

一种淡水水华硅藻——链状弯壳藻 (*Achnanthydium catenatum*)^{*}

马沛明¹, 施练东², 赵先富¹, 张俊芳¹, 陈 威¹, 胡菊香^{1**}

(1: 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079)

(2: 绍兴市汤浦水库有限公司, 上虞 312364)

摘 要: 作为区域重要饮用水源的浙江绍兴汤浦水库于 2010 年 5 月期间暴发以硅藻和蓝藻为主的藻类水华. 对库尾、库中和坝前 3 处浮游植物样品进行采集和分析, 结果表明, 汤浦水库浮游植物密度在 $1.13 \times 10^8 \sim 1.56 \times 10^8$ cells/L 之间, 水华优势种之一为我国大陆地区首次报道的羽纹纲硅藻——链状弯壳藻 (*Achnanthydium catenatum*), 另一种为丝状蓝藻——湖泊假鱼腥藻 (*Pseudanabaena limnetica*), 两者的平均相对丰度分别为 65.6% 和 28.2%; 链状弯壳藻是弯壳藻属中唯一适应浮游生长的种类, 具有独特的带面观, 能以壳面相连形成 2~3 个细胞的短链状群体; 对国内外 3 次链状弯壳藻为优势种的水华案例进行分析, 发现该藻为广温性种类, 适应低光强和低磷浓度生长; 水华消机理则需进一步研究.

关键词: 硅藻; 水华; 弯壳藻属; 链状弯壳藻; 水源; 形态; 生态; 汤浦水库

A bloom-forming freshwater diatom: *Achnanthydium catenatum*

MA Peiming¹, SHI Liandong², ZHAO Xianfu¹, ZHANG Junfang¹, CHEN Wei¹ & HU Juxiang¹

(1: Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P. R. China)

(2: Shaoxing Tangpu Reservoir Co., Ltd., Shangyu 312364, P. R. China)

Abstract: In May 2010, algal bloom dominated by diatom and blue-green algae broke out in Tangpu Reservoir, which is the drinking water resource of Shao Xing, Zhejiang Province. Phytoplankton samples collected from 3 sites (Kuwei, Kuzhong, and Baqian) along the flow direction were investigated. The phytoplankton density ranged between 1.13×10^8 and 1.56×10^8 cells/L. The dominant species *Achnanthydium catenatum* (Bily et Marvan) is a pennatae diatom, which was first reported from mainland in China. Another dominant species *Pseudanabaena limnetica* belongs to filamentous cyanobacteria, and their average relative abundances were 65.6% and 28.2%, respectively. *Achnanthydium catenatum* is the only planktonic species of the genus *Achnanthydium* showing distinctive girdle view and colonies consisting of a maximum of 3 frustules. Case studied of three different *Achnanthydium catenatum* blooms indicated that this species was eurythermal and adapted to lower light intensity and phosphorus concentration. Further study should shed more lights on the formation and disappearance mechanisms of this algal bloom.

Keywords: Diatom; water bloom; *Achnanthydium*; *Achnanthydium catenatum*; drinking water source; morphology; ecology; Tangpu Reservoir

长期的浮游植物生态学研究表明, 大部分淡水硅藻水华发生在春、秋两季^[1-2], 其中较常见的水华优势种包括中心纲的冠盘藻属 (*Stephanodiscus*)、小环藻属 (*Cyclotella*) 和直链藻属 (*Melosira*) 以及羽纹纲无壳缝目的星杆藻属 (*Asterionella*)、脆杆藻属 (*Fragilaria*) 和针杆藻属 (*Synedra*) 等^[2-3]. 不少研究将藻类水华与水体富营养化同等对待, 其实水华的形成是一系列环境条件共同作用的结果; 硅藻种类繁多且生理生态学特性不一, 但已有的研究大多将硅藻水华归因于充足的营养物质、适宜的气象和水文水力学条件^[4-7]. 1990s 以

* 国家自然科学基金项目 (51209148)、浙江省科技厅项目 (2010C33080) 和绍兴市重点社会发展科研项目 (2011A23005) 联合资助. 2012-03-09 收稿; 2012-06-05 收修改稿. 马沛明, 男, 1979 年生, 助理研究员; E-mail: pablomaming@gmail.com.

** 通信作者; E-mail: hujx@mail.ihe.ac.cn.

来,我国汉江中下游及其支流接连暴发多次大规模的春季汉斯冠盘藻(*Stephanodiscus hantzschii*)水华^[8];三峡水库 2003 年蓄水以来,库区部分支流和库湾连年暴发春季甲藻和硅藻(主要是星杆藻、小环藻和冠盘藻)水华^[9-11];这些水华不同程度地影响了水体景观和生态系统服务功能,威胁沿岸供水安全,同时也引起了一系列硅藻水华相关研究。

2010 年春季,浙江宁波、台州和绍兴地区多个饮用水源水库暴发较大规模硅藻水华,期间水质有所恶化,对水源地的安全运行造成一定影响。通过对水华样品的分析和鉴定,发现其优势种为我国大陆地区首次报道的羽纹纲种类链状弯壳藻(新拟)*Achnantheidium catenatum* (Bílý et Marvan) Lange-Bert., 本文对该水华硅藻进行了形态学观察和描述,并与国外同种水华案例进行对比,对其生态特性进行分析,初步探讨了水华成因,以期为该硅藻水华的形成机制及防治对策研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

2010 年 4—5 月浙江绍兴汤浦水库浮游植物异常增殖,暴发以硅藻和蓝藻为优势的藻类水华。期间采集了库尾、库中和坝前 3 个采样点的浮游植物样品:定性样品用 25 μ 浮游植物网在水体表层呈“ ∞ ”字形来回拖动约 3~5 min,收集至 100 ml 采样瓶,用甲醛溶液固定,带回实验室在 10 \times 40 倍显微镜下观察,进行种属鉴定;定量样品在水体表层 0.5 m 处采集 2 L,用鲁哥试剂固定,带回实验室沉淀浓缩至 30 ml,在显微镜下利用浮游生物计数框行格法进行分类计数,对于密度高不适合行格法计数的样品采用视野计数法,对 30~50 个视野计数,使细胞数不少于 300 个,每个样品计数至少 2 遍,误差不超过 $\pm 15\%$;浮游植物生物体积按照各种近似几何形状的公式计算,假定浮游植物的密度为 1.0 mg/L,来计算浮游植物生物量(湿重)^[12];水质理化数据由汤浦水库有限公司提供。

1.2 硅藻样品处理与鉴定

硅藻样品通过酸处理^[13],并用 NaphraxTM (折射率 $RI = 1.74$) 封片剂制作成硅藻永久标片,在 Olympus BX51 型显微镜微干涉和相差模式 10 \times 100 倍油镜下进行观察;取部分酸处理样品,均匀涂布于盖玻片上自然干燥,喷金后在 JSM-6390 (JEOL Co. Ltd, 日本) 扫描电子显微镜 (SEM) 下观察;标本鉴定参考文献[13-16]以及《Algological Studies》杂志 2011 年 3 月出版的 136/137 卷关于 *Achnantheidium* Kützinger 属的专刊^[17]。

2 结果与讨论

2.1 水华期间浮游植物特征

本研究共采集并鉴定出浮游植物 26 种,隶属于 4 门 20 属,其中硅藻门(Bacillariophyta)7 属 9 种,绿藻门(Chlorophyta)7 属 9 种,蓝藻门(Cyanophyta)4 属 5 种和隐藻门(Cryptophyta)2 属 3 种。

汤浦水库浮游植物平均密度为 $(1.29 \pm 0.23) \times 10^8$ cells/L,范围是 $1.13 \times 10^8 \sim 1.56 \times 10^8$ cells/L,库尾最高,库中最低(图 1a)。浮游植物以硅藻门占绝对优势(图 1b),平均丰度百分比为 66.61%,以库中最高(73.70%),库尾最低(55.32%);其次为蓝藻门,平均丰度百分比为 32.55%,以库尾最高(43.21%),库中最低(25.56%);其余门类所占比例极低;平均丰度百分比仅为 0.84%。

浮游植物丰度优势种包括硅藻门的链状弯壳藻(*Achnantheidium catenatum*)和蓝藻门的湖泊假鱼腥藻(*Pseudanabaena limnetica*),两者的平均百分比丰度分别为 65.6% 和 28.2%;在 3 个采样点都发现的种类还有小环藻(*Cyclotella* sp.)、尖针杆藻(*Synedra acus*)和另一种假鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.)。

2.2 链状弯壳藻属种描述

2.2.1 弯壳藻属(新拟) *Achnantheidium* Kützinger 1844,细胞小,两壳面异形,具壳缝的一面为 R 面,具假壳缝一面为 P 面;壳面线形-披针形至线形-椭圆形,末端头状至亚喙状,长度 $< 30 \mu\text{m}$ (一般在 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 之间),宽度 $< 5 \mu\text{m}$,带面呈浅 V 形;扫描电镜下观察,横线纹由单列点纹组成,呈放射状或几乎平行,在中部分布较疏(约 30 条/10 μm)两端较密(约 40 条/10 μm),靠近中轴区的点纹比边缘的更粗大(具缝壳一面更明显);壳缝结构精细,近端缝很少膨大,末端缝呈直线形或偏向一侧,壳套上有一列延长成短线状孔纹^[18]。

弯壳藻属硅藻是淡水常见种类,一般具胶质柄附着在各种基质上,通常能在江河、溪流和湖泊沿岸带旺

盛生长,成为淡水底栖硅藻群落的主要成分.其中极小弯壳藻 *Achnantheidium minutissimum* (=极小曲壳藻 *Achnanthes minutissima*) 作为世界广布种类,在我国也广泛分布^[19-20].

关于弯壳藻属的分类系统,我国普遍参考和沿用 1980s 以前的分类系统^[13,21-22],这些系统没有承认弯壳藻属,该属全部种类归到曲壳藻属(*Achnanthes*)和其他属^[13,21,23-24],或者作为曲壳藻属亚属中的种类^[14].随着电子显微镜的不断应用,为曲壳类(*Achnanthoid*)硅藻的分类提供了重要形态学依据,1990 年 Round 等重新使用弯壳藻这一古老属名^[15],随后又将许多新属从广义的曲壳藻属中分出,并进一步明确了弯壳藻属和其他几个相近属的分类学特征和区别^[18].其中与狭义曲壳藻属的主要区别在于:狭义的曲壳藻属 R 面通常具辐节,P 面无辐节且假壳缝常偏离壳面中央;线纹由单列、双列或 3 列粗大的拟孔纹连结而成,拟孔上有结构复杂的筛板;多为海产,仅少数生活于淡水且多为亚气生种类^[15,24].由于国际上近年的多数文献均承认并使用弯壳藻属(*Achnantheidium*)这一名称,并且得到了明确的超微结构证据支持.为了便于国际交流和了解这一常见属的最新进展,我们建议承认 *Achnantheidium* 属,并翻译成“弯壳藻属”.

2.2.2 链状弯壳藻(新拟) 图 2 A-J, *Achnantheidium catenatum* (Bilý et Marvan) Lange-Bert. Biblioth. Diatomol. 18:37, pl. 55, figs 30-32. 1999.

基原异名: *Achnanthes catenata* Bilý et Marvan, In J. Bilý et Marvan, Preslia 31:34, pl. 8, figs. 1-4. 1959.

壳面细长,末端头状至亚头状(小个体),中部明显膨大,壳面边缘呈波浪状;长 7.6~19.3 μm ,宽 2.6~4.1 μm .带面纵长呈弓形,末端尖且向 P 面强烈弯曲,中部平直或向腹侧略微隆起. R 面凸起,中央区圆形(图 2B);P 面凹陷,中央区菱形至披针形(图 2B);两壳面中轴区皆呈窄直线形.两壳面横线纹相似,略呈放射状(小个体不明显)偏向中央区,中部 1 至 3 条明显较疏,并向末端逐渐变密,10 μm 内有 28~33 条;点纹在光镜下难以分辨.种名 *catenatum* 意思是“成链的、链状的”,细胞能以壳面相连形成一般 2 个,最多 3 个细胞的短链状群体(图 2A、B).

在扫描电子显微镜下观察,壳缝直,近端缝在外壳面略微膨大(图 2C、I),在内壳面则朝相对方向弯转(图 2F、H);末端缝在外壳面呈简单的直线型(图 2C、J),在内壳面则终止于螺旋舌结构(图 2F、G). R 面有略隆起的披针形胸板(图 1E).壳面中央部分的线纹通常由 2~5 个圆孔纹和 1~2 个短缝形孔纹组成(图 2C、I).壳套面具一系列短缝形孔纹,且不同壳面孔纹连续(图 2C、D 和 E).从内壳面看,组成线纹的点纹具膜覆盖(图 2H).

1959 年 Bilý 等在捷克某水库浮游植物中首次发现本种^[25],并命名为 *Achnanthes catenata*,1999 年 Lange-Bertalot 将其放到弯壳藻属中并给出新组合名称 *Achnantheidium catenatum* (Bilý et Marvan) Lange-Bertalot^[26];虽然是目前本属唯一发现能营浮游生长的种类,*Achnantheidium catenatum* 也会出现在附着样品中^[27],在台湾作为常见的淡水附生藻类报道^[28];本种独特的带面和群体形态特征以及浮游生存方式使其较容易与同属其它种类区分,有研究推测细胞群体的形成有利于其营浮游生活^[27,29].

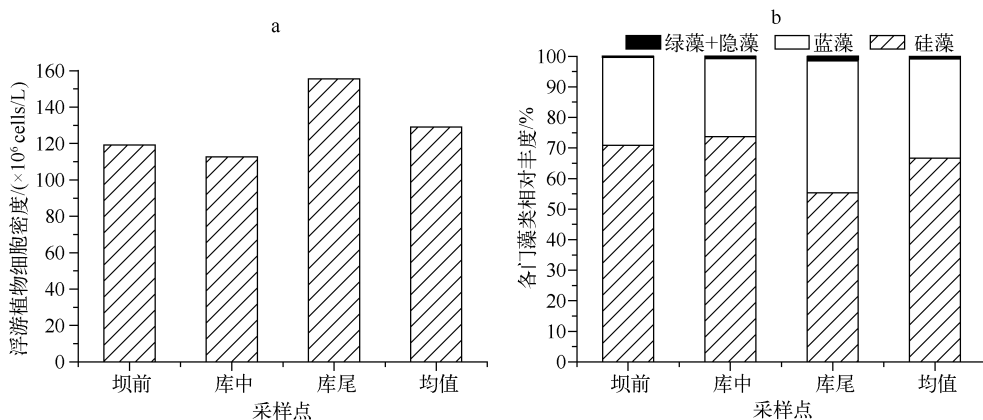


图 1 各采样点浮游植物细胞密度(a)和各部门藻类的相对丰度(b)

Fig. 1 Phytoplankton abundances(a) and relative abundances(b) of different sampling sites

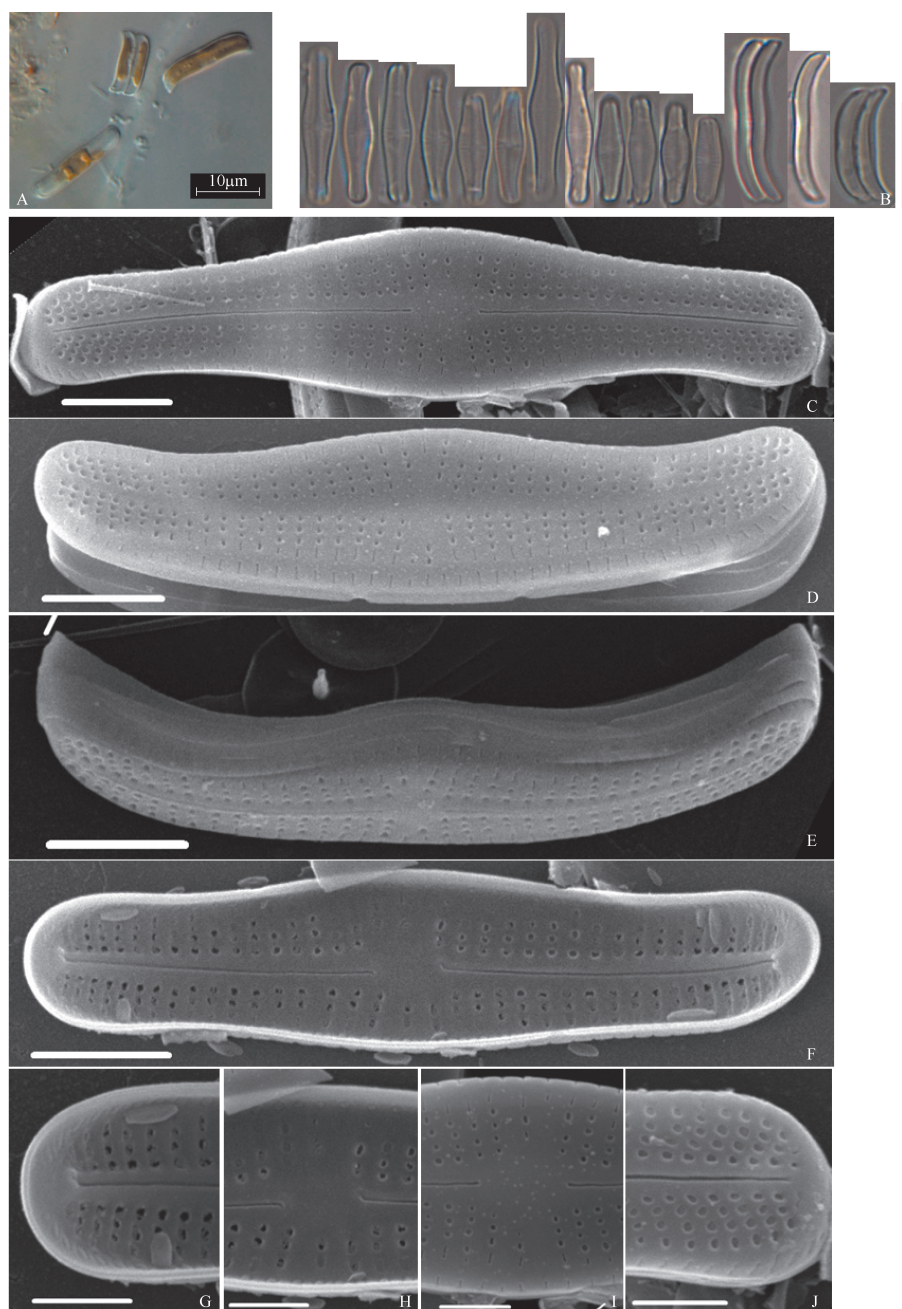


图2 链状弯壳藻形态特征(A~B:光镜,A:自然状态,B:酸处理后的壳面和带面;C~J:电镜,C,F~J:R面,D:P面,E:带面,F:R面内面观,G:远端缝内面观,H:近端缝内面观,I:近端缝外面观,J:远端缝外面观;比例尺,A,B:10 μm ,C~F:2 μm ,G~J:1 μm)

Fig. 2 Morphology of *Achnantheidium catenatum* (A–B: LM, A: natural cell, B: valve and girdle view of acidified samples; C–J: SEM, C, F–J: R valve, D: P valve, E: girdle view, F: internal view of R valve, G: internal view of distal raphe P valve, H: internal view of proximal raphe, I: external view of proximal raphe, J: external view of distal raphe; Bars: A–B: 10 μm , C–F: 2 μm , G–J: 1 μm)

2.3 链状弯壳藻水华案例及生态习性分析

在首次发现后的 30 年间,关于链状弯壳藻 *Achnanthyidum catenatum* 的研究和报道极少,直到 1990s 才陆续在欧洲法国、瑞士、斯洛文尼亚以及非洲的肯尼亚等地报道^[30-34],本文对其中仅有的 2 次详细水华记录进行归纳,并与汤浦水库进行比较分析(表 1).

链状弯壳藻水华多发生在湖库水体;其分布跨越热带、亚热带和温带;Neuchatel 湖属大型深水湖泊,其余二者为小型山谷水库;3 地水华暴发期间的水温变幅为 12.6 ~ 25.7℃;3 个水体氮和硅营养物质浓度变异较大,总磷浓度差异不大,且皆较低;水华规模依次为汤浦水库 > Turkwel 峡水库 > Neuchatel 湖;链状弯壳藻是水华优势种类,丰度在 50% 以上;水华暴发前持续降雨天气使地表径流明显增加(表 1).

表 1 链状弯壳藻水华案例比较分析
Tab. 1 Case analysis of *Achnanthyidum catenatum* blooms

	肯尼亚 Turkwel 峡水库 ^[33-34]	瑞士 Neuchatel 湖 ^[32]	中国绍兴汤浦水库
纬度	1°51'N(热带)	46°53'N(温带)	29°49'N(亚热带)
水面面积/km ²	15	215(瑞士最大湖泊)	14
平均/最大深度/m	17/62	64/153	20/—
暴发时间	1994 年 3—8 月(6 月高峰)	2001 年 9—10 月	2010 年 4—5 月
月平均水温/℃	25.7	12.6(9 月),13.9(10 月)	16.6(4 月),22.4(5 月)
pH	7.5 ~ 8.7	8.0 ~ 8.4	>9.0
总氮/(mg/L)	0.20 ~ 0.42	—	2.07
氨氮/(mg/L)	—	0.04	0.11 ~ 0.27
亚硝酸盐氮/(mg/L)	0.0003 ~ 0.006	0.009	0.016
硝酸盐氮/(mg/L)	0.02 ~ 0.06	0.9	1.4 ~ 1.8
总磷/(mg/L)	0.02 ~ 0.03	0.01	0.03
磷酸盐/(mg/L)	—	0.002	—
活性硅/(mg/L)	0.9 ~ 7.7	0.2	—
叶绿素/(μg/L)	8.5 ~ 28.3	3.9	24.8 ~ 49.6
链状弯壳藻相对丰度	95% 以上(6 月)	50% 以上	55% ~ 76%
细胞密度/(×10 ⁶ cells/L)	80(6 月)	—	113 ~ 156
藻类生物量/(mg/L)	5.0 ~ 11.0	0.06 ~ 3.00	9.01 ~ 12.44
其他情况	3—8 月为雨季,3 月链状弯壳藻丰度和密度开始上升,6 月达顶峰	9 月持续暴雨天气,10 月出现异于往年的高温,水华达顶峰	桃花汛结束后,天气转晴,气温上升,水华暴发

综合分析发现链状弯壳藻是广温性种类,可在较宽的温度范围内大量繁殖.和大部分硅藻相似,该种也能适应低光强环境;Turkwel 峡水库在雨季因地表径流的大量输入导致透明度明显下降,但该藻仍能大量繁殖^[33-34],在 Neuchatel 湖中,链状弯壳藻在 0 ~ 20 m 水柱都有分布^[32],汤浦水库中则发现该藻在水下 4 m 处密度最高.通过对 3 次水华案例水体营养盐情况分析发现,链状弯壳藻对磷营养的需求相对较低,而能适应较大变化范围的氮和硅浓度;3 次案例在水华暴发前或期间都有较高的降雨量,地表径流能带来充足的营养物质,Turkwel 峡水库中水体可溶性硅酸盐浓度和藻生物量呈显著负相关,水华末期水体中的硅被消耗殆尽,汤浦水库则在水华暴发磷浓度显著下降.适合的水力学条件常被认为是硅藻水华形成和维持的重要条件,河流型硅藻水华的暴发往往需要减缓流速,减小水体扰动^[35],而对链状弯壳藻水华案例分析,推测地表径流脉冲式的输入不仅提供了充足营养物质,而且加大湖库水体扰动,防止硅藻沉降,极可能是水华持续的关键条件;水华后期除了营养缺乏外,湖库水体分层可能是该种水华消失的重要原因.

通过与地方环境部门交流以及对相关资料^[36]的分析,证明链状弯壳藻广泛分布于浙江省多个饮用水源水库;根据其生态特性分析,认为该水华仍将可能较大范围频繁发生;因此有必要加强室内实验和原位监测、进行水华生消机制研究,为水华预测和防治提供科学依据.

致谢:对瑞士 Phycoco 实验室 Straub 博士、哈尔滨师范大学刘妍博士、宁波市监测中心胡建林和长江流域水

环境监测中心胡圣等相关资料和信息提供和共享,绍兴市汤浦水库有限公司梁亮、方勇和朱建坤等在现场调查给予的帮助表示感谢!

3 参考文献

- [1] Sommer U, Gliwicz ZM, Lampert W. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*, 1986, **106**: 433-447.
- [2] Patrick R. Ecology of freshwater diatoms and diatom communities. In: Werner D ed. The biology of diatoms. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1977: 13: 284-332.
- [3] Likens GE. Plankton of inland waters. The Netherlands: Academic Press, 2010.
- [4] Sommer U. Growth and survival strategies of planktonic diatoms. In: Sandgren CD, ed. Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, 1988: 227-260.
- [5] Kiss KT, Genkal SI. Winter blooms of centric diatoms in the River Danube and in its side-arms near Budapest (Hungary). *Hydrobiologia*, 1993, **269**(1): 317-325.
- [6] Ferris JA, Lehman JT. Interannual variation in diatom bloom dynamics: Roles of hydrology, nutrient limitation, sinking, and whole lake manipulation. *Water Research*, 2007, **41**(12): 2551-2562.
- [7] Mitrovic SM, Chessman BC, Davie A *et al.* Development of blooms of *Cyclotella meneghiniana* and *Nitzschia* spp. (Bacillariophyceae) in a shallow river and estimation of effective suppression flows. *Hydrobiologia*, 2008, **596**(1): 173-185.
- [8] 殷大聪,郑凌凌,宋立荣. 汉江中下游早春冠盘藻(*Stephanodiscus hantzschii*)水华暴发过程及其成因初探. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(4): 451-458.
- [9] 蔡庆华,胡征宇. 三峡水库富营养化问题与对策研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 7-11.
- [10] 杨 敏,毕永红,胡建林等. 三峡水库香溪河库湾春季水华期间浮游植物昼夜垂直分布与迁移. 湖泊科学, 2011, **23**(3): 375-382.
- [11] 邱光胜,胡 圣,叶 丹等. 三峡库区支流富营养化及水华现状研究. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(3): 311-316.
- [12] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991.
- [13] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态. 北京: 科学出版社, 2006.
- [14] Patrick R, Reimer CW. The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Volume 1: Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheae, Naviculaceae. Philadelphia: Academy of Natural Sciences, 1966.
- [15] Round FE, Crawford RM, Mann DG. The diatoms: biology & morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [16] Krammer K, Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2: Bacillariophyceae. Teil 4: Achnantheae. Kritische Ergänzungen zu *Achnanthes* s. l., *Navicula* s. str., *Gomphonema*. Heidelberg-Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2004.
- [17] Ector L. 1st European Workshop on Diatom Taxonomy; 1st EWDT. *Algalogical Studies*, 2011, **136/137**: 1-4.
- [18] Round FE, Bukhtiyarova L. Four new genera based on *Achnanthes* (*Achnantheidium*) together with a re-definition of *Achnantheidium*. *Diatom Research*, 1996, **11**(1): 345-361.
- [19] 贾兴焕,吴乃成,唐 涛等. 香溪河水系附石藻类的时空动态. 应用生态学报, 2008, **19**(4): 881-886.
- [20] 裴国凤,刘国祥. 长江中游湖泊沿岸带的底栖藻类群落结构特征. 湖泊科学, 2011, **23**(2): 239-245.
- [21] 金德祥. 硅藻分类系统的探讨. 厦门大学学报: 自然科学版, 1978, **17**(2): 31-50.
- [22] 齐雨藻,高亚辉,李 扬等. 硅藻分类系统的认知演进. 中国海洋湖沼学会藻类学分会第七届会员大会暨第十四次学术讨论会, 2007.
- [23] Hustedt F. Bacillariophyta (diatomeae). In: Pascher A ed. Die Süßwasserflora Mitteleuropas. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1930.
- [24] Kingston JC. Araphid and monoraphid diatoms. Freshwater algae of north America. In: Wehr JD, Sheath RG eds. Ecology and classification. San Diego: Academic Press, 2003: 595-636.
- [25] Bílý J, Marvan P. *Achnanthes catenata* sp. n. *Preslia*, 1959, **31**: 34-35.
- [26] Lange-Bertalot H. Neue Kombinationen von taxa aus *Achnanthes* Bory (sensu lato). *Iconographia Diatomologica*, 1999, **6**: 276-289.

- [27] Hlúbíková D, Ector L, Hoffmann L. Examination of the type material of some diatom species related to *Achnantheidium minutissimum* (Kutz.) Czarn. (Bacillariophyceae). *Algological Studies*, 2011, **136/137**: 19-43.
- [28] 台湾生物志 (<http://taibif.org.tw/nbrpp/algae.php?id=179>).
- [29] Van de Vijver B, Jarlman A, Lange-Bertalot H *et al.* Four new European *Achnantheidium* species (Bacillariophyceae). *Algological Studies*, 2011, **136/137**: 193-210.
- [30] Coste M, Ector L. Diatomées invasives exotiques ou rares en France: principales observations effectuées au cours des dernières décennies. *Systematics and Geography of Plants*, 2000, **70**(2): 373-400.
- [31] Druart JC, Straub F. *Achnanthes catenata* Bily et Marvan, (Diatomophyceae), diatomée planctonique nouvelle pour les eaux douces françaises. *Cryptogamie Algologie*, 1992, **14**(2/3): 95-98.
- [32] Straub F. Note algologique II. Apparition envahissante de la diatomée *Achnanthes catenata* Bily & Marvan (Heterokontophyta, Bacillariophyceae) dans le lac de Neuchâtel. *Bulletin de la Société Neuchateloise des Sciences Naturelles*, 2002, **125**(1): 59-65.
- [33] Kotut K, Krienitz L, Muthuri FM. Temporal changes in phytoplankton structure and composition at the Turkwel Gorge Reservoir, Kenya. *Hydrobiologia*, 1998, **368**(1): 41-59.
- [34] Kotut K, Njuguna SG, Muthuri FM *et al.* The physicochemical conditions of Turkwel Gorge Reservoir, a new man made lake in Northern Kenya. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 1999, **29**(4): 377-392.
- [35] 杨强, 谢平, 徐军等. 河流型硅藻水华研究进展. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(Z1): 159-165.
- [36] 《浙江省主要常见淡水藻类图集(饮用水水源)》编委会. 浙江省主要常见淡水藻类图集(饮用水水源). 北京: 中国环境科学出版社, 2010.