

文章编号: 1000-5862(2014)05-0496-05

# 鄱阳湖微囊藻属形态多样性研究

杨平 柴文波 黄静 李守淳\*

(江西师范大学生命科学学院 江西 南昌 330022)

**摘要:** 2011年1月至10月对鄱阳湖的微囊藻 *Microcystis* 进行采集和分离培养,得到9种常见微囊藻并对其进行了详细的形态学观察和描述,分别是铜绿微囊藻(*M. aeruginosa*)、水华微囊藻(*M. flos-aquae*)、鱼害微囊藻(*M. ichthyoblabe*)、惠氏微囊藻(*M. wesenbergii*)、假丝微囊藻(*M. pseudofilamentosa*)、史密斯微囊藻(*M. smithii*)、放射微囊藻(*M. botrys*)、绿色微囊藻(*M. viridis*)、挪氏微囊藻(*M. novacekii*)。讨论了培养情况下微囊藻的形态学差异,阐述了鄱阳湖水华蓝藻类群的研究现状及微囊藻的潜在危害。

**关键词:** 鄱阳湖; 微囊藻属; 形态学特征

**中图分类号:** Q 949

**文献标志码:** A

## 0 引言

湖泊富营养化已经成为全球的环境问题之一,而蓝藻水华的爆发则是这个问题所带来的直接灾害。中国淡水湖泊的环境状况也不容乐观,越来越多的湖泊发生蓝藻水华,尤以太湖、滇池及巢湖为甚<sup>[1-3]</sup>。无论是中国还是世界其他国家,水华蓝藻种类中还是以微囊藻水华的暴发范围和影响强度最广、最严重<sup>[4-7]</sup>。近年来,鄱阳湖水体富营养程度加剧<sup>[8-9]</sup>,氮、磷等营养盐浓度已经接近于富营养化程度<sup>[10-11]</sup>,表明鄱阳湖在特定水文条件下具有爆发蓝藻水华的趋势。

谢钦铭等报道过鄱阳湖的浮游藻类,共计8门153属319种<sup>[12]</sup>。王天宇等<sup>[13]</sup>观察到鄱阳湖浮游植物178种,密度可达 $1.76 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 。但是这些研究都是20世纪80或90年代的调查结果,还不能反映当前鄱阳湖的浮游植物的状况,并且针对鄱阳湖的水华蓝藻,尤其是微囊藻的研究尚不详细,缺少相关的形态特征描述。J. Komárek等<sup>[14]</sup>提出的蓝藻分类系统,以及虞功亮等<sup>[15]</sup>对中国微囊藻分类的修订为微囊藻的分类鉴定奠定了基础。作为水华蓝藻的代表种类微囊藻,有必要对其于鄱阳湖的存在情况进行探究。本文根据2011年1月至10月的调查,较为全面的记录了鄱阳湖微囊藻的种类,对其进行了详细的形态特征描述。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究水体概况

鄱阳湖是中国最大的淡水湖,是仅次于青海湖的第二大湖,位于江西省北部、长江南岸,介于北纬 $28^{\circ}22' \sim 29^{\circ}45'$ ,东经 $115^{\circ}47' \sim 116^{\circ}45'$ 。主要接纳赣江、修水、饶河、信江、抚河5条河流的水量,经北部的湖口汇入长江,是一个通江性、过水性湖泊。平水位(14~15 m)时湖水面积为 $3\,150 \text{ km}^2$ ,高水位(20 m)时为 $4\,125 \text{ km}^2$ 以上,但低水位(12 m)时仅 $500 \text{ km}^2$ 。根据鄱阳湖水文特征,共选择16个采样点进行样品采集,位点信息见图1。

### 1.2 样品采集和分离

藻类样品的获取是采用25#筛绢(孔径40~60  $\mu\text{m}$ )制作的浮游生物网在水面拖拽,每秒钟拖行20~30 cm,拖行数分钟即可,将富集的藻液置于10 mL离心管中,冷藏保存带回实验室。采用经典的巴斯德毛细吸管法<sup>[16]</sup>,在显微镜下进行藻类的初步鉴定后,将巴斯德管在酒精灯下做成毛细管(Pasteur Micropipette),于显微镜下将经过形态鉴定后的所需藻株分离出来,用去离子水清洗数次。洗净后转入添加了2 mL已灭菌的CT<sup>[17]</sup>或MA培养基<sup>[18]</sup>的24孔细胞培养板中,并用Parafilm封口膜进行密封并标注分离人、日期以及地点等。之后放入光照培养箱培

收稿日期: 2014-07-10

基金项目: 江西省自然科学基金(2013BAB204006) 江西省教育厅自然科学基金(GJJ13241) 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室(PK1014007) 和江西省普通本科高校中青年教师发展计划访问学者专项资金资助项目。

通信作者: 李守淳(1965-),女,江西余干人,副教授,博士,主要从事藻类生物学研究。

养 培养温度: 25 °C, 白色灯光为光源, 光照强度为  $25 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 昼夜周期 12 h: 12 h. 数天后, 将长势良好的藻株转至已经灭菌的玻璃试管内进行继代培养, 显微镜检后编号入库.

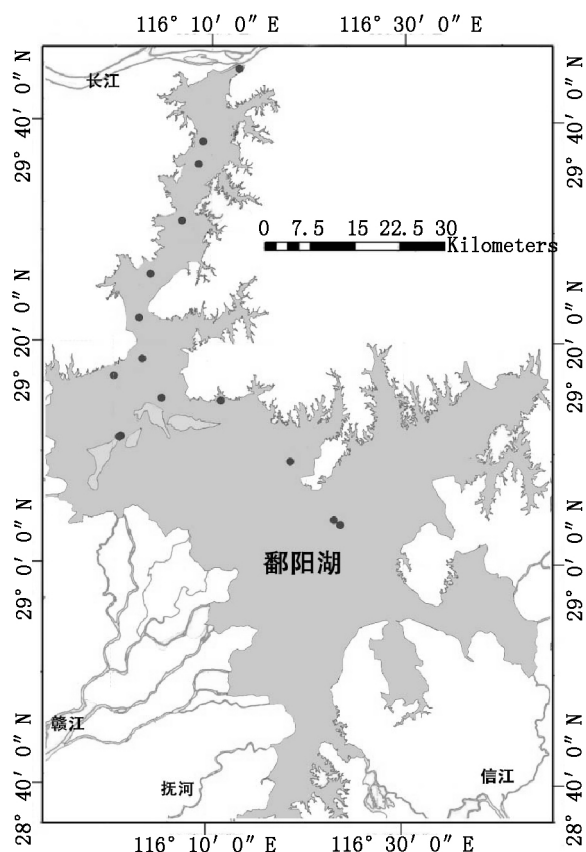


图1 鄱阳湖2011年1月至10月采样位点图

### 1.3 显微镜观察

从所需藻种纯培养试管中取一滴藻液, 置于载玻片上, 进行显微镜检和拍照. 显微镜检和拍照的设备为 Nikon eclipse 80i 型光学显微镜, 外接 DS-RiL 的数码相机, 通过计算机上的专用拍照软件进行. 拍照以及细胞大小的测量通过其自带的 NIE-Elements D3.2 软件进行图像分析以及处理. 使用前, 以  $10 \mu\text{m}$  台测微尺校正, 测量误差小于  $0.001 \mu\text{m}$ . 每个藻种的细胞测量数 50 个以上, 藻丝 10 条以上. 藻种的形态鉴定参考文献 [19].

## 2 结果

通过调查发现, 微囊藻是水华蓝藻中的优势类群, 通过形态分类特征, 确定 9 个微囊藻形态种: 铜绿微囊藻、鱼害微囊藻、水华微囊藻、惠氏微囊藻、史密斯微囊藻、假丝微囊藻、放射微囊藻、绿色微囊藻、挪氏微囊藻(见图2).

1) 铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa* Kützinger

1846(图2(A)): 自由漂浮. 肉眼可见, 青绿色或橄榄绿. 成熟群体形态多为球形、椭圆形或不规则网状. 胶被质地均匀, 无色, 无层理, 不密贴细胞, 距离边缘细胞  $2 \mu\text{m}$  以上. 胶被也会因为群体的生长导致破裂或穿孔, 使得群体呈网状体. 胶被内细胞排列较紧密. 细胞球形、近球形, 直径  $4 \sim 7 \mu\text{m}$ , 具气囊.

2) 惠氏微囊藻 *Microcystis wesenbergii* (Komarek) Komarek 1968(图2(B)): 自由漂浮, 肉眼可见. 深蓝绿色或棕褐色. 群体形态变化多样, 野外多为球形、椭圆形、卵形、圆筒状; 实验室纯培养会出现不规则的树枝状或网状等. 群体直径可达到  $1 \text{ cm}$ , 但大部分群体较小在  $200 \mu\text{m}$  左右. 尽管惠氏微囊藻的大小群体不规则, 但其群体胶被明显且光滑, 边界明显, 无色透亮, 有明显折光. 细胞近球形, 直径  $4.7 \sim 7.9 \mu\text{m}$ , 有气囊.

3) 绿色微囊藻 *Microcystis viridis* (A. Br.) Lemmermann 1903(图2(D)): 绿色或棕褐色. 自由漂浮, 通常由 4 个立方体群体组成 32 个细胞的规则方形小群体. 每个小群体及其亚单位都有各自的胶被. 通过胶被连接和组合, 群体可形成大型团块. 胶被无色、易见、无折光、易溶解. 胶被离细胞边缘远, 距离  $5 \sim 10 \mu\text{m}$  以上. 群体中细胞间隙较大, 并成对出现, 排列规则. 细胞较大, 球形或近球形, 直径  $4.1 \sim 6.5 \mu\text{m}$ , 平均  $(5.2 \pm 0.49) \mu\text{m}$  具气囊.

4) 挪氏微囊藻 *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère 1974(图2(C)): 黄绿色, 自由漂浮. 群体团状, 一般为 3~5 个小群体连接成不规则的群体. 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, 一般  $5 \mu\text{m}$  以上. 胶被内细胞排列较松散. 细胞球形, 直径  $3.6 \sim 5.6 \mu\text{m}$ , 平均为  $5.0 \mu\text{m}$ , 具气囊.

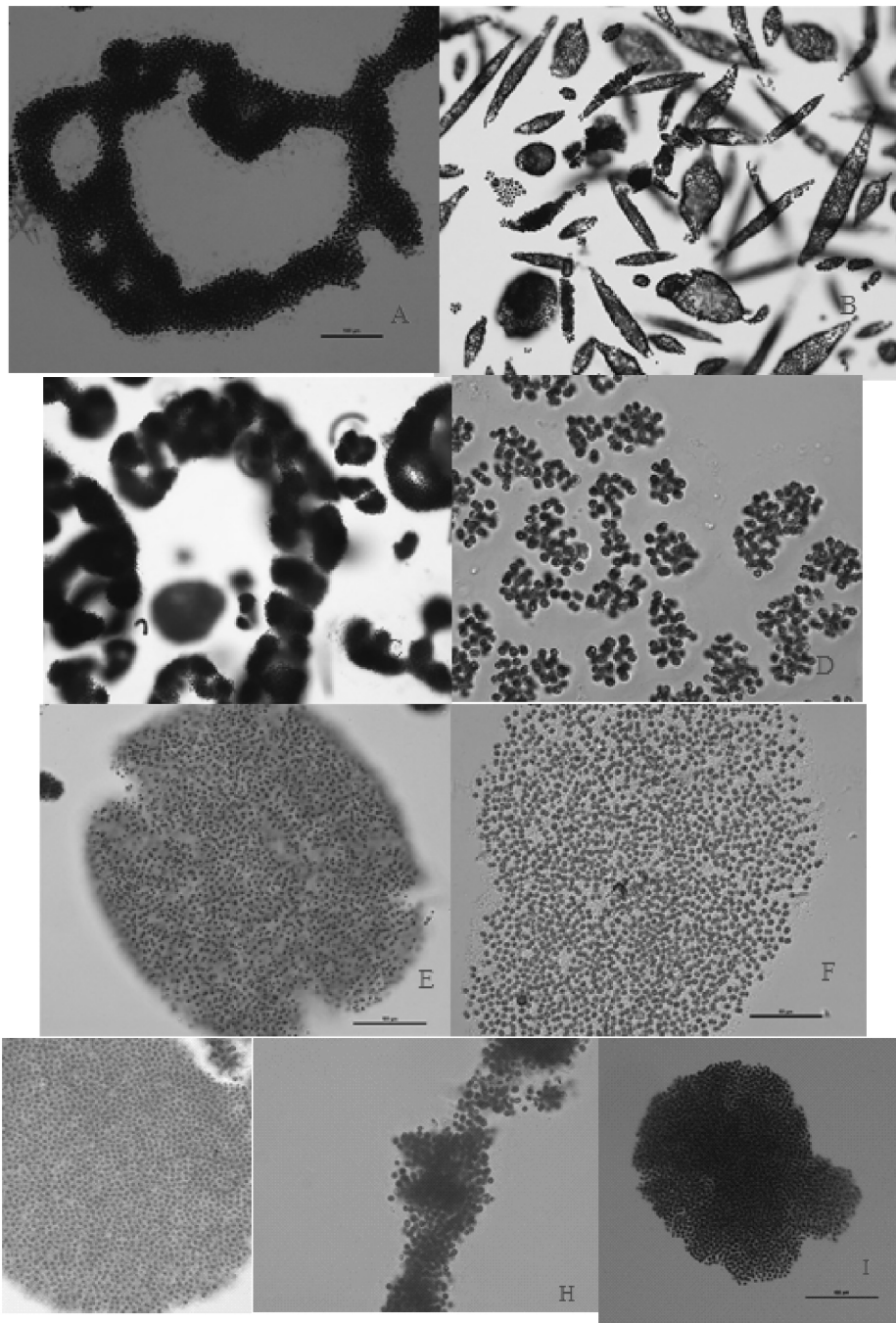
5) 史密斯微囊藻 *Microcystis smithii* Komárek et Anagnostidis 1995(图2(E)): 自由漂浮. 蓝绿色或青褐色. 群体一般为球形或近球形. 胶被无色、易见且边界模糊、无折光、易溶解. 细胞较为均匀的分布于群体内, 并围绕胶被有规律地排列, 细胞常单个出现, 偶见成对. 细胞之间间隙较大, 通常远大于其细胞直径. 细胞近球形, 较小, 直径  $2.8 \sim 5.6 \mu\text{m}$ , 具气囊.

6) 鱼害微囊藻 *Microcystis ichthyoblabe* Kützinger 1843(图2(F)): 自由漂浮. 群体薄, 内含许多小群体. 蓝绿色或棕黄色. 群体团块小, 球形或海绵状. 大群体胶被明显, 但小群体胶被无色透明易溶解、不明显. 细胞排列不紧密, 但与胶被密贴. 细胞球形, 直径  $2 \sim 4 \mu\text{m}$ , 具气囊.

7) 水华微囊藻 *Microcystis flos-aquae* (Wittrock) Kirchner 1889(图2(G)): 自由漂浮. 群体颜色蓝绿

色或橄榄绿. 群体球形、椭圆形或近球形. 成熟群体不穿孔, 不开裂; 群体胶被均匀、无色透明、不明显. 群体直径较大  $180 \sim 2\,500\ \mu\text{m}$ , 平均为  $1\,170\ \mu\text{m}$ . 胶

被紧贴细胞群体边缘. 胶被内细胞呈有规律密集排列. 细胞球形, 直径  $3 \sim 6\ \mu\text{m}$ , 具气囊.



A: 铜绿微囊藻 (*M. aeruginosa*); B: 惠氏微囊藻 (*M. wesenbergii*); C: 挪氏微囊藻 (*M. novacekii*); D: 绿色微囊藻 (*M. viridis*); E: 史密斯微囊藻 (*M. smithii*); F: 鱼害微囊藻 (*M. ichthyoblabe*); G: 水华微囊藻 (*M. flos-aquae*); H: 假丝微囊藻 (*M. pseudofilamentosa*); I: 片状微囊藻 (*M. paniformis*).

图2 微囊藻形态特征

8) 假丝微囊藻 *Microcystis pseudofilamentosa* Crow, 1923(图2(H)): 群体自由漂浮, 群体颜色为青绿色或蓝绿色, 肉眼可见; 群体窄而长, 呈假丝状体. 群体大小变化较大,  $150 \sim 500\ \mu\text{m}$  不等; 群体每

隔一小段距离都会有一个明显的收益, 而其他部分会较显膨大, 并且细胞紧密排列; 群体胶被不十分明显, 无色透明, 无折光, 易溶解. 胶被内细胞充满, 随机排列. 细胞球形或近球形, 较大, 直径  $3.5 \sim$

6.0  $\mu\text{m}$ ,原生质体蓝绿色或青绿色,具气囊。

9) 片状微囊藻 *Microcystis paniformis* Teiling 1942<sup>[19]</sup>(图2(I)):群体自由漂浮,肉眼可见,群体扁平呈浅绿色,群体边缘不规则、胶质不明显,细胞密集并且均匀排列;群体幼年常聚集成簇,长大后变平或者扁平状,细胞球形或近球形,直径3.0~4.7  $\mu\text{m}$ ,具气囊。

### 3 讨论

在培养条件下,微囊藻主要分类依据的群体特征会发生不同程度的变化,甚至会养成单细胞;而其他的特征如细胞的大小、群体细胞的间隔在不同的条件下都会有不一样的变化<sup>[20]</sup>。另外,不同水体的微囊藻之间也存在一定形态变化。本研究对鄱阳湖中出现的微囊藻种类进行了详细的描述,由于所分离的微囊藻藻种的分离保存时间不长,所持有的形态特征特别是维持了野外特征的群体状态,这些特征与文献中所描述的相关种类无明显区别,只是在细胞大小方面有些许出入,但仍在允许范围内。其中水华微囊藻、史密斯微囊藻、惠氏微囊藻以及铜绿微囊藻在国内均有过水华的报道,表明这些种类可能成为鄱阳湖爆发水华的潜在物种。张军毅等首次报道了片状微囊藻在我国太湖分布的新纪录种,这次在鄱阳湖的出现,表明这个种类在我国有更广泛的分布范围。

利用形态学特征进行分类鉴定是分类学研究采用的普遍方法,同时一些分子生物学手段也被应用于分类学。16S rRNA 及 ITS 已经广泛应用于蓝藻分类学研究<sup>[21-23]</sup>,对许多蓝藻的区分是有效的,然而无法在种水平上区分微囊藻<sup>[24-25]</sup>。谭文华等<sup>[26]</sup>发现 cpcBA-HGS 基因能将惠氏微囊藻与其他微囊藻区分开来,但无法将其他微囊藻区分。因此,目前微囊藻的分类体系仍是建立在形态学特征基础上。

本文首次对鄱阳湖的水华蓝藻微囊藻类群进行了调查,详细描述了该类群形态学特征。前人对鄱阳湖的水华蓝藻种类的研究仅有徐彩平报道的旋折平裂藻<sup>[27]</sup>,对鄱阳湖微囊藻类群的研究,有助于了解鄱阳湖水华蓝藻的多样性,通过多样性的了解,掌握水华种类的特征和习性并制定相应措施去应对潜在的蓝藻水华暴发。由于鄱阳湖常年与长江相连以及湖面上全年频繁的采砂活动,导致鄱阳湖的水流速度及泥沙含量很高<sup>[28]</sup>,显现出与国内大部分浅水湖泊迥异的水文特征。太湖和滇池水体环境相对平和,水体一般不流动或流动缓慢,在营养盐高负载情况下藻类能够大量生长繁殖,而鄱阳湖的特殊水文环境下高丰度微囊藻类群的存在是一个值得探究的

问题。

一些研究关注了鄱阳湖的微囊藻毒素存在情况,徐海滨等<sup>[23]</sup>运用 ELISA 方法对 2000 年 7 月及 10 月份的微囊藻毒素进行了检测,浓度范围为 0.020~1.036  $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 。金静等<sup>[24]</sup>检测到 2006 年 7 月份的微囊藻毒素浓度为 0.04~0.09  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。表明鄱阳湖中的微囊藻具有一定的毒性,尽管蓝藻中产微囊藻毒素的种类很多,包括鱼腥藻属(*Anabaena*)和浮丝藻属(*Planktothrix*)等的某些种类<sup>[25]</sup>。针对微囊藻形态学多样性的研究阐述了鄱阳湖微囊藻的种类和特征,旨在为今后蓝藻水华,尤其是微囊藻水华的研究提供分类学上的参考。

### 4 参考文献

- [1] 秦伯强,王小冬,汤祥明,等.太湖富营养化与蓝藻水华引起的饮用水危机:原因与对策[J].地球科学进展,2007(9):896-906.
- [2] 刘丽萍.滇池水华特征及成因分析[J].环境科学研究,1999(5):41-42.
- [3] 刘贞秋,蒙仁宪.巢湖浮游藻类的初步研究[J].安徽大学学报:自然科学版,1988(4):62-70.
- [4] 杨清心.太湖水华成因及控制途径初探[J].湖泊科学,1996(1):67-74.
- [5] Agrawal M K, Ghosh S K, Bagchi D, et al. Occurrence of Microcystin-containing toxic water Blooms in Central India [J]. Journal of microbiology and biotechnology, 2006, 16(2): 212-218.
- [6] Chen Wei, Peng Liang, Wan Neng, et al. Mechanism study on the frequent variations of cell-bound microcystins in cyanobacterial blooms in Lake Taihu: implications for water quality monitoring and assessments [J]. Chemosphere, 2009, 77(11): 1585-1593.
- [7] Guo Nichun, Xie Ping. Development of tolerance against toxic *Microcystis aeruginosa* in three cladocerans and the ecological implications [J]. Environmental Pollution, 2006, 143(3): 513-518.
- [8] 王晓鸿,樊哲文,崔丽娟,等.鄱阳湖湿地生态系统评估[M].北京:科学出版社,2004.
- [9] Wu Zhaoshi, Cai Yongjiu, Liu Xia, et al. Temporal and spatial variability of phytoplankton in Lake Poyang: the largest freshwater lake in China [J]. Journal of Great Lakes Research, 2013, 39(3): 476-483.
- [10] 吴颖靖.鄱阳湖湖区水体营养盐分布格局及富营养化动态分析[D].中南林业科技大学,2009.
- [11] 万金保,闫伟伟.鄱阳湖水水质富营养化评价方法应用及探讨[J].江西师范大学学报:自然科学版,2007,31(2):210-214.
- [12] 谢钦铭,李长春,彭赐莲.鄱阳湖浮游藻类群落生态的初步研究[J].江西科学,2000(3):162-166.

- [13] 王天宇,王金秋,吴健平. 春秋两季鄱阳湖浮游植物物种多样性的比较研究(英文) [J]. 复旦大学学报:自然科学版, 2004(6): 1073-1078.
- [14] Komárek J, Komárková J. Review of the European Microcystis-morphospecies (Cyanoprokaryotes) from nature [J]. Czech Phycology, Olomouc, 2002, 2: 1-24.
- [15] 虞功亮,宋立荣,李仁辉. 中国淡水微囊藻属常见种类的分类学讨论:以滇池为例 [J]. 植物分类学报, 2007(5): 727-741.
- [16] Rippka R. Isolation and purification of cyanobacteria [J]. Methods in Enzymology, 1988, 167: 3.
- [17] Ichimura T. Media for freshwater cyanobacteria [J]. Methods in Phycology Kyouritsu Shuppan, Tokyo, 1979: 295-296.
- [18] Kasai F, Kawachi M, Erata M, et al. NIES-collection list of strains [M]. Seventh ed. National Institute for Environmental Studies Tsukuba, 2004: 257.
- [19] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类: 系统、分类及生态 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [20] 张军毅,朱冰川,吴志坚,等. 片状微囊藻(*Microcystis panniformis*): 中国微囊藻属的一个新记录种 [J]. 湖泊科学, 2012(4): 647-650.
- [21] Otsuka S, Suda S, Li R, et al. Morphological variability of colonies of *Microcystis morphospecies* in culture [J]. The Journal of General and Applied Microbiology, 2000, 46(1): 39-50.
- [22] Wilmotte A, Golubic S. Morphological and genetic criteria in the taxonomy of cyanophyta/cyanobacteria [J]. Algal Stud, 1991, 64: 1-24.
- [23] Stewart F J, Cavanaugh C M. Intragenomic variation and evolution of the internal transcribed spacer of the rRNA operon in bacteria [J]. Journal of Molecular Evolution, 2007, 65(1): 44-67.
- [24] Rudi K, Skulberg O M, Larsen F, et al. Strain characterization and classification of oxyphotobacteria in clone cultures on the basis of 16S rRNA sequences from the variable regions V6, V7, and V8 [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1997, 63(7): 2593-2599.
- [25] Otsuka S, Suda S, Li R, et al. Morphological variability of colonies of *Microcystis morphospecies* in culture [J]. The Journal of General and Applied Microbiology, 2000, 46(1): 39-50.
- [26] Tan Wenhua, Liu Yang, Wu Zhongxing, et al. cpcBA-IGS as an effective marker to characterize *Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek in Kondratieva (cyanobacteria) [J]. Harmful Algae, 2010, 9(6): 607-612.
- [27] 徐彩平,李守淳,柴文波,等. 鄱阳湖水华蓝藻的一个新记录种: 旋折平裂藻(*Merismopedia convolute* Breb. Kutz-ing) [J]. 湖泊科学, 2012(4): 643-646.
- [28] 熊道光. 鄱阳湖湖流特性分析与研究 [J]. 海洋与湖泊, 1991(3): 200-207.
- [29] 徐海滨,孙明,隋海霞,等. 江西鄱阳湖微囊藻毒素污染及其在鱼体内的动态研究 [J]. 卫生研究, 2003(3): 192-194.
- [30] 金静,刘小真,李明俊. 赣江及鄱阳湖春夏两季微囊藻毒素的污染研究 [J]. 公共卫生与预防医学, 2007(4): 4-6.
- [31] 宋立荣,陈伟. 水华蓝藻产毒的生物学机制及毒素的环境归趋研究进展 [J]. 湖泊科学, 2009(6): 749-757.

## Study on Morphological Diversity of *Microcystis* (Cyanophyta) from Poyang Lake, China

YANG Ping, CHAI Wen-bo, HUANG Jing, LI Shou-chun\*

(College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** From January to October in 2011, several strains of *Microcystis* species in Poyang Lake, China, were collected and successfully isolated. Nine common species of *Microcystis* were obtained and morphologically described, and they were *M. aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *M. ichthyoblabe*, *M. wesenbergii*, *M. pseudofilamentosa*, *M. smithii*, *M. botrys*, *M. viridis*, *M. novacekii*. Morphological difference of *Microcystis* at culture conditions was evaluated and characterization of bloom-forming cyanobacteria and potential hazard of *Microcystis* in the lake was discussed.

**Key words:** bloom; *Microcystis*; morphological characteristic; Poyang Lake

(责任编辑: 刘显亮)