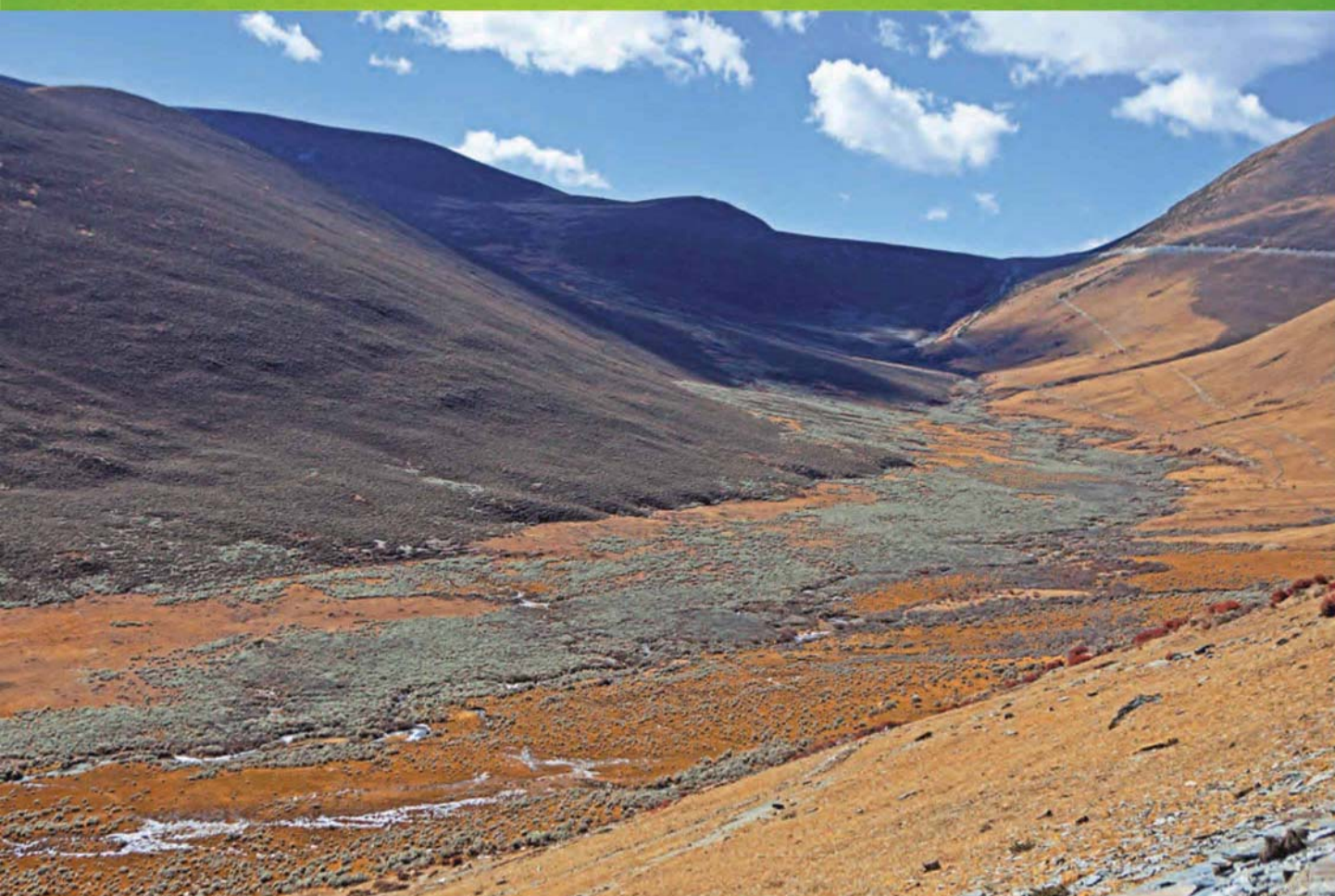


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
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 18 期

2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

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/stxb201305191112

王超, 李新辉, 赖子尼, 曾艳艺, 高原, 刘乾甫, 杨婉玲. 珠三角河网浮游植物生物量的时空特征. 生态学报, 2013, 33(18): 5835-5847.

Wang C, Li X H, Lai Z N, Zeng Y Y, Gao Y, Liu Q F, Yang W L. Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5835-5847.

珠三角河网浮游植物生物量的时空特征

王 超, 李新辉, 赖子尼*, 曾艳艺, 高 原, 刘乾甫, 杨婉玲

(中国水产科学研究院珠江水产研究所, 珠江水域渔业生态环境监测与评价功能实验室,
农业部珠江中下游渔业资源环境科学观测实验站, 广州 510380)

摘要: 珠三角河网水域是珠江之水流入南海的必经之地, 对 2012 年该水域浮游植物生物量的时空特征及其影响因素进行系统阐释。调查期间共发现浮游植物 7 门, 383 种(包括变种、变型), 其中硅藻和绿藻是最主要类群, 其次是裸藻和蓝藻。颗粒直链藻原变种是调查水域的本底物种, 也是最优势种; 而变异直链藻和网球藻分别是枯水季节和丰水季节的指示物种。从季节变动看, 浮游植物总生物量呈现枯水季节高、丰水季节低的特征, 主要与径流导致的稀释作用和透明度升高引发的沉降损失有关。从空间分布看, 总生物量呈现自西南向东北升高的趋势, 主要与营养盐的空间分布格局有关, 而且空间分布格局无季节差异。从不同类群的相对组成上看, 硅藻占据绝对优势地位, 绿藻和裸藻次之, 这与 20 世纪 80 年度初的调查结果基本一致。硅藻在枯水季节占据绝对优势地位, 而在丰水季节由于绿藻和裸藻优势的明显增大, 导致硅藻的优势下降, 这与流域中一些死水区域如水库、浅滩中的蓝绿藻和裸藻在丰水期涌入干流有关, PCA 分析结果也证明了这一点。此外, 不同站位在相对组成上的季节变动还受盐度的影响。综上, 物理因子包括与径流相关的稀释作用和与透明度相关的沉降损失不仅影响总生物量的季节变动, 也影响不同类群的相对组成; 而化学因素如营养盐含量是决定总生物量空间分布的关键因素, 与河口潮汐作用相关的盐度变化对类群相对组成的空间分布起到一定的影响作用。

关键词: 珠江三角洲; 河网; 浮游植物; 生物量; 时空特征

Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta

WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini*, ZENG Yanyi, GAO Yuan, LIU Qianfu, YANG Wanling

Experimental Station for Scientific Observation on Fishery Resources and Environment in the Middle and Lower Reaches of Pearl River, Fishery Eco-environment Monitoring and Evaluation Function Laboratory of the Pearl River Valley; Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science; Guangzhou 510380, China

Abstract: To test the hypothesis that species composition and persistence of phytoplankton communities in nutrient rich lowland rivers mainly depended on physical factors, the temporal and spatial patterns of the phytoplankton biomass were studied seasonally in the Pearl River Delta during 2012a. And its correlation with physical and chemical variables was analyzed to evaluate the key factors and then to display the interaction mechanisms. Samples were differentiated by nutrient level using self-organizing map (SOM), and two apparent different water qualities were found in the present finding. One was characterized by worse than level V of water quality and mainly composed by Zhujiangqiao, Lianhuashan and Shiqiao where located near Guangzhou city, and the other was characterized by falling between level II and IV of water quality and composed by the other sites. During the investigation, the 383 taxonomic species (including variant and derivative) from 7 groups were identified. The results showed that the diatom (Bacillariophyceae) and Chlorophytes were most abundant and they were 41.78% and 29.24% to the total numbers, respectively. The Euglenophyta and Cyanobacteria were subsidiary. This structure pattern was similar to that of the downstreams of Xijiang River and other large rivers in the world. 39 dominant

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专项(A2011009); 广西省自然科学基金重大项目(2013GXNSFEA053003)

收稿日期: 2013-05-19; 修订日期: 2013-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: znlai01@163.com

species were listed in Table 2, and *Aulacoseira* was the base member of phytoplankton communities around the studied area, for its domination throughout the whole year. Only 3 species showed both high biomass contribution and high occurrence, and *Aulacoseira granulata* var. *granulata* was predominant, and the benthic diatom *Melosira varians* and lentic green algae *Dictyosphaeria cavernosa* were indicator species of drought period and flood period respectively. Seasonal distribution patterns of total biomass were high in drought period and low in flood period, which was mainly related to the dilution by water flow and the sedimentation lost accompanied with high transparency. The spatial distribution pattern showed increasing trend from southwest to northeast, which was in accordance with the spatial pattern of nutrient level and the spatial pattern did not show seasonal difference. For the relative contribution of different groups, diatom was predominant and contributing 80.56% to the total biomass, Chlorophytes and Euglenophyta were subsidiary. Diatom seasonally predominated in drought period, but it was challenged by Chlorophytes and Euglenophyta in flood period since their influx into main stream from dead zones, such as reservoirs and shallow waters in the river basins. PCA analysis also showed that Chlorophytes and Euglenophyta were not correlated with nutrients but chemical factors. In addition, seasonal variations of relative contribution in different sites were also influenced by salinity. In conclusion, physical factors, including water flow and transparency, could not only influence the seasonal variations of the total phytoplankton abundance, but also impact the relative contribution of different groups in the community, while chemical factors mainly determined the spatial distribution pattern. In addition, salinity could also affect the communities of several sites.

Key Words: Pearl River Delta; river network; phytoplankton; biomass; temporal and spatial patterns

浮游植物是水生生物食物链的基础环节,起能量转化和食物供给的作用,其动态变化将最终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体理化环境特征密切相关,是水环境动态变化的敏感指示生物。

珠江三角洲水系包括西江、北江思贤以下和东江石龙以下河网水系,及入注珠江三角洲河流,河网区水道总长 1600 km。三角洲上河道密布,交织成网,最后分别经由虎门、蕉门、洪奇沥、横门、磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门八个入海口流入南海。珠三角是我国华南地区经济最活跃和人口最密集的地区,近年来随着社会经济的迅猛发展和人民生活水平的日益提高,工农业生产和生活污水排放加剧,珠三角河网水域的水质不断恶化。水利部珠江水利委员会发布的《珠江片水资源公报 2011》^①显示,珠三角近 1/4 河段水质为劣 V 类,在珠江水资源中水质最差。根据作者所掌握的资料,近年有关珠三角河网水域的水文和理化环境特征的研究报道很多,而有关该水域生物组成及动态变化的报道较少。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^[1]时涉及到了珠三角河网水域浮游植物的常见科属组成及生物量结果外,近年罕见该水域有关浮游植物的研究报道。本研究小组于 2012 年对该水域进行了季节性调查,内容涉及鱼类群落、浮游生物、水化因子、重金属及有机污染物等,本文主要涉及浮游植物的研究内容。

国际上的有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^[2]。作者对河网上游西江肇庆段浮游植物的研究发现,种类丰富度和生物量的周年变化均与物理因子(水温 and 径流量)关系密切,与营养盐关联不大^[3],验证了上述假说。珠三角河网水域纵横交错,较西江下游江段的营养盐含量更为丰富,且水质等级分化明显,不仅可以辅助验证以上假说,更加有助于深入探讨不同水质营养等级条件下的关键影响因素的异同。本文重点阐释 2012 年珠三角河网水域浮游植物生物量的时空分布特征,并与环境因子进行相关分析,阐释环境因子对生物量的影响和制约作用,验证上述假说,同时与 20 世纪 80 年代初的研究成果进行对比,分析它们的共性及差异,为珠江中下游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

调查水域为本研究小组在西江肇庆段长期监测点下游的珠三角河网水域,在该水域布设 13 个采样站位,基本形成伞状布局,具体布设如图 1 所示,包括青岐(QQ)、左滩(ZT)、外海(WH)、新围(XW)、小榄(XL)、小塘(XT)、北滘(BJ)、榄核(LH)、横沥(HL)、陈村(CC)、珠江桥(ZJQ)、莲花山(LHS)和市桥(SQ)。其中青岐位于西江和北江汇合点三水上西江一侧,左滩、外海和新围位于西江干流入磨刀门一线,小榄、小塘、北滘、榄核、横沥、陈村和市桥位于纵横交错的河网内部,珠江桥位于广州市区内河段,莲花山位于广州市郊东江入虎门口一线(图 1)。采样时的站位定位采用 GPS 全球卫星定位系统。调查时间分别为

① 《珠江片水资源公报 2011》相关内容转引自广州科普网,网址 <http://kepu.gzst.net.cn/d51133.aspx>

2012 年的 3 月、5 月、8 月和 12 月,其中 3 月和 12 月代表枯水季节,5 月和 8 月代表丰水季节,每个季度的采样工作均在 2 至 3 天内完成。

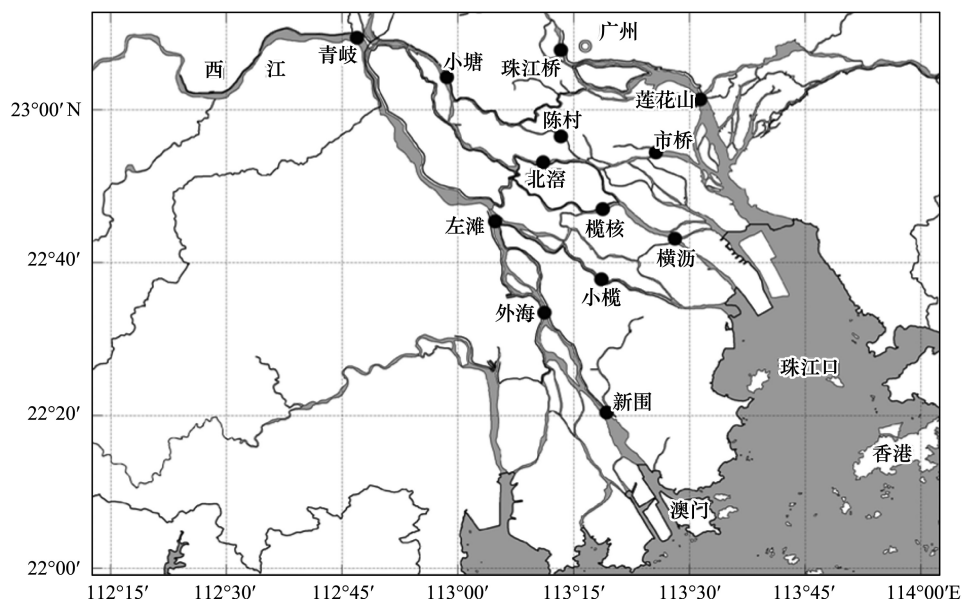


图 1 调查站位布设图

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 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,种类鉴定参考国内相关志书和专业资料^[4-7]。

现场环境因子用便携式水质分析仪(YSI6600-02, USA)、透明度盘等测定,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(SKALAR, 荷兰)进行营养盐分析。

1.3 水质评价

依据地表水环境质量标准(GB3838—2002)。

1.4 藻类数据处理与分析

浮游植物生物量的计算方法参照 Hillebrand 等^[8],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。

为了更好地阐释浮游植物生物量变化与环境因子之间的关系,对浮游植物总生物量和真浮游植物生物量进行了比较分析,具体物种归属的划分依据参照 Van den Hoek 等^[9]的结果。

本文中的基本结果图用 Origin 6.1 软件完成,基于营养盐组成对调查站位进行的自组织映射图谱(Self-organizing map, 缩写 SOM)分析用 Matlab 软件完成,而生物量变化与环境因子之间的关系分析用 Canoco 4.5 软件完成,并得到 PCA 二维降序图。

2 结果

2.1 理化环境特征

水质测定结果见表 1,总体结果显示,调查水域存在二类水质。距离广州最近的两个站位珠江桥和莲花山为一类,环境因子的最大和最小值往往出现在此两个站位,均劣于 V 类水质的标准。其它站位为一类,大多数环境因子介于 II 类和 IV 类水质之间。部分环境因子如 pH 值、溶解氧和总磷呈现明显的区域梯度,靠近广州的劣于 V 类水质的标准,次之为莲花山和市桥,介于 III 类和 IV 类水质之间,其它区域介于 I 类和 II 类水质之间。所有站位总氮含量均超出 V 类水质的标准,珠江桥甚至超出标准 3 倍多(表 1)。

采用自组织图谱法(SOM)揭示基于营养盐组成相似性的调查站位分布格局,根据 Vesanto^[10]确定本文中自组织图谱的输出层由 64 个神经元组成,即 8×8 个六角晶格。52 个分布单元在 SOM 图谱上的分布情况见图 2。根据不同神经元间营养盐组成的相似性,可明显分成 2 大类(I 和 II),类群 I 包括 38 个分布单元,由绝大多数调查站位组成;类群 II 包括 14 个分布单元,

表 1 调查站位的理化环境特征(均值和范围)
Table 1 The physical and chemical factors of the sampling sites (average and range)

站点 Station	经纬度 Longitude and latitude	水温/℃ Water temperature	盐度 psu Salinity	pH 值 pH value	透明度/cm Transparency	溶解氧/(mg/L) Dissolved oxygen	总氮/(mg/L) Total nitrogen	总磷/(mg/L) Total phosphate	硅酸盐/(mg/L) Silicate	高锰酸盐指数/(mg/L) Permanganate index
青岐	112°47'11.0"E 23°10'14.5"N	20.66 (13.30—28.90)	0.15 (0.10—0.25)	7.89 (7.48—8.65)	55 (30—80)	6.28 (5.10—8.23)	3.06 (2.64—4.02)	0.18 (0.16—0.21)	3.39 (2.92—3.86)	4.35 (2.50—6.14)
左滩	113°03'26.0"E 22°48'46.6"N	22.05 (14.16—29.92)	0.14 (0.10—0.23)	7.88 (7.45—8.63)	56 (25—100)	7.50 (6.49—9.89)	3.74 (2.31—7.58)	0.13 (0.10—0.18)	3.85 (3.54—4.44)	2.51 (1.83—3.18)
外海	113°09'20.3"E 22°36'14.5"N	22.19 (14.29—29.72)	0.14 (0.08—0.24)	7.92 (7.64—8.43)	44 (20—60)	7.99 (6.91—9.96)	2.43 (2.23—2.52)	0.15 (0.10—0.22)	3.91 (3.61—4.28)	3.05 (2.07—4.55)
新围	113°16'41.5"E 22°22'45.6"N	21.40 (14.48—28.95)	0.15 (0.09—0.25)	7.92 (7.61—8.46)	53 (35—70)	7.35 (5.64—9.88)	3.69 (2.37—7.26)	0.20 (0.12—0.32)	3.95 (3.47—4.42)	2.56 (2.00—3.95)
小榄	113°17'17.9"E 22°38'13.8"N	21.60 (14.16—29.05)	0.14 (0.09—0.23)	7.83 (7.65—8.16)	54 (35—80)	7.31 (5.63—9.74)	2.54 (1.99—3.20)	0.12 (0.12—0.16)	3.78 (3.53—4.32)	2.96 (1.38—5.37)
小塘	112°57'51.1"E 23°05'27.4"N	21.29 (13.85—29.84)	0.12 (0.08—0.21)	7.87 (7.50—8.50)	43 (10—80)	6.85 (5.80—8.23)	3.09 (2.21—4.07)	0.19 (0.12—0.35)	4.20 (3.95—4.53)	3.08 (2.47—4.10)
北碚	113°11'54.5"E 22°54'04.1"N	21.39 (13.50—29.63)	0.13 (0.08—0.21)	7.75 (7.21—8.43)	46 (25—85)	7.07 (5.43—9.91)	4.69 (2.60—9.64)	0.15 (0.11—0.23)	4.29 (3.40—4.88)	3.35 (2.04—5.97)
榄核	113°19'53.4"E 22°49'15.2"N	21.54 (14.07—29.58)	0.13 (0.08—0.23)	7.88 (7.60—8.45)	46 (20—80)	6.79 (5.68—8.80)	2.82 (2.31—3.37)	0.15 (0.10—0.24)	4.67 (4.21—5.32)	2.49 (2.07—2.93)
横沥	113°29'02.2"E 22°44'05.4"N	21.53 (14.01—28.63)	0.14 (0.09—0.27)	7.70 (7.51—8.10)	48 (30—70)	6.92 (5.32—9.27)	3.18 (2.96—3.36)	0.16 (0.11—0.25)	3.54 (3.15—4.08)	3.71 (2.31—5.93)
陈村	113°14'55.7"E 22°58'15.1"N	21.44 (13.98—30.20)	0.13 (0.08—0.23)	7.84 (7.51—8.54)	48 (20—90)	5.99 (5.02—7.15)	2.76 (2.12—3.18)	0.16 (0.12—0.24)	5.02 (3.65—7.28)	2.88 (2.62—3.48)
珠江桥	113°13'16.5"E 23°08'12.6"N	22.81 (15.12—32.02)	0.31 (0.15—0.58)	7.49 (7.15—8.13)	28 (20—35)	0.97 (0.64—1.57)	7.06 (6.42—7.58)	0.56 (0.47—0.82)	5.63 (4.48—7.14)	6.83 (4.90—8.93)
莲花山	113°30'37.0"E 23°00'58.0"N	24.28 (16.61—31.99)	1.53 (0.16—5.36)	7.51 (7.30—7.95)	25 (20—30)	4.24 (3.34—5.90)	4.58 (3.06—5.26)	0.28 (0.22—0.38)	5.04 (4.08—5.86)	5.89 (4.04—9.34)
市桥	113°24'49.0"E 22°55'24.2"N	22.29 (14.32—30.48)	0.16 (0.08—0.34)	7.95 (7.50—8.54)	44 (35—50)	5.57 (5.01—6.62)	3.00 (2.36—3.72)	0.21 (0.17—0.29)	4.44 (3.93—4.86)	2.87 (1.91—4.03)

主要由珠江桥、莲花山和市桥 3 个站位组成(图 2)。

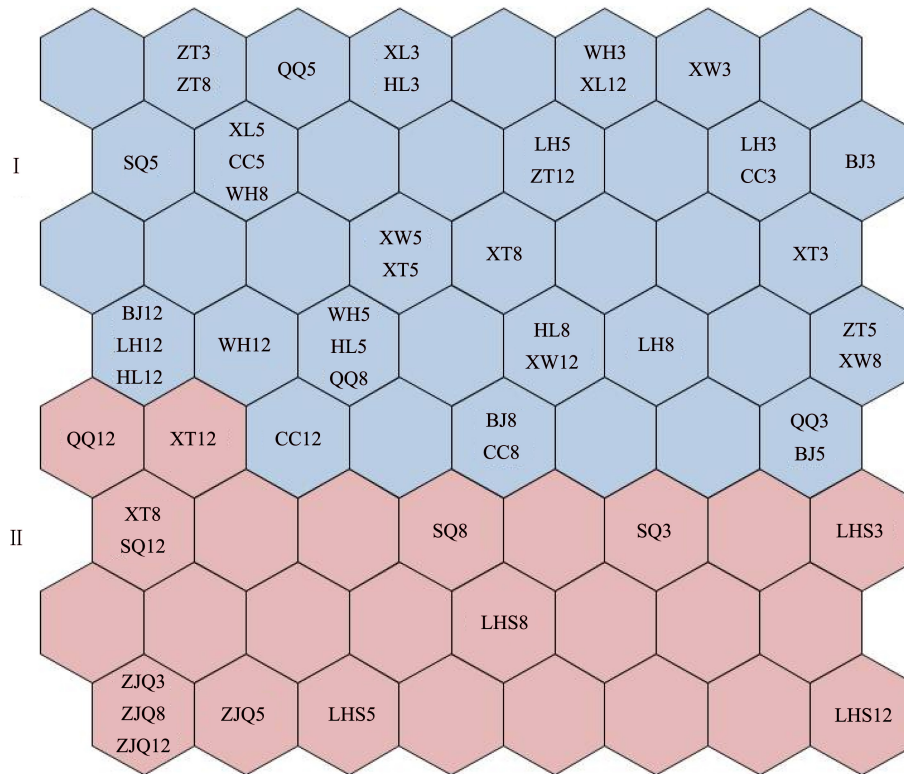


图 2 基于营养盐组成相似性的调查站位 SOM 图谱

Fig.2 Self-organizing map of sampling sites based on nutrients similarities

2.2 藻类物种组成

调查区域共检出浮游植物种类 7 门,383 种(包括变种、变型)。其中硅藻 37 属 160 种,占总种数的 41.78%;绿藻 41 属 112 种,占总种数的 29.24%;裸藻 12 属 84 种,占总种数的 21.93%;蓝藻 11 属 20 种,占总种数的 5.22%;其它种类包括甲藻 5 种,金藻和隐藻各 1 种。

2.3 藻类优势种分布

优势种共计 39 种,包括硅藻 23 种,绿藻 9 种,裸藻 4 种,甲藻 2 种和蓝藻 1 种(表 2)。颗粒直链藻原变种是最优势种,它出现在除 12 月的新围以外的其它所有样本中,在总生物量中所占百分比的范围为 3.43%—85.08%,最小值出现在 5 月的榄核,除此外均作为优势种出现;最大值出现在 5 月的莲花山。

季节分布显示,枯水期 3 月和 12 月的优势种组成以硅藻的直链藻属物种为主(含 12 种硅藻和 2 种绿藻)。丰水期 5 月和 8 月以硅藻和绿藻为主,5 月由硅藻和绿藻各 7 种、裸藻 3 种、甲藻 2 种和蓝藻 1 种组成。8 月硅藻和绿藻的优势种组成比例为 8:5,此外还包括裸藻 1 种(表 2)。

空间分布显示,距离广州近的调查站位的优势种多样性低,最小值出现在珠江桥,为 4 种,仅包括硅藻和绿藻物种,而莲花山只包括硅藻种类;距广州远的调查站位的优势种多样性高,最大值出现在新围,为 14 种;类别组成也较为丰富,除硅藻和绿藻种类外,优势种不乏裸藻、蓝藻和甲藻种类(表 2)。

2.4 生物量的时空分别特征

2.4.1 总生物量的时空分布及相对组成

总生物量的季节特征为丰水期低于枯水期。调查期间的变动范围为 0.7359—1.8573 mg/L,均值为 1.2412 mg/L,最大值出现在 12 月份,最小值出现在 5 月份(图 3)。硅藻是最优势类群,其次为绿藻和裸藻。枯水季节硅藻的百分比超过 90%,丰水期绿藻和裸藻有较明显的增长,但硅藻也不低于 60%。从相对组成看,全年硅藻所占百分比超过 80%,绿藻超过 10%,裸藻约 5%(图 3)。

表 2 优势种组成(百分比/%)及分布

Table 2 Composition, contribution and distribution of dominant species

站位 Station	3 月 March	5 月 May	8 月 August	12 月 December
青岐	颗粒直链藻原变种 <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>granulata</i> (45.38); 变异直链藻 <i>Melosira varians</i> (11.01); 远距直链藻原变种 <i>Aulacoseira distans</i> var. <i>distans</i> (6.38); 着色鼓藻 <i>Cosmarium tinctum</i> (6.38)	颗粒直链藻原变种 (8.95); 梭形裸藻 <i>Euglena acus</i> (6.71); 纤细裸藻 <i>Euglena gracilis</i> (6.71)	颗粒直链藻原变种 (40.84); 柏洛林针杆藻 <i>Synedra berolinensis</i> (6.23); 尖尾裸藻 <i>Euglena oxyuris</i> (6.13); 扎卡四棘藻 <i>Attheya zachariasii</i> (5.72)	意大利直链藻微小变种 <i>Aulacoseira italica</i> var. <i>menuissima</i> (27.18); 颗粒直链藻原变种 (25.49); 远距直链藻高山变种 <i>Aulacoseira distans</i> var. <i>alpigena</i> (8.40)
左滩 Zuotan	颗粒直链藻原变种 (39.29); 变异直链藻 (19.76)	膝沟藻 <i>Gonyaulax</i> sp. (15.40); 鱼腥藻 <i>Anabaenopsis</i> sp. (14.45); 颗粒直链藻原变种 (10.27); 香味网绿藻 (8.55)	颗粒直链藻原变种 (18.72); 变异直链藻 (10.80); 颗粒直链藻极狭变种 (5.19)	意大利直链藻微小变种 (39.64); 颗粒直链藻原变种 (29.09); 远距直链藻高山变种 (6.69); 梅尼小环藻 (5.09)
外海	变异直链藻 (30.36); 颗粒直链藻原变种 (20.67); 意大利直链藻弯曲型 <i>Aulacoseira italica</i> f. <i>curvata</i> (15.50); 远距直链藻原变种 (6.72); 颗粒直链藻极狭变种 <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (5.34)	颗粒直链藻原变种 (12.20); 网球藻 <i>Dictyosphaeria cavernosa</i> (12.20); 被甲栅藻 <i>Scenedesmus armatus</i> (7.02); 二角盘星藻 <i>Pediastrum duplex</i> (6.10); 多甲藻 <i>Peridinium</i> sp. (6.10)	颗粒直链藻原变种 (45.29); 意大利直链藻原变种 (7.55)	变异直链藻 (31.54); 颗粒直链藻原变种 (23.83); 奇异棍形藻 <i>Bacillaria paradoxa</i> (9.81); 颗粒直链藻弯曲变种 (7.01)
新围	变异直链藻 (31.50); 颗粒直链藻原变种 (14.14); 意大利直链藻原变种 <i>Aulacoseira italica</i> var. <i>italica</i> (10.90); 意大利直链藻弯曲型 (7.07); 远距直链藻原变种 (6.06)	颗粒直链藻原变种 (20.88); 网球藻 (16.24); 香味网绿藻 (11.60); 被甲栅藻 (6.96)	颗粒直链藻原变种 (31.75); 网球藻 (7.94); 单角盘星藻具孔变种 <i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i> (6.35)	意大利直链藻微小变种 (52.84); 变异直链藻 (7.69); 远距直链藻高山变种 (6.66); 颗粒直链藻极狭变种 (6.66); 粗壮双菱藻 <i>Surirella robusta</i> (6.41)
小榄	变异直链藻 (23.51); 意大利直链藻弯曲型 (17.24); 颗粒直链藻原变种 (13.79); 朱吉直链藻波特变种 <i>Melosira juergensii</i> var. <i>bothnica</i> (7.61); 意大利直链藻原变种 (7.52)	颗粒直链藻原变种 (74.01); 网球藻 (6.08)	颗粒直链藻原变种 (33.14); 变异直链藻 (8.28); 柏洛林针杆藻 (6.90); 颗粒直链藻极狭变种 (5.52); 二角盘星藻具孔变种 (5.52); 二角盘星藻纤细变种 (5.52); 单角盘星藻具孔变种 (5.52)	意大利直链藻微小变种 (49.04); 朱吉直链藻波特变种 (19.22); 颗粒直链藻原变种 (9.61); 远距直链藻高山变种 (8.33)
小塘	变异直链藻 (50.11); 颗粒直链藻原变种 (9.28); 意大利直链藻原变种 (8.82)	颗粒直链藻原变种 (12.90); 变异直链藻 (11.90); 卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp. (11.90); 舟形藻 <i>Navicula</i> sp. (9.92); 意大利直链藻原变种 (8.93); 圆柱形裸藻 <i>Euglena cylindrical</i> (8.68); 纤细裸藻 (7.44)	颗粒直链藻原变种 (57.92); 变异直链藻 (5.45); 网球藻 (5.45)	颗粒直链藻原变种 (53.22); 意大利直链藻原变种 (7.43)
北滘	颗粒直链藻原变种 (28.12); 变异直链藻 (13.77); 颗粒直链藻弯曲变种 <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>curvata</i> (7.12); 远距直链藻原变种 (6.20)	网球藻 (22.65); 颗粒直链藻原变种 (12.74); 被甲栅藻 (5.66)	颗粒直链藻原变种 (25.02); 尖尾裸藻 (10.94); 变异直链藻 (5.63); 梅尼小环藻 (5.63)	颗粒直链藻原变种 (26.59); 意大利直链藻原变种 (18.24); 颗粒直链藻极狭变种 (7.90); 远距直链藻高山变种 (7.60); 意大利直链藻微小变种 (7.50); 梅尼小环藻 (5.32)
榄核	变异直链藻 (30.86); 颗粒直链藻原变种 (18.86); 意大利直链藻弯曲型 (6.43); 近缘桥弯藻 <i>Cymbella affinis</i> (5.36)	网球藻 (27.47); 意大利直链藻原变种 (10.30); 二角盘星藻具孔变种 <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>duodenarium</i> (6.87); 二角盘星藻纤细变种 <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracillimum</i> (6.87); 平板藻 <i>Tabellaria</i> sp. (5.15)	颗粒直链藻原变种 (40.63); 平片针杆藻 <i>Synedra tabulate</i> (12.70); 柏洛林针杆藻 (10.86); 网球藻 (10.60)	颗粒直链藻原变种 (32.34); 远距直链藻高山变种 (17.25); 意大利直链藻微小变种 (14.75)

续表				
站位 Station	3 月 March	5 月 May	8 月 August	12 月 December
横沥	变异直链藻 (30.86); 颗粒直链藻原变种 (18.86)	颗粒直链藻原变种 (15.21); 网球藻 (13.52); 膝沟藻 (6.76); 被甲栅藻 (6.08)	颗粒直链藻原变种 (53.55); 网球藻 (19.99)	翼虫形藻 <i>Amphiprora alata</i> (54.81); 意大利直链藻微小变种 (12.10); 颗粒直链藻原变种 (10.25); 网球藻 (5.69)
陈村	意大利直链藻原变种 (19.65); 颗粒直链藻原变种 (19.06); 变异直链藻 (18.76)	颗粒直链藻原变种 (37.67); 空球藻 <i>Eudorina elegans</i> (13.88); 网球藻 (9.26); 梅尼小环藻 (8.96)	颗粒直链藻原变种 (41.66); 空球藻 (9.42); 网球藻 (8.69); 梅尼小环藻 (6.88); 平片针杆藻 (5.21)	颗粒直链藻原变种 (60.96); 意大利直链藻原变种 (12.92)
珠江桥	颗粒直链藻原变种 (42.56); 梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i> (37.72); 柔弱尾管藻 <i>Urosolenia delicatissima</i> (6.75)	颗粒直链藻原变种 (69.27)	颗粒直链藻原变种 (35.20); 网球藻 (22.23)	颗粒直链藻原变种 (79.54); 网球藻 (5.97)
莲花山	颗粒直链藻原变种 (62.98); 意大利直链藻原变种 (19.65); 颗粒直链藻弯曲变种 (12.71); 梅尼小环藻 (11.74)	颗粒直链藻原变种 (85.08)	颗粒直链藻原变种 (73.24)	翼虫形藻 (57.59); 颗粒直链藻原变种 (36.07);
市桥	颗粒直链藻原变种 (47.74); 香味网绿藻 <i>Dictyochloris fragrans</i> (10.29); 两尖菱板藻 <i>Hantzschia amphioxys</i> (6.69);	颗粒直链藻原变种 (32.32); 网球藻 (6.16)	颗粒直链藻原变种 (61.53); 梅尼小环藻 (6.75)	颗粒直链藻原变种 (54.41); 梅尼小环藻 (10.95)

空间分布上,生物量均值范围为 0.1781—8.4702 mg/L,均值为 1.2412 mg/L。最大值出现在珠江桥,最小值出现在小榄,两站位相差 47.56 倍。广州周边的站位(珠江桥和莲花山)的生物量均值明显高于其它站位,尤其是西江干流各站位(青岐、左滩、外海、新围和小榄)的数值明显偏低。硅藻在空间上的最大百分比出现在莲花山(96.23%),最小值出现在北滘(47.99%)。青岐和北滘的绿藻和裸藻类群也占据较明显的优势,而这两个站位硅藻的百分比分别低于 60%和 50%(图 3)。

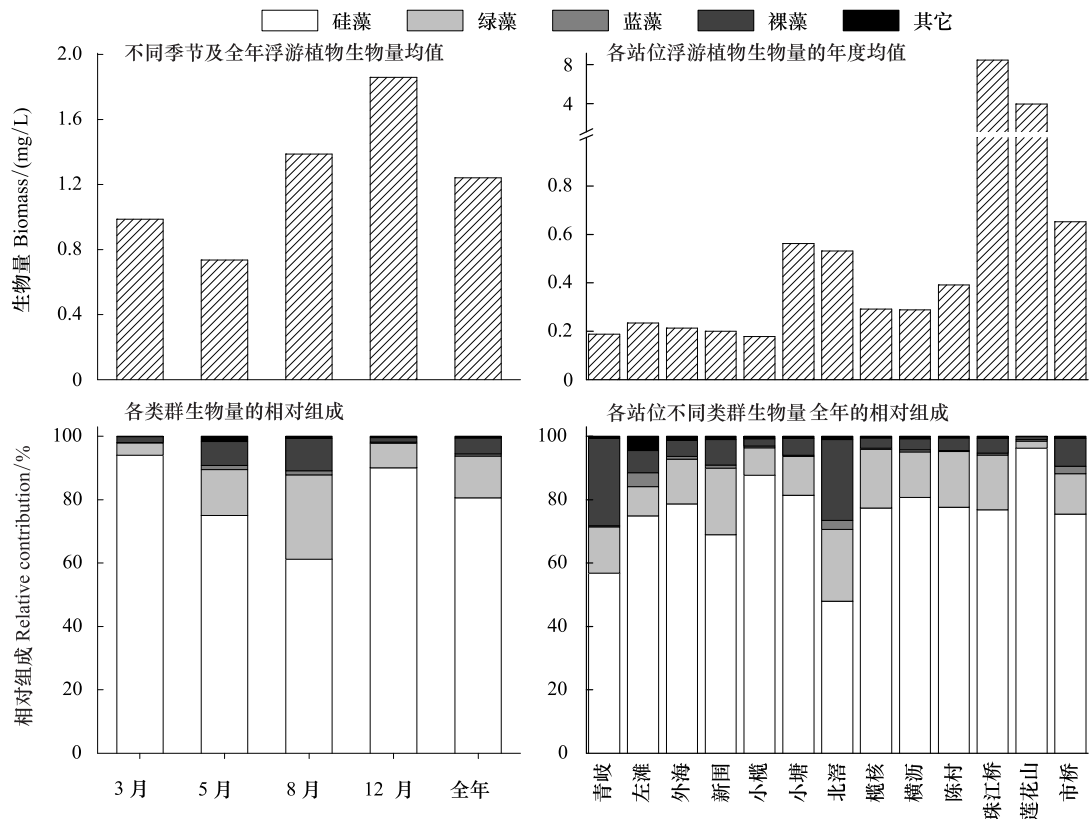


图 3 生物量总均值的时空分布及相对组成

Fig.3 Temporal and spatial distribution of biomass and relative contribution

2.4.2 空间分布的季节特征及相对组成

总生物量在不同季节的空间分布格局与全年均值的空间分布格局一致,最高值和次高值均分别出现在珠江桥和莲花山,而最低值和次低值均出现在远离广州的调查站位,以西江沿线站位居多(图4)。3月份的变化范围为0.0917—7.0625 mg/L,均值为0.9858 mg/L,最低值和次低值分别出现在青岐和榄核。5月份的变化范围为0.1049—5.0410 mg/L,均值为0.7359 mg/L,最低值和次低值分别出现在榄核和横沥。8月份的变化范围为0.1250—9.7148 mg/L,均值为1.3859 mg/L,最低值和次低值分别出现在左滩和小榄。12月份的变化范围为0.1238—12.0625 mg/L,均值为1.8573 mg/L,最低值和次低值分别出现在左滩和新围。

从总生物量空间分布的季节特征来看,除小塘、北滘、榄核和市桥的最高值出现在8月外,其它调查站位的最高值均出现在枯水季节(图4)。位于河网外侧的调查站位(包括西江沿线及广州周边站位)季节差异不大,而位于河网内部的调查站位季节差异明显,最大差幅出现在北滘,其中3月和8月的差幅近10倍。

由图5可知,不同类群相对组成的时空分布特征显著。枯水季节硅藻的优势最为明显,其对总生物量的贡献一般不低于80%;个别站位的绿藻和裸藻也表现出一定的优势。丰水期硅藻的优势明显下降,5月份波动最大,变动范围为16.13%—94.90%,最小值出现在青岐,最大值出现在莲花山。硅藻贡献率的变动主要受绿藻增长的影响,其次为裸藻。8月份硅藻的优势有所回升,仅个别站位的贡献率低于60%,对应的是绿藻贡献率的明显下降,大部分站位维持在10%—30%,而个别站位裸藻的贡献率仍超过30%。从全年来看,广州周边站位各类群的相对组成受季节变动的影响较小,其它站位的季节变动显著(图5)。

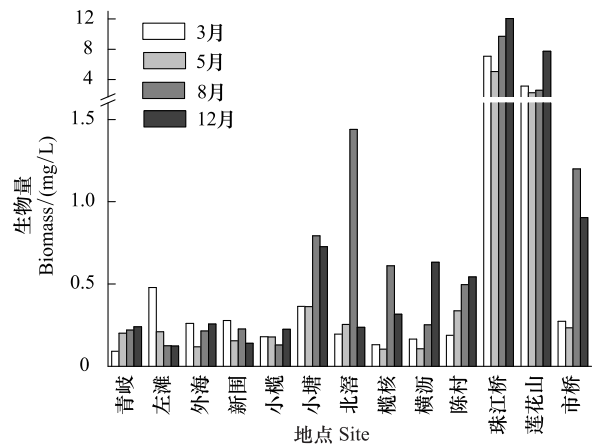


图4 生物量空间分布的季节特征

Fig.4 Seasonal characteristics of the spatial pattern for biomass

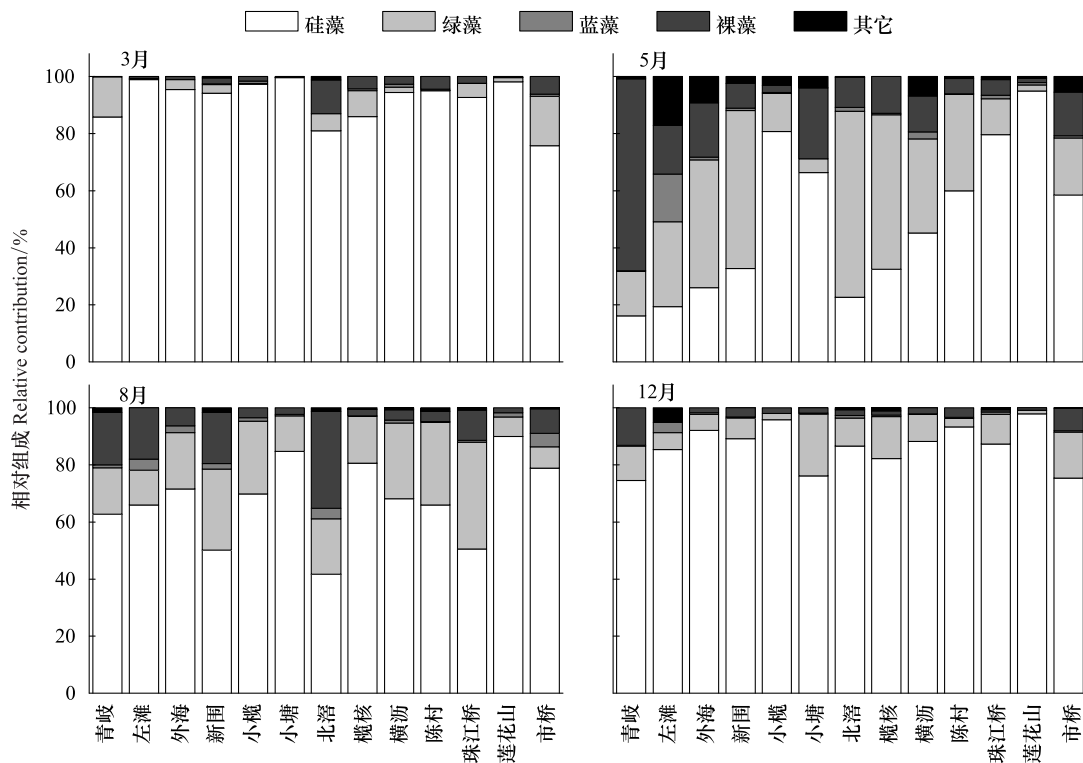


图5 总种群生物量中各类群的相对百分组成

Fig.5 Relative contribution of different groups to total biomass

将总种群生物量的对数值与对应的真浮游植物生物量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6)。

2.5 种群生物量与环境因子的关系

用 Canoco 软件对 5 个浮游植物类群(硅藻、绿藻、裸藻、蓝藻和其它)及总种群的生物量数据进行去趋势对应分析(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,数据分析选用线性模型中的间接梯度分析 PCA 模型,获得藻类类群与水环境因子的 PCA 二维降序图(图 7)。

各类群生物量分析图中,第一、第二排序轴间的相关系数为 0,表明这两个轴所包含的信息是独立的;在环境因子分析方面,横坐标轴占有分析信息的 94.8%,是研究 16 种环境因子相互关系的聚焦点(图 7,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 0.96;各类群生物量与环境因子第二个排序轴的相关系数为 0.74(表 3),这表明 PCA 分析结果可以较好地解释生物量与环境因子之间的关系。

类群间的关系显示,硅藻和总生物量的关系最密切,蓝藻相对独立,绿藻、裸藻和其它物种的关系密切。不同类群与化学因子的关系显示,除硝态氮外的化学因子与各类群生物量的变动均存在一定的关联,其中硅藻与硅酸盐、高锰酸盐、磷酸盐、亚硝态氮和总磷的关联最大;蓝藻与非离子氨、氨氮和总氮的关联最大;绿藻、裸藻和其它物种虽然与氮磷营养盐存在一定的正相关关系,但是关联不大。不同类群与物理因子的关系显示,硅藻与透明度呈显著负相关关系,与盐度、电导率和总溶解固体呈正相关关系;蓝藻与水温存在一定的正相关,与溶解氧和 pH 值呈显著负相关关系;绿藻、裸藻和其它物种与水温呈正相关关系,与溶解氧和 pH 值存在负相关关系(图 7)。

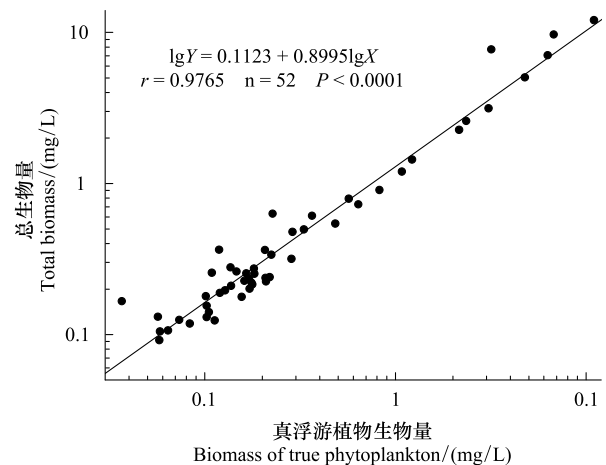


图 6 浮游植物总生物量与真浮游植物生物量的相关关系

Fig.6 Relationship between total phytoplankton biomass and true phytoplankton biomass

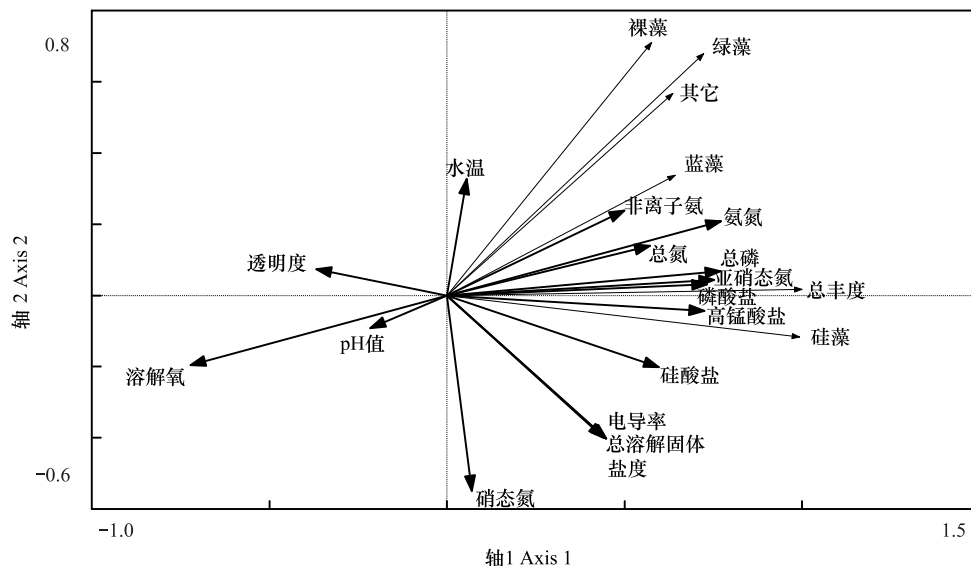


图 7 浮游植物生物量与环境因子的 PCA 二维排序图

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

3 讨论

研究结果显示,珠三角河网水域浮游植物种类和类群组成丰富,且硅藻和绿藻是最主要组成类群,裸藻和蓝藻次之,这种群落组成模式与西江下游的研究结论^[3]一致,也符合国外某些大的江河流域的浮游植物群落组成模式^[11-14]。此外,河网水域的种类多样性比西江下游江段明显偏高,原因在于:(1)河网是珠江入海的必经之地,除西江外,还汇集了北江和东江的浮游植物群落,因而基本容纳了整个珠江流域的浮游藻类,因此多样性明显高于干流;(2)河网水域地形地貌复杂,不仅有利于分流和降低水位,也可水体富营养化创造条件^[15],加上汇入的营养盐比干流更为丰富,有利于藻类多样性的增大。

整体来看,研究区域的藻类优势种主要为中心纲硅藻的真浮游种类直链藻,该类物种可借助江河水体的流动性来克服自身重力所带来的损失^[16-17],此外,河网水域硅酸盐含量较为丰富,可满足直链藻生长过程中细胞壁对硅元素的需求。结合西江下

表 3 浮游植物生物量、环境因子前 2 个 PCA 排序轴、环境因子之间相互关系的矩阵

Table 3 Correlation coefficients for axis1 and axis2 of phytoplankton biomass, environment factors and all environmental factors in PCA analysis																			
生物量轴 1 Biomass axis1	生物量轴 2 Biomass axis2	环境轴 1 Environment axis1	环境轴 2 Environment axis2	水温 Water temperature	透明度 Transparency	盐度 Salinity	pH 值 pH value	电导率 Conductivity	溶解氧 Dissolved oxygen	总溶解固体 Total dissolved solids	磷酸盐 Phosphate	总磷 Total phosphate	总氮 Total nitrogen	硝态氮 Nitrate nitrogen	亚硝态氮 Nitrite nitrogen	氨氮 Ammonia nitrogen	非离子氨 Non-ionic ammonia nitrogen	高锰酸盐 Permanganate	硅酸盐 Silicate
1																			
0	1																		
0.9607	-0.0550	1																	
-0.0718	0.7360	-0.0747	1																
0.0559	0.3265	0.0582	0.4436	1															
-0.3681	0.0740	-0.3832	0.1006	-0.1670	1														
0.4405	-0.3995	0.4585	-0.5428	-0.1242	-0.1364	1													
-0.2156	-0.0915	-0.2244	-0.1243	-0.4150	0.4109	0.1069	1												
0.4480	-0.4016	0.4663	-0.5457	-0.1283	-0.1352	0.9999	0.1142	1											
-0.7222	-0.1956	-0.7517	-0.2658	-0.4504	0.2154	-0.0742	0.2122	-0.0808	1										
0.4471	-0.4018	0.4654	-0.5459	-0.1276	-0.1339	0.9998	0.1135	0.9999	-0.0812	1									
0.7323	0.0314	0.7622	0.0426	0.1004	-0.2518	0.0964	-0.2293	0.1031	-0.7180	0.1026	1								
0.7700	0.0683	0.8015	0.0927	0.2021	-0.3096	0.0699	-0.3002	0.0756	-0.7291	0.0746	0.9387	1							
0.5711	0.1390	0.5945	0.1888	0.0994	-0.2966	0.1711	-0.2654	0.1742	-0.5294	0.1727	0.5028	0.5222	1						
0.0699	-0.5485	0.0728	-0.7453	-0.5996	-0.1489	0.3106	-0.1281	0.3110	0.2321	0.3107	-0.0371	-0.0828	0.1530	1					
0.7526	0.0440	0.7834	0.0598	-0.0881	-0.1705	0.1311	0.1009	0.1431	-0.6179	0.1421	0.6664	0.6419	0.4814	-0.0895	1				
0.7712	0.2085	0.8027	0.2832	0.1687	-0.2694	0.0880	-0.2368	0.0935	-0.7410	0.0929	0.7952	0.7921	0.5363	-0.2403	0.6633	1			
0.4996	0.2384	0.5201	0.3239	0.0244	-0.0497	0.1313	0.3578	0.1390	-0.5006	0.1383	0.3790	0.3762	0.2629	-0.3572	0.5594	0.6242	1		
0.7241	-0.0439	0.7537	-0.0597	0.1205	-0.3360	0.5069	-0.2316	0.5122	-0.5584	0.5115	0.5852	0.5295	0.4059	0.0998	0.5588	0.4986	0.3076	1	
0.5964	-0.2012	0.6208	-0.2733	-0.2697	-0.1692	0.3111	0.0003	0.3174	-0.3951	0.3165	0.4346	0.4905	0.3050	0.2140	0.4835	0.3927	0.2712	0.3479	1

藻类群落的研究结论及河网水域优势种的时空分布状况(表 2),直链藻是珠江中下游水域浮游植物群落组成的本底物种,因其优势地位不受季节变动的影响。颗粒直链藻原变种是本水域的最重要优势种,这与作者在河网上游的西江肇庆段^[18]及河网下游的珠江河口水域^[19]对颗粒直链藻的研究结论相吻合。从季节分布来看,颗粒直链藻原变种在丰水季节的优势最显著,多为第一优势种,主要得益于适宜的水温、良好的水体扰动条件和珠江干流种群的持续补充,以上因素对其种群增长的益处可以掩盖丰水期稀释作用所带来的负面作用。空间分布上,颗粒直链藻原变种在珠江桥和莲花山的优势最大,主要原因在于:(1)与这两个站位的极度富营养化有关,此种关联性与作者对西江颗粒直链藻空间分布的研究结论^[18]一致,其它类型的富营养化水体中颗粒直链藻的优势^[20-22]也反映了这一点;(2)此两个站位受潮汐影响较大,盐度明显偏高,而作者在珠江河口的研究^[19]证明了颗粒直链藻具有一定的适盐性,因此,优于其它淡水藻类,PCA 分析结果也表明,硅藻与盐度存在正相关关系(图 7);(3)富营养化水体中的藻类对光照的竞争尤为激烈^[23-25],而颗粒直链藻细胞中叶绿体含量丰富^[26],可耐受低光照强度,具有很强的生存竞争力。然而,该藻的极度优势也最终导致珠江桥和莲花山在优势种组成上的多样性明显偏低。底栖种类变异直链藻也是调查水域出现频率较高的优势种,其作为优势种的出现率为 32.69%,仅次于颗粒直链藻原变种,且其在枯水期 3 月的优势最为显著,多为第一或第二优势种。结合变异直链藻在西江下游优势分布的报道^[3],变异直链藻有可能是珠江中下游的重要底栖硅藻,其在表层水体中的优势是河水流动过程中所产生的水体波动使其悬浮的结果,其它江河系统也有类似报道^[27];而其优势分布的季节特征与西江下游江段的研究结果^[3]也保持一致,很可能是由于枯水季节水位较低,水体顺地势下流过程中的波动足以使其悬浮到水体表层,而丰水季节水位明显升高,加上径流增大的稀释作用,影响了其在单位水体中的密度。网球藻是绿藻中出现率较高的优势种,其作为优势种的出现率为 30.77%,仅次于变异直链藻,主要在丰水季节占据优势。由于网球藻是静水水体如湖泊、池塘中的代表种类,因此,其在丰水季节的优势很可能是流域中的静水水体与主干流发生汇合的结果,最终进入河网水域,这种情况在其它江河中并不少见^[14,28]。综上,颗粒直链藻原变种是全年优势种,变异直链藻和网球藻分别在枯水季节和丰水季节占据优势,且两者不共为优势种出现,因此成为调查水域季节变动的指示物种。

调查期间的总生物量均值为 1.2412 mg/L,高于 1981 年的 0.9892 mg/L,低于 1982 年的 2.2662 mg/L^[1]。由于 20 世纪对三角洲的调查布设邻近珠江河口水域,并未包括西江沿线的调查站位,且只计算了春季和冬季的调查结果,因此得到的平均生物量偏高。从水质评价角度看,20 世纪 80 年代初对珠江三角洲的水质评价结果为中度污染,而本文的结果显示,如今的水质污染状况已介于中度—重度污染,明显恶化,这与人类活动的影响密切相关。

PCA 分析结果显示,总生物量与营养盐含量存在显著正相关关系,与透明度存在显著负相关关系(图 7)。营养盐含量不仅直接影响藻类的生长繁殖,同时影响其沉降速率,硅藻尤为突出^[29-30]。而透明度的大小与水体的混合搅动程度呈负相关,透明度高时,水体混合程度低,不利于藻类悬浮在水体中。尤其是硅藻的细胞壁中富含硅元素,透明度高会加大其在水体中的沉降速率,不利于总生物量的增长。Istvánovics 等^[28]在 Tisza 河的研究发现,当流速低于 0.4 m/s 时,硅藻的最大贡献率迅速下降;反之,不仅可以使水体中的现有种类减少沉降,还可使已发生沉降的藻类再悬浮到水体中,有利于生物量的增长。调查期间,总生物量呈现出枯水季节高、丰水季节低的特征(图 3),这主要与径流的季节性变化有关,PCA 分析中总生物量与透明度呈显著负相关说明了这一点(图 7)。然而,由于珠江桥和莲花山的生物量明显高于其它站位,最大差值高达 97.5 倍,从而掩盖了其它站位的季节分布在总生物量季节变动中的作用。这种季节特征与上世纪 80 年代初的调查结果^[1]保持一致,表明,尽管水质状况不断恶化,但是浮游植物生物量的季节变动受径流影响的关系未变。以往的研究也表明,浮游植物生物量在一定范围内与径流量的大小存在负相关关系^[31-32]。总生物量在空间分布上呈现自西南向东北升高的趋势(图 3),这主要与营养盐含量的空间格局有关,因为不同季节的空间分布格局不存在明显差异(图 4),PCA 分析结果也验证了这一点(图 7)。

然而,具体到不同调查站位的季节特征,生物量的时空特征又存在一些共性和差异(图 4)。沿西江干流的调查站位的生物量明显偏低,主要是由于西江沿线人口分布相对稀少,受生产和生活污水的影响较小,水体营养盐含量低;加上长年受到西江径流稀释,以及透明度较高所导致的藻群沉降损失的影响,最终导致生物量明显偏低。从季节变动看,西江沿线各站位的最大值均出现在枯水季节,这很可能是因为丰水季节西江径流的稀释作用过大最终表现出的结果。此外,这些站位的生物量在季节间的差异不大,最大差值不超过 4 倍,一般介于 1—3 倍之间,而且站位间并未体现上游对下游的补充量的影响,这也反映出河网水域的复杂性,密集的汇合与分流的网状结构影响了藻类群落自上至下的累积效应,与干流的结果^[18]明显不同。位于河网中部站位的生物量处于中等水平,这与营养盐尤其是硅酸盐含量在空间分布上的升高有关(表 1),有利于最重要类群硅藻的生长有关;这些站位的生物量在不同季节间差异显著,生物量最大值往往出现在 8 月或 12 月,最小值出现在 3 月或 5 月。Romanov 和 Kirillov^[33]的研究发现,春季洪水下降至夏秋季低水位出现前的阶段,浮游植物群落会发生显著变化。由于河网中部站位相对封闭,丰水季节 5 月径流的增大对其生物量的稀释作用显著,而 8 月水位已经开始回落(从绿藻和裸藻等的相对生物量减小可知),有利于种类的生长和繁殖^[15],因而 5 月和 8 月的生物量差异显著,其中北滘、榄核和市桥的差异均超出 5 倍,小塘和横沥的差异也高于 2 倍。而距离广州较近的珠江桥和莲花山受生产和生活污水的影响较大,营养盐含量极其丰富,除了直接利于藻类的生长繁殖,也可减小藻类因沉降所导致的损失,因此生物量远高于其它站位;季节变动同样受洪水稀释的影响,但是季节间的差异程度与西江沿线站位相似。综之,空间分布格局主要受营养盐含量的影响,而不同站位的季节特征主要受径流稀释和

透明度增大导致的沉降损失的影响。

从不同类群的相对组成上看,硅藻占据绝对优势地位(图 3),占总生物量的 80.56%,绿藻和裸藻次之,这与上世纪 80 年度初的调查结果基本一致,只是上世纪硅藻的贡献率(87.4%)略高,且裸藻的贡献率大于绿藻^[1]。从季节特征上看,硅藻在枯水季节占据绝对优势地位,而在丰水季节由于绿藻和裸藻优势的明显增大,导致硅藻的优势下降(图 3,图 5),这与西江下游的相对组成的季节变动是一致的^[3]。其它江河的研究发现,流域中一些死水区域如水库、浅滩中的蓝绿藻和裸藻会在洪水期涌入干流^[14,28,34],从而使不同类群生物量的相对组成发生明显的改变。PCA 分析结果也显示,绿藻和裸藻与营养盐的关联不大,主要受季节间物理因素(如水温)的影响(图 7)。从优势种的季节分布上可以看出,5 月和 8 月的优势种组成最丰富,蓝藻、绿藻、裸藻和甲藻均有出现,以绿藻尤为明显(表 1),这也是径流的季节变动对种群生物量影响的直接证明。类群相对组成的空间分布方面,莲花山的相对组成受季节变动的影响最小(图 5),原因在于受潮汐影响大,盐度最高,致使硅藻类群一直占据绝对优势地位;而珠江桥的盐度明显低于莲花山,但高于其它站位,因此相对组成存在一定的波动(图 5)。

调查期间,真浮游植物生物量及各类群的相对组成的时空特征与总种群极其接近,这主要得益于优势物种组成绝大多数为真浮游种类(包括直链藻、盘星藻、裸藻等),因而决定了总生物量的时空分布模式,与西江干流的研究结论^[3]也是一致的。

致谢:现场样本采集工作由庞世勋副研究员、研究生李秀丽和赵李娜协助完成,中国科学院南海海洋研究所林强研究员对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Lu K X. Fishery Resources of the Pearl River System. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1990: 27-39.
- [2] Tavernini S, Pierobon E, 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(1): 213-225.
- [3] 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.
- [4] Hu H J, Wei Y X. The Freshwater Algae of China-Systematics, Taxonomy and Ecology. Beijing: Science Press, 2006.
- [5] Qi Y Z. Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis Tomus IV: Bacillariophyta Centricae. Beijing: Science Press, 1995.
- [6] Zhu H Z, Chen J Y. Bacillariophyta of the Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 2000.
- [7] Shi Z X, Wang Q X, Xie S L, Dai J S. Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis Tomus VI: Euglenophyta. Beijing: Science Press, 1999.
- [8] Hillebrand H, Dürselen C D, Kirschtel D, Pollinger U, Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 1999, 35(2): 403-424.
- [9] Van Den Hoek C. Algae: An Introduction to Phycology. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [10] Vesanto J. Neural network tool for data mining: SOM Toolbox. Proceedings of Symposium on Tool Environments and Development Methods for Intelligent Systems // TOOLMET2000: 3rd International Symposium on Tool Environments and Development Methods for Intelligent Systems. Qulu, Finland: Oulun Yliopistopaino, 2000: 184-196.
- [11] Schmidt A. Main characteristics of the phytoplankton of the Southern Hungarian section of the River Danube. *Hydrobiologia*, 1994, 289(1/3): 97-108.
- [12] Unni K S, Pawar S. The phytoplankton along a pollution gradient in the river Mahanadi (M.P. state) India-a multivariate approach. *Hydrobiologia*, 2000, 430(1/3): 87-96.
- [13] O'Farrell I, Lombardo R J, de 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(2): 207-218.
- [14] Descy J P, Leita M, Everbecq E, Smits J S, Delière J F. Phytoplankton of the River Loire, France: a biodiversity and modelling study. *Journal of Plankton Research*, 2012, 34(2): 120-135.
- [15] Karadžić V, Simić G S, Natić D, Ržanićanin A, Ćirić M, Gačić Z. Changes in the phytoplankton community and dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Subba Raju in a temperate lowland river (Ponjavica, Serbia). *Hydrobiologia*, 2013, 711(1): 43-60.
- [16] 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.
- [17] da Silva C A, Train S, Rodrigues L C. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, 2005, 537(1/3): 99-109.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Kamenir Y, Dubinsky Z, Zohary T. Phytoplankton size structure stability in a meso-eutrophic subtropical lake. *Hydrobiologia*, 2004, 520(1/3): 89-104.
- [22] Lepistö L, Kauppila P, Rapala J, Pekkariinen M, Sammalkorpi I, Villa L. Estimation of reference conditions for phytoplankton in a naturally eutrophic shallow lake. *Hydrobiologia*, 2006, 568(1): 55-66.
- [23] Interlandi S J, Kilham S S. Limiting resources and the regulation of diversity in phytoplankton communities. *Ecology*, 2001, 82(5): 1270-1282.
- [24] Passarge J, Hol S, Escher M, Huisman J. Competition for nutrients and light: stable coexistence, alternative stable states, or competitive exclusion? *Ecological Monographs*, 2006, 76(1): 57-72.
- [25] Brauer V S, Stomp M, Huisman J. The nutrient-load hypothesis: patterns of resource limitation and community structure driven by competition for nutrients and light. *The American Naturalist*, 2012, 179(6): 721-740.
- [26] Stoermer E F, Kreis R G, Sicko-Goad L. A systematic, quantitative, and ecological comparison of *Melosira islandica* O. Müll. with *M. granulata* (EHR.) Ralfs from the Laurentian Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 1981, 7(4): 345-356.
- [27] Abonyi A, Leitão M, Lançon A M, Padisák J. Phytoplankton functional groups as indicators of human impacts along the River Loire (France). *Hydrobiologia*, 2012, 698(1): 233-249.
- [28] Istvánovics V, Honti M, Kozma Z. Phytoplankton dynamics in relation to connectivity, flow dynamics and resource availability-the case of a large, lowland river, the Hungarian Tisza. *Hydrobiologia*, 2010, 637(1): 121-141.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] Hötzel G, Croome R. Population dynamics of *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Simonson (Bacillariophyceae, Centrales), the dominant alga in the Murray River, Australia. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 1996, 136(2): 191-215.
- [32] Salmaso N, Zignin A. At the extreme of physical gradients: phytoplankton in highly flowing, large rivers. *Hydrobiologia*, 2010, 639(1): 21-36.
- [33] Romanov R E, Kirillov V V. Analysis of the seasonal dynamics of river phytoplankton based on succession rate indices for key event identification. *Hydrobiologia*, 2012, 695(1): 293-304.
- [34] Talling J F, Prowse G A. Selective recruitment and resurgence of tropical river phytoplankton: evidence from the Nile system of lakes, rivers, reservoirs and ponds. *Hydrobiologia*, 2010, 637(1): 187-196.

参考文献:

- [1] 陆奎贤. 珠江水系渔业资源. 广州: 广东科技出版社, 1990: 27-39.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 朱蕙忠, 陈嘉佑. 中国西藏硅藻. 北京: 科学出版社, 2000.
- [7] 施之新, 王全喜, 谢树莲, 戴健寿. 中国淡水藻志, 第六卷, 裸藻门. 北京: 科学出版社, 1999.
- [18] 王超, 赖子尼, 李跃飞, 李新辉, Lek S, 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.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《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 陈利顶

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 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 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