

# 中国淡水微囊藻属常见种类的分类学讨论 ——以滇池为例

虞功亮 宋立荣 李仁辉\*

(中国科学院水生生物研究所 武汉 430072)

## Taxonomic notes on water bloom forming *Microcystis* species (Cyanophyta) from China—An example from samples of the Dianchi Lake

YU Gong-Liang SONG Li-Rong LI Ren-Hui\*

(Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract** Ten common species of *Microcystis*, based on the examination of water samples from the Dianchi Lake, Yunnan, China, were morphologically described, and their taxonomy was also discussed. They are *Microcystis aeruginosa*, *M. botrys*, *M. firma*, *M. flos-aquae*, *M. ichthyoblabe*, *M. novacekii*, *M. pseudofilamentosa*, *M. smithii*, *M. viridis* and *M. wesenbergii*. Taxonomic status of other *Microcystis* species reported in China was also evaluated.

**Key words** Cyanophyta, *Microcystis*, morphology, taxonomy, China.

**摘要** 根据中国云南滇池藻类样品的观察结果, 对中国分布的淡水微囊藻属 *Microcystis* 10个常见种的形态特征进行了描述, 同时对它们的分类学进行了讨论, 并整理出分类检索表。这10种微囊藻是铜绿微囊藻 *M. aeruginosa*、放射微囊藻 *M. botrys*、坚实微囊藻 *M. firma*、水华微囊藻 *M. flos-aquae*、鱼害微囊藻 *M. ichthyoblabe*、挪氏微囊藻 *M. novacekii*、假丝微囊藻 *M. pseudofilamentosa*、史密斯微囊藻 *M. smithii*、绿色微囊藻 *M. viridis*、惠氏微囊藻 *M. wesenbergii*。最后还讨论了中国报道的其它微囊藻种类的分类学状况。

**关键词** 蓝藻门; 微囊藻属; 形态学特征; 分类; 中国

微囊藻属 *Microcystis* Kützing 是蓝藻中一个很重要的类群。随着世界范围内水体富营养化的发展, 微囊藻在世界各地不仅产生严重的水华, 而且形成毒素及异味物质, 直接影响水生态环境的安全, 威胁人类的健康; 因此对微囊藻的研究备受关注, 成为世界水环境问题的一个焦点。随着研究的增多和深入, 全球范围内先后有50多种微囊藻被描述记载 (Geitler, 1932; Desikachary, 1959; Komárek & Anagnostidis, 1999), 但微囊藻属的分类系统仍存在许多模糊和混乱, 连一些常见的种类, 如铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa* Kützing、水华微囊藻 *M. flos-aquae* (Wittrock) Kirchner、假丝微囊藻 *M. pseudofilamentosa* Crow、鱼害微囊藻 *M. ichthyoblabe* Kützing 之间的形态分类也存在诸多疑问 (Otsuka et al., 2000; Komárek, 2002)。造成这些混乱的原因, 一方面是由于同一微囊藻种的生态表型存

2006-09-30 收稿, 2007-03-28 收修改稿。

基金项目: 科技部“863”计划项目资助(2005AA60101005); 中国科学院水生生物研究所“百人计划”启动项目资助(055102-1-501) (Supported by “863” Program of the Ministry of Science and Technology, Grant No. 2005AA60101005, and the Frontier Research Project of the Chinese Academy of Sciences, Grant No. 055102-1-501)。

\* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: [reli@ihb.ac.cn](mailto:reli@ihb.ac.cn))。

在高度的多样性,而不同的微囊藻有时又有着相同的生态表型和过渡类型,室内培养和野外群体也存在较大差别(Crow, 1923; Otsuka et al., 2000; Komárek, 2002);另一方面,现代的分类学手段如同工酶、RAPD、16S rDNA序列的应用,虽然一定程度上揭示了微囊藻与蓝藻其他属的差异,但也显示微囊藻属种类的基因型间存在高度的相似性(Otsuka et al., 2000)。多年来,这些模糊和困惑使得微囊藻的分类鉴定存在困难。

近年来, Komárek和Anagnostidis (1999)在吸收了现代化学分类学和分子分类学成果后,对大量的微囊藻物种进行了修订和再描述,并提出了新的分类系统。这个新的分类系统目前已被广为接受和采纳。在我国,微囊藻的分类鉴定主要参考《中国淡水藻类》(胡鸿钧等, 1980)和《中国淡水藻志·色球藻纲》(朱浩然, 1991)。这两本书成书时间久远,且采用的是Geitler (1932)和Desikachary (1959)的旧分类体系。近10多年来,虽有少量微囊藻的新记录被报道(李仁辉等, 1993; 何家苑等, 1996; 虞功亮, 李仁辉, 2007),但新的蓝藻分类体系很长时间内并没有被系统地引进到我国。令人欣慰的是胡鸿钧和魏印心(2006)刚刚出版了《中国淡水藻类——系统、分类及生态》,此书系统地引入国际较新的分类系统,并依据该系统对我国的淡水藻类重新进行了整理和补充,应该是目前最全面也最接近国际水平的一本关于中国淡水藻类的专著了。但是由于它不是一本蓝藻专著,关于微囊藻属的种类收录仍然不够,分类不详,如普遍存在的绿色微囊藻*M. viridis* (A. Braun) Lemmermann和惠氏微囊藻*M. wesenbergii* (Komárek) Komárek就没有被收录。因此为提高我国蓝藻分类学研究水平,避免在微囊藻鉴定上的混乱和偏差,有必要对中国分布的微囊藻的分类特征进行重新描述和整理。

最近,在我们所观察的云南滇池的水华样品中,微囊藻显示出很高的多样性和代表性。本文主要根据Komárek和Anagnostidis (1999)以及Komárek (2002)的蓝藻分类系统,对在滇池分布的微囊藻进行形态分类学描述和整理,并列出其分类检索表。

## 1 材料和方法

材料来自于2006年1-8月在滇池的西湾和福保湾采集的样品,样品均用采集瓶直接采集新鲜湖水。观察时取一滴湖水,置于载玻片上,盖上盖玻片,直接用于镜检和显微拍照。显微观察和拍照采用的设备为Olympus BX51型光学显微镜,外接500万像素的数码相机(QIMAGING Micropublish 5.0 RTV),与台式计算机(Intel P4 2.8GHz)相连。数码拍照和细胞直径的测量通过其附带的软件控制和实行。软件的图像测量前,使用Olympus的10  $\mu\text{m}$ 台测微尺校正检验,测量误差小于0.001  $\mu\text{m}$ 。

微囊藻属的分类根据Komárek和Anagnostidis (1999)以及Komárek (2002)的蓝藻分类系统。微囊藻形态分类中采用的描述标准包括有无气囊、胶鞘是否明显、群体的形状、细胞是否球形、细胞的大小和间距及排列方式、以及胶鞘离细胞群体边缘的距离等。

采集地环境数据:水温11-26  $^{\circ}\text{C}$ ,透明度5-65 cm, pH 7.62-9.65,溶解氧0.23-9.07 mg/L,总磷0.2-1.5mg/L,总氮2-18mg/L, COD 6.72-36.34 mg/L, BOD 2.76-12.96 mg/L。

## 2 结果

### 2.1 微囊藻属的特征

微囊藻属隶属于蓝藻门Cyanophyta色球藻目Chroococcales微囊藻科Microcystaceae。

模式种: *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, 1846。

群体微小或大型, 自由漂浮。形态为球形、椭圆形、不规则分叶状或长带状, 某些种类为不规则树枝状。通常由细胞聚集组成或由细胞聚集成亚群体, 再组成群体。细胞松散或紧密地规则或不规则排列在一个共同的胶被中。胶被无色或微黄绿色, 坚固或仅具模糊的薄层, 轮廓模糊或清楚。胶被紧贴或不紧贴细胞。有的种类表面有明显的折光。单个细胞没有胶被, 内含气囊。细胞球形或近球形, 分裂时细胞为半球形。某些种类的细胞壁S层有六边形亚结构。细胞以二分裂形式进行繁殖, 有三个垂直分裂面。繁殖时群体瓦解为小的细胞群或独立的单个细胞。

### 2.2 滇池内微囊藻属各种的形态特征

#### 1. 铜绿微囊藻 图1, 2

*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 H-J 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.

*Microcystis aeruginosa* var. *aeruginosa*, Chu H-J 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 H-J 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.

自由漂浮。群体团块一般较大, 肉眼可见。群体形态变化较大, 发育早期多为球形或椭圆形, 中实, 为青绿色或黑绿色, 随着发育过程群体不断增大, 最终易形成不规则形状, 胶被也常破裂或穿孔, 使群体成为树枝状或似窗格的网状体。胶被无色或微黄绿色, 不明显、无折光、无分层。胶被不密贴细胞, 距离2  $\mu\text{m}$ 以上。胶被内细胞排列较紧密。细胞球形, 直径3.8-6.3  $\mu\text{m}$ , 平均为5.3 $\pm$ 0.59  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体深蓝绿色或黑绿色, 有气囊(gas vesicle)。水华颗粒大, 颜色深蓝绿色。

分布: 在滇池常年可见, 春末夏初最盛, 秋冬季较少。该种类除南北极区和近南北极区外世界分布。是否存在不同的地理型, 还缺少有关的研究。为浮游产毒种类, 是形成水华的最主要种类。

朱浩然(1991)记载有铜绿微囊藻及其2个变种, 即铜绿微囊藻小型变种*M. aeruginosa* var. *minor* (梁惠文, 1987)和铜绿微囊藻大型变种*M. aeruginosa* var. *major* (Wittrock) (Smith, 1916; Li, 1934)。它们之间的差异在于细胞大小, 小型变种细胞直径在2-3  $\mu\text{m}$ , 而大型变种在5.5-7  $\mu\text{m}$ , 原变种在3-7  $\mu\text{m}$ 。Desikachary (1959)认为Crow (1923)的*M. aeruginosa* var. *major*仍然是铜绿微囊藻, 不是变种。由于梁惠文(1987)关于小型变种的描

述不详细, 只有细胞大小, 尤其没有气囊的描述, 附图也没有表达气囊, 因此不能确定其标本是否属于微囊藻。

## 2. 放射微囊藻 图3, 4

*Microcystis botrys* Teiling in Botanica Notiser 65. 1942; Komárek & Anagnostidis in Ettl et al., Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales),



图1-6 1, 2. 铜绿微囊藻。3, 4. 放射微囊藻。5, 6. 坚实微囊藻。  
Figs. 1-6. 1, 2. *Microcystis aeruginosa*. 3, 4. *M. botrys*. 5, 6. *M. firma*.  
Scale bars = 10  $\mu$ m.

228, fig. 298. 1999.

群体球形或近球形, 自由漂浮。群体直径一般在50–200  $\mu\text{m}$ 以上。群体通过胶被连接, 堆积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、无折光、易溶解。胶被不密贴细胞, 距离2  $\mu\text{m}$ 以上。胶被内细胞排列较紧密, 呈放射状排列, 外层有少数细胞独立且稍远离群体。细胞球形, 直径4.3–6.5  $\mu\text{m}$ , 平均5.4 $\pm$ 0.51  $\mu\text{m}$ , 其大小介于水华微囊藻与铜绿微囊藻之间。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。未见单独发生水华, 常伴随其他水华种类出现。已知分布于中国北京(护城河和北海)、浙江(西湖、绍兴河)、云南(滇池)、湖北(武昌), 德国柏林(Wannsee湖)(Kurmayer et al., 2002), 欧洲, 南非(Komárek & Anagnostidis, 1999; Lorena et al., 2004), 波罗的海区域。

### 3. 坚实微囊藻 图5, 6

**Microcystis firma** (Kützing) Schmidle in Englers Bot. Jahrb. 32: 57, pl. 3. 1902; Geitler in Cyanophyceae 140. 1932; Chu H-J 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.

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

自由漂浮。群体团块较小, 结实, 有时肉眼可见。群体棕褐色, 扁平状, 不形成穿孔或树枝状。胶被坚硬、无色、不明显、无折光。胶被稍贴细胞群体边缘, 但不密贴。胶被内细胞排列密集。细胞球形, 直径2.0–3.7  $\mu\text{m}$ , 平均为3.0 $\pm$ 0.35  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体棕色, 有气囊。

分布: 为浮游种类, 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。已知分布于中国黑龙江(哈尔滨)、陕西(西安); 国外分布于前苏联, 德国, 非洲, 日本。

根据朱浩然(1991)的描述, 该种应该是坚实微囊藻, 但其图(图版II: 4)不应是坚实微囊藻, 图中细胞稀疏, 似史密斯微囊藻 *M. smithii* Komárek & Anagnostidis. Geitler (1932) 和朱浩然(1991)记载坚实微囊藻直径为0.8–2.3  $\mu\text{m}$ , Watanabe (1999)记录日本分布的坚实微囊藻直径约2.0  $\mu\text{m}$ , 相比之下, 滇池藻种的细胞直径偏大。

### 4. 水华微囊藻 图7, 8

**Microcystis flos-aquae** (Wittrock) Kirchner in Engler-Prantl, Natürliche Pflanzenfamilien I, 1a, 56, fig. 49 (n). 1900; Crow in The 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 H-J et al. in Freshwater Algae in China 13, pl. 2, figs. 1, 2. 1980; Chu H-J 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.

自由漂浮。群体团块较小, 较结实。群体橄榄绿或棕色, 多为球形、椭圆形或不规则形, 不形成穿孔和树枝状。在成熟群体中偶尔也有不明显的小孔。群体有时大型, 肉眼可见。胶被无色透明、不明显、无折光、易溶解。胶被密贴细胞群体边缘。胶被内细胞排列较紧集。细胞球形, 直径3.1–5.3  $\mu\text{m}$ , 平均3.9 $\pm$ 0.43  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体蓝绿色或棕黄色,

有气囊。

分布: 在滇池常年可见。该种为浮游种类, 全世界分布很广。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。

该种常常被认为是与鱼害微囊藻 *M. ichthyoblabe* Kützing 有着同样细胞排列的小群体, 或被当作铜绿微囊藻。但后者的细胞直径要大于鱼害微囊藻。德国柏林 Wannsee 湖的水华微囊藻细胞直径 3.7–4.9  $\mu\text{m}$ , 平均为 4.6  $\mu\text{m}$ , 群体直径达 180–2500  $\mu\text{m}$ , 平均为 1170  $\mu\text{m}$  (Kurmayer et al., 2002)。Komárek 和 Anagnostidis (1999) 报道的细胞直径为 3.5–4.8  $\mu\text{m}$ 。

### 5. 鱼害微囊藻 图9, 10

*Microcystis ichthyoblabe* Kützing in Phycologia generalis, oder Anatomie, Physiologie und Systemkunde der Tange 7. 1843; Geitler in Cyanophyceae 140, 1932; Chu H-J 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.

自由漂浮。群体蓝绿色或棕黄色, 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, 但有时在少数成熟的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、无折光。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 1.7–3.6  $\mu\text{m}$ , 平均 2.8 $\pm$ 0.46  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体蓝绿色或棕黄色, 有气囊。

分布: 在滇池常年可见。该种为浮游种类, 全世界分布很广, 在欧洲它同 *M. aeruginosa* 是最主要的水华形成种类, 为有毒种类。中国北京、山东、湖北(武昌)、江苏、浙江、上海(滴水湖)、江西、福建以及广东等地均有分布。

该种常常被当作铜绿微囊藻和水华微囊藻的幼体, 但其细胞明显要小。Watanabe (1999) 报道日本分布的群体较大, 可达数毫米, 细胞直径为 2.5–4.9  $\mu\text{m}$ 。德国柏林 Wannsee 湖的鱼害微囊藻细胞直径 3.0–4.9  $\mu\text{m}$ , 平均为 3.8  $\mu\text{m}$ , 群体直径达 120–2350  $\mu\text{m}$ , 平均为 1000  $\mu\text{m}$  (Kurmayer et al., 2002)。Komárek 和 Anagnostidis (1999) 报道的细胞直径为 2–3.2  $\mu\text{m}$ 。相比之下, 在日本和德国出现的藻种稍微偏大。

### 6. 挪氏微囊藻 图11, 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.

*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.

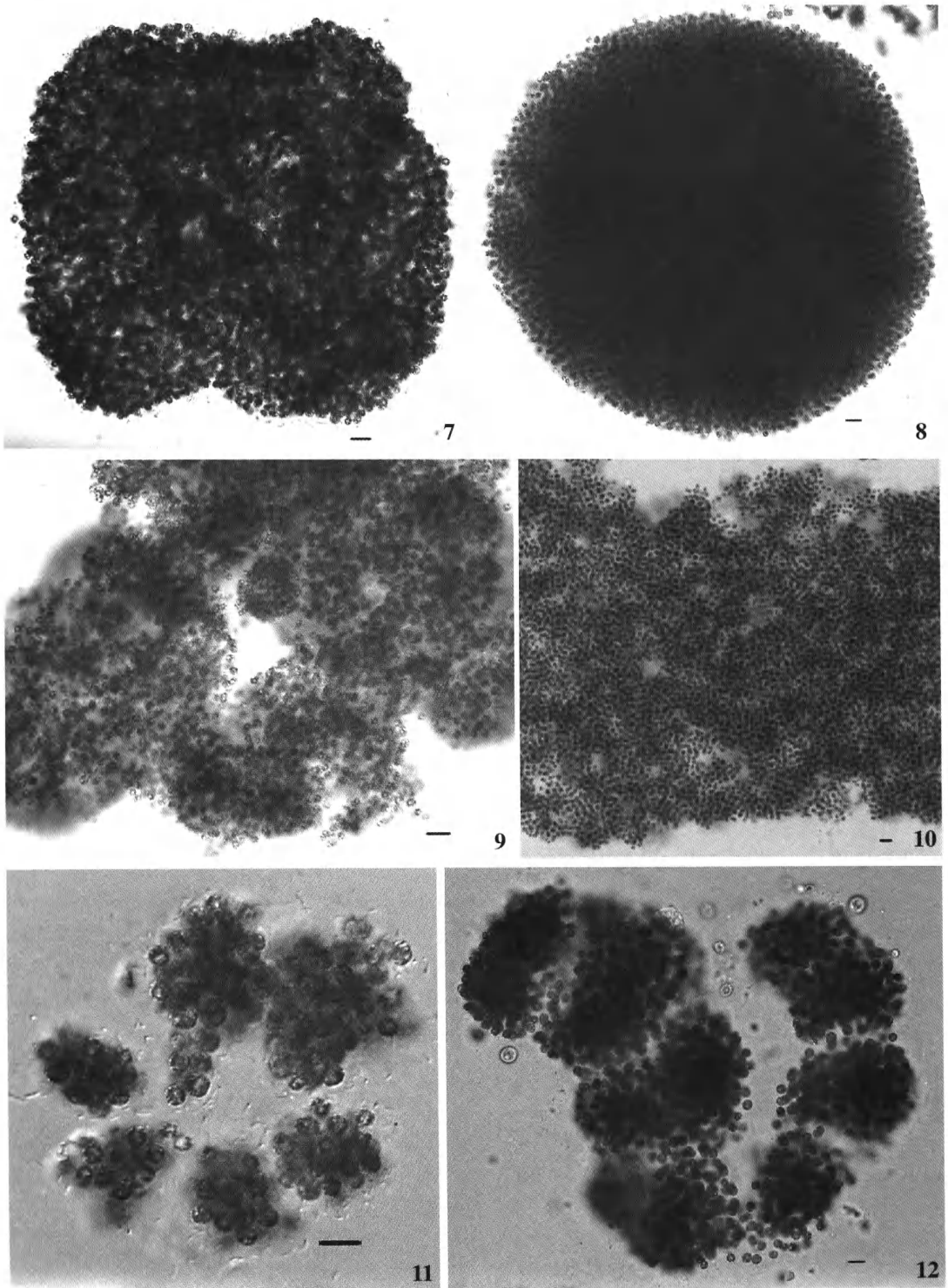


图 7-12 7, 8. 水华微囊藻。9, 10. 鱼害微囊藻。11, 12. 挪氏微囊藻。  
 Figs. 7-12. 7, 8. *Microcystis flos-aquae*. 9, 10. *M. ichthyoblabe*. 11, 12. *M. novacekii*.  
 Scale bars = 10  $\mu$ m.

自由漂浮。群体球形或不规则球形，团块较小，直径一般在50–300  $\mu\text{m}$ 。群体之间通过胶被连接，堆积成更大的球体或不规则的群体，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、无折光。胶被离细胞边缘远，距离5  $\mu\text{m}$ 以上。胶被内细胞排列不十分紧集，外层细胞呈放射状排列，少数细胞散离群体。细胞球形，直径3.7–5.8  $\mu\text{m}$ ，平均为4.9  $\mu\text{m}$ ，其大小介于水华微囊藻与铜绿微囊藻之间。细胞原生质体黄绿色，有气囊。

分布：淡水浮游种类，常发生在中营养型或富营养型的湖泊、池塘、水库等水体中，有时可形成或参与形成水华。在亚洲广泛分布，目前已知分布于中国北京(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、日本(琵琶湖)、韩国(Seo-Nakdong河)，泰国(Chon Bri, Nakhornpathom)，英国苏格兰。

#### 7. 假丝微囊藻 图13, 14

*Microcystis pseudofilamentosa* Crow in The 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 H-J et al. in Freshwater Algae in China 11, pl. 1: figs. 1, 2. 1980; Chu H-J in Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis. Tomus II Chroococrophyceae 12, pl. I, figs. 1, 2. 1991.

自由漂浮。群体窄长，带状。藻体每隔一段有一个收缢和一个相对膨大的部分，膨大处的细胞较收缢处相对密集，收缢和膨大使整个藻体形成类似分节的串联体。藻体通常由2–20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。群体一般宽17–35  $\mu\text{m}$ ，长可达1000  $\mu\text{m}$ 。群体胶被无色透明、不明显、易溶解、无折光。细胞充满胶被，随机密集排列。细胞较大，球形，直径3.7–5.9  $\mu\text{m}$ ，平均 $4.8 \pm 0.52 \mu\text{m}$ 。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。在滇池常年可见。已知分布于中国安徽(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)；国外分布于斯里兰卡，俄罗斯和阿根廷。

该种由Crow (1923)首次描述，采集地为斯里兰卡Ceylon。Komárek和Anagnostidis (1999)认为该种主要分布于亚洲地区，其形态特征与铜绿微囊藻极其相似，差别仅在于本种为细长的带状，有间隔收缢，且细胞均匀分布在藻体中。但这种形态的差别能否成为两个物种的区别，还需要进一步研究。在未得到很好的修订前，本文仍将保留该种名的使用。Crow (1923)记录Ceylon藻种的细胞直径为3–7  $\mu\text{m}$ ，朱浩然(1991)报道中国藻种的直径为2.5–6.5  $\mu\text{m}$ ，本文中滇池的种类比Crow描述的变幅小，与朱浩然报道的接近。

#### 8. 史密斯微囊藻 图15, 16

*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.

*Microcystis grevillei* sensu Smith G M 1920 (planktic form); *Microcystis grevillei* f. *pulchra* (Kützing) Elenkin 1936 sensu auct. Post.; non *Microcystis pulchra* Flotow 1842;





图 13-16 13, 14. 假丝微囊藻。15, 16. 史密斯微囊藻。  
Figs. 13-16. 13, 14. *Microcystis pseudofilamentosa*. 15, 16. *M. smithii*.  
Scale bars = 10  $\mu$ m.

*Aphanocapsa grevillei* (Kützing) Rabenhorst 1865 (planktic form), Chu H-J. in *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis*. Tomus II Chroococcophyceae 24, pl. IV, fig. 1. 1991.

自由漂浮。群体团块较小，球形或近球形，不形成穿孔或树枝状，直径一般在30  $\mu\text{m}$ 以上，有的可以超过1000  $\mu\text{m}$ 。胶被无色或微黄绿色，易见但边界模糊，无折光，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有规律地排列，细胞单个或成对出现。细胞间隙较大，一般远大于其细胞直径。细胞球形，较小，直径2.5–6.0  $\mu\text{m}$ ，平均为4.3 $\pm$ 0.73  $\mu\text{m}$ 。其大小介于水华微囊藻与铜绿微囊藻之间，大于坚实微囊藻。细胞原生质体蓝绿色或茶青色，有气囊。

分布：淡水浮游种类，常发生在清洁的湖泊和富营养型的湖泊中，在一些池塘中也能发现。在云南滇池常年出现，滇池周边有些池塘可见其单独形成的水华。目前已知分布于中国云南(滇池)、湖北(武昌)，美国，阿根廷，欧洲，波兰(Lublin)，希腊，以及非洲的近海岸。

胡鸿钧等(1980, p. 13–14, pl. 2, fig. 4)和朱浩然(1991, p. 23, pl. V, fig. 4)记载了 *Aphanocapsa pulchra*，根据他们的描述，可能是史密斯微囊藻。朱浩然(1991, p. 24, pl. IV, fig. 1)对 *Aphanocapsa grevillei* 浮游类型的描述，也可能是史密斯微囊藻。但文献中都缺乏气囊的描述，不能肯定，需要进一步的验证。

### 9. 绿色微囊藻 图17, 18

*Microcystis viridis* (A. Braun) Lemmermann 1903 in Crow in *The New Phytologist* 22 (2): 59. 1923; Geitler in *Cyanophyceae* 135. 1932; Desikachary in *Cyanophyta* 87, pl. 18, (excl. figs. 1–6). 1959; Li R-H 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.

*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.

自由漂浮。群体绿色或棕褐色，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32个细胞的规则方形小群体单位。每个小群体单位及其亚单位都有各自的胶被，但亚单位的胶被通常与群体单位的胶被融合在一起。胶被将各亚单位以及各群体分隔开。以小群体单位为基础，通过胶被连接和组合，群体可形成大型团块，肉眼可见，不形成穿孔或树枝状。大群体中各小群体的排列时常无规律、不整齐。各小群体间的间距远大于小群体内各亚单位的间距。胶被无色，易见，边界模糊，无折光，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4.0–6.9  $\mu\text{m}$ ，平均5.7 $\pm$ 0.62  $\mu\text{m}$ 。细胞原生质体蓝绿色或棕色，有气囊。

分布：在滇池常年可见。为浮游种类，分布很广，特别是在东亚地区的日本、韩国和中国，在欧洲相对较少。中国的许多湖泊和鱼池中都有分布，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。

Elenkin (1938)曾认为绿色微囊藻是铜绿微囊藻的变形，命名为 *M. aeruginosa* f. *viridis* (转引自李仁辉, 1993)。实际上，在群体形态和群体中细胞排列方式上绿色微囊藻

和铜绿微囊藻差异都很大, 因此Crow (1932)、Geitler (1932)、Desikachary (1959)、李仁辉 (1993)以及Komárek和Anagnostidis (1999)都把它独立为一个种, 即绿色微囊藻*M. viridis*。但Desikachary的图(1959, p. 87, pl. 18, figs. 1-6)表达的却是惠氏微囊藻。

#### 10. 惠氏微囊藻 图19-23

*Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek 1968.—*Diplocystis wesenbergii* Komárek 1958, Komárek & Ettl in *Algologische Studien* 68. 1958. Kondrareva in *Cvetenie vody* 13. 1968; He J-W et al. in *Acta Hydrobiologica Sin.* 20: 192, fig. 1. 1996; Komárek &

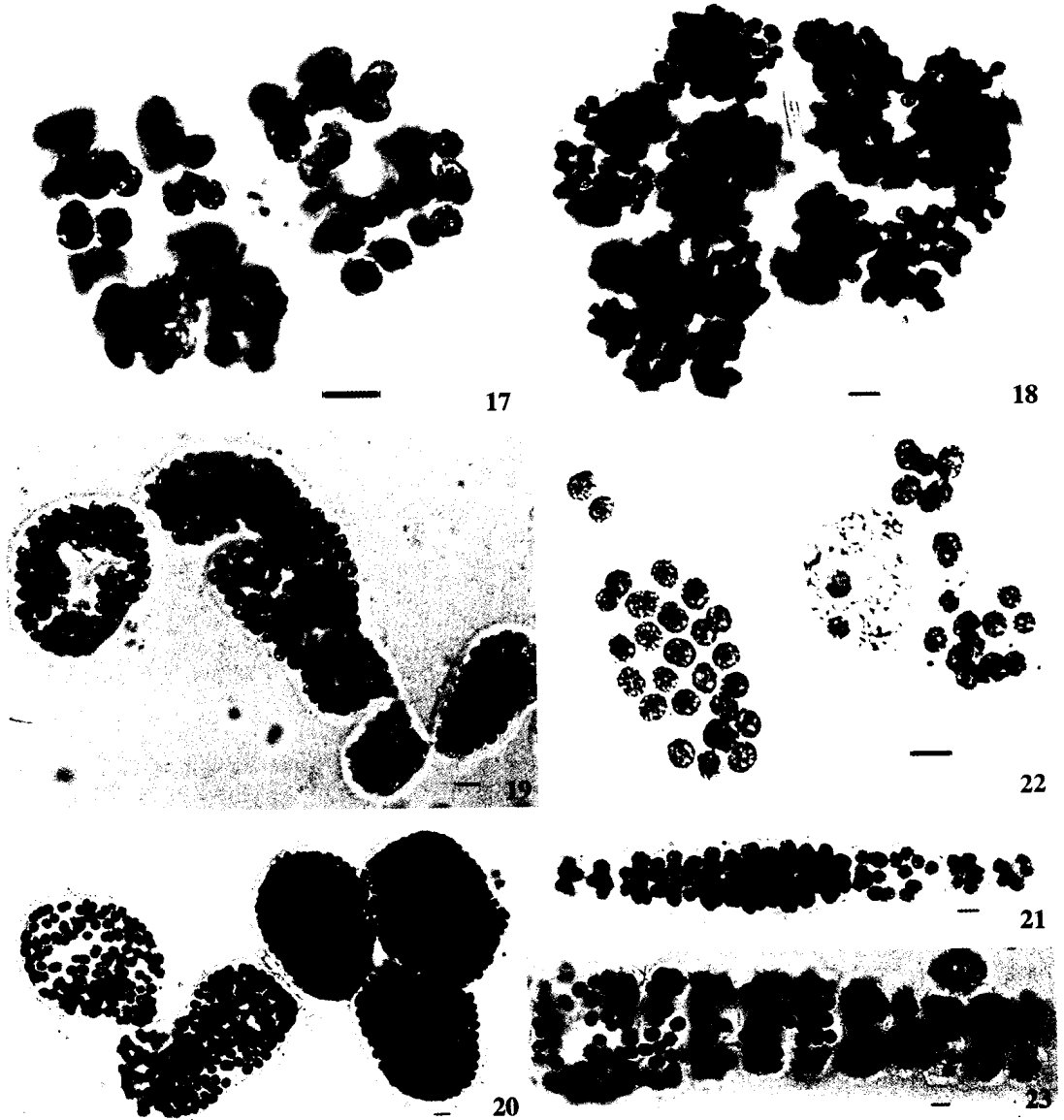


图 17-23 17, 18. 绿色微囊藻。19-23. 惠氏微囊藻。  
Figs. 17-23. 17, 18. *Microcystis viridis*. 19-23. *M. wesenbergii*.  
Scale bars = 10 μm.

*Anagnostidis* in Ettl et al., Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 (Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales), 232, fig. 305. 1999.

自由漂浮。群体形态变化最多,有球形、椭圆形、卵形、肾形、圆筒状、叶瓣状或不规则形,常通过胶被串联成树枝状或网状,集成成更大的群体,为肉眼可见。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 μm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,但有时细胞排列很整齐、有规律,有时也充满整个胶被(如图20)。细胞较大,球形或近球形,直径4.5–8.1 μm,平均为6.4±0.74 μm。细胞原生质体深蓝绿色或深褐色,有气囊。

分布:在滇池常年可见。该种为世界性分布很广的种类。特别是在我国的富营养化水体中,它的分布和丰度甚至超过铜绿微囊藻。

在所采集的样品中常常发现一个胶被内仅具1–3个细胞的惠氏微囊藻(如图22),和胶被收缢,使细胞处于被逐渐分隔状态的惠氏微囊藻(如图21),由此推测,惠氏微囊藻的繁殖方式可能是通过胶被皱褶产生收缢将细胞逐渐分隔,细胞二分裂产生更多细胞,保持群体不断生长。何家苑等(1996)认为惠氏微囊藻是有毒种类,但Via-Ordorika等(2004)通过PCR检测的结果表明欧洲的惠氏微囊藻群体均不含有微囊藻毒素基因。因此惠氏微囊藻是否为有毒种类需要进一步的研究。

### 2.3 分类检索

根据Komárek和Anagnostidis (1999)与Komárek (2002)最新的蓝藻分类系统,给出在中国滇池分布的10个常见微囊藻种类的分类检索表。

#### 滇池常见微囊藻属种类的分类检索表

1. 细胞直径多数小于3.5 μm。
  2. 细胞直径为2.0–3.5 μm; 群体紧密结实,边缘平滑; 胶被不密贴群体细胞边缘……………坚实微囊藻 *M. firma*
  2. 细胞直径为1.7–3.3 μm; 群体疏松,海绵状,边缘不规则; 胶被密贴群体细胞边缘……………鱼害微囊藻 *M. ichthyoblabe*
1. 细胞直径多数大于3.5 μm。
  3. 群体中空; 胶被明显、边界清晰、坚固、有折光; 细胞较大,直径4.5–8.1 μm,沿胶被单层排列,有时也充满胶被……………惠氏微囊藻 *M. wesenbergii*
  3. 群体胶被可见、边界模糊、坚固、无折光。
    4. 群体常由亚单位组成。
      5. 亚单位立方体,有独立的胶被; 群体细胞的数量一般为4的倍数……………绿色微囊藻 *M. viridis*
      5. 亚单位球形或近球形,外层细胞呈放射状排列。
        6. 排列较紧密,呈放射状……………放射微囊藻 *M. botrys*
        6. 排列不紧密,少数细胞散离群体……………挪氏微囊藻 *M. novacekii*
    4. 群体没有亚单位,群体内细胞聚集在一个共同的胶被。
      7. 群体不形成穿孔,不分枝。
        8. 群体椭圆形或不规则,细胞排列紧密; 胶被密贴细胞群体边缘……………水华微囊藻 *M. flos-aquae*
        8. 群体球形; 细胞排列稀疏,间距远大于细胞直径,细胞直径2.5–6.0 μm; 胶被离细胞边缘远,达5 μm以上……………史密斯微囊藻 *M. smithii*
      7. 群体成熟常穿孔,甚至形成网格状或树枝状。
        9. 群体不定形,呈球状、椭圆形或树枝状等,细胞分布均匀……………

- .....铜绿微囊藻 *M. aeruginosa*  
 9. 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.....  
 .....假丝微囊藻 *M. pseudofilamentosa*

### The taxonomic key of *Microcystis* species (Cyanophyta) from Dianchi Lake in China

1. Cells mainly less than 3.5  $\mu\text{m}$  in diameter.
  2. Cells 2.0–3.5  $\mu\text{m}$  in diameter; colonies aggregated together densely, smooth on the margin; mucilaginous clung conies margin slightly.....*M. Firma*
  2. Cells 1.7–3.3  $\mu\text{m}$  in diameter; colonies spongy and aggregated together loosely, irregularly on the margin; mucilaginous clung conies margin.....*M. Ichthyoblabe*
1. Cells mainly over 3.5  $\mu\text{m}$  in diameter.
  3. Colonies vacuole-like; mucilaginous visible, smooth, firma, with distinct margin, usually slightly refractive on the margin; cells reaching macroscopic size, 4.5–8.1  $\mu\text{m}$  in diameter, and arranged randomly near the conlonial surface in one layer or full of the whole mucilaginous.....*M. wesenbergii*
  3. Mucilaginous visible, firma, with indistinct margin, usually without refractive on the margin.
    4. Colonies composed of subcolonies
      5. Subcolonies cubiform, with solitary mucilaginous; the colonial cells number are multiples of 4.....*M. viridis*
      5. Subcolonies sphericity, more or less sphericity; cells near the colonial surface arranged radially.
        6. Cells arranged densely in the mucilaginous, and radially .....*M. Botrys*
        6. Cells arranged loosely in the mucilaginous, and few calls dissociat from the colonies.....*M. novacekii*
    4. Colonial cells congregated in the common mucilaginous, without subcolonies.
      7. Colonies never forms holes and clathrate.
        8. Colonies ellipse or irregular; cells arranged densely; mucilaginous clung conies margin.....*M. flos-aquae*
        8. Colonies sphericity; cells arranged loosely, distance between cells farther over than the cells diameter, cells 2.5–6.0  $\mu\text{m}$  in diameter; mucilaginous over upwards 5  $\mu\text{m}$  beyond the cells clusters.....*M. smithii*
      7. Colonies forms holes, or dendritic, usually net-like clathrate with distinct holes.
        9. Colonies sphericity, ellipse, dendritic, or other shapes; cells distributed uniformity.....*M. aeruginosa*
        9. Colonies slightness, strip-shaped; cells unevenly distributed sometimes in dense groups.....*M. pseudofilamentosa*

## 3 讨论

根据藻体形态有无分枝以及分枝的形态, 传统的蓝藻分类系统将色球藻目分为3个科, 即色球藻科Chroococcaceae、石囊藻科Entophysalidaceae、蓝柄藻科Cyanostylonaceae。色球藻科包括微囊藻属在内的15个属(朱浩然, 1991)。新的蓝藻分类系统将色球藻目分为13个科, 而原分类系统中有几个属因不属于蓝藻, 被排除在蓝藻分类系统之外。微囊藻属与立方藻属*Eucapsis*、粘球藻属*Gloeocapsa*和叶囊藻属*Chondrocystis*被归属于一个新的科——微囊藻科Microcystaceae (Komárek & Anagnostidis, 1999), 这也是同前分类系统的一大差别。

在微囊藻属的分类上, Komárek (2002)认为有6个显性特征可以使用: (1)群体的形态(是否有穿孔、分叶、平展, 是否有亚群体); (2)胶被结构(胶被离群体细胞边缘的宽度、胶被清晰度和边界轮廓); (3)细胞的直径(上下限和均值); (4)群体中的细胞组成和密度(三维排列, 紧密或稀疏, 不规则); (5)色素(藻蓝素PC与藻红素PE的比例); (6)生活史(有无明确

的生活史阶段、非典型的休眠期、形态的变化)。Komárek和Anagnostidis (1999)与Komárek (2002)认为这6个特征能够很好地将微囊藻属的物种区分开来,对已报道的50多种微囊藻进行了重新修订和再描述,结果一些种被合并或区分,只有12种微囊藻被认可,至少有7种被明确地归入其他科属,还有20多种需要进一步修订,以确定其分类地位。

朱浩然(1991)记载中国分布的微囊藻有17种和4变种,根据现行的蓝藻分类系统,这些种类的分类地位需要重新修订。其中,寄生微囊藻*M. parasitica* Kützing、不定微囊藻*M. incerta* Lemmermann、棕黄微囊藻*M. fusco-lutea* Forti、尘埃微囊藻葡萄状变种*M. pulverea* var. *racemiformis* (Wood) Forti无气囊, Komárek和Anagnostidis (1999)认为将这些物种归入隐球藻属*Aphanocapsa*更合适些,这些种也相应更名为寄生隐球藻*A. parasitica* (Kützing) Komárek & Anagnostidis 1999、不定隐球藻*A. incerta* (Lemmermann) Cronberg & Komárek 1994、棕黄隐球藻*A. fusco-lutea* Hansgirg 1892和*A. nubilum* Komárek & Kling 1991。

朱浩然(1991)所描述的密集微囊藻*M. densa* (p. 15, 图版II: 6)和苍白微囊藻*M. pallida* (Farlow) Lemmermann 1910 (p. 16, 图版II: 7)也无气囊。密集微囊藻虽然最先描述产于非洲的Albert湖,但可能是另外的物种。而按照Farlow的原始描述,*M. pallida*可能是隐杆藻属*Aphanothece*的一种。Komárek和Anagnostidis (1999)认为均需要修订。

朱浩然(1991)所记载的微小微囊藻*M. minutissima*和华美微囊藻*M. elabens* Kützing虽然有气囊,但其细胞的形态为长圆形,应属于隐杆藻,因此Komárek和Anagnostidis (1999)将之更名为微小隐杆藻*Aphanothece minutissima* (W. West) Komárková-Legnerová & Cronberg 1994和华美隐杆藻*A. elabens* (Brebisson in Meneghini) Elenkin 1938。

朱浩然(1991, p. 15, 图版II: 5)、Geitler (1932, p. 135, fig. 58)和Desikachary (1959, p. 85, pl. 17, figs. 7–10)所描述的粗大微囊藻*M. robusta* (Clark) Nygaard 1925除没有气囊外,其余特征(包括图)都极似惠氏微囊藻*M. wesenbergii*。Komárek和Anagnostidis (1999)也认为*M. robusta* (Clark) Nygaard 1925有可能是惠氏微囊藻,但来自Tierra del Fuego的种群除外,它可能属于另外的物种(Komárek & Anagnostidis, 1999)。

中国分布的边缘微囊藻*M. marginata* (Meneghini) Kützing 1845 (胡鸿钧等, 1980, p. 13, pl. 1: figs. 6–8; 朱浩然, 1991, p. 13, pl. I, fig. 4)也是一个有疑问的物种,其描述和Crow (1923)、Geitler (1932)、Desikachary (1959)的描述几乎一致,都符合惠氏微囊藻胶被厚、坚硬、外缘明显等特征,但他们的图却可能是铜绿微囊藻、水华微囊藻或惠氏微囊藻。Komárek和Anagnostidis (1999)认为*M. marginata*是这3个种的集合体,也可能有部分是属于挪氏微囊藻。Geitler的图(1932, p. 136–137, fig. 59: b–c)、Desikachary (1959, p. 86–87, pl. 17, figs. 3, 4)的图都是仿自Crow (1923, figs. g, h)的,这些图极似惠氏微囊藻,胶被明显,且分层,胶被远离细胞边缘,细胞排列较紧密。但Geitler (1932, p. 136–137, fig. 59, a)和Desikachary (1959, p. 86–87, pl. 17, fig. 5)的另两个图是一致的,都极似水华微囊藻,胶被不明显,且密贴细胞,细胞排列紧密。胡鸿钧等(1980)和朱浩然(1991)的图可能属于铜绿微囊藻或惠氏微囊藻,应该不属于水华微囊藻,因为图中的胶被明显远离细胞边缘,且有分层,这些特征更大程度上符合惠氏微囊藻。

Komárek和Anagnostidis (1999)比较了许多学者描述的尘埃微囊藻*M. pulverea* (Wood)

Forti, 认为该名称是一个集合体, 它包含多个物种, 需要逐一甄别和修订。由于没有采集到类似朱浩然(1991)所记载的尘埃微囊藻, 因此还无法修订中国分布的该种。根据其描述和图(p.18, 图版III: 4), 它的细胞球形、卵形或椭圆形, 没有气囊, 应该不属于微囊藻属和隐杆藻属, 可能属于隐球藻属。

朱浩然(1991)所记载的奥连微囊藻 *M. orissica* W. West、紫色微囊藻 *M. amethystina* Forti 和紫色微囊藻大型变种 *M. amethystina* var. *major* Smithii, 均为附生种类。由于本文没有采集到相关种的标本, 因此没有对上述3种进行修订。

综上所述, 中国报道的微囊藻共有26种, 有10种(即文中所描述的10种)被保留在微囊藻属, 2变种被合并, 6种已被归入其他科属, 还有8种存在疑问, 需要进一步的修订。

### 参 考 文 献

- Chu H-J (朱浩然). 1991. Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis. Tomus II. Chroococcophyceae (中国淡水藻志·第二卷·色球藻纲). Beijing: Science Press. 11–23.
- Crow W B. 1923. The taxonomy and variation of the genus *Microcystis* in Ceylon. The New Phytologist 22 (2): 59–68.
- Desikachary T V. 1959. Cyanophyta. New Delhi: Indian Council of Agriculture Research. 81–132.
- Geitler L. 1932. Cyanophyceae. In: Rabenhorst L ed. Kryptogamen Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft. 14: 130–159
- He J-W (何家苑), Li L-P (李络平), Yu J-L (俞家禄), Zhao Y-J (赵以军), Liu Y-D (刘永定). 1996. Preliminary studies on a Chinese new record of blue-green algae—*Microcystis wesenbergii* and its toxicity. Acta Hydrobiologica Sinica (水生生物学报) 20: 192–194.
- Hu H-J (胡鸿钧), Li Y-Y (李尧英), Wei Y-X (魏印心), Zhu H-Z (朱惠忠), Chen J-Y (陈嘉佑), Shi Z-X (施之新). 1980. Freshwater Algae in China (中国淡水藻类). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 11–13.
- Hu H-J (胡鸿钧), Wei Y-X (魏印心). 2006. The freshwater algae of China. Systematics, Taxonomy and Ecology (中国淡水藻类——系统、分类及生态). Beijing: Science Press. 62–68.
- Komárek J. 2002. Review of the European *Microcystis*-morphospecies (Cyanoprokaryotes) from nature. Czech Phycology, Olomouc 2: 1–24.
- Komárek J, Anagnostidis K. 1999. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl H, Gartner G, Heynig H, Mollenhauer D eds. Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1. Ulm: Gustav Fischer. 164–190.
- Kurmayer R, Dittmann E, Fastner J, Chorus I. 2002. Diversity of microcystin genes within a population of the toxic cyanobacterium *Microcystis* spp. in Lake Wannsee (Berlin, Germany). Microbial Ecology 43: 107–118.
- Li L-C (李良庆). 1934. A general survey of Chinese algae. Peking Natural History Bulletin 8: 363–374.
- Li R-H (李仁辉), He Z-R (何振荣), He J-W (何家苑), Li Y-Y (李尧英). 1993. Preliminary studies on a Chinese new record of blue-green algae—*Microcystis viridis* and its toxicity. Acta Hydrobiologica Sinica (水生生物学报) 17: 282–284.
- Liang H-W (梁惠文). 1987. New Chroococcales (Cyanophyta) from Fujian Province. The Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition) (福建师范大学学报(自然科学版)) 3 (2): 84–90.
- Otsuka S, Suda S, Li R, Matsumoto S, Watanabe M M. 2000. Morphological variability of colonies of *Microcystis* morphospecies in culture. Journal of General and Applied Microbiology 46: 39–50.
- Smith G M. 1916. Prelimin. List. Algae Wisconsin Lakes, Trans. Wisc. Ac. Sc. 18: 2.
- Via-Ordorika L, Fastner J, Kurmayer R, Hisbergues M, Dittmann E, Komarek J, Erhard M, Chorus I. 2004. Distribution of microcystin-producing and non-microcystin-producing *Microcystis* sp. in European freshwater bodies: Detection of microcystins and microcystin genes in individual colonies. Systematic and Applied Microbiology 27: 592–602.
- Watanabe M. 1999. Taxonomy of waterbloom forming cyanobacteria from Japanese waters. Tokyo: National Science Museum, Tokyo. 23–26.
- Yu G-L (虞功亮), Li R-H (李仁辉). 2007. Three newly recorded species of *Microcystis* (Cyanophyta) from China. Acta Phytotaxonomica Sinica (植物分类学报) 45: 353–358.