

# 广州市景观湖微囊藻的分类学研究

李扬<sup>1</sup>, 周娅<sup>1</sup>, 岑竞仪<sup>1</sup>, 吕颂辉<sup>2\*</sup>, 胡鸿钧<sup>3</sup>

(1. 华南师范大学生命科学学院, 广东省水产健康安全养殖重点实验室, 广东省高等学校生态与环境科学重点实验室, 广州 510631; 2. 暨南大学生命科学技术学院, 赤潮与水环境研究中心, 广州 510632; 3. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

**摘要:** 于2008年3月至2009年4月,对广州市区若干景观湖水体的微囊藻属(*Microcystis*)进行分类学研究。共观察到11种微囊藻,分别是铜绿微囊藻(*M. aeruginosa* Kützing)、放射微囊藻(*M. botrys* Teiling)、坚实微囊藻(*M. firma* Kützing)、水华微囊藻(*M. flosoaquae* Wittrock)、鱼害微囊藻(*M. ichthyoblabe* Kützing)、挪氏微囊藻(*M. novaceki* Komárek)、苍白微囊藻(*M. pallida* (Farlow) Lemm.)、假丝微囊藻(*M. pseudofilamentosa* Crow)、史密斯微囊藻(*M. smithii* Komárek & Anagnostidis)、绿色微囊藻(*M. viridis* A. Braun)和惠氏微囊藻(*M. wesenbergii* Komárek),对它们的形态学特征进行描述,并比较这些种类间的形态区别。

**关键词:** 微囊藻; 分类; 景观湖; 广州

中图分类号: Q949.220.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)04-0405-10

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.04.014

## Taxonomic Study on *Microcystis* (Cyanophyta) from Some Scenic Lakes in Guangzhou

LI Yang<sup>1</sup>, ZHOU Ya<sup>1</sup>, CEN Jing-yi<sup>1</sup>, LÜ Song-hui<sup>2\*</sup>, HU Hong-jun<sup>3</sup>

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Healthy and Safe Aquaculture, Key Laboratory of Ecology and Environment Science in Guangdong Higher Education, College of Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 2. Research Center for Harmful Algae and Aquatic Environment, College of Life Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 3. Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** From March 2008 to April 2009, the morphological taxonomy of *Microcystis* collected from several typical scene lakes/ponds in Guangzhou was studied. Eleven *Microcystis* taxa had been identified totally as *M. aeruginosa* Kützing, *M. botrys* Teiling, *M. firma* Kützing, *M. flosoaquae* Wittrock, *M. ichthyoblabe* Kützing, *M. novaceki* Komárek, *M. pallida* (Farlow) Lemm., *M. pseudofilamentosa* Crow, *M. smithii* Komárek & Anagnostidis, *M. viridis* A. Braun and *M. wesenbergii* Komárek. Their morphological characters were described and photoed under light microscope, and the morphological differences among *Microcystis* species were compared.

**Key words:** *Microcystis*; Taxonomy; Scenic lake; Guangzhou

随着水体富营养化程度的日益加剧,蓝藻水华的发生越来越频繁。蓝藻水华不仅破坏了健康平衡的水生生态系统,而且因藻细胞释放的藻毒素对人和动物的饮用水安全构成了严重的威胁,微囊藻(*Microcystis*)是淡水蓝藻水华的主要物种之一,成为世界水环境问题的焦点<sup>[1-3]</sup>。我国受微囊藻水华

危害最严重的是江苏太湖和云南滇池,每年5~10月,微囊藻生物量占藻类总生物量的40%~98%,导致水生生态系统失调、景观破坏,并对周边地区饮用水安全构成重大威胁<sup>[4-5]</sup>。长江、黄河中下游的许多湖泊和水库中也相继发生微囊藻水华,并检测到藻毒素<sup>[6-7]</sup>。

收稿日期:2009-07-13 接受日期:2010-01-12

基金项目:国家自然科学基金项目(30700046);广东省自然科学基金博士启动项目(7300190)资助

作者简介:李扬(1978~),男,副研究员,博士,主要从事藻类分类学和生态学研究, email: liyang@senu.edu.cn

\* 通讯作者 Corresponding author, email: lusonghui1963@163.com

广州是珠江三角洲地区的核心城市之一,面积 7434 km<sup>2</sup>,属于亚热带湿润季风气候区,海洋性气候显著,雨量丰沛,大型河道、湖泊等淡水水体面积大,生态类型多样。对广州淡水藻类的研究不多,如零星报道广东若干大型供水水库、湖泊及河道发现微囊藻水华<sup>[8]</sup>,而对广东水体中微囊藻毒素检测等的研究较多<sup>[9-11]</sup>。广东水体中微囊藻的种类研究还十分有限。

目前,全球有 30 多种微囊藻被描述,但微囊藻属的分类系统仍然模糊和混乱<sup>[1,12]</sup>,微囊藻的分类鉴定存在困难。Komárek 等对微囊藻物种进行了修订和再描述,并提出了新的分类系统<sup>[13]</sup>,已被广为接受和采纳。中国报道的微囊藻有 19 种<sup>[14-18]</sup>。我国对微囊藻的研究主要集中在生理、生态和毒理等方面,在分类和种类多样性方面较为薄弱。虞功

亮等<sup>[1]</sup>对云南滇池的微囊藻进行观察和鉴定,确定了 10 种微囊藻的形态特征,明确了它们的区别特征,并对多个微囊藻种类进行修订。本文对广州淡水水体的微囊藻进行了 1 年的调查,旨在了解广州地区微囊藻的种类多样性,确定优势种类,为进一步研究提供基础理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究水体概况

广州市区选择越秀公园南秀湖、天河公园柳湖、华南理工大学西湖、华南农业大学华山湖、暨南大学明湖进行采样,各水体的地理分布见图 1。研究水体为静止人工水体,水深约为 2 m,受人为活动影响较大,多为富营养化较严重的水体。



图 1 采样水体的地理分布

Fig. 1 Location of sampling plots in Guangzhou

### 1.2 样品的采集和固定

2008 年 3 月至 2009 年 4 月进行采样,每 2 周采样一次。采用样品瓶直接采集和网采过滤(自制 10 μm 浮游植物网)两种方法。瓶采样品 3 L,用于定量分析;网采样品用于定性分析。采集的样品现场都用鲁哥氏液固定保存。

### 1.3 观察和计数

样品固定后带回实验室,采用静置沉淀的方法浓缩到 10~50 mL,视浮游植物浓度而定。取一定

体积的浓缩样品滴在浮游植物计数板上,盖上盖玻片,在 Olympus BX61 显微镜下观察,用 700 万像素数码相机拍照。

## 2 结果

根据群体的形态、胶被结构、细胞的直径、群体中的细胞组成和密度、色素和生活史等特征<sup>[1,3,13]</sup>,共鉴定了 11 种微囊藻,分别是铜绿微囊藻(*M. aeruginosa*)、放射微囊藻(*M. botrys*)、坚实微囊藻(*M.*

*firma*)、水华微囊藻(*M. flosaquae*)、鱼害微囊藻(*M. ichthyoblabe*)、挪氏微囊藻(*M. novacekii*)、苍白微囊藻(*M. pallida*)、假丝微囊藻(*M. pseudofilamentosa*)、史密斯微囊藻(*M. smithii*)、绿色微囊藻(*M. viridis*)和惠氏微囊藻(*M. wesenbergii*)。

### 2.1 铜绿微囊藻 (图版 I : 1~3)

*Microcystis aeruginosa* Kützing in Tab. Phycol. 1: 6. 1846; Geitler in Cyanophyceae 137, fig. 59: d. 1932; Desikachary in Cyanophyta 93, pl. 17, figs. 1, 2, 6, pl. 18, fig. 10. 1959; Hu et al. in Freshwater Algae in China 11, pl. 1, figs. 3~5. 1980; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 232, fig. 304. 1999; Hu et al. in Freshwater Algae in China, 68, pl. II-10, fig. 2. 2006; Yu et al. in J. System. Evolu. 5: 729, figs. 1~2, 2007.

*Microcystis aeruginosa* var. *aeruginosa* Chu in Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis. Tomus II Chroococcophyceae 16, pl. III, fig. 1. 1991.

*Microcystis aeruginosa* var. *major* (Wittrock) Smith, Smith G. M. in Prelimin. List. Alg. Wisc. Lakes, Trans. Wisc. Ac. Sc. 18, p. 2. 1916; Chu in Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis. Tomus II Chroococcophyceae 17, pl. III, fig. 2. 1991.

*Microcystis aeruginosa* var. *minor* H. W. Liang in Journ. Fujian Normal Univ. (Natural Science Edition) 3: 84, figs. 1~2. 1987.

群体较大,一般肉眼可见,自由漂浮生活。群体形态变化较大,早期多为球形或椭圆形,中实,为青绿色或黑绿色,随着群体不断增大,最终为不规则形状,胶被常破裂或穿孔,成为树枝状或似窗格的网状体<sup>[1]</sup>。胶被无色或略微黄绿色,胶被边缘不易见,无分层。胶被不密贴细胞,胶被内细胞排列较为紧密。细胞呈球形,直径3.5~6.0 μm。细胞原生质体深蓝绿色或黑绿色,有气囊。水华颗粒大,颜色深蓝绿色。

**分布:**在多个水体的多个月份均有发现,季节跨度最为广泛,表现为春末夏初最盛,秋冬季较少,其中在暨南大学明湖的各个采样时段均有发现,细胞密度在7~8月最高,达到10<sup>8</sup> cells L<sup>-1</sup>水平。该种除南北极区和相近地区外,世界分布,是否存在不同的地理型,还有待研究。为浮游产毒种类,是形成水华的最主要种类<sup>[1]</sup>。

### 2.2 放射微囊藻 (图版 I : 4~5)

*Microcystis botrys* Teiling in Botanica Notiser 65, fig. 3. 1942; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 228, fig. 298. 1999; Yu et al. in J. System. Evolu. 5: 730, figs. 3~4, 2007.

群体外形为球形至椭圆形,自由漂浮生活。群体直径为50~200 μm。球形群体间通过胶被相互连接成更大的球体或不规则的群体,不形成穿孔或树枝状。胶被无色或微黄绿色,明显但边界模糊,易溶解。胶被不密贴细胞,距离2 μm以上。胶被内细胞排列较为紧密,呈放射状,外层有少数细胞独立且稍远离群体。细胞球形,直径4.0~6.0 μm。细胞原生质体蓝绿色或浅棕黄色,有气囊。

**分布:**为浮游种类,常发生在淡水湖泊、池塘或微咸水体中。各个水体中均有发现,高值期相对集中在春季和夏季,最高细胞密度达到10<sup>8</sup> cells L<sup>-1</sup>水平,出现在暨南大学明湖(2008年7月5日)。本种在我国还分布于北京(护城河和北海)、浙江(西湖、绍兴河)、云南(滇池)、湖北(武昌)<sup>[3,18]</sup>,以及德国柏林(Wannsee湖)<sup>[2]</sup>,欧洲,南非,波罗的海区域<sup>[13,19]</sup>。

### 2.3 坚实微囊藻 (图版 I : 6~7)

*Microcystis firma* (Kützing) Schmidle in Englers Bot. Jahrb. 32: 57, pl. 3. 1902; Geitler in Cyanophyceae 140. 1932; Chu in Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis. Tomus II Chroococcophyceae 15 (excl. pl. II, fig. 4), 1991; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al. Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 226, fig. 296. 1999; Hu et al. in Freshwater Algae in China, 67, pl. II-9, fig. 6. 2006; Yu et al. in J. System. Evolu. 5: 731, figs. 5~6, 2007.

*Polycystis firma* (Breb. & Lenorm) Rabenhorst in Fl. Europa Algarum II 53. 1865.

群体较小,质地较致密,有时肉眼可见,自由漂浮生活,棕褐色,扁平状,不形成穿孔或树枝状。胶被坚硬、无色、不明显。胶被稍贴细胞群体边缘,但不密贴。胶被内细胞排列密集,透光性弱。细胞球形,直径2.0~3.5 μm。细胞原生质体棕色,有气囊。

**分布:**浮游种类,常发生在富营养化的水体中,未见单独发生水华,常伴随其他水华种类出现。本

种在天河公园柳湖分布最为广泛,最高细胞密度  $10^7$  cells  $L^{-1}$  出现在 2008 年 7 月 20 日。本种还记录于中国黑龙江(哈尔滨)、陕西(西安)<sup>[3]</sup>; 国外分布于前苏联、德国、非洲、日本<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 水华微囊藻 (图版 I : 8)

*Microcystis flos-aquae* (Wittrock) Kirchner in Engler-Prantl, *Natürliche Pflanzenfamilien* I, 1a, 56, fig. 49 (n). 1900; Crow in *New Phytologist* 22(2): 59, pl. 1, figs. b, c. 1923; Geitler in *Cyanophyceae* 138, fig. 60 (excl. fig. 59: e, f). 1932; Desikachary in *Cyanophyta* 94 (excl. fig.). 1959; Hu et al. in *Freshwater Algae in China* 13, pl. 2, figs. 1,2. 1980; Chu in *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis. Tomus II Chroococcophyceae* 16, pl. II, fig. 8. 1991; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 228, fig. 300. 1999; Hu et al. in *Freshwater Algae in China*, 67, pl. II-10, fig. 1. 2006; Yu et al. in *J. System. Evolu.* 5: 731, figs. 7~8, 2007.

群体较小,结实,自由漂浮生活,橄榄绿或棕色,多为球形、椭圆形或不规则形,不形成穿孔和树枝状,成熟群体偶有不明显的小穿孔。群体有时大型,肉眼可见。胶被无色透明、不明显、易溶解。胶被密贴细胞群体边缘,胶被内细胞排列较紧密。细胞球形,直径  $3.0 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 。细胞原生质体蓝绿色或棕黄色,有气囊。

分布:滇池常年可见<sup>[3]</sup>,为浮游种类,世界分布。主要生活于中营养化和富营养化水体中,能单独或参与形成水华,并能产生毒素<sup>[2-3,19]</sup>。本种在暨南大学明湖分布最为广泛,最高细胞密度  $10^8$  cells  $L^{-1}$  出现在 2009 年 1 月 21 日。

#### 2.5 鱼害微囊藻 (图版 I : 9)

*Microcystis ichthyoblabe* Kützing *Systemkunde der Tange* 7. 1843; Geitler in *Cyanophyceae* 140, 1932; Chu in *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis. Tomus II Chroococcophyceae* 14, pl. II, fig. 3. 1991; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 226, fig. 297. 1999; Hu et al. in *Freshwater Algae in China*, 65, pl. II-9, fig. 5. 2006; Yu et al. in *J. System. Evolu.* 5: 732, figs. 9 ~ 10, 2007.

群体蓝绿色或棕黄色,自由漂浮生活,团块较小,不定形、海绵状,可形成肉眼可见的群体,不形成叶状,但少数成熟群体中可见不明显穿孔。胶被透明易溶解、不明显、无色或微黄绿色。胶被密贴细胞群体边缘。胶被内细胞排列不紧密,常聚集为多个小细胞群。细胞小,球形,直径  $2.2 \sim 4.0 \mu\text{m}$ 。细胞原生质体蓝绿色或棕黄色,有气囊。

分布:该种为浮游种类,世界分布,本种与 *M. aeruginosa* 是欧洲最主要的水华形成种类,为有毒种类。滇池常年可见<sup>[3]</sup>,中国北京、山东、湖北(武昌)、江苏、浙江、上海(滴水湖)、江西、福建及广东等地均有分布。本研究各水体中都有分布,最高细胞密度( $10^9$  cells  $L^{-1}$ )出现在越秀公园(2009 年 1 月 22 日)。

#### 2.6 挪氏微囊藻 (图版 I : 10 ~ 12)

*Microcystis novacekii* (Komárek) Compère 1974 in Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 231, fig. 302. 1999.

*Diplocistis novacekii* Komárek in Komárek & Ettl. *Algologische Studien* 63.1958; Compère in *Bull. du Jardin Botanique National de Belgique* 44: 17. 1974; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 230, fig. 302. 1999; Yu et al. in *J. System. Evolu.* 5: 732, figs. 11 ~ 12, 2007.

*Anacystis marginata* (Meneghini) 1837 sine typo, sensu Rabenhorst 1865 et auct. Post. *Microcystis marginata* (Meneghini) Kützing 1846 excl. type; *Microcystis aeruginosa* f. *marginata* (Meneghini) Elenkin 1938 sine typo, Komárek & Anagnostidis in Ettl et al. *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 231, fig. 302. 1999.

*Anacystis montana* f. *montana* Drouet & Daily 1956, Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 231, fig. 302. 1999.

群体球形或不规则球形,自由漂浮生活。团块较小,直径  $50 \sim 300 \mu\text{m}$ 。群体之间通过胶被连接,形成更大或不规则的球体,一般为 3 ~ 5 个小群体

连接成环状,但群体内不形成穿孔或树枝状。胶被无色或微黄绿色、明显但边界模糊、易溶。胶被离细胞边缘远,距离5  $\mu\text{m}$ 以上。胶被内细胞排列不紧密,外层细胞呈放射状排列,少数细胞散离群体。细胞球形,直径3.5~6.2  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体黄绿色,有气囊。

**分布:**淡水浮游种类,常在中或富营养型的湖泊、池塘、水库等水体中,可形成或参与形成水华。本种在华南农业大学华山湖最为丰富,2008年7月23日细胞密度最高,达到 $10^7$  cells  $\text{L}^{-1}$ 。本种在亚洲广泛分布,分布于中国北京(护城河和北海)、浙江(杭州、绍兴)、上海(滴水湖)、云南(滇池)、湖北(武昌)、内蒙古<sup>[3,18]</sup>;日本(琵琶湖)、韩国(Seo-Nakdong河)、泰国(Chon Bri, Nakhornpathom)、英国苏格兰也有分布<sup>[2]</sup>。

## 2.7 苍白微囊藻 (图版 II: 13~14)

*Microcystis pallida* (Farlow) Lemm. 1910; Chu, 1968; Hu et al. in *Freshwater Algae in China*, 67, pl. II-9, fig. 9. 2006.

群体灰蓝绿色,形状不规则。胶被极不明显。细胞球形或近圆形,处于分裂时期的细胞呈两个半球形,直径5.2~6.7  $\mu\text{m}$ 。细胞排列松散,无规律。原生质体均匀或具有微小的颗粒,蓝绿色,无气囊。

根据 Farlow 的原始描述, Komárek 和 Anagnostidis 认为应该归并到隐杆藻属 (*Aphanothece*), 为苍白隐杆藻 (*A. pallida*)<sup>[13]</sup>。但尚未提出明显分类学依据,故本研究仍鉴定为苍白微囊藻。

**分布:**本种广泛分布于各类静止水体中。本研究的样品中出现次数较少,暨南大学明湖(2009年4月4日)有见。

## 2.8 假丝微囊藻 (图版 II: 15~16)

*Microcystis pseudofilamentosa* Crow in *New Phytologist* 22(2): 59, pl. 1, figs. e, f, 1923; Geitler in *Cyanophyceae* 138, fig. 61. 1932; Desikachary in *Cyanophyta* 94, pl. 20, fig. 1. 1959; Hu et al. in *Freshwater Algae in China*, 11, pl. 1, figs. 1, 2. 1980; Chu in *Flora Algae Sinicarum Aquae Dulcis*. Tomus II *Chroococcophyceae* 12, pl. I, figs. 1, 2. 1991; Hu et al. in *Freshwater Algae in China*, 63, pl. II-8, fig. 7. 2006; Yu et al. in *J. System. Evolu.* 5: 734, figs. 13~14, 2007.

群体窄长,带状,自由漂浮生活。群体上收缢和膨大部分相间出现,形成类似分节的串联体,膨大处的细胞较收缢处密集。藻体通常由两个以上这样的亚群体组成,当串联到一定长度和规模,藻体局部常扩大或断裂成网状或树枝状。群体胶被无色透明、不明显、易溶解。细胞之间充满胶被,随机分布,排列密集。细胞球形,直径3.5~5.5  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体蓝绿色或茶青色,有气囊。

**分布:**浮游种类,主要生活于各种静止水体中,如小池塘、稻田、洼地、湖泊等,能参与形成水华。本种分布广泛,在暨南大学明湖的密度较高,2008年8月6日达到峰值 $10^8$  cells  $\text{L}^{-1}$ 。滇池常年可见,还分布于中国安徽(巢湖)、山东(微山湖)、湖北(武昌)、四川(成都)、云南(星云湖、杞麓湖、滇池)、西藏(波密)<sup>[3,18]</sup>。国外分布于斯里兰卡、俄罗斯和阿根廷<sup>[19]</sup>。

## 2.9 史密斯微囊藻 (图版 II: 17~18)

*Microcystis smithii* Komárek & Anagnostidis in *Preslia, Praha.* 67: 15. 1995; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (*Cyanoprokaryota* 1. Teil: *Chroococcales*) 228, fig. 299. 1999. *Aphanocapsa pulchra* (Kützing) Rabenhorst 1865, Geitler in *Cyanophyceae* 159, fig. 69: g. 1932; Desikachary in *Cyanophyta* 132, pl. 21, fig. 2. 1959; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (*Cyanoprokaryota* 1. Teil: *Chroococcales*), 229, fig. 299: a~c. 1999; Yu et al. in *J. System. Evolu.* 5: 734, figs. 15~16, 2007.

*Microcystis grevillei* sensu Smith G M 1920 (planktic form); *Microcystis grevillei* f. *pulchra* (Kützing) Elenkin 1936 sensu auct. Post.; non *Microcystis pulchra* Flotow 1842; *Aphanocapsa grevillei* (Kützing) Rabenhorst 1865 (planktic form), Chu in *Flora Algae Sinicarum Aquae Dulcis*. Tomus II *Chroococcophyceae* 24, pl. IV, fig. 1. 1991.

群体团块较小,球形或近球形,不形成穿孔或树枝状,自由漂浮生活。胶被无色或微黄绿色,易见,边界模糊,易溶解。胶被离细胞边缘远,距离5  $\mu\text{m}$ 以上。胶被内细胞围绕胶被稀疏而规律地排列,细胞单个或成对出现。细胞间隙较大,远大于细胞直径。细胞球形,较小,直径2.2~5.5  $\mu\text{m}$ 。细

胞原生质体蓝绿色或茶青色,有气囊。

分布:淡水浮游种类,在清洁和富营养型的湖泊中常见,池塘中也有。本种在暨南大学明湖的密度于 2009 年 2 月 6 日达到峰值,为  $10^7$  cells  $L^{-1}$ 。云南滇池常年出现,滇池周边池塘可见其单独形成的水华。分布于中国云南(滇池)、湖北(武昌)<sup>[3,18]</sup>。美国、阿根廷、欧洲的波兰、希腊、以及非洲的近海岸都有分布<sup>[2,19]</sup>。

## 2.10 绿色微囊藻 (图版 II : 19)

*Microcystis viridis* (A. Braun) Lemmermann 1903 in Crow in *New Phytologist* **22** (2): 59. 1923; Geitler in *Cyanophyceae* 135. 1932; Desikachary in *Cyanophyta* 87, pl. 18, (excl. figs. 1 ~ 6). 1959; Li et al. in *Acta Hydrobiologica Sinica* **17**: 282, fig. 1. 1993; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 230, fig. 303. 1999; Yu et al. in *J. System. Evolu.* **5**: 736, figs 17 ~ 18, 2007.

*Polycystis viridis* A. Braun Rabenhorst 1862, Lemmermann in *Abhandlungen Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen* **17**: 342. 1903.

*Microcystis aeruginosa* f. *viridis* (A. Braun) Elenkin 1938, *Diplocystis viridis* (A. Braun) Komárek 1958.

群体绿色或棕褐色,自由漂浮生活,通常由上下两层 8 个细胞对称排列组成小型立方亚单位,再由 4 个亚单位组成规则方形小群体单位。每个小群体单位及亚单位都各自有胶被,但亚单位的胶被通常与群体单位的胶被融合在一起。胶被将亚单位及群体隔开,小群体单位通过胶被连接和组合可形成大型团块,肉眼可见,不形成穿孔或树枝状,大群体中小群体的排列无规律、不整齐,小群体的间距远大于亚单位的间距。胶被无色,易见,边界模糊,易溶解。胶被离细胞边缘远,距离 5~10  $\mu\text{m}$  以上。群体中细胞成对出现,分布不密贴,排列规则。细胞间隙较大,一般远大于其细胞直径。细胞较大,球形或近球形,直径 4.0~6.0  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体蓝绿色或棕色,有气囊。

分布:本种在研究水体的分布有限,细胞密度较低,多出现在 7~8 月。滇池常年可见,为浮游种类。中国的许多湖泊和鱼池中有分布,主要生活于中营养化和富营养化水体中,能形成水华,为有毒种类<sup>[3,18]</sup>。分布很广,特别是东亚的日本、韩国和中

国,欧洲较少。

## 2.11 惠氏微囊藻 (图版 II : 20 ~ 22)

*Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek 1968. — *Diplocystis wesenbergii* Komárek 1958, Komárek & Ettl in *Algologische Studien* **68**. 1958. Kondrareva in *Cvetenie vody* **13**. 1968; He et al. in *Acta Hydrobiologica Sin.* **20**: 192, fig. 1. 1996; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 232, fig. 305. 1999; Yu et al. in *J. System. Evolu.* **5**: 737, figs. 19 ~ 23, 2007.

群体形态变化大,有球形、椭圆形、卵形、肾形、圆筒状、叶瓣状或不规则形,自由漂浮生活,常通过胶被串联成树枝状或网状,集成更大的群体,肉眼可见。群体胶被明显,边界明确,无色透亮,坚固不易溶解,分层且有明显折光。胶被离细胞边缘远,距离 5~10  $\mu\text{m}$  以上。群体内细胞较少,细胞一般沿胶被单层随机排列,形成中空的群体。细胞较少密集排列,但有时排列整齐、规律,有时充满整个胶被。细胞较大,球形或近球形,直径 4.5~7.5  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体深蓝绿色或深褐色,有气囊。

分布:本种为产毒种类,在研究水体中分布广泛,细胞密度较高,2009 年 2 月 23 日在暨南大学明湖达到  $10^8$  cells  $L^{-1}$ 。滇池常年可见。世界广布种类,特别是富营养化水体中<sup>[3,18]</sup>。

## 3 讨论

### 3.1 微囊藻属的形态特征

微囊藻细胞个体微小,分类学特征主要以群体特征为主,但由于其形态学特征变化大,在分类鉴定上存在较大难度和争议,同时微囊藻属与相近属的区别也很细微。

微囊藻属与隐球藻属(*Aphanocapsa*)具有较多相似的形态学特征:团块都由许多小群体联合组成,微观或目力可见。群体球形、椭圆形或不规则形,细胞内原生质体大都均匀,呈蓝绿色,以细胞分裂进行繁殖,有 3 个分裂面。两属之间的主要区别特征是:隐球藻属群体胶被厚而柔软,无色、黄色、棕色或蓝绿色,微囊藻属群体胶被大多无色、透明,少数种类具有颜色,并且时有穿孔,形成网状或窗格状团块;隐球藻属的细胞球形,常常 2 个或 4 个细胞一组分布于群体中,组间有一定距离,微囊藻属群体中细胞数目极多,排列紧密而有规律;隐球

藻属细胞无气囊,微囊藻属漂浮种类的细胞中常含有气囊,非漂浮的种类细胞内原生质体均匀,无气囊。例如美丽隐球藻(*A. pulchra*)与史密斯微囊藻的区别细微,常出现混淆鉴定,主要区别在于细胞内气囊的有无<sup>[3]</sup>。Komárek 等认为应将不具有气囊的微囊藻种类归并到隐球藻属<sup>[13]</sup>,如寄生微囊藻(*M. parasitica*)、不定微囊藻(*M. incerta*)和棕黄微囊藻(*M. fusco-lutea*)。有无气囊是否可以作为属间的分类学依据,尚存在争议,

微囊藻属与隐杆藻属(*Aphanothece*)的群体特征也很相似,都是由胶质被包埋细胞形成,两者也存在混淆鉴定的情况。朱浩然记载的微小微囊藻(*M. minutissima*)和华美微囊藻(*M. elabens*)都有气囊<sup>[14]</sup>,其细胞不是球形或椭圆形,而是长圆形,因此, Komárek 等认为应将其修订到隐杆藻属中<sup>[13]</sup>。本研究中也观察到微小微囊藻,其细胞均为长圆形,采纳 Komárek 和 Anagnostidis 的观点,鉴定为微小隐杆藻。

### 3.2 微囊藻种间的区别

鱼害微囊藻常被当作水华微囊藻和铜绿微囊藻的幼体,出现种类误定的情况。三者之间的形态学区别特征主要体现在细胞大小和群体特征上。首先在细胞大小上,鱼害微囊藻细胞直径多数小于 3.5  $\mu\text{m}$ ,后两种的细胞直径多数大于 3.5  $\mu\text{m}$ 。其次在群体特征上,水华微囊藻群体不形成穿孔,不分枝,群体椭圆形或不规则,细胞排列紧密,胶被密贴细胞;铜绿微囊藻成熟群体常穿孔,甚至形成网格状或树枝状,群体不定形,呈球状、椭圆形或树枝状等,细胞分布均匀;而鱼害微囊藻的群体疏松,海绵状,边缘不规则,胶被密贴群体细胞边缘。

假丝微囊藻的形态特征与铜绿微囊藻也极其相似,共同特征是:细胞直径多数大于 3.5  $\mu\text{m}$ ,群体胶被可见、边界模糊、坚固、无折光,群体没有亚单位,群体内细胞聚集在 1 个共同的胶被,成熟群体常穿孔,甚至形成网格状或树枝状。主要区别特征体现在群体形态上:铜绿微囊藻群体不定形,呈球状、椭圆形或树枝状等,细胞分布均匀,而假丝微囊藻群体细长,呈带状,藻体有间隔收缢,细胞分布不均匀,在收缢处细胞密度较低。

放射微囊藻以往在国内的报道很少,并且与国外学者的描述存在一定的区别。Komárek<sup>[19]</sup>描述放射微囊藻的形态为:群体胶质中出现不明显的(染色,相差显微镜观察)、或多或少宽的辐射状、半

球形或管状胶质突起,有时连接成亚群体(subcolonies),近球形细胞排列不规则,很紧密地聚集在胶质中。虞功亮等<sup>[3]</sup>和我们均观察到这些特征,但胶被中并未观察到辐射状胶质突起,与 Komárek 的描述不完全一致。放射微囊藻、挪氏微囊藻以及史密斯微囊藻在群体形态、细胞大小等方面比较相似,主要区别在于细胞排列的紧密程度,放射微囊藻的细胞排列明显紧密,而挪氏微囊藻不十分紧密,较稀疏,史密斯微囊藻则更稀疏,其细胞间距远超过细胞的直径。此外,挪氏微囊藻细胞颜色较深,而放射微囊藻和史密斯微囊藻较浅。放射微囊藻与其他常见种类(如铜绿微囊藻和水华微囊藻)的区别,主要是细胞大小以及群体的形态,放射微囊藻的细胞呈放射状排列,其他微囊藻没有该现象<sup>[3]</sup>。

### 参考文献

- [1] Komárek J. Review of the European *Microcystis* — Morphospecies (Cyanoprokaryotes) from nature [J]. Czech Phycol, 2002, 2: 1-24.
- [2] Kurmayer R, Dittmann E, Fastner J, et al. Diversity of microcystin genes within a population of the toxic cyanobacterium *Microcystis* spp. in Lake Wannsee (Berlin, Germany) [J]. Microb Ecol, 2002, 43: 107-118.
- [3] Yu G L(虞功亮), Song L R(宋立荣), Li R H(李仁辉). Taxonomic notes on water bloom forming *Microcystis* species (Cyanophyta) from China — An example from samples of the Dianchi Lake [J]. Acta Phytotaxon Sin(植物分类学报), 2007, 45(5): 727-741.(in Chinese)
- [4] Tan X(谭啸), Kong F X(孔繁翔), Zeng Q F(曾庆飞), et al. Seasonal variation of *Microcystis* community in Taihu Lake [J]. J Ecol Rur Environ(生态与农村环境学报), 2009, 25(1): 47-52.(in Chinese)
- [5] Wang Y W(汪育文), Li J H(李建宏), Wu M(吴敏), et al. Composition of *Microcystis* species of the cyanobacterial bloom in Xuanwu Lake of Nanjing [J]. Environ Sci(环境科学), 2007, 28(10): 2187-2191.(in Chinese)
- [6] Li K(李堃), Yin F C(殷福才), Jia L Q(贾良清), et al. Study on the ecology of *Microcystis* [J]. J Biol(生物学杂志), 2007, 24(5): 1-4.(in Chinese)
- [7] 雷腊梅, 宋立荣. 微囊藻及其毒素的分子生物学研究进展 [J]. 自然科学进展, 2002, 12(4): 350-355.
- [8] Chen D(陈迪), Zhang Q(章群), Qian K C(钱开城), et al. Sequence analysis of 16S rRNA gene from 3 *Microcystis flos-aquae* in Guangdong Reservoirs [J]. Ecol Sci(生态科学), 2006, 25(1): 41-42.(in Chinese)
- [9] Li M C(李慕婵), Yuan J E(袁嘉恩), Lei L M(雷腊梅), et al. Using PCR for studying seasonal distribution of toxic *Microcystis* from scenic sites in Guangzhou [J]. Ecol Sci(生态科学), 2006, 25(6):

- 512-516.(in Chinese)
- [10] Xie S T(谢数涛), Zhang Z H(张占会), Han B P(韩博平), et al. Detection of toxic *Microcystis* from reservoir water samples by nested PCR [J]. Acta Hydrobiol Sin(水生生物学报), 2007, 31(2): 184-189.(in Chinese)
- [11] Wang Z H(王朝晖), Lin S J(林少君), Han B P(韩博平), et al. Distribution of microcystins in typical water supply reservoirs and lakes in Guangdong Province [J]. Acta Hydrobiol Sin(水生生物学报), 2007, 31(3): 307-311.(in Chinese)
- [12] Otsuka S, Suda S, Li R, et al. Morphological variability of colonies of *Microcystis* morphospecies in culture [J]. J Gen Appl Microbiol, 2000, 46: 39-50.
- [13] Komárek J, Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales [C]// Ettl H, Gartner G, Heynig H, et al. Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1. Ulm: Gustav Fischer, 1999: 164-190.
- [14] Chu H J(朱浩然). Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis. Tomus II. Chroococcophyceae [M]. Beijing: Science Press, 1991: 11-23. (in Chinese)
- [15] Li R H(李仁辉), He Z R(何振荣), He J W(何家菀), et al. Preliminary studies on a Chinese new record of blue-green algae-*Microcystis viridis* and its toxicity [J]. Acta Hydrobiol Sin(水生生物学报), 1993, 17(3): 282-284.(in Chinese)
- [16] He J W(何家菀), Li L P(李络平), Yu J L(俞家禄), et al. Preliminary studies on a Chinese new record of blue-green algae — *Microcystis wesenbergii* and its toxicity [J]. Acta Hydrobiol Sin(水生生物学报), 1996, 20(2): 192-194.(in Chinese)
- [17] Hu H J(胡鸿钧), Wei Y X(魏印心). The freshwater algae of China [M]// Systematics, Taxonomy and Ecology. Beijing: Science Press, 2006: 62-68.(in Chinese)
- [18] Yu G L(虞功亮), Li R H(李仁辉). Three newly recorded species of *Microcystis* (Cyanophyta) from China [J]. Acta Phytotaxon Sin(植物分类学报), 2007, 45(3): 353-358.(in Chinese)
- [19] Lorena V O, Fastner J, Kurmayer R, et al. Distribution of microcystin-producing and non-microcystin-producing *Microcystis* sp. in European freshwater bodies: Detection of microcystins and microcystin genes in individual colonies [J]. Syst Appl Microbiol, 2004, 27: 592-602.

## 图版说明

### 图版 I

1~3. 铜绿微囊藻; 4~5. 放射微囊藻; 6~7. 坚实微囊藻; 8. 水华微囊藻; 9. 鱼害微囊藻; 10~12. 挪氏微囊藻; Bars = 10 μm

### 图版 II

13~14. 苍白微囊藻; 15~16. 假丝微囊藻; 17~18. 史密斯微囊藻; 19. 绿色微囊藻; 20~22. 惠氏微囊藻。Bars = 10 μm

## Explanation of plates

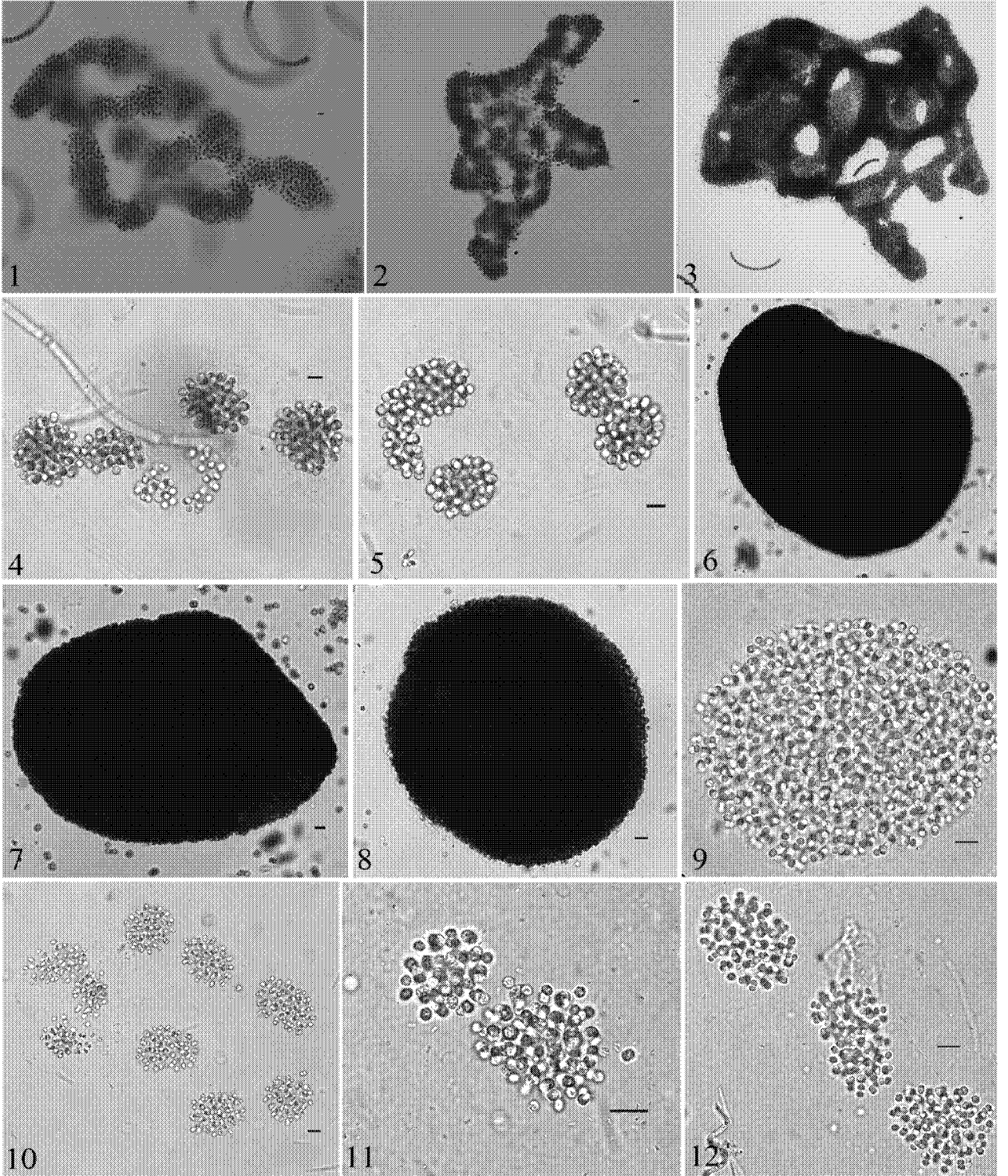
### Plate I

1~3. *M. aeruginosa*; 4~5. *M. botrys*; 6~7. *M. firma*; 8. *M. flos-aquae*; 9. *M. ichthyoblabe*; 10~12. *M. novacekii*; Bars = 10 μm

### Plate II

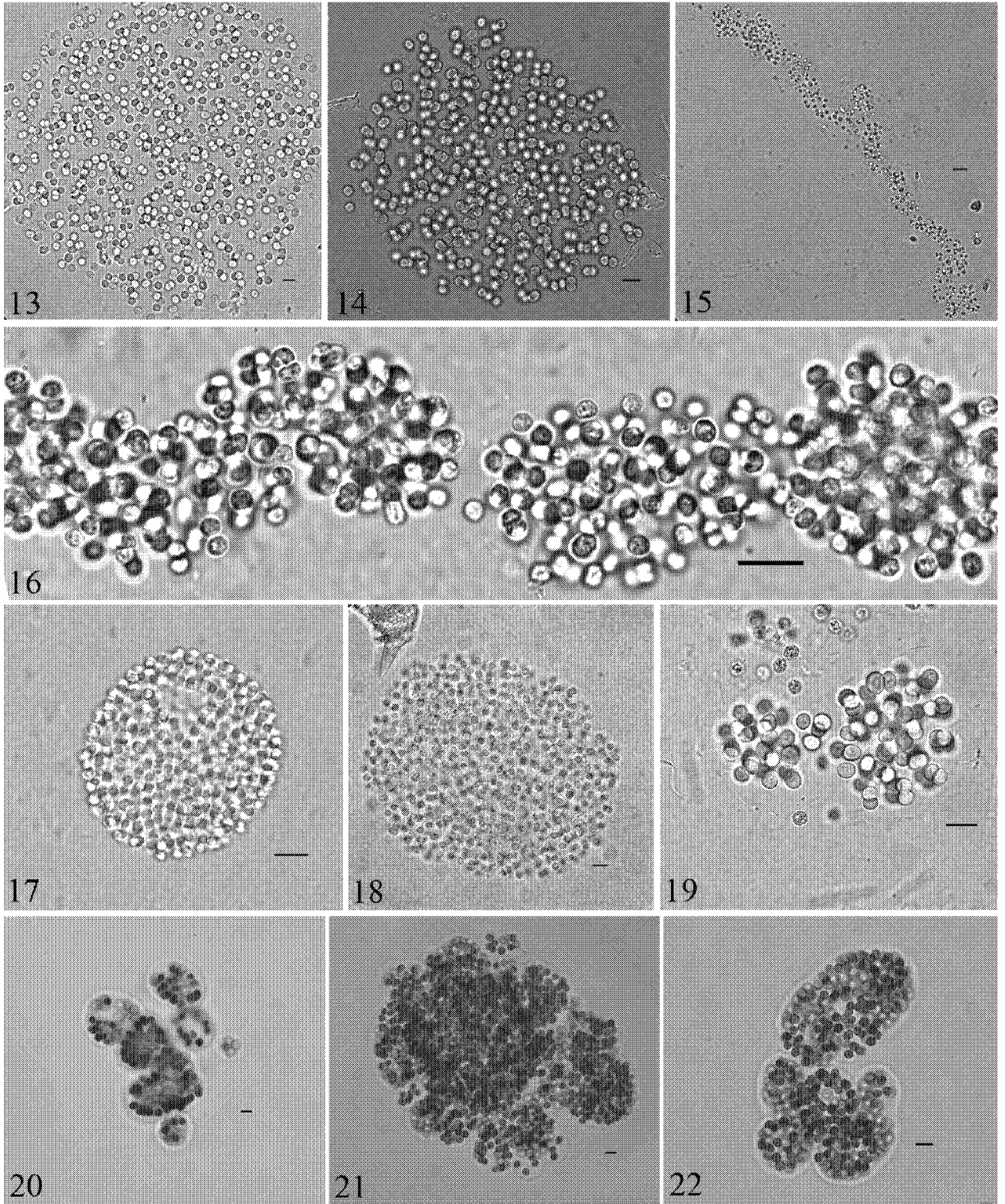
13~14. *M. pallida*; 15~16. *M. pseudofilamentosa*; 17~18. *M. smithii*; 19. *M. viridis*; 20~22. *M. wesenbergii*. Bars = 10 μm





李扬等: 图版 I

LI Yang, et al.: Plate I



李扬等: 图版 II

LI Yang, et al.: Plate II