

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

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 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

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

DOI: 10.5846/stxb201209131292

王超, 赖子尼, 李新辉, 高原, 李跃飞, 余煜棉. 西江下游浮游植物群落周年变化模式. 生态学报, 2013, 33(14): 4398-4408.

Wang C, Lai Z N, Li X H, Gao Y, Li Y F, Yu Y M. Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4398-4408.

西江下游浮游植物群落周年变化模式

王 超^{1,2}, 赖子尼^{1,2}, 李新辉^{1,2,*}, 高 原^{1,2}, 李跃飞^{1,2}, 余煜棉³

(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, 广州 526100; 3. 广东工业大学, 广州 510006)

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, 对 2009 年该江段的浮游植物群落组成及变化进行系统阐释。调查期间共发现浮游植物 7 门, 245 种(包括变种、变型), 其中硅藻和绿藻是浮游植物群落组成的最主要类群, 分别占总种数的 42.44% 和 34.69%, 其次是裸藻和蓝藻。PCA 分析结果显示, 浮游植物各类群的种类丰富度和生物量的周年变化趋势主要受水温和径流量的影响。浮游植物种类丰富度的周年变化呈现明显的高温季节高, 低温季节低的特征, 除因大多数藻类物种直接喜好高温之外, 径流量的增大有助于真浮游绿藻种类的外源注入及半浮游和偶然性浮游硅藻种类的增加。浮游植物生物量的周年变化呈现明显的双峰型, 峰值分别出现在 8 月和 11 月。然而 8 月份第 1 个高峰出现之前, 生物量波动不大, 尽管水温的升高有助于生物量的增加, 但是径流量增大所带来的稀释作用掩盖了水温上升对浮游植物生长的促进作用。真浮游植物生物量的变化趋势和数值与总浮游植物极其接近, 主要得益于真浮游硅藻物种颗粒直链藻在总种群中的绝对优势地位。综上, 水温升高对浮游植物种类丰富度和生物量的增长均有促进, 径流量的增大虽然有助于种类丰富度的增加, 但不利于生物量的增加。

关键词: 西江; 浮游植物; 周年变化

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River

WANG Chao^{1,2}, LAI Zini^{1,2}, LI Xinhui^{1,2,*}, GAO Yuan^{1,2}, LI Yuefei^{1,2}, YU Yumian³

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 Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

Abstract: The study on population dynamics of phytoplankton was still an important basic work for ecological investigations in large rivers. Through continuous sampling at the downstream of Xijiang River in 2009, the annual variation pattern of phytoplankton community structure and its correlation with environmental factors were demonstrated in this study.

During the investigation, the 245 taxonomic species (including variant and derivative) in 7 groups were identified. The results showed that the diatom (Bacillariophyceae) and chlorophytes were most abundant and they were 42.44% and 34.69% to total numbers respectively, and the Euglenophyta and Cyanobacteria were subsidiary to them. The above structure pattern was the similar to those of other large rivers in the world. 15 main species (dominant and frequent species) were listed in table 1, but only 3 species showed both high biomass contribution and high occurrence. For all the species, *Aulacoseira granulata* var. *granulata* was the predominant one because it showed continuous dominance except for

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); 广东省海洋渔业科技推广专项(A2011009); 广西省自然科学基金重大项目(2013GXNSFEA053003)

收稿日期: 2012-09-13; 修订日期: 2013-03-04

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

its biggest occurrence.

The annual variation pattern of total species abundance was high in warm seasons and low in cold seasons, which was also consistent with the diatom and green algae group. One reason is that many species favorite the high water temperature and the other is that the high discharge of warm seasons could also promote the inoculations from out-of-channel sources of true planktonic green algae and the complement of tycho planktonic diatom species. This result has been confirmed by the annual pattern of true planktonic species richness, since the true planktonic diatom showed almost steady during the whole year, and the PCA analysis confirmed the two key factors.

The annual phytoplankton biomass showed apparent bimodal pattern, and the two peaks appeared after the flood period. In addition, the biomass values showed almost no fluctuations besides the two peaks, which was because that the positive role of rising water temperature was covered by the negative role from the dilution impact of high discharge. According to the previous studies, self-sustaining populations of riverine algae were primarily based on meroplanktonic diatom species, whereas true planktonic populations, mostly chlorophytes depended on periodic inoculations from outer sources. Therefore, diatom would apparently precede chlorophytes when water discharge increased.

In conclusion, the diatom and green algae were the most important groups of phytoplankton community in Xijiang River, and their annual variation pattern could strictly affect the total phytoplankton community. The phytoplankton species abundance was mainly determined by the true planktonic green algae and tycho planktonic diatoms, and both water temperature and water discharge were the main reasons for their increments, and Si concentration was only beneficial for diatoms. The phytoplankton biomass was mainly determined by several dominant species (especially the true planktonic diatom species), and water temperature and discharge played important roles for the phytoplankton biomass during the seasons.

Key Words: Xijiang River; phytoplankton; annual variation

浮游植物利用光能驱动光合作用产生有机物,是水域生态环境中生命有机体的初级生产者,形成水生动物食物链的基础环节^[1-3]。其通过吸收水体中的营养盐成分促进自身的生长繁殖,同时也满足了浮游动物的摄食需求,进而开启了能量在水生动物食物链中的传递,并最终将影响渔业资源的输出甚至整个水域生态系统的稳定。此外,浮游植物群落的组成和变化与水环境密切相关,是水环境细微变化的敏感指示生物^[4]。

西江源出云南沾益马雄山,河长 2074.8km,是珠江最大的支流。该流域地处亚热带,水生态环境良好,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。肇庆江段位于西江的下游,是珠江干流汇入珠三角河网水域的咽喉通道,受上游河水冲刷所带来的泥沙、矿物质和有机物的影响,该江段的水体较为浑浊,营养物质含量丰富,加之水流较缓,滞留时间较长,为水生动物和浮游植物提供了较好的生存环境。为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 年起在西江肇庆江段设置长期监测点(距离河口约 160 多 km),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。其中,浮游植物的连续监测工作始于 2008 年,具体监测时间为每天 8:00;2010 年起改为昼夜分布的连续监测,分早、中、晚 3 个时段进行。

根据我们所掌握的资料,目前有关西江浮游植物的研究报道并不多。除了 20 世纪 80 年代初由珠江水产研究所牵头对珠江水系的渔业资源进行调查时涉及到了西江浮游植物的常见科属,近年来仅见王超等^[5-6]对西江两个广东鲂(*Megalobrama terminalis*)产卵场的浮游植物组成及颗粒直链藻的种群生态特征进行了研究报道。国际上的相关研究发现,江河浮游植物群落结构的普遍模式为绿藻在种类丰富度上占据优势地位,而少数硅藻物种在生物量上占据优势^[7-9]。作者的研究报道已表明中心纲硅藻颗粒直链藻(*Aulacoseira granulata*)是调查江段的全年优势种^[6],但是有关浮游植物群落组成及变化的内容仍未进行阐述。此外,国际上的相关假说认为在营养盐较为丰富的低地河流中,浮游植物群落组成及变化主要受物理因素的影响,与营

养盐含量关联不大^[10]。本文基于西江肇庆江段长期监测点 2009 年浮游植物群落及环境因子的数据资料, 阐析浮游植物群落的周年变化特征及其与环境因子的关系, 并与国际上在类似区域的研究成果进行对比, 分析它们的共性及差异, 为西江水域生态环境评价和保护工作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查站位和时间

调查站位是本研究小组的长期监测点, 位于肇庆市区肇庆渔政码头上游约 50 m 处(23°2'40"N, 112°27'5"E)(图 1), 本次调查时间为 2009 年 1 月 1 日至 12 月 30 日, 调查频率为每 5 d 1 次, 具体时间为每天 8:00。春节期间(2 月 15 日、20 日)未进行野外样本的采集工作。

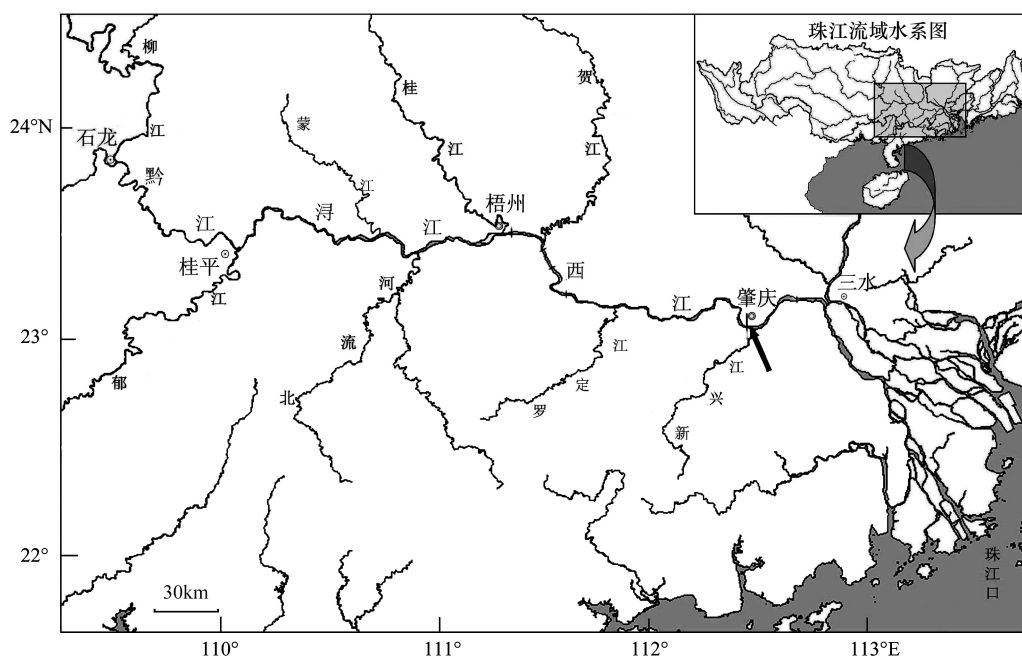


图 1 调查站位布设图

Fig. 1 Map of sampling sites

1.2 样本采集、处理及数据收集

浮游植物样本取表层(离水面 0.5 m)水样 1 L 装入聚乙烯瓶中, 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, 立即移入标记刻度 1000 mL 玻璃量筒内, 加盖静置 24 h 后, 用管口包裹筛绢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。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。

水温数据采用自动水温记录仪获得, 每小时记录 1 次。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。

1.3 数据整理和相关分析

浮游植物生物量的计算方法参照 Hillebrand 等^[11], 通过体积法计算取几何近似值, 分析过程中将生物量在总种群中所占百分比大于 5% 的物种定为优势种。

为了更好地阐析浮游植物群落组成及变化与环境因子之间的关系, 对浮游植物总种类丰富度、真浮游植物种类丰富度和偶然性浮游植物进行了比较分析, 物种的划分依据参照 Van den Hoek 等^[12]的结果。

本文后述的种群演替的时间变化图用 Origin 6.1 软件完成, 而种群变化与环境因子之间的关系用 Canoco

4.5 软件进行分析,并得到 PCA 二维降序图。

2 结果

2.1 水文环境

文章中所调查的西江肇庆段水文环境数据随时间变化情况引自作者报道的资料^[6]。

在研究水域中,9 月份之前水温呈缓慢上升,4 月 10 日前水温基本低于 20℃,全年最低水温出现在 1 月 15 日,仅 8 月 20 日至 9 月 15 日期间水温高于 30℃,9 月 10 日达到最大值,之后下降,11 月 10 日后水温开始在 20℃左右徘徊,一般低于 20℃。相邻两次调查的水温最大差值出现在 11 月 10 日和 15 日之间,差值为 14.35℃。

西江肇庆段全年径流量仅在 5 月至 8 月期间出现 4 个明显的洪峰,与之相比,其它季节变化不大。但是仍可发现 4 月份之前的径流量基本维持在 3000 m³/s 以下水平,4 月份开始缓慢上升;8 月 1 日第 4 个峰值过后,径流量开始下降,10 月 1 日后,径流量基本维持在 2000 m³/s 以下水平。

调查期间,除 1 月和 2 月外,其它月份均有降雨。6 月和 7 月的降雨频率最高,其中 7 月份的降雨频率达 85.71%。单月仅出现 1 次降雨的包括 8、10、11、12 月。单日降雨量最大值出现在 9 月 15 日,为 50.5 mm。

2.2 物种组成及优势种分布

调查期间共发现浮游植物种类 7 门,245 种(包括变种、变型)。其中硅藻 32 属 104 种,占总种数的 42.44%;绿藻 37 属 85 种,占总种数的 34.69%;裸藻 6 属 31 种,占总种数的 12.65%;蓝藻 8 属 18 种,占总种数的 7.34%;其它包括甲藻 4 种,金藻 2 种和黄藻 1 种。

调查期间主要物种(包括优势种和常见物种)的组成和分布如表 1 所示,包括硅藻 7 种,绿藻 6 种,裸藻 2 种。其中,出现率高且对总生物量贡献大的物种有颗粒直链藻原变种(*Aulacoseira granulata* var. *granulata*)、变异直链藻(*Melosira varians*)和尖新月藻变异变种(*Closterium acutum* var. *variabile*),仅颗粒直链藻原变种为真浮游植物种类。出现率高且对总生物量贡献小的物种有梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、扭曲小环藻(*Cyclotella comta*)、短小楔形藻(*Licmophora abbreviata*)、舟形藻(*Navicula* sp.)、镰形纤维藻奇异变种(*Ankistrodesmus falcatus* var. *mirabilis*)和被甲栅藻(*Scenedesmus armatus*),大多数种类为真浮游植物。其它物种出现率低且对总生物量的贡献小,仅在某些月份成为优势种,多为真浮游植物种类。

2.3 种类丰富度的时间变化

由图 2 可知,浮游植物种类丰富度的时间变化模式整体呈现高温季节高,低温季节低的特点。种类丰富度的变化范围为 2—58 种,最大值出现在 7 月 20 日,最小值出现在 3 月 5 日。4 月份之前,种类数总和维持在 20 种以下,之后呈现上升趋势,持续至 8 月底。8 月份之前出现了几个明显的高值,分别为 4 月 25 日的 49 种,5 月 25 日的 55 种和 7 月 20 日的 58 种;8 月份的种类数维持在较高的水平,该月最大值为 8 月 30 日的 50 种。自 9 月份开始,种类数的变化比较平稳,基本维持在 15—25 种的水平。浮游植物主要类群(硅藻和绿藻)种类丰富度的时间变化模式与总种群的变化模式基本一致(图 2)。从百分组成上看,硅藻和绿藻在总种群中所占百分比之和一般不低于 80%(图 2);从两者的相对组成上看,1 月,硅藻和绿藻相等;2—4 月,绿藻优于硅藻;5—12 月,硅藻优于绿藻,其中 10—12 月,硅藻的优势度极为明显(图 2)。

真浮游植物种类丰富度的时间变化模式与总种类数的变化模式是一致的(图 2),种类丰富度的变化范围为 1—29 种,最大值出现在 7 月 20 日,最小值出现在 3 月 5 日。真浮游植物的主要类群为硅藻、绿藻和裸藻,其中硅藻种类数的周年变化模式比较平稳,变化幅度(0—8 种)也不大,这与硅藻总种类数的单峰型的变化模式是不一致的,与其变化幅度(0—29 种)也存在很大差异(图 2);绿藻为真浮游植物的最主要类群,其周年变化模式与绿藻总种类数的变化模式一致,其变化幅度(0—18 种)与总种类数的变化幅度(0—21 种)差异也不大;裸藻物种基本均为真浮游种类,主要出现在高温季节。从百分组成上看,绿藻为真浮游种类的最主要类群,一般不低于 50%;硅藻次之,但是高温季节百分比明显低于低温季节,3 月至 9 月期间维持在 20%左右;裸藻百分比额变化范围为 0—31%,最大值出现在 6 月,4 月至 8 月的其它月份维持在 20%左右(图 2)。

表 1 主要物种(优势种和常见物种)的组成和分布
Table 1 Composition and distribution of main species (dominant and common species)

类别* Group	物种名称 Species name	作为优势种的月份 Time as dominant species	对总生物量贡献/% Contribution to total biomass	全年出现率/% Occurrence rate	真浮游植物 或偶然性浮游植物 True planktonic taxa or tychoplanktonic taxa
硅藻	颗粒直链藻原变种 <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>granulata</i>	1 月至 12 月	35.0 (0—96.8)	82.7	真浮游植物
	变异直链藻 <i>Melosira varians</i>	1 月至 7 月,12 月	12.5 (0—79.1)	75.3	偶然性浮游植物
	意大利直链藻 <i>Aulacoseira italica</i>	12 月	1.8 (0—49.1)	13.6	真浮游植物
	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	无	1.8 (0—10.7)	74.1	真浮游植物
	扭曲小环藻 <i>Cyclotella comta</i>	无	1.2 (0—8.2)	63.0	真浮游植物
	短小楔形藻 <i>Licmophora abbreviata</i>	无	0.04 (0—0.5)	46.9	偶然性浮游植物
	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	无	0.7 (0—9.5)	44.4	偶然性浮游植物
绿藻	尖新月藻变异变种 <i>Closterium acutum</i> var. <i>variabile</i>	1 月至 3 月,5 月	13.4 (0—98.5)	75.3	偶然性浮游植物
	鼓藻 <i>Cosmarium</i> sp.	3 月	0.4 (0—17.6)	6.2	偶然性浮游植物
	网球藻 <i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	4 月至 7 月	4.8 (0—38.4)	28.4	偶然性浮游植物
	浮球藻 <i>Planktosphaeria</i> sp.	4 月	1.5 (0—59.1)	12.3	真浮游植物
	镰形纤维藻奇异变种 <i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>	无	0.08 (0—1.2)	42.0	真浮游植物
	被甲栅藻 <i>Scenedesmus armatus</i>	无	0.6 (0—6.6)	71.6	真浮游植物
裸藻	尖尾裸藻 <i>Euglena oxyuris</i>	4 月	0.5 (0—18.6)	4.9	真浮游植物
	囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.	6 月	1.1 (0—15.7)	22.2	真浮游植物

* 硅藻 Bacillariophyceae, 绿藻 Chlorophyta, 裸藻 Euglenophyta

2.4 种群生物量的时间变动

由图 3 可知,调查期间浮游植物的总生物量变化呈现明显的双峰型,两个峰值分别出现在 8 月 30 日(5.29 mg/L)和 11 月 1 日(10.91 mg/L)。生物量的变化范围为 0.003—10.91 mg/L,均值为 0.39 mg/L,最小值出现在 3 月 15 日。硅藻是浮游植物总生物量的最主要组成类群,调查期间其在总种群中所占百分比均大于 50%,尤其在 8 月至 12 月期间,其百分组成基本不低于 90%(图 3)。除硅藻外,1 月至 3 月期间的主要类群为绿藻,4 月至 7 月期间的主要类群为绿藻和裸藻。

真浮游植物生物量的周年变化模式与总浮游植物非常一致,两个峰值也分别出现在 8 月 30 日(5.26 mg/L)和 11 月 1 日(10.88 mg/L)。生物量的变化范围为 0.0001—10.88 mg/L,均值为 0.35 mg/L,最小值出现在 3 月 1 日。从百分组成上看,除 1 月至 3 月期间硅藻的优势程度更加明显之外,还发现,4 月至 7 月期间裸藻生物量贡献大于绿藻,这与图中绿藻贡献大于裸藻的结果相反。其它月份各类群的相对组成均为硅藻占据绝对优势(图 3)。

2.5 相关分析

2.5.1 种类丰富度与环境因子的关系

用 Canoco 软件首先对 5 个浮游植物类群(硅藻、绿藻、裸藻、蓝藻和其它)的总种类丰富度数据进行去趋

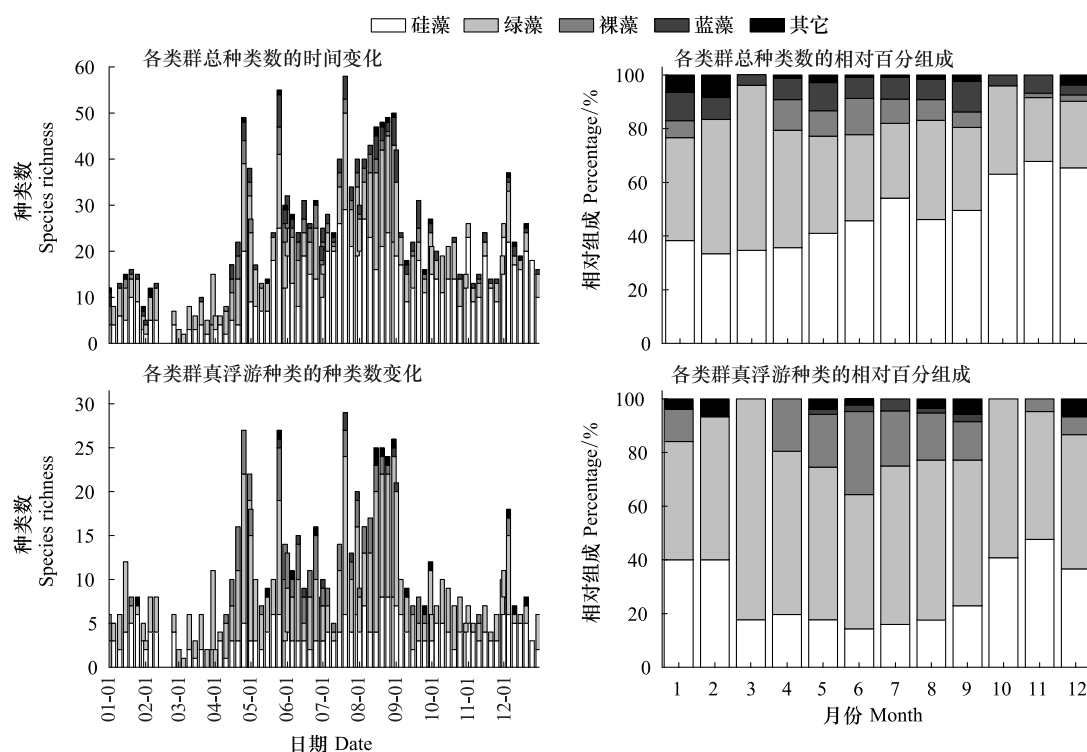


图2 浮游植物种类丰富度的时间变化及相对组成

Fig. 2 Temporal variations of phytoplankton species richness and relative contribution

势对应分析(DCA),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5个浮游植物类群的种类丰富度与9种环境因子(水温、径流量、降雨量、硅酸盐、磷酸盐、硝态氮、亚硝态氮、氨氮和总氮)进行相关分析,图4为所得到的种类丰富度与环境因子的PCA二维降序图。

对于浮游植物各类群种类丰富度而言,第一、第二排序轴之间的相关系数为0,表明这两个排序轴所包含的信息是相互独立的(表2);对于环境因子来说,前2个排序轴的累计贡献率分别为57.8%和90.3%,这说明前2个排序轴约含有9种环境因子的90%的信息,所以可以用PCA二维降维图研究9种环境因子间的相互关系(表3)。各类群种类丰富度第一个排序轴与环境因子第一个排序轴的相关系数较高,为0.78,各类群种类丰富度第二个排序轴与环境因子第二个排序轴的相关系数为0.73(表2),这表明PCA二维降序图可以较好地解释种类丰富度与环境因子之间的关系(图4)。

从PCA二维降序图可看出,浮游植物各类群种类丰富度与水温 and 径流量的排序方向一致,均呈正相关,因而当水温高、径流量大时,有利于所有藻类丰富度的增加;而硅酸盐主要影响硅藻、对蓝藻和其它藻类也稍有影响(均呈正相关),但与绿藻及裸藻的相关性不高(其夹角余弦值较小),故影响并不明显,因而当硅酸盐含量高时,主要是对硅藻丰富度的增加有好处。

用Canoco软件对5个浮游植物类群的生物量数据进行分析处理的过程与种类丰富度的相同,最终得到各类群生物量与环境因子的PCA二维降序图(图5)。

对于各类群生物量而言,第一、第二排序轴之间的相关系数为0,表明这两个排序轴所包含的信息是相互独立的;对于环境因子来说,前2个排序轴分别含有9种环境因子的99.3%和0.7%的信息,这表明基本上可以用二维降维图的横坐标值研究9种环境因子间的相互关系(图5,表3)。浮游植物各类群生物量第一个排序轴与环境因子第一个排序轴的相关系数为0.45;各类群生物量与环境因子第二个排序轴的相关系数为

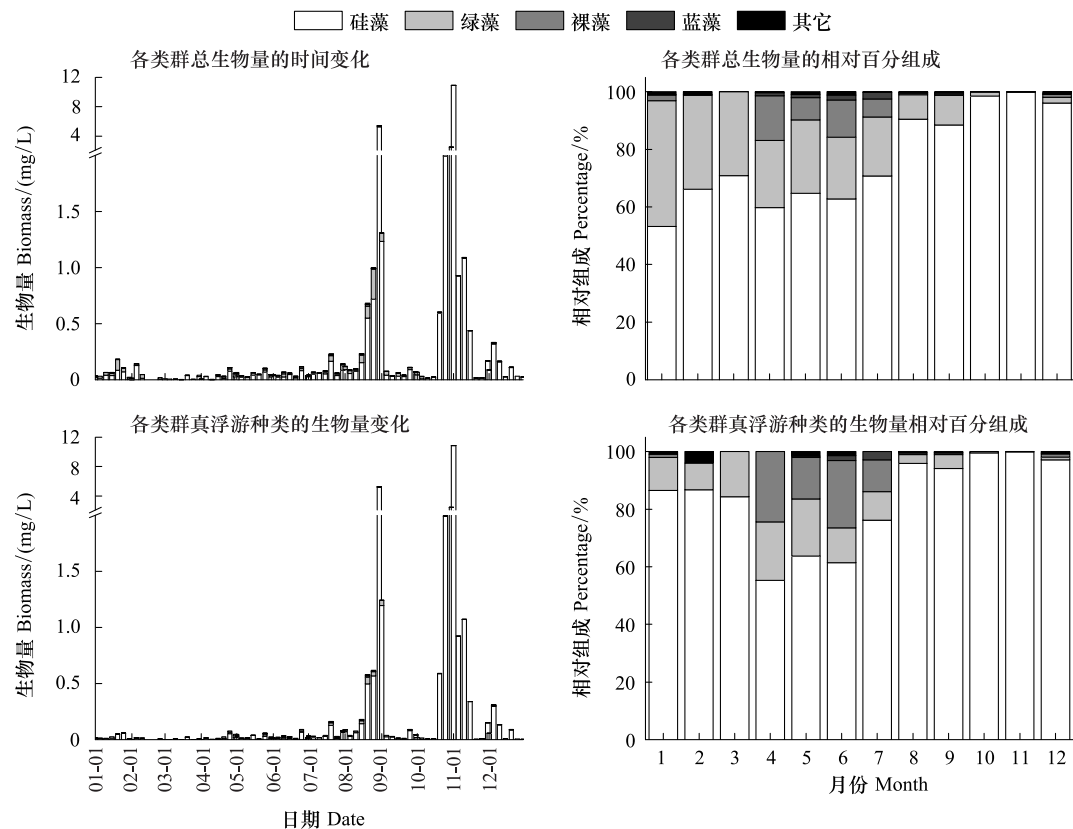


图3 浮游植物生物量的时间变化及各类群相对丰度

Fig. 3 Temporal variations of phytoplankton population density 、biomass and relative contribution

表 2 浮游植物种类丰富度和生物量、环境因子前 2 个 PCA 排序轴与环境因子间的相关系数

	种类丰富度与环境因子相关分析				生物量与环境因子相关分析			
	种类丰富度轴 1 (SPAX1)	种类丰富度轴 2 (SPAX2)	环境因子轴 1 (ENAX1)	环境因子轴 2 (ENAX2)	生物量轴 1 (SPAX1)	生物量轴 2 (SPAX2)	环境因子轴 1 (ENAX1)	环境因子轴 2 (ENAX2)
种类丰富度	0				0			
生物量轴 2 (SPAX2)	0				0			
环境因子轴 1 (ENAX1)	0.78	0.14			0.45	0.08		
环境因子轴 2 (ENAX2)	0.15	0.73	0.19		0.08	0.42	0.18	
水温 Water temperature	-0.61	-0.19	-0.78	-0.26	0.24	0.23	0.54	0.55
径流量 Discharge	-0.51	0.09	-0.65	0.13	-0.17	0.10	-0.38	0.23
降雨量 Precipitation	-0.21	0.18	-0.27	0.25	-0.09	-0.02	-0.20	-0.04
磷酸盐 Phosphate	0.12	-0.45	0.15	-0.62	-0.10	-0.15	-0.23	-0.36
硅酸盐 Silicate	-0.34	-0.55	-0.44	-0.75	0.14	-0.07	0.32	-0.16
亚硝态氮 Nitrite nitrogen	0.07	-0.16	0.09	-0.22	-0.11	0.09	-0.25	0.22
硝态氮 Nitrate nitrogen	-0.28	0.18	-0.36	0.24	0.02	-0.01	0.04	-0.02
氨氮 Ammonia nitrogen	-0.38	-0.18	-0.48	-0.25	0.07	0.01	0.16	0.02
总氮 Total nitrogen	-0.34	-0.23	-0.43	-0.32	0.10	0.01	0.22	0.03

0.42(表 2),这表明 PCA 二维降序图基本可以用来解释生物量与环境因子之间的关系。

PCA 二维降序图表明,浮游植物各类群生物量主要与水温、径流量和硅酸盐有关。水温升高时,主要有利于硅藻、绿藻、蓝藻和其它藻类的生长,对裸藻的生长也稍有些好处;径流量大时,主要有利于裸藻的生长,

对蓝藻、绿藻和其它藻类生物量的增长也稍有好处,但不利于硅藻的生长(因径流量与硅藻的夹角为钝角,两者呈负相关);而硅酸盐对藻类生长的影响主要是硅藻,当其浓度升高时,硅藻生物量的增长会加大,但对裸藻的生长没好处,与蓝藻、绿藻和其它藻类的线性相关程度并不高,影响不明显。

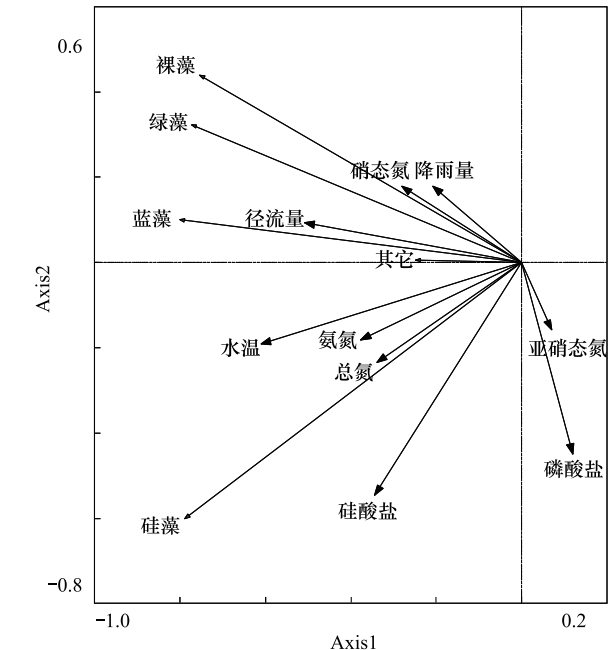


图4 浮游植物种类丰富度与环境因子的 PCA 二维降序图

Fig.4 Ordination diagram of the first two axes of principle correspondence analysis of phytoplankton species richness and environmental factors

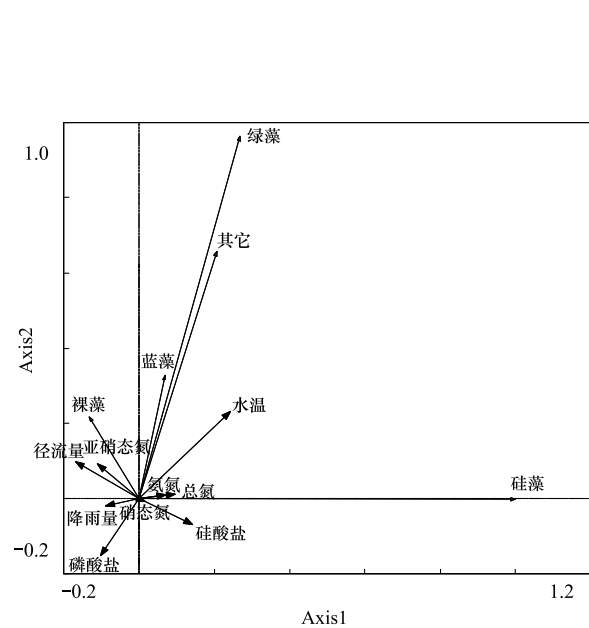


图5 浮游植物生物量与环境因子的 PCA 二维降序图

Fig.5 Ordination diagram of the first two axes of principle correspondence analysis of phytoplankton biomass and environmental factors

表3 PCA 分析中环境因子之间的相关系数矩阵的下半区

Table 3 The next part of coefficient matrix between environmental factors in PCA analysis

	水温 Water temperature	径流量 Discharge	降雨量 Precipitation	磷酸盐 Phosphate	硅酸盐 Silicate	亚硝酸盐氮 Nitrite nitrogen	硝酸盐氮 Nitrate nitrogen	氨氮 Ammonia nitrogen	总氮 Total nitrogen
水温 Water temperature	1								
径流量 Discharge	0.37	1							
降雨量 Precipitation	0.12	0.20	1						
磷酸盐 Phosphate	-0.27	-0.27	-0.13	1					
硅酸盐 Silicate	0.37	-0.03	0.002	0.35	1				
亚硝酸盐氮 Nitrite nitrogen	-0.20	-0.13	-0.06	0.25	0.21	1			
硝酸盐氮 Nitrate nitrogen	0.34	0.17	0.11	-0.07	0.03	-0.77	1		
氨氮 Ammonia nitrogen	0.59	0.19	0.09	0.07	0.67	0.06	0.38	1	
总氮 Total nitrogen	0.45	0.12	0.05	0.09	0.75	0.14	0.29	0.90	1

3 讨论

研究结果显示,西江下游浮游植物种类和类群组成丰富,这与 Bahnwart 等^[13]的研究结论是一致的,其认为具有一定的水深且流速缓慢的下游江段有利于不同浮游植物类群的存在和生长。硅藻和绿藻是西江肇庆江段浮游植物群落的最主要类群,此外,裸藻在种类及生物量组成上均有一定的贡献,蓝藻虽然在种类组成上有一定的贡献,但是生物量极低,这种群落组成模式与国内外其它江河^[14-18]的研究结果也是一致的。

如表 1 所示,调查江段的主要物种仅有 15 种(包括硅藻 7 种,绿藻 6 种和裸藻 2 种),其中出现率高且对生物量贡献大的物种仅 3 种(包括 2 种硅藻和 1 种绿藻)。有研究表明,存在少数优势种并伴随大量零星的其它物种是世界上大的江河生态系统中浮游植物群落结构的主要特征^[19-20]。作者的前期工作已表明,颗粒直链藻是调查江段的全年优势种^[6],其它优势种的出现不具有连续性,对生物量的贡献也明显偏低(表 1)。此外,在所鉴定的 245 种藻类物种中,出现率大于 10% 的物种仅 69 种,绝大多数为零星出现。以上结果均表明,调查江段的浮游植物群落结构特征与国内外其它江河的结论相吻合。

浮游植物总种类丰富度的周年变化呈现明显的季节特征(图 2),PCA 分析结果表明,当水温高、径流量大时,有助于提高所有类群种类丰富度;硅酸盐含量高时,能提高硅藻的丰富度(图 4)。Unni 和 Pawar^[16]在 Mahanadi 江的研究表明,对浮游植物种群影响最大的环境因子是水温。西江肇庆段的浮游植物种类丰富度呈现高温季节高,低温季节低的特点(图 2),一方面,是因为西江大多数藻类物种直接喜好高温,另一方面,高温季节一般伴随着高强度光照,有利于藻类进行光合作用。Lakshminarayana^[21]调查发现 Ganga 江夏季的浮游植物种类从之前的 37 种增长到 82 种,这与夏季水温升高和高光照有直接关系。此外,种类丰富度与径流量也存在显著正相关关系(图 4),不难发现种类丰富度的季节波动与径流量的季节波动规律关系密切^[6]。Train 和 Rodrigues^[22]在 Baía 江的调查发现洪水期的种类丰富度最大。高径流量不仅可以从上游带来更多的藻类物种从而增强藻类丰富度的累积效应,也可以通过更强烈的水体搅动作用使已沉降藻类和底栖藻类重新悬浮回到表层水体中,从而增加了种类丰富度。硅藻是调查江段浮游植物群落的最重要组成类群,硅藻物种的细胞壁组成需要大量的硅元素^[23-24],因此硅酸盐浓度的升高有助于硅藻种类组成的稳定和生物量的增长。尽管真浮游植物总种类数的周年变化趋势与总浮游植物的变化趋势及其相近,但是不同类群之间却存在不一致性(图 2)。单从最主要类群硅藻和绿藻来看,真浮游硅藻种类数周年变化平稳,与硅藻总种类数的单峰模式及数值均存在显著差异;而真浮游绿藻种类的周年变化趋势及数值与绿藻总种类丰度极其接近,这说明调查江段的浮游植物物种组成中,硅藻组成主要依赖半浮游种类和偶然性浮游种类,而绿藻组成主要依赖真浮游种类。Istvánovics 和 Honti^[9]认为江河浮游藻类的自我维持种群主要是半浮游硅藻物种,而真正的浮游种群主要是绿藻,其主要依靠周期性的外源注入。研究结果支持此观点,但是所得到的半浮游和偶然性浮游硅藻物种主要来自于外源注入还是调查江段的底栖种类再悬浮,有待进一步研究和验证。

调查期间,浮游植物生物量呈现明显的双峰型(图 3),且 2 个峰值均出现在 4 次洪峰之后。PCA 分析结果显示,水温升高有利于硅藻、绿藻、蓝藻和其它藻类生物量的增长,对裸藻的增长也稍有些好处,但是两个峰值出现之前,尽管水温持续上升,生物量一直维持在较低水平,没有明显变化,很可能是因为水温上升对浮游植物生长的促进作用被径流量增大导致的稀释作用所掩盖。PCA 分析结果也显示,径流量大时虽然有助于其它藻类类群生物量的增长,但对硅藻的生长不利,而硅藻恰恰是生物量的最重要贡献者。调查期间,生物量的两个峰值所对应的水体径流量分别为 $3430 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $1680 \text{ m}^3/\text{s}$,代表了相对稳定的水体环境。巧合的是,浮游植物生物量的两个峰值的比值(大/小)2.06 近似等于各自对应的径流量数值的反比值 2.04(大/小),这在一定程度上反映了水体径流量增大对浮游植物种群丰度的稀释作用。Salmaso 和 Braioni^[25]认为径流量大不仅可以稀释藻类密度,同时引起的水体浑浊可以削弱藻类对光的可利用率,相反,径流量小,水体中悬浮颗粒少,水下光照条件好,在适宜的水温条件下,浮游植物种群丰度和生物量均会出现较大增长^[26-27]。Istvánovics 和 Honti^[9]在匈牙利的 3 条河流的研究也发现,叶绿素 a 浓度与径流量存在负相关关系。除稀释作用影响外,高径流量时浮游植物生物量还受制于较短的运输时间和平流损耗的影响^[28]。从各类群的相对组成上看,硅藻生物量占据绝对优势(图 3)。Swale^[29]的研究发现,绿藻主要在水流较快的江河上游江段占据优势,而硅藻主要在江河下游江段占据优势。其它江河的研究也发现,硅藻占据绝对优势地位,并伴随有大量不同的绿藻物种是世界上不同江河的基本特征^[14-15,30-33]。真浮游植物生物量的变化趋势和数值与总浮游植物极其接近,这主要得益于真浮游硅藻物种颗粒直链藻的优势,其对生物量的最大贡献接近 100%(表 1)。

综上所述,硅藻和绿藻是调查江段浮游植物群落的重要组成类群,且硅藻在生物量上占据绝对优势,这与

国际上江河浮游植物的群落组成模式是比较一致的。但是硅藻的种类丰富度略高于绿藻,这很可能与调查江段的硅酸盐含量比较丰富有关。浮游植物各类群的种类丰富度和生物量的周年变化趋势均与水温 and 径流量的关系密切,这与国际上相关假说的结论也是一致的,不过水温对种类丰富度和生物量的增长均起到积极作用;而径流量对种类丰富度的增长起积极作用,主要是有助于真浮游绿藻种类的外源补充及半浮游和偶然性浮游硅藻的补充;径流量对生物量的增长起消极作用,主要是径流量的增大所带来的稀释作用减缓了生物量增长的速度。

致谢:营养盐数据由穆三姐等协助测定,样本采集由肇庆渔政支队协助完成,中国科学院南海海洋研究所林强研究员帮助写作,特此致谢。

References:

- [1] Forsberg B R, Arauolima C A R M, Martinelli L A, Victoria R L, Bonassi J A. Autotrophic carbon-sources for fish of the central Amazon. *Ecology*, 1993, 74: 643-652.
- [2] Skidmore R E, Maberly S C, Whitton B A. Patterns of spatial and temporal variation in phytoplankton chlorophyll *a* in the River Trent and its tributaries. *The Science of the Total Environment*, 1998, 210/211: 357-365.
- [3] Cloern J E and Dufford R. Phytoplankton community ecology: Principles applied in San Francisco Bay. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, 285: 11-28.
- [4] Kowe R, Skidmore R E, Whitton B A, Pinder A C. Modelling phytoplankton dynamics in the River Swale, an upland river in NE England. *The Science of the Total Environment*, 1998, 210/211: 535-546.
- [5] Wang C, Li X H, Lai Z N, Tan X C, Li J, Li Y F, Pang S X. The study on community structure difference of phytoplankton in two *Megalobrama hoffmanni* spawning grounds of Xijiang River. *Guangdong Agriculture Science*, 2010, 4: 156-160.
- [6] Wang C, Lai Z N, Li Y F, Li X H, Lek S, Hong Y, Tan X C, Li J. Population ecology of *Aulacoseira granulata* in Xijiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(15): 4793-4802.
- [7] Rojo et al., 1994. An elementary, structural analysis of river phytoplankton. *Hydrobiologia* 289: 43-55
- [8] Reynolds and Descy 1996. The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers. *Arch Hydrobiol. Suppl.* 113: 161-187
- [9] Istvánovics V and Honti M, 2011. Phytoplankton growth in three rivers: The role of meroplankton and the benthic retention hypothesis. *Limnology and Oceanography*, 56(4): 1439-1452
- [10] Tavernini S, Pierobon E and Viaroli P. Physical factors and dissolved reactive silica affect phytoplankton community structure and dynamics in a lowland eutrophic river (Po river, Italy). *Hydrobiologia*, 2011, 669: 213-225
- [11] Hillebrand H, Dürselen C D, Kirschtel D, Pollinger U, Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 1999, 35: 403-424.
- [12] Van den Hoek, C D G Mann and H M Jahns, 1995. *Algae. An Introduction to Phycology*. Cambridge University Press, Cambridge
- [13] Bahnwart M, Hübener T and Schubert H. Downstream changes in phytoplankton composition and biomass in a lowland river-lake system (Warnow River, Germany). *Hydrobiologia*, 1999, 391: 99-111.
- [14] Holmes N T H and Whitton B A. Phytoplankton of four rivers, the Tyne Wear, Tees and Swale. *Hydrobiologia*, 1981, 80: 111-127.
- [15] Schmidt A. Main characteristics of the phytoplankton of the Southern Hungarian section of the River Danube. *Hydrobiologia*, 1994, 289: 97-108.
- [16] Unni K S and Pawar S. The phytoplankton along a pollution gradient in the river Mahanadi (M. P. state) India — a multivariate approach. *Hydrobiologia*, 2000, 430: 87-96.
- [17] O'Farrell I, Lombardo R J, Pinto P T, Loez C. The assessment of water quality in the Lower Luján River (Buenos Aires, Argentina): phytoplankton and algal bioassays. *Environmental Pollution*, 2002, 120: 207-218.
- [18] Descy J P, Leitao M, Everbecq E, Smits J S and Deliège J F. Phytoplankton of the River Loire, France: a biodiversity and modelling study. *Journal of Plankton Research*, 2012, 34(2): 120-135.
- [19] Descy J P. Ecology of the phytoplankton of the River Moselle: effects of disturbances on community structure and diversity. *Hydrobiologia*, 1993, 249: 111-116.
- [20] Devercelli M. Phytoplankton of the Middle Paraná River during an anomalous hydrological period: a morphological and functional approach. *Hydrobiologia*, 2006, 563: 465-478.
- [21] Lakshminarayana J S S. Studies on the phytoplankton of the River Ganges, Varanasi, India, Part II "The seasonal growth and succession of the plankton algae in the River Ganges". *Hydrobiologia*, 1965, 25: 138-165.

- [22] Train S and Rodrigues L C. Temporal fluctuations of the phytoplankton community of the Bafa River floodplain, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Hydrobiologia*, 1998, 361: 125-134.
- [23] Hoetzel G, Croome R. Population dynamics of *Aulacoseira granulata* (EHR.) SIMONSON (Bacillariophyceae, Centrales), the dominant alga in the Murray River, Australia. *Archiv fuer Hydrobiologie*, 1996, 136: 191-215.
- [24] Odebrecht C, Abreu P C, Möller O O, Niencheski L F, Proença L A, Torgan L C. Drought effects on pelagic properties in the shallow and turbid Patos Lagoon, Brazil. *Estuaries*, 2005, 28: 675-685.
- [25] Salmaso N and Braioni M G. Factors controlling the seasonal development and distribution of the phytoplankton community in the lowland course of a large river in Northern Italy (River Adige). *Aquatic Ecology*, 2008, 42: 533-545.
- [26] Carvajal-Chitty H I. Some notes about the Intermediate Disturbance Hypothesis and its effects on the phytoplankton of the middle Orinoco River. *Hydrobiologia*, 1993, 249: 117-124.
- [27] Piirsoo K. Phytoplankton of Estonian rivers in midsummer. *Hydrobiologia*, 2001, 444: 135-146.
- [28] Townsend S A, Przybylska M, Miloslis M. Phytoplankton composition and constraints to biomass in the middle reaches of an Australian tropical river during base flow. *Marine and Freshwater Research*, 2012, 63: 48-59.
- [29] Swale E M F. Phytoplankton in two English rivers. *Journal of Ecology*, 1969, 57: 1-23.
- [30] Hudon C, Paquet S, Jarry V. Downstream variations of phytoplankton in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Hydrobiologia*, 1996, 337: 11-26.
- [31] Ha K, Kim H W, Joo G. J. The phytoplankton succession in the lower part of hypertrophic Nakdong River (Mulgum), South Korea. *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 217-227.
- [32] Zalocar de Domitrovic Y. Structure and variation of the Paraguay River phytoplankton in two periods of its hydrological cycle. *Hydrobiologia*, 2002, 472: 177-196.
- [33] Devercelli M. Changes in phytoplankton morpho-functional groups induced by extreme hydroclimatic events in the Middle Paraná River (Argentina). *Hydrobiologia*, 2010, 639: 5-19.

参考文献:

- [5] 王超, 李新辉, 赖子尼, 谭细畅, 李捷, 李跃飞, 庞世勋. 西江广东鲂产卵场浮游植物群落差异分析. *广东农业科学*, 2010, 4: 156-160.
- [6] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)

Resource and Industrial Ecology

- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)

Research Notes

- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 骆世明

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 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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 90.00 元