

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

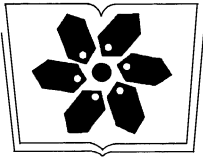
## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 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 3 期      2013 年 2 月    (半月刊)

## 目 次

### 生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 ..... Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 ..... 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 .....  
..... 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 ..... 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 ..... 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 ..... 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 ..... 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 ..... 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 ..... 饶恩明, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 ..... 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 ..... 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 ..... 成 程, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 ..... 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 ..... 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 ..... 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

### 前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 ..... 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 ..... 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 ..... 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

### 个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 ..... 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 ..... 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 ..... 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 ..... 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 ..... 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 ..... 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 ..... 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 ..... 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

### 种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 ..... 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响…………… 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 ( 934 )

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征…………… 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 ( 944 )

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 …………… 孟根同,张明海,周绍春 ( 957 )

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性…………… 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 ( 964 )

**景观、区域和全球生态**

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 …………… 张调风,张 勃,王有恒,等 ( 975 )

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 …………… 冯仕超,高小红,顾 娟,等 ( 985 )

**研究简报**

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式…………… 王毅杰,俞 慎 ( 998 )

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素…………… 王丽平,郑丙辉 ( 1011 )

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 350 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 36 \* 2013-02



**封面图说:** 卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112312024

王毅杰, 俞慎. 三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式. 生态学报, 2013, 33(3): 0998-1010.

Wang Y J, Yu S. Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0998-1010.

# 三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式

王毅杰<sup>1,2</sup>, 俞慎<sup>1,\*</sup>

(1. 中国科学院城市环境研究所, 中国科学院城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**随着陆源人类活动对滨海湿地的干扰日益强烈, 研究滨海湿地陆源人类活动影响规律对于滨海湿地资源管理和保护具有重要的现实意义。以我国三大沿海城市群(环渤海湾、长江三角洲、珠江三角洲)滨海湿地为研究对象, 分别选取围海造地(直接因子)和流域污染物(营养盐、非点源无机污染物)输入(间接因子)表征 1990—2000 年间滨海湿地的陆源人类活动影响强度及规律。研究发现, 虽然围海造地仍然以农业用地为主(>50%), 但城市建设用地比例随人口城市化率增高而增加, 以珠江三角洲城市群最高; 在环渤海湾和珠江三角洲城市群区域超过 60% 的滨海湿地面积受到高或中等污染物输入强度影响, 长江三角洲城市群区域则有 44.7% 的滨海湿地面积处于中等污染物输入强度及以上。通过叠加围海造地和污染物输入双重陆源人类活动的综合影响强度表明, 珠江三角洲城市群平均强度指数达到 0.79, 且处于中等及以上影响强度区域面积比例达到 78%, 均高于其他两个城市群滨海湿地区域。空间分析结果表明, 陆源人类活动对滨海湿地的强影响区域多集中分布于河流入海口、较为发达城市滨海区以及海岸线附近。

**关键词:**滨海湿地; 土地利用; 污染物; 综合影响; 滨海城市群

## Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China

WANG Yijie<sup>1,2</sup>, YU Shen<sup>1,\*</sup>

1 Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Coastal wetlands are increasingly affected by terrestrial anthropogenic impacts associated with urbanization along the worlds' coastlines. There is a strong need to balance utilization and protection of coastal wetland resources via understanding of patterns of coastal wetland changes in response to terrestrially derived anthropogenic impacts. This study was carried out to characterize impacts of wetland reclamation (a direct anthropogenic impact) and contaminant influxes of nutrients and non-point inorganic contaminants (an indirect anthropogenic impact) on coastal wetlands in the three largest city clusters in China between 1990 and 2000 using a GIS-based approach. The three coastal city clusters were 1) the city cluster surrounding the Bo Sea (BSS), the Yangtze River Delta city cluster (YRD), and the Pearl River Delta city cluster (PRD). Thirty-eight TM or ETM+ Landsat images from 1990 and 2000 were assembled and nutrient influxes were generated from the Global NEWS2 and Global Nutrient Export WaterSheds2 models by the Workgroup of UNESCO's Intergovernmental Oceanographic Commission for each city cluster. Non-point contaminants were estimated from impervious

**基金项目:**中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-YWJC402, KZCX2-YW-453); 中国科学院创新团队国际合作伙伴计划项目(KZCX2-YW-T08); 中国科学院海外杰出青年人才项目("百人计划", A0815)资助

收稿日期: 2011-12-31; 修订日期: 2012-08-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jma@iue.ac.cn

area in the coastal cities according to the world impervious area map for 2000 produced by the US National Oceanic and Atmospheric Administration (US NOAA). The “intensity” of contaminant loading was calculated by normalizing both nutrient loads and non-point contaminant loads between 0—1. Results indicated that although wetland reclamation for agricultural land use was predominant in all three city clusters (over 50% of the area), wetland reclamation to urban land use (directly from wetland reclamation and indirectly from wetland-derived agricultural land) increased along with urban population between 1990 and 2000. The PRD area showed the largest conversion of coastal wetlands to urban land while the BBS area showed the largest conversion to agricultural land use. Over 60% of the BBS and PRD areas were contaminated above a mid-level of intensity, whereas 44.7% of the YRD area received contaminants at mid-level intensity or above. Integrating the two factors with weights (0.5 for land use/cover change and 0.25 for influxes of nutrients and non-point contaminants, respectively), the combined impact intensity was highest in the PRD area, with an average index of 0.79 and 78% of its area influenced by two anthropogenic impacts at mid-level intensity or above. Combined impact was lower in the BSS (0.65) and YRD (0.63) areas with approximately 30% of these areas at mid-level impact intensity or above. Spatial analyses were very useful for illustrating the nature and extent of terrestrially-derived anthropogenic impacts on coastal wetlands and should be useful for assessing development impacts on estuaries and coastal wetlands in many areas.

**Key Words:** coastal wetland; land use/cover change; contaminant influx; combined impact; coastal city clusters

在人类足迹几乎遍及地球上所有的生态系统<sup>[1]</sup>的今天,人类活动对陆地生态系统和海洋生态系统的影响分别得到了较为系统的研究<sup>[2]</sup>,但介于陆-海生态系统之间的滨海湿地生态系统的人类活动影响尚缺乏深入的研究。滨海湿地生态系统是具有极高生态价值的生态系统类型。据 Costanza 等对美国部分湿地生态系统服务价值的估算表明,河口和潮滩盐沼滨海湿地生态系统每年分别提供相当于 22,382 和 9,990 美元/hm<sup>2</sup> 的生态系统服务价值,分别是热带雨林和农田生态系统的 2—7 倍和 45—160 倍<sup>[3]</sup>。然而,滨海湿地生态系统在过去一个世纪受到了剧烈的人类活动影响,全球约有 30%—50% 滨海湿地呈不同程度的退化<sup>[4]</sup>。

滨海湿地生态系统因处于海陆交汇处,同时受到陆源和海上的人类活动影响<sup>[1]</sup>。陆源人类活动产生的各种点源和非点源污染物随入海河流经滨海湿地生态系统进入海洋生态系统<sup>[5-6]</sup>。同时,沿海区域因农业发展和城市扩张需求不断加剧的围海造地活动直接吞噬或影响滨海湿地生态系统<sup>[1]</sup>。污染物输入和土地利用变化对滨海湿地生态系统的影响强度必然存在空间差异,因此,研究滨海湿地生态系统的人类活动影响强度的空间规律对保护和利用滨海湿地资源具有重要的科学意义和现实意义。

我国沿海区域海岸带占国土面积 13%,承载着约 40% 的全国人口,创造了约 60% 的国民生产总值 (GDP)<sup>[7]</sup>。沿海区域因快速发展凸显的人地矛盾使围海造地侵占滨海湿地资源现象十分严重<sup>[8]</sup>。同时,周边快速城市化使入海河流携带大量陆源污染物进入滨海湿地生态系统,导致污染加重<sup>[9]</sup>,并出现超过环境承载量而导致生态系统“坏死”现象,如环渤海湾滨海区域<sup>[10]</sup>。本研究以我国沿海三大城市群(环渤海湾城市群(简称“环渤海”)、长江三角洲城市群(长三角)和珠江三角洲城市群(珠三角))滨海湿地为研究对象,并以我国快速城市化拐点的 10a(1990—2000 年)为研究时期,比较研究围海造地和陆源无机污染物输入两大陆源人类活动对三大城市群滨海湿地资源的影响强度及空间分布规律,以期对我国快速城市化过程中如何平衡开发和保护滨海湿地资源提供科学依据。

## 1 数据和方法

### 1.1 研究区范围

本研究对象为我国最大的 3 个城市群(环渤海、长三角、珠三角)的滨海湿地区域,其中:环渤海城市群滨海湿地区域介于 E117°14.38'—123°45.72'和 N35°17.37'—41°2.27'之间,长三角城市群滨海湿地区域介于 E120°5.81'—121°17.76'和 N30°30.06'—31°24.58'之间,珠三角城市群滨海湿地区域介于 E112°22.40'—115°2.32'和 N21°32.26'—23°2.08'之间(图 1)。研究区域南北行政边界分别为:环渤海为大连和日照,长三

角为南通和台州,珠三角为江门和惠州。根据国际 Ramsar 公约之滨海湿地定义提取近海海域 6 m 等深线作为滨海湿地向海方向边界,而向陆方向边界以 1990 年三大城市群滨海湿地(自然湿地和人工湿地)的向陆方向外缘为边界,共计研究区域总面积为 65576 km<sup>2</sup>。

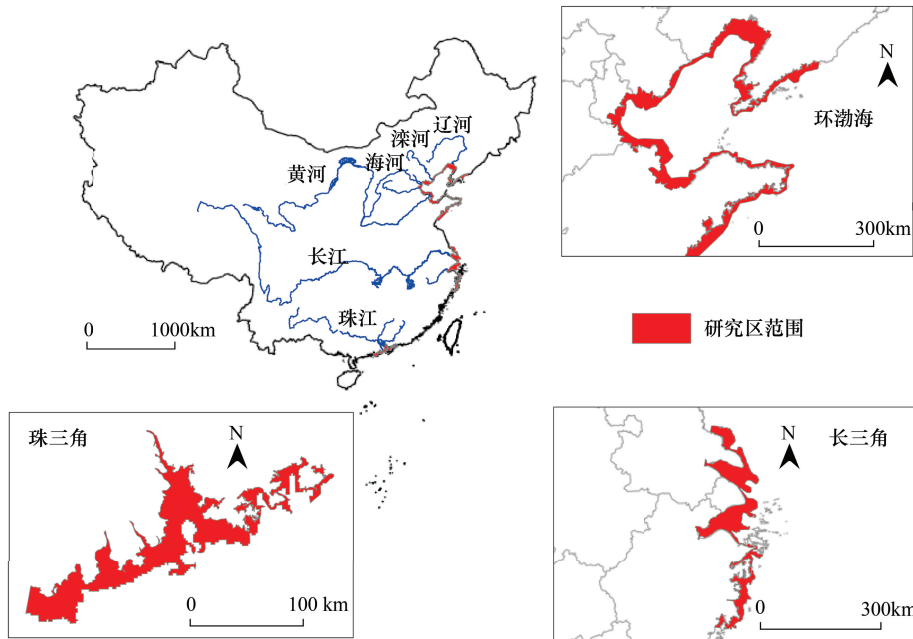


图 1 三大城市群滨海湿地研究区域示意图

Fig. 1 Study areas of coastal wetland zones in the three city clusters of China

## 1.2 土地利用变化图及变化强度因子计算

### 1.2.1 土地利用类型的确定

不同的土地利用类型表征着不同类型及不同强度的人类活动,对土地利用类型的确定应兼顾尺度和精度问题。较小的尺度有利于充分的反应人类活动的细节,更加真实的表征人类活动影响强度,但同时也对数据的精度提出了更高的要求。本研究参照了 2002 年试行的《全国土地分类》标准和 2007 年发布的《土地利用现状分类》国家标准,同时鉴于提取土地利用类型的数据精度(空间分辨率为 30 m 的遥感影像)限制,将土地利用类型分为自然湿地、农用地和建设用地三类。这样的分类尺度忽略了很多人类活动的细节,如建设用地可以进一步分为工矿仓储用地、住宅用地、公共管理和公共服务用地、交通运输用地等,但这几类用地类型影像特征较为相似,无法在解译精度限制下进行区分。农用地和自然湿地可以做进一步的区分,但农用地和自然湿地子类型的人类活动类型和强度差别不显著,并为了与建设用地统一分类水平,三大类别的土地利用方式被研究采用。另外,1990—2000 年间人类围海造地活动强度分为四级,从低到高分别是:无土地利用变化发生、自然湿地转化为农用地、农用地转化为建设用地、自然湿地转化为建设用地(图 2A)。

### 1.2.2 遥感影像解译及强度因子赋值

本研究采用 1990 年和 2000 年美国陆地资源卫星(Landsat)的 TM 和 ETM+遥感影像(共计 38 幅,表 1),分别解译提取研究区域内 1990—2000 年的土地利用变化信息。遥感影像经 1:250000 地形图几何精校正,校正误差在 1 个象元之内。为突出地物特征,对遥感影像进行 543 波段假彩色合成。利用 2000 年的 Google Earth<sup>®</sup> 影像作为参考,选取一系列样点,提取颜色、形状、纹理、亮度、阴影等特征,建立解译标志,对 2000 年的 Landsat 遥感影像进行目视解译(表 2)。然后,参考 2000 年的遥感影像特征对 1990 年的遥感影像进行目视解译。在 Google Earth<sup>®</sup> 上另选取一组 1990 到 2000 年间未发生土地利用变化的样点进行解译精度检验,解译精度大于 90%。

在 ArcGIS<sup>®</sup> 中对 1990 年和 2000 年的土地利用类型图进行空间叠加分析,获得研究区域土地利用变化空

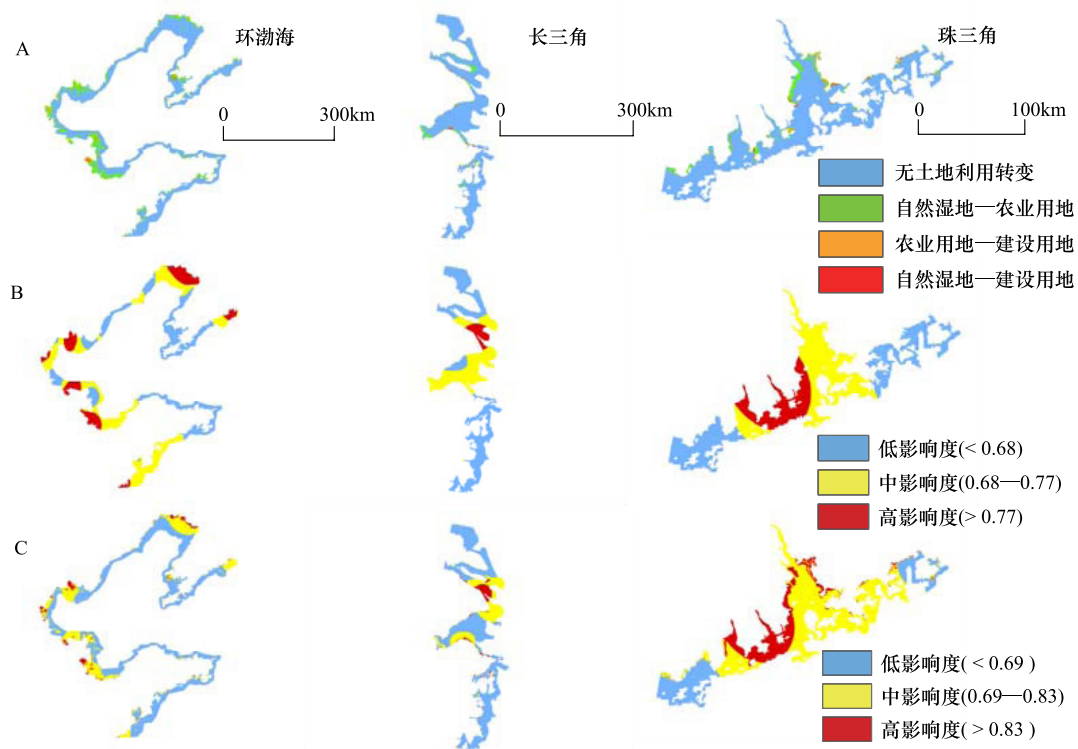


图2 三大城市群滨海湿地土地利用变化强度(A), 污染物输入强度(B), 综合影响强度(C)

Fig. 2 Spatial distribution of land use/cover change (A), contaminant influx (B), and their combination intensiveness (C) in coastal wetland zones of the three city clusters in China

间分布图。Sanderson 等人<sup>[1]</sup>采用0—10 分级人类活动对于陆地生态系统的影响强度等级,其中建设用地强度指数为10,农业用地的强度指数介于6—8 之间,其他自然类型用地的强度指数为0。同理,本研究将人类活动对滨海湿地的影响强度人为界定于0—1 之间,没有发生土地利用变化的区域赋值为0,而自然湿地转化为建设用地的区域赋值为1;并且农业用地转化为建设用地区域赋值为0.66,而自然湿地转化为农业用地的区域影响度赋值为0.33。

### 1.3 营养元素输入空间分布模拟及强度因子计算

#### 1.3.1 Global NEWS2 模拟数据精度

本研究陆源营养盐输入强度数据来自于联合国教科文组织政府间海洋学委员会(The Workgroup of UNESCO's Intergovernmental Oceanographic Commission)提供的全球1970—2000 年各个流域营养盐平均输出量的模拟数据(Global NEWS2, Global Nutrient Export WaterSheds2)<sup>[11-12]</sup>。该模型模拟了多元素(C、N、P)和多形态(溶解态和悬浮颗粒态)营养盐在流域的输出量。该模型综合考虑了流域范围内各种点源和非点源的营养盐输入、输出以及在河道输运过程中的截留和损失,并考虑了气候、水文以及土地利用类型对营养盐输出的影响。该研究对模型输出数据与研究流域内河口区域的实测值进行了全球尺度的校正,以确保其精度和可信度。校正后模型输出数据和实测值相关系数 $R^2$  值均大于0.60,相对误差ME 值均小于15%,表明模型较好的反演了各个流域内营养盐输出的实际情况<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.2 研究区营养盐输出量提取以及强度因子计算

以Global NEWS2 模拟数据为基础,提取处于研究区域内部或边缘的人海流域的碳(C)、氮(N)、磷(P) 营养盐输出量,包括溶解无机N 和P、溶解有机C、N 和P、颗粒N 和P 和颗粒有机C(表1)。在空间上,本研究人为地将各相应入海流域营养盐输出值赋予流域出口单元的中心点,并以距流域出口中心点距离进行反距离加权插值,在ArcGIS® 中模拟我国沿海三大城市群滨海湿地营养盐输入量的空间分布。营养盐输入量空间

表 1 本研究数据来源  
Table 1 Data sources for this study

数据类型 Data type	轨道号/时相或项目或图幅号 Path and Row/Date	年代 Period	来源 Source	相关处理 Approach	生成成果 Product
Landsat 遥感影像 Landsat remote sensing image	118038/20010730; 118039/20011124; 118040/20000918; 119032/20000504; 119033/20000909; 119034/20000605; 119035/20010827; 120032/20010903; 120033/20000612; 120034/20000730; 120035/20000916; 121032/20000907; 121033/20000907; 121034/20000502; 121044/20011231; 121045/20011231; 122044/20000914; 122033/20001101	1990, 2000	美国马里兰大学遥感数据下载中心和中国科学院科学数据中心	校正, 解译	土地利用变化强度图层
营养盐数据 (Mg/a) Nutrient data (Mg/a)	118038/19890811; 118039/19870518; 118040/19911020; 119032/19890114; 119033/19890114; 119034/19890114; 119035/19890530; 120032/19881009; 120033/19900524; 120034/19910831; 120035/19860918; 121032/19890213; 121033/19890213; 121034/19890213; 121044/19911009; 121045/19891120; 122044/19901013; 122033/19890103	1970—2000	Global NEWS2 Global Nutrient Export WaterSheds2	数据均一化, 插值 模拟	营养盐输入强度图层
非点源无机污染物数据 Non-point inorganic pollutants data	不透水面积反演 (km <sup>2</sup> )	2000	NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration ( <a href="http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp">http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp</a> )	数据均一化, 插值 模拟	非点源无机污染物输入强度图层
1:250,000 地形图 1:250,000 topographic map	F49C002002; F49C002003; F49C003002; F49C003003; H51C001001; H51C001002; H51C002001; H51C002002; H51C003001; H51C003002; H51C004001; H51C004002; I51C004001; I51C004002		国家测绘局	对遥感影像进行几何校正	
Google Earth 海岸线 Coastline	精度为 250m 包含陆地地形和海洋测深精度为 1 弧分的模型	2000	Google 网站 NOAA	辅助解译 辅助空间分析	滨海湿地向陆边缘 滨海湿地向海边缘
ETOPO1 全球地形模型 ETOPO1 global terrain model				提取近海 6m 等深线	

DIN 为溶解无机 N; DIP 为溶解无机 P; DOC 为溶解有机 C; DON 为溶解有机 N; DOP 为溶解有机 P; PN 为颗粒 N; PP 为颗粒 P; POC 为颗粒有机



分布数据经以 10 为底对数转化后进行最大值标准化处理,得到三大城市群滨海湿地陆源营养盐污染强度指数分布图(标准化污染强度值范围在 0—1 之间)。

表 2 分类解译表

Table 2 Interpretation of land use/cover type

用地类型 Land use type		影像特征及解译 Image characteristics and interpretation
自然湿地 Natural wetland	浅海海域和河口水域 红树林 沼泽和滩涂	水信息丰富,人工痕迹少 主要分布于珠三角滨海湿地潮间带,植被信息丰富,多纹理 分布于潮间带和河口,人工痕迹少,纹理少
农业用地 Agricultural land	耕地(旱田) 耕地(水田) 设施农业用地(养殖区)	形状规则,有明显的人工痕迹;水信息少,植被信息丰富 有明显的人工痕迹,形状比较规则,水质比较清晰; 鉴于水田和养殖区相似的影像特征,所以将两者作为一类进行解译
建设用地 Urban land	工矿仓储用地(沿海工业园区) 住宅用地(沿海住宅小区) 公共管理和公共服务用地(公园和广场) 交通运输用地(机场和港口)	人工痕迹十分强烈,分布有很多人工建筑。植被信息和水信息都较少 由于影像特征相似,部分公园和广场用地与旱田相互混淆,需要目视解译将其分开

#### 1.4 非点源无机污染输入空间分布模拟及强度因子计算

##### 1.4.1 不透水陆地面积数据反演非点源无机污染物输入强度可信度评价

大量研究表明,在一个流域内,城市不透水面积和非点源污染物输出浓度之间存在显著的相关关系<sup>[13]</sup>。同时由于直接表征或模拟非点源无机污染物输出浓度的数据或模型难以获取,因此采用城市不透水面积来间接表征非点源无机污染物的输出浓度被很多研究采用。本研究也采用这种方法,将我国三大城市群滨海湿地受到陆源非点源无机污染物污染强度通过美国国家海洋和大气局(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)提供的 2000 年分辨率为 1 km<sup>2</sup> 的不透水陆地面积进行间接表征(表 1)。该数据用经过了辐射校正的夜晚灯光数据和人口普查数据进行模拟,并用美国地质调查局(USGS, The United States Geological Survey)提供的小尺度精度较高的不透水面数据对模型进行了校正。采用该数据反演非点源无机污染物基于的假设为:非点源无机污染物主要来源于城市径流。而事实上,并非所有的非点源无机污染物均来自城市径流,如来自农业生产活动的部分,则无法在该数据中反应出来。因此,该预测模型精度受区域城市化水平的影响,城市化水平越高精度越高,反之则精度低。本文研究对象是我国最大的 3 个城市群区域,因此,该模型预测精度可以满足研究的需要。

##### 1.4.2 研究区非点源无机污染物输出量反演及强度因子计算

以 NOAA 提供的 2000 年分辨率为 1 km<sup>2</sup> 的不透水陆地面积为基础,提取处于研究区域内部或边缘的入海流域流域不透水陆地面积,并将其赋值于流域出口单元的中心点,在 ArcGIS<sup>®</sup> 中采用反距离加权插值法模拟相应城市群滨海湿地非点源无机污染物输入量的空间分布图。非点源无机污染物输入量同样经以 10 为底对数转化后以最大值标准化处理,得到三大城市群滨海湿地陆源非点源无机污染物污染强度指数空间分布图(标准化污染强度值范围在 0—1 之间)。

#### 1.5 污染物输入强度估算以及强度等级分类

##### 1.5.1 污染物输入强度值估算

将营养盐输入强度图层和非点源无机污染物图层经重采样使其分辨率统一为 100 m,两个图层坐标均采用 WGS1984 坐标系和 UTM 投影。假设营养盐输入和非点源无机污染物输入对于滨海湿地的影响同等重要,将两个图层分别乘以 0.5 的权重系数然后线性叠加,生成污染物输入强度分布图(图 2B)。强度指数介于 0 到 1 之间。

##### 1.5.2 污染物输入强度等级分类

将 3 个城市群污染物输入强度值图层在 ArcGIS<sup>®</sup> 中进行 Mosaic(镶嵌)处理,使其成为一个整体图层。

然后采用 Natural Break 等级分类方法<sup>[14]</sup>在 ArcGIS® 中将污染物输入强度分为高、中、低 3 个等级。Natural Break 分级方法采用 Jenks Optimization 算法,通过聚类分析将相似性最大的数据分为一组(组内方差最小),差异性最大的数据分到不同级(组间方差最大)。这种分类方法很好的确保了数据的统计特征,同时,对于不同的数据,其分类界限不同<sup>[15]</sup>。因此,得到 3 个等级的指数范围:高输入其强度值大于 0.77,中等输入其强度值介于 0.77 和 0.67 之间,低输入其强度值则小于 0.67。

## 1.6 陆源人类活动综合影响强度估算以及强度等级分类

### 1.6.1 陆源人类活动综合影响强度值估算

与污染物输入强度估算一样,通过重采样使土地利用变化强度数据图层的分辨率为 100 m,设置坐标系为 WGS1984(World Geodical System 1984),投影为 UTM(The Universal Transverse Mercator)。假设土地利用变化与污染物输入对滨海湿地影响同等重要,将两个图层分别乘以 0.5 的权重系数后线叠加(也即营养盐图层和非点源无机污染物图层乘以 0.25 的权重系数,土地利用变化图层乘以 0.5 的权重),生成我国三大沿海城市群滨海湿地受陆源人类活动影响强度空间分布图(图 2C)。

### 1.6.2 陆源人类活动综合影响强度等级分类

将三个城市群陆源人类活动综合影响强度值图层在 ArcGIS® 中进行 Mosaic(镶嵌)处理,使其成为一个整体图层。然后在 ArcGIS® 中采用 Nature Break 等级分类方法将综合影响强度分为高、中、低 3 个等级:强度值大于 0.83 赋为高影响强度,0.69—0.83 之间为中等影响强度,小于 0.69 为低影响强度。

## 1.7 陆源人类活动强度的垂直海岸线影响距离估算

### 1.7.1 海岸线提取及其精度评价

用于本研究的海岸线矢量数据是从美国国家地理空间情报局 NGA(National Geospatial-intelligence Agency)的全球海岸线矢量数据(WVS, World Vector Shoreline)裁剪而来的。NGA 通过一系列影像和地图产品的数字化来开发当前版本的世界矢量海岸线数据。精度为 250 m。制作 WVS 原型系统的数据源主要是 2000 年的 NASA 的陆地卫星 Landsat 多波段数据。方法是利用 Landsat 7 的多波段数据,基于短波红外(SWIR)数据开展水陆边界提取。因为没有经过潮汐纠正,该数据反映的是海岸线大致的高水位线,而不是平均水位线。

### 1.7.2 陆源人类活动强度的垂直海岸线影响距离估算

在 ArcGIS® 中采用 FISGNET 模块建立 10 km×10 km 的格网,将污染物输入强度图层、土地利用图层或人类活动综合影响强度图层和格网进行空间关联,使其具有相应的人类活动强度信息。将格网内的相应人类活动平均影响强度赋值予格网中心点,并以此点距海岸线垂直距离表征陆源人类活动对滨海湿地生态系统的影响距离。

## 2 结果

### 2.1 三大城市群滨海湿地土地利用变化强度及空间影响距离

三大城市群(环渤海、长三角和珠三角)滨海湿地资源在 1990—2000 年间的土地利用类型发生变化的总面积分别为 3876、817 和 405 km<sup>2</sup>,并且在土地利用变化组成结构上也存在一定的差异(图 3)。由自然湿地直接转化为建设用地的比例相对较小(长三角 17.8%,珠三角 11.6%,环渤海 11.0%)。而由自然湿地转化为农业用地的比例则为三大城市群滨海湿地资源最大的土地流转类型,以环渤海最大(68.8%),长三角次之(66.4%),珠三角最小(56.1%)。但由已转化为农业用地的滨海湿地转化为建设用地的比例以珠三角最大(32.3%),其次为环渤海(20.1%),而最小为长三角(15.8%)。由此可见,长三角快速城市化进程导致建设用地直接占用滨海自然湿地资源的比例超过了由已转化为农业用地的滨海湿地转化为建设用地的比例;而珠三角尚以由已转化为农业用地的滨海湿地转化为建设用地为主。环渤海相应比例虽小,但是土地利用类型变化总面积分别是长三角和珠三角的 4.7 倍和 9.6 倍,因此,其城市化进程不可小视。农业用地需求仍为主要滨海自然湿地流转去向<sup>[15-16]</sup>。

从滨海城市来看,环渤海周边城市唐山市、天津市、沧州市、东营市、廊坊市属于滨海湿地土地利用变化强度较高的区域;长三角中上海的崇明岛以及杭州钱塘江入海口区域是滨海湿地土地利用变化最为强烈的区域;而珠三角的土地利用变化最为强烈的区域处于珠江口边缘的中山市和深圳市。该结果表明滨海湿地资源土地利用变化以沿海发达城市最为强烈(图 2A)。

而土地利用变化的垂直海岸线影响距离分析表明,1990—2000 年间三大城市群滨海湿地区域土地利用变化强度模式各异。环渤海主要在距海岸线向海 1 km 处土地利用变化强烈,长三角则在距海岸线向陆 1 km 处土地利用变化最为强烈,而珠三角则在上述两个区域土地利用变化较为强烈(图 3)。珠三角在向陆和向海方向土地利用变化强度呈对称减弱,而长三角和环渤海则向陆方向发展为主(图 3)。

综上所述,三大城市群区域滨海湿地资源受人类活动引起的土地利用变化呈现不同模式,虽然农业用地需求仍然是滨海自然湿地资源土地流转的主要去向,但城市化进程已逐渐成为滨海湿地区域土地利用类型变化的驱动力。

## 2.2 三大城市群滨海湿地污染物输入强度的空间分布模式

点源和非点源污染物输入量模式在环渤海和珠三角滨海湿地区域较为相似,其高(影响强度 $>0.77$ )、中( $0.67-0.77$ )影响强度区域所占的面积比例分别是 19.6%、19.5% 和 41.6%、42.1% (图 4)。长三角滨海湿地的污染物输入强度相对较弱,其高、中影响强度区域所占的面积比例分别是 6.8% 和 37.9%。因此,环渤海和珠三角流域污染物输出较长三角流域要高,相应的滨海湿地生态系统受到污染程度也要高于长三角。

然而,污染物输入对滨海湿地影响距离以长三角最远,环渤海呈近海高强度影响模式,而珠三角则影响距离较短,强度也较弱(图 4)。这可能与不同城市群区域入海河流分布有关。环渤海滨海湿地区域分布有辽河流域、海河流域、黄河流域以及淮河流域的出海口,长三角和珠三角滨海湿地区域主要流域分别为长江流域和珠江流域(图 2B)。

## 2.3 三大城市群滨海湿地陆源人类活动综合影响强度空间分布规律

综合土地利用变化强度和污染物(点源和非点源)输入强度,珠三角滨海湿地受到陆源人类活动的影响强度明显高于长三角和环渤海。珠三角滨海湿地区域陆源人类活动影响强度平均值为 0.79,其中高( $>0.83$ )、中( $0.69-0.83$ )影响强度的面积比例分别占 21% 和 57%,都远大于长三角和环渤海。环渤海和长三角滨海湿地受陆源人类活动影响强度接近,前者平均强度值为 0.65,而后者为 0.63;并且其高、中影响程度的面积比例也大致相等(30% 左右)(图 5)。

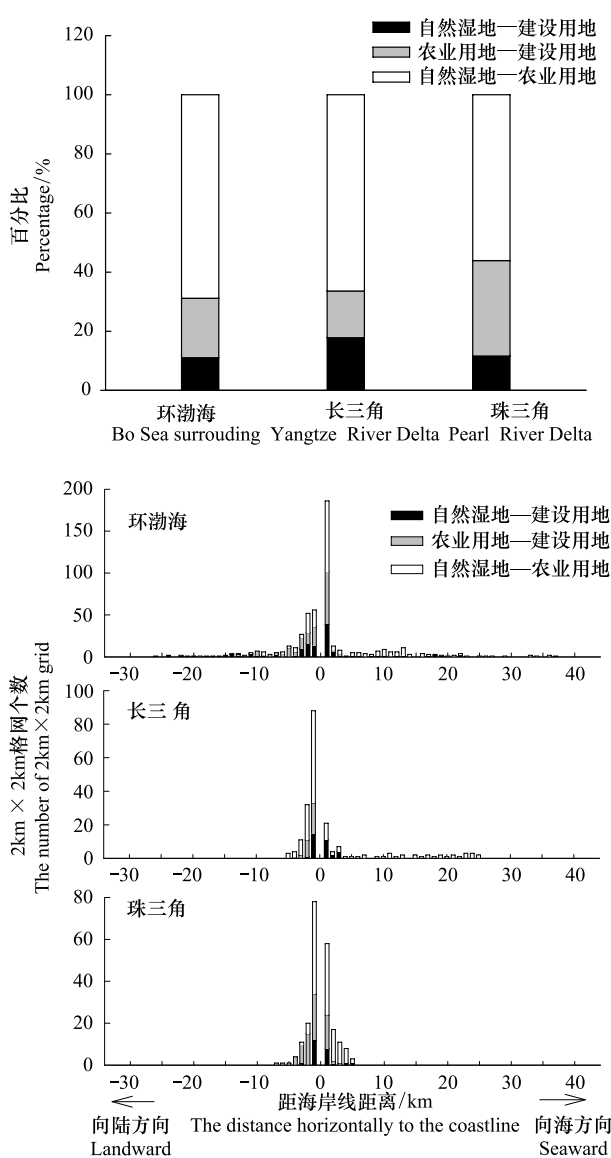


图 3 三大城市群滨海湿地土地利用变化强度;垂直于海岸线空间分布

Fig. 3 Intensiveness of land use/cover change of coastal wetlands in the three city clusters in China and its horizontal spatial distribution vertically to the coastline

综合影响强度的空间分布与相应的土地利用转化强度和污染物输入强度分布一致,高综合影响强度区域主要分布于各大河流入海口以及发达城市的周边区域(图 2C),三大城市群间趋势一致。而影响区域距离海岸线的垂直距离分析表明,高影响强度的区域集中分布于海岸线附近,但具体的向海或向陆分布规律不同(图 6)。环渤海滨海湿地高影响强度区域主要分布在垂直海岸线指向陆地的一侧(距海岸线约 1—5 km 的范围),分布面积最广的位于距海岸线 1 km 处;而在垂直海岸线指向海洋的一侧,距离海岸线 1—6 km 处也有较大范围的高影响程度区域分布,主要来源于污染物输入影响。长三角滨海湿地高影响强度区域主要分布在垂直海岸线指向海洋的一侧(距海岸线约 1—3 km 的范围),分布面积最广的是距海岸线 2 km 处;在垂直海岸线指向陆地的一侧,距离海岸线 1—2 km 也有一定面积的高影响强度区域的分布。与长三角相似,珠三角滨海湿地高影响强度区域主要分布在垂直海岸线指向海洋的一侧(距离海岸线 1—3 km 的范围),其分布范围最广的是距海岸线 1 km 处;同时在垂直海岸线指向陆地的一侧,离开海岸线 1—3 km 处,亦有较大范围的高影响程度区域分布。

### 3 讨论

陆源人类活动对于滨海湿地的影响广泛而复杂,对其合理的分类并进行定量化研究有助于人们科学地认识人类活动影响规律,进而为合理地保护及利用滨海湿地资源提供科学支持。基于这一假设,借鉴前人研究成果<sup>[1-2,5]</sup>,在考虑到数据可获取性的同时,本文对我国三大城市群区域滨海湿地的陆源人类活动影响采用土地利用变化强度和污染物输入强度进行定量反演,并对两种影响因子分别进行个别分析和叠加分析,以达到从局部到整体的较全面认识陆源人类活动对于滨海湿地的影响规律。

已有的陆上人类活动对于滨海湿地的影响研究一

般从两个角度展开,一是直接阐述特定人类活动的空间强度分布,如对渔业活动的空间分布强度的研究<sup>[17-18]</sup>。虽然这种研究详尽、直观,但由于人类活动的复杂性使之很难在较大的空间尺度上展开,也难以描述人类活动的整体状况;二是利用各种和人类活动有关的指标来间接反观人类活动强度,如利用滨海湿地土地利用变化来表征各种产业活动<sup>[19-21]</sup>,在较大尺度的研究中得到广泛应用。基于空间尺度较大以及描述陆上人类活动整体影响强度的需要,本文也采用间接表征的方法,借助了土地利用变化信息和 GLOBAL NEWS2 模型以及城市不透水表面数据。

在全球范围内,世界上各大流域入海口的滨海湿地资源均发生了大幅的退缩<sup>[22]</sup>。已有的对我国典型滨海湿(黄河三角洲、辽河三角洲、莱州湾、盐城滨海湿地、厦门滨海湿地)<sup>[23-27]</sup>地土地利用流转的研究均表明,

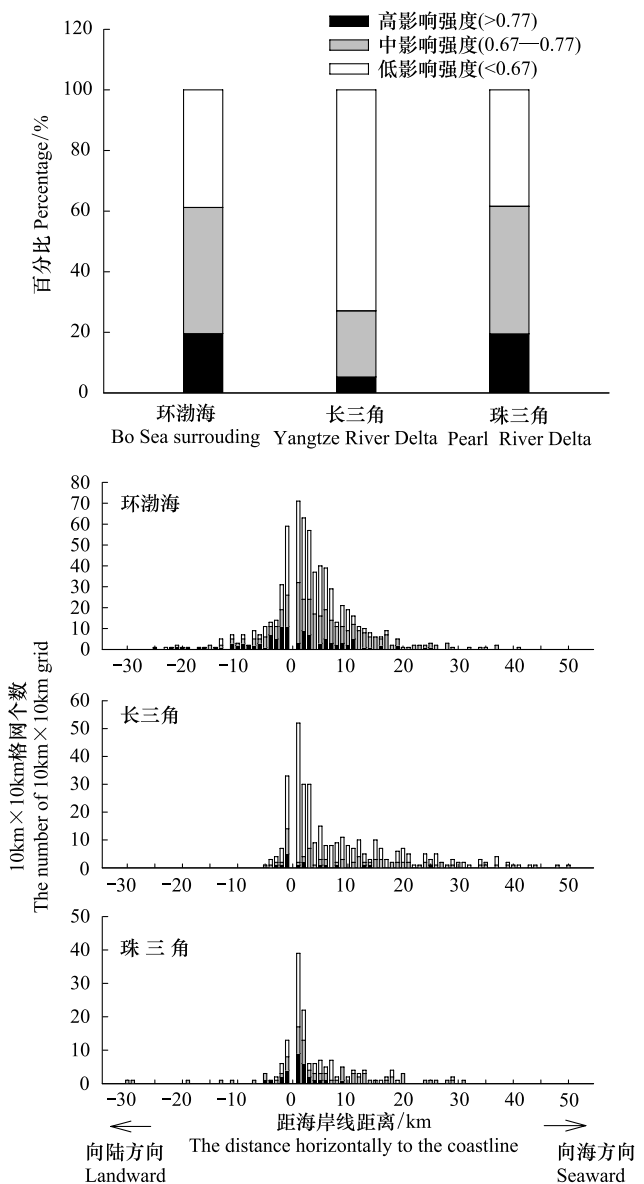


图 4 三大城市群滨海湿地污染物输入强度;垂直于海岸线空间分布

Fig. 4 Intensity of contaminant influx to coastal wetlands in the three city clusters of China, grouped by the Natural Break approach and its horizontal spatial distribution vertically to the coastline

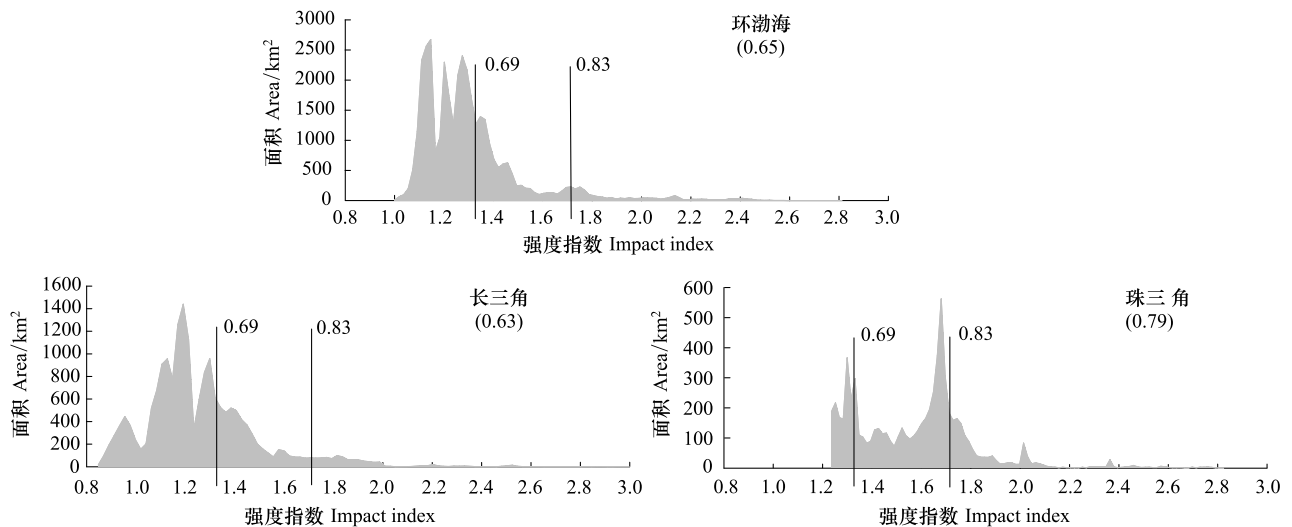


图5 三大城市群滨海湿地综合人类活动影响强度

Fig. 5 Combined intensiveness of land use/cover change and contaminant influx versus coastal wetland area in the three city clusters of China, grouped by the Natural Break approach

近年来我国自然滨海湿地发生了大幅的缩减,但对自然湿地流向的研究并不深入,特别是向建设用地的转化涉及的更少。但毋庸置疑,沿海地区快速城市化带来的城市扩张对自然湿地的侵占已是一个严峻的环境问题。本文研究表明,在过去30余年中三大城市群是我国城市化进程最快的区域,但是,滨海自然湿地向农业用地(主要是养殖水面)的转化是主要的土地流转模式(>50%的土地利用变化面积),尤其以环渤海城市群区域最为明显。非建设用地(滨海自然湿地和农业用地)转化为建设用地的强度则以珠三角最大(43.9%),环渤海和长三角区域差异不大(31.2%和33.6%)。由此可见,珠三角城市群城市化进程对滨海湿地资源的影响强度最强烈。这与3个城市群2000年人口城市化率趋势一致,即珠三角(69.7%)>长三角(54.2%)>环渤海(42.1%)<sup>[28]</sup>。

2000年之后的《中国海洋环境质量公报》我国逐步加强了对主要河流污染物入海量的监测,2005年监测的河流为28条,至2010年为66条。本文基于Global NEWS2模型的研究显示污染物输入强度以环渤海和珠三角区域较为相似,其中等影响强度以上区域面积比例大于长三角区域;但三大城市群区域各大河流入海口的各类污染物浓度均处于较高的水平<sup>[29]</sup>。该结果与年度《中国海洋环境质量公报》相一致。

在城市化进程当中,滨海湿地资源受到了各种不同性质的人类活动的影响,如农业活动(耕地扩张、水产养殖),城市建设(旅游开发、房地产开发、工业发展、港口建设和扩建),具体哪类活动占主导地位,要视其城市化程度而异<sup>[30-31]</sup>。综合两大陆源人为活动,珠三角滨海湿地受到的影响强度高于环渤海和长三角区域。对三大城市群区域深入分析表明,高强度人为活动影响区域主要分布于河流入海口和经济较为发达的城市边缘;而在垂直于海岸线方向,高强度影响区域密集的分布于海岸线附近。

#### 4 结语

随着城市化进程的加速,人口城市化率快速增加,造成建设用地稀缺;同时,出口经济的迅猛发展使港口建设和扩建加速。建设用地需求的急增对滨海城市的滨海湿地资源形成巨大压力。本文为研究人类活动对于滨海湿地资源造成影响的强度空间差异提供了一个框架模型,为合理的规范人类活动对滨海湿地资源的利用提供一定的依据。但由于表征人类活动数据的尺度和精度的限制,研究尚存在一些不足:包括在进行土地利用变化的分析时,由于数据质量的限制,忽略了人类活动细节;污染物输入强度的模拟由于数据获取的限制,仅考虑到了营养盐和非点源无机污染物,其他类型的污染物没有涉及;营养盐的输入强度采用Global NEWS2模型模拟,鉴于模型精度有限,存在不确定性;非点源无机污染物输入的模拟用NOAA提供的不透水表面面积来进行表征,该数据的空间分辨率(1km<sup>2</sup>)较低,由此得到的结论需要进一步验证;在向海向陆垂直

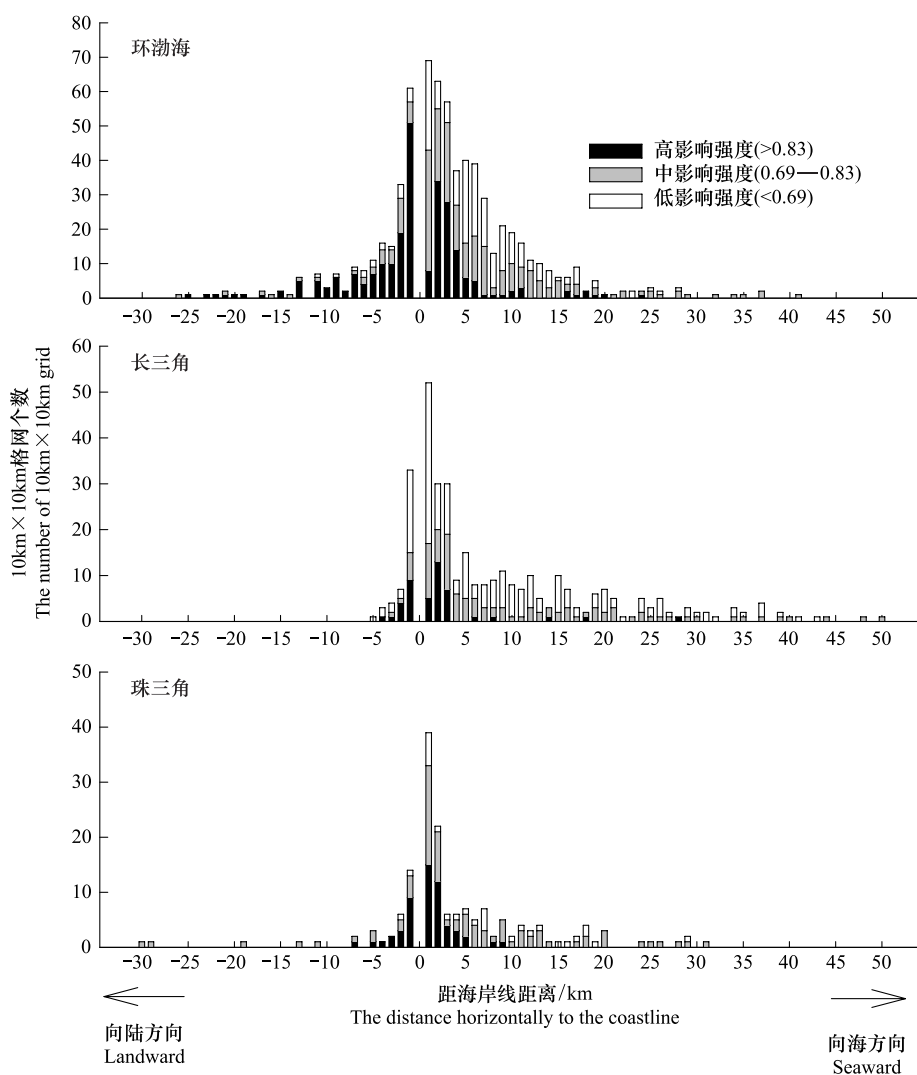


图6 垂直于海岸线方向三大城市群滨海湿陆源人类活动综合影响强度空间分布

Fig. 6 Horizontal spatial distribution of combined intensiveness of land use/cover change and contaminant influxes in coastal wetlands vertically to the coastline in the three city clusters of China, grouped by the Natural Break approach

海岸线的空间分析中仅考虑到了距离因子对于污染物浓度衰减的影响,对诸如污染物扩散受到潮汐作用的影响等今后应作考虑。

#### References:

- [ 1 ] Sanderson E W, Jaiteh M, Levy M A, Redford K H, Wannebo A V, Woolmer G. The human footprint and the last of the wild. *BioScience*, 2002, 52(10): 891-904.
- [ 2 ] Halpern B S, Walbridge S, Selkoe K A, Kappel C V, Micheli F, D'Agrosa C, Bruno J F, Casey K S, Ebert C, Fox H E, Fujita R, Heinemann D, Lenihan H S, Madin E M P, Perry M T, Selig E R, Spalding M, Steneck R, Watson R. A global map of human impact on marine ecosystem. *Science*, 2008, 319(5865): 948-952.
- [ 3 ] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon M, Limburg M, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [ 4 ] Shabman L A, Batie S S. Economic value of natural coastal wetlands: a Critique. *Coastal Zone Management Journal*, 1978, 4(3): 231-247.
- [ 5 ] Syvitski J P M, Vörösmarty C J, Kettner A J Green P. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 2005, 308(5720): 376.

- [ 6 ] Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, Lidens G E, Matson P A, Schindler D W, Schlesinger W H, Tilman D. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. *Ecological applications*, 1997, 7(3): 737-750.
- [ 7 ] Zhao X T, Yang W, Zhou D, Chen S L. The five major issues related to the sustainable development of China's estuary. *Ocean Development and Management*, 2008, 25(3): 91-93.
- [ 8 ] Qiu J. An overview of development and utilization of coastal beach in modern China. *Water Resources Development Research*, 2006, 6(3): 26-28.
- [ 9 ] Selman M, Sugg Z, Greenhalgh S, Diaz R. Eutrophication and hypoxia in coastal areas: a global assessment of the state of knowledge. The World Resources Institute, 10 G Street, NE Suite 800. Washington, DC 20002, USA, 2008.
- [ 10 ] State Oceanic Administration People's Republic of China. China marine environmental quality bulletin of 2009. <http://www.soa.gov.cn/soa/hygb/hjgb/webinfo/2010/06/1297643967120831.htm>.
- [ 11 ] Mayorga E, Seitzinger S P, Harrison J A, Dumont E, Beusen A H W, Bouwman A F, Fekete B M, Kroeze C, Van Drecht G. Global nutrient export from WaterSheds 2 (NEWS 2): model development and implementation. *Environmental Modelling and Software*, 2010, 25(7): 837-853.
- [ 12 ] Seitzinger S P, Mayorga E, Bouwman A F, Kroeze C, Beusen A H W, Billen G, Van Drecht G, Dumont E, Fekete B M, Garnier J, Harrison J A. Global river nutrient export: a scenario analysis of past and future trends. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24(GB0A08): doi: 10.1029/2009GB003587.
- [ 13 ] Arnold Jr C L, Gibbons C J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*, 1996, 62(2): 243-258.
- [ 14 ] Jenks G F. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*. 1967, 7: 186-190.
- [ 15 ] Zhang J P, Hu Y M, Tian Y, Wang L, Liu S P. Comprehensive evaluation of county-level construction land intensive utility in Guangdong Province A case study for Zijin County. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 422-428.
- [ 16 ] Wen Q K, Zhang Z X, Xu J Y, Zou L J, Wang X, Liu B, Zhao X L, Yi L. Spatial and temporal change of wetlands in Bohai rim during 2000—2008: An analysis based on satellite images. *Journal of Remote Sensing*, 2011, 15(1): 192-200.
- [ 17 ] Martin K S. GIS in marine fisheries science and decision making // Fisher W L, Rahel F J, eds. *Geographic Information Systems in Fisheries*. American Fisheries Society, 2004: 237-258.
- [ 18 ] St Martin K. Making space for community resource management in fisheries. *Annals of the Association of American Geographers*, 2001, 91(1): 122-142.
- [ 19 ] Weng Q. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*, 2002, 64(3): 273-284.
- [ 20 ] Hepcan Ç C, Turan İ A, Özkan M. Monitoring land use change in the Çeşme coastal zone, Turkey using aerial photographs and satellite imaging. *Land Degradation and Development*, 2011, 22(3): 326-333.
- [ 21 ] Hovik S, Stokke K B. Balancing aquaculture with other coastal interests: a study of regional planning as a tool for ICZM in Norway. *Ocean and Coastal Management*, 2007, 50(11/12): 887-904.
- [ 22 ] Coleman J M, Huh O K, de Braud W Jr. Wetland loss in world deltas. *Journal of Coastal Research*, 2010, 24(S1): 1-14.
- [ 23 ] Zong X Y, Liu G H, Qiao Y L, Lin S. Study on dynamic changes of wetland landscape pattern in Yellow River Delta. *Journal of Geo-information Science*, 2009, 11(1): 91-97.
- [ 24 ] Liu H Y, Lu X G, Liu Z Q. Deltaic wetland in Bohai Sea: resources and development. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(2): 101-106.
- [ 25 ] Zhang X L, Chen D J, Gu D Q. Analysis of the degradations of coastal wetlands in southern Laizhou bay during last 20 years and the Mechanisms. *Science and Technology Review*, 2009, 27(4): 65-70.
- [ 26 ] Liu C Y, Zhang S Q, Jiang H X, Wang H, Sun Y. Spatio-temporal dynamics of coastal Wetland Landscape Pattern in Yancheng, Jiangsu Province. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2009, (3): 78-83.
- [ 27 ] Chen P. Study on the change of landscape pattern of coastal wetland in Xiamen City. *Ecologic Science*, 2005, 24(4): 359-363.
- [ 28 ] National Bureau of Statistics of China. *China city statistical yearbook 2000*. Beijing: China Statistics Press, 2001.
- [ 29 ] State Oceanic Administration People's Republic of China. China marine environmental quality bulletin of 2000—2010. <http://www.soa.gov.cn/soa/hygb/hjgb/webinfo/2001/04/1271382648963145.htm>.
- [ 30 ] Burak S, Doğan E, Gazioğlu C. Impact of urbanization and tourism on coastal environment. *Ocean and Coastal Management*, 2004, 47(9/10): 515-527.

- [31] Antos M J, Ehmke G C, Tzaros C L, Weston M A. Unauthorized human use of an urban coastal wetland sanctuary: current and future patterns. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80(1/2): 173-183.

#### 参考文献:

- [7] 赵晓涛, 杨威, 周丹, 陈沈良. 影响我国河口地区可持续发展的五大问题. *海洋开发与管理*, 2008, 25(3): 91-93.
- [8] 裘江海. 我国近代滩涂开发利用综述. *水利发展研究*, 2006, 6(3): 26-28.
- [10] 国家海洋局. 中国海洋环境质量公报 2009. <http://www.soa.gov.cn/soa/hygb/hjgb/webinfo/2010/06/1297643967120831.htm>.
- [15] 张俊平, 胡月明, 田原, 王璐, 刘素萍. 广东省县级建设用地集约利用综合评价——以紫金县为例. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 422-428.
- [16] 温庆可, 张增祥, 徐进勇, 左丽君, 汪潇, 刘斌, 赵晓丽, 易玲. 环渤海滨海湿地时空格局变化遥感监测与分析. *遥感学报*, 2011, 15(1): 192-200.
- [23] 宗秀影, 刘高焕, 乔玉良, 林松. 黄河三角洲湿地景观格局动态变化分析. *地理信息科学学报*, 2009, 11(1): 91-97.
- [24] 刘红玉, 吕宪国, 刘振乾. 环渤海三角洲湿地资源研究. *自然资源学报*, 2001, 16(2): 101-106.
- [25] 张绪良, 陈东景, 谷东起. 近 20 年莱州湾南岸滨海湿地退化及其原因分析. *科技导报*, 2009, 27(4): 65-69.
- [26] 刘春悦, 张树清, 江红星, 王会, 孙妍. 江苏盐城滨海湿地景观格局时空动态研究. *国土资源遥感*, 2009, (3): 78-83.
- [27] 陈鹏. 厦门滨海湿地景观格局变化研究. *生态科学*, 2005, 24(4): 359-363.
- [28] 国家统计局. 中国城市统计年鉴 2000. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [29] 国家海洋局. 中国海洋环境质量公报 2000—2010. <http://www.soa.gov.cn/soa/hygb/hjgb/webinfo/2001/04/1271382648963145.htm>.



# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Ecosystem Service Simulation and Management

- Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China ..... Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
- Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies ..... OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
- Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP) ..... LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
- Progress and perspectives of ecosystem services management ..... ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
- Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model ..... BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
- Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area ..... XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
- Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed ..... LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
- Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China ..... LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
- Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island ..... RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
- Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests ..... GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
- Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve ..... LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
- Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City ..... CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
- Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection ..... HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
- Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County ..... FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
- Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas ..... PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

### Frontiers and Comprehensive Review

- The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation ..... DONG Ying, SHI Lei (809)
- Ecological protection and well-being ..... LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
- An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi ..... WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

### Autecology & Fundamentals

- Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains ..... JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
- The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe ..... LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
- Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features ..... CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
- Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of *Eucalyptus* ..... ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
- Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Pterocarya stenoptera* seedlings to submergence and drought alternation ..... WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

- Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of *Salix integra* ..... ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al ( 898 )
- Water consumption of pear jujube trees (*Ziziphus jujuba* Mill. ) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods ..... ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al ( 907 )
- Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat ..... ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al ( 916 )
- Population, Community and Ecosystem**
- Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China ..... WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al ( 925 )
- Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation ..... LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al ( 934 )
- Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China ..... ZHANG Hua, HU Hongjun , CHAO Aimin, et al ( 944 )
- Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province ..... MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun ( 957 )
- Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province ..... MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al ( 964 )
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index ..... ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al ( 975 )
- Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin ..... FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al ( 985 )
- Research Notes**
- Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China ..... WANG Yijie, YU Shen ( 998 )
- Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir ..... WANG Liping, ZHENG Binghui ( 1011 )

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 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@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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