

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **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 6 期 2013 年 3 月 (半月刊)

目 次

专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述 高广磊, 信忠保, 丁国栋, 等 (1675)
- Agent 农业土地变化模型研究进展 余强毅, 吴文斌, 杨 鹏, 等 (1690)

个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布 王 彬, 秦宇博, 董 婧, 等 (1701)
- 口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达 刘海映, 刘连为, 姜玉声, 等 (1713)
- 中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系 朱万龙, 贾 婷, 黄春梅, 等 (1721)
- 亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响 季晓燕, 江 洪, 洪江华, 等 (1731)
- 浙北地区常见绿化树种光合固碳特征 张 娇, 施拥军, 朱月清, 等 (1740)
- 两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征 郭春燕, 李晋川, 岳建英, 等 (1751)
- 基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 等 (1762)
- 基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究 周志军, 尚 娜, 刘 静, 等 (1770)
- 圈养尖吻蝾螈雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系 胡明行, 谭群英, 杨道德 (1778)
- 应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇 郑思宁, 黄居昌, 叶光禄, 等 (1784)
- 青蒿素对外生菌根真菌化感效应 李 倩, 袁 玲, 王明霞, 等 (1791)

种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用 李纯厚, 林 琳, 徐姗姗, 等 (1798)
- 上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响 孙鲁峰, 柯 昶, 徐兆礼, 等 (1811)
- 半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例 彭 羽, 高 英, 冯金朝, 等 (1822)
- 太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应 金冠一, 赵秀海, 康峰峰, 等 (1832)
- 重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应 王轶浩, 王彦辉, 于澎湃, 等 (1842)

景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应 岳文泽, 徐丽华 (1852)
- 外来树种桉树引种的景观生态安全格局 赵筱青, 和春兰 (1860)
- 基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究 施开放, 刁承泰, 孙秀峰, 等 (1872)
- 大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响 严 陈, 许 静, 钟文辉, 等 (1881)

资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价 柯丽娜, 王权明, 孙新国, 等 (1889)
- 亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究 闫家国, 齐占会, 田梓杨, 等 (1900)
- 黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征 张丽娜, 李 军, 范 鹏, 等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应..... 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性..... 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应..... 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

湿地自然保护区保护价值评价方法..... 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征..... 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征..... 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化..... 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说: 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

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/stxb201012311883

李纯厚, 林琳, 徐姗楠, 戴明, 黄洪辉, 杜飞雁, 刘永, 齐占会. 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用. 生态学报, 2013, 33(6): 1798-1810.
Li C H, Lin L, Xu S N, Dai M, Huang H H, Du F Y, Liu Y, Qi Z H. Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1798-1810.

海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用

李纯厚*, 林琳, 徐姗楠, 戴明, 黄洪辉, 杜飞雁, 刘永, 齐占会

(农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东省渔业生态环境重点开放实验室,
中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

摘要: 根据海洋生态系统的压力-结构-响应框架模型, 从压力指标、结构指标、响应指标等几个方面构建了海湾生态系统健康评价的指标体系, 提出了基于 GIS 的海湾生态系统健康综合指数法。以春季大亚湾海洋生态系统为例进行实证研究。结果表明: 大亚湾海湾生态系统春季的健康综合指数平均值为 0.57 ± 0.08 , 从总体看来, 生态系统健康状态处于“较好”水平, 浮游植物丰度、浮游植物多样性和生态缓冲容量是其主要健康负面因子, 健康状况可能面临着向“临界”状态转化的危险。实证研究表明该方法适用性强、结果客观准确、形象生动, 是一种值得推广的定量评价方法。

关键词: GIS; 健康评价; 春季; 空间插值法; 大亚湾

Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay

LI Chunhou*, LIN Lin, XU Shannan, DAI Ming, HUANG Honghui, DU Feiyan, LIU Yong, QI Zhanhui

The Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

Abstract: Bay ecosystem health, recently, has faced a growing interference and disturbance by anthropogenic activities, which has also caused challenges to ecosystem management. Ecosystem health assessment, a new methodology of ecosystem assessment, could obtain the current situation both of ecosystem structure and function and provide a great of necessary information for ecosystem management. An integrated assessment methodology for bay ecosystem health was established based on geographical information system (GIS) technology, which was on basis of a “pressure-structure-response” frame model for marine ecosystem and an ecosystem health assessment indicator system constructed by external pressure, ecosystem structure and response parameters. This paper also presented a case study of Daya bay in spring by employing GIS technology.

The results showed that the average ecosystem health integrated index was 0.57 in Daya Bay ecosystem in spring. Detailedly, organic pollutant index ranged from 0.36 to 1, with the average value at 0.87, was at “very good” level of Daya Bay ecosystem. Eutrophic level index value ranged from 0.17 to 1, with the average of 0.77, indicated “better” level of the ecosystem. Furthermore, phytoplankton abundance index was at a “worse” level because of the ranges from 0.33 to 1 and the average of 0.21. Zooplankton biomass index ranged from 0.16 to 1, with the average of 0.88, suggested the ecosystem was at a “very good” level. Zoobenthos biomass index was at “critical state”, as the index value ranged from 0

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项资金项目(2005DIB3J020); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(中国水产科学研究院南海水产研究所, 2007ZD003, 2010TS13); 广东省重大科技计划项目(2009B030600002); 国家自然科学基金项目(31100362); 热带海洋环境国家重点实验室(中国科学院南海海洋研究所)开放课题项目(LT01106)

收稿日期: 2010-12-31; 修订日期: 2011-06-13

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

to 1 and the average value at 0.59. Moreover, phytoplankton diversity index was also “critical state” level, as the index ranged from 0.39 to 0.75 and the average of 0.55. Primary productivity index, ranged from 0.21 to 1 and the average of 0.77, illustrated the “better” level of the ecosystem. However, ecological buffer capacity index was at a “worst” level, as the index value ranged from 0 to 0.39 and the average value of 0.06. Resumptively, spatial distribution of the assessed sea area could be divided into three zones according to the grade of integrated assessment index, namely “good health zone”, “critical health zone” and “bad health zone”. The percentages of three zones were 46.56%, 47.97% and 5.47%, with the average integrated health index of 0.64, 0.54 and 0.35, respectively.

In general, the status of the Daya Bay ecosystem health was at a “better” level according to the above indexes. However, the health status of the ecosystem was potential to change to “critical state” by the negative influences by factors including phytoplankton abundance, phytoplankton diversity and buffer capacities of the ecosystem. The “bad health zone” in the Daya Bay ecosystem distributed at or near the area with the intensive anthropogenic activity. Consequently, the special distribution of Daya Bay ecosystem health status was mostly affected by anthropogenic activity around the bay. The established methodology has been ultimately proved to be a valuable quantitative assessment method and to be worth widely popularizing in marine ecology due to the characteristics of wide applicability, high accuracy and good expression.

Key Words: GIS; health assessment; spring; spatial interpolation; Daya Bay

海湾是陆、海相互作用以及人类干扰活动的强烈承受区域,是环境变化的敏感带和生态系统的脆弱带,因而海湾生态系统是海洋生态学家、环境学家尤为关注的区域,也是可持续发展研究的优先区域^[1]。海湾生态系统健康评价作为区域生态环境评价的一种新方法,能够客观反映海湾生态系统的总体特征,探索出生态系统各个层次存在的问题和隐患,反映海湾生态系统为人类社会提供生态系统服务的质量和可持续性^[2]。目前我国海湾生态系统健康评价还处于实验和摸索阶段,评价方法主要有物种指示法和结构功能指标体系法,且对评价指标较多的是侧重于定性描述,定量研究案例较少,提出的综合评价模式也没有得到普遍公认^[3-8]。

地理信息系统(GIS)具有很好的空间数据处理和分析功能,空间插值是其重要的功能之一。空间插值法可以用已知的空间数据预测未知空间的数据值,使得复杂的地统计方法可以在 ArcGIS 地统计分析模块中实现^[9]。目前,结合空间插值方法进行海湾生态系统健康评价的研究未见报道。因此,本文根据 2005 年 3 月的现场调查资料,应用空间插值运算进行大亚湾海湾生态系统健康评价,以期用生态学原理管理海湾,达到环境与资源的健康、协调发展和可持续利用。

1 材料与方法

1.1 研究区域

大亚湾(113°29'42"—114°49'42"E、23°31'12"—24°50'00"N),位于珠江口东侧,被深圳市大鹏半岛、惠阳市南部沿海及惠东县平海半岛环绕,面积约 600 km²,最大水深为 21 m,平均为 11 m,是我国重要的亚热带物种种质资源库。20 世纪 80 年代初期,大亚湾海域生态系统尚处于良好状况,亚热带海洋生物种质资源极为丰富^[10]。80 年代后期开始,随着海湾周边地区经济大开发,大亚湾的工农业迅速发展,网箱养殖面积成倍扩大,沿岸的城市化进程加速,人类活动变得异常频繁。大亚湾成为我国目前唯一有两座核电站同时运行的典型海湾,其它影响较大的涉海工程还包括:1992 年惠州港建设开展的芝麻州岛大爆破;1994 年马鞭洲 15 万 t 级原油码头和输油首站建设中的马鞭洲中部和南部大爆破工程;以及近年来总投资约 40.3 亿美元,以中海壳牌石化项目为龙头的大亚湾石油化学工业区建设等。过于频繁、不考虑生态系统承载能力的大强度开发和利用,以及酷渔滥捕、海洋环境污染和管理无序已经引起大亚湾生态系统明显的结构变化和功能退化^[11-12]。

1.2 数据来源

2005 年 3 月 15—16 日对大亚湾海域进行了海上综合调查,调查范围和站位设置如图 1 所示。样品采集和分析均按照《海洋监测规范》(GB17378—1998)和《海洋调查规范——海洋生物调查》(GB12763.6—91)中

规定的方法进行。

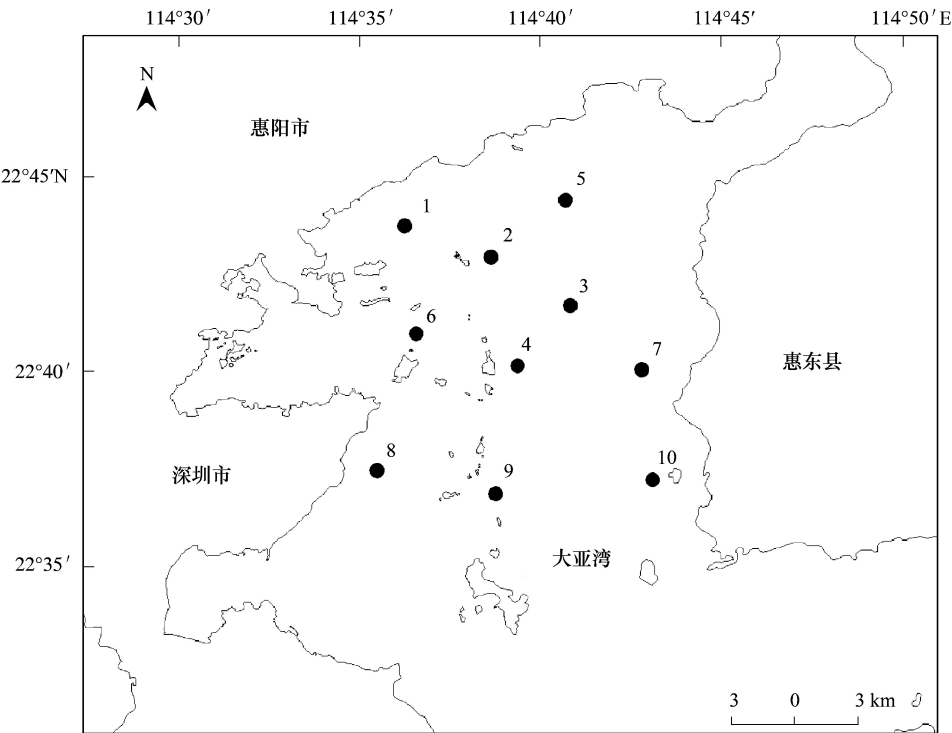


图1 大亚湾海域生态环境调查站位

Fig.1 Sampling stations for the ecological environment investigation in Daya Bay

1.3 GIS 软件与空间分析

软件采用美国环境系统研究所(ERSI)的 GIS 桌面平台系统 ArcGIS 9.2,选用 SPSS 13.0 以及 Excel 2003 作为数据统计分析的工具。利用地理信息系统软件 Arcinfo 9.2 的空间分析模块和地理统计模块^[13-14]提供的 3 种插值方法:反距离加权法(IDW)、径向基函数法(RBF)和普通克里格法(OK)。其中空间插值精度设置为 20 m,栅格数量为 878×920。

1.4 研究方法

1.4.1 大亚湾海湾生态系统健康评价指标体系的构建

根据大亚湾生态系统的特点,利用 OECD(联合国经济合作开发署)建立的 压力-状态-响应(PSR)框架模型,构建大亚湾海湾生态系统健康评价的指标体系如表 1 所示。

表 1 大亚湾海湾生态系统健康评价指标体系

Table 1 Indicator system for ecosystem health assessment in Daya Bay

	指标 Indicator	相对健康状态 Relative healthy state	
		好 Good	坏 Bad
压力指标 (B ₁)	有机污染指数 (C ₁)	低	高
Stress indicator	营养水平指数 (C ₂)	低	高
结构响应指标 (B ₂)	浮游植物丰度 (C ₃) / (×10 ⁴ 个/m ³)	低	高
Structural response indicator	浮游动物生物量 (C ₄) / (mg/m ³)	高	低
	底栖生物生物量 (C ₅) / (g/m ²)	高	低
	浮游植物多样性指数 (C ₆)	高	低
功能响应指标 (B ₃)	初级生产力 (C ₇) / (mgC·m ⁻³ ·d ⁻¹)	高	低
Functional response indicator	系统响应指标 (B ₄)		
System-level response indicator	生态缓冲容量 β _{(TP)(phyt)} (C ₈) / ×10 ⁻⁵	高	低

C_1 有机污染指数 反映水体受有机污染物污染的程度^[15-16]:

$$A = \frac{C_{\text{COD}}}{C'_{\text{COD}}} + \frac{C_{\text{IN}}}{C'_{\text{IN}}} + \frac{C_{\text{IP}}}{C'_{\text{IP}}} - \frac{C_{\text{DO}}}{C'_{\text{DO}}} \quad (1)$$

式中, A 为有机污染指数; C_{COD} 、 C_{IN} 、 C_{IP} 、 C_{DO} 分别为化学耗氧量 (mg/L)、无机氮 (mg/L)、活性磷酸盐 (mg/L)、溶解氧 (mg/L) 的实际测量值; C'_{COD} 、 C'_{IN} 、 C'_{IP} 、 C'_{DO} 分别各因子相应的一类海水水质标准值 (GB3097—1997)。

C_2 营养水平指数 反映水体的营养水平^[15]:

$$E = \frac{C_{\text{COD}} \times C_{\text{IN}} \times C_{\text{IP}}}{1500} \quad (2)$$

式中, E 为营养水平指数; C_{COD} (mg/L)、 C_{IN} ($\mu\text{g/L}$)、 C_{IP} ($\mu\text{g/L}$) 分别为化学耗氧量、溶解态无机氮、活性磷酸盐的实际测量值。

C_6 浮游植物多样性指数 反映生态系统的复杂性和稳定性,选用 Shannon-Weaver 多样性指数^[17]。

$$DI = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad (3)$$

式中, DI 为多样性指数, n_i 为第 i 种的个体数量 (个/ m^3), N 为总生物数量 (个/ m^3), s 为物种总种数。

C_7 初级生产力 根据叶绿素 a 浓度估算^[18]:

$$P = (C_a \times D \times Q) / 2 \quad (4)$$

式中, P 为初级生产力 (mg C/ m^2d), C_a 为叶绿素 a 浓度 (mg/ m^3), D 为光照时间 (h), Q 为同化效率 (mg C · mg⁻¹ Chl · h⁻¹),根据以往调查结果,春季、夏季和秋季分别取值 4.05、4.05 和 3.42。

C_8 生态缓冲容量 是生态系统状态变量的变化量与其所受外部胁迫的变化量之比^[17]:

$$\beta = \frac{1}{\delta(c) / \delta(f)} \quad (5)$$

式中, c 为状态变量, f 为外部胁迫。生态缓冲容量为负值表示生态系统受外部胁迫向反方向演变。大亚湾属于磷为浮游植物生长限制性因子的生态系统,浮游植物是海湾中主要的初级生产者,在海湾生态系统中具有重要的地位。因此可以用浮游植物丰度和活性磷酸盐含量的变化来计算生态缓冲容量($\beta_{(\text{TP})(\text{phyto})}$)的数值。

1.4.2 管理目标的确定

海湾生态系统健康评价的管理目标既可作为生态系统管理的可操作性目标,又是海湾生态系统健康评价的评价标准,因而通过管理目标,可以将海湾生态系统健康评价与生态系统管理的实际紧密结合起来,使健康评价的结果更贴近生态系统管理的实际需要。根据管理目标确定的原则,确定大亚湾海湾生态系统健康评价指标体系中每一个单项指标管理目标(表 2)。由于生态缓冲容量缺乏可参考的管理目标,因此由人类活动尚未明显对大亚湾生态系统造成干扰时的历史数据计算出的量值,作为大亚湾生态系统健康评价的管理目标。本研究选择 1987 年在大亚湾的调查数据^[19],计算得到管理目标。

表 2 大亚湾生态系统健康评价管理目标

Table 2 Management objective for ecosystem health assessment in Daya Bay

指标 Indicator	管理目标 Management objective	参考文献 Reference
有机污染指数 Organic pollutant index	≤ 1	[15-16]
营养水平指数 Eutrophic level index	≤ 0.5	[15-16]
浮游植物丰度 Phytoplankton abundance / ($\times 10^4$ 个/ m^3)	≤ 500	[15-16]
浮游动物生物量 Zooplankton biomass / (mg/ m^3)	≥ 100	[15,20]
底栖生物生物量 Zoobenthos biomass / (g/ m^2)	≥ 100	[15-16, 20]
浮游植物多样性指数 Phytoplankton diversity index	≥ 3.5	[20]
初级生产力 Algal primary productivity / (mgC · m ⁻³ · d ⁻¹)	≥ 600	[15]
生态缓冲容量 $\beta_{(\text{TP})(\text{phyto})}$ Ecological buffer capacity/ $\times 10^{-5}$	≥ 1.72	[19]

采用加权平均型综合指数法进行生态系统健康状况分级^[6, 15], 计算得到海湾生态系统健康综合指数与分指数, 都位于[0, 1]区间内。指数值为 1 说明已达到或优于管理目标, 越接近 1, 表示越接近管理目标, 越接近 0, 表示距离管理目标越远。根据生态系统健康综合指数的数值大小, 将海湾生态系统的健康状态划分为 6 个等级(表 3)。

表 3 海湾生态系统健康水平分级评价标准

Table 3 The evaluation standard for the level of bay ecosystem health state

指数 Index	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	(0.8, 1)	1
健康状态 Health state	很差	较差	临界	较好	很好	最好

1.4.3 插值方法筛选和参数优化

空间插值是整个健康现状评价数据处理中最为关键的步骤, 难度也最大。只有经过严格的空间插值优化, 才能保证插值结果的准确可靠, 才能保证评价结果的真实客观。分别使用反距离加权(IDW)、径向基函数(RBF)、普通克里格(OK)3 种插值方法, 对大亚湾浮游植物丰度数据进行插值参数优化和插值运算, 之后计算误差均值和误差均方根。

1.5 计算指标权重

健康评价指标权重是评价指标相对于评价目标重要性的一种度量, 不同的权重往往会导致不同的评价结果。按照层次分析法确定权重系数的理论和方法, 对大亚湾生态系统健康现状评价的指标权重系数进行计算。运用层次分析法获得各子因子相对于上一级因子层的权重如表 4 所示。

表 4 大亚湾生态系统健康评价指标权重系数

Table 4 Weighting factor of ecosystem health assessment in Daya Bay

项目 Item	压力 Pressure	结构响应 Structural response	功能响应 Functional response	系统响应 System response
指标层 Criterion layer	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
权重 Weighting	0.25	0.25	0.25	0.25
因子层 Factor layer	C ₁ , C ₂	C ₃ , C ₄ , C ₅ , C ₆	C ₇	C ₈
权重 Weighting	0.1924, 0.1031	0.0950, 0.0789, 0.1048, 0.1081	0.1363	0.1814

B₁—B₄, C₁—C₈ 见表 1。

1.6 验证方法

采用交叉验证法来验证插值的效果。对于每一种插值法, 交叉验证分析重复从已知数据集中删除一个采样点的过程, 用剩下的采样点估算被删除点的数值, 并计算误差均值(MEAN)和误差均方根(RMS)。一般来说, 各种插值方法的误差均值绝对值和误差均方根总体最小者, 具有较好的插值效果, 尤其是 RMS 越小越好^[14]。

2 结果与分析

2.1 插值方法的优化

空间插值是整个健康现状评价数据处理中最为关键的步骤, 难度也最大。只有经过严格的空间插值优化, 才能保证插值结果的准确可靠, 才能保证评价结果的真实客观。分别使用反距离加权(IDW)、径向基函数(RBF)、普通克里格(OK)3 种插值方法, 对大亚湾浮游植物丰度数据进行插值参数优化和插值运算, 之后计算误差均值和误差均方根, 结果见图 2 和表 3。

由表 5 知, 3 种方法得到的误差均值绝对值的大小顺序为 OK < IDW < RBF, 误差均方根的大小顺序为 OK < RBF < IDW。无论是误差均值绝对值还是误差均方根, OK 都是 3 种方法中最小的, 可见对于 2005 年 5 月的浮游植物丰度数据而言, OK 是 3 种方法中精确度最高的。因此选择 OK 作为本数据集在健康评价中采用的

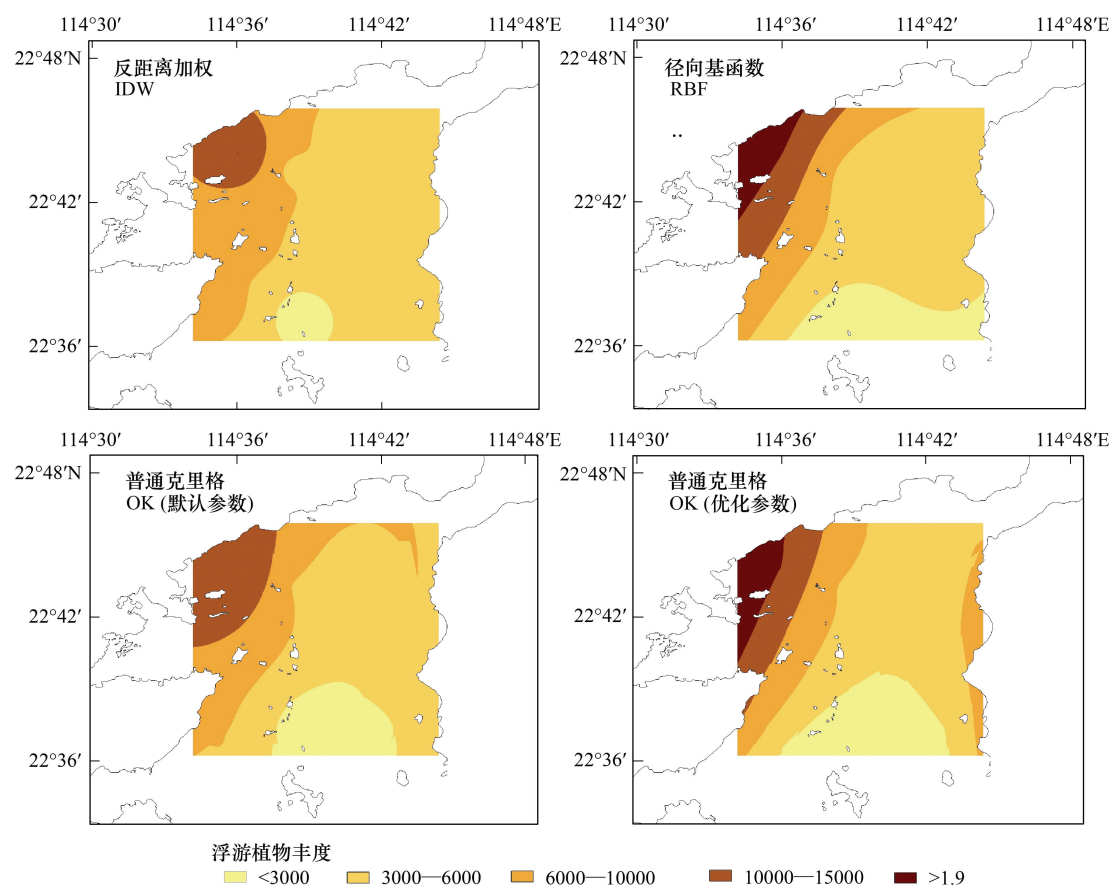


图 2 大亚湾浮游植物丰度的插值结果等值面图

Fig.2 Interpolation result of phytoplankton abundance in Daya Bay

主要插值方法。

表 5 浮游植物丰度数据不同插值方法交叉验证结果的比较

Table 5 Resultant comparison of the cross-validation about the phytoplankton abundance			
插值方法 Interpolation method	最佳参数模型 Parameter model	误差均值 Mean	误差均方根 RMS
反距离加权插值 IDW	Power =2	-137.7	3429
径向基函数插值 RBF	完全规则样条函数	-652.4	2150
普通克里格插值 OK	高斯模型	-94.55	2101

2.2 空间插值结果

各项指标原始数据的基本统计值和选用的插值方法见表 6,插值结果见图 3。由图 3 可以看出各项指标的空间分布趋势:

- (1) 有机污染指数 春季,大亚湾海域有机污染指数呈现从研究海域东北部向西南部逐渐递减的趋势,最高值出现在东北部澳头和哑铃湾口附近海域。
- (2) 营养水平指数 营养水平指数在湾中心偏上的位置出现两个高值中心,低值区散步于海湾周边海域。
- (3) 浮游植物丰度 呈现从湾顶至湾底逐渐递减的趋势,最高值出现在湾顶中部海域。
- (4) 浮游动物生物量 呈现沿岸高,中心和湾口部低的总体趋势,最高值出现在西南部沿海岸域,最低值出现在湾中心和湾口中心部海域。
- (5) 底栖生物生物量 呈现从东西沿岸向湾中部逐渐递减的趋势,最高值出现在东部近岸海域。

(6) 浮游植物多样性指数 最高值出现在西南部近岸海域,最低值出现在哑铃湾口附近海域。

(7) 初级生产力 呈现从东北部向西南部逐渐递减的趋势,最高值出现在西北部近岸海域,最低值出现在东南部近岸海域。

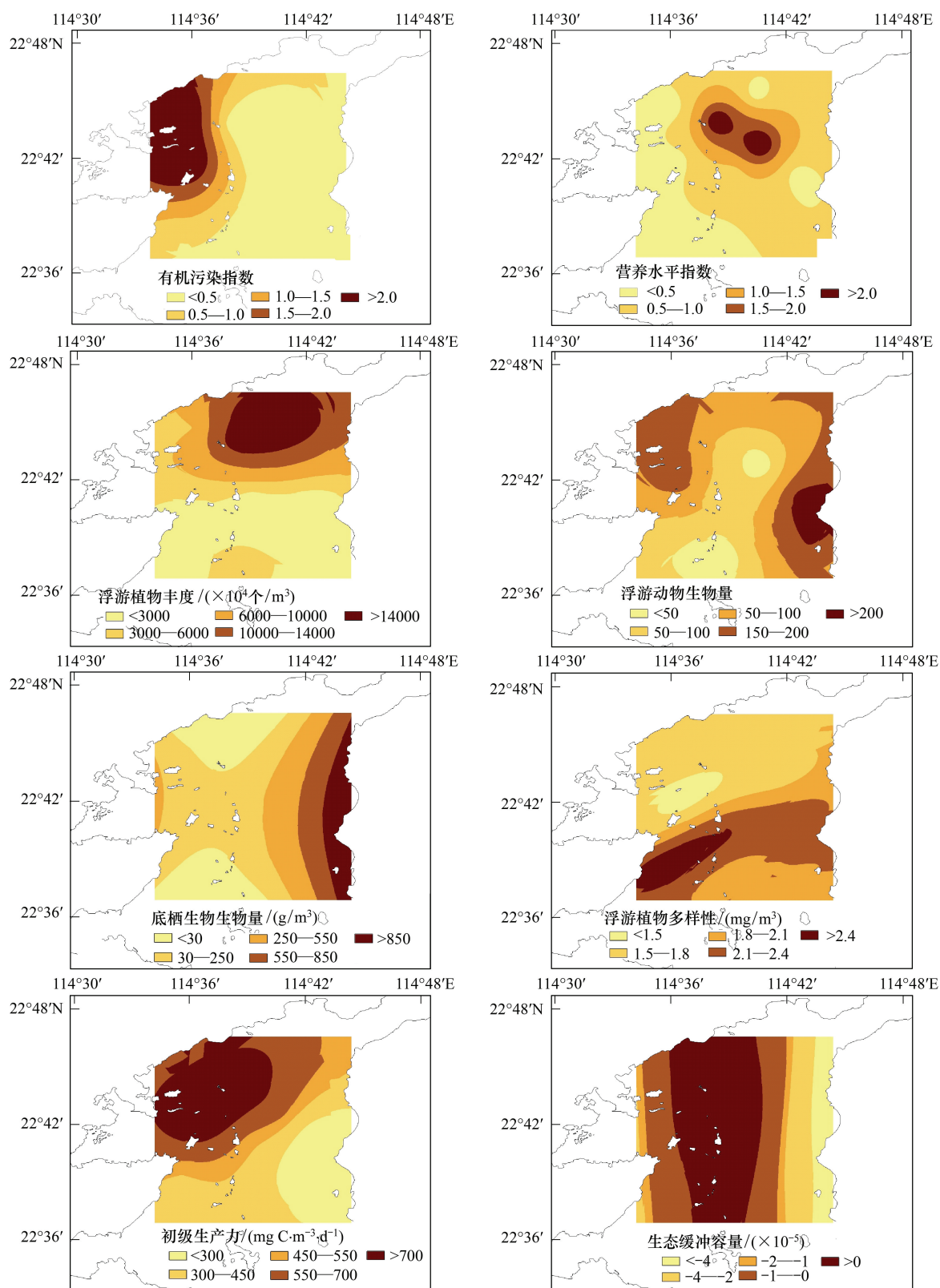


图3 春季各指标插值结果

Fig. 3 Interpolation results of health assessment indicators in spring

(8)生态缓冲容量 呈现从湾中部向东、西部逐渐递减的趋势,在湾中部出现面积广阔的高值区,最低值出现在东部近岸海域。

表 6 春季各项指标原始数据的基本统计值和选用的插值方法
Table 6 Statistics of raw data of Daya Bay and interpolation method in spring

指标 Indicator	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	标准差 SD	插值方法 Interpolation method
有机污染指数 Organic pollutant index	-0.48	2.74	0.66	1.15	RBF
营养水平指数 Eutrophic level index	0.07	3.03	0.83	1.14	RBF
浮游植物丰度 Phytoplankton abundance/($\times 10^4$ 个/ m^3)	280.40	18939.40	6647.49	6579.10	OK
浮游动物生物量 Zooplankton biomass/(mg/m^3)	15.80	219.40	116.40	73.46	OK
底栖生物生物量 Zoobenthos biomass/(g/m^2)	8.50	793.20	232.38	303.77	OK
浮游植物多样性指数 Phytoplankton diversity index	1.33	2.77	1.91	0.45	OK
初级生产力 Algal primary productivity/($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$)	124.70	839.60	525.15	246.60	OK
生态缓冲容量 $\beta_{(\text{TP})}(\text{phyto})$ Ecological buffer capacity/($\times 10^{-5}$)	0.03	0.60	0.19	0.20	OK

2.3 生态系统健康分指数

大亚湾生态系统各单项指标健康分指数的平面分布见图 4。各健康等级的海域,占整个评价海域的面积百分比见表 7。

表 7 各健康等级的海域占整个评价海域的面积百分比
Table 7 Area percentage of sea areas with different health grades

指标 Indicator	面积比 Area ratio					
	很差 Very bad [0, 0.2)	较差 Worse [0.2, 0.4)	临界状态 Critical state [0.4, 0.6)	较好 Better [0.6, 0.8)	很好 Very good (0.8, 1)	最好 Best 1
有机污染指数 Organic pollutant index	0	7.88	11.75	5.55	3.86	70.90
营养水平指数 Eutrophic level index	0.52	12.12	13.33	18.12	22.46	33.46
浮游植物丰度/($\times 10^4$ 个/ m^3) Phytoplankton abundance	65.74	18.67	7.91	3.13	1.85	2.70
浮游动物生物量/(mg/m^3) Zooplankton biomass	0.12	4.07	8.75	11.15	11.11	64.81
底栖生物生物量/(g/m^2) Zoobenthos biomass	20.68	3.45	3.69	4.51	5.99	61.69
浮游植物多样性指数 Phytoplankton diversity index	0	0.18	68.72	31.09	0	0
初级生产力/($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$) Algal primary productivity/ 生态缓冲容量 $\beta_{(\text{TP})}(\text{phyto})$ Ecological buffer capacity	0	11.25	14.59	20.79	13.37	40.01
	87.03	12.97	0	0	0	0

(1)有机污染分指数

统计全体栅格的有机污染健康分指数值,可得春季有机污染分指数在 0.36—1 之间,平均值为 0.87 ± 0.23 ,整体来看属于“很好”等级。从分指数的空间分布来看(图 4,表 7),呈现从评价海域西北部向东南部逐

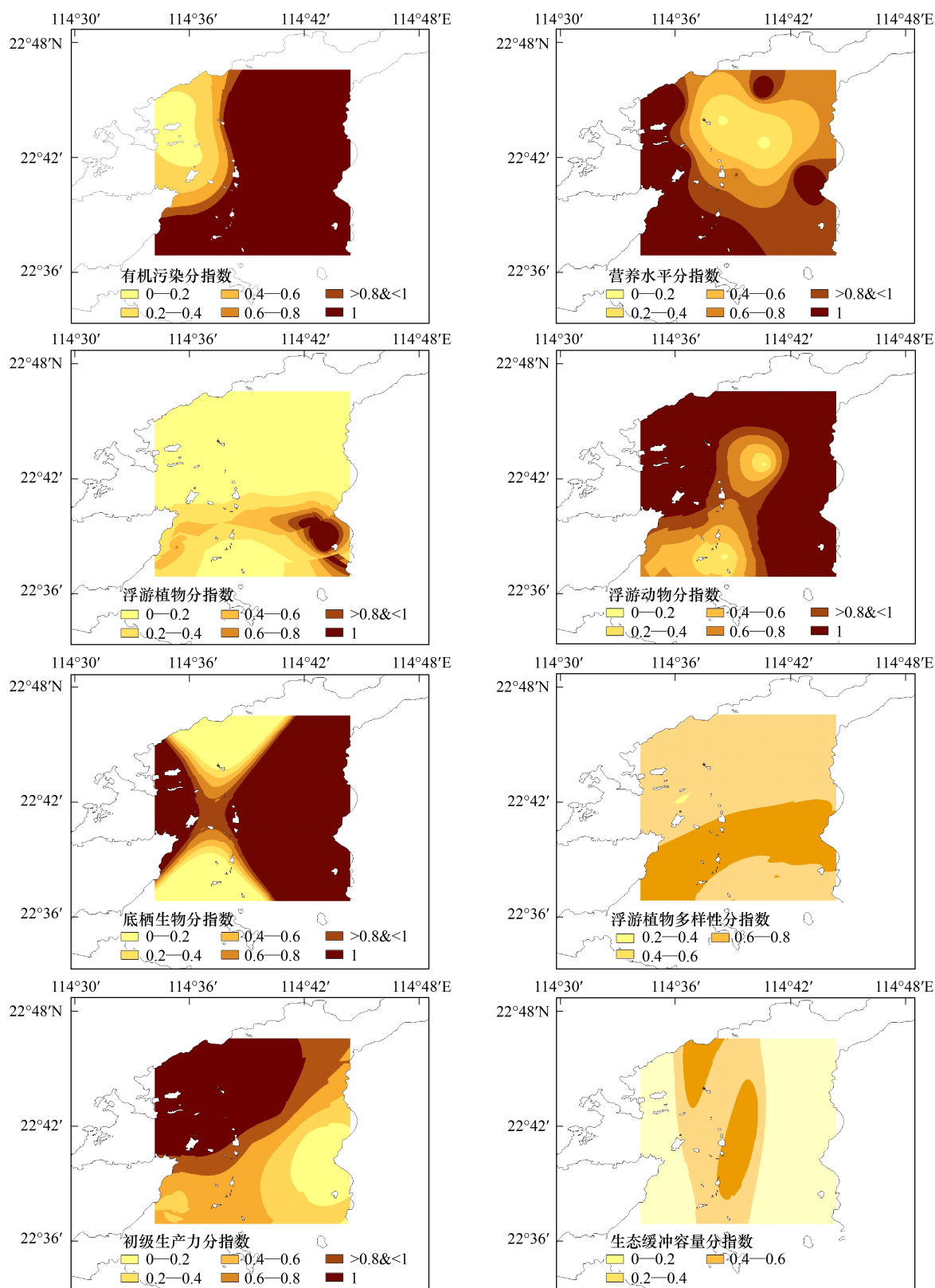


图4 春季各指标健康分指数平面分布图

Fig. 4 Two-dimensional distribution of health fractional indicators in spring

级递增的趋势。有占评价海域面积 70.96% 的区域,分指数为 1,已经达到或优于管理目标,是春季所有指标

中达标率最高的,主要分布在大亚湾东部、南部广阔的海域;健康状况最坏的区域位于西北部澳头附近,处于“较差”等级,面积比为 7.88%。

(2) 营养水平分指数

春季,营养水平分指数在 0.17—1 之间,平均为 0.77 ± 0.25 ,整体属于“较好”等级。分指数的平面分布呈现从湾中心部向周边逐级递增的趋势。有 33.46% 的海域,分指数为 1,处于“最好”等级,散布在研究海域周边近岸;在湾中心部有两个圆形海域,是健康情况最坏的位置,占整体面积的 0.52%,处于“最差”等级。

(3) 浮游植物丰度

健康分指数位于 0.03—1 之间,平均为 0.21 ± 0.23 ,整体的健康状况处于“较差”等级。仅有占总面积 2.70% 的海域,分指数为 1,达到了管理目标,处于“最好”等级,主要分布在大亚湾东南部;有占整体面积 65.74% 的海域,健康分指数低于 0.2,处于“最差”水平,主要分布在大亚湾北半部和湾口中部分;其它各级海域,分布于大亚湾西南部和东南部。

(4) 浮游动物生物量

健康分指数位于 0.16—1 之间,平均为 0.88 ± 0.20 ,整体的健康状况处于“很好”水平。有 64.81% 的海域,分指数为 1,处于“最好”水平,主要分布在大亚湾西北、北部和东部的广阔海域;仅有 0.12% 的海域,分指数低于 0.2,处于“最差”水平,分布在大亚湾中心部和西南部;其它各级海域,也主要分布在中心部和西南部。

(5) 底栖生物生物量

健康分指数位于 0—1 之间,平均为 0.59 ± 0.22 ,整体的健康状况处于“临界”水平。分指数为 1,健康水平达到“最好”的海域占 61.69%,分布于西部、东部的广阔海域;20.68% 的海域分指数低于 0.2,处于“最差”水平,大致分布于西北和东北部;其它各级海域,主要集中在湾中心偏西部,中央列岛附近海域。

(6) 浮游植物多样性指数

健康分指数位于 0.39—0.75 之间,平均为 0.55 ± 0.09 ,整体的健康状况处于“临界”水平。未有海域达到管理目标,健康等级最高为“临界”,占整体面积的 31.09%,位于从湾西南向西北沿伸的条状海域;也未有处于“最差”水平的海域,最低等级为“较差”,占总面积的 0.18%,位于湾西北部,哑铃湾口以东海域;有高达 68.72% 的海域,处于“临界”水平,主要位于大亚湾北部和东南部广阔海域。

(7) 初级生产力

健康分指数位于 0.21—1 之间,平均为 0.77 ± 0.24 ,整体的健康状况处于“较好”水平。健康水平大致呈现从西北向东南部逐级递减的趋势;有 40.01% 的海域达到管理目标,主要位于西北部广阔海域;未有处于“最差”水平的海域,最低等级为“较差”,占总面积的 11.25%,位于东南部近岸海域。

(8) 生态缓冲容量

健康分指数位于 0—0.39 之间,平均为 0.06 ± 0.10 ,整体的健康状况是所有指标最差的,处于“最差”水平。健康水平的最高等级为“较差”,占总面积的 12.97%,主要分布在湾中部海域。分指数低于 0.2 的海域,占评价海域面积的 87.03%,分布在湾西部和东部海域。

各指标健康分指数平均数的柱状图如图 5 所示。

如果健康分指数平均数低于 0.4,则它对应的健康等级将低于“临界水平”,会对生态系统的健康造成直接的负面影响,所以将健康分指数平均数低于 0.4 的指标,确定为影响生态系统健康的主要负面因子。同理,如果健康分指数平均数高于 0.6,则它对应的健康等级

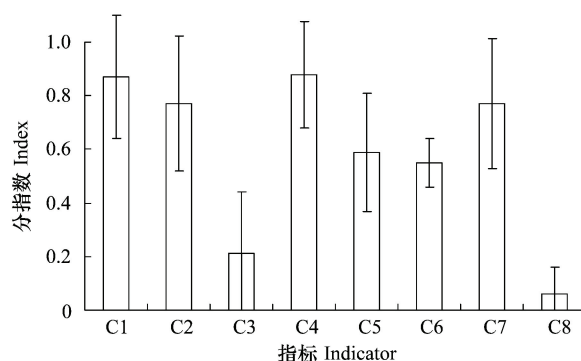


图 5 春季大亚湾生态系统各指标平均健康分指数柱状图

Fig. 5 Block diagram of average health fractional indicator in spring

将高于“临界水平”,会对生态系统的健康产生正面影响,所以将健康分指数平均数高于 0.6 的指标,确定为影响生态系统健康的主要正面因子。由图 5 可见分指数平均数低于 0.4 的只有浮游植物丰度(C_3)和生态缓冲容量(C_8),这两项指标是影响春季大亚湾生态系统健康状况的主要负面因子。有 4 项指标,分指数平均数超过 0.6:有机污染(C_1)、营养水平(2)、浮游动物生物量(C_4)和初级生产力(C_7),是影响春季健康状况的主要正面因子。

2.4 春季大亚湾生态系统健康综合指数

春季大亚湾海域生态系统健康综合指数的运算结果见图 6。春季健康综合指数在 0.27—0.71 之间,全部栅格的平均数为 0.57 ± 0.08 ,所以从总体来看,大亚湾生态系统健康处于“临界”水平。

从健康状况的平面分布趋势来看(图 6),春季大亚湾生态系统按健康级别可分为 3 个区域:

(1) 健康较差区

面积占全部评价海域的 5.47%,健康综合指数平均为 0.35 ± 0.03 ,位于湾顶部霞涌附近海域和湾口部大辣甲以北海域。统计区内所有栅格的各单项指标健康分指数平均值(表 8),可见在此区范围内,浮游植物丰度(C_3)、底栖生物生物量(C_5)、生态缓冲容量(C_8)3 个指标的分指数平均值小于 0.4。这 3 个指标是影响本区健康状况的主要负面因子。

(2) 健康临界区

面积占全部评价海域的 47.97%,健康综合指数平均为 0.54 ± 0.05 ,分散分布于湾西北、东北、西南部海域。由区内各指标的健康分指数平均值可见,在此区范围内,分指数平均值小于 0.4 的指标有两项:浮游植物丰度(C_3)、生态缓冲容量(C_8),这 2 个指标是影响“健康临界区”健康水平的主要负面因子。

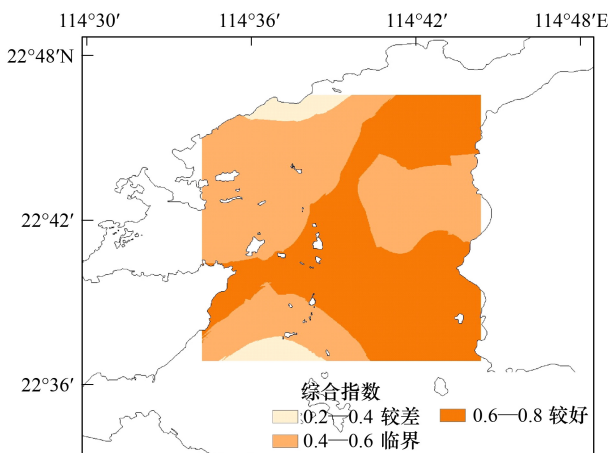


图 6 春季大亚湾生态系统健康综合指数空间分布图

Fig. 6 Spatial distribution of integrated health index of Daya Bay in spring

表 8 春季大亚湾生态系统各健康区域范围内健康分指数平均值

Table 8 Health fractional indicator mean in every health region of Daya Bay in spring

区域 Regions	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
健康较差区 Poor health regions	0.79	0.83	0.10	0.79	0	0.53	0.87	0.14
健康临界区 Critical health regions	0.78	0.74	0.11	0.86	0.47	0.52	0.85	0.06
健康较好区 Better health regions	0.97	0.80	0.32	0.91	0.96	0.58	0.68	0.06
整个评价海域 Object area of evaluation	0.87	0.77	0.21	0.88	0.59	0.55	0.77	0.06

(3) 健康较好区

面积大致和“健康临界区”相同,占评价海域的 46.56%,健康综合指数平均为 0.64 ± 0.03 。它和“健康临界区”镶嵌分布,主要位于湾西南、东北、东南和湾中心海域。分指数平均值小于 0.4 的指标与“健康临界区”是相同的两项: C_3 、 C_8 ,这也是影响本区健康水平的主要负面因子。

3 讨论

海湾生态系统是一个包含多个子系统,并且子系统间存在多种互动反馈作用的复杂系统,为了能够实现海湾生态系统健康状况的客观评价,必须按照一套严格的指标筛选原则,将各单项指标构建成一个能够覆盖和衡量海湾生态系统各个方面的指标体系。一个好的指标体系应能全面反映该特定生态系统实际状态及生态系统内部的联系^[21]。此外,与 GIS 的融合,是生态系统健康评价重要的发展趋势。因此,设计适用于 GIS 的新健康评价指标,应成为未来重点发展的研究领域。本研究根据 P-S-R 模型框架,从“外界对生态系统的压

力”、“生态系统结构对压力的响应”、“生态系统功能对压力的响应”和“生态系统整体对压力的响应”等 4 个层次,遴选了有机污染指数、营养水平指数、浮游植物丰度、浮游动物生物量、底栖生物生物量、浮游植物多样性指数、初级生产力、生态缓冲容量等 8 个指标系统地构建了海湾生态系统健康评价指标体系。

本研究首次将 GIS 引入海湾生态系统健康评价中,提出了基于 GIS 的海湾生态系统健康评价综合指数法,并以大亚湾为案例进行了实证研究。实证研究表明,大亚湾生态系统的健康状态处于“较好”水平,但和“临界”水平的距离已经很近。主要的健康问题是浮游植物丰度过高,生物多样性指数过低和生态缓冲容量过低。特别是生态缓冲容量,是指标体系中健康状况最差的。过低的生态缓冲容量会造成海湾生态系统对外界压力的承受能力和系统修复能力的低下,加大生态系统退化的机率。因此,大亚湾生态系统的健康状况正面临着向“临界”态退化的危险。根据王肇鼎等^[22]对大亚湾生态系统的现状和演化趋势的研究表明,大亚湾生态系统结构和功能的许多方面已经出现了不同程度的退化现象,如生物多样性在 20 世纪 90 年代中期以后急剧下降;富营养化的趋势一直在继续。王友绍等^[10]依据 20a 来积累的数据和资料,对大亚湾生态环境的变化趋势进行了分析,发现其变化主要表现在:由贫营养状态发展到中营养状态,局部海域已出现富营养化的趋势;大亚湾营养盐限制因子由 20 世纪 80 年代的氮限制过渡到目前的磷限制;生物群落组成明显小型化,生物多样性降低,生物资源衰退。这些现象表明大亚湾生态系统正经历着快速的退化过程。2005 年广东省海洋环境质量公报显示,大亚湾生态系统处于亚健康状态,普遍表现为无机氮、无机磷和石油类超标。林琳等^[6]研究表明水体营养盐偏高、浮游植物生物量偏高是影响大亚湾生态系统健康的主要负面生态因子。本文的研究结论则认为浮游植物、生态缓冲容量是影响大亚湾的主要负面影响因子。浮游植物丰度低,群落结构趋于简单,生物多样性指数也显著降低,致使其对营养盐的摄食压力降低,从而使得大亚湾生态系统部分海域出现富营养化现象。整理 2005 年在大亚湾海域进行生态学调查时所获得的大亚湾沿岸水产养殖区、城镇和村落、工业区等三类景观斑块,并与大亚湾生态系统的主要健康薄弱区进行叠加。结果表明,大亚湾生态系统的主要健康薄弱区的空间分布格局与大亚湾周边人类活动区域的分布基本一致。如霞涌镇是大亚湾经济技术开发区所在地,也是废水集中排放海域,这与霞涌附近海域是生态系统健康状态较差的海域的研究结果完全相符。由此可以推断,“人类活动”很可能是造成目前大亚湾生态系统健康状态空间格局的主要因素。

大亚湾生态系统健康评价的实践显示出“海湾生态系统健康评价模型”多方面的优势,也暴露出模型存在的诸多缺陷。在运用 GIS 进行健康现状评价数据处理中,空间插值是整个数据运算过程中误差的主要来源,因而需要对空间插值过程进行优化,最大限度保证其准确性^[23]。本研究同时对 3 种(IDW、RBF 和 OK)不同插值方法进行了研究,结果表明,OK 的插值结果在大部分海洋生态指标的表现各方面均优于 IDW 和 RBF 其它两法,是最适合用于该健康评价综合指标的插值方法。但使用 OK 插值,步骤繁多,参数设置要求较高,耗时耗力,在研究目的许可的情况下,简单、灵活的 IDW、RBF 也是合适的选择。

需要指出的是,本研究以 GIS 为主要数据处理工具,因而在指标筛选的过程中,受到很大的局限。尤以系统功能响应指标(B_3)和系统整体响应指标(B_4)两方面,受到的影响最大,所以这两类 B 层指标都只包含一种 C 层指标。这对指标体系覆盖的全面性造成了影响,也使得在使用层次分析法进行指标权重运算时,权重系数偏大地分布在 C_7 、 C_8 两个指标上。与 GIS 的融合,是生态系统健康评价重要的发展趋势。因此,设计适用于 GIS 的生态健康评价指标,应成为未来重点发展的研究领域。

References:

- [1] Jiao N Z. Ecological Processes and Sustainable Development of Typical Coastal Water Ecosystems in China. Beijing: Science Press, 2001.
- [2] Wu M L, Wang Y S. Using chemometrics to evaluate anthropogenic effects in Daya Bay, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 72 (4): 732-742.
- [3] Xu F L, Lam K C, Zhao Z Y, Zhan W, Chen Y D, Tao S. Marine coastal ecosystem health assessment: a case study of the Tolo Harbour, Hong Kong, China. *Ecological Modelling*, 2004, 173(4): 355-370.
- [4] Pantus F J, Dennison W C. Quantifying and evaluating ecosystem health: a case study from Moreton Bay, Australia. *Environmental Management*, 2005, 36(5): 757-771.

- [5] Qi F, Li Q X, Zhu L. Assessment method of marine ecosystem health. *Marine Science Bulletin*, 2007, 26(3): 97-104.
- [6] Lin L, Li C H, Du F Y, Dai M, Huang H H. GIS-based comprehensive assessment of marine ecological environment quality in Daya Bay. *South China Fisheries Science*, 2007, 3(5): 19-25.
- [7] Yang J Q, Cui W L, Zhang H L, Xu Z J. Marine ecosystem health structure and function index assessment in the west of Laizhou Bay. *Marine Science Bulletin*, 2003, 22(5): 58-63.
- [8] State Ocean Administration. The Guidance for the Assessment of Coastal Marine Ecosystem Health HY/T 087—2005. Beijing: China Standard Press, 2005.
- [9] Zhang W, Li C H, Jia X P, Chen P M, Fang L. Research on spatial interpolation methods of Macrobenthic biomass. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(3): 351-356.
- [10] Wang Y S, Wang Z D, Huang L M. Environment changes and trends in Daya Bay in recent 20 years. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23(5): 85-95.
- [11] Jia X P, Lin Q, Cai W G. Evaluation for the impact of large explosion at Mabianzhou Island on the neighboring aquatic environment and marine organisms in Daya Bay. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(4): 313-320.
- [12] Fang L, Li C H, Du F Y, Jia X P, Zhang W. Ecological characteristics of zooplankton in Daya Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(11): 2981-2991.
- [13] McCoy J, Johnston K, Kopp S, Borup B, Willison J, Payne B. Using ArcGIS Spatial Analyst. Redlands: ESRI Press, 2001: 136-148.
- [14] Johnston K, Ver Hoef J M, Krivoruchko K, Lucas N. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. Redlands: ESRI Press, 2001: 116-162.
- [15] Jia X P, Du F Y, Lin Q, Li C H, Cai W G. A study on comprehensive assessment method of ecological environment quality of marine fishing ground. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(2): 160-164.
- [16] Jia X P, Li Q, Gan J L, Cai W G, Li C H, Wang X P, Wang Z H, Jia T. Spatial variation trend and assessment of sea water quality of mariculture zone in Honghai Bay, Guangdong Province, China. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2002, 22(4): 37-43.
- [17] Xu F L, Tao S, Dawson, R W, Li P G, Cao J. Lake ecosystem health assessment: indicators and methods. *Water Research*, 2001, 35(13): 3157-3167.
- [18] Cadée G C. Primary production off the Guyana coast. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1975, 9(1): 128-143.
- [19] Third Institute of Oceanography State Oceanic Administration. Collections of Papers on Marine Ecology in the Daya Bay (I). Beijing: Ocean Press, 1989: 33-34.
- [20] Cai W G, Li C H, Lin Q, Li G R, Jia X P. Food organism level and biodiversity in the west Guangdong Sea Area. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(5): 440-447.
- [21] Kong H M, Zhao J Z, Ji L Z, LU Z H, Deng H B, Ma K M, Zhang P. Assessment method of ecosystem health. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4): 486-490.
- [22] Wang Z D, Lian J S, Hu J X, Wei G F. Characteristics of degraded ecosystem in Daya Bay China. *Ecologic Science*, 2003, 22(4): 313-320.
- [23] Lin L, Li C H, Dai M, Cai W G, Lin Q. Optimization of the spatial interpolation for marine phytoplankton abundance. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2880-2888.

参考文献:

- [1] 焦念志. 海湾生态过程与持续发展. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 祁帆, 李晴新, 朱琳. 海洋生态系统健康评价研究进展. *海洋通报*, 2007, 26(3): 97-104.
- [6] 林琳, 李纯厚, 杜飞雁, 戴明, 黄洪辉. 基于 GIS 的大亚湾海域生态环境质量综合评价. *南方水产*, 2007, 3(5): 19-25.
- [7] 杨建强, 崔文林, 张洪亮, 徐子钧. 莱州湾西部海域海洋生态系统健康评价的结构功能指标法. *海洋通报*, 2003, 22(5): 58-63.
- [8] 国家海洋局. 近岸海洋生态健康评价指南 HY/T 087—2005. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [9] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 陈丕茂, 方良. 底栖生物量空间插值方法研究. *海洋通报*, 2010, 29(3): 351-356.
- [10] 王友绍, 王肇鼎, 黄良民. 近 20 年来大亚湾生态环境的变化及其发展趋势. *热带海洋学报*, 2004, 23(5): 85-95.
- [11] 贾晓平, 林钦, 蔡文贵. 大亚湾马鞭洲大型爆破对周围水域环境与海洋生物影响的评估. *水产学报*, 2002, 26(4): 313-320.
- [12] 方良, 李纯厚, 杜飞雁, 贾晓平, 张伟. 大亚湾海域浮游动物生态特征. *生态学报*, 2010, 30(11): 2981-2991.
- [15] 贾晓平, 杜飞雁, 林钦, 李纯厚, 蔡文贵. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨. *中国水产科学*, 2003, 10(2): 160-164.
- [16] 贾晓平, 林钦, 甘居利, 蔡文贵, 李纯厚, 王小平, 王增焕, 贾颀. 红海湾水产养殖示范区水质综合评价. *湛江海洋大学学报*, 2002, 22(4): 37-43.
- [19] 国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾海洋生态文集 (I). 北京: 海洋出版社, 1989: 33-34.
- [20] 蔡文贵, 李纯厚, 林钦, 李荣冠, 贾晓平. 粤西海域饵料生物水平及多样性研究. *中国水产科学*, 2004, 11(5): 440-447.
- [21] 孔红梅, 赵景柱, 姬兰柱, 陆兆华, 邓红兵, 马克明, 张萍. 生态系统健康评价方法初探. *应用生态学报*, 2002, 13(4): 486-490.
- [22] 王肇鼎, 练健生, 胡建兴, 韦桂峰. 大亚湾生态环境的退化现状与特征. *生态科学*, 2003, 22(4): 313-320.
- [23] 林琳, 李纯厚, 戴明, 蔡文贵, 林钦. 海洋浮游植物丰度的空间插值优化. *生态学报*, 2007, 27(7): 2880-2888.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
- Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea
..... WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
- Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria*
..... LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
- Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi
..... ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
- Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests
..... JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
- The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang
..... ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
- Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth
and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
- Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model
..... ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
- Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ...
..... ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
- Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus*
..... HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
- The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male
..... ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
- Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay
..... LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
- The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters
..... SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
- Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia
..... PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
- The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain
..... JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
- The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing,
China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenze, XU Lihua (1852)
- Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus*
..... ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
- Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method
..... SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
- Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《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,探索自然奥秘,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

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 6 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 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