

我国淡水水华蓝藻 束丝藻属新记录种

吴忠兴¹ 虞功亮¹ 施军琼² 李仁辉¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 河南师范大学生命科学学院, 新乡 453007)

摘要: 由于束丝藻属 (*Aphanizomenon* Morr. ex Bom. et Flah.) 的藻丝、营养细胞、藻丝末端细胞 (Terminal cells)、异型胞 (Heterocysts)、厚壁休眠孢子 (Akinetes) 的形态和大小等特征易变, 对鉴定工作造成许多困难, 所以该属的分类一直以来是藻类学者面临的长期难题。基于当今束丝藻属的分类研究, 对我国淡水水体束丝藻属进行了研究, 比较了该属的藻丝、营养细胞、异形胞、厚壁孢子及末端细胞的特征, 发现了我国淡水水体的 2 个新记录种: 柔细束丝藻 (*Aphanizomenon gracile* Lemm.) 和依沙束丝藻 (*A. issatschenkoi* (Usacev) Proškina - Lavrenko), 并对其形态特征进行了详细描述。

关键词: 束丝藻属; 新记录种; 水华蓝藻

中图分类号: X173 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2009)06-1140-05

近年来, 水环境污染不断加剧, 湖泊水体富营养化严重, 在许多湖泊中相继暴发蓝藻水华。蓝藻水华的暴发, 造成湖泊水质恶化、透明度下降、厌氧程度提高、生物多样性下降和优势物种改变, 从而破坏了水体生态系统结构和功能。水华暴发对供水、人类健康、养殖和旅游等的危害, 已给许多国家带来了巨大的损失^[1]。

我国是个湖泊富营养化比较严重的国家之一。已报道有几十个属的上百种蓝藻可以形成水华^[2], 但在我国出现最广泛、最常见水华蓝藻为微囊藻属 (*Microcystis*) 的种类, 因此微囊藻水华已经被广泛关注和深入的研究。然而, 除了微囊藻属外, 束丝藻属 (*Aphanizomenon* Morr. ex Bom. et Flah.) 也是一类我国水体常见的水华蓝藻, 如: 束丝藻水华与微囊藻水华交替出现, 已构成了滇池独特的蓝藻水华现象^[3]。由于这个属的藻丝、营养细胞、藻丝末端细胞 (Terminal cells)、异型胞 (Heterocysts)、厚壁休眠孢子 (Akinetes) 的形态和大小等特征易变, 对鉴定工作造成许多困难。与国外相比, 我国对束丝藻属的研究仍然较少, 尤其在其分类上基本处于空白。至目前为止, 报道的束丝藻属仅一种, 即水华束丝藻 (*A. flos-aquae*)^[4]。为了更好地了解我国水体束丝

藻的特性及种类分布, 作者对我国不同水体束丝藻进行了形态观察和分子生物学研究。在此, 本文报道我国淡水束丝藻属的 2 个新记录种 柔细束丝藻 (*A. gracile* Lemm.) 和 依沙束丝藻 (*A. issatschenkoi* (Usacev) Proškina - Lavrenko)。

1 材料与方法

1.1 样品采集 在湖北、云南、广东、江西、安徽、江苏、上海、北京等地的水体, 用 25# 浮游生物网捞取水体中的浮游藻类。

1.2 藻种分离、培养 使用经典的毛细管法, 即用巴斯德吸管制作的毛细管 (Pasteur Micropipette) 在解剖镜下挑取单根藻丝, 清洗 6—8 次, 最后放入含有 5 mL CT 培养基中。在光强为 $25 \mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 光暗周期为 12/12, 温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下培养获得单种藻种。

2 结果

2.1 柔细束丝藻 (图 1)

Aphanizomenon gracile (Lemm.) Lemm.,
Fig. 1a, b, and c.

Aphanizomenon gracile (Lemm.) Lemm.,

收稿日期: 2008-08-27; 修订日期: 2008-12-30

基金项目: 国家自然科学基金 (30770165); 中国科学院百人计划 (082303-1-501); 国家“973”项目 (2008CB418002); 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-YW-14-1) 资助

作者简介: 吴忠兴 (1975—), 男, 福建邵武人; 助理研究员; 主要从事藻类生理生态及分子系统学研究。E-mail: wuzhx96@163.com

通讯作者: 李仁辉, E-mail: reli@ihb.ac.cn

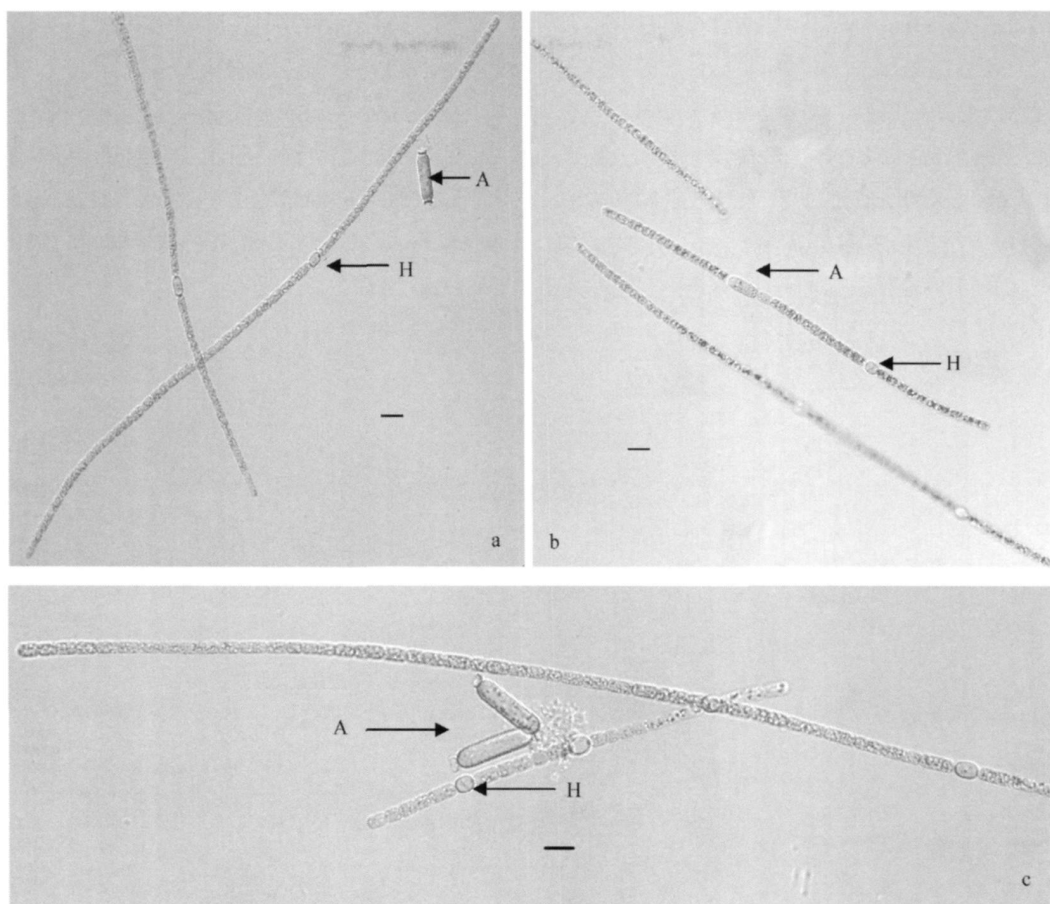


图 1 柔细束丝藻形态特征图

Fig. 1 The morphological characterization of *Aphanizomenon gracile*

A. 厚壁孢子; H. 异形胞; 标尺比例为 10 μm

A. Aknite; H. Heterocyst; Bar = 10 μm

Krypt. Fl. Mark Brandenb. 5: 193, 1910. Fig. 16; Geitler, Cyanophyceae, 1932. pp. 825—826; Komárek & Kováčik, Plant. Syst. Evol. 164, 1989. pp. 48—55, 60, 62, Figs. 1—7, 11, 13c; Komárek & Anagnostidis, Arch. Hydrobiol. Suppl. 82. 1989. p. 309, Fig. 24.

Basonym: *Anabaena flos-aquae* var. *gracile*
(Lemm.) Lemmermann, Forschungsb. Biol. Stat. Plön
6, S. 204, 1898.

Synonym: *Aphanizomenon flos-aquae* f. *gracile* (Lemm.) Elenkin Pars spec 1, 2, Akad. Moscow-Leningrad: Nauk SSSR. 1938.

藻丝单生、直或略弯曲,具气囊,能自由飘浮,胶鞘不明显。营养细胞圆柱状、桶状,细胞具有轻微收缩。细胞长 2.5—9.0 μm ,宽 2.5—5.0 μm ,长宽比为 0.5—2.9。末端基部细胞长 2.5—9.0 μm ,宽 2.0—4.0 μm ,长约是宽的两倍。顶端细胞圆形、圆锥形、球形,有时略窄且延长,细胞长 2.5—9.0 μm ,宽 2.5—5.0 μm ,长宽比为 0.6—4.1。每根藻丝通

常 1—3 个异形胞, 异形胞卵形、圆柱状, 有时球形; 细胞长 5.0—11.0 μm , 宽 3.5—7.0 μm , 长宽比为 0.9—2.9。厚壁孢子多单生, 远离异形胞, 长柱形、卵形、有的近乎圆形, 常有分离的外壳和类似衣领状结构延伸到相邻营养细胞的一侧, 长 11.0—42.0 μm , 宽 3.5—8.5 μm , 长宽比为 2.2—8.2。

该种为淡水浮游种类，分布较为广泛，主要分布在小型富营养化湖泊或鱼池中，1983年，斯洛伐克的 Stará Morava湖形成大面积水华。在欧洲许多文章中长期都把它认为是水华束丝藻的变型 (*Aphanizomenon flos-aquae* f. *gracile*)^[5-9]。1989年，Komárček & Kováčik^[10]将这一变型重新归为该种，并与 *A. volzii*和 *A. m. manderi*共同组成束丝藻的第三类群。柔细束丝藻与水华束丝藻的区别在于前者顶端细胞没有明显的延伸，也不呈透明状，丝体单生不成束。

该种在澳大利亚 (Murray River, Warren Reservoir, Strathalbyn Reservoir, Bundaleer Reservoir, Ba-

roota Reservoir, Glenlyon Dam, Violet Creek Reservoir, Lance Creek Reservoir, Whitton Lake, Sea Lake Storage)、美国 (Kezar Lake, New Hampshire)、斯洛伐克 (Stará Morava Lake)等已有报道,本研究已发现我国湖北 (武昌)、云南 (滇池)、广东 (广州)等湖泊水库中分布,作者已将该种分离并培养,永久标本 (编号:Aph. GRA1)存于中国科学院水生生物研究所所有害藻类学科组。

2.2 依沙束丝藻 (图 2)

Aphanizomenon issatschenkoi (U sac̆ev) Proškina-Lavrenko Fig. 2 a, b and c

Aphanizomenon issatschenkoi (U sac̆ev) Proškina-Lavrenko, Vodor. Plankton. Kas̆ij.Morja. 1968; Nicholls&Camey, Can. J.Bot. 57. 1979. p. 1596, Figs. 5g-1; Kamárek & Kováček, Plant. Syst. Evol. 164, 1989. pp. 62—63, Fig. 13b.

藻丝单生、直或略弯曲,丝体长度可达 430 μm,

图 2 依沙束丝藻形态特征图

Fig. 2 The morphological characterization of *Aphanizomenon issatschenkoi*
A. 厚壁孢子; H. 异形胞; T. 顶端细胞; 标尺比例为 10 μm
A. Akinete; H. Heterocyst; T. apical cell; Bar = 10 μm

丝体末端一端或两端明显变细,具气囊,能自由漂浮,胶鞘不明显,藻丝亚对称结构。营养细胞圆柱状、桶状,细胞具有轻微收缢,细胞长 4.0—11.0 μm ,宽 2.5—5.0 μm ,长宽比为 0.9—3.0。丝体末端细胞窄长,并逐渐变细,细胞长 3.0—15.5 μm ,宽 1.0—4.0 μm ;顶端细胞尖细并成发丝状,细胞长 3.5—41.5 μm ,宽 0.5—3.0 μm 。每根藻丝通常有 1—3 个异形胞,异形胞成圆柱状、椭圆形或卵形,极点不明显,细胞长 6.5—13.0 μm ,宽 4.0—5.5 μm ,长宽比为 1.5—3.1。厚壁孢子桶状,多单生,常位于离藻丝末端,但远离异形胞和顶端细胞,长 2.5—5.0 μm ,宽 3.0—5.0 μm ,长宽比为 1.7—6.4。

该种为淡水浮游种类,其明显不同于本属其他种类的特征是:末端细胞具有显著的延伸、顶端细胞成发丝状。目前,已报道其能产生神经毒素 (PST)^[11]。Rajaniemi, *et al.*^[12]对其 16S rRNA 进行了分析,把该种与另外三种 (*Aphanizomenon tropicalis*, *A. elenkinii* 和 *A. capricornii*) 另立为一个新属 — *Cuspidothrix*。但这一结论仍有待进一步确定。

该种报道于波兰 (Lake of Wielkopolski National Park)、澳大利亚 (River Murray, Warren Reservoir, Fitzroy River)、日本 (霞浦湖)、新西兰 (Lake Hakanoa)、匈牙利 (Lake Balaton) 等。我国目前已经在湖北 (武汉、鄂州)、云南滇池等湖泊发现有分布。作者已将该种分离并培养,永久标本 (编号: Aph. ISS1) 存于中国科学院水生生物研究所有害藻类学科组。

3 讨 论

束丝藻的分类一直是藻类学家们争议较多的问题之一,不同的藻类学者对其界定和分类常呈现不同的看法。Geitler^[13]最早将束丝藻归纳为 4 个种: *A. flos-aquae*, *A. gracile*, *A. holsaticum* 及 *A. ovalisporum*。Střamach^[8]认为此属包括 2 个种和 2 个变型: *A. issatschenkoi*, *A. issatschenkoi f. gracilis*, *A. flos-aquae f. flos-aquae*, *A. flos-aquae f. gracile*。Komárek & Kováčik^[10]认为该属包括 4 个类型: 1) *A. flos-aquae*, *A. flos-aquae v. flos-aquae*, *A. flos-aquae v. klebahnii* 及 *A. yezoense*; 2) *A. issatschenkoi*, *A. tropicalis*, *A. elenkinii*, *A. capricornii* 及 *A. ovalisporum var. caspicum*; 3) *A. gracile*; 4) *A. ovalisporum*, *A. chinense*, *A. sphaericum*, *A. manguinii* 和 *A. aphanizomenoides*。Hindák^[14]赞同将 *A. gracile* 作为束丝藻一个种单位,并对其进行了详细的描述。Rajaniemi, *et al.*^[11]根据分子生物学的研究将

A. issatschenkoi 所在的这类单独成立一个新属 (*Cuspidothrix*)。Komárek & Kováčik^[15]根据形态和分子手段又赞同 Rajaniemi, *et al.* 的观点,但又重新增加了一个新种 *A. volzii*。

由于束丝藻的分类仍存在一定的争议,因此,本研究仍采用了 Komárek & Kováčik^[8]的经典束丝藻分类系统体系。此前,我国报道的该属植物仅水华束丝藻 1 种^[4]。本文报道的依沙束丝藻 *A. issatschenkoi* 和柔细束丝藻 *A. gracile* 在我国一些湖泊,特别是南方富营养化湖泊中占有一定的比例,有时数目可达 10^7 至 10^9 个细胞 /L,且这两种束丝藻已被报道产生神经毒素 (PST)。对这些产毒束丝藻种类需进一步关注和加强研究。

参考文献:

- [1] Camichael W W. Health Effects of Toxin Producing Cyanobacteria: "The Cyano HABs" [J]. *Human Ecol. Risk Assess.*, 2001, 7(5): 1393—1407
- [2] Yu B S, Wu Z X, Zhu M L, *et al.* The formation of cyanobacterial bloom in the Shuguohu Bay and its effect on Donghu Lake, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, 32(2): 286—289 [余博识, 吴忠兴, 朱梦灵, 等. 水果湖湾蓝藻水华的形成及其对东湖影响的评价. 水生生物学报, 2008, 32(2): 286—289]
- [3] Liu Y M, Liu Y D, Li D H, *et al.* Bioassay for the toxicity of *Aphanizomenon flos-aquae* bloom from Lake Dianchi [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28(2): 216—218 [刘永梅, 刘永定, 李敦海, 等. 滇池束丝藻水华毒性生物检测. 水生生物学报, 2004, 28(2): 216—218]
- [4] Zhu H R. Flora algarum sinicarum aquae dulcis. Tomus I, Cyanophyta Homogonophyceae [M]. Beijing: Science Press, 2007 [朱浩然. 中国淡水藻志 (第九卷) 蓝藻门藻殖段纲. 科学出版社, 2007]
- [5] Elenkin A A. Monographie Algarum Cyanophycearum Aquidulcium et Terrestrium Infinitibus URSS Inventarum, Vol. 1 Pars Specialis (Systematica) Fasc. I Acad. Nauk, URSS [M]. Moscow & Leningrad, 1938, 984
- [6] Hollerbach M M, Kossinskaja E K, Poljanskij V I L. Sinezelenye vodorosli (blue-green algae). In: Opred. Presnov. Vodorosli SSSR 2 [M]. Sov. Nauka, Moskva, 1953, 652
- [7] Komárek J. Die taxonomische revision der planktischen blualgen der Tschechoslowakei. In: Komárek J & Ettl H (Eds.), *Algologische studien* [M]. Tschechosl. Akad., Praha, 1958, 10—206
- [8] Střamach K. Cyanophyta-Sinice Glaucophyta-Glaukofity - In: Střamach K (Eds.), *Flora Slodkowodna Polski*, Tom 2 [M]. Polska Akademia Nauk, Warsaw, 1966, 807
- [9] Kondratieva N V. Sin' o-zeleni vodorosti- Cyanophyta. In: Viznac' prsnov. Vodorost Ukr. RSR Vidav [M]. "Naukova Dumka", Kiev, 1968, 1—524

- [10] Komárek J, Kováčik L. Trichome structure of four *Aphanizomenon* taxa (Cyanophyceae) from Czechoslovakia, with notes on the taxonomy and delimitation of the genus [J]. *Plant Syst. Evol.*, 1989, **164**: 47—64
- [11] Wood SA, Rasmussen J P, Holland P T, *et al.* First report of the cyanotoxin anatoxin-a from *Aphanizomenon issatschenkoi* (cyanobacteria) [J]. *J. Phycol.*, 2007, **43**: 356—365
- [12] Rajaniemi P, Komárek J, Hoffmann L, *et al.* Taxonomic consequences from the combined molecular and phenotype evaluation of selected *Anabaena* and *Aphanizomenon* strains [J]. *Arch. Hydrobiol. /Algolog. Stud.*, 2005, **117**: 371—391
- [13] Geitler L. Cyanophyceae. In: Rabenhorsts L (Eds.), *Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz* [M]. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. Leipzig. 1930—1932, 1—1196
- [14] Hindák F. Morphological variation of four planktic nostocalean cyanophytes—members of the genus *Aphanizomenon* or *Anabaena* [J]. *Hydrobiologia*, 2000, **438**: 107—116
- [15] Komárek J, Komárková J. Diversity of *Aphanizomenon*-like cyanobacteria [J]. *Czech Phycol.*, 2006, **6**: 1—32

THE TWO NEWLY RECORDED SPECIES OF BLOOM-FORMING CYANOBACTERIAL GENUS APHANIZOMENON MORR. EX BORN. ET FLAH. (CYANOPHYTA) FROM CHINA

WU Zhong-Xing¹, YU Gong-Liang¹, SHI Jun-Qiong² and LI Ren-Hui¹

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;

2. College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang 453007)

Abstract: Taxonomy of *Aphanizomenon* has been problematic for a long time due to the fact that the morphological characters of the filaments, vegetable cells, terminal cells, heterocysts, and akinetes in the genus are found to be variable. Based on the existing taxonomic system, *Aphanizomenon* strains collected in China were examined for their morphological characters including filaments, vegetable cells, terminal cells, heterocysts, and akinetes. The results showed that two newly recorded species of *Aphanizomenon* were found from Chinese freshwater bodies. Therefore, these two species including *A. gracile* Lemmermann and *A. issatschenkoi* (Ušáček) Proškina-Lavrenko, were reported and described in this study for details.

Key words: *Aphanizomenon* Morr. ex Born. et Flah.; Newly recorded species; Bloom-forming cyanobacteria