输入使滇池水环境日益恶化。

(1) 水质

根据昆明市环境监测中心等监测研究机构的监测与研究,20世纪60年代滇池草海和外海水质均达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅱ类标准,70年代初为Ⅲ类,70年代后期水质逐步恶化,草海水质80年代起变为劣Ⅴ类;外海水质80年代起变为Ⅴ类,90年代以来,水质多在Ⅴ类与劣Ⅴ类之间波动,以劣Ⅴ类为多(孟裕芳,1999;柘元蒙,2002;李益敏等,2003;王玉朝等,2004)。

(2) 营养水平

虽然缺乏20世纪90年代以前的主要营养物的监测数据,但根据钱澄宇(1964,1986)、《滇池污染与水生生物》研究课题协作组(1983)的研究结论,60—70年代中期的滇池已出现富营养化症状;70年代末期—80年代,富营养程度进一步加深;根据20世纪90年代以来昆明市环境监测中心的监测结果,2001—2010年滇池外海叶绿素a浓度平均值为 61.40 mg/m^3 ,按照OECD(1982)、Reynolds(2006)提出的标准,滇池外海处于重度富营养状态。

(3) 透明度

1957年滇池透明度为 $300\sim 480\text{ cm}$,20世纪60年代外海透明度为 $80\sim 100\text{ cm}$,1977年明显污染后,外海透明度下降至 $65\sim 75\text{ cm}$,草海下降至 $40\sim 60\text{ cm}$ (段金书等,1983)。2000年以后,

外海透明度大多在 30 ~ 40cm, 鲜少超过 60cm。

(三) 浮游藻类的历次调查

作为悬浮在开放水体中营光合自养生存的微型生物 (Reynolds, 2006), 通过浮游藻类的变迁可直观地了解水环境的发展变化, 为水环境的评价提供生物学佐证 (European Parliament & Council, 2000)。云南大学、中国科学院相关研究所在 20 世纪 50 年代末至 60 年代初、80 年代初、21 世纪初分别对滇池水环境及浮游藻类进行了多次调查 (黎尚豪等, 1963; 钱澄宇, 1964; 钱澄宇等, 1985; 邓新晏和赵宏, 1985; Wang, 2001; 张梅等, 2005, 2006; 李原, 2005; 贺小芮, 2007; 周春丽, 2009)。云南省环境监测系统也于 20 世纪 90 年代开始对滇池水环境及浮游藻类进行了系统的定位、定期、不间断监测, 为了解滇池浮游藻类物种构成及与水环境变迁的相关性积累了大量基础资料。

1956 年 9 月至 1963 年 7 月, 云南大学对滇池全湖 (外海和草海) 浮游藻类开展了数次调查, 共鉴定出有金藻门 (Chrysophyta)、裸藻门 (Euglenophyta)、轮藻门 (Charophyta)、绿藻门 (Chlorophyta)、硅藻门 (Bacillariophyta)、蓝藻门 (Cyanophyta)、黄藻门 (Xanthophyta, 原文中称为不等鞭毛藻门)、甲藻门 (Pyrrophyta) 共 8 个门 100 个属近 200 个种及变种。种类构成方面, 绿藻门最多, 有 46 属 85 种 9 变种, 占已鉴定种类数的 50.54%; 其次为硅藻门, 有 22 属 32 种 4 变种, 占已鉴定种类数的 19.35%; 再次为蓝藻门, 有 15 属 25 种 1 变种, 占已鉴定种类数的 13.98%。生物量构成方面, 所有调查区域单位水体中的浮游藻类个体数都没有超过 1.0×10^6 个/L 的水平, 全湖的年平均水平也远远低于这一数值 (钱澄宇, 1964)。钱澄宇 (1964) 认为滇池藻类的构成标志着富营型湖泊的特点。

1957年7—10月,中科院水生生物研究所对滇池等云南高原湖泊开展了初步调查,在其调查结果中,滇池主要以绿藻门的单角盘星藻(*Pediastrum simplex*)为主,飞燕角甲藻(*Ceratium hirundinella*)、微孔空心藻(*Coelastrum miosporum*)、铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)、点状蓝板藻(*Merismopedia punctata*)等也很普遍,此外较多的还有鼓藻纲的植物(主要是鼓藻属、新月藻属和角甲藻属的种类),硅藻植物也较多,尤其是大量出现的龙骨硅藻(*Surirella robusta*) (黎尚豪等,1963)。

20世纪70年代末,由云南大学、中科院昆明植物所等单位联合开展的滇池水生生物调查中,草海占优势的是裸藻,外海中占优势的是束丝藻、盘星藻等。裸藻标志着中度污染或高度污染的水生环境,束丝藻、盘星藻等标志着 β -中度污染环境。外海、草海单位水体中浮游藻类的个体数分别为 5.0×10^6 个/L、 1.5×10^7 个/L,是松华坝(未受污染)的15倍,滇池水体的污染加速了本身的富营养化进程(《滇池污染与水生生物》研究课题协作组,1983)。

1982年、1983年,云南大学分别在全湖布设的12个点位(外海9个、草海3个)开展了两次浮游藻类采样分析,共鉴定出蓝藻门、绿藻门、硅藻门、甲藻门、隐藻门、裸藻门、黄藻门、金藻门共8个门81属205个种及变种。种类构成方面,绿藻门的种类最多,有32个属90个种,占全湖总种数的43.7%;其次为硅藻门,有19个属48个种,占23.4%;再次为蓝藻门,有19个属45个种,占21.5%。生物量构成方面,绿藻门、硅藻门、蓝藻门藻类在数量上占优势,金藻门的锥囊藻属尚有发现,但轮藻门几乎绝迹。外海浮游藻类的种类多、数量大,占优势的主要种类多,单种不突出。出现较多、数量较大的是富营养型湖泊的指示种和典型种类,占全湖种类1/3的是绿球藻目的植物,是耐污、耐肥的种类,在富营养型湖泊中尤为习见,反映了滇池富营养化程度进一步加深(钱澄宇等,

1985; 邓新晏和赵宏, 1985)。

2001年9月至2002年7月, 云南大学在滇池外海全湖均匀布设的20个点位上隔月采样, 一年中连续采样6次, 共鉴定出绿藻门、硅藻门、蓝藻门、隐藻门、甲藻门和裸藻门等6个门52个属106个种及变种, 根据李原等(2005)同步完成的水华蓝藻数据换算, 各月全湖单位水体中浮游藻数量介于 $5.2 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^9$ 个/L, 年平均 1.6×10^8 个/L; 并且, 根据单位水体中微囊藻属细胞数及其占全部藻类细胞数百分比推断, 全年的多数时间全湖单位水体中浮游藻类数都高于 1.0×10^8 个/L。种类构成方面, 绿藻门有50个种及变种, 占总种数的47.2%; 硅藻门有33个种及变种, 占总种数的31.1%。生物量构成方面, 占绝对优势的是蓝藻门及蓝藻门的微囊藻属(*Microcystis*), 其细胞数占比分别为83.0%、75.9%, 其中尤以铜绿微囊藻(*M. aeruginosa*)最多, 其次是惠氏微囊藻(*M. weissenbergii*) (张梅, 2005, 2006; 李原等, 2005)。

2006年4月至2007年5月, 中科院水生生物研究所在滇池外海从南到北设立的15个点位上, 连续14个月每月开展浮游藻类采样分析。结果表明, 滇池外海共观察到蓝藻门、绿藻门、硅藻门、甲藻门、隐藻门、裸藻门、黄藻门、金藻门共8个门89属185种及变种, 全湖单位水体中浮游藻类细胞数介于 $1.57 \times 10^7 \sim 30.29 \times 10^7$ 个/L, 全年平均为 7.7×10^7 个/L。种类构成方面, 以绿藻门种类最多, 共计40属85种, 占全部种类数的45.95%; 蓝藻门次之, 为18属58种, 占全部种类数的31.35%; 硅藻门有16属21种, 占总种数的11.35%。生物量构成方面, 蓝藻门及蓝藻门的微囊藻属(*Microcystis*)为绝对优势类群, 其中, 微囊藻属细胞数的年平均占比为93.6%, 蓝藻水华全年均有发生, 优势种为铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)、绿色微囊藻(*Microcystis viridis*)、惠氏微囊藻(*Microcystis wensenbergii*)等(周春丽, 2009)。

2012 年, 云南省环境监测中心站先后于 5 月、12 月完成了两次滇池全湖(外海和草海)浮游藻类调查, 每次调查均基于全湖均匀布设的 40 个点位进行。调查表明, 滇池当前有蓝藻门、绿藻门、硅藻门、甲藻门、隐藻门、裸藻门、黄藻门、金藻门 8 个门、64 个属、157 个种及变种, 两次调查全湖平均藻类密度为 1.79×10^8 个/L。其中, 绿藻门种类最多, 占有属数的 48.5%; 蓝藻门及蓝藻门的微囊藻属优势度最大, 分别占藻类细胞总数的 83.12%、81.72%。

综上所述, 自 20 世纪 60 年代以来, 滇池水环境日益恶化, 由轻度富营养快速发展至重度富营养, 滇池浮游藻类群落结构也发生了显著变化, 从 80 年代以前的多优势类群和较低生物量, 演进到 90 年代末以来蓝藻成为单优势类群并频繁出现严重蓝藻水华。

20 世纪 60 年代、80 年代、21 世纪初、21 世纪头 10 年滇池浮游藻类群落物种构成调查结果及指示类型汇总见附表。



图 2 滇池外海暴发蓝藻水华时的情形

三、滇池常见浮游藻类分类系统

根据云南省环境监测中心站的调查, 2001 年以来, 滇池常见浮游藻类主要涉及蓝藻门 (Cyanophyta)、绿藻门 (Chlorophyta)、硅藻门 (Bacillariophyta)、隐藻门 (Cryptophyta)、甲藻门 (Pyrrophyta)、裸藻门 (Euglenophyta) 6 个门约 50 个属, 其中, 各门的常见藻类及分类地位见下表。

表 21 世纪以来滇池常见浮游藻类分类系统¹

门	纲	目	科	属
蓝藻门	蓝藻纲	色球藻目	色球藻科	微囊藻属
				蓝纤维藻属
				色球藻属
				小雪藻属
				隐球藻属
				乌龙藻属
		段殖体目	念珠藻科	束丝藻属
				鱼腥藻属
				假鱼腥藻属
				颤藻科
硅藻门	羽纹纲	无壳缝目	脆杆藻科	脆杆藻属
				针杆藻属
				星杆藻属
		双壳缝目	舟形藻科	舟形藻属
				异极藻科
				异极藻属
				桥弯藻科
				桥弯藻属
				双眉藻属
		管壳缝目	双菱藻科	菱形藻属
甲藻门	甲藻纲	多甲藻目	圆筛藻科	直链藻属
				小环藻属
			角甲藻科	角甲藻属
				多甲藻属
隐藻门	隐藻纲		隐鞭藻科	隐藻属
裸藻门	裸藻纲	裸藻目	裸藻科	裸藻属

¹ 采用中国藻类学会 1978 年制定的分类系统 (胡鸿钧, 1980), 以属为基本单位, 部分非常见藻类未列入。