

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **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 20 期 2013 年 10 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁 帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响 ..... 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫 伟,余 韵,贾福岩,等 (6462)

### 个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张 卉,张 芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征 ..... 郑艳明,尧 波,吴 琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑 光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响 ..... 陈 展,王 琳,尚 鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 ..... 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析 ..... 张 莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响 ..... 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

### 种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周 威,龙 成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李 果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究 ..... 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性 ..... 杨 慧,马建章,戎 可 (6634)

### 景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘 勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价 ..... 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘 平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响 ..... 刘 雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

## 资源与产业生态

- 近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 ..... 李晓萌, 孙永华, 孟 丹, 等 (6694)
- 三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 ..... 李 斌, 徐丹丹, 王志坚, 等 (6704)

## 研究简报

- 北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子 ..... 陈文婧, 李春义, 何桂梅, 等 (6712)
- 植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 ..... 王 鹏, 李贤伟, 赵安玖, 等 (6721)
- 高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红, 易乐飞, 徐军田, 等 (6730)

## 学术信息与动态

- 生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 ..... 房学宁, 赵文武 (6736)
- 生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 ..... 巩 杰, 岳天祥 (6741)
- 回顾过去, 引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介 ..... 彭少麟, 陈宝明, 周 婷 (6744)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 320 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-10



**封面图说:** 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属, 是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带, 集群穴居, 挖掘能力甚强, 洞道深而复杂, 多挖在岩石坡和沟谷灌丛下, 从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近, 形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分, 农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大, 往往导致栖息地破碎化, 对动植物种产生强烈影响, 啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策, 是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

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/stxb201302260301

蓝文陆,黎明民,李天深.基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究.生态学报,2013,33(20):6595-6603.

Lan W L, Li M M, Li T S. Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6595-6603.

## 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究

蓝文陆\*,黎明民,李天深

(广西壮族自治区海洋环境监测中心站,北海 536000)

**摘要:**应用反相高效液相色谱(RP-HPLC)并结合二极管阵列检测器分析技术,分析了2010年平水期钦州湾浮游植物光合色素组成,进而由CHEMTAX软件估算全粒级浮游植物的群落结构。结果表明:平水期浮游植物特征光合色素含量以岩藻黄素最高,其次为叶绿素b、玉米黄素和青绿素,其它特征光合色素含量较低;水体中色素组成表明浮游植物的优势类群为硅藻,其次为蓝藻和青绿藻,它们分别平均占据了浮游植物生物量的73.9%、11.7%和8.7%,其它藻类所占比例很低。硅藻呈现出从湾顶往外随着盐度增加而增加的趋势,而青绿藻显现出相反的分佈趋势。钦州湾浮游植物群落结构形成了茅岭江和钦江河口、湾颈-外湾近岸和外湾靠外海域共3种类型,平水期浮游植物群落结构的组成和分佈特征主要是由茅岭江和钦江径流变化以及营养盐等环境所决定。平水期叶绿素b和青绿素在大部分站点存在证实了青绿藻在钦州湾的分佈,而且表明青绿藻、绿藻和定鞭金藻等微型藻类在钦州湾占有相当比重,它们的重要性有待进一步研究。

**关键词:**光合色素;浮游植物;群落结构;平水期;钦州湾

## Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period

LAN Wenlu\*, LI Mingmin, LI Tianshen

Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi, Beihai 536000, China

**Abstract:** Structural characteristics of phytoplankton community during normal season in 2010 in Qinzhou bay were studied. Phytoplankton samples were analyzed by RP-HPLC combined with DAD (diode array detector) to determine photosynthetic pigments composition in the study bay. Pigments data were converted into phytoplankton composition by software CHEMTAX based on least square method and steepest descent algorithm. Our results showed that salinity in the bay ranged from 14.2 to 31.0, and nitrate as well as phosphate concentrations decreased as salinity increasing from the top of bay to outer bay, which showed typical estuarial characteristics. Chlorophyll-a (Chl-a), fucoxanthin, chlorophyll-b (Chl-b), prasinoxanthin and zeaxanthin were the major pigments in the Qinzhou bay. Chl-a concentration ranged from 2693  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  to 4338  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (with a mean of 3529  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), and the concentration of fucoxanthin ranged from 390  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  to 1081  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (with a mean of 629  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Mean concentrations of Chl-b, prasinoxanthin and zeaxanthin were 304  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 66  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. Other pigments generally contributed minor proportion of the total pigments, with average concentrations of less than 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Diatoms dominated in the phytoplankton community, contributing to 76% (mean value) of the phytoplankton biomass during normal season in the Qinzhou Bay, while the average percentage for prasinophyceae and cyanobacteria was only 12.2% and 5.5%, respectively. The rest of other phytoplankton was rare, which only took <10% of all phytoplankton biomass. Diatoms biomass ranged from  $1.49 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  to  $3.98 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Chl-a biomass), and the

**基金项目:**广西自然科学基金项目(2010GXNSFB013003, 2013GXNSFAA019281, 2013GXNSFBA019224);广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻1140002-2-1);国家环境保护公益性行业科研专项项目(201309008, 201409034)

**收稿日期:**2013-02-26; **修订日期:**2013-07-12

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wenlu.lan@gmail.com

distribution of diatom biomass showed a pattern of low in the inner bay while high in the outer bay. However, the biomass of prasinophyceae showed a pattern of decreasing from the inner bay to the outer bay. Phytoplankton communities in the Qinzhou bay were clustered into three types from the estuary to the outer bay, which were primarily influenced by flood of the Maolingjiang River and Qinjiang River. Diatoms together with cyanobacteria and prasinophyceae were the major groups in the estuary of Maolingjiang River and the Qinjiang River, while diatoms were dominated between the inner bay and the outer bay. Diatoms also dominated in the offshore stations of the outer bay, and the proportion of diatoms increased a little and diatoms became a single dominated group. The distribution of major phytoplankton pigments and community were coupled with the environmental parameters in the Qinzhou Bay. River flow, salinity and nutrients were the major controlling factors accounting for the spatial distribution and composition of phytoplankton in the bay during the normal season.

**Key Words:** photosynthetic pigments; phytoplankton; community structure; normal season; Qinzhou Bay

浮游植物是海洋初级生产者,其群落结构则与初级生产力沿食物链向上传递转化为渔业资源产量的效率密切相关<sup>[1-3]</sup>。随着研究的深入,超微型(<5 μm,下同)浮游植物的重要作用开始被人们所肯定,但是许多微型和超微型种类缺少明显的形态特征,很难在显微镜下鉴定和计数<sup>[4-5]</sup>。高效液相色谱法(HPLC)分析特征光合色素来研究浮游植物群落结构对指示全粒级浮游植物类群结构十分有利,其能够检测出多种光学显微镜无法检测出的小个体类群和一些难以保存的脆弱类群<sup>[4-6]</sup>,已被成熟应用<sup>[5-6]</sup>。

钦州湾是广西的重要海湾之一,北部湾经济区发展规划获批后,钦州湾掀起了新一轮的开发热潮,海湾环境将面临很大的压力。浮游植物对环境变化敏感因而受到关注,近几年海湾浮游植物的种类组成及数量变化开始有部分报道<sup>[7-8]</sup>,但是海湾浮游植物的全粒级群落结构特征报道仍很少<sup>[9]</sup>。本研究通过光合色素指示钦州湾浮游植物的群落结构,揭示其组成和分布格局及影响因素,探讨微型和超微型浮游植物在海湾中的重要作用,为海湾生态保护和经济可持续发展提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查时间与站位

2010年10月,通过现场调查航次,从钦州湾湾顶到钦州港湾湾外进行了3个方向的同步调查。方向1为Q1—Q7,方向2为Q8—Q13,方向3为Q14—Q18,方向1和方向2同时从Q7附近的钦州港出发,方向3从Q17附近的犀牛角出发,进行同步采样。其中,Q1—Q7站点位于内湾;Q8—Q18位于外湾(图1)。

### 1.2 现场采样与样品分析

各测站采集表层海水样品(水面下0.5 m),样品用5 L的采水器采集。

水温和盐度现场采用直读式盐度计数据,无机氮、活性磷酸盐(溶解态无机氮和活性磷酸盐,下同)等环境因子的采集与测定方法依据国家《海洋监测规范》<sup>[10]</sup>进行。

光合色素样品在采集后放置于低温避光处并迅速带回实验室立即过滤。2—3 L水样经0.7 μm GF/F滤膜收集,过滤负压<0.6 atm。滤膜对折后放置入铝铂袋中,于液氮中保存。将滤膜夹于滤纸中解冻,吸去多余水分;以2 mL N,N-二甲基甲酰胺为提取剂。在-20 °C暗处放置2 h以充分提取色素;充分混合后离心(5 min,4 kg,-4 °C),取上清,用13 mm针筒过滤器(millipore)滤过GF/F滤膜,收集滤液于棕色色谱小瓶

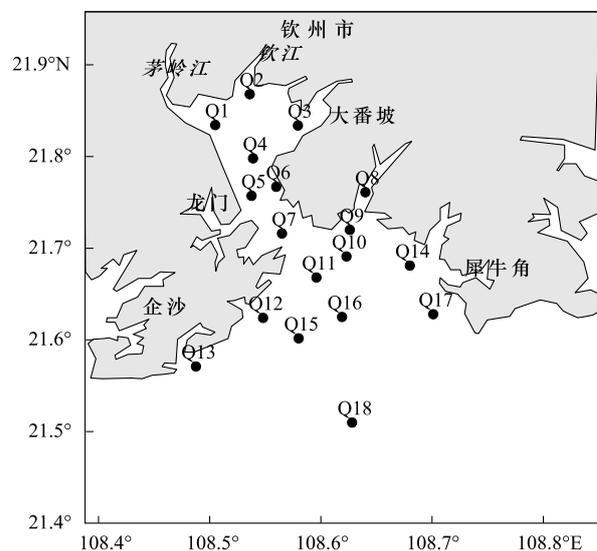


图1 站点布设

Fig.1 Location of sampling stations

(2 mL)。整个过程均在低光照强度、低温条件下进行,以减少光合色素的降解。

高效液相色谱分离光合色素以及色谱柱和流动相的使用参照文献<sup>[6,11-12]</sup>。各浮游植物类群对叶绿素 a 贡献通过 CHEMTAX 程序因子分析方法对 13 种特征光合色素数据转化而来<sup>[6,11-12]</sup>,表示为叶绿素 a 生物量 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Chlorophyll-a, Chl-a)。浮游植物类群分为硅藻 (Bacillariophyta)、绿藻 (Chlorophyta)、甲藻 (Pyrophyta)、定鞭金藻 (Prymnesphyceae)、Pelagophytes、隐藻 (Cryptophyta)、蓝藻 (Cyanobacteria) 和原绿球藻 (Prochlorophyta) 八类。其中绿藻包括绿藻纲 (Chlorophyceae) 和青绿藻纲 (Prasinophyceae)。特征光合色素与叶绿素比值初始值参照 Mackey<sup>[13]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 环境参数的分布特征

2010 年平水期钦州湾表层温度、盐度、无机氮和活性磷酸盐的分布特征见图 2。表层海水温度变化范围小 ( $21.0\text{--}22.4\text{ }^\circ\text{C}$ ),盐度变化较大 ( $14.2\text{--}31.0$ ),从湾顶向外湾逐渐增加,内湾盐度低于 25 而外湾高于 25,在内湾形成较密的变化梯度。平水期无机氮的浓度变化范围为  $0.4\text{--}22.9\ \mu\text{mol}/\text{L}$ ,内湾无机氮浓度高,无机氮从湾内向湾外逐渐降低。磷酸盐浓度的变化与无机氮相似,沿着盐度增加的梯度从湾顶向湾外逐渐降低,外湾浓度均低于  $0.1\ \mu\text{mol}/\text{L}$ 。

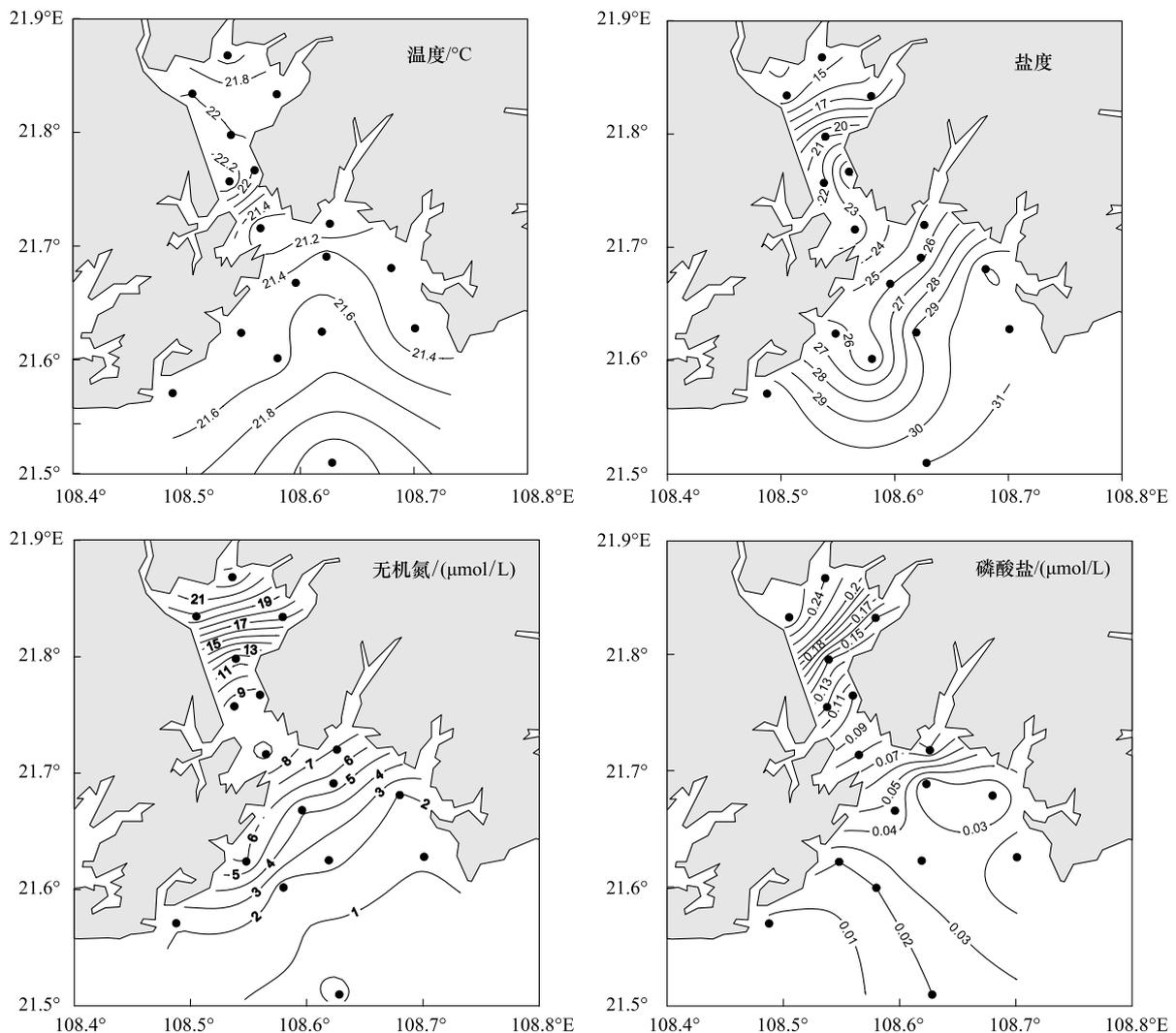


图 2 平水期钦州湾环境参数的分布

Fig. 2 Distribution of environmental parameters in the Qinzhou bay during average water period

## 2.2 特征光合色素的组成与分布

钦州湾平水期光合色素含量较高的特征色素依次为岩藻黄素、叶绿素 b 和玉米黄素及青绿素,其它特征光合色素的含量较低。图 3 列出了钦州湾平水期浮游植物主要特征光合色素含量的空间分布与变化。岩藻黄素在内湾浓度较低,从内湾到湾外显示出增加的特征,最高值出现在 Q15 站点。叶绿素 b 在平水期的分布特征与岩藻黄素的分布特征相反,在内湾从湾顶往湾口逐渐降低,在外湾从钦州港东北面往湾外逐渐降低。玉米黄素以及其它色素在内湾和外湾的浓度差别不大,分布特征也不明显(图 3)。

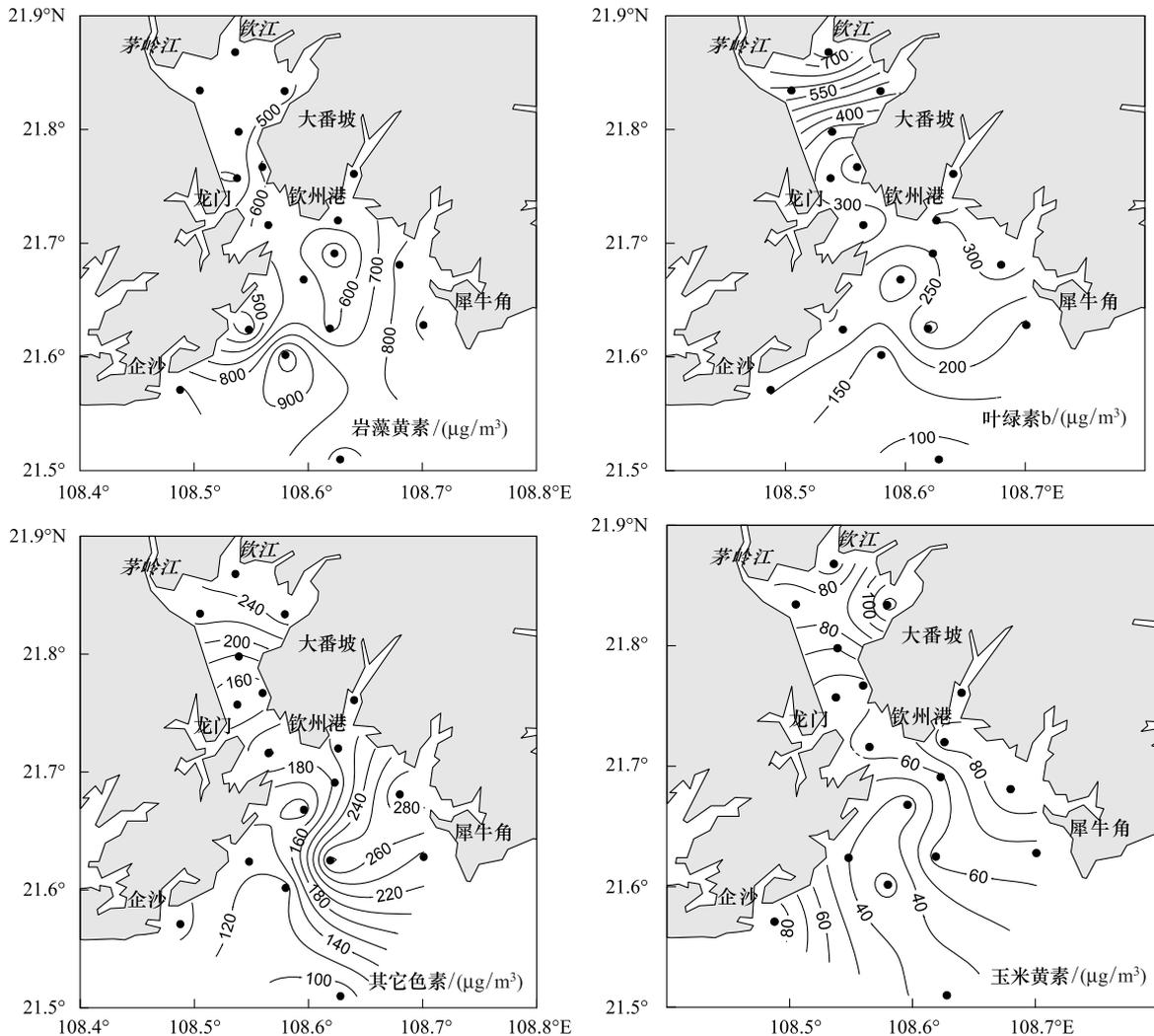


图 3 平水期钦州湾主要光合色素浓度的平面分布

Fig.3 Distributions of main pigment concentration in the Qinzhou bay during average water period

## 2.3 浮游植物类群的生物量和空间分布

经 CHEMTAX 对光合色素的换算,钦州湾平水期的主要浮游植物类群为硅藻、青绿藻、甲藻、蓝藻和绿藻。图 4 列出了钦州湾平水期浮游植物主要类群生物量(以 Chl a 计)的空间分布与变化。硅藻是平水期浮游植物群落中生物量最高的类群,生物量在  $2.0 \times 10^3$ — $4.0 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  之间,空间分布上内湾略低于外湾,最低生物量在茅岭江口,最高值出现在外湾的 Q15 站。蓝藻的生物量在平水期较低,生物量均  $< 0.4 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,在内湾的钦江东段河口生物量最高,除了钦江东河口及 Q15 站之外,蓝藻生物量变化较小。青绿藻生物量变化主要集中在  $0.1 \times 10^3$ — $0.9 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  之间,内湾生物量明显高于外湾,从河口往湾外减少。其它浮游植物类群的生物量很低,甲藻、隐藻、绿藻和定鞭金藻这几个类群生物量之和仅为  $0.05 \times 10^3$ — $0.5 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,其在内湾变化

较小,在外湾变化较大(图 4)。

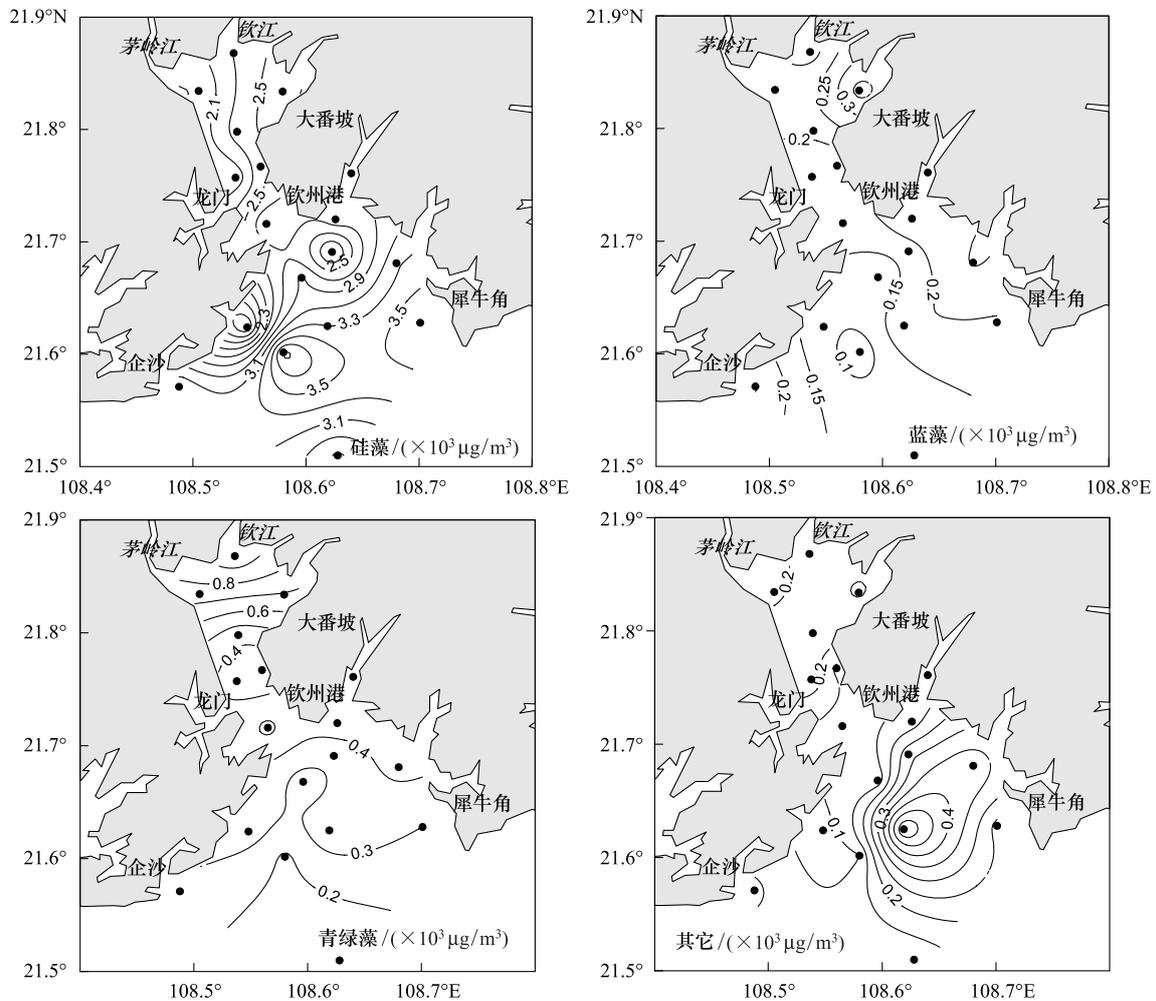


图 4 平水期钦州湾浮游植物主要类群生物量的分布

Fig.4 Distributions of main phytoplankton groups' biomass in the Qinzhou bay during average water period

#### 2.4 浮游植物群落的组成结构与分布

平水期浮游植物群落结构如图 5 所示。除了湾外的 Q19 站点之外,硅藻在钦州湾仍是最大的优势类群,对总生物量的贡献主要在 50%—90%之间,平均占 74%。硅藻对生物量的贡献比例在河口站点较低,在外湾的比例略高于内湾。青绿藻是钦州湾平水期仅次于硅藻的浮游植物类群,其在内湾占浮游植物群落比例相对外湾较高,从湾顶往湾外青绿藻在浮游植物中的比重逐渐减少。蓝藻和绿藻在内湾及外湾靠岸站点的比重相对稳定(5%—10%),而在外湾靠外站点比重<5%。甲藻、隐藻和定鞭金藻在钦州湾所有站点浮游植物群落中的贡献比例都很小(图 5),3 个类群在各站点所占比例之和<5%。

#### 2.5 浮游植物群落结构的格局

基于浮游植物各类群的组成比例,钦州湾浮游植物群落结构区域差异不是特别显著。通过各测站浮游植物结构的聚类分析,仍能区分为河口、近岸和外湾共 3 种类型(图 6)。类型 A(Cluster A)主要分布在仍受河口较大影响的河口,以硅藻和青绿藻为双优势类群,硅藻占据浮游植物一半的比重。类型 B(Cluster B)位于盐度较低的湾颈和外湾等靠近岸边的站点,其特征是硅藻为最主要优势类群(60%—70%),蓝藻和青绿藻为次要优势类群并伴随着绿藻的存在。类型 C(Cluster C)分布在外湾较为靠外站点,表现为硅藻生物量比重占据绝对优势(>80%),没有绿藻或其比例很低。

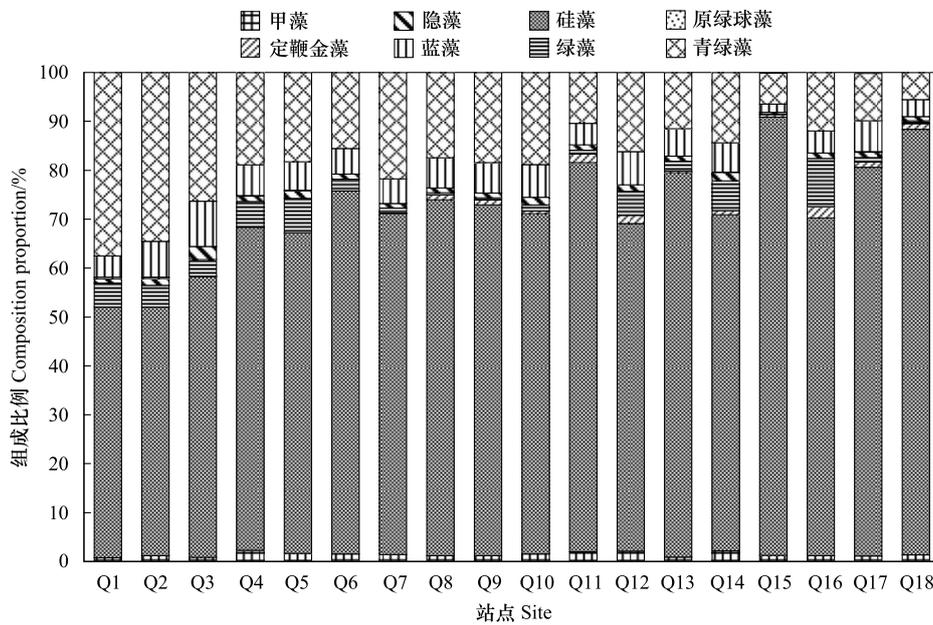


图5 平水期钦州湾浮游植物不同类群对浮游植物生物量的贡献

Fig.5 Contribution of different phytoplankton groups to phytoplankton biomass in the Qinzhou bay during average water period

3 讨论

3.1 平水期浮游植物群落的结构与分布特征

温度、盐度、营养盐等被认为是影响浮游植物的生长和分布的主要影响因素<sup>[14-16]</sup>。适中的温度和盐度以及丰富的营养盐能够促进浮游植物的生长和繁殖<sup>[17]</sup>。钦州湾平水期表层海水温度变化范围在 21—23 ℃, 盐度变化在 14—31 之间, 无机氮浓度也较丰富(图 2), 为浮游植物的生长和繁殖提供了有利条件。钦州湾从内湾到外湾各环境因子显示出盐度逐渐增高而无机氮和磷酸盐逐渐降低的明显变化特征, 显示出平水期该海湾仍受径流输入影响显著, 属典型的河口特征。这种急剧变化的河口环境特征, 决定了钦州湾浮游植物群落结构从湾顶到外湾的空间变化格局<sup>[9]</sup>。

在本次调查中, 岩藻黄素和叶绿素 b 是最主要的两种浮游植物光合色素(图 3), 转换计算结果表明硅藻和青绿藻是钦州湾平水期浮游植物群落的最主要两个类群, 蓝藻和甲藻等其它类群的生物量很低(图 4), 所占

的比例也很低(图 5)。硅藻是海洋浮游植物最常见的主要类群, 平水期钦州湾盐度在 14—30 之间, 是以海水为主的混合水域, 因而硅藻有着较高的生物量, 是最优势的类群。而且硅藻的分布内湾低外湾高, 随着盐度的增加而增加; 青绿藻从河口到外湾随着盐度的增加而减少, 受径流输入影响明显。丰水期钦州湾浮游植物群落结构的研究结果<sup>[9]</sup>表明在低盐度高营养盐的内湾段(盐度<18), 受淡水的主导, 适应低盐的蓝藻、青绿藻和绿藻占据了相当的比例导致硅藻比例比外湾低; 中等盐度和营养盐的外湾段(18<盐度<30)环境相对稳定, 海洋硅藻发展成了单一优势类群, 浮游植物群落结构与钦州湾水团/水段的密切对应关系。在本次调查中, 位于钦江和茅岭江河口的 3 个站点盐度为 14—18, 营养盐浓度较高(无机氮>17 μmol/L, 磷酸盐>0.15 μmol/L),

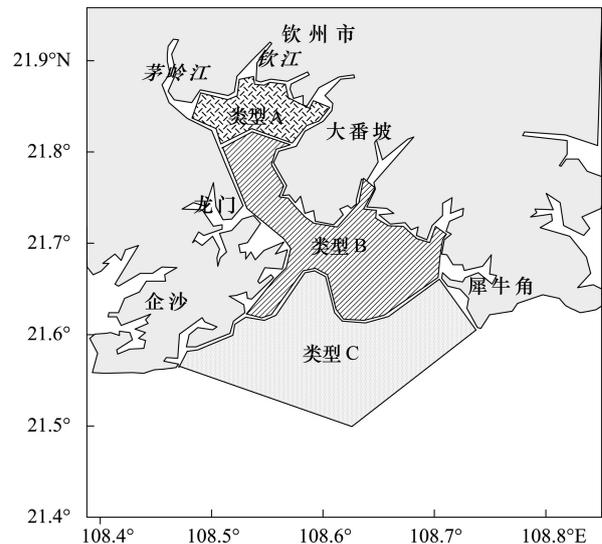


图6 平水期钦州湾浮游植物群落结构类型及其分布示意图

Fig.6 Clusters and distributions of phytoplankton community in the Qinzhou bay during average water period

这些特征与丰水期低盐度高营养盐的内湾水团相似。在这个水团中,硅藻的比例在 50%—60%之间,与丰水期内湾靠外站点相似;而本次调查中内湾靠外站点及外湾站点硅藻也发展成为浮游植物的优势类群,与丰水期的中等盐度水团/水段的结构相近。这表明了径流变化对钦州湾浮游植物群落结构的组成及分布特征有决定的作用,平水期由于径流比丰水期减少,感潮河段往内推移,使丰水期相对靠外的内湾浮游植物群落结构类型往河口分布。平水期的水温与丰水期差距不大,且整个海湾表层水温的差异很小,温度变化在浮游植物结构变化中应不起主要作用。环境参数变化特征显示了钦州湾是一个典型的河口型海湾特征,在这种条件下,盐度及营养盐浓度主导了钦州湾浮游植物的组成与分布格局特征。

在本次调查中,外湾硅藻虽然是浮游植物的优势类群,但其比例(60%—90%,图 5)明显不如丰水期(82%—97%)<sup>[9]</sup>的高。海洋硅藻的营养盐利用实验结果显示营养盐浓度限值( $N < 1 \mu\text{mol/L}$ ,  $P < 0.1$ )会限制硅藻的生长和繁殖<sup>[17]</sup>,丰水期外湾多数站点营养盐仍没有限制浮游植物的生长<sup>[9]</sup>,而在本次平水期调查中虽然外湾硝酸盐氮均 $> 1 \mu\text{mol/L}$ ,但磷酸盐均 $< 0.1 \mu\text{mol/L}$ ,N/P 也均高于 30,营养盐比例失调。一些研究结果也表明硅藻在营养盐丰富的情况下是浮游植物的绝对优势类群,但在贫营养条件下其优势地位明显下降<sup>[18]</sup>。外湾受径流输入、水体交换及浮游植物本身消耗等综合作用<sup>[19-20]</sup>,营养盐尤其是磷酸盐浓度减少,导致浮游植物群落结构改变。因此,受径流输入减少的影响,平水期营养盐浓度较低,尤其是磷酸盐浓度在外湾很低,N/P 失调,限制了硅藻的大量生长和繁殖,而其它一些能在较低营养条件下生长的藻类比例增加,影响着浮游植物群落结构组成与分布特征。

### 3.2 钦州湾微型浮游植物的重要性

通过光合色素的分析结果表明,作为硅藻的特征色素岩藻黄素含量最高,硅藻是钦州湾丰水期的优势类群,浮游植物群落组成还包括甲藻、蓝藻、定鞭金藻、绿藻、青绿藻、隐藻以及极少量的原绿球藻。在同期航次中的浮游植物显微镜分析结果中,耐低盐性的硅藻是该海湾中的最主要优势类群,除此之外还有甲藻、蓝藻和绿藻。但这些类群的种类和数量比例均很低,钦州湾浮游植物的其它调查结果也具有相类似的结果<sup>[7-8]</sup>。光合色素是通过浮游植物叶绿素 a 及特征光合色素含量计算,其生物量是以浮游植物体内的色素含量为基础。镜检方法则是以浮游植物个体或聚合体为基础,不分个体大小,其揭示的群落结构是以个体数为基础。浮游植物种类繁多,不同种类的细胞个体大小之间差别数倍到数十倍,即使是同一种类不同的细胞时期其大小差别明显,因而不同的计量方法,必然导致了两种结构之间的一定差异。除了这种差异之外,应用光合色素的方法能够揭示 $> 0.7 \mu\text{m}$  以上的全粒径浮游植物群落的结构,但是镜检方法往往很难在显微镜下鉴定和计数许多微型和超微型种类<sup>[4-5]</sup>,这导致了青绿藻等微型和超微型浮游植物在钦州湾没有被认知和关注,特征光合色素方法的成功应用,为揭开微型和超微型浮游植物在海湾中的作用提供了有利条件。

在平水期的调查中除了硅藻和绿藻等河口常见浮游植物类群之外,青绿藻和蓝藻也是除了硅藻之外的浮游植物主要类群,其在浮游植物结构比例中占据相当重要的地位。平水期浮游植物特征光合色素的结果显示叶绿素 b 是海区第二高含量的色素,其浓度介于 50—850  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之间,明显高于珠江口 50—150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的浓度<sup>[21]</sup>。叶绿素 b 主要存在于绿藻门的藻类中,包括绿藻、青绿藻和裸藻<sup>[21]</sup>。裸藻不太适应水流较强的水体,因此表明了绿藻和青绿藻在钦州湾中具有相当的数量。青绿素是青绿藻的特征色素,本次调查中大部分站点均检测出青绿素,而且其浓度是珠江口的两倍,经 CHEMTAX 对光合色素的换算结果显示青绿藻在钦州湾平水期浮游植物群落中占据相当比例。丰水期的调查结果也显示了钦州湾一定含量的青绿素的普遍存在于海湾大部分海域<sup>[9]</sup>。因此,即使换算结果有所误差,青绿藻在钦州湾普遍存在可以确定,而且在浮游植物群落结构中占据相当比例。

此外,同航次以及钦州湾其它浮游植物报道中蓝藻主要是较大个体的束毛藻和念珠藻,其数量比例很低。蓝藻除了这些较大个体的种类之外,河口还常有一些个体较小的类群。在相对高盐海域,还可能存在一个重要的蓝藻类群,即聚球藻,其个体很小(粒径为 0.5—1.5  $\mu\text{m}$ ),但广泛分布于热带和温带海洋,细胞丰度通常在  $10^3$ — $10^5$  个/mL,对浮游植物总生物量的贡献达 20%—90%<sup>[22]</sup>。除了硅藻和甲藻等这些较大个体的浮游植

物外,青绿藻、绿藻、蓝藻、定鞭金藻和隐藻等个体较小的浮游植物在平水期占据着钦州湾浮游植物的 10%—45%左右的比例,表明了微型和超微型浮游植物在钦州湾也占据着相当的比例,对海湾初级生产力和生态系统有这重要的作用。利用钦州湾内湾和外湾 2 个 YSI 生态浮标在线监测结果也显示 2010 年钦州湾微型蓝藻的月平均丰度达到  $1.6 \times 10^3$ — $4.7 \times 10^3$  个/mL,最高可达  $0.9 \times 10^5$  个/mL,数量丰富。镜检分析无法检测到这几个重要浮游植物类群,导致这些微型和超微型浮游植物类群没有被重视。浮游植物是海洋生态系统的基础,浮游动物的食谱与食物大小有很大关系,不同大小的浮游植物决定着食物链的长短。因此,钦州湾浮游植物的群落结构的重新认知,基于微型和超微型为基础的食物链/食物网很可能也在海湾中占据着重要的作用,海湾的生态系统结构和功能应该要重新去审视。在后续的研究中,应加强对浮游植物粒径结构的研究确定微型和超微型浮游植物的比例;通过流式细胞、荧光原位杂交等技术方法检测聚球藻、青绿藻等重要类群的存在及数量,以确认微型浮游植物在钦州湾中的地位,并弄清他们的具体生态结构和功能。

#### References:

- [ 1 ] Wei M X, He B M. Change trend of water environmental index in last 20 a of Qinzhou Bay V. Biomass distribution of phytoplankton and effect factors. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(3): 253-257.
- [ 2 ] Wei M X, He B M. The characteristics of the bionomical environment in Qinzhou bay and the relationship between the characteristics and the self-purifying conditions of the water body. *Marine Science Bulletin*, 2004, 23(4): 50-54.
- [ 3 ] Kennedy V S. Anticipated effects of climate change on estuarine and coastal fisheries. *Fisheries*, 1990, 15(6): 16-24.
- [ 4 ] Simon N, Barlow R G, Marie D, Partensky F, Vaulot D. Characterization of oceanic photosynthetic picoeukaryotes by flow cytometry. *Journal of Phycology*, 1994, 30(6): 922-935.
- [ 5 ] Chen J X, Huang B Q, Jia X W, Hong H S, Xie T G. Community structure of marine ultraphytoplankton in Xiamen waters using photosynthetic pigments. *Marine Environmental Science*, 2003, 22(3): 16-21.
- [ 6 ] Chen J X, Huang B Q, Liu Y, Cao Z R, Hong H S. Phytoplankton community structure in the transects across East China Sea and Northern South China Sea determined by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(7): 738-746.
- [ 7 ] Zhuang J L, Jiang F J, Xu M B, Zhang R C, Wang Y B, Ke K, Lei F, He B J. Annual change of environmental factors and phytoplankton community characteristics in Maowei Sea of Qinzhou bay. *Guangxi Sciences*, 2012, 19(3): 263-267.
- [ 8 ] Jiang F J, Chen B, He B J, Xu M B, Zhuang J L, Zhang R C, Lei F. Phytoplankton community in coastal waters of Qinzhou bay in Guangxi. *Guangxi Sciences*, 2012, 19(3): 268-275.
- [ 9 ] Lan W L, Wang X H, Li M M. Phytoplankton community structure in Qinzhou bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(13): 3601-3608.
- [ 10 ] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization administration of the People's Republic of China. The Specification for Marine Monitoring-Part 4: Seawater analysis. Beijing: China Standards Publishing House.
- [ 11 ] Furuya K, Hayashi M, Yabushita Y. HPLC determination of phytoplankton pigments using N, N-dimethyl-formamide. *Journal of Oceanography*, 1998, 54(2): 199-203.
- [ 12 ] van Heukelem L, Thomas C S. Computer-assisted high-performance liquid chromatography method development with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments. *Journal of Chromatography A*, 2001, 910(1): 31-49.
- [ 13 ] Mackey M D, Mackey D J, Higgins H W, Wright S W. CHEMTAX-A program for estimating class abundances from chemical markers: Application to HPLC measurements of phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 144: 265-283.
- [ 14 ] Huang B Q, Lan W L, Cao Z R, Dai M H, Huang L F, Jiao N Z, Hong H S. Spatial and temporal distribution of nanoflagellates in the northern South China Sea. *Hydrobiologia*, 2008, 605(1): 143-157.
- [ 15 ] Zhang X, Wang C, Hu Z H. Biodiversity and community structure of phytoplankton during spring season in nearby Lianyungang sea area. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(S1): 83-85.
- [ 16 ] Liu D Y, Sun J, Qian S B. Study on the phytoplankton in Jiaozhou bay II: Influence of the environmental factors to phytoplankton community. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2002, 32(3): 415-421.
- [ 17 ] Nelson D M, Brzezinski M A. Kinetics of silicic acid uptake by natural diatom assemblages in two Gulf Stream warm-core rings. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 62: 283-292.
- [ 18 ] Xu N, Duan S S, Li A F, Liu Z Q. The relationships between the occurrences of red tides (HABs) and eutrophication in coastal waters. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1782-1787.

- [19] Lan W L. Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 5970-5976.
- [20] Lan W L, Yang S M, Su W. Variation of river pollutant fluxes around Qinzhou bay and their environmental impacts. *Guangxi Sciences*, 2012, 19(3): 257-262.
- [21] Cong M, Jiang T, Lv S H, Cen J Y. Distribution of photosynthetic pigments in surface waters of the Zhujiang River Estuary. *Marine Environmental Science*, 2012, 31(3): 305-309, 336-336.
- [22] Johnson P W, Sieburth J M. Chroococcoid cyanobacteria in the sea: A ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnology and Oceanography*, 1979, 24(5): 928-935.

#### 参考文献:

- [1] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势 V. 浮游植物生物量的分布及其影响因素. *海洋环境科学*, 2008, 27(3): 253-257.
- [2] 何本茂, 韦蔓新. 钦州湾的生态环境特征及其与水体自净条件的关系分析. *海洋通报*, 2004, 23(4): 50-54.
- [5] 陈纪新, 黄邦钦, 贾锡伟, 洪华生, 谢廷贵. 利用光合色素研究厦门海域超微型浮游植物群落结构. *海洋环境科学*, 2003, 22(3): 16-21.
- [6] 陈纪新, 黄邦钦, 刘媛, 曹振锐, 洪华生. 应用特征光合色素研究东海和南海北部浮游植物的群落结构. *地球科学进展*, 2006, 21(7): 738-746.
- [7] 庄军莲, 姜发军, 许铭本, 张荣灿, 王一兵, 柯珂, 雷富, 何碧娟. 钦州湾茅尾海周年环境因子及浮游植物群落特征. *广西科学*, 2012, 19(3): 263-267.
- [8] 姜发军, 陈波, 何碧娟, 许铭本, 庄军莲, 张荣灿, 雷富. 广西钦州湾浮游植物群落结构特征. *广西科学*, 2012, 19(3): 268-275.
- [9] 蓝文陆, 王晓辉, 黎明民. 应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构. *生态学报*, 2011, 31(13): 3601-3608.
- [10] 中国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 GB17378.4—2007, 第 4 部分: 海水分析. 北京: 中国标准出版社.
- [15] 张旭, 王超, 胡志晖. 连云港近岸海域春季浮游植物多样性和群落结构. *海洋环境科学*, 2008, 27(S1): 83-85.
- [16] 刘东艳, 孙军, 钱树本. 胶州湾浮游植物研究——II 环境因子对浮游植物群落结构变化的影响. *青岛海洋大学学报: 自然科学版*, 2002, 32(3): 415-421.
- [18] 徐宁, 段舜山, 李爱芬, 刘振乾. 沿岸海域富营养化与赤潮发生的关系. *生态学报*, 2005, 25(7): 1782-1787.
- [19] 蓝文陆. 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响. *生态学报*, 2011, 31(20): 5970-5976.
- [20] 蓝文陆, 杨绍美, 苏伟. 环钦州湾河流入海污染物通量及其对海水生态环境的影响. *广西科学*, 2012, 19(3): 257-262.
- [21] 丛敏, 江涛, 吕颂辉, 岑竞仪. 珠江口水域表层水体光合色素分布特征研究. *海洋环境科学*, 2012, 31(3): 305-309, 336-336.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.20 Oct. ,2013 ( Semimonthly )

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific ..... YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China ..... WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation ..... YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ..... ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification ..... WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

### Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China ..... WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ..... ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ..... ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery ..... HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition ..... TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koelreuteria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland ..... LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain ..... CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield ..... CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed: the influence of environment and phylogenetic background ..... ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* ..... WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* ..... PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

### Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ..... ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ..... ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleiblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China ..... XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period ..... LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants ..... LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region ..... DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

- Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk .....  
 ..... YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China .....  
 ..... LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
- Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method .....  
 ..... HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
- An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China .....  
 ..... HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
- Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau .....  
 ..... LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
- Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai .....  
 ..... TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)
- Resource and Industrial Ecology**
- Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent  
 ten years of Beijing ..... LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
- Stable isotope ( $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ ) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir .....  
 ..... LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)
- Research Notes**
- Dynamics of  $\text{CO}_2$  exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park .....  
 ..... CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
- Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years .....  
 ..... WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
- Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda under high salinity .....  
 ..... ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

# 《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 宋金明 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 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 33 No. 20 (October, 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

主 编 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
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

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂  
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

订 购 全国各地邮局  
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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