

湖光岩玛珒湖的浮游植物

张才学 孙省利 谢少英 谢伟良 詹冬玲

(广东海洋大学海洋资源与环境监测中心, 湛江 524088)

摘要: 本文对广东省湛江市湖光岩玛珒湖的浮游植物进行了周年的调查和分析, 结果共检出浮游植物 99 属 260 种 (包括变种和变型): 春季 119 种, 夏季 121 种, 秋季 150 种, 冬季 122 种, 其中蓝藻门 20 属 43 种, 占种类数的 16.5%; 硅藻门 20 属 79 种, 占种类数的 30.4%; 绿藻门 49 属 117 种, 占种类数的 45%; 甲藻门 2 属 8 种, 占种类数的 3.1%; 裸藻门 2 属 2 种, 占种类数的 0.8%; 金藻门 2 属 6 种, 占种类数的 2.3%; 黄藻门 3 属 4 种, 占种类数的 1.5%; 红藻门 1 属 1 种, 占种类数的 0.4%。全年广布种有 40 种: 蓝藻门 15 种, 硅藻门 6 种, 绿藻门 14 种, 甲藻门 3 种, 金藻门和黄藻门各 1 种。各两季节间的共有种数在 57—78 种, Jaccard 种类相似性指数范围在 0.28—0.42。优势种 ($Y > 0.02$) 共有 29 种: 春季 8 种、夏季 16 种、秋季 13 种、冬季 11 种, 分别隶属于蓝藻门 13 种, 绿藻门 8 种, 硅藻门 8 种, 其中 *Chroococcus minor*, *Microcystis flos-aquae*, *Plauropusa fuliginosa*, *Chlorella vulgaris* 为全年广布优势种。在春、夏、秋 3 季以蓝藻的优势种类居多, 而在冬季则以硅藻的优势种类居多。细胞丰度在 6.3×10^4 — 56.1×10^4 ind/L, 春季最高, 冬季次之, 夏季最低。多样性指数平均为 4.53, 均匀度平均为 0.65, 其排序都为冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季, 物种非常丰富。浮游植物群落中存在着 α 、 β 、 γ 的优势种群, 其群落结构具有典型的亚热带特征。从浮游植物吸收 N、P 的配比分析, P 成为全年唯一的营养限制因子, 但从 N、P 的绝对值看, N 和 P 都是全年的营养限制因子。综合分析结果, 湖光岩玛珒湖水质营养类型属于亚热带贫营养型。

关键词: 湖光岩玛珒湖; 浮游植物; 群落结构; 多样性; 理化因子; 季节变化

中图分类号: Q948.8 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2008)05-0620-11

湖光岩玛珒湖位于中国广东省湛江市, 是世界上保存完好的两大玛珒湖之一, 也是世界上最大的玛珒湖, 它是距今 15 万年前火山爆发后, 火山口洼地积水而成, 周围被火山碎屑环包围。湖近似心形, 面积约 2.30 km^2 , 水面标高 23m, 湖底标高 1.0m, 湖水最大深度 22m (1997 年 3 月测), 湖底沉积物厚 50m, 是研究玛珒式火山喷发和玛珒湖形成机理极好的场所。

目前, 玛珒湖研究主要集中在欧洲, 在沉积与环境方面进行了广泛深入的研究, 取得了一系列令人瞩目的成果^[1-3]。现已发现玛珒湖的沉积物均有纹层, 并且发现年纹层主要是由各种藻类沉积而成, 研究湖中各种藻类的群落结构和年际变化可以提供鉴定年层的标志及气候环境变迁的指标。由于玛珒湖是一个封闭式、范围小、结构简单而水较深的湖泊系统, 有利于沉积物快速沉积和原始保存, 是形成和保

存高分辨率沉积记录的理想场所, 沉积物最大限度地记录了区域气候环境的变化, 可为气候环境记录提供准确的高分辨率时间标尺。因此多学科、多指标定性或定量地研究现代玛珒湖的生态及其环境和气候变化, 可提供多种环境气候信息, 并能更好地研究古全球变化及近代全球的气候变化。

有关玛珒湖的生态学研究, 目前国内外著述不多, 仅发现对德国的 Eifel 玛珒湖进行过系统的研究, 并出版了玛珒湖湖泊学专著^[4]。在中国, 刘嘉麒等^[5-7]率先开展了玛珒湖的研究, 在对沉积物的测年方面, 初步揭示了沉积物的环境气候信息, 有关玛珒湖的沉积纹层、沉积机理、古环境及古生物的演替、现代玛珒湖的生态学研究等尚属空白。为了充实我国玛珒湖的生态学理论, 探寻玛珒湖的形成机理和玛珒式的生态演替规律, 笔者对湖光岩玛珒湖的浮游植物和理化因子进行了周年的季节调查, 以

收稿日期: 2007-12-21; 修订日期: 2008-05-19

基金项目: 广东省自主创新重大科技专项 (编号: 2007A032600004) 资助

作者简介: 张才学 (1963—), 男, 广东省阳春市; 讲师; 主要从事海洋生态及海洋环境的研究工作。E-mail: zhangcx@gd.cn

通讯作者: 孙省利, E-mail: XingLiSun@126.com

期为玛珉湖现代生态学、古生态学、年纹层及气候环境变迁的研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析 2006年8月至2007年5月分别对湖光岩玛珉湖进行了4个季节的浮游植物采样(图1),定性样品的采集是用浅水④型浮游生物网自底至表进行垂直拖网,定量样品是用采水器采集表层水样1L于塑料瓶中,各加入体积分数为3%的福尔马林和1%鲁哥氏液固定,在实验室静置沉淀24h,浓缩至50mL,在显微镜下进行定性分析和定量分析。叶绿素 a 样品是用采水器采集500mL表层水样于塑料瓶中,加入2.5mL浓度为10g/L的MgCO₃悬浮液固定,用0.45 μ m的醋酸微孔滤膜抽滤后,于4℃的冰箱内用丙酮(9+1)溶液萃取24h,然后在8000r/min的转速下离心20min,取上清液于紫外-可见分光光度计分别在750nm、664nm、647nm、630nm波长下测定其吸光值。叶绿素 a 与浮游植物生物量之间的转换关系按照1单位重量的叶绿素 a 等于50单位重量的碳含量来换算^[8]。无机营养盐的测定方法分别是:靛酚蓝分光光度法测氨氮、萘乙二胺分光光度法测亚硝酸盐、紫外分光光度法测硝酸盐、硅钼蓝分光光度法测活性硅酸盐、磷钼蓝分光光度法测活性磷酸盐^[9]。

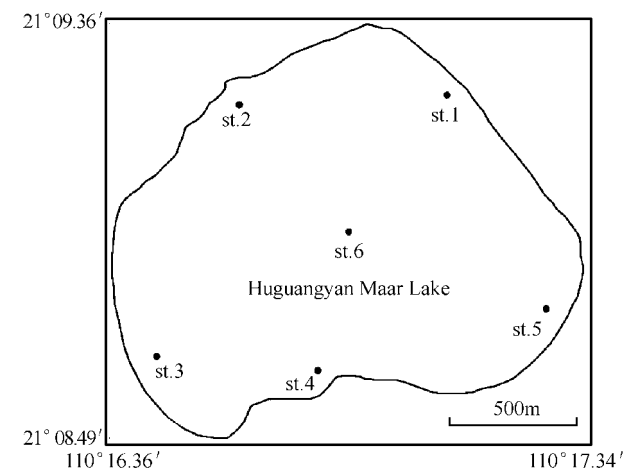


图1 采样点

Fig 1 Sampling stations

1.2 统计方法 Shannon-Weaver多样性指数^[9] $H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$, 式中 s 为物种数, P_i 为第 i 种在全部采样中的比例($P_i = n_i/N$), n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种的个体总数。

均匀度^[9] $J = H' / (\log_2 S)$, 式中 H' 为前式的多样性指数值, S 为样品中总种类数。

优势度^[10] $Y = (n_i/N)f_i$, 式中 n_i 为第 i 种的总个体数; N 为所有物种的总个体数, f_i 为第 i 种在各站出现的频率, 以 $Y > 0.02$ 作为优势种。

Jaccard相似系数^[11] $P = c/(a+b-c)$, a 、 b 为两不同季节浮游植物种类数, c 为两不同季节的共有种类数。

2 结果

2.1 浮游植物的种类组成和数量的季节变化

经定性分析,共鉴定出浮游植物8门99属260种(包括变种和变型)^[12-15]。其中蓝藻门Cyanophyta 20属43种,占种类数的16.5%;硅藻门Diatom 20属79种,占种类数的30.4%;绿藻门Chlorophyta 49属117种,占种类数的45%;甲藻门Pyrophyta 2属8种,占种类数的3.1%;裸藻门Euglenophyta 2属2种,占种类数的0.8%;金藻门Chrysophyta 2属6种,占种类数的2.3%;黄藻门Xanthophyta 3属4种,占种类数的1.5%;红藻门Rhodophyta 1属1种,占种类数的0.4%。

种类数以秋季最多,达150种,春、夏、冬季相近,分别为119种、121种、122种(表1)。在蓝藻门中色球藻属种类最多,共有5种,其次为平裂藻属、微囊藻属、颤藻属各4种;在硅藻门中舟形藻属最多,共有15种,其次为桥弯藻属9种;在绿藻门中鼓藻属和角星鼓藻属种类最多,均有15种,且在角星鼓藻属有2个未知种,其次为盘星藻属和栅藻属各8种。4个季节都出现的种类有40种:蓝藻门有15种,硅藻门有6种,绿藻门有14种,甲藻门有3种,金藻门和黄藻门各1种。各季节间的共有种数在57—78种, Jaccard种类相似性指数范围在0.28—0.42(表2),冬、春季相似性指数最高,春、秋季次之,夏、秋季种类差异最大。季节间种类相似性指数均小于0.50,说明湖光岩玛珉湖浮游植物季节更替明显。

2.2 浮游植物优势种的季节变化

浮游植物细胞丰度年波动范围在 6.3×10^4 — 56.1×10^4 ind/L, 平均 23.8×10^4 ind/L。春季最高,平均达 56.1×10^4 ind/L, 其中绿藻门 33.9×10^4 ind/L, 蓝藻门 15.6×10^4 ind/L, 硅藻门 5.2×10^4 ind/L; 冬季次之, 平均为 19.5×10^4 ind/L, 其中硅藻门 9.6×10^4 ind/L, 蓝藻门 5.2×10^4 ind/L, 绿藻门 3.2×10^4 ind/L; 秋季平均为 14.8×10^4 ind/L, 其中绿藻门 $6.7 \times$

10^4 ind/L, 蓝藻门 5.0×10^4 ind/L, 硅藻门 2.6×10^4 ind/L; 夏季最低, 平均只有 6.3×10^4 ind/L, 其中蓝藻门 3.8×10^4 ind/L, 绿藻门 1.5×10^4 ind/L, 硅藻门 0.8×10^4 ind/L(表 1)。

各季节浮游植物的优势种共有 29种, 其中春季 8种、夏季 16种、秋季 13种、冬季 11种, 在这些优势种类中, 蓝藻门 13种, 绿藻门 8种, 硅藻门 8种(表 3)。

表 1 浮游植物的种类组成和数量的季节变化 (密度单位: $\times 10^4$ ind/L)
Tab 1 The seasonal change of species composition and density of phytoplankton (density Unit $\times 10^4$ ind/L)

Phylum	Spring			Summer			Autumn			Winter		
	Genus	Species	Density	Genus	Species	Density	Genus	Species	Density	Genus	Species	Density
Cyanophyta	13	24	15.6	19	33	3.8	13	31	5.0	13	22	5.2
Diatom	13	29	5.2	12	32	0.8	14	39	2.6	13	37	9.6
Chlorophyta	20	53	33.9	24	46	1.5	30	68	6.7	24	53	3.2
Phycomphyta	2	5	0.6	2	4	0.2	2	5	0.3	2	6	0.8
Chrysophyta	1	4	0.6	2	2	0	1	4	0.2	1	3	0.7
Xanthophyta	2	2	0.1	2	2	0	1	2	0	1	1	0
Euglenophyta	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Rhodophyta	1	1	0.1	1	1	0.02	1	1	0	0	0	0
Total	53	119	56.1	63	121	6.3	62	150	14.8	54	122	18.1

表 2 季节间浮游植物种类相似性指数
Tab. 2 The species Jaccard index of phytoplankton between every two seasons

Index	Spring/Summer	Spring/Autumn	Spring/Winter	Summer/Autumn	Summer/Winter	Autumn/Winter
Species amount	119/121	119/150	119/122	121/150	121/122	150/122
Same species amount	57	78	71	59	59	75
Jaccard index	0.31	0.41	0.42	0.28	0.32	0.38

表 3 季节演替中浮游植物的优势种
Tab. 3 Dominant species of phytoplankton in seasonal succession

Spring	Summer	Autumn	Winter
<i>Chroococcus minutus</i>	<i>Aphanocapsa elachista</i>	<i>Chroococcus lineticus</i>	<i>Microcystis flos-aquae</i>
<i>Chroococcus minor</i>	<i>Aphanothece stagnina</i>	<i>Chroococcus minor</i>	<i>Chroococcus minor</i>
<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Chroococcus minor</i>	<i>Merismopedia glauca</i>	<i>Pleurocapsa fuliginosa</i>
<i>Microcystis flos-aquae</i>	<i>Chroococcus splendidus</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Cyclotella bodanica</i>
<i>Pleurocapsa fuliginosa</i>	<i>Coelosphaerium dubium</i>	<i>Microcystis flos-aquae</i>	<i>Desmodium baileyi</i>
<i>Cyclotella meniscus</i>	<i>Gloethece fusco-lutea</i>	<i>Pleurocapsa fuliginosa</i>	<i>Fragilaria brevistriata</i>
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Merismopedia glauca</i>	<i>Cyclotella bodanica</i>	<i>Melosira granulata</i>
<i>Chlorococcum infusionum</i>	<i>Microcystis flos-aquae</i>	<i>Fragilaria brevistriata</i>	<i>Melosira islandica</i>
	<i>Microcystis marginata</i>	<i>Melosira islandica</i>	<i>Navicula exilis</i>
	<i>Pleurocapsa fuliginosa</i>	<i>Ankistrodesmus angustus</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>
	<i>Melosira granulata</i> var <i>angustissima</i>	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var <i>mirabilis</i>	<i>Scenedesmus amatus</i>
	<i>Stauroneis anceps</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	
	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Schroederia robusta</i>	
	<i>Chlorococcum infusionum</i>		
	<i>Scenedesmus amatus</i>		
	<i>Staurastrum</i> sp.		

2.3 叶绿素 a 及生物量的变化

叶绿素 a 含量春季最高, 平均达 6.4mg/m^3 ; 冬季次之, 平均为 2.5mg/m^3 ; 秋季平均为 2.2mg/m^3 ;

夏季最低, 平均仅 2.1mg/m^3 。在各个站点的分布除了春季不均匀外 (St 3 较高, 达 10.5mg/m^3), 其他季节在各个站点的分布都较接近。浮游植物生物量

春季为 0.320 gC/m^3 , 冬季为 0.125 gC/m^3 , 秋季为 0.110 gC/m^3 , 夏季为 0.105 gC/m^3 。春季叶绿素 a 含量和浮游植物生物量均约为夏季的 3 倍。

2.4 浮游植物的多样性和均匀度

湖光岩玛珒湖浮游植物的物种多样性指数和均匀度都较高(表 4), 多样性指数为 $3.40\text{--}5.13$ 平均为 4.53 均匀度 $0.49\text{--}0.74$ 平均为 0.65 其排序都为冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季。

表 4 多样性指数和均匀度
Tab. 4 Diversity index and evenness index

Item	Spring	Summer	Autumn	Winter
Diversity index	3.40	4.64	4.94	5.13
Evenness index	0.49	0.67	0.68	0.74

2.5 环境理化因子的季节变化

湖光岩玛珒湖理化因子的季节变化较明显, 水温在 $19\text{--}32^\circ\text{C}$, 冬季最低, 夏季最高; pH 值在 $7.6\text{--}8.4$ 春季最高, 秋季最低, 属于偏碱性水质; 氨氮的含量变动于 $0.0100\text{--}0.0900\text{ mg/L}$ 之间, 最低值出现于夏季; 亚硝酸盐氮的含量介于 $0.0010\text{--}0.0070\text{ mg/L}$ 之间, 最低值也出现在夏季, 硝酸盐氮含量在 $0.1900\text{--}0.8000\text{ mg/L}$ 之间, 最低值出现在秋季; 硝酸盐氮和亚硝酸盐氮都是冬季含量最高。活性磷酸盐的含量从春季至冬季不断升高, 春季的值最低仅有 0.0009 mg/L , 不到冬季的 $1/37$, 夏季与秋季含量较接近, 秋季比冬季的含量相差近 10 倍; 活性硅酸盐含量的变化趋势与活性磷酸盐相似, 也是从春季至冬季逐渐升高, 但升幅较小, 最大值只有最小值的 2 倍多(表 5)。

表 5 理化因子的季节变化
Tab. 5 The seasonal changes of the physicochemical factors

Parameter	Spring	Summer	Autumn	Winter
Temperature($^\circ\text{C}$)	27.0	30.3	27.9	19.7
pH Value	8.4	7.7	7.6	7.9
$\text{NH}_4^+-\text{N}(\text{mg/L})$	0.0885	0.0109	0.0641	0.0188
$\text{NO}_2^--\text{N}(\text{mg/L})$	0.0026	0.0016	0.0046	0.0063
$\text{NO}_3^--\text{N}(\text{mg/L})$	0.7295	0.2530	0.1936	0.7931
$\text{SiO}_3^{2-}(\text{mg/L})$	0.2674	0.3849	0.4305	0.6186
$\text{PO}_4^{3-}(\text{mg/L})$	0.0009	0.0034	0.0036	0.0337

3 讨论

调查显示, 由于湖光岩玛珒湖面积较小, 浮游植物及理化因子的平面分布除中心站点相对稍低外, 其他各站点分布较均匀, 因此在讨论浮游植物的群落结构和数量及理化因子的季节变化时, 均取各个

季节的平均值来进行分析。

3.1 湖光岩玛珒湖浮游植物群落的特征

湖光岩玛珒湖浮游植物数量在 4 个季节有一个明显的密度高峰, 显示其从冬季开始增长, 春季最高, 夏季最低, 与一般亚热带水体浮游植物在春秋季节各有一个密度高峰不一致, 这与营养盐的季节波动有关。因玛珒湖是一个封闭式的深水湖泊, 水柱在春末至中秋之间出现分层(Stratification)^[16 17], 表层水温较高, 水体的稳定度较大, 阻碍了表水层(Epilimnion)与较冷的深水层及底层沉积物之间的联系。到了秋末和冬初, 表层水温开始下降, 水体的垂直对流使冬、春季表层的营养盐含量增加, 从而促使浮游植物的增殖。

优势种类 *Microcystis flos-aquae*, *Pleurocapsa fuliginosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Chlorococum infusionum*, *Chroococcus minor*, *Chlorella vulgaris* 等是典型的亚热带种类, 反映了该湖的亚热带气候特点。从全年看, 该湖始终没出现占绝对优势的种类, 只在春季小球藻的优势度较高, 达 0.47, 其他季节优势种类的优势度都不高, 夏季最高是煤黑厚皮藻 *Pleurocapsa fuliginosa*, 为 0.20, 秋季最高是 *Schroederia robusta*, 为 0.14, 冬季最高是 *Cyclotella meneghiniana*, 为 0.16, 各季节的优势种类交替出现, 在春夏和夏秋交替中, 均有 5 种优势种不变, 秋冬交替中有 6 种保持优势, 冬春交替中有 5 种保持优势。 *Chroococcus minor*, *Microcystis flos-aquae*, *Pleurocapsa fuliginosa*, *Chlorella vulgaris* 属于全年的广布优势种。春季以绿藻的优势种类居多, 其细胞密度占了该季的 60%, 蓝藻的优势种类次之, 其细胞密度占了该季的 28%, 属于绿-蓝藻型浮游植物群落; 夏季以蓝藻的优势种类居多, 其细胞密度占了该季的 60%, 绿藻的优势种类次之, 其细胞密度占了该季的 24%, 属于蓝-绿藻型浮游植物群落; 秋季以绿藻的优势种类居多, 其细胞密度占了该季的 45%, 蓝藻的优势种类次之, 其细胞密度占了该季的 34%, 属于绿-蓝藻型浮游植物群落; 而在冬季则以硅藻的优势种类居多, 其细胞密度占了该季节的 53%, 属于硅藻型浮游植物群落。从整体看, 各个季节的优势种类较多, 每个优势种的细胞丰度均较低, 体现了群落中优势种类的多寡与群落中的生物丰度成反比的规律。从各个季节的种类数、季节间的相似性指数、细胞密度和优势种的种类数及均匀度统计结果看, 春季群落结构的复杂性和稳定性较其他 3 个季节差。

对湖光岩玛珒湖浮游植物的群落结构分析发

现,静水隐杆藻 *Aphanthece stagnina*、梅尼小环藻 *Cyclotella bodanica*、科曼小环藻 *C. comensis*、广缘小环藻 *C. bodanica*、长锥形锥囊藻 *Dinobryon bavarium*、圆筒锥囊藻 *D. cylindricum*、分歧锥囊藻 *D. divergens* 等为 α s环境指示生物^[18],其中梅尼小环藻是秋季的优势种,科曼小环藻是春季的优势种,广缘小环藻是冬季的优势种,静水隐杆藻、长锥形锥囊藻、圆筒锥囊藻、分歧锥囊藻等的数量也较多(夏季除外);微小色球藻 *Chroococcaism inutus*、银灰平裂藻 *Merismopedia glauca*、纤细桥弯藻 *Cymbella gracilis*、网状空星藻 *Coelastrum reticulatum*、短棘盘星藻 *Pediastrum boryanum*、角甲藻 *Ceratium hirundinella*、二角多甲藻 *Peridinium bipes*、腰带多甲藻 *P. zonatum* 等为 β m- α s环境指示生物^[18],其中微小色球藻是春季的优势种、银灰平裂藻是秋季的优势种。但也发现一些 α m- β m 环境的指示生物^[18 19],它们是铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa*、水华微囊藻 *M. flos-aquae*、巨颤藻 *Oscillatoria princeps*、美丽颤藻 *O. formosa*、小球藻 *Chlorella vulgaris*、被甲栅藻 *Scenedesmus amatus*、弯曲栅藻 *S. arcuatus*、四尾栅藻 *S. quadricauda*、二形栅藻 *S. dinophus*、具尾四角藻 *Tetradron caudatum*、肘状针杆藻 *Synedra ulna*、镰形纤维藻 *Ankistrodesmus falcatus*、二角盘星藻 *Pediastrum duplex*、颗粒直链藻 *Melosira granulata*、钝脆杆藻 *Fragilaria brevistriata*等,并且水华微囊藻和小球藻是 4 季的优势种,铜绿微囊藻为秋季的优势种,被甲栅藻为冬季的优势种。Hutchinson^[20]和 Wetzel^[21]总结了不同营养类型湖泊藻类群落中的优势种群,认为中性至微碱性且优势藻类为硅藻和金藻,特别是小环藻和锥囊藻属的种的水体为贫营养型湖泊。同时还发现耐有机污染的裸藻类极少,仅在春季和夏季的定性样品中各有 1 种,也说明湖光岩玛珒湖未受污染,属贫营养型水体。分析还发现,全年均存在的种类共有 40 种,蓝藻 15 种、绿藻 14 种、硅藻 6 种、甲藻 3 种、金藻和黄藻各 1 种,其中 4 种为全年优势种,并且有 2 个未记录种,这表明湖光岩玛珒湖是一个生态相对稳定的具有独特环境的湖泊。

湖光岩玛珒湖浮游植物的多样性指数和均匀度冬季最大、春季最小,其原因可能是冬季表层水温下降、雨水少、出现混合层,环境异质性增大而稳定;而春季雨水多,营养盐含量丰富,优势种群的优势度增大。从总体上看,多样性指数和均匀度都较高,由于湖光岩地处南亚热带,终年水温都较高,故其浮游植物物种非常丰富,这符合低纬度

生物物种多样性规律。根据生物多样性阈值的分级评价标准^[22](表 6)和水质污染等级评价标准^[23](表 7),湖光岩玛珒湖浮游植物群落仅春季属多样性丰富,其他 3 季都属多样性非常丰富;水质为轻污染或无污染。

表 6 多样性阈值的分级评价标准

Tab. 6 The evaluation standard for biodiversity threshold

Evaluation standard	Threshold	Standard description
iv	< 0.6	Diversity badly
㊦	0.6—1.5	Diversity commonly
㊧	1.6—2.5	Diversity preferably
㊨	2.6—3.5	Diversity abundance
㊩	> 3.5	Diversity exceeding abundance

表 7 水质污染等级评价标准

Tab. 7 The evaluation standard for pollution grade of water quality

Evaluation standard	Heavy pollution	Mildling pollution	Light pollution or no pollution
Diversity index	0—1	1—3	> 3
Evenness index	0—0.3	0.3—0.5	0.5—0.8

叶绿素 *a* 含量春季较高,根据叶绿素 *a* 量划分营养类型的标准(表 8)^[19],属于中营养型水体;其他 3 季都较低,属于贫营养型水体,该结论与环境指示生物的群落结构分析结果相一致。

表 8 根据叶绿素 *a* 量划分营养类型的标准

Tab. 8 The standard for trophic type according to chlorophyll *a* (mg/m³)

Trophic type	Richard-Thompson	Wetzel	USEPA	OECD
Eutrophic type	5—140	10—500	> 10	2.7—78
Mesotrophic type	1—15	2—15	4—10	3.0—11
Oligotrophic type	0.3—2.5	0.3—3.0	< 4	0.3—4.5

3.2 浮游植物与环境因子的关系

从图 2 和表 9 可看出,无机氮(DN)在冬、春季含量较高,而在夏、秋季含量较低,这是玛珒湖在夏秋季水柱分层、在冬春季水柱混合的结果。据报道^[24],氮的浓度在 0.26—1.3 g/m³ 时,藻类生长受到限制。从研究结果看,DN 全年在 0.2623—0.8206 g/m³,为 4 季的营养限制因子,尤其是夏、秋季达到了浮游植物生长的最低限;在浮游植物体内磷化合物几乎在全部代谢过程中(尤其是在能量转换过程中)起着重要作用,若磷的浓度低于 0.050 g/m³ 时,就会限制浮游植物的增殖^[25]。湖水中磷酸盐含量在各个季节都较低,磷酸盐全年在 0.0009—0.0337 g/m³,表现出明显的 P 限制。硅酸盐含量从春季到冬季逐渐积累,其范围在 0.2674—0.6186 g/m³,很

多学者研究发现蓝藻、绿藻对磷有较高的需求,而对 S 没有明显的需求;硅藻中 *Fragilariaceae* 的物种对磷的需求很低 (k_s 0.003—0.02 $\mu\text{mol/L}$),但对 Si 的需求较高 (k_s 1.5—19.7 $\mu\text{mol/L}$);而中心硅藻纲的物种对磷的需求较高 (k_s 0.13—0.25 $\mu\text{mol/L}$),对 Si 的需求较低 (k_s 0.12—1.44 $\mu\text{mol/L}$)^[26-29]。一些现场调查结果也表明,硅藻在 Si:P 和 N:P 较高的时候生长繁盛,绿藻喜欢生长在 S 浓度较低、N:P 比较高的条件下,蓝藻则喜欢生长在低氮浓度下^[28-30-32]。因此,湖光岩玛珒湖中的 Si 不成为营养限制因子。在浮游植物的生长过程中, N、P 的作用常常是相互的,由于其生长所需的 N:P=16:1^[33],一般认为高于此值, P 为营养限制因子,低于此值, N 为营养限制因子。玛珒湖各个季节其 N 与 P 的比值均高于此值,从浮游植物吸收 N、P 的配比分析,

P 成为全年唯一的营养限制因子,但从 N、P 的绝对值看, N 和 P 都是全年的营养限制因子,因此,湖光岩玛珒湖属贫营养型湖泊。

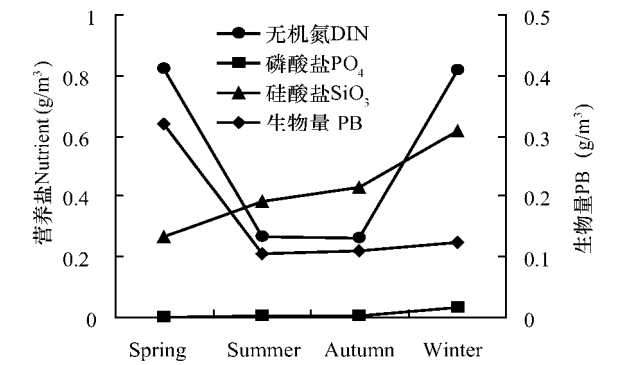


图 2 生物量和营养盐的季节变化
Fig 2 The seasonal changes of the PB and the nutrient

表 9 湖光岩玛珒湖营养盐含量及限制因子							
Tab. 9 The nutrient concentration (g/m³) and limiting factors in Huguangyan Maar Lake							
Season	SiO ₃ -Si	PO ₄ -P	DN	Si/P	N/P	Si/N	Limiting factors
Spring	0.2674	0.0009	0.8206	297.11	911.78	0.33	P
Summer	0.3849	0.0034	0.2655	113.21	78.09	1.45	P
Autumn	0.4305	0.0036	0.2623	119.58	72.86	1.64	P
Winter	0.6186	0.0337	0.8182	18.36	24.28	0.76	P

但是,分别对 4 个季节各站点的叶绿素 *a* 含量、浮游植物生物量与各理化因子进行统计和相关性分析,发现叶绿素 *a* 含量与水温不存在相关性,而与 pH 成显著的正相关 ($p < 0.05$) (图 3)。浮游植物生物量与 DIN 没有显著的相关性,而与活性硅酸盐和活性磷酸盐也没有显著的相关性(图 2)。由于湖光岩玛珒湖地处亚热带,终年水温较高,表层水温约在 19—31℃之间(实测值),不会成为浮游植物生长的限制因子。浮游植物进行光合作用时,造成水中 pH 值升高,故叶绿素 *a* 含量与 pH 成显著的正相关。由于湖光岩玛珒湖是一个封闭式的深水湖泊,其营养物质的循环基本上是生态系统的内部循环,外源性营养物质只在雨季才有少量的补充,在夏季,分层的深水湖泊磷由于颗粒物的沉降不断地从表水层向深水层转移,而在深水层矿化的磷只有等到秋末的混合期才能回到表水层^[16]。因此,雨季地表径流输入湖泊会对生态系统产生较大的干扰,而且浮游植物的季节演替必然会对营养盐产生影响。浮游植物在增殖过程中,营养盐含量逐渐下降,浮游植物衰退到一定程度时,营养盐含量则会逐渐升高。因此相隔较长时段(季节)瞬时的监测数据难以反映

浮游植物生物量与营养盐之间的变化趋势,只有连续的监测过程才能找出二者的变化规律,这有待于进一步的研究。

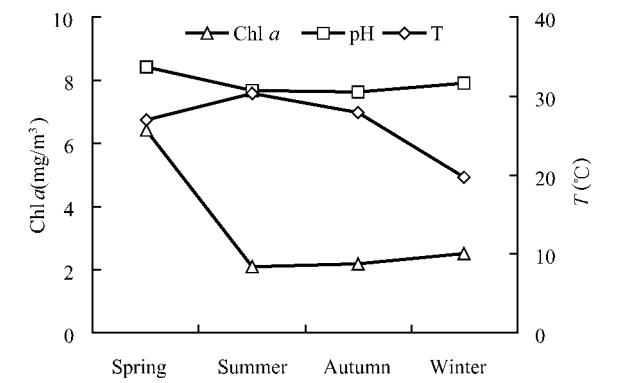


图 3 叶绿素 *a*、pH 值和温度的季节变化
Fig 3 The seasonal changes of the Chl *a* concentration, temperature and pH

3.3 湖光岩玛珒湖浮游植物与其他湖泊的比较
以时间、群落结构、多样性指数和年均细胞丰度进行综合分析,湖光岩玛珒湖浮游植物群落结构比千岛湖^[34]、滇池^[35]、洞庭湖^[36]和武汉东湖^[37]的复杂(表 10),说明湖光岩玛珒湖未受到明显的污染,

保持着良好的原生态,是研究湖泊、水库和河流等生态系统受污染程度的参考依据。

表 10 湖光岩玛珒湖与其他湖泊浮游植物的群落结构
Tab. 10 Community composition of phytoplankton in Huguangyan Maar Lake and else's lake

Item	Huguangyan Maar Lake (2006—2007年)	Qiantao Lake (1998—2000年)	Dianchi Lake (2001—2002年)	Dongting Lake (2004—2006年)	Wuhan East Lake (1994—1996年)
Species number	8门 99属 260种	8门 86属 204种	6门 52属 107种	8门 56属	7门 99属 260种
Diversity index	4.53	—	1.17	2.69	2.59
Annual mean cell abundance	23.83×10 ⁴ ind/L	226.73×10 ⁴ ind/L	118.86×10 ⁴ ind/L	16.64×10 ⁴ ind/L	6.88×10 ⁷ cell/L

4 结 论

(1) 湖光岩玛珒湖浮游植物共有 99 属 260 种,其中蓝藻门 20 属 43 种;硅藻门 20 属 79 种;绿藻门 49 属 117 种;甲藻门 2 属 8 种;裸藻门 2 属 2 种;金藻门 2 属 6 种;黄藻门 3 属 4 种;红藻门 1 属 1 种。

(2) 细胞丰度在 $6.3 \times 10^4 - 56.1 \times 10^4$ ind/L, 春季最高,冬季次之,夏季最低。

(3) 浮游植物优势种类多,共有 29 种,其中春季 8 种、夏季 16 种、秋季 13 种、冬季 11 种,在春、夏、秋 3 季以蓝藻的优势种类居多,而在冬季则以硅藻的优势种类居多。优势种类 *Chroococcus minor*, *Microcystis flos-aquae*, *Pleurocapsa fuliginosa*, *Chlorella vulgaris* 为全年广布种。

(4) 浮游植物的多样性程度高,多样性指数平均为 4.5 均匀度平均为 0.65,其排序都为冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季,物种非常丰富。

(5) 浮游植物不同季节既有交叉又有演替,广布种共有 40 种,各季节间的共有种数在 57—78 种, Jaccard 种类相似性指数范围在 0.28—0.42 冬、春季相似性指数最高,春、秋季次之,夏、秋季种类差异最大。季节间种类相似性指数均小于 0.50 说明湖光岩玛珒湖浮游植物季节更替明显。

(6) 浮游植物群落中存在着 α 、 β 、 γ 的优势种群, α 优势种多为硅藻和金藻, β 、 γ 优势种多为蓝藻和绿藻,没有裸藻。

(7) 从浮游植物吸收 N、P 的配比分析, P 为全年唯一的营养限制因子,但从 N、P 的绝对值看, N 和 P 都是全年的营养限制因子。湖光岩玛珒湖水水质营养类型属于亚热带贫营养型。

参考文献:

[1] Hakanson L. Theory of Lake Sedimentology [M]. Beijing: Science Press 1992, 1—88 [Hakanson L. 湖泊沉积学原理. 北京: 科学出版社. 1992 1—88]

[2] Funicelli R, Giordano G, De Rita D. The Albano maar lake (Colli Albani Volcano, Italy): recent volcanic activity and evidence of pre-Roman Age catastrophic lahar events [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2003, **123**(1): 43—61

[3] Zolischka B, Brauer A, Negendank JFW, et al. Annually dated late Weichselian continental paleoclimate record from the Eifel, Germany [J]. *Geology*, 2000, **28**(9): 783—786

[4] Scharf Burkhard W, Burk, et al. Limnology of Eifel maar lakes [M]. ISBN 978-3-510-47039-6 paperback. 1992

[5] Wang W Y, Liu J Q, Negendank J. The two-step monsoon changes of the last deglaciation recorded in tropical Maar Lake Huguangyan, southern China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(8): 860—864 [王文远, 刘嘉麒, Negendank J. 热带湖光岩玛珒湖记录的末次冰消期东亚夏季风两步式的变化. 科学通报, 2000, **45**(8): 860—864]

[6] Liu J Q, Lv H Y, Negendank J et al. Periodicity of Holocene climatic variations in the Huguangyan Maar Lake [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(11): 1190—1194 [刘嘉麒, 吕厚远, Negendank J. 湖光岩玛珒湖全新世气候波动的周期性. 科学通报, 2000, **45**(11): 1190—1194]

[7] Chu G Q, Liu J Q. Discrimination of two kinds of sedimentary laminae in maar lakes of China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(14): 1553—1557 [储国强, 刘嘉麒. 中国玛珒湖中两种沉积纹层的辨识及意义. 科学通报, 2000, **45**(14): 1553—1557]

[8] Krempin D W, Sullivan C W. The seasonal abundance vertical distribution and relative microbial biomass of chroococoid cyanobacteria at a station in southern California coastal waters [J]. *Can. J. Microbiol.*, 1981, **27**: 1341—1344

[9] State Oceanic Administration Marine survey criterion [S]. Beijing: Oceanography Press 1991, 727—728 [国家海洋局. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社. 1991, 727—728]

[10] Sun J, Liu D Y, Xu J et al. The netz-phytoplankton community of the Central Bohai Sea and its adjacent waters in spring 1999 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(9): 2003—2016

[11] Jaccard P. Nouvelles recherches sur la distribution florale [J]. *Bull. Soc. Vaud Sci. Nat.*, 1908, **44**: 223—270

[12] Shandong Fishery School. Illustrations of Planktons in Freshwater [M]. 1976, 1—170 [山东省水产学校. 淡水浮游生物图谱. 1976, 1—170]

[13] Hu H J, Li G Y, Wei Y X, et al. Freshwater algae in China [M]. Shanghai Science Technology Press 1980, 9—327 [胡鸿钧, 李

- 光英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类. 上海: 上海科学技术出版社. 1980 9—327]
- [14] Bohuslav Fott A lgenkunde [M]. Shanghai Science Technology Press 1980, 1—150 [[捷] B. 福迪迪: 罗迪安. 藻类学. 上海: 上海科学技术出版社. 1980 1—150]
- [15] Wei Y X Flora Algae Sinicae Aquae Dulcis [M]. Beijing Science Press 2003, 14—212 [魏印心. 中国淡水藻志. 北京: 科学出版社. 2003 14—212]
- [16] Xie P. Biodynamic mechanism for the seasonal change of phosphorus load in flat lake [J]. *Science in China, Ser. D, Earth Sciences* 2005, **35**(S₂): 11—23 [谢平. 浅水湖泊内源磷负荷季节变化的生物驱动机制. 中国科学, D辑, 地球科学. 2005, **35** (增刊₂): 11—23]
- [17] Scheffer M. Ecology of Shallow Lake [M]. London: Chapman & Hall 1998, 357
- [18] The special committee about environmental problem on ecological academy in Japan. Environment and denotative biology [M]. Beijing: China Environmental Science Press 1987, 60—100 [日本生态协会环境问题专门委员会. 环境和指示生物(水域分册). 北京: 中国环境科学出版社. 1987, 60—100]
- [19] Shen Y F, Zhang Z S, Gong X J *et al*. The new detection technique on microbiology [M]. Beijing: China Architecture Industry Press 1990, 119—143 [沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社. 1990 119—143]
- [20] Hutchinson G E. A treatise on limnology. Vol 2 Introduction to lake biology and the limnoplankton [M]. New York: John Wiley and Sons 1967, 1115
- [21] Wetzel R G. Limnology [M]. New York: Saunders College 1983, 754
- [22] Chen Q C, Huang L M, Y in J Q, *et al*. Zooplankton diversity of the archipelago in the South China Sea [M] // The comprehensive scientific expedition to the Nansha Archipelago. CAS. Halobios diversity of the archipelago and nearby in the South China Sea I. Beijing: Oceanography Press 1994, 42—50 [陈清潮, 黄良民, 尹健强, 等. 南海群岛海区浮游动物多样性研究 / 中国科学院南沙综合科学考察队. 南海群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I 北京: 海洋出版社. 1994 42—50]
- [23] Hu R, Lin Z W, Han B P, *et al*. Phytoplankton Distribution in a tropical reservoir (Songtao Reservoir) in dry season of 2003 [J]. *Ecologic Science*, 2004, **23**(4): 315—319 [胡韧, 林彰文, 韩博平, 等. 大型热带水库—松涛水库枯水期浮游植物群落特征. 生态科学, 2004, **23**(4): 315—319]
- [24] Wang J. Aquatic organisms productivity in waters [A]. In: Liu J K (Eds.), *Ecological Studies of Donghu Lake, Wuhan* [M]. Beijing: Science Press 1990, 167—197(in Chinese)
- [25] Hu M H, Yang Y P, Xu C L, *et al*. Phosphatic limitation of phytoplankton in Yangtse River Estuary [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1989, **11**(4): 439—443 [胡明辉, 杨逸萍, 徐春林, 等. 长江口浮游植物生长的磷酸盐限制. 海洋学报, 1989, **11**(4): 439—443]
- [26] Kilham S S. Silicon and phosphorus growth kinetics and competitive interactions between *Staphanodiscus minutus* and *Synedra* sp. [J]. *Verhandlungen des International Vereins Hegotiations Int Club Theor Appl Limnol* 1984, **22**: 435—439
- [27] Sommer U. Nutrient competition between phytoplankton in multispecies chemostat experiments [J]. *Arch Hydrobiol*, 1983, **96**: 399—416
- [28] Tilman D. Test of resource competition theory using four species of Lake Michigan algae [J]. *Ecology*, 1981, **62**: 802—815
- [29] Utermöhl H. Zur vervollkommen der quantitativen phytoplankton methodik [J]. *Trans Int Verein Theor Appl Limnol*, 1958, **9**: 1—38
- [30] Jørgensen S E. Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters [M]. Copenhagen: International Society for Ecological Modelling 1979, 1—1162
- [31] Sommer U. Phytoplankton competition along a gradient of dilution rates [J]. *Oecology*, 1986, **68**: 503—506
- [32] Tilman D, Kilham S S, Kilham P. Phytoplankton community ecology: The role of limiting nutrients [J]. *Annu Rev Ecol Syst* 1982, **13**: 349—372
- [33] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment [J]. *Am. Sci.*, 1958, **46**: 205—222
- [34] Yan L J, Yu Z M, Huang X R. Community character and dominant species of phytoplankton in Qiandao Lake [J]. *Contemporary Eco-Agriculture*, 2001, **3**: 84—88 [严力蛟, 虞左明, 黄迅刃. 千岛湖浮游藻类的群落特征与优势种. 当代生态农业, 2001, **3**: 84—88]
- [35] Zhang M, Li Y, Wang R N. Investigation on biodiversity of phytoplankton in Dianchi Lake [J]. *Journal of Yunnan University*, 2005, **27**(2): 170—175 [张梅, 李原, 王若南. 滇池浮游植物的生物多样性调查研究. 云南大学学报(自然科学版), 2005, **27**(2): 170—175]
- [36] Tian Q, Chen Z. Investigation and analysis of Phytoplankton community structure in Dongting Lake [J]. *Inland Fisheries*, 2007, **8**: 30—32 [田琪, 陈政. 洞庭湖浮游植物群落结构调查与分析. 内陆水产, 2007, **8**: 30—32]
- [37] Lei A P, Shi Z X, Wei Y X. Diversity of the phytoplankton in Donghu lake, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, **27**(2): 179—184 [雷安平, 施之新, 魏印心. 武汉东湖浮游藻类物种多样性的研究. 水生生物学报, 2003, **27**(2): 179—184]

THE PHYTOPLANKTON OF THE HUGUANGYAN MAAR LAKE

ZHANG Cai-Xue, SUN Xing-Li, XIE Shao-Ying, XIE Wei-Ling and ZHAN Dong-Ling

(Monitoring Center for Ocean Resources and Environments, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088)

Abstract Annual investigations on the community of phytoplankton and physicochemical factors were carried out in the Huguangyan Maar Lake, Zhanjiang, Guangdong Province of China. The results showed that a total of 260 species of the phytoplankton (including variety and form) belonged to 99 genera were found, with 119 species emerging in spring, 121 species in summer, 150 species in autumn and 122 species in winter. Among which, 20 genera including 43 species belonged to Cyanophyta, accounting for 16.5% of all species; 20 genera including 79 species were Bacillariophyta, accounting for 30.4%, 49 genera including 117 species were Chlorophyta, accounting for 45%, 2 genera including 8 species were Pyrrophyta, accounting for 3.1%, 2 genera including 2 species were Euglenophyta, accounting for 0.8%, 2 genera including 6 species were Chrysophyta, accounting for 2.3%, 3 genera including 4 species were Xanthophyta, accounting for 1.5%, and 1 genus including 1 species was Rhodophyta, accounting for 0.4%. There were 40 widespread species in all year, with 15 species being Cyanophyta, 6 species being Bacillariophyta, 14 species being Chlorophyta, 3 species being Pyrrophyta, and both species being Chrysophyta and Xanthophyta respectively. There were mutual 57–78 species in each assembly of both seasons, while Jaccard index was 0.28–0.42 dominant species ($Y > 0.02$) presented through the year and belonged to Cyanophyta (13 species), Chlorophyta (8 species) and Bacillariophyta (8 species) respectively, with 8 species in spring, 16 species in summer, 13 species in autumn and 11 species in winter, in which *Chroococcus minor*, *Microcystis flos-aquae*, *Pleurocapsa fuliginosa* and *Chlorella vulgaris* were annually widespread species. The most dominant species were Cyanophyta in spring, summer and autumn, but the most ones were Bacillariophyta in winter. The average cell abundance of phytoplankton ranged from 6.3×10^4 ind/L to 56.1×10^4 ind/L, with the maximum in spring, the second in winter and the minimum in summer. The averages of Shannon-weaver index and evenness were 4.53 and 0.65 respectively, with the maximum in winter, followed by autumn, summer and spring; the species were very abundant. There were the dominant populations of α and β in the community of phytoplankton, accompanied by typically subtropical character. The element P was the only limiting factor of nutrition in whole year according to the ratio of N/P, but both N and P were limiting factors of nutrition based on the absolute value of N and P. The comprehensive analysis indicated that the nutritional types of water quality belonged to subtropical oligotrophic types in this lake.

Key words Huguangyan Maar Lake, Phytoplankton, Community composition, Shannon-Weaver index, Physicochemical factor, Seasonal change

Appendix Species composition of phytoplankton in the Huguangyan Maar Lake

Cyanophyta			
<i>Anabaena azotica</i>	<i>Aphanocapsa elchista</i>	<i>Aphanocapsa pulchra</i>	<i>Aphanotheca pallida</i>
<i>Aphanotheca stagnina</i>	<i>Asterocapsa gloeotheceformis</i>	<i>Asterocapsa purpurea</i>	<i>Chroococcus lineticus</i>
<i>Chroococcus minor</i>	<i>Chroococcus minutus</i>	<i>Chroococcus tenax</i>	<i>Chroococcus splendidus</i>
<i>Coelosphaerium dubium</i>	<i>Coelosphaerium kitzingianum</i>	<i>Fischerella sinica</i>	<i>Gloeocapsa kitzingiana</i>
<i>Gloeocapsa magna</i>	<i>Gloeocapsa punctata</i>	<i>Gloeotheca fusco-lutea</i>	<i>Gomphosphaeria lacustris</i>
<i>Lyngbya linnetica</i>	<i>Lyngbya maritima</i>	<i>Merismopedia elegans</i>	<i>Merismopediella glauca</i>
<i>Merismopediella punctata</i>	<i>Merismopedia sinica</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Microcystis dubium</i>
<i>Microcystis flos-aquae</i>	<i>Microcystis marginata</i>	<i>Nostoc flagelliforme</i>	<i>Nostoc punctiforme</i>
<i>Oscillatoria amphibia</i>	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Oscillatoria princeps</i>	<i>Oscillatoria tenuis</i>
<i>Phormidium tenue</i>	<i>Plaurocapsa fuliginosa</i>	<i>Spirulina jemerii</i>	<i>Spirulina major</i>
<i>Spirulina princeps</i>	<i>Stigonema ocellatum</i>	<i>Synechocystis aquatilis</i>	
Bacillariophyta			
<i>Achnanthes exilis</i>	<i>Achnanthes linearis</i>	<i>Amphora ovalis</i>	<i>Coscinodiscus lacustris</i>
<i>Cyclotella bodanica</i>	<i>Cyclotella canensis</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Cyclotella striata</i>
<i>Cymbella affinis</i>	<i>Cymbella austriaca</i>	<i>Cymbella ehrenbergii</i>	<i>Cymbella gracilis</i>
<i>Cymbella laevis</i>	<i>Cymbella lanceolata</i>	<i>Cymbella perpusilla</i>	<i>Cymbella turgida</i>
<i>Cymbella ventricosa</i>	<i>Desmidium baileyi</i>	<i>Diploneis formosa</i>	<i>Diploneis ovalis</i> var. <i>oblongella</i>
<i>Epithemia turgida</i> var. <i>granulata</i>	<i>Fragilaria affinis</i>	<i>Fragilaria brevistriata</i>	<i>Fragilaria capucina</i>
<i>Fragilaria construens</i>	<i>Fragilaria intemedia</i>	<i>Fragilaria virescens</i>	<i>Frustulia viridula</i>
<i>Gomphonema constrictum</i> var. <i>capitata</i>	<i>Gomphonema angustatum</i>	<i>Gomphonema constrictum</i>	<i>Gomphonema gracile</i>
<i>Gomphonema intricatum</i> var. <i>pumilum</i>	<i>Gomphonema intricatum</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Melosira granulata</i>
<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	<i>Melosira iceland</i>	<i>Melosira islandica</i>	<i>Melosira italica</i>
<i>Navicula cincta</i>	<i>Navicula cryptocephal</i>	<i>Navicula diephala</i>	<i>Navicula exilis</i>
<i>Navicula graciloides</i>	<i>Navicula oblonga</i>	<i>Navicula placenta</i>	<i>Navicula protracta</i>
<i>Navicula pupula</i> var. <i>rectangularis</i>	<i>Navicula pupula</i>	<i>Navicula radiosa</i>	<i>Navicula rotunda</i>
<i>Navicula rhynchocephala</i>	<i>Navicula schonfeldii</i>	<i>Navicula simplex</i>	<i>Neidium affine</i>
<i>Neidium kozlavi</i> var. <i>elliptica</i>	<i>Neidium iridis</i> f. <i>vemalis</i>	<i>Neidium kozlavi</i> var. <i>parva</i>	<i>Pinnularia borealis</i>
<i>Pinnularia divergentissima</i>	<i>Pinnularia gibba</i>	<i>Pinnularia interrupta</i>	<i>Pinnularia microstauron</i>
<i>Pinnularia subcapitata</i>	<i>Pinnularia viridis</i>	<i>Stauroneis acuta</i>	<i>Stauroneis anceps</i>
<i>Stauroneis anceps</i> f. <i>linearis</i>	<i>Stauroneis pygmaea</i>	<i>Stephanodiscus astraea</i> var. <i>minutula</i>	<i>Surirella capronii</i>
<i>Surirella robusta</i> var. <i>splendida</i>	<i>Surirella robusta</i>	<i>Synedra affinis</i>	<i>Synedra amphicephala</i>
<i>Synedra ulna</i>	<i>Synedra vaucheriae</i>	<i>Synedra vaucheriae</i> var. <i>capitellata</i>	
Chlorophyta			
<i>Acanthosphaera zachvatkini</i>	<i>Actinastrum hantzschii</i>	<i>Ankistrodesmus acicularis</i>	<i>Ankistrodesmus angustus</i>
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	<i>Ankistrodesmus spiralis</i>	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>	<i>Chlamydomonas microspora</i>
<i>Characium linneticum</i>	<i>Chlorella ellipsoidea</i>	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>
<i>Chlorococcum humicola</i>	<i>Chlorococcum infusionum</i>	<i>Chodatella ciliata</i>	<i>Chodatella quadriseta</i>
<i>Chodatella subsalsa</i>	<i>Closterium lunula</i>	<i>Cocconeis huskii</i>	<i>Coelastrum microporum</i>
<i>Coelastrum reticulatum</i>	<i>Coelastrum sphaericum</i>	<i>Cosmarium binum</i>	<i>Cosmarium bioculatum</i>
<i>Cosmarium depressum</i>	<i>Cosmarium formosulum</i>	<i>Cosmarium globosum</i>	<i>Cosmarium granatum</i>
<i>Cosmarium impressulum</i>	<i>Cosmarium huangsiensis</i>	<i>Cosmarium laeve</i>	<i>Cosmarium moniliforme</i>

续表

<i>Cosmarium obtusatum</i>	<i>Cosmarium pachydermun</i>	<i>Cosmarium portianum</i>	<i>Cosmarium subprotundum</i>
<i>Cosmarium subundatum</i>	<i>Crucigenia hastatum</i>	<i>Crucigenia lauterborni</i>	<i>Crucigenia quadrata</i>
<i>Cylindrocystis crassa</i>	<i>Desmidium baileyi</i>	<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>
<i>Dimorphococcus lunatus</i>	<i>Echinospaerella linnetica</i>	<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	<i>Euastrum anatum</i>
<i>Euastrum dentiatulum</i>	<i>Geniella minor</i>	<i>Golenkinia radiata</i>	<i>Gonatozygon monotonium</i>
<i>Homidium flaccidum</i>	<i>Homidium subtile</i>	<i>Hyalothea</i> sp.	<i>Kirchneriella lunaris</i>
<i>Kirchneriella obesa</i>	<i>Merotrichia bocillata</i>	<i>Micractinium pusillum</i> var. <i>longisetum</i>	<i>Microspora stagnorum</i>
<i>Oocystis borgei</i>	<i>Oocystis elliptica</i>	<i>Oocystis lacustris</i>	<i>Oocystis solitaria</i>
<i>Palmella mucosa</i>	<i>Pediastrum biradiatum</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Pediastrum duplex</i>
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracillimum</i>	<i>Pediastrum integrum</i>	<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i>	<i>Pediastrum simplex</i>
<i>Pediastrum tetras</i>	<i>Quadrigula chodatii</i>	<i>Scenedesmus araucatus</i>	<i>Scenedesmus amatus</i>
<i>Scenedesmus bijugatus</i>	<i>Scenedesmus cavinatus</i>	<i>Scenedesmus dinophus</i>	<i>Scenedesmus javaensis</i>
<i>Scenedesmus perforatus</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Schroederia robusta</i>	<i>Scrastrum americanum</i>
<i>Selenastrum gracile</i>	<i>Selenastrum minutum</i>	<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	<i>Spondylosium moniliforme</i>
<i>Staurostrum aristifenum</i>	<i>Staurostrum connatum</i>	<i>Staurostrum connatum</i>	<i>Staurostrum crenulatum</i>
<i>Staurostrum dejectum</i>	<i>Staurostrum apiculatum</i>	<i>Staurostrum cuspidatum</i>	<i>Staurostrum gemelliparum</i>
<i>Staurostrum gracile</i>	<i>Staurostrum indentatum</i>	<i>Staurostrum muticum</i>	<i>Staurostrum sexangulare</i>
<i>Staurostrum</i> sp. 1	<i>Staurostrum</i> sp. 2	<i>Staurostrum tetracrum</i>	<i>Tetraedron regulare</i>
<i>Tetraedron trigonum</i>	<i>Tetraedron tumidulum</i>	<i>Tetraedron caudatum</i>	<i>Tetraedron hastatum</i>
<i>Tetraedron minus</i>	<i>Tetraedron trigonum</i> var. <i>gracile</i>	<i>Tetraspora lacustris</i>	<i>Tetrasporidium javanicum</i>
<i>Traubaria rotularis</i>	<i>Trochiscia reticularis</i>	<i>Westella botryoides</i>	<i>Westellopsis linearis</i>
<i>Ulothrix variabilis</i>			
Pyrrophyta			
<i>Ceratium hirundinella</i>	<i>Peridinium bipes</i>	<i>Peridinium elpatievskyi</i>	<i>Peridinium guwinski</i>
<i>Peridinium pusillum</i>	<i>Peridinium umbonatum</i>	<i>Peridinium volzii</i>	<i>Peridinium zonatum</i>
Chrysophyta			
<i>Dicera phaseolus</i>	<i>Dinobryon bavarium</i>	<i>Dinobryon cylindricum</i>	<i>Dinobryon divergens</i>
<i>Dinobryon sertularia</i>	<i>Dinobryon sertularia</i> var. <i>protuberans</i>		
Xanthophyta			
<i>Chlorobotrys regularis</i>	<i>Tribonema affine</i>	<i>Tribonema minus</i>	<i>Gloeobotrys linnetica</i>
Euglenophyta			
<i>Phacus pyrum</i>	<i>Euglena pisciformis</i>		
Rhodophyta			
<i>Porphyridium cruentum</i>			