

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **2011**

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 31 卷 第 13 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栎群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

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.

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.

应用光合色素研究广西钦州湾丰水期 浮游植物群落结构

蓝文陆*, 王晓辉, 黎明民

(广西壮族自治区北海海洋环境监测中心站, 广西 北海 536000)

摘要: 通过 2010 年 6 月现场航次 19 个站点的调查, 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, 分析了丰水期广西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, 钦州湾浮游植物光合色素含量以叶绿素 a 最高, 其次为岩藻黄素; 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 70.2%、12.6% 和 9.4%, 而其它藻类除了绿藻茅岭江河口占据较高的比例(40.2%)之外在其它站点所占比例很低。钦州湾浮游植物群落结构形成了茅岭江口、内湾、外湾和湾外近海共四种类型, 茅岭江口以绿藻为优势类群, 内湾以硅藻、蓝藻和青绿藻为主要优势类群, 外湾以硅藻为单一优势类群, 湾外相对于外湾硅藻比重略为下降。主要光合色素含量及浮游植物类群生物量的分布特征与盐度、营养盐关系密切, 浮游植物群落结构的分布变化主要受径流及其输入导致的营养盐变化的影响, 而这种影响导致了内湾和外湾之间浮游植物主要类群的生物量多寡及浮游植物群落结构的差异。

关键词: 光合色素; 浮游植物; 群落结构; 钦州湾

Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures

LAN Wenlu*, WANG Xiaohui, LI Mingmin

Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi Province, Beihai 536000, China

Abstract: Based on a cruise in June, 2010 in Qinzhou Bay, structural characteristics of the phytoplankton community were studied during flood season. Phytoplankton samples from 19 stations were analyzed by RP-HPLC combined with DAD (diode array detector) to determine photosynthetic pigment composition in the study bay. Pigment data were converted into phytoplankton composition by software of CHEMTAX based on least squares method and the steepest descent algorithm. Our results showed that chlorophyll-a (Chl-a), fucoxanthin, chlorophyll-b (Chl-b) and zeaxanthin were the major pigments in Qinzhou Bay. Chl-a concentration ranged from 732 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 9684 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (with a mean of 3574 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), and the concentration of fucoxanthin ranged from 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 2714 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (with a mean of 917 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Mean concentrations of Chl-b and zeaxanthin were 161 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Other pigments generally contributed a minor proportion of the total pigments, with average concentrations of less than 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Diatoms dominated in the phytoplankton community, contributing to 70.2% (mean value) of the phytoplankton biomass in Qinzhou Bay, while the average percentage for cyanobacteria and prymnesiophyta was only 12.6% and 9.4%, respectively. Chlorophyceae was only abundant at the station in Maolingjiang estuary, which accounted for 40% of the phytoplankton biomass. The rest of the other phytoplankton were rare, and constituted <10% of all phytoplankton biomass. Diatom biomass ranged from 0.21 $\mu\text{g}/\text{L}$ to 8.71 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Chl-a biomass), and the distribution of diatom biomass was low in the inner bay and high in the outer bay.

基金项目: 广西自然科学基金项目(2010GXNSFB013003); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1140002-2-1)

收稿日期: 2010-12-10; **修订日期:** 2011-04-04

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

However, the biomass of cyanobacteria and prymnesiophyta in the inner bay was slightly higher than that in the outer bay. Phytoplankton communities in Qinzhou Bay were clustered into four types from the estuary to the outer bay, and were primarily influenced by floods on the Maolingjiang and Qinjiang rivers. Phytoplankton communities in the estuary were dominated by Chlorophyceae. Diatoms, cyanobacteria and prymnesiophyta were the major groups in the inner bay, while diatoms were dominant in the outer bay. Diatoms also dominated at the offshore stations; however, the proportion of diatoms decreased slightly with increasing distance from the coast. Additionally analysis also was carried out to illuminate the relationship between phytoplankton community structure and environmental factors in the study area. Results indicate that the distribution of major phytoplankton pigments and communities were coupled with environmental parameters in Qinzhou Bay. River flow, salinity and nutrients were the major controlling factors accounting for the spatial distribution and composition of phytoplankton in the bay.

Key Words: photosynthetic pigment; phytoplankton; community structure; Qinzhou Bay

浮游植物群落结构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^[1-3],在海洋生物地球化学循环、能量流动以及海洋渔业中具有重要的意义。但是,许多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,而且固定保存过程中使一些脆弱种类破裂或变形,增加了分类难度^[4-5]。近年来通过高效液相色谱法(HPLC)分析特征光合色素来研究浮游植物群落结构已被成熟应用^[5-6]。与传统镜检相比,光合色素法分析浮游植物结构具有较大的优越性,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^[4-6],对指示全粒级浮游植物类群结构十分有利。

钦州湾是广西的重要海湾之一,近 20 a 来随着海湾周边经济开发建设的迅猛发展及养殖业的兴起,钦州湾水体环境的变化对海湾的生态环境影响较大^[1-2]。尤其是北部湾经济区发展规划获批后,钦州湾掀起了开发热潮,海湾环境将面临更大的压力。浮游植物对环境变化敏感,而对海湾浮游植物的群落结构特征及其分布变化的报道很少。

1 材料与方法

1.1 调查时间与站位

2010 年 6 月 8 日,通过现场调查,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。共布设 Q1 至 Q19 共 19 个站位(图 1)。其中,Q1—Q7 站点位于内湾;Q8—Q16 及 Q17 位于钦州港湾,Q18—Q19 位于钦州湾湾外。

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、活性磷酸盐等环境因子的采集与测定方法依据国家《海洋监测规范》^[7]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(DMF)为提取剂。在 -20 $^{\circ}\text{C}$ 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 $^{\circ}\text{C}$),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(2 mL)。整个过程均在弱光、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^[6,8-9]。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^[6,8-9],表示为叶绿素 a 生物量($\mu\text{g}/\text{m}^3$ Chl a)。浮游植物类群分为硅藻(Bacillariophyta)、绿藻(Chlorophyta)、甲藻(Dinoflagellates)、定鞭金藻(Prymnesiphyceae)、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用

Mackey^[10]。

1.3 数据处理

研究海区光合色素与各环境因子的相互关系采用 Pearson 相关性分析, $P<0.05$ 为显著差异, 所有统计分析均在软件 SPSS 17.0 下进行。

2 结果和分析

2.1 环境参数的分布特征

丰水期钦州湾表层温度、盐度、无机氮和活性磷酸盐的分布见图 2。温度变化范围小, 28℃ 以上的相对高温集中在钦州港附近, 湾外温度略低。盐度变化较大 (0.3—32.5), 从湾内向湾外逐渐增加, 内湾盐度低于 10 而外湾高于 20, 在内湾湾口处形成较密的变化梯度。无机氮的浓度变化范围为 2.1—60.8 $\mu\text{mol/L}$, 无机氮浓度在内湾较高, 从内湾向湾外逐渐降低。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 0.5 $\mu\text{mol/L}$ 。

2.2 特征光合色素的组成与分布

钦州湾海域浮游植物主要叶绿素类光合色素为叶

绿素 a 和 b, 未检出叶绿素 c 和二乙烯基叶绿素。各个站点普遍检测出的特征性色素为岩藻黄素 (fucoxanthin)、新黄素 (neoxanthin)、玉米黄素 (zeaxanthin) 和别藻黄素 (alloxanthin), 多数站点检测出多甲藻素 (peridinin)、青绿素 (prasinoxanthin)、堇菜色素 (violaxanthin) 和叶黄素 (lutein), 而 19'-己酰基氧化岩藻黄素 (19'-hexanoyloxyfucoxanthin) 和 19'-丁酰基氧化岩藻黄素 (19'-butanoyloxyfucoxanthin) 只有在极少数站点检测出 (表 1)。从色素含量上看, 含量最高的色素依次为叶绿素 a、岩藻黄素、叶绿素 b 和玉米黄素, 其它特征光合色素的含量较低 (表 1)。

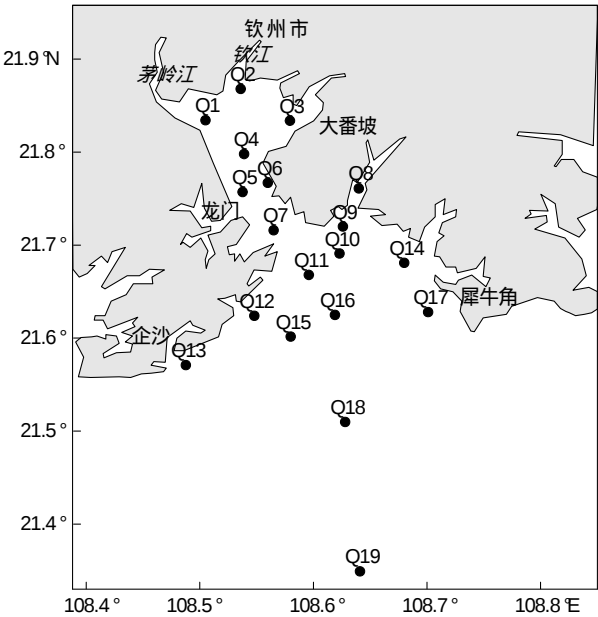


图 1 站点布设

Fig. 1 Location of sampling stations

表 1 钦州湾浮游植物特征光合色素浓度及含量变化/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Table 1 Concentration of different photosynthetic pigments in Qinzhou Bay

光合色素 Photosynthetic pigments	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	检出率* Detective ratio
多甲藻素 peridinin	—	183.2	69.3	0.95
19'-丁酰基氧化岩藻黄素 19'-butanoyloxyfucoxanthin	—	23.8	1.6	0.11
19'-己酰基氧化岩藻黄素 19'-hexanoyloxyfucoxanthin	—	62.1	4.5	0.11
岩藻黄素 fucoxanthin	50.7	2713.6	917.3	1
新黄素 neoxanthin	5.6	87.3	36.7	1
青绿素 prasinoxanthin	—	140.9	42.4	0.84
堇菜色素 violaxanthin	—	31.4	14.3	0.95
别藻黄素 alloxanthin	5.1	20.3	10.4	1
叶黄素 lutein	—	81.1	12.3	0.53
玉米黄素 zeaxanthin	25.2	218.4	84.7	1
叶绿素-b chlorophyll-b	18.2	393.3	161.4	1
叶绿素 a chlorophyll-a	732	9684.1	3574	1
二乙烯基叶绿素 chlorophyll-dv	—	—	—	0.

—:未检出

叶绿素 a 和岩藻黄素的分布特征与硅藻的空间分布相近, 即在内湾由茅岭江口向钦钦江口增加, 同时由

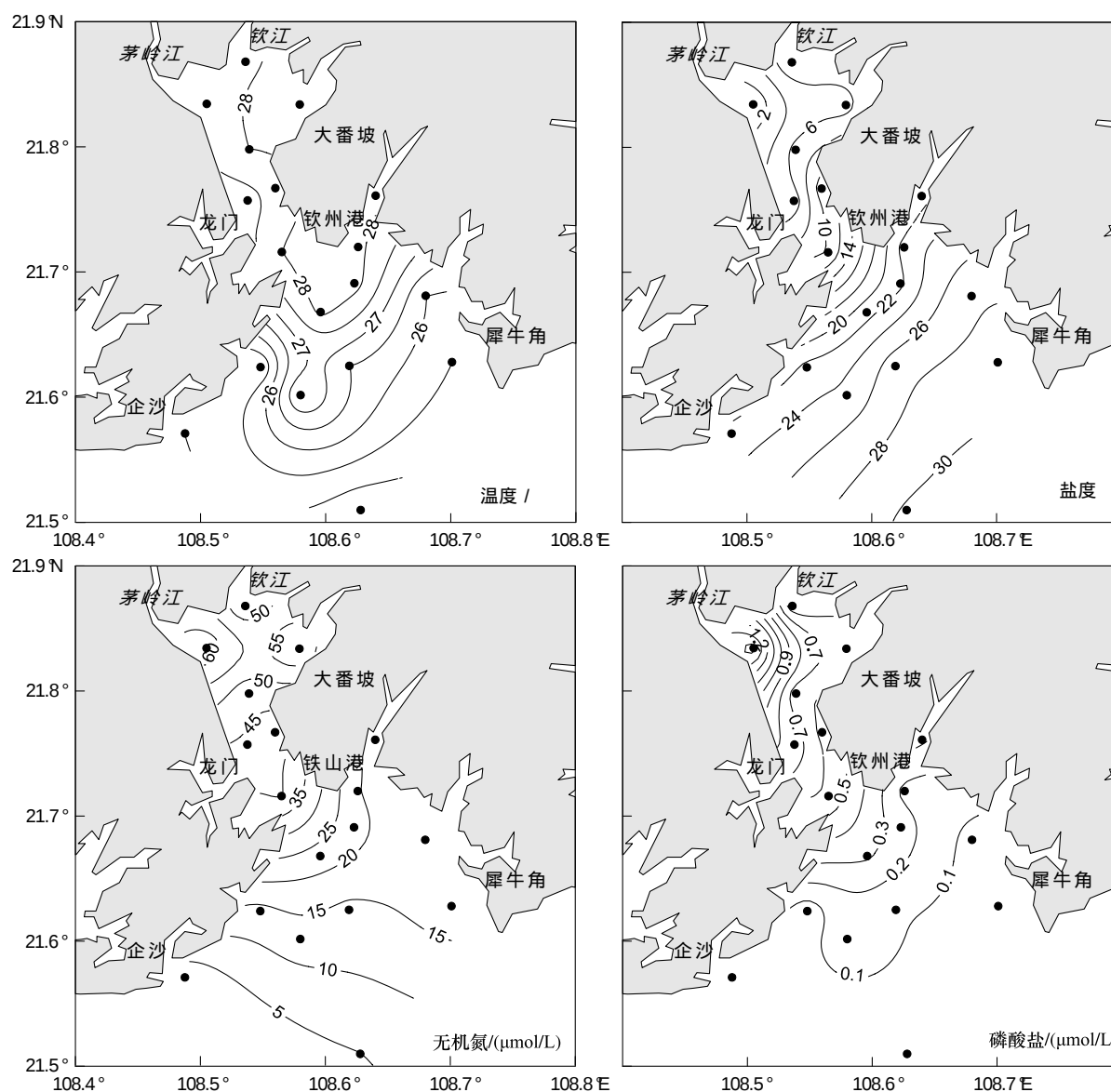


图2 丰水期钦州湾环境参数的分布

Fig. 2 Distribution of environmental parameters in Qinzhou Bay

内湾茅岭江口向外湾浓度急剧增加,最高值在 Q15 站,而后向湾外减少(图 3)。叶绿素 b 在内湾和外湾的浓度差异不明显,其在内湾的分布趋势与叶绿素 a 相似,而在外湾其浓度由钦州港附近向湾外的 Q18 站增加。玉米黄素的分布在内湾与叶绿素 a 等主要色素一致,但在外湾变化不明显,内湾略高于外湾。

2.3 浮游植物类群的生物量和空间分布

经 CHEMTAX 对光合色素数据转化计算,钦州湾普遍检出的浮游植物类群为硅藻、青绿藻、甲藻、蓝藻和隐藻,绿藻和定鞭金藻只在少数站点出现,原绿球藻在调查海区没有被检测出。

图 3 列出了钦州湾丰水期浮游植物主要类群生物量(叶绿素 a 生物量)的空间分布与变化。硅藻的生物量最高,其变化范围为 $0.21\text{--}8.71\text{ }\mu\text{g/L}$,空间分布显现出内湾低外湾高的趋势,硅藻最低生物量在茅岭江河口,最高值出现在外湾的 Q15 站,内湾明显低于外湾。青绿藻和蓝藻的生物量及其空间分布特征相近,生物量变化主要集中在 $0.1\text{--}0.9\text{ }\mu\text{g/L}$ 之间,内湾生物量相对外湾略高。青绿藻和蓝藻在内湾从茅岭江口向钦江口生物量增加,而在外湾的分布规律不明显。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 $0.05\text{--}0.34\mu\text{g/L}$, 其在内湾从茅岭江口向湾口生物量递减, 而后从内湾的湾口又向外湾递增(图 3)。

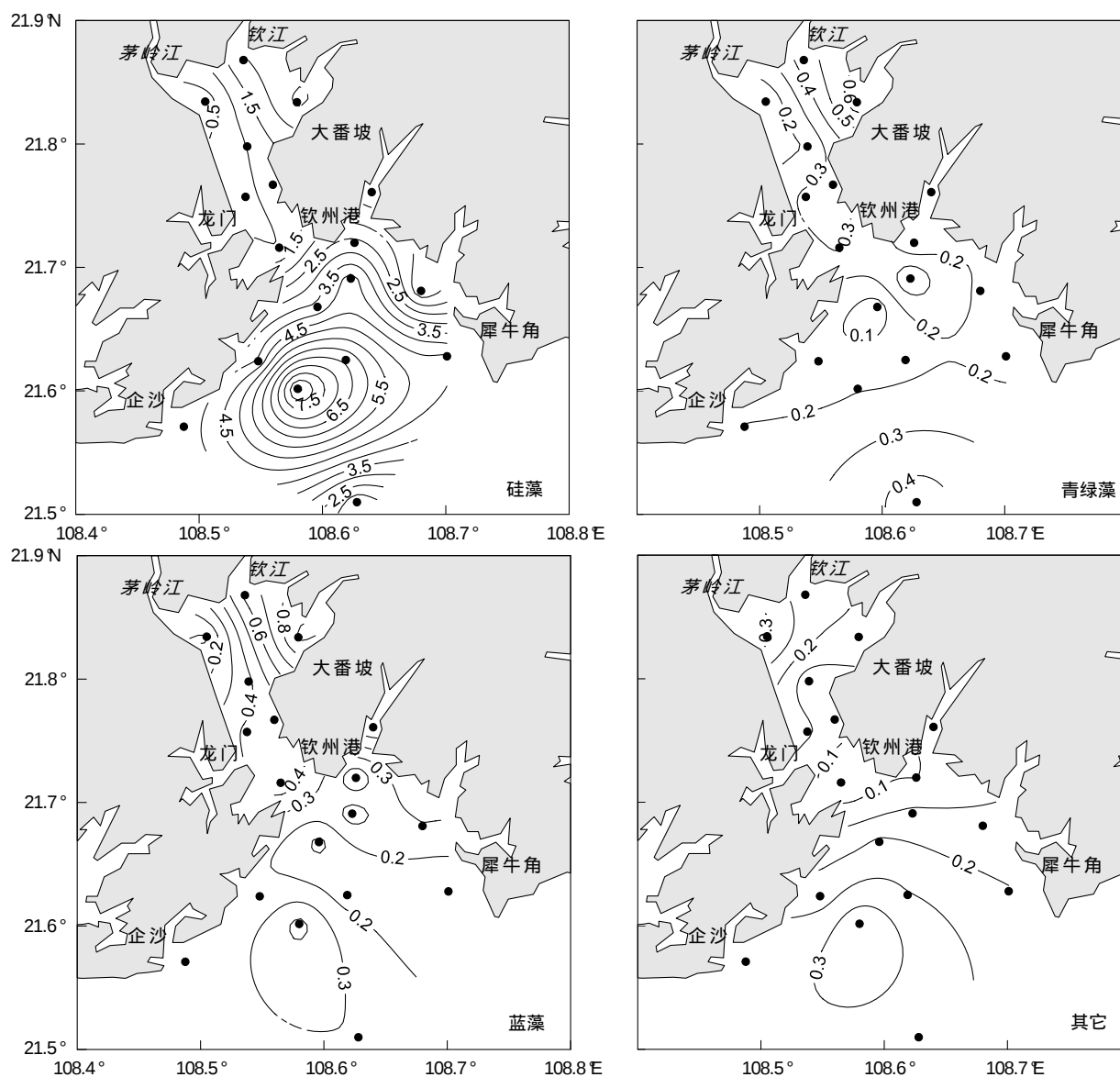


图 3 钦州湾浮游植物主要类群生物量的分布/($\mu\text{g/L Chl a}$)

Fig. 3 Distributions of main phytoplankton groups' biomass in Qinzhou Bay

2.4 浮游植物群落的组成结构与分布

硅藻在钦州湾绝大部分调查站点为最大的优势类群, 对总生物量的贡献达 29%—92%, 而除了最低值 Q1 站之外, 其它站点硅藻占浮游植物生物量都在 50% 以上。图 4 列出了从湾顶茅岭江河口到钦州港湾湾外的主要断面浮游植物类群组成。硅藻对生物量的贡献从海湾顶部受河口输入影响最大的 Q1 站向湾外增加, 而到外湾略有下降(图 4)。蓝藻是内湾除了 Q1 站之外以及 Q8 站的第二最大贡献类群, 而在外湾的贡献较低, 其在外湾站点的贡献介于内湾和外湾之间(图 4)。青绿藻是钦州湾仅次于蓝藻的浮游植物类群, 其在内湾占浮游植物群落比例相对外湾较高。甲藻和隐藻在钦州湾所有站点浮游植物群落中的贡献比例都很小 ($<5\%$), 甲藻在外湾站点的贡献略高于内湾站点。绿藻在受盐度最低的 Q1 站为优势类群, 贡献达 40%, 而在内湾其它站点贡献 $<5\%$ 。定鞭金藻也只在 Q8 站以及湾外的 Q18、Q19 站的贡献在 2%—6%, 其余站点所

占比例极小。

2.5 浮游植物群落结构类型的空间分布

通过钦州湾各测站浮游植物相对丰度(对叶绿素 *a* 的贡献率)结构聚类分析以及结构分布的结果,丰水期钦州湾浮游植物群落结构主要显现 4 个类型(图 5)。类型 A(Cluster A)的特征是绿藻为优势类群,其主要位于受径流影响最大盐度很低的茅岭江口附近。类型 B(Cluster B)位于盐度较低的内湾其它站点及 Q8 站,其特征是硅藻为最主要优势类群(50%—60%),蓝藻和青绿藻为次要优势类群。类型 C(Cluster C)表现为硅藻生物量比重占据绝对优势(>82%),其主要分布在盐度中等的外湾海域。湾外的 Q18 和 Q19 站属于类型 D(Cluster D),表现为硅藻比重(70%—75%)低于类型 C 而定鞭金藻等其它类群贡献率有所增加,两种类型结构差异主要体现为群落结构中硅藻与其它藻相对贡献的差异。

3 讨论

3.1 浮游植物光合色素及主要类群分布的主要影响因素

本次调查结果显示丰水期钦州湾各环境因子变化特征明显,盐度从茅岭江口往外湾逐渐增高而营养盐浓度正好相反,且变化幅度较大,温度整体较高且内湾略高于湾外水域(图 2),表明了丰水期钦州湾处在一个环境急剧变化的河口环境特征,海湾受河口淡水输入及其带来的营养盐输入影响显著。茅岭江是注入钦州湾的最主要河流之一,且从流量上该河流是注入钦州湾最大的河流^[2]。从本次研究的环境参数特征上看,钦州湾受茅岭江的冲淡水影响略大于钦江(图 2)。

浮游植物作为海洋生态系统的初级生产者,对环境变化敏感,其受环境变化的影响和调控。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^[11-13]。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^[14]。本次研究中浮游植物生物量较高,在外湾最高生物量达到 9.7 $\mu\text{g/L}$ 叶绿素 *a*,丰水期较高的温度和丰富的营养盐是最主要原因。但从分布特征上,本研究中叶绿素 *a* 和岩藻黄素浓度表现出与盐度接近而与营养盐相反,叶绿素 *a* 和硅藻生物量与盐度具有正相关性而与营养盐表现出负相关性(表 2)。而蓝藻与环境因子之间的相关性则跟硅藻相反,表明了钦州湾浮游植物主要光合色素浓度及主要类群生物量分布主要是受盐度和营养盐的影响。浮游植物在河口区主要是受径流量的影响^[15],钦州湾处于茅岭江和钦江河口,其营养盐主要受河流输入的影响^[1-2],因而归根结底淡水输入是影响钦州湾浮游植物光合色素及类群生物量的最主要因素,其中以茅岭江输入的影响最大。

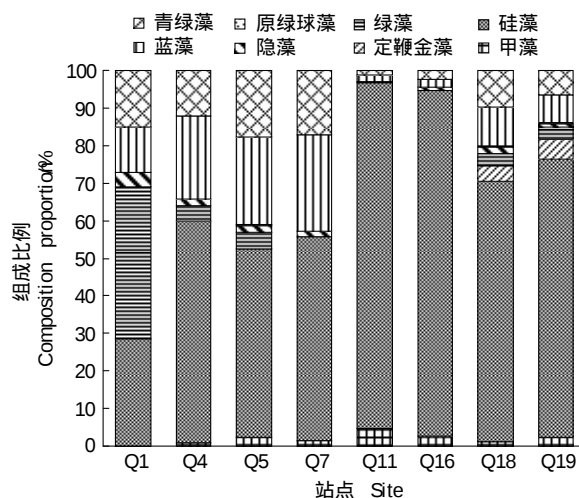


图 4 主要断面浮游植物不同类群对浮游植物生物量的贡献

Fig. 4 Contribution of different phytoplankton groups to phytoplankton biomass in the main transect

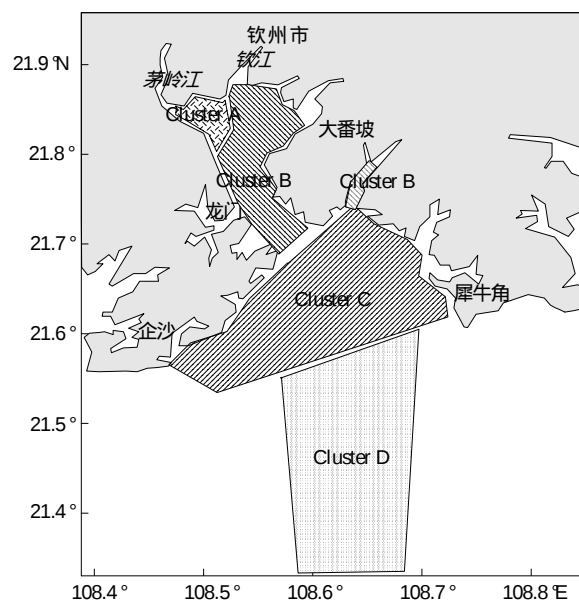


图 5 钦州湾浮游植物群落结构类型及其分布示意图

Fig. 5 Clusters and distributions of phytoplankton community Qinzhou Bay

表 2 浮游植物主要类群与环境因子之间的相关性

Table 2 Correlation analysis among phytoplankton main groups and other factors

参数 Parameters	温度 Temperature	盐度 Salinity	无机氮 Inorganic nitrogen	磷酸盐 Phosphate
叶绿素 a Chlorophyll a	-0.16	0.48 *	-0.39	-0.47 *
硅藻 Bacillariophyta	-0.10	0.47 *	-0.46 *	-0.48 *
青绿藻 Prasinophyceae	0.19	-0.36	0.40	0.19
蓝藻 Cyanobacteria	0.45	-0.48 *	0.47 *	0.27

* $P < 0.05$; $n = 19$

钦州湾浮游植物群落在不同水段表现出不同的结构类型,表明其与环境因子有密切的关系。丰水期钦州湾的水团/水段特征从湾顶到湾外按照盐度和营养盐可以划分为以河流特征主导的茅岭江口段(盐度 <3)、低盐度高营养盐的内湾段(盐度 <18),中等盐度和营养盐的外湾段($18 < \text{盐度} < 30$)以及高盐度低营养盐的外湾近海段(盐度 >30)。这4种河口段分别对应了浮游植物群落结构的类型A—D。茅岭江口段因受河流淡水主导,绿藻占优势;内湾段盐度低,仍以淡水主导,适应低盐的蓝藻和绿藻也占据了重要的比例;外湾段环境相对稳定,海洋硅藻发展成了单一优势类群;而湾外近海由于营养盐的降低,硅藻绝对优势的比重下降,其它藻类比重相对于外湾上升。浮游植物群落结构与钦州湾水团/水段的密切对应关系,表明了盐度及水团对浮游植物群落结构特征及分布产生重要影响,也表明了浮游植物对钦州湾环境变化的一种响应或适应。

3.3 钦州湾内湾与外湾浮游植物的差异

由于受河流输入的影响,营养盐在淡咸水汇合区逐渐降低,在一些河口浮游植物生物量随着营养盐降低而下降^[14-15]。李开枝等报道珠江口浮游植物在河口低盐度的上段细胞密度高而下段低^[16],而长江口秋季^[11]和冬季^[17]也表现出类似的现象。在同样盐度跨度变化的钦州湾,在本次研究中浮游植物主要光合色素含量及主要类群的生物量在钦州湾内湾和外湾之间具有明显的分布变化差异,但总叶绿素a及浮游植物优势类群的硅藻生物量在外湾明显高于内湾,而蓝藻和青绿藻内湾生物量略高于外湾(图3)。受高能量破浪、强潮流,激烈的盐度变动等影响的河口,浮游生物就必须付出较多的能量^[17]。钦州湾内湾处在两个河流的河口,且湾颈狭小,其水流变动剧烈^[2]。内湾虽然营养盐浓度较高(图2),但盐度很低且变化剧烈,在这种干扰较大的条件中虽然有一些耐盐淡水种及耐低盐的海洋种类能够生长但较难大量繁殖。另外内湾贝类养殖对浮游植物的摄食强度也被认为是导致生物量低于外湾的主要原因之一^[1]。而外湾相对内湾环境变化较稳定,水团环境相对较为稳定利于细胞的繁殖^[18],且根据浮游植物营养盐生长浓度限值($N < 1 \mu\text{mol/L}$, $P < 0.1 \mu\text{mol/L}$)^[19],外湾多数站点营养盐仍没有限制浮游植物的生长(图2),在这种环境下硅藻大量生长导致了湾外生物量高于内湾。

内湾和外湾的环境变化也导致了浮游植物多样性在内湾和外湾的差异。从浮游植物群落结构来看,外湾硅藻是绝对的单一优势类群,而内湾则以硅藻、蓝藻和青绿藻为优势类群,这样的结果暗示了内湾浮游植物类群多样性高于外湾(图4)。河口环境条件复杂,空间异质性高,是一个生态交错区,为生物生存提供了更多的栖息环境,生物多样性增加,即边缘效应^[14]。但河口的这种边缘效应也并不都表现为正效应,近期的研究表明,其对生物多样性有正负两方面的影响^[14]。在钦州湾内湾,受高能量破浪、强潮流以及河流的影响,复杂的环境为浮游植物提供较高的空间异质性,但类群难以形成绝对优势,表现出边缘效应的正效应。而在外湾,温度、盐度等环境变化没有内湾剧烈,适应河口环境的浮游植物在有好营养条件时会大量生长,边缘效应减弱或负效应。然而本研究对浮游植物的群落结构只分析到类群层面,以此来研究钦州湾浮游植物生物多样性的变化略显不足。

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] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. The Specification for Marine Monitoring—Part 4: Water Analysis. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [8] Furuya K, Hayashi M, Yabushita Y. HPLC determination of phytoplankton pigments using N, N-Dimethyl formamide. *Journal of Oceanography*, 1998, 54(2): 199-203.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Zhang X, Wang C, Hu Z H. Biodiversity and community structure of phytoplankton in the coastal waters of Lianyungang in spring. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(A1): 83-85.
- [13] 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.
- [14] Guo P Y, Shen H T. Research advance in estuarine phytoplankton ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 139-142.
- [15] Liu L H, Zuo T, Chen R S, Wang J. Community structure and diversity of phytoplankton in the estuary of Yangtse River in Autumn. *Marine Fisheries Research*, 2007, 28(3): 112-119.
- [16] Li K Z, Huang L M, Zhang J L, Yin J Q, Luo L. Characteristics of phytoplankton community in the Pearl River Estuary during saline water intrusion period. *Journal of Tropical Oceanography*, 2010, 29(1): 62-68.
- [17] He Q, Sun J, Luan Q S, Yu Z M. Phytoplankton in changjiang estuary and adjacent waters in winter. *Marine Environmental Science*, 2009, 28(4): 360-365.
- [18] Liu D Y, Sun J, Zhang L Y. Structural characteristics of phytoplankton community during harmful algae bloom in Jiaozhou bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1963-1966.
- [19] 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.

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] 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 (第 4 部分): 海水分析. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 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(A1): 83-85.
- [13] 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.
- [14] 郭沛涌, 沈焕庭. 河口浮游植物生态学研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 139-142.
- [15] 柳丽华, 左涛, 陈瑞盛, 王俊. 2004 年秋季长江口海域浮游植物的群落结构和多样性. *海洋水产研究*, 2007, 28(3): 112-119.
- [16] 李开枝, 黄良民, 张建林, 尹健强, 罗琳. 珠江河口咸潮期间浮游植物的群落特征. *热带海洋学报*, 2010, 29(1): 62-68.
- [17] 何青, 孙军, 栾青杉, 俞志明. 冬季长江口及其邻近水域的浮游植物. *海洋环境科学*, 2009, 28(4): 360-365.
- [18] 刘东艳, 孙军, 张利永. 胶州湾浮游植物水华期群落结构特征. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1963-1966.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 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 70.00 元