

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **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 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因素..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

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

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.

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.

近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化 特征及生态影响

蓝文陆*

(中国环境监测总站南海近岸海域环境监测西站, 广西壮族自治区北海海洋环境监测中心站, 北海 536000)

摘要: 利用 1990 至 2010 年长期监测的结果, 采用有机污染指数法对钦州湾近 20 年有机污染程度进行评价, 分析其变化趋势并探讨其对海湾环境的潜在生态影响。结果表明近 20a 钦州湾有机污染指数变化较大, 内湾变化范围为 -0.55—5.49, 外湾的变化范围为 -0.44—3.96。20 世纪 90 年代内湾和外湾有机污染物程度均显下降趋势, 1999—2003 年显上升趋势, 2003 年以后外湾显平稳波动状态而内湾为显著增加的趋势, 近几年内湾有机污染加重到严重污染的程度。径流输入、浮游植物消耗以及水体交换等因子的综合作用是该海湾有机污染变化的主要因素, 也是导致内湾和外湾变化差异的主要原因。海湾有机污染的变化导致富营养化的变化, 有机污染和富营养化程度的变化并没有与浮游植物生物量的变化显著相关, 但内湾近年来急剧加重的有机污染增加了赤潮等生态灾害的风险。内湾有机污染加重也会对水产增殖等产生影响, 需要加大关注和防治。

关键词: 有机污染; 长期变化; 富营养化; 钦州湾

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts

LAN Wenlu*

Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi, Beihai 536000, China

Abstract: Based on the data obtained from 1990 to 2010, concentrations of dissolved oxygen, chemical oxygen demand, inorganic nitrogen, and reactive phosphate in Qinzhou Bay in the past 20 years (1990—2010) were recorded and analyzed to demonstrate the long-term variation of organic pollution level in the bay. Organic pollution index (OPI) was employed to study the organic pollution status, and the potential ecological risk originated from such pollution in the study bay was also been discussed. The result showed that OPI was valuable during last twenty years in the Qinzhou bay. OPI ranged from -0.55 to 5.49 in the inner bay, and ranged from -0.44 to 3.96 in the outer bay, showing a wide variation pattern. Based on the results, the outer bay can be considered as clean or moderately polluted, and the inner bay was moderately polluted as well. Generally, OPI in the outer bay decreased from 1990 to 1999, but increased from 1999 to 2003, and then remained undulatory afterwards. Variation of OPI in the inner bay from 1990 to 2003 was similar to that in the outer bay. The OPI in the inner bay however kept increasing in recent years (2003—2010), and organic pollution status in recent years was serious, which indicated a degradation pattern of the inner bay. Inorganic nitrogen was the most important factor that contributed the variation of OPI, and the effects of reactive phosphate was getting more and more significant in recent years from 2003 to 2010. River input (including the input of the Maolingjiang River and the Qinjiang River), phytoplankton consumption, water exchange as well as the interaction of these factors were the main reasons for the variation

基金项目: 广西自然科学基金(2010GXNSFB013003; 2011GXNSFB018006); 广西科学研究与技术开发计划资助项目(桂科攻 1140002-2-1)

收稿日期: 2011-06-20; 修订日期: 2011-07-11

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

of organic pollution in the Qinzhou bay. The difference organic pollution status in recent years between the inner and the outer bay may be due to the change of such reasons. The variations of organic pollution bay resulted in the variation of eutrophication in the study. And the increasing OPI in recent years explained the increasing phytoplankton biomass from 2003 to 2010 in the bay. Although no significant positive relationship was found between organic pollution and phytoplankton biomass, the increasing organic pollution in the inner bay may trigger some ecological impact, such as algae bloom. The increasing reactive phosphate may finally breach the phosphate limitation in the bay and cause a series of deleterious effects to the aquaculture industry. Organic pollution in the inner bay might also influenced the aquatic product in the study bay.

Key Words: organic pollution; long-term variation; eutrophication; Qinzhou bay

钦州湾是广西的重要海湾之一,该湾由内湾和外湾所构成,中间狭小,内湾有钦江和茅岭江汇入,外湾与北部湾相通,是一个亚热带典型的河口型半封闭海湾。近 30a 来随着海湾周边经济开发建设的迅猛发展及养殖业的日益兴起,钦州湾水体环境状况的变化对海湾的生态环境影响较大^[1-3]。近年来的监测结果表明有机污染是广西近岸海域的主要污染,近岸水质超标因子主要为无机氮、化学需氧量等有机污染物^[4],这导致近年该海湾开始呈现富营养化^[2,5],有机污染开始影响到海湾的生态系统健康。为了解钦州湾水体有机污染状况并掌握其变化趋势,本研究利用从 1990 至 2010 年的监测数据,对 21a 来钦州湾有机污染评价,分析变化趋势及潜在生态影响,为亚热带海湾的生物地球化学研究、环境保护及其合理开发等提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查时间与站位

1990 年至 2010 年,分别在每年的枯水季(3 月)和丰水期(7—8 月)对钦州湾进行综合调查。在钦州湾的内湾和外湾各设置了若干个监测站点。靠岸站点容易受陆源影响而变化较大,湾中间站点相对稳定而更能反应出海湾不同年份的年际变化,故选择在内湾和外湾的中间位置附近站点作为代表性站点。Q1 位于内湾中部,Q2 位于外湾中部(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 5L 的采水器采集。

监测项目选择有机污染物和富营养化的相关因子,包括溶解氧、化学需氧量(COD)、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐等,此外还选择叶绿素 a 用于评估有机污染的生态影响。各要素的采集、处理和分析方法均按照国家标准依据国家《海洋监测规范——海水分析》^[6]进行。其中硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮分别采用镉柱还原法、萘乙二胺分光光度法和次溴酸盐氧化法,无机氮浓度为硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮浓度之和;活性磷酸盐采用磷钼蓝萃取分光光度法;COD 采用碱性高锰酸钾法;叶绿素 a 采用分光光度法。

样品分析过程中分别采取 10% 以上平行双样测定、现场空白、加标回收实验等进行质量控制。低于检测限的项目结果取检测限一半。为较好的表现污染物浓度的年际变化,我们将枯水期和丰水期的监测结果进行平均,作为年平均值。

1.3 有机污染评价方法

有机污染采用有机污染评价指数法 [AI]^[7]进行综合评价:

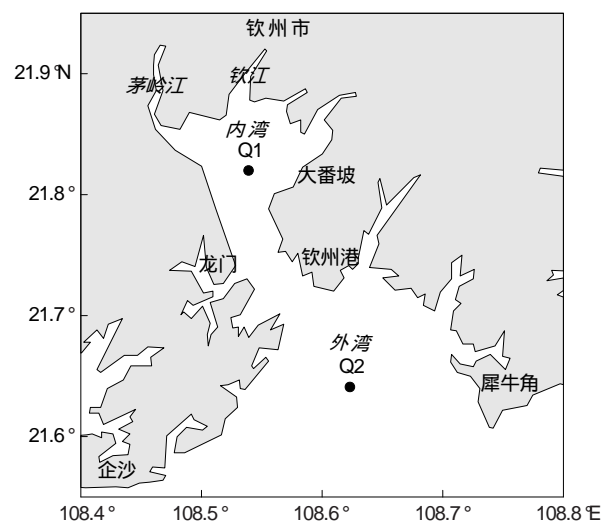


图 1 站点布设

Fig. 1 Location of sampling stations

$$AI = [COD/COD_0 + DIN/DIN_0 + DIP/DIP_0 - DO/DO_0] (mg/L)$$

COD、DIN、DIP 和 DO 分别为水体中化学需氧量、溶解性无机氮、溶解态无机磷和溶解氧浓度; COD_0 、 DIN_0 、 DIP_0 和 DO_0 分别为各项指标的评价标准, 分别采用 3.0、0.10、0.15 和 5.0。

当 $AI < 0$ 为良好水质; $0 < AI < 1$ 为较好水质; $1 < AI < 2$ 为开始受到污染; $2 < AI < 3$ 为轻度污染; $3 < AI < 4$ 为中度污染; $4 < AI$ 为严重污染。

富营养化评价采用富营养化指数[EI]^[7]:

$$EI = [COD (mg/L) \times \text{无机氮} (mg/L) \times \text{磷酸盐} (mg/L)] \times 10^6 / 4500$$

当 $EI < 1$ 为贫营养; $1 < EI$ 为富营养; 值越大, 表明富营养化程度越严重。

1.4 数据处理

调查海区有机污染指数与各环境因子的相互关系采用 Pearson 相关性分析, 均值差异性分析采用配对数据 *t* 检验, $P < 0.05$ 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 主要有机污染物浓度变化

图 2 列出了近 20a 钦州湾内湾和外湾无机氮和化学需氧量浓度的变化。近 20a 钦州湾化学需氧量浓度较低变化范围为 0.27—2.38 mg/L。化学需氧量在不同时期的变化趋势具有较大的变化。1990—1998 年, 内湾和外湾化学需氧量浓度均显现出明显的下降趋势, 而且下降幅度较大。在这期间, 外湾化学需氧量浓度与内湾很接近。1998—2001 年, 内湾和外湾化学需氧量浓度均明显增加, 此后 2001—2005 年浓度下降, 而从 2006 年开始, 化学需氧量浓度又开始增加(图 2)。从 2000 年之后, 随着内湾化学需氧量的明显增加, 内湾明显高于外湾。内湾在 2001 年和外湾在 1990 年化学需氧量超过了一类水质标准, 其余年份内湾和外湾达到一类水质标准。

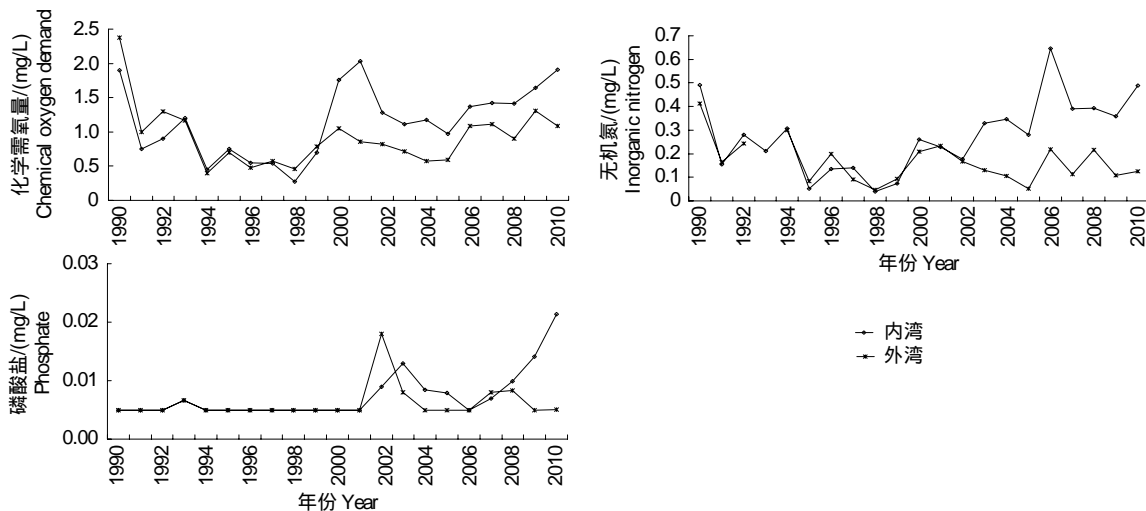


图 2 钦州湾化学需氧量、无机氮和磷酸盐浓度的变化

Fig. 2 Variation of chemical oxygen demand, inorganic nitrogen and phosphate in the Qinzhou bay

近 20a 钦州湾内湾和外湾无机氮浓度变化与化学需氧量浓度变化特征相接近。除了 1990 年之外, 外湾无机氮均能达到一类和二类水质标准, 内湾在 2006—2010 年以及 1990 年无机氮接近四类水, 2006 年甚至超出了四类水质标准。

近 20a 外湾磷酸盐浓度变化较小, 除了 2002 年之外, 外湾磷酸盐浓度主要在检测限附近波动, 浓度均 < 0.10 mg/L(图 2)。2002 年以前, 内湾磷酸盐也均在检测限附近, 和外湾几乎没有差别。但从 2006 年开始, 内湾磷酸盐显示出逐渐增加的趋势, 在最近两年浓度急剧增加而明显高于外湾。除了 2002 年外湾和 2010 年内湾之外, 磷酸盐浓度也均达到一类水质标准。

2.2 有机污染指数变化及有机污染状况

近 20a 钦州湾有机污染指数变化较大,内湾变化范围为 $-0.55\sim 5.49$,外湾的变化范围为 $-0.44\sim 3.96$ 。图 3 列出了 1990—2010 年钦州湾有机污染指数的变化。近 20a 来钦州湾有机污染指数的变化特征与无机氮浓度变化相近。从 1990 年到 1998 年,内湾和外湾有机污染指数逐渐降低,1998 年是近 20a 的最低值,有机污染指数小于 0。在这期间内湾和外湾有机污染指数表现出一致的变化特征且数值很接近。而从 1999 年开始,内湾有机污染指数表现出逐年增加的趋势,2006 年和 2010 年有机污染指数大于 5.0;而外湾有机污染指数主要表现在 $-0.4\sim 2.0$ 之间波动变化特征,因而内湾明显高于外湾。

从有机污染指数对应的有机污染状态,总体上近 20a 外湾处于较好水质和开始受到污染状态,而内湾多处于轻度污染状态。外湾水体除了在 1990 年属中度污染之外,其它年份水质受有机污染程度较轻。20 世纪 90 年代内湾的有机污染情况与外湾非常接近,而到了 2000 年以后,内湾的有机污染开始加重,与外湾的差距开始越来越大。除了 1995—1999 年期间外,内湾均为轻度污染以上,近 5a 内湾有机污染达到接近和超过严重污染的程度。

2.3 富营养化指数的变化

1990 年至 2010 年钦州湾内湾和外湾水体富营养化指数的变化范围分别为 $0.04\sim 4.44$ 和 $0.02\sim 1.09$ 。除了 1990 年之外,上世纪 90 年代内湾富营养化指数较小(<0.5),而从 2000 年开始,富营养指数开始增加,而在最近 3a 急剧增加,到 2010 年达到 4.44。外湾最高富营养化指数出现在 1990 年,而其它年份富营养化指数较小(<0.5),变化也较小(图 4)。

1990 年外湾富营养化指数为 1.09,水体达到轻度富营养化状态,除此之外钦州湾外湾富营养化指数结果均小于 1.0,处于贫营养状态。内湾在 1990 年至 2007 年除了 1990 年和 2003 年达到轻度富营养化之外,其余年份水体也处于贫营养状态。而 2008 年至 2010 年内湾均达到富营养化状态,2010 年富营养化程度较高。

2.4 叶绿素 a 浓度的变化

2003 年之前,钦州湾叶绿素 a 浓度较低,而 2003 年以后,叶绿素 a 浓度开始增加。图 5 列出了 2003 年至 2010 年丰水期叶绿素 a 的变化情况。2003 年,内湾和外湾叶绿素 a 浓度较低($<0.4\text{mg}/\text{m}^3$)且内湾和外湾浓度没有差异,而从 2003 年以后内湾和外湾叶绿素 a 浓度明显增加,浓度基本上都在 2.0 以上。内湾最高浓度出现在 2009 年丰水期,而外湾最高浓度出现在 2006 年丰水期,其浓度分别为 $8.23\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $8.44\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2.5 有机污染指数与环境因子的相关性

表 1 列出了钦州湾有机污染指数及富营养化指数

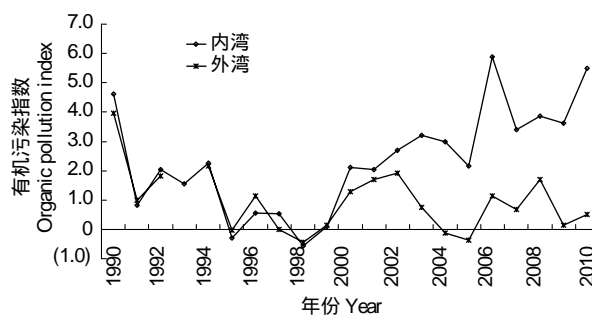


图 3 钦州湾有机污染指数的变化

Fig. 3 Variation of organic pollution index in the Qinzhou bay

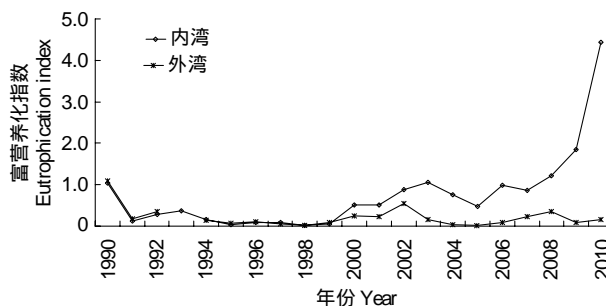


图 4 钦州湾富营养化指数的变化

Fig. 4 Variation of eutrophication index in the Qinzhou bay

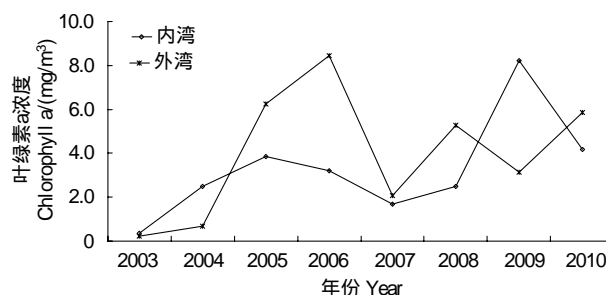


图 5 钦州湾丰水期叶绿素 a 浓度的变化

Fig. 5 Variation of chlorophyll a in the Qinzhou bay

和主要环境参数之间的相互关系。内湾、外湾有机污染指数和 COD、无机氮均有非常显著的正相关性,而与溶解氧、叶绿素 a 没有显著的相关性。有机污染指数与富营养化指数也有非常显著的正相关性。内湾有机污染指数与磷酸盐有正相关性,而外湾有机污染指数与磷酸盐没有显著相关性。有机污染指数与无机氮的相关性最显著,其次为富营养化指数及 COD(表 1)。

表 1 钦州湾有机污染指数及富营养化指数与环境参数之间的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between organic pollution index and other environmental factors in the Qinzhou bay

项目 Item	溶解氧 Dissolved oxygen	COD Chemical oxygen demand	无机氮 Inorganic nitrogen	磷酸盐 Reactive phosphate	富营养化指数 Eutrophication index	叶绿素 a Organic pollution index
内湾 Inner bay	0.120	0.715 **	0.984 **	0.543 *	0.723 **	0.222
外湾 Outer bay	-0.282	0.627 **	0.962 **	0.284	0.861 **	0.256

$n=21$; *, $P<0.05$; **, $P<0.01$

3 讨论与结论

3.1 钦州湾水质有机污染变化特征及内湾和外湾的差异

研究表明近 20a 钦州湾有机污染在不同时期表现出不同的变化特征。20 世纪 90 年代,内湾和外湾显现出有机污染指数逐渐降低的特征,从 1990 年的中度污染和重污染减轻到 1998 年的良好水质(图 3)。在这一时期钦州湾磷酸盐较低且变化较小,溶解氧也都在较小的范围内(6—8mg/L)波动,对有机污染指数的影响较小。从图 2 和图 3 的比较可以看出,有机污染指数的变化与化学需氧量及无机氮的变化特征接近,相关性分析结果也显示了有机污染指数与 COD 及无机氮相关性最显著(表 1),表明了这时期有机污染指数主要是由化学需氧量和无机氮所决定。钦州湾化学需氧量和无机氮主要是受径流输入的影响^[1,5]。20 世纪 80 年代末,工业发展导致的环境问题在广西开始凸显,因而 90 年代广西开始加大对流域污染综合整治^[4]。在这期间,钦江和茅岭江流域综合整治以及沿河企业的治理,钦江和茅岭江径流输入污染物的减少,是导致 20 世纪 90 年代有机污染逐渐减轻的主要原因。

从 2000 年开始,研究结果表明钦州湾有机污染指数开始表现为逐渐增加的特征,尤其是内湾有机污染指数增加较大近年来已达到较重污染状态。这一时期随着钦江和茅岭江流域和海湾周围经济的新一轮发展,尤其是 2006 年广西北部湾经济区的成立,流域污染物开始复杂化及排放量的增加,促使了钦州湾有机污染的加重。入海污染源调查结果显示从 2001 年到 2006 年广西入海有机污染和营养盐显现出逐年增加的趋势,而从 2006 年开始随着节能减排的推进以及沿海污水处理厂的建设使用,化学需氧量和营养盐河流入海总量显总体下降的特征,但 2010 年又有所回升^[4]。钦州湾内湾在 2001—2010 年的变化特征与入海有机污染物和营养盐总量变化特征具有较好的吻合,外湾有机污染指数在最初几年也表现出了明显逐年增加的趋势,这再次表明了径流污染物输入是钦州湾有机污染变化的主要影响因素。

然而从 2004 年开始,外湾有机污染指数开始不随着内湾的变化相一致,内湾仍显上升趋势而外湾开始下降,此后内湾和外湾的有机污染变化趋势产生明显差异,内湾继续加重而外湾处在较低的污染程度波动。从图 2 磷酸盐的变化可以看出,在这个转折时期,正好是海湾磷酸盐补充的位置,磷酸盐从之前的无法检出增加到接近 0.02mg/L(相对于 0.65mol/L 的水平),无机氮和磷酸盐的原子比也降低到 20.6。某个营养元素的缺乏往往会限制浮游植物的生长和繁殖^[8-9],磷酸盐浓度 $<0.1\text{mol/L}$, $\text{N/P}>22$ 被认为是磷限制的限值^[5,11],磷限制是钦州湾的一个常见现象^[1,5,10]。20 世纪 90 年代初,虽然内湾和外湾有机污染程度均较为严重,然而由于磷酸盐的匮乏(图 2),使得钦州湾浮游植物的生长受到较大的限制。在这期间,钦州湾浮游植物的生物量很低^[1,5],叶绿素 a 浓度基本上都小于 0.4mg/m³。较少的浮游植物使得在从内湾到外湾的输送过程中,有机污染物和营养盐被消耗很少,从而导致了这期间内湾与外湾化学需氧量、无机氮和有机污染很接近。而从 2003 年开始随着内湾磷酸盐的增加及氮磷比的降低,这时期磷限制得到一定程度解除,使浮游植物得到较大增加,叶绿素 a 浓度增加了 10 倍以上(图 5)。由于内湾浮游植物的大量增加,使得无机氮从径流输入到内湾时候

就开始不断被消耗,到外湾后又被外湾大量浮游植物的消耗,因而到外湾时有机污染处在较轻的程度。

钦州湾由内湾、外湾以及中间的狭窄水道组成,近年来由于钦州湾港口和沿海工业的迅速发展,填海建设的增多对海湾的水体交换产生影响。内湾与外湾水体交换的减弱,内湾受累积作用及径流不断输入的影响,使得有机污染水平在近几年中明显高于外湾。因而径流污染物输入、浮游植物消耗以及水体交换等环境的综合作用,是近 20a 来钦州湾有机污染变化特征及内外湾差异形成的主要原因。

3.2 海湾有机污染变化的潜在生态影响

研究结果表明近 20a 钦州湾有机污染指数的变化与富营养化指数的变化特征具有较好的相吻合性(图 3 和图 4),富营养化程度与有机污染程度具有很好的相关性(表 1),表明了海湾有机污染的变化对海湾水体富营养化具有显著的影响。有机污染主要是由化学需氧量、无机氮和磷酸盐所决定,化学需氧量也可以通过营养盐再生转换为营养盐^[1,5]。有机污染潜在的生态影响有多方面,而对水体富营养化和浮游植物的影响是其比较直接而显著的影响之一。在有机污染程度很轻的 20 世纪 90 年代,富营养化程度也轻(图 4),钦州湾叶绿素 a 浓度较低^[1-3]($<0.6\text{mg}/\text{m}^3$),一直到 2003 年叶绿素 a 浓度仍保持在较低的水平(图 5),表明了这时期浮游植物生物量较低。

从 2004 年开始,叶绿素 a 迅速大幅增加,这与 2000—2003 年有机污染程度逐年增加有着较大的联系,表明了近年来有机污染的增加对浮游植物生物量有着一定的潜在影响。营养盐是浮游植物生长的生源要素,富营养化程度的加重往往会引起浮游植物生物量的增加^[8-9]。有机污染指数与富营养化指数之间具有很好的相关性(表 1),表明有机污染的变化显著影响着富营养化程度的变化。2000—2003 年有机污染程度逐年增加也导致了富营养化指数的相应增加(图 5),营养盐和富营养化程度的增加给浮游植物生长带来了有利条件,因而有效提高了这时期的生物量。此后浮游植物生物量的变化与有机污染指数变化特征相关性不强,这很可能是浮游植物生长受多重因素的制约^[3,11],富营养化虽然其生长的必要条件之一,但其仍需要在其它条件均适宜的情况下才会急剧生长,甚至大量增长而引发赤潮^[12-13]。

由于受磷限制的影响,1991—2003 年浮游植物生物量较低^[1-3]。然而自 2003 年起海湾磷酸盐浓度的增加,磷限制较大程度的缓解,这为浮游植物大量生在提供了一定基础。在这种前提下,近几年内湾磷酸盐和无机氮的不断补充,有机污染和富营养化程度的不断加重,使得内湾发生赤潮的风险明显增加。除了营养盐和温度之外,透明度、水体波动、降雨及微量元素等也与赤潮的发生有着较大的关系。钦州湾春夏降雨较多,钦江和茅岭江带来丰富的微量元素,除了河口之外水体相对波动较小。除了丰水期河口之外,内湾悬浮物浓度主要在 5—20mg/L 之间,水体透明度在 1—3m 之间,这些条件为赤潮的发生提供了较大的适宜环境,因而有机污染和富营养程度的加重,将增加赤潮爆发的潜在可能性。在 2008 年以前,钦州湾很少有见赤潮的报道,但近年来钦州湾春季和夏季藻华现象也开始有所呈现^[5],且其爆发频率开始增大。近年来内湾有机污染和富营养化均处在较严重程度,内湾不断出现的赤潮与有机污染和富营养化不无关系。因而内湾近年来有机污染和富营养化程度的加重,增加了赤潮的风险和隐患,在条件适宜的情况下更容易爆发赤潮,需要更多的关注。磷酸盐的增加是其中最主要的因素,对该海湾富营养化的防治须加强对磷酸盐输入的防治,以减少赤潮等生态灾害的风险。

除了对浮游植物生物量和赤潮风险的影响之外,有机污染还会引起弧菌等病原菌的增加^[14],同时引起经济生物对病原菌的易感性,从对贝类、对虾等经济生物产生影响。钦州湾内湾是一个重要的海水增养殖区,因而近年来内湾不断加重的有机污染很可能会影响到海区及周围的养殖产生影响,需要加强对海湾有机污染的关注和防治。

References:

- [1] Wei M X, Lai T H, He B M. Change trend of the chemical items in Qinzhou Bay in the last twenty years I. Nutrient condition in usual discharged period. *Marine Environmental Science*, 2002, 21(3): 49-52.
- [2] He B M, Wei M X. 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] 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.
- [4] Environmental Quality Report of the Guangxi Coastal Waters. Beihai: Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi, 2011.
- [5] Lan W L, Peng X Y. Eutrophication status and its impact on phytoplankton biomass in the Maowei Sea. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2011, 27(2): 109-112.
- [6] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. The specification for marine monitoring-Part 4: seawater analysis. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [7] Kan W J, Zhang Q F, Hu Y Z, Shi H M, Bo W J. Preliminary analysis on the state of organic pollution and eutrophication in Bohai Bay. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(2): 172-175.
- [8] Shi H M, Yin C L, Zhang Q F, Xu Y S, Wang B. Analysis of variations and structure characteristic of nutrients in Red-tide Monitoring Area of Bohai Bay in recent three years. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(2): 246-249.
- [9] Chi D P, Guo X Y, Zhong S H. Change and structure of nutrient status in red tide-monitoring area of Nan'ao in last five years. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(4): 564-569.
- [10] 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.
- [11] Turner R E, Rabalais N N, Justic D, Dortch Q. Future aquatic nutrient limitations. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46(8): 1032-1034.
- [12] Kan W J, Zhang Q F, Shi H M, Xu Y S, Wang B, Jiang H Y. Study on variation trend of nutrient salts in Bohai Bay. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(2): 238-241.
- [13] Zhang J, Zhang Y B, Zhang K, Zhang J B, Sun S L. Evaluation on temporal and spatial distribution of nutrients and potential eutrophication in Shenzhen Bay. *Ecology and Environment*, 2010, 19(2): 253-261.
- [14] Lin L, Ding M L, Sun J J, Zhu J Z, Li G Y. Organic pollution enhance susceptibilities of *Penaeus chinensis* to pathogenic bacteria. *Acta Oceanologica Sinica*, 1998, 20(1): 90-93.

参考文献:

- [1] 韦蔓新, 赖廷和, 何本茂. 钦州湾近 20 a 来水环境指标的变化趋势 I. 平水期营养盐状况. *海洋环境科学*, 2002, 21(3): 49-53.
- [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.
- [3] 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.
- [4] 广西近岸海域 2006—2010 年环境质量报告. 北海: 广西北海海洋环境监测中心站, 2011.
- [5] 蓝文陆, 彭小燕. 茅尾海富营养化程度评价及其对浮游植物生物量的影响. *广西科学院学报*, 2011, 27(2): 109-112.
- [6] 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, 2007.
- [7] 阚文静, 张秋丰, 胡延忠, 石海明, 薄文杰. 渤海湾水体富营养化与有机污染状况初步评价. *海洋通报*, 2010, 29(2): 172-175.
- [8] 石海明, 尹翠玲, 张秋丰, 徐玉山, 王彬. 近年来渤海湾赤潮监控区营养盐变化及其结构特征分析. *海洋环境科学*, 2010, 29(2): 246-249.
- [9] 池缔萍, 郭翔宇, 钟仕花. 近 5a 来深圳大鹏湾南澳赤潮监控区营养盐变化及其结构特征. *海洋环境科学*, 2010, 29(4): 564-569.
- [10] 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.
- [12] 阚文静, 张秋丰, 石海明, 徐玉山, 王彬, 江洪友. 近年来渤海湾营养盐变化趋势研究. *海洋环境科学*, 2010, 29(2): 238-241.
- [13] 张静, 张瑜斌, 周凯, 张际标, 孙省利. 深圳湾海域营养盐的时空分布及潜在性富营养化程度评价. *生态环境学报*, 2010, 19(2): 253-261.
- [14] 林林, 丁美丽, 孙舰军, 朱谨钊, 李光友. 有机污染提高对虾对病原菌易感性研究. *海洋学报*, 1998, 20(1): 90-93.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

- Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)
- Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)
- Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)
- Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)
- Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)
- Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)
- Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security: a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)
- Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)
- Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)
- Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)
- Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)
- Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)
- Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)
- Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)
- Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)
- Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)
- Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)
- Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)
- Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)
- Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)
- Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)
- Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

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 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
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

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
许 可 证 京海工商广字第 8013 号

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 FENG Zong-Wei
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 70.00 元