

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2018.20185

张玮, 尚光霞, 张军毅, 杨丽, 谭洪新, 王丽卿. 卵孢金孢藻 (*Chrysosporum ovalisporum*)——中国水华蓝藻新记录 [J]. 植物科学学报, 2018, 36(2): 185~190Zhang W, Shang GX, Zhang JY, Yang L, Tan HX, Wang LQ. First report of bloom forming cyanobacterial species *Chrysosporum ovalisporum* in China [J]. Plant Science Journal, 2018, 36(2): 185~190

卵孢金孢藻 (*Chrysosporum ovalisporum*) ——中国水华蓝藻新记录

张玮^{1,2,3}, 尚光霞^{1,2,3}, 张军毅⁴, 杨丽^{1,2}, 谭洪新^{1,3}, 王丽卿^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学农业部鱼类营养与环境生态研究中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 4. 无锡市环境监测中心站, 无锡 214023)

摘要: 卵孢金孢藻 (*Chrysosporum ovalisporum* (Forti) Zapomelová *et al.*) 是一种在欧洲地中海地区和澳大利亚较常见的水华蓝藻, 但我国目前还未有该物种分布的报道。本文对采自上海市滴水湖中的藻种进行分离培养, 获得了一株纯化藻株 CFWA01007, 经光学显微镜观察, 初步判定其为卵孢金孢藻, 对其形态特征进行了详细描述并测定了其 16S rRNA 基因序列, 结果与来自欧洲和北美的 *Chrysosporum ovalisporum* (Forti) Zapomelová *et al.* 相似度极高, 故判断其即为卵孢金孢藻, 这是该种在中国的首次发现。对该种的分类学和生态学特征进行了讨论。

关键词: 蓝藻; 卵孢金孢藻; 新记录种; 中国

中图分类号: Q949.22

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2018)02-0185-06

First report of bloom forming cyanobacterial species *Chrysosporum ovalisporum* in China

Zhang Wei^{1,2,3}, Shang Guang-Xia^{1,2,3}, Zhang Jun-Yi⁴, Yang Li^{1,2},
Tan Hong-Xin^{1,3}, Wang Li-Qing^{1,2,3*}(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education (Shanghai Ocean University), Shanghai 201306, China;
2. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources (Shanghai Ocean University), Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 3. Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition (CREEFN) of the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
4. Wuxi Environmental Monitoring Central Station, Wuxi, Jiangsu 214023, China)

Abstract: *Chrysosporum ovalisporum* (Forti) Zapomelová *et al.* is a common bloom forming species in Australia and the Mediterranean region of Europe. Until now, however, there have been no reports of *C. ovalisporum* (Forti) Zapomelová *et al.* in China. Here, one cultured *C. ovalisporum* strain (CFWA01007) was isolated from field samples collected from Lake Dishui in Shanghai City. A detailed morphological description of *C. ovalisporum* (Forti) Zapomelová *et al.* was determined using light microscopy. Phylogenetic analysis based on 16S rRNA confirmed this Chinese strain to be tightly grouped with strains from Europe and North America. Furthermore, the morphological features of this geographical strain were compared with other strains and its ecological features were summarized.

收稿日期: 2017-11-06, 退修日期: 2017-11-20。

基金项目: 上海市优秀技术带头人计划(15XD1522900); 上海市河道生态健康评估项目(HSK-2012-02)。

This work was supported by grants from the Shanghai Excellent Academic Leaders Program (15XD1522900) and Shanghai Urban River Ecosystem Health Assessment Project (HSK-2012-02).

作者简介: 张玮(1985-), 男, 博士, 研究方向为藻类生物学(E-mail: weizhang@shou.edu.cn)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: lqwang@shou.edu.cn)。

Key words: Cyanobacteria; *Chrysosporum ovalisporum*; Newly recorded species; China

束丝藻属(*Aphanizomenon* Morr. ex Born. et Flah.)是世界广布的蓝藻类群，其中多个物种均能引发“水华”，例如：水华束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault)、柔细束丝藻(*A. gracile* Lemmermann)和依沙束丝藻(*A. is-satschenkoi* (Usacev) Proshkina-Lavrenko)，但对束丝藻属中的卵孢束丝藻(*A. ovalisporum* Forti)报道相对较少。1911年，Forti^[1]首次对采集自土耳其伊斯坦布尔的卵孢束丝藻(*A. ovalisporum* Forti)进行了描述。之后，Komárek 和 Mares^[2]根据形态和分子生物学特征将鱼腥藻形态的丝状蓝藻进行重新归类，将卵孢束丝藻归入“*Anabaena-like cluster I*”类群，该类群的主要形态特征为：藻丝单根，不聚成群体或束状，藻丝从中部至末端渐窄，末端细胞不延长或微弱延长。同属于“*Anabaena-like cluster I*”类群的还有：*Anabaena bergii* Ostenfeld, *Anabaena minderi* Huber-Pestalozzi 和 *Aphanizomenon manguini* (Bourrelly) Komárek^[2]。2012年，Zapomelová 等^[3]采用分子生物学技术对来自鱼腥藻属(*Anabaena*)、长孢藻属(*Dolichospermum*)、尖头藻属(*Raphidiopsis*)、拟圆孢藻属(*Sphaerospermopsis*)的多个物种的16S rRNA 和 ITS 区基因进行了比较研究，并以伯氏金孢藻(*Chrysosporum bergii* (Ostenfeld) Zapomelová *et al.*)为模式种，新建立了金孢藻属(*Chrysosporum*)。该属的形态特征除符合上述“*Anabaena-like cluster I*”类群主要特征外，通常会产生黄褐色的厚壁孢子。目前，该属仅包含3个已确认物种，即：卵孢金孢藻(*Chrysosporum ovalisporum* (Forti) Zapomelová *et al.*)^[3]、伯氏金孢藻(*C. bergii* (Ostenfeld) Zapomelová *et al.*)^[3]和小型金孢藻(*C. minor* (Kiselev) Komárek)^[4]。

根据已有报道，卵孢金孢藻(*C. ovalisporum* (Forti) Zapomelová *et al.*)主要分布于欧洲地中海沿岸国家的湖泊水库^[5-8]和澳大利亚昆士兰地区的水库^[9]，并经常爆发水华；但近几年在亚洲的新加坡^[10]、俄罗斯远东地区^[11]以及北美少数地区^[12]也发现了该物种的踪迹。有研究认为，随着全球气候变暖的加剧，该物种将有可能入侵或扩散到更广

泛的地区^[13, 14]，但目前该物种在我国还未见报道和描述。本文首次报道了采自上海市滴水湖的卵孢金孢藻，对其形态特征进行了描述并对16S rRNA分子系统树进行了分析，以期为该物种的分类学研究和地理分布补充基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集及测定

采集地点位于上海市滴水湖及周边池塘，藻类样品用25号浮游植物网捞取，水体呈明显云彩状“水华”。水体温度(WT)、电导率(EC)、pH值、盐度(Sal)、溶氧(DO)等指标用YSI pro-plus(美国)水质测定仪现场测定。取200 mL水样，4℃冷藏，3 h内带回实验室，测定总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})等指标，测定方法参考《水和废水监测分析方法》^[15]。

1.2 藻种分离

使用经典的毛细管分离法：用酒精喷灯拉制巴斯德毛细管(Pasteur Micropipette)，在高倍解剖镜下挑取单根藻丝，用灭菌的去离子水清洗6~8次，最后放入含有5 mL BG11培养基的具塞试管中。在25℃光照培养箱中培养(光照强度2500 lx，光周期12 h : 12 h)，期间定期检查藻株是否纯化，对于不纯化的样本，重复上述过程，直至获得纯化藻株。小试管中培养至20 d左右，观察培养液显现明显颜色时，转移至100 mL灭菌的三角瓶中扩大培养。

1.3 形态观察和测量

藻丝形态观察使用Olympus BX53型光学显微镜，在400倍光镜和1000倍油镜下进行观察；外接数码相机DP 73与台式计算机。拍照和生物参数测量通过其附带的图像分析软件Image-pro express 5.1实行。选取30个以上的藻体数据进行测量统计。形态学鉴定主要参考Komárek^[16]和Gkelis等^[17]的方法。

1.4 16S rRNA基因序列测定和分子系统分析

利用培养藻株收集的藻细胞进行分析。藻细胞DNA提取参考Jiang等^[18]的方法。16S rRNA扩增引物为16S27F^[19]，由上海生工有限公司合成。PCR反应条件为：94℃预变性3 min；94℃变性

45 s, 57℃退火 45 s, 72℃延伸 2 min, 10 个循环; 94℃变性 45 s, 54℃退火 45 s, 72℃延伸 2 min, 25 个循环; 最后 72℃延伸 7 min^[3]。PCR 扩增产物用 1% 的琼脂糖凝胶电泳, 经 EB 染色, 在 Gel Doc™ EZ Imager 暗箱式紫外透射仪下检测。PCR 测序由上海美吉生物有限公司进行正、反向测序和拼接, 并与 GenBank 数据库中的基因序列进行比对。运用分子进化分析软件 MEGA 6.0、采用邻接法(Neighbor-joining method, NJ)构建分子系统树。采用自举检验(Bootstrap)估计系统树分支节点的置信度, 自展数据集为 1000, 以铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa* EU815063)为外类群。

2 结果

2.1 水质理化特性

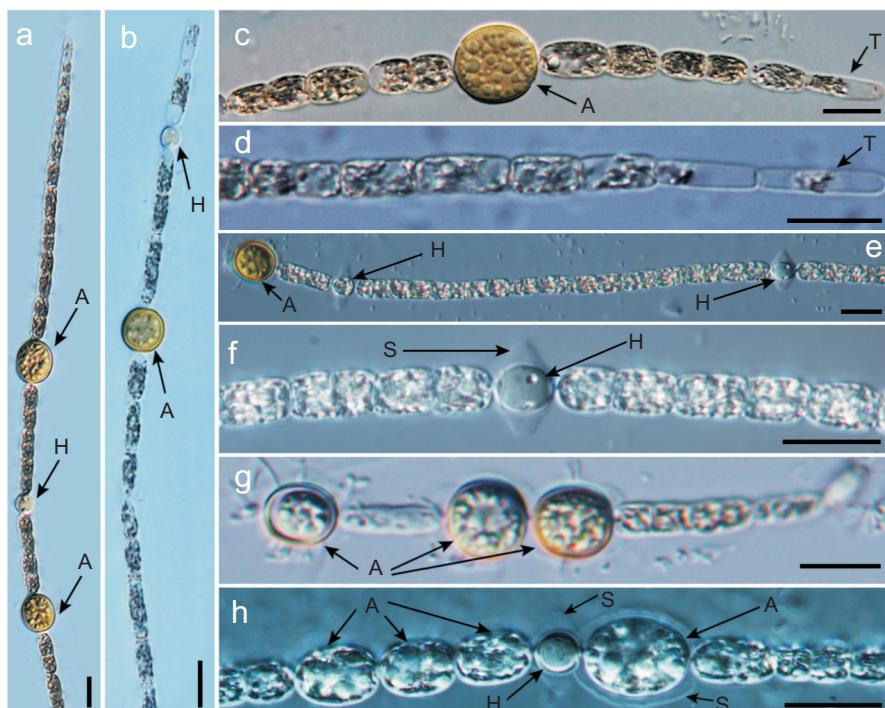
检出目标藻体的水体位于上海市滴水湖南部沿岸, 该水域毗邻东海, 水电导率较高(EC 为 2016 ~ 2463 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 平均 2352 $\mu\text{s}/\text{cm}$), 但盐度不高(Sal 为 1.23‰ ~ 3.45‰, 平均 1.64‰)。近年来, 因生活污水排放和农业污染, 滴水湖水体逐步趋于富营养化。2013 年夏季调查期间, 水体总磷(TP)浓度

为 0.058 ~ 0.088 mg/L, 平均 0.076 mg/L; 总氮(TN)浓度为 1.67 ~ 3.14 mg/L, 平均 2.32 mg/L; 高锰酸盐指数(COD_{Mn})浓度为 7.85 ~ 9.31 mg/L, 平均 8.57 mg/L; 水体温度(WT)为 30.5 ~ 32.3℃, 平均 31.0℃; pH 值 8.24 ~ 10.27, 平均 8.65。

2.2 形态学特征

野外采集的样本, 藻丝单生, 浮游性, 呈棕黄色或淡黄褐色。藻丝直, 从中部至末端渐窄, 细胞横壁收缢较明显(图 1: a, b)。末端细胞较其他营养细胞窄, 延长, 内含物少, 呈透明状。厚壁孢子金黄色或黄褐色, 大而圆, 或呈卵圆形, 具油滴(图 1: a, b, c, g, h)。异形胞小而透明, 圆形至椭圆形。厚壁孢子与异形胞可相邻而生, 每根藻丝通常出现 1 ~ 2 个, 极少数可见 6 个。少数个体异形胞和厚壁孢子的外侧有胶被包裹(图 1: f, h)。

经分离纯化获得了藻株 CFWA01007, 其形态学参数如下: 营养细胞长 3.5 ~ 12.3 μm , 平均 6.5 μm , 宽 3.4 ~ 6.0 μm , 平均 5.6 μm ; 异形胞长 4.3 ~ 7.5 μm , 平均 5.3 μm , 宽 4.1 ~ 5.5 μm , 平均 4.5 μm ; 厚壁孢子长 8.9 ~ 16.5 μm , 平均 13.5 μm , 宽 8.5 ~ 15.4 μm , 平均 12.9 μm 。根据



A: 示厚壁孢子; H: 示异形胞; T: 示末端细胞; S: 示胶被。标尺为 10 μm 。
A: akinete; H: heterocyst; T: terminal cell; S: slime. All scale bars = 10 μm .

图 1 卵孢金孢藻的形态特征

Fig. 1 Morphological characterization of *Chrysosporum ovalisporum*

形态学特征初步将其判定为卵孢金孢藻(*C. ovalisporum* (Forti) Zapomelová et al.)。

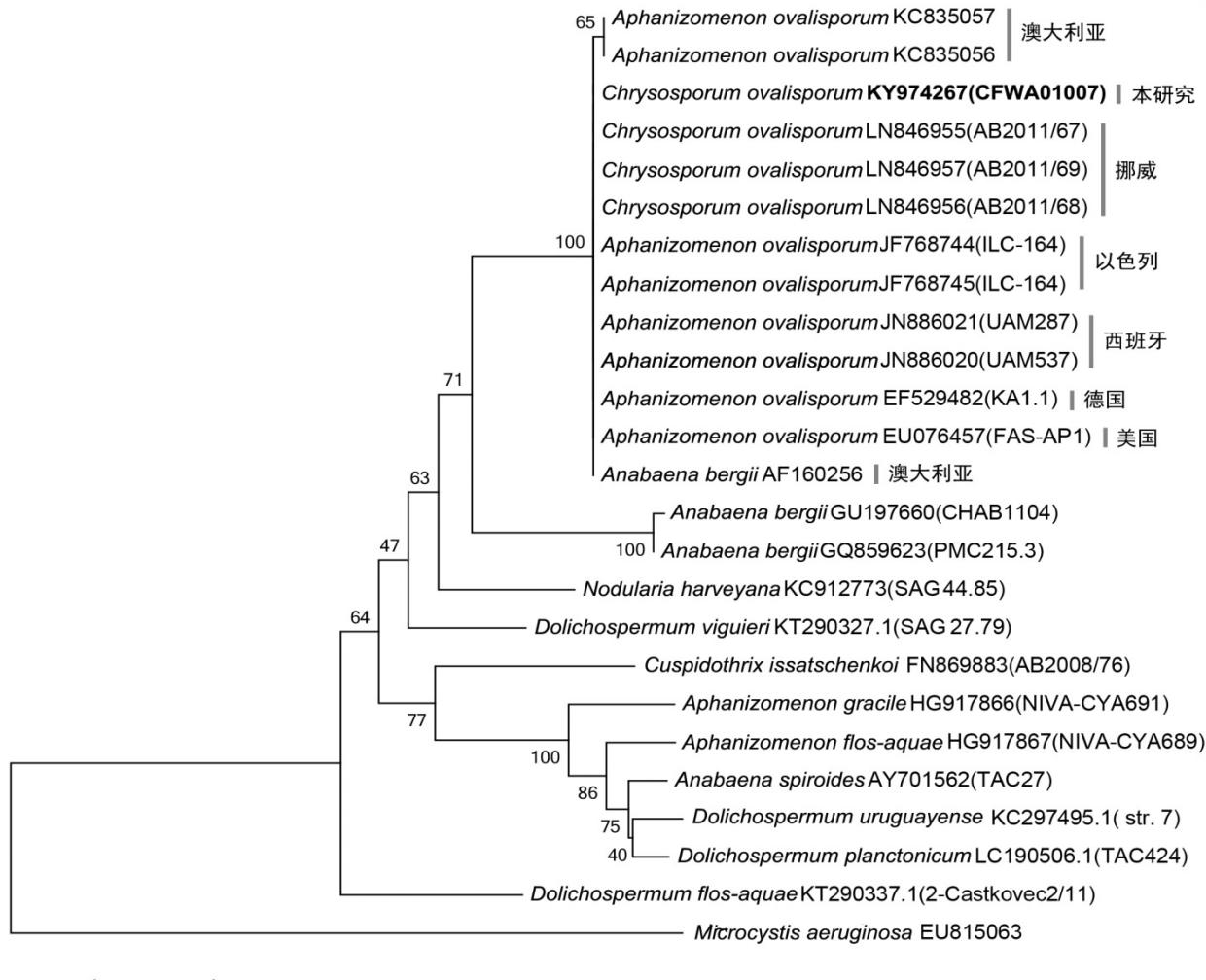
2.2 分子系统学分析

利用上述引物扩增 16S rRNA 基因, 得到了较为明亮的电泳条带, 进一步测序, 获得 1136 bp 的序列。通过 GenBank 数据库的 Blast 比对和基于 16S rRNA 序列的 NJ 系统树构建, 采自上海市滴水湖的藻株 CFWA01007 与来自欧洲和北美的 *Aphanizomenon ovalisporum* 和 *Chrysosporum ovalisporum* 具有极高的相似度(均达 100% 的相似度), 被聚在一起(图 2); 而与来自澳大利亚 Cobaki 湖的两株 *A. ovalisporum* 相似度稍低, 但也达到 98%。此外, 与来自澳大利亚的伯氏鱼腥藻(*Anabaena bergii* AF160256)相似度也较高, 达

到 100%。

3 讨论

1911 年, 卵孢金孢藻(*C. ovalisporum* (Forti) Zapomelová et al.)最早在土耳其伊斯坦布尔附近的一个小湖中被发现^[1]; 之后陆续在地中海沿岸的其他地区的湖泊中发现^[6]。从不同文献报道可看出, 该物种不同地理种群的形态均有一定差异(表 1)。其中, 来自欧洲地区的地理种群的厚壁孢子多呈明显的卵形或长椭球形, 而来自澳大利亚的种群厚壁孢子近球形, 上海市滴水湖藻种的特征与之较相似, 但本藻种的孢子相对更大(表 1)。从 16 S rRNA 测序结果来看, 滴水湖种群与欧洲水体的种群亲缘关系更近。这可能是不同地理环境的影



节点处数字代表 1000 重复 Bootstrap 值的百分数, 低于 50% 的未显示。

Numbers at each node represent the percentage of 1000 repeated bootstrap values, only showing those above 50%.

图 2 基于 16S rRNA 基因序列的蓝藻 NJ 分子系统树

Fig. 2 NJ tree of cyanobacteria based on partial 16S rRNA gene sequences

表1 不同地区卵孢金孢藻的形态特征比较

Table 1 Comparison of morphological features among different *Chrysosporum ovalisporum* geographical strains

| 形态特征 Morphological features | 本研究 This study | 来自文献 References | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| | | 中国上海 Shanghai, China | 土耳其 ^[1] Turkey | 以色列 ^[6] Israel | 昆士兰 ^[9] Queensland | 希腊 ^[17] Greece |
| 营养细胞 Vegetative cell | 长度 Length (μm) | 3.5 ~ 12.3 | 4 ~ 12 | 5 ~ 10 | 5 ~ 13.7 | 3.1 ~ 6.9 |
| | 宽度 Breadth (μm) | 3.4 ~ 6.0 | 4 ~ 5 | 3 ~ 4 | 5 ~ 6.2 | 3.3 ~ 5.1 |
| 异形胞 Heterocyte | 长度 Length (μm) | 4.3 ~ 7.5 | 12 ~ 12 | — | 5 ~ 11.5 | 7.6 ~ 10.5 |
| | 宽度 Breadth (μm) | 4.1 ~ 5.5 | 5 ~ 8 | 3 ~ 5 | 5 ~ 7.5 | 5.7 ~ 8.2 |
| 厚壁孢子 Akinete | 长度 Length (μm) | 8.9 ~ 16.5 | 18 ~ 20 | 7 ~ 15 | 10 ~ 12.5 | 16 ~ 24.2 |
| | 宽度 Breadth (μm) | 8.5 ~ 15.4 | 12 ~ 14 | 5 ~ 10 | 10 ~ 12.5 | 6 ~ 15.9 |

响使其形态产生变异所致。在金孢藻属中, 伯氏金孢藻(*C. bergii* (Ostenfeld) Zapomelová *et al.*)的形态特征与卵孢金孢藻最相似; 伯氏金孢藻是伯氏鱼腥藻(*Anabaena bergii* Ostenfeld)的同种异名。在前人的研究中, 有的将澳大利亚的卵孢束丝藻(*Aphanizomenon ovalisporum* Forti)误认为是伯氏鱼腥藻, 之后通过分子生物学方法得以纠正^[20]。这就是本研究 16S rRNA 结果中澳大利亚的伯氏鱼腥藻与卵孢金孢藻有极高相似度的原因。这 2 个物种的形态学差别主要为: 伯氏金孢藻(异名: 伯氏鱼腥藻)营养细胞通常呈近方形, 末端细胞呈圆锥形, 而卵孢金孢藻的营养细胞为圆柱形, 末端细胞为钝圆形; 另外, 前者孢子通常远离异形胞^[21], 而后者孢子可与异形胞相邻出现。

卵孢金孢藻主要出现在中营养、富营养水体, 据早期报道, 该物种常在以色列^[6]、澳大利亚昆士兰地区^[9]湖泊中爆发水华。近年来, 该物种在西班牙^[5, 23]、黎巴嫩^[24, 25]、意大利^[7]等国的多个中小型湖、库中爆发了水华, 并大量释放拟柱胞藻毒素(*cylindrospermopsin*, CYN)^[7]。CYN 不仅对水体浮游动物产生毒害^[26], 还会在高等生物体内富集^[27], 甚至危害人类健康^[28]。新的研究发现, 卵孢金孢藻释放的 CYN, 能刺激同一水体中其他浮游植物大量地释放碱性磷酸酶, 从而增加水体中可利用无机磷的含量, 进而在资源利用方面占据优势。另外, 卵孢金孢藻的生长、繁殖和扩散与水温密切相关。水温在 25℃以上时, 主要通过段殖体方式繁殖^[13], 具有较高的繁殖速率; 水温在 20 ~ 25℃时, 可产生大量厚壁孢子。因此, 随着全球气候变暖和水体富营养化的加剧, 卵孢金孢藻有可能会向不同地区扩散的风险。我国是淡水资源相对匮乏、水体富营养化污染较严重的国家之一, 许多内陆水体都爆发了以微囊藻为主要类群的蓝藻“水华”。最新调查发现, 源于热带地区的纳氏拟柱胞藻(*Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju)已开始在我国的东南沿海地区的多个湖、库开爆发^[18, 29]。本文首次报道了卵孢金孢藻在中国淡水水体的新分布, 该物种与其他土著物种的关系如何, 是否会在中国内陆湖、库扩散和蔓延, 还有待进一步研究, 也应引起生态学等相关领域的关注。

致谢:感谢中国科学院水生生物研究所李仁辉研究员在藻类鉴定方面给予的指导;感谢上海师范大学王全喜教授对本文的宝贵建议!

参考文献:

- [1] Forti A. Diagnoses myxophycearum novarum [J]. *Attie Memorie dell' Accademia di Agricoltura, Scienze Lettere, Artie Commercia di Verona*, Series IV, 1911, 12; 3~5.
- [2] Komárek J, Mareš J. An update to modern taxonomy (2011) of freshwater planktic heterocytous cyanobacteria [J]. *Hydrobiologia*, 2012, 698(1): 327~351.
- [3] Zapomelová E, Skácelová O, Pumann P, Kopp R, Janeček E. Biogeographically interesting planktonic Nostocales (Cyanobacteria) in the Czech Republic and their polyphasic evaluation resulting in taxonomic revisions of *Anabaena bergii* Ostenfeld 1908 (*Chrysosporum* gen. nov.) and *A. tenericaulis* Nygaard 1949 (*Dolichospermum tenericaule* comb. nova) [J]. *Hydrobiologia*, 2012, 698(1): 353~365.
- [4] Komárek J. Nomenclatural changes in heterocytous Cyanoprokaryotes (Cyanobacteria, Cyanophytes) [J]. *Fottea*, 2012, 12(1): 141~148.
- [5] Quesada A, Moreno E, Carrasco D, Paniagua T, Wormer L, *et al.* Toxicity of *Aphanizomenon ovalisporum* (Cyanobacteria) in a Spanish water reservoir [J]. *Eur J Phycol*, 2006, 41(1): 39~45.

- [6] Pollingher U, Hadas O, Yacobi YZ, Zohary T, Berman T. *Aphanizomenon ovalisporum* (Forti) in Lake Kinneret, Israel [J]. *J Plankton Res*, 1998, 20(7): 1321–1339.
- [7] Messineo V, Melchiorre S, Corcia AD, Gallo P, Bruno M. Seasonal succession of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Aphanizomenon ovalisporum* blooms with cylindrospermopsin occurrence in the volcanic Lake Albano, Central Italy [J]. *Environ Toxicol*, 2010, 25(1): 18–27.
- [8] Sukenik A, Kaplan-Levy RN, Viner-Mozzini Y, Quesada A, Hadas O. Potassium deficiency triggers the development of dormant cells (akinetes) in *Aphanizomenon ovalisporum* (Nostocales, Cyanoprokaryota) (1) [J]. *J Phycol*, 2013, 49(3): 580–587.
- [9] Shaw GR, Sukenik A, Livne A, Chiswell RK, Smith MJ, et al. Blooms of the cylindrospermopsin containing cyanobacterium, *Aphanizomenon ovalisporum* (Forti), in newly constructed lakes, Queensland, Australia [J]. *Environ Toxicol*, 2015, 14(1): 167–177.
- [10] Pham MN, Tan HT, Mitrovic S, Yeo HH. A Checklist of the Algae of Singapore [M]. Singapore: National University of Singapore, 2011.
- [11] Medvedeva L, Nikulina T. Catalogue of Freshwater Algae of the Southern Part of the Russian Far East [M]. Vladivostok: Dalnauka, 2014.
- [12] Vaccarino MA, Veselá J, Johansen JR. The algal flora of Acadia National Park, Maine [J]. *Northeast Nat*, 2012, 18(4): 457–474.
- [13] Cirés S, Wörmer L, Wiedner C, Quesada A. Temperature-dependent dispersal strategies of *Aphanizomenon ovalisporum* (Nostocales, Cyanobacteria): implications for the annual life cycle [J]. *Microb Ecol*, 2013, 65(1): 12–21.
- [14] Mehnert G, Leunert F, Cirés S, Jöhnk KD, Rücker J, Nixdorf B, et al. Competitiveness of invasive and native cyanobacteria from temperate freshwaters under various light and temperature conditions [J]. *J Plankton Res*, 2010, 32(7): 1009–1021.
- [15] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [16] Komárek J. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/3: Cyanoprokaryota: 3. Teil / Part 3: Heterocytous Genera [M]. Akademischer Verlag: Elsevier Spektrum, 2013.
- [17] Gkelis S, Moustaka-Gouni M, Sivonen K, Lanaras T. First report of the cyanobacterium *Aphanizomenon ovalisporum* Forti in two Greek lakes and cyanotoxin occurrence [J]. *J Plankton Res*, 2005, 27(12): 167–174.
- [18] Jiang Y, Xiao P, Yu G, Shao J, Liu D, et al. Sporadic distribution and distinctive variations of cylindrospermopsin genes in cyanobacterial strains and environmental samples from Chinese freshwater bodies [J]. *Appl Environ Microb*, 2014, 80(17): 5219–5230.
- [19] Taton A, Grubisic S, Brambilla E, De WR, Wilmotte A. Cyanobacterial diversity in natural and artificial microbial mats of Lake Fryxell (McMurdo Dry Valleys, Antarctica): a morphological and molecular approach [J]. *Appl Environ Microb*, 2003, 69(9): 5157–5169.
- [20] Fergusson KM, Saint CP. Multiplex PCR assay for *Cylindrospermopsis raciborskii* and cylindrospermopsin-producing cyanobacteria [J]. *Environ Toxicol*, 2003, 18(2): 120–125.
- [21] 杨丽, 虞功亮, 李仁辉. 中国鱼腥藻属的八个新记录种 [J]. 水生生物学报, 2009, 33(5): 917–23.
- Yang L, Yu GL, Li ZH. Eight newly recorded species of *Anabaena* Bory (Nostocaceae, Cyanophyta) from China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(5): 917–23.
- [22] Ballot A, Ramm J, Rundberget T, Kaplanlevy RN, Hadas O, et al. Occurrence of non-cylindrospermopsin-producing *Aphanizomenon ovalisporum* and *Anabaena bergii* in Lake Kinneret (Israel) [J]. *J Plankton Res*, 2011, 33(1): 3–33.
- [23] Fadel A, Atoui A, Lemaire BJ, Vinçon-Leite B, Slim K. Dynamics of the toxin cylindrospermopsin and the cyanobacterium *Chrysosporum* (*Aphanizomenon*) ovalisporum in a Mediterranean eutrophic reservoir [J]. *Toxins*, 2014, 6(11): 3041–3057.
- [24] Atoui A, Hafez H, Slim K. Occurrence of toxic cyanobacterial blooms for the first time in Lake Karaoun, Lebanon [J]. *Water Environ J*, 2013, 27(1): 42–49.
- [25] Fadel A, Lemaire BJ, Atoui A, Vinçon-Leite B, Amacha N, et al. First assessment of the ecological status of Karaoun reservoir, Lebanon [J]. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 2014, 19(2): 142–157.
- [26] Nogueira IC, Lobo-da-Cunha A, Vasconcelos VM. Effects of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Aphanizomenon ovalisporum* (Cyanobacteria) ingestion on *Daphnia magna* midgut and associated diverticula epithelium [J]. *Aquat Toxicol*, 2006, 80(2): 194–203.
- [27] Kinnear S. Cylindrospermopsin: a decade of progress on bioaccumulation research [J]. *Mar Drugs*, 2010, 8(3): 542–564.
- [28] Carmichael WW, An JS, Jochimsen EM, Lau S, Rinehart KL, et al. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins [J]. *Environ Health Persp*, 2001, 109(7): 663.
- [29] Lei L, Peng L, Huang X, Han BP. Occurrence and dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* and dissolved cylindrospermopsin in urban reservoirs used for drinking water supply, South China [J]. *Environ Monit Assess*, 2014, 186(5): 3079–3090.