

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 15 期 Vol.32 No.15 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 15 期

2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响.....	张艳博, 罗 鹏, 孙 庚, 等 (4605)
北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素.....	王苏铭, 张 楠, 于琳倩, 等 (4618)
温带混交林碳水通量模拟及其对冠层分层方式的响应——耦合的气孔导度-光合作用-能量平衡模型	施婷婷, 高玉芳, 袁凤辉, 等 (4630)
洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响	刘 娜, 王克林, 段亚锋 (4641)
大辽河口水环境污染生态风险评估.....	于 格, 陈 静, 张学庆, 等 (4651)
标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数	渠晓东, 刘志刚, 张 远 (4661)
不同年龄段大连群体菲律宾蛤仔 EST-SSR 多样性	虞志飞, 闫喜武, 张跃环, 等 (4673)
基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性	杨晓明, 戴小杰, 朱国平 (4682)
广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异.....	武正军, 戴冬亮, 宁加佳, 等 (4691)
甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质.....	魏 强, 凌 雷, 柴春山, 等 (4700)
短轮伐期毛白杨不同密度林分土壤有机碳和全氮动态.....	赵雪梅, 孙向阳, 康向阳, 等 (4714)
放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响.....	丁小慧, 官 立, 王东波, 等 (4722)
UV-B 辐射增强对抗除草剂转基因水稻 CH ₄ 排放的影响	娄运生, 周文麟 (4731)
基于核磁共振波谱的盐芥盐胁迫代谢组学分析.....	王新宇, 王丽华, 于 萍, 等 (4737)
广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定.....	胡春锦, 林 丽, 史国英, 等 (4745)
不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响.....	安 辉, 刘鸣达, 王耀晶, 等 (4753)
大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征.....	白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (4762)
川西北冷杉林恢复过程中土壤动物群落动态.....	崔丽巍, 刘世荣, 刘兴良, 等 (4772)
内生真菌角担子菌 B6 对连作西瓜土壤尖孢镰刀菌的影响	肖 逸, 戴传超, 王兴祥, 等 (4784)
西江颗粒直链藻种群生态特征.....	王 超, 赖子尼, 李跃飞, 等 (4793)
大型人工湿地生态可持续性评价.....	张依然, 王仁卿, 张 建, 等 (4803)
孢粉、炭屑揭示的黔西高原 MIS3b 期间古植被、古气候演变	赵增友, 袁道先, 石胜强, 等 (4811)
树干径流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (4819)
豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系	杨 宁, 赵护兵, 王朝辉, 等 (4827)
一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因.....	刘义豪, 宋秀凯, 靳 洋, 等 (4836)
盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力.....	王艳芳, 沈永明 (4844)
城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田区为例.....	邵天然, 李超骥, 曾 辉 (4852)
黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势.....	王介勇, 吴建寨 (4861)
重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数	李爱民, 邓合黎, 马 琦 (4869)
专论与综述	
干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展.....	王新源, 李玉霖, 赵学勇, 等 (4890)
土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素.....	栾军伟, 刘世荣 (4902)
森林土壤甲烷吸收的主控因子及其对增氮的响应研究进展.....	程淑兰, 方华军, 于贵瑞, 等 (4914)
湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展	范俊楠, 赵建伟, 朱端卫 (4924)
研究简报	
刈割对人工湿地风车草生长及污水净化效果的影响.....	吕改云, 何怀东, 杨丹菁, 等 (4932)
学术信息与动态	
全球气候变化与粮食安全——2012 年 Planet Under Pressure 国际会议述评	安艺明, 赵文武 (4940)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-08



封面图说: 水杉是中国特有种, 国家一级保护植物, 有植物王国“活化石”之称, 是 1946 年由中国的植物学家在湖北的利川磨刀溪发现的。水杉曾广泛分布于北半球, 第四纪冰期以后, 水杉属的其他种类全部灭绝, 水杉确在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存, 成为旷世奇珍。水杉耐水, 适应力强, 生长极为迅速, 其树干通直挺拔, 高大秀颀, 树冠呈圆锥形, 姿态优美, 枝叶繁茂, 入秋后叶色金黄。自发现后被人们在中国南方广泛种植, 成为著名的绿化观赏植物, 现在中国水杉的子孙已遍及中国和世界 50 多个国家和地区。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201111031657

王超, 赖子尼, 李跃飞, 李新辉, Sovan Lek, 洪颐, 谭细畅, 李捷. 西江颗粒直链藻种群生态特征. 生态学报, 2012, 32(15): 4793-4802.

Wang C, Lai Z N, Li Y F, Li X H, Sovan L, Hong Y, Tan X C, Li J. Population ecology of *Aulacoseira granulata* in Xijiang River. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4793-4802.

西江颗粒直链藻种群生态特征

王 超^{1,2}, 赖子尼^{1,2}, 李跃飞^{1,2}, 李新辉^{1,2,*}, Sovan Lek³, 洪 颐³, 谭细畅^{1,2}, 李 捷^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380; 2. 农业部珠江中下游渔业资源环境科学观测实验站, 526100;

3. Laboratory Evolution & Diversité Biologique, UMR 5174, CNRS, Université Toulouse, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse, Cedex4, France)

摘要: 西江肇庆段是珠江干流汇入珠三角河网水域的咽喉通道, 结合长期定点连续采样和空间季节性调查, 重点对 2009 年西江干流肇庆段的颗粒直链藻 (*Aulacoseira granulata*) 的种群生态学特征进行系统分析。结果显示: 全年中, 颗粒直链藻在总种群中所占百分比均值为 25.37%, 与总种群丰度存在极显著正相关关系, 这表明颗粒直链藻是西江浮游植物群落的重要优势种。调查期间发现了颗粒直链藻的 4 种形态, 包括原变种 (var. *granulata*)、极狭变种 (var. *angustissima*)、弯曲变种 (var. *curvata*) 和极狭变种螺旋变型 (var. *angustissima f. spiralis*)。其中, 原变种占有绝对优势地位, 其相对百分组成的年均值为 91.47%, 推测为原变种的形态结构比其它 3 种形态更容易适应外界环境变化, 进而形成优势群体。颗粒直链藻总密度的周年变化呈现明显的双峰型, 两个峰值分别出现在 8 月和 11 月, 主要得益于适宜的水温、相对稳定的水体和较高的营养盐水平, 这些均有助于颗粒直链藻的生长繁殖。第一个高峰之前, 颗粒直链藻总密度未出现明显的波动, 这很可能是由于水体径流量增大导致的稀释作用和频繁降雨导致的水体剧烈波动对颗粒直链藻增长的负作用掩盖了水温上升所带来的益处。从空间分布来看, 颗粒直链藻总丰度的最大值一般出现在 S1、S5 和 S6 站点, 这与营养盐最大值的空间分布格局是一致的。

关键词: 西江; 颗粒直链藻; 种群生态特征

Population ecology of *Aulacoseira granulata* in Xijiang River

WANG Chao^{1,2}, LAI Zini^{1,2}, LI Yuefei^{1,2}, LI Xinhui^{1,2,*}, SOVAN Lek³, HONG Yi³, TAN Xichang^{1,2}, LI Jie^{1,2}

1 Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510380, China

2 Experimental Station for Scientific Observation on Fishery Resources and Environment in the Middle and Lower Reaches of Pearl River, 526100, Ministry of Agriculture the People's Republic of China

3 Laboratory Evolution & Diversité Biologique, UMR 5174, CNRS, Université Toulouse, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse, Cedex4, France

Abstract: *Aulacoseira granulata*, a highlighted centric diatom, belongs to *Aulacoseira*, Coscinodiscaceae, Coscinodiscales, Centricae, Bacillariophyta. Through the seasonal and continuous investigation for the Xijiang River at 2009, we found that *Aulacoseira granulata* had four variant forms in morphology: *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Aulacoseira granulata* var. *curvata*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima f. spiralis*. As an eutrophication indicator, it often got some attention because of its dominance in freshwater resources, such as rivers, lakes and reservoirs, and even in classical brackish estuary.

Müller reported firstly that two types of cell valves existed in the filament chain in *A. granulata* at 1903, and this could promote to detect it from other *Aulacoseira* species. However, this finding did not attract other researchers' attention until the morphology and ecology study on this species by Kilham and Kilham at 1970s. Thus, an important epoch for *A. granulata* study came into being. The early studies focused on morphology and structure of filament, variation

基金项目: 全国渔业环境监测网珠江生态监测与评价项目 (2009—); 公益性行业 (农业) 科研专项项目 (200903048-5); 科技部公益专项 (2005DIB3J023); 广东省海洋渔业科技推广专项 (A2011009)

收稿日期: 2011-11-03; 修订日期: 2012-05-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lxhui01@tom.com

characteristics and population ecology. At the beginning of this century, several studies referred to toxicity of heavy metals to *A. granulata* and the role extracellular polysaccharide of *A. granulata*. Although over 100 years have past, few studies on *A. granulata* could be found in China, except for author's research work in the Pearl River Estuary.

The Pearl River is the third large river of China and the biggest one of southern China. As the largest tributary of the Pearl River, Xijiang River is with length of 2074.8 km and basin area of 355000 km². Here, the population ecology of *A. granulata* was studied in Xijiang River during the whole 2009. Six sampling sites (S1—S6) overlapping the main stream of Xijiang River were set to study the spatial pattern, among of them, S1—S4 sites were investigated in April and July respectively, S5 was a long-term settled site at downstream where water samples were collected every five days to study the temporal variation pattern, and S6 was set at the river estuary where water samples were collected seasonally to study the export of *A. granulata* from S5. Our results showed that the average proportion of *A. granulata* to total phytoplankton was 25.37%, and the significant positive relationship between its abundance and total phytoplankton reflected the predominant position of *A. granulata* in phytoplankton community. We have found the whole four morphological forms of *A. granulata* during the whole year, and they were var. *granulata*, var. *angustissima*, var. *angustissima* f. *spiralis* and var. *curvata*. Among of them, var. *granulata* showed absolute dominant proportion (average 91.47%), which benefited from its own special morphological characteristics. The annual variation pattern of *A. granulata* abundance showed apparent two peaks, which appeared in August and November respectively, was mainly due to the suitable water temperature, water column conditions and high nutrients level. Before the appearance of the first peak, there were no apparent fluctuations for *A. granulata*, which maybe because that the positive role of rising water temperature was covered by the negative role from the dilution impact of high discharge and intense fluctuations caused by frequent rain. The spatial distribution pattern showed that the highest values usually appeared in S1, S5 and S6, which was in accordance with the spatial distribution of high nutrients.

Key Words: Xijiang River; *Aulacoseira granulata*; population ecology

直链藻属是中心纲硅藻生活在非海相水体中的重要属种之一,是组成化石硅藻植物群的重要成分。该属在地层划分、对比上是不可缺少的生物依据^[1]。

颗粒直链藻(*Aulacoseira granulata*, 旧拉丁名为 *Melosira granulata*) 隶属硅藻门(Bacillariophyta), 中心纲(Centricae), 圆筛藻目(Coscinodiscales), 圆筛藻科(Coscinodiscaceae), 直链藻属(*Melosira*)。其在全球范围内广泛分布,是淡水水域如江河、湖泊和水库等各种内陆淡水水体中的常见优势种类^[2-7],其在河口半咸水水域同样能占据优势地位^[8]。颗粒直链藻在形态(包括变种、变型)上包括颗粒直链藻原变种(*Aulacoseira granulata* var. *granulata*),颗粒直链藻极狭变种(*Aulacoseira granulata* var. *angustissima*),颗粒直链藻极狭变种螺旋变型(*Aulacoseira granulata* var. *angustissima* f. *spiralis*)和颗粒直链藻弯曲变种(*Aulacoseira granulata* var. *curvata*)^[1]。颗粒直链藻(*M. granulata*)及其变种在我国发现的非海相沉积的硅藻土矿中,是成矿硅藻的主要种之一。此外,颗粒直链藻对水环境变化非常敏感,除易受水温条件的限制外,其在富营养化水体及污染水体中极易形成优势种群,也因此成为富营养化水体及污染水体的典型指示藻种^[9-10]。

颗粒直链藻的相关研究已有较长时间的历史,Müller^[11]首次描述了颗粒直链藻的藻链中存在两种不同类型的壳体,即位于末端具长刺和纵向排列点纹的分离壳体^[12],及位于藻链间具短刺和斜向螺旋状排列点纹的连接壳体^[13],这也是颗粒直链藻区别于直链藻属其它种类的最重要特征,是光学显微镜下分类鉴定的重要依据。然而,颗粒直链藻引起研究者的广泛关注却始于20世纪70年代中期,Kilham和Kilham^[14]继Müller之后首次对颗粒直链藻的形态学和生态学进行了针对性研究,自此进入了颗粒直链藻研究的重要发展阶段,针对性的研究报道相继出现。早期的研究重点为藻链的形态结构及变化特征^[15-18]、颗粒直链藻生态分布及种群变化特征^[2-3, 19-20],本世纪初开始出现有关其毒理效应^[21]及其胞外多聚糖(EPS)作用的研究^[22-23]。尽管颗粒

直链藻的研究历史已逾百年,但是中国对其开展的相关研究仍极为少见,目前仅作者对珠江口水域的颗粒直链藻种群生态学进行过针对性研究^[8]。

珠江为我国第三大江,其径流量仅次于长江,居全国第二位,是我国南方最大的水系。西江是珠江最大的支流,源出云南沾益马雄山,河长 2074.8 km,流域面积 35.5 万 km²。西江地处亚热带,气候宜人,雨量充沛,河水丰盈,景色秀丽。该流域水生态环境保持良好,渔业资源较为丰富,是沿江城市居民日常生活用水的主要来源。西江肇庆段是珠江干流汇入珠三角河网水域的咽喉通道,为了了解西江水生态系统的现状及未来演化趋势,本研究小组自 2005 年起在西江下游肇庆段设置长期监测点(距离河口约 160 多公里),并每年对西江水生态系统的结构和功能进行综合调查,内容涉及鱼类群落、漂流性仔鱼、浮游生物、水化因子和重金属污染等。暨本研究团队对珠江口水域颗粒直链藻的时空分布特征进行研究后^[8],本文延伸了研究区域,就西江颗粒直链藻种群生态特征进行阐释。

1 材料和方法

1.1 调查站位和时间

调查期间共设 6 个采样站位,主要位于西江的主干流(图 1)。S1—S4 站位分别位于长洲坝上、梧州、青皮塘和罗旁江段,2009 年 4 月和 7 月各调查 1 次;S5 站位是本研究小组的长期监测点,位于肇庆江段,本次调查时间为 2009 年 1 月 1 日至 12 月 30 日,调查频率为每 5d 一次,具体时间为每天 8:00;S6 站位位于西江入海的主要通道磨刀门,调查频率为每季度 1 次,调查时间为 2009 年 2 月、5 月、8 月和 11 月。S1—S4 及 S6 均作为 S5 在空间上的参照点。

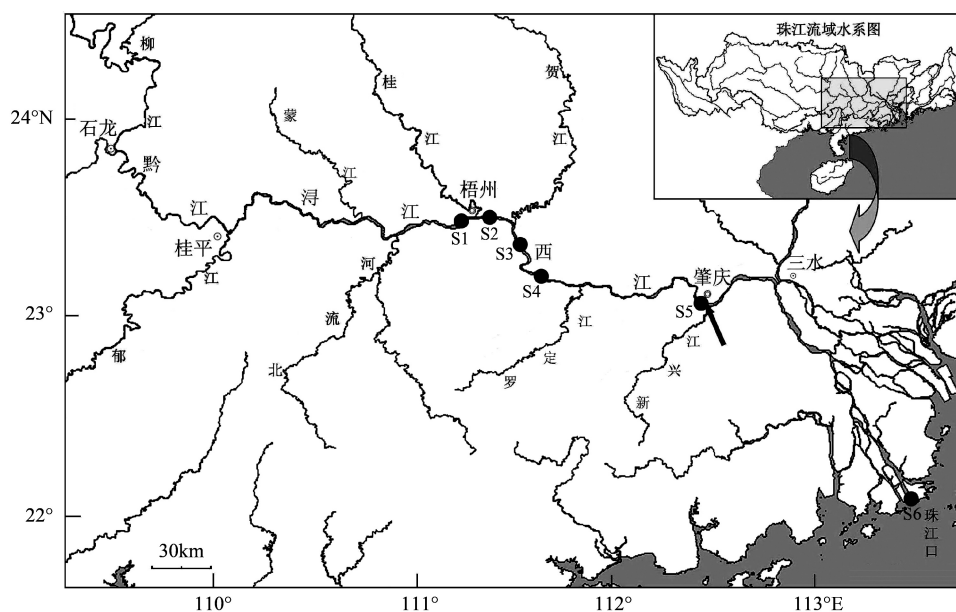


图 1 调查站位布设图

Fig. 1 Map of sampling sites

1.2 样本采集和处理

浮游植物样本本取表层(离水面 0.5 m)水样各 1L 装入聚乙烯瓶中。水样采集后,立即用鲁格氏液固定,使其最终浓度为 15‰。水样运回实验室后,立即移入玻璃量筒内,加盖静置 24 h 后,用管口包裹筛绢(网目孔径为 77 μm)的虹吸管或吸管小心吸去上清液。如此反复多次,直至将水样浓缩至 30—100 mL。分析时取均匀样品 1 mL 注入 Sedgewick-Rafte 浮游植物计数框中,在 Nikon TS100 倒置显微镜下进行浮游植物的种类鉴定和计数,颗粒直链藻的密度只是其中一部分。

水温、盐度、浊度、溶解氧和水深用便携式水质分析仪(YSI6600-02, USA)进行现场测定。另取 500 mL 水样,现场过滤后置入带冰块的冷藏箱中运回实验室,用水质流动注射分析仪进行营养盐分析。

1.3 其它数据收集和相关分析

所需的 S5 站位所在江段的径流量和水位的数据是从以下网址: <http://xxfb.hydroinfo.gov.cn> 获得, 降雨量的数据是从以下网址: <http://www.weatheronline.co.uk/weather> 的趋势图上读取近似的数据。

颗粒直链藻的空间分布特征主要采用各调查点对应时间的结果, 除空间分布以外的相关介绍和分析主要采用 S5 站位全年的数据。本文的基本作图用 Origin 6.1 软件完成, 颗粒直链藻 4 种形态的时间分布的对应分析用 R 软件完成, 颗粒直链藻不同形态密度与环境因子之间的关系分析, 首先将密度取 log 值, 然后运用 CANOCO 4.5 进行 PCA 分析, 得到二维排序图。

2 结果

2.1 肇庆江段水文环境

图 2 可见 2009 年期间有关 S5 站位的水温、径流量和降雨量的周年变化结果。

水温的周年变化模式呈现典型的单峰型, 9 月份之前水温持续上升, 之后逐步降低(图 2)。全年水温的变化范围为 6.38—31.36 °C, 均值为 23.20 °C。最大值出现在 9 月 10 日, 最小值出现在 1 月 15 日。在全年调查的 81d 当中, 仅有 8d 的水温数值低于 15 °C, 分别为 1 月 1 日, 10 日, 15 日, 30 日; 2 月 1 日; 11 月 15 日和 20 日; 12 月 20 日。

径流量在 5—8 月期间存在 4 个明显的峰(图 2), 分别出现在 5 月 20 日, 6 月 15 日, 7 月 10 日和 8 月 1 日, 最大值均出现在 8 月 1 日。

降雨量的周年变化特征也很显著, 温暖季节的降雨比较频繁, 而寒冷季节降雨稀少(图 2)。从图中还可以发现 1 月和 2 月没有降雨, 10 月、11 月和 12 月分别降雨 1 次。

2.2 各站点营养盐状况

为了利于对比, 仅列出各调查站点春季(S1—S5 站点取 4 月份结果, S6 站点取 5 月份结果)和夏季(S1—S5 站点取 7 月份结果, S6 站点取 8 月份结果)两次调查的营养盐结果(表 1)。结果显示, 除春季硅酸盐的结果外, 其它营养盐的最大值往往出现在以下 3 个站点: 位于长洲坝上库区内的 S1 站点, 下游肇庆江段 S5 站点和河口水域 S6 站点。

2.3 颗粒直链藻在浮游植物种群中的贡献及关联性

调查期间颗粒直链藻在浮游植物总种群中所占百分比的范围为 0—99.44%, 均值为 25.37%, 最大值出现在 11 月 1 日(图 3)。将密度贡献大于 10% 作为评价一个藻种在总种群中占优势的标准, 从图 3 发现, 颗粒直链藻可以在一年当中的所有月份占据优势地位。将颗粒直链藻总密度的对数值与对应的浮游植物总密度的对数值进行线性回归分析, 发现两者存在极显著意义的正相关关系(图 3)。

2.4 颗粒直链藻不同形态丰度的相对百分组成

由图 4 可见, 整个调查期间颗粒直链藻原变种(*var. granulata*)对颗粒直链藻总密度贡献最大, 其它形态的丰度贡献较少。颗粒直链藻原变种的月平均贡献百分率范围为 77.36%—100%, 均值为 91.47%。颗粒直链藻极狭变种(*var. angustissima*)对总密度的贡献位居第 2 位, 其月平均贡献百分率范围为 0—22.64%, 均值为 6.81%。两个弯曲形态在整个调查期间均不占优势。图 4b 清晰地反映了不同形态的时间分布特征, 图中的黑色点代表重心。5 月、10 月和 11 月期间, 除原变种外的其它 3 种形态的总贡献百分率低于 1%, 因此这 3

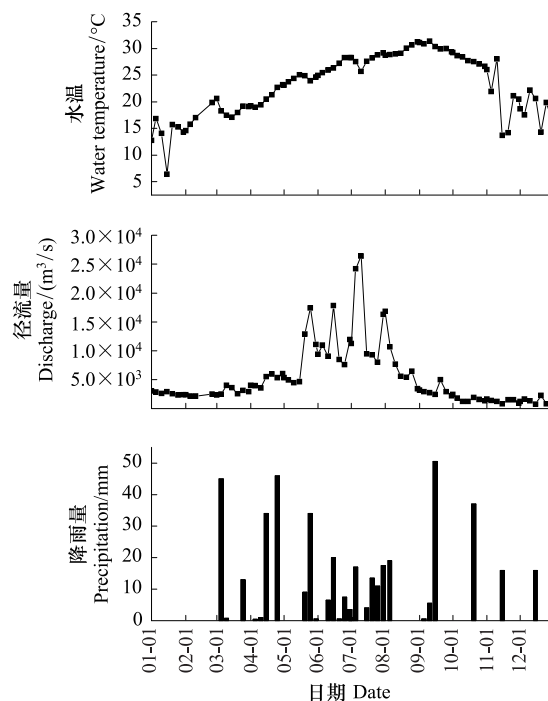


图 2 水文环境数据的时间变化

Fig. 2 Temporal variations of hydrobiological data

个月份的重心点重合。从图中可以看出,原变种重心所在的柱状区与除 7 月外的所有月份均存在交集,说明原变种在 7 月份的贡献百分率最低。极狭变种所在的柱状区与 5 月和 7 月存在交集,说明其在这 2 个月的贡献百分率最大;同理可得,2 个弯曲形态在 1 月、8 月和 12 月 3 个月份贡献率最大。

表 1 调查期间各站点的营养盐结果
Table 1 Nutrients of sampling sites during investigation

春季 Spring	磷酸盐 Phosphate /(mg/L)	总磷 Total phosphorus /(mg/L)	总氮 Total nitrogen /(mg/L)	硝酸盐氮 Nitrate nitrogen /(mg/L)	亚硝酸盐氮 Nitrite nitrogen /(mg/L)	氨氮 Ammonia nitrogen /(mg/L)	非离子氨 Ionic ammonia nitrogen /(mg/L)	硅酸盐 Silicate
S1	0.021	0.060	1.442	0.708	0.045	0.724	0.020	10.530
S2	0.001	0.011	1.182	0.612	0.043	0.506	0.003	10.830
S3	0.001	0.013	1.274	0.670	0.042	0.489	0.003	10.930
S4	0.004	0.019	1.229	0.631	0.042	0.552	0.004	9.630
S5	0.006	0.029	1.923	0.759	0.050	0.889	0.012	9.030
S6	0.008	0.046	1.987	0.773	0.004	0.680	0.004	6.630
夏季 Summer	磷酸盐 Phosphate /(mg/L)	总磷 Total phosphorus /(mg/L)	总氮 Total nitrogen /(mg/L)	硝酸盐氮 Nitrate nitrogen /(mg/L)	亚硝酸盐氮 Nitrite nitrogen /(mg/L)	氨氮 Ammonia nitrogen /(mg/L)	非离子氨 Ionic ammonia nitrogen /(mg/L)	硅酸盐 Silicate
S1	0.042	0.161	1.122	0.795	0.007	0.680	0.035	8.31
S2	0.022	0.107	1.213	0.724	0.007	0.300	0.009	7.61
S3	0.015	0.126	1.421	0.745	0.007	0.420	0.009	7.36
S4	0.010	0.097	1.206	0.797	0.009	0.380	0.016	7.36
S5	0.041	0.089	1.358	0.820	0.007	0.400	0.018	7.62
S6	0.022	0.118	2.515	1.812	0.022	0.060	0.002	8.66

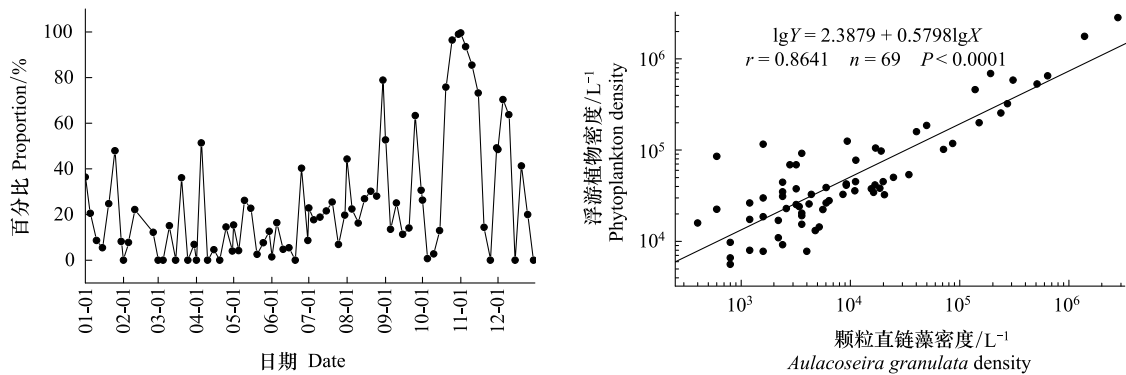


图 3 颗粒直链藻在浮游植物种群中的贡献及关联性

Fig.3 Contribution of *Aulacoseira granulata* to total phytoplankton and its correlation

2.5 颗粒直链藻总密度

2.5.1 时间变化

颗粒直链藻的总密度为各变种、变型的密度之和,调查期间总密度的时间变化呈现明显的双峰型,变化范围为 0— 280.77×10^4 个/L,均值为 8.68×10^4 个/L(图 5)。第 1 个高峰出现在 8 月 30 日,值为 139.01×10^4 个/L;第 2 个高峰出现在 11 月 1 日,值为 280.77×10^4 个/L。

2.5.2 空间分布

图 6a 的结果显示,颗粒直链藻总密度的最大值出现在 S1 或 S5 站点。单从 S5 和 S6 站点同时期的结果对比来看,S5 站点的颗粒直链藻密度全年均偏低(图 6b)。

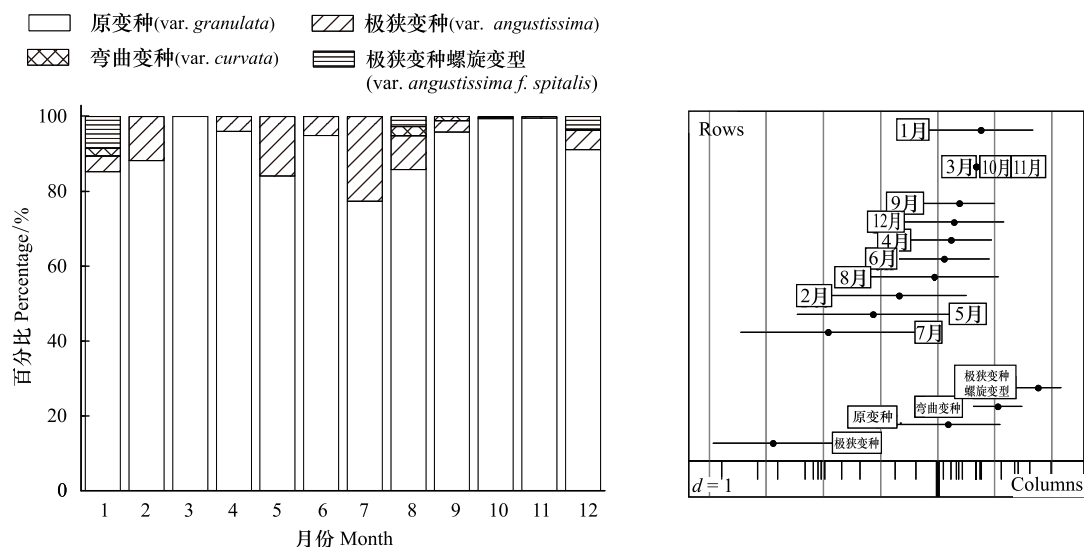


图4 颗粒直链藻各形态相对丰度及其时间分布的对应分析

Fig. 4 Proportions of different morphological forms and correspondent analysis on its temporal variations

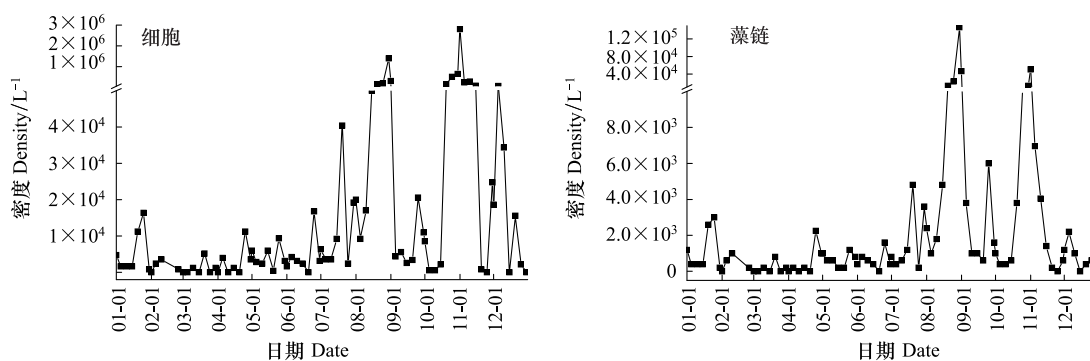


图5 颗粒直链藻密度的时间变化

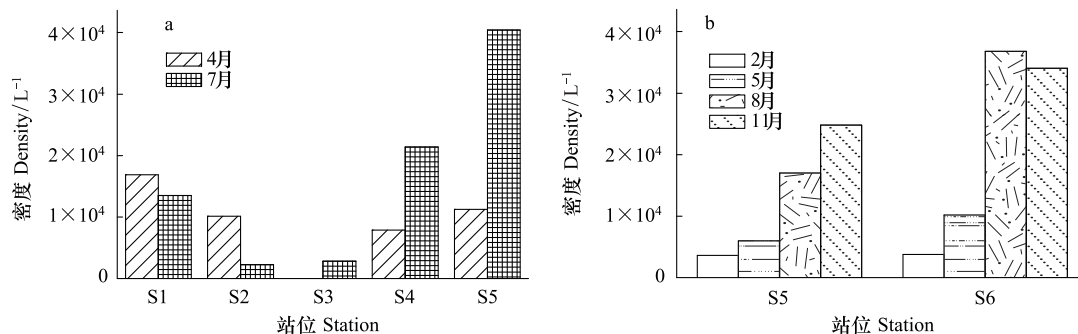
Fig. 5 Temporal variations of *Aulacoseira granulata* density

图6 颗粒直链藻密度的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of *Aulacoseira granulata* density

a 4月和7月各调查站位的结果; b 长期监测点(S5)与入海口(S6)的结果对比

2.6 不同形态密度与环境因子的关系

用 Canoco 首先对物种数据进行 DCA 分析,在所得的各特征值部分发现 4 个排序轴中梯度最大值小于 3, 以此为依据选择线性模型中的间接梯度分析 PCA 模型对颗粒直链藻各形态的密度与环境因子进行相关分

析。图 7 为颗粒直链藻各形态密度与环境因子的 PCA 二维排序。

PCA 二维图表明,颗粒直链藻各形态主要与水温、硅酸盐、磷酸盐和降雨量有关。当水温和硅酸盐浓度高,磷酸盐含量低,降雨量多时,有利原变种的生长;当水温、硅酸盐浓度和磷酸盐含量高,降雨量少时,有利于极狭变种和弯曲变种、极狭变种螺旋变型等 3 种形态的生长。

颗粒直链藻各形态第一个排序轴与环境因子第一个排序轴相关系数比较高,为 0.55;颗粒直链藻各形态第二个排序轴与环境因子第二个排序轴的相关系数为 0.32(表 2)。对于各形态密度而言,第一、第二排序轴之间的相关系数为 0,表明这两个排序轴互相垂直;对于环境因子来说,前 2 个排序轴的贡献率分别为 55.5% 和 83.1%,这些说明 PCA 分析的排序结果是基本可信的。

3 讨论

Wang 等^[8]在珠江八大入海口水域的研究发现,颗粒直链藻(*Aulacoseira granulata*)是重要优势种之一,并推断其随珠江水汇流至此。本研究结果显示,颗粒直链藻可在西江下游江段全年占据优势地位(图 3),这在一定程度上验证了八大入海口水域的研究结论。以往的研究发现,颗粒直链藻是世界范围内众多大的江河的代表性藻种^[5, 24-25],这与西江的研究结果一致。究其原因有以下几点:(1)直链藻需要依赖水体的搅动来维持其在真光层中的位置,从而减缓自身重量导致的沉降损失^[26-29],而江河流速处于持续流动的运动状态,加上自上游向下游运动过程中经过不同地形特征,增强了水体波动性,形成了较充分的水体混合搅动环境,有助于直链藻维持在表层水体中;(2)有研究表明,与其它直链藻物种相比,颗粒直链藻更加适应水体混合搅动环境,从而占据优势地位^[30-31];(3)颗粒直链藻喜好富营养化水体^[9-10, 32],而长期监测点位于西江下游江段,靠近珠江口,受上游河水冲刷所带来的泥沙、矿物质和有机物的影响,该江段营养物质含量相对丰富,可以满足颗粒直链藻的生长需求。

调查期间,在长期监测点发现了颗粒直链藻的 4 种形态,其中颗粒直链藻原变种(var. *granulata*)在整个调查期间占有绝对优势地位,其次为极狭变种(var. *angustissima*),也明显高于另外两个弯曲形态(图 4)。原因有以下几点:(1)Clarson 等^[33]的研究发现,在相同的水环境条件下自然选择更倾向于直链形态压制弯曲形态。Walsby 和 Reynolds^[34]的研究也表明,与直链形态相比,弯曲形态的浮力小,不利于在表层水体中形成优势。因此,从形态分析来看,两个弯曲形态处于劣势;(2)单就两个直链形态而言,原变种的细胞直径远大于极狭变种,易形成粗壮的长链,而极狭变种比较脆弱,极易受水体搅动或浮游动物摄食等因素的影响而发生断裂,容易从表层水体中消失。图 7 的分析结果也显示,降雨量对极狭变种有一定的影响,除了受稀释作用影响外,降雨所引起的表层水体剧烈搅动也易使极狭变种出现断裂,加速其沉降,也使其更易被捕食。Turkia 和 Lepisto^[35]认为,在富营养化程度较高的湖泊水域,易出现极狭变种的优势程度高于原变种的现象,而在营养盐含量相对贫乏的流动江河水体中,极狭变种很难形成明显优势;(3)原变种的细胞个体较大,其细胞质含量较高,尤其是叶绿体含量丰富^[15],因此,在相同的光照强度条件下,原变种的生存和生长优势会更明显。综上,形态结构上的差异使得其它 3 种形态需要更多的辅助条件才能完成对原变种优势程度的超越,然而,仍未发现有关两个弯曲形态占据优势的研究报道,但这两种形态却始终存在自然水体中。

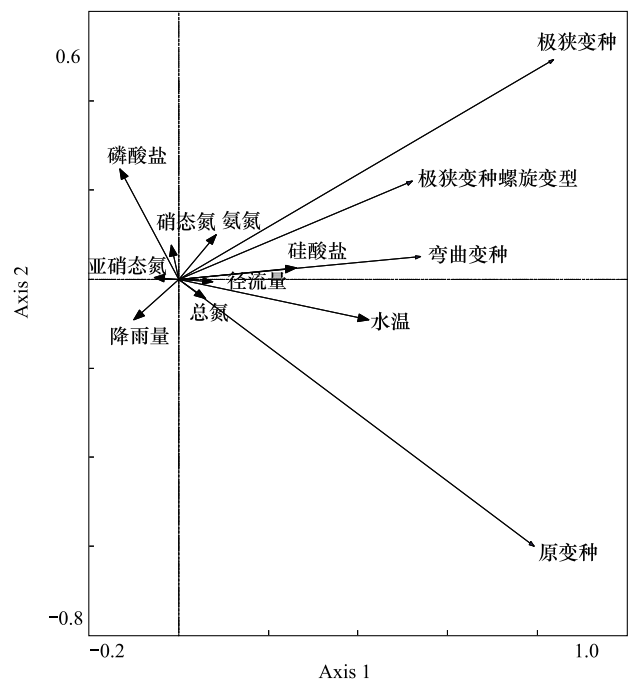


图 7 颗粒直链藻各形态与环境因子的 PCA 二维排序图

Fig. 7 Ordination diagram of the first two axes of principle correspondence analysis of different forms and environmental factors

表 2 颗粒直链藻各形态密度、环境因子前 2 个 PCA 排序轴与环境因子间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients for density of different forms axis1 and axis2, environment factors axis1 and axis2, and environmental factors

	SPAX1	SPAX2	ENAX1	ENAX2	水温 Water temperature	径流量 Discharge
SPAX2	0					
ENAX1	0.55	-0.12				
ENAX2	-0.20	0.32	-0.37			
水温 Water temperature	0.43	-0.09	0.78	-0.29		
径流量 Discharge	0.08	-0.01	0.14	-0.02	0.35	
降雨量 Precipitation	-0.10	-0.09	-0.18	-0.29	0.11	0.19
磷酸盐 Phosphate	-0.13	0.25	-0.24	0.78	-0.33	-0.28
硅酸盐 Silicate	0.26	0.02	0.48	0.08	0.13	-0.15
亚硝态氮 Nitrite nitrogen	-0.05	0.004	-0.10	0.01	-0.28	-0.15
硝态氮 Nitrate nitrogen	-0.02	0.08	-0.03	0.24	0.25	0.14
氨氮 Ammonia nitrogen	0.08	0.10	0.15	0.31	0.57	0.20
总氮 Total nitrogen	0.06	-0.04	0.11	-0.14	0.23	0.06
	降雨量 Precipitation	磷酸盐 Phosphate	硅酸盐 Silicate	亚硝态氮 Nitrite nitrogen	硝态氮 Nitrate nitrogen	氨氮 Ammonia nitrogen
SPAX2						
ENAX1						
ENAX2						
水温 Water temperature						
径流量 Discharge						
降雨量 Precipitation						
磷酸盐 Phosphate	-0.14					
硅酸盐 Silicate	-0.05	0.41				
亚硝态氮 Nitrite nitrogen	-0.07	0.24	0.17			
硝态氮 Nitrate nitrogen	0.10	-0.10	-0.26	-0.86		
氨氮 Ammonia nitrogen	0.10	-0.02	0.09	-0.14	0.28	
总氮 Total nitrogen	0.02	0.04	0.38	0.06	0.01	0.22

调查期间,颗粒直链藻的总密度呈现明显的双峰型,分别出现在 8 月和 11 月(图 5)。以往的研究表明,颗粒直链藻喜好高温^[36-38],PCA 分析结果也显示,颗粒直链藻各形态丰度与水温变化有关(图 7),这与以往的研究结论是一致的。Tsukada 等^[7]研究发现,颗粒直链藻在 32 ℃ 的培养水体中生长得很好,Pouličková 和 Kršková^[39]报道称颗粒直链藻最佳生长温度为 25 ℃。8 月和 11 月的两个高峰值所对应的水温分别为 31.23 ℃ 和 25.99 ℃,有利于颗粒直链藻的生长并形成高峰。有研究表明,江河的流动状态不适合浮游藻类的持续生长,洪水期颗粒直链藻密度大幅减少,而在中等径流量状况下,水体波动只要能满足藻链悬浮在水体中,颗粒直链藻种群便会出现大的增长^[3]。颗粒直链藻总密度的两个峰值均出现在径流量的 4 个峰值之后(图 2、图 5),所对应的径流量分别为 3430 m³/s 和 1680 m³/s,代表了相对稳定的水体环境。有趣的是,颗粒直链藻总密度的两个峰值的比值近似等于各自对应的径流量数值的反比值,尽管这个结果是偶然现象,但是水体径流量过大势必会对水体中的营养盐和颗粒直链藻有一定的稀释作用,从而降低颗粒直链藻的丰度;其次,水体的剧烈波动虽然有助于颗粒直链藻维持在表层水体中,但并不利于其自身的生长繁殖。第一个高峰之前的 5、6、7 三个月,水温条件(23.09—29.14 ℃)已满足颗粒直链藻增长的需求(图 2),但是第一个高峰之前颗粒直链藻总密度少有明显波动,这很可能是由于水体径流量增大导致的稀释作用和频繁降雨导致的水体剧烈波动(图 2)对颗粒直链藻增长的负作用掩盖了水温上升所带来的益处。此外 PCA 分析发现,占据绝对优势地位的原变种也受到磷酸盐(PO₄)的影响(图 7)。研究表明,直链藻对营养盐限制的敏感性很高^[40],Marinho

和 Azevedo^[41]对铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)和远距直链藻(*Aulacoseira distans*)的培养研究发现,氮磷比降低使远距直链藻的优势地位被铜绿微囊藻取代。与颗粒直链藻原变种外形相似的亚北极直链藻(*Aulacoseira subarctica*)的相关研究也发现,在磷酸盐浓度过高或过低时该藻均会消失^[42]。水体中营养盐含量不仅影响直链藻的生长繁殖,同样影响其沉降速率^[33,43],例如 Gibson^[44]对亚北极直链藻(*A. subarctica*)的研究发现,在水体稳定状况不变的条件下,硅酸盐耗尽使该藻的沉降速率加快,细胞密度呈指数下降。营养盐组成除了直接影响颗粒直链藻的吸收生长外,同时也通过影响其它藻类的生长繁殖引起藻群内部竞争关系的变化,最终调解藻群结构。

从空间分布上看,颗粒直链藻丰度在不同调查时间的最大值一般出现在 S1, S5 和 S6 站点(图 6),这与营养盐最大值的空间分布是一致的(表 1)。颗粒直链藻是富营养化水域的典型指示藻种^[9-10,32],极易在富营养化水域形成优势种群。S1 站点位于坝上库区内,水环境相对稳定,受长洲岛及周边生活污水的影响,水体的营养水平较高,有利于颗粒直链藻的生长。此外,自江河上游向下游流动的过程中,水体中的营养盐和藻类均存在一定的累积效应,颗粒直链藻也通过自身的生长繁殖形成种群丰度的增长, S5 和 S6 的高营养盐和高丰度也反映了这一点。因此,西江颗粒直链藻丰度的空间分布主要是由营养盐的分布格局决定的。单从 S5 和 S6 来看,颗粒直链藻丰度在两个站点的季节变动的一致性反映出 S6 站点颗粒直链藻丰度的季节变化模式受到 S5 站点对其补充量的影响。虽然在营养盐分布上,两个站点互有高低,但是 S5 站点的颗粒直链藻密度全年均低于 S6 站点,这很可能是因为 S6 站点位于河口咸淡水交汇水域,水体混合程度优于 S5 站点,可减少颗粒直链藻因沉降所带来的损失。尽管 S6 站点易受到盐度波动的影响,但是在 4 个季节的调查过程中,除 2 月份外,其它 3 次调查的盐度均值均小于 1 psu,对颗粒直链藻影响不大。

致谢:营养盐数据由高原,穆三姐等测定,现场样本采集工作由肇庆渔政支队协助完成,特此致谢。

References:

- [1] Qi Y Z. Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis Tomus IV: Bacillariophyta Centricae. Beijing: Science Press, 1995: 13-17.
- [2] Karim A G A, Saeed O M. Studies on the freshwater algae of the Sudan III, vertical distribution of *Melosira granulata* (Ehren.) ralfs. In the White Nile, with reference to certain environmental variables. Hydrobiologia, 1978, 57(1): 73-79.
- [3] Hötzel G, Croome R. Population dynamics of *Aulacoseira granulata* (Ehren.) SIMONSON (Bacillariophyceae, Centrales), the dominant alga in the Murray River, Australia. Archiv fuer Hydrobiologie, 1996, 136(2): 191-215.
- [4] Nakano S, Seike Y, Sekino T, Okumura M, Kawabata K, Fujinaga K, Nakanishi M, Mitamura O, Kumagai M, Hashitani H. A rapid growth of *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae) during the typhoon season in the South Basin of Lake Biwa. Japanese Journal of Limnology, 1996, 57(4/2): 493-500.
- [5] O'Farrell I, Tell G, Podlęski A. Morphological variability of *Aulacoseira granulata* (Ehren.) Simonsen (Bacillariophyceae) in the lower Paraná River (Argentina). Limnology, 2001, 2(2): 65-71.
- [6] Godlewska M, Mazurkiewicz-Boroń G, Pocięcha A, Wilk-Woźniak E, Jelonek M. Effects of flood on the functioning of the Dobczyce reservoir ecosystem. Hydrobiologia, 2003, 504(1/3): 305-313.
- [7] Tsukada H, Tsujimura S, Nakahara H. Seasonal succession of phytoplankton in Lake Yogo over 2 years: effect of artificial manipulation. Limnology, 2006, 7(1): 3-14.
- [8] Wang C, Li X H, Lai Z N, Tan X C, Pang S X, Yang W L. Seasonal variations of *Aulacoseira granulata* population abundance in the Pearl River Estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 85(4): 585-592.
- [9] Nogueira M G. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. Hydrobiologia, 2000, 431(2/3): 115-128.
- [10] Kamenir Y, Dubinsky Z, Zohary T. Phytoplankton size structure stability in a meso-eutrophic subtropical lake. Hydrobiologia, 2004, 520(1/3): 89-104.
- [11] Müller O. Sprungweise Mutation bei Melosireen. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 1903, 21: 326-333.
- [12] Florin M B. The fine structure of some pelagic fresh-water diatom; species under the scanning electron microscope. Svensk Botanisk Tidskrift, 1970, 64: 51-64.
- [13] Crawford R M. Filament formation in the diatom genus *Melosira* C. A. Agardh and Paralia Heiberg. Nova Hedwigia, Beih, 1979, 64: 121-134.
- [14] Kilham S S, Kilham P. *Melosira granulata* (Ehren.) Ralfs: Morphology and ecology of a cosmopolitan freshwater diatom. Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie, 1975, 19: 2716-2721.
- [15] Stoermer E F, Kreis R G Jr, Sicko-Goad L. A systematic, quantitative, and ecological comparison of *Melosira islandica* O. Müll. with *M. granulata* (Ehren.) Ralfs from the Laurentian Great Lakes. Journal of Great Lakes Research, 1981, 7(4): 345-356.

- [16] Davey M C. The relationship between size, density and sinking velocity through the life cycle of *Melosira granulata* (Bacillariophyta). *Diatom Research*, 1986, 1(1): 1-18.
- [17] Davey M C. Seasonal variation in the filament morphology of the freshwater diatom *Melosira granulata* (Ehren.) Ralfs. *Freshwater Biology*, 1987, 18(1): 5-16.
- [18] Davey M C, Crawford R M. Filament formation in the diatom *Melosira granulata*. *Journal of Phycology*, 1986, 22(2): 144-150.
- [19] Miyajima T, Nakanishi M, Nakano S, Tezuka Y. An autumnal bloom of the diatom *Melosira granulata* a shallow eutrophic lake; physical and chemical constraints on its population dynamics. *Archiv für Hydrobiologie*, 1994, 130(2): 143-162.
- [20] Gómez N, Riera J L, Sabater S. Ecology and morphological variability of *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae) in Spanish reservoirs. *Journal of Plankton Research*, 1995, 17(1): 1-16.
- [21] Viana S M, Rocha O. The toxicity of Copper Sulphate and Atrazine to the diatom *Aulacoseira granulata* (Ehren.) Simmons. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 2005, 17(3): 291-300.
- [22] Vieira A A H, Giroldo D, Ortolan P I C. Aggregate formation in axenic and microbial co-inoculated batch cultures of *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae). *Acta Limnologica Brasiliensis*, 2006, 18(1): 1-7.
- [23] Vieira A A H, Ortolan P I C, Giroldo D, Oliveira M J D, Bittar T B, Lombardi A T, Sartori A L, Paulsen B S. Role of hydrophobic extracellular polysaccharide of *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae) on aggregate formation in a turbulent and hypereutrophic reservoir. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53(5): 1887-1899.
- [24] García de Emiliani M O. Phytoplankton ecology of the Middle Paraná River. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 1990, 3(1): 391-417.
- [25] Rojo C, Alvarez Cobelas M, Arauzo M. An elementary, structural analysis of river phytoplankton. *Hydrobiologia*, 1994, 289(1/3): 43-55.
- [26] Petrova N A. Seasonality of *Melosira*-plankton of the great northern lakes. *Hydrobiologia*, 1986, 138(1): 65-73.
- [27] Gómez N, Bauer D E. Phytoplankton from the southern coastal fringe of the Río de la Plata (Buenos Aires, Argentina). *Hydrobiologia*, 1998, 380(1/3): 1-8.
- [28] Takano K, Igarashi S, Hino S. Seasonal changes in silicon content of diatoms estimated from the ratio of particulate silicon to diatom volume under silicon sufficiency in diatom-rich Lake Barato. *Limnology*, 2004, 5(2): 115-120.
- [29] Almeida da Silva C, Train S, Rodrigues L C. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, 2005, 537(1/3): 99-109.
- [30] Kilham P, Kilham S S, Hecky R E. Hypothesized resource relationships among African planktonic diatoms. *Limnology and Oceanography*, 1986, 31(6): 1169-1181.
- [31] Kilham P. The ecology of *Melosira* species in the great lakes of Africa//Tilzer M M, Serruya C, eds. *Large Lakes, Ecological Structure and Function*. Berlin: Springer, 1990: 414-427.
- [32] Lepistö L, Kauppi P, Rapala J, Pekkarinen M, Sammalkorpi I, Villa L. Estimation of reference conditions for phytoplankton in a naturally eutrophic shallow lake. *Hydrobiologia*, 2006, 568(1): 55-66.
- [33] Clarson S J, Steinitz-Kannan M, Patwardhan S V, Kannan R, Hartig R, Schloesser L, Hamilton D W, Fusaro J K A, Beltz R. Some observations of diatoms under turbulence. *Silicon*, 2009, 1(2): 79-90.
- [34] Walsby A E, Reynolds C S. Sinking and floating//Morris I, ed. *The Physiological Ecology of Phytoplankton*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1980: 371-412.
- [35] Turkia J, Lepistö L. Size variations of planktonic *Aulacoseira* Thwaites (Diatomae) in water and in sediment from Finnish lakes of varying trophic state. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21(4): 757-770.
- [36] Laugaste R, Jastreski V V, Ott I. Phytoplankton of Lake Peipsi-Pihkva: species composition, biomass and seasonal dynamics. *Hydrobiologia*, 1996, 338(1/3): 49-62.
- [37] Bahnwart M, Hübener T, Schubert H. Downstream changes in phytoplankton composition and biomass in a lowland river-lake system (Warnow River, Germany). *Hydrobiologia*, 1999, 391(1/3): 99-111.
- [38] Takano K, Ishikawa Y, Mikami H, Ban S, Yoshida T, Aono T, Imada K, Yasutomi R, Takeuchi K, Hino S. Analysis of the change in dominant phytoplankton species in unstratified Lake Oshima-Onuma estimated by a bottle incubation experiment. *Limnology*, 2001, 2(1): 29-35.
- [39] Poulíčková A, Kršková M. Some ecological aspects of centric diatom seasonal maxima in shallow water body. *Algological Studies*, 2000, 136: 121-133.
- [40] Sherman B S, Webster I T, Jones G J, Oliver R L. Transitions between *Aulacoseira* and *Anabaena* dominance in a turbid river weir pool. *Limnology and Oceanography*, 1998, 43(8): 1902-1915.
- [41] Marinho M M, de Oliveira e Azevedo S M F. Influence of N/P ratio on competitive abilities for nitrogen and phosphorus by *Microcystis aeruginosa* and *Aulacoseira distans*. *Aquatic Ecology*, 2007, 41(4): 525-533.
- [42] Gibson C E, Anderson N J, Haworth E Y. *Aulacoseira subarctica*: taxonomy, physiology, ecology and palaeoecology. *European Journal of Phycology*, 2003, 38(2): 83-101.
- [43] Davey M C. The effects of nutrient depletion on the sinking velocity and cellular composition of a freshwater diatom. *Arch Hydrobiologia*, 1998, 112(3): 321-334.
- [44] Gibson C E. Sinking rates of planktonic diatoms in an unstratified lake: a comparison of field and laboratory observations. *Freshwater Biology*, 1984, 14(6): 631-638.

参考文献:

- [1] 齐雨藻. 中国淡水藻志, 第四卷, 硅藻门, 中心纲. 北京: 科学出版社, 1995: 13-17.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.15 August ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau	4605
Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing	4618
Simulation of CO ₂ and H ₂ O fluxes over temperate mixed forest and sensitivity analysis of layered methods: stomatal conductance-photosynthesis-energy balance coupled model	4630
Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area	4641
Integrated water risk assessment in Daliao River estuary area	4651
Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity	4661
Genetic diversity analysis of different age of a Dalian population of the Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> by EST-SSR	4673
Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) purse seine catch in the western Indian Ocean	4682
Seasonal differences in habitat selection of the Crocodile lizard (<i>Shinisaurus crocodilurus</i>) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong	4691
Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu	4700
Dynamics of soil organic carbon and total nitrogen contents in short-rotation triploid <i>Populus tomentosa</i> plantations	4714
Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mongolia	4722
Effect of elevated ultraviolet-B (UV-B) radiation on CH ₄ emission in herbicide resistant transgenic rice from a paddy soil	4731
NMR spectroscopy based metabolomic analysis of <i>Thellungiella salsuginea</i> under salt stress	4737
Screening and identification of associative nitrogen fixation bacteria in rhizosphere of sugarcane in Guangxi	4745
Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities	4753
The characteristics of soil microbial communities at burned forest sites for the Great Xingan Mountains	4762
Changes of soil faunal communities during the restoration progress of <i>Abies faxoniana</i> Forests in Northwestern Sichuan	4772
The effects of the endophytic fungus <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 on <i>Fusarium oxysporum</i> in a continuously cropped watermelon field	4784
Population ecology of <i>Aulacoseira granulata</i> in Xijiang River	4793
Evaluation of ecosystem sustainability for large-scale constructed wetlands	4803
MIS3b vegetation and climate changes based on pollen and charcoal on Qianxi Plateau	4811
The effects of stemflow on the formation of "Fertile Island" and "Salt Island" for <i>Haloxylon ammodendron</i> Bge	4819
Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area	4827
Occurrence characteristics of <i>akashiwo sanguinea</i> bloom caused by land source rainwater	4836
Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve	4844
Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China	4852
Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta	4861
The diversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing	4869
Review and Monograph	
Responses of soil respiration to different environment factors in semi-arid and arid areas	4890
Temperature sensitivity of soil respiration: uncertainties of global warming positive or negative feedback	4902
The primary factors controlling methane uptake from forest soils and their responses to increased atmospheric nitrogen deposition: a review	4914
The research progresses on biological oxidation and removal of nitrogen in lakes	4924
Scientific Note	
Cutting effects on growth and wastewater purification of <i>Cyperus alternifolius</i> in constructed wetland	4932

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 15 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 15 (August, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元