

doi: 10.12029/gc20220406

李梅娜, 印萍, 段晓勇, 董超, 曹珂, 杨磊, 陈选博. 2022. 近 20 年来长江三角洲海岸带典型区土地利用变化与生态环境效应研究[J]. 中国地质, 49(4): 1114–1126.

Li Meina, Yin Ping, Duan Xiaoyong, Dong Chao, Cao Ke, Yang Lei, Chen Xuanbo. 2022. Land use change and ecosystem effect in typical coastal zone of Yangtze River Delta in the last 20 years[J]. *Geology in China*, 49(4): 1114–1126(in Chinese with English abstract).

近 20 年来长江三角洲海岸带典型区土地利用变化与生态环境效应研究

李梅娜^{1,2}, 印萍^{1,2}, 段晓勇^{1,2}, 董超³, 曹珂^{1,2}, 杨磊³, 陈选博³

(1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 浙江省水文地质工程地质大队, 浙江 宁波 315012)

摘要:【研究目的】近 20 年来, 长江三角洲海岸带地区土地类型结构发生显著转化, 海岸带开发与保护的矛盾凸显。本文旨在开展长江三角洲海岸带典型区土地利用变化与生态环境效应研究, 为海岸带地区的土地资源可持续利用、海岸带环境保护提供科学依据。【研究方法】利用美国 Landsat 卫星系列遥感影像和中国资源卫星系列遥感影像, 采用自动监督分类并结合目视解译, 获取了研究区 1995—2015 年共 5 期土地利用分类数据, 分析土地利用变化特征和趋势, 探讨长江三角洲海岸带典型区城镇发展、围填海时空变化及生态环境效应。【研究结果】长江三角洲海岸带典型区(南通、上海、嘉兴、宁波和舟山)1995 年至 2015 年, 土地利用变化明显, 耕地大幅度减少, 比例从 1995 年的 68.8% 降为 2015 年的 55.7%; 城镇建设用地迅速扩张, 年平均增加 192.8 km²。【结论】在快速城市化过程中, 人口、单位面积能源消耗等快速增加, 环境问题凸显, 大量的耕地转为建设用地, 围填海使滨海湿地面积快速减小和消失, 导致 CO₂ 和污染物释放与吸收严重失衡, 海洋环境受流域和沿海城镇化建设的影响明显, 长江口及邻近海域近 20 年来赤潮频发, 研究区陆域和海洋环境压力增加。

关键词: 海岸带; 土地利用变化; 遥感技术; 建设用地; 围填海; 生态环境效应; 地质调查工程

创新点: 选取长江三角洲海岸带典型区, 首次以 1995—2015 年 5 期序列遥感影像数据为基础, 采用空间叠加分析方法, 着重分析了建设用地和围填海区域的时空演化特征; 以人类活动为主线, 综合多种海洋环境指标, 分析快速城市化进程中, 建设用地和围填海导致的生态环境效应。

中图分类号: P64; P66; P694 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2022)04-1114-13

Land use change and ecosystem effect in typical coastal zone of Yangtze River Delta in the last 20 years

LI Meina^{1,2}, YIN Ping^{1,2}, DUAN Xiaoyong^{1,2}, DONG Chao³,
CAO Ke^{1,2}, YANG Lei³, CHEN Xuanbo³

(1. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, Shandong, China; 2. Laboratory for Marine

收稿日期: 2021-08-18; 改回日期: 2022-01-24

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190237, DD20190276)

作者简介: 李梅娜, 女, 1984 年生, 工程师, 从事海岸带遥感地质和地理信息应用研究工作; E-mail: lmnz@163.com。

通讯作者: 印萍, 女, 1971 年生, 研究员, 主要从事海岸带环境地质研究; E-mail: pingyin@fio.org.cn。

Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, Shandong, China;3. Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Ningbo 315012, Zhejiang, China)

Abstract: This paper is the result of the environmental and ecological survey engineering.

[Objective] In the past 20 years, the land type distribution in coastal areas of the Yangtze River Delta has been significantly transformed, highlighting conflicts between coastal zone development and protection. This study examines land use changes and eco-environmental effects in coastal areas of the Yangtze River Delta and seeks to provide a scientific basis for the sustainable use of land resources and environmental protection in the coastal areas. **[Methods]** Automatic supervised classification combined with visual interpretation of remotely sensed images from the Landsat satellite series of the United States and the resource satellite series of China was used to obtain land use classification data for the study area over five periods between 1995 and 2015. The data were analysed to determine the characteristics and trends in land use changes and explore spatial and temporal changes in urban development, reclamation, and eco-environmental effects in typical coastal areas of the Yangtze River Delta. **[Results]** From 1995 to 2015, the typical areas (Nantong, Shanghai, Jiaxing, Ningbo, and Zhoushan) experienced significant changes in land use, with a notable decrease in arable land from 68.8% in 1995 to 55.7% in 2015, whereas urban construction land expanded rapidly, with an average annual increase of 192.8 km². **[Conclusions]** With rapid urbanisation, the population and energy consumption per unit area increased rapidly, environmental concerns became pronounced, a large area of arable land was converted to construction land, and reclamation caused a rapid decline in coastal wetland areas, resulting in high CO₂ and a severe imbalance between the release and absorption of pollutants. The marine environment has been significantly affected by the construction of watersheds and coastal towns, and red tides have occurred frequently in the Yangtze River estuary and adjacent waters in the past 20 years, thereby increasing pressure on the land and marine environment in the study area.

Key words: land use change; coastal zone; remote sensing technology; land used for building; reclamation; environmental effect; geological survey engineering

Highlights: (1) This study examined typical coastal areas of the Yangtze River Delta and used remotely sensed image data of five periods between 1995 and 2015 and performed spatial overlay analysis to identify spatial and temporal evolution characteristics of construction land and reclamation areas. (2) With a focus on human activities, we used a combination of marine environmental indicators to analyse the eco-environmental effects of construction land and reclamation in the course of rapid urbanisation.

About the first author: LI Meina, female, born in 1984, engineer, mainly engaged in the study of the application research of coastal remote sensing geology and geographic information; E-mail: lmnz@163.com.

About the corresponding author: YIN Ping, female, born in 1971, researcher, mainly engaged in the research of coastal environmental geology; E-mail: pingyin@fio.org.cn.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No. DD20190237, No. DD20190276).

1 引言

土地利用是人类开发利用土地的基本模式 (Pourebrahim et al., 2015), 是根据土地的特性、社会经济发展需求和人类生活需要、休闲娱乐等而对土地进行的管理和改造活动 (Hao et al., 2009; 史洪超, 2012)。在各种区域土地利用变化中, 由城市迅速扩张过程导致的大规模土地利用变化最为显著 (Foley et al., 2005; 赵亚莉等, 2014; Tao et al., 2018)。海岸带周边城市作为人类活动最为集中的区域 (张明书, 1998; 张建等, 2012; 印萍等, 2017), 从宏观尺度上不断经历着迅速发展变化的过程, 对城

市空间拓展与土地利用变化进行监测与分析, 是海岸带城市建设、管理和规划所面临的重要任务 (邹霞, 2006; 李振和黄海军, 2010)。

作为影响全球生态环境变化的重要因素之一 (Vitousek, 1994), 土地利用变化与生态环境研究与海岸带地区总体发展格局密切相关。国内外学者针对海岸带土地利用变化开展了大量研究, 如 LACOAST 计划为了给海岸带综合管理提供科学的环境指标数据, 对欧洲海岸带土地覆被变化进行了详细研究, C-CAP 计划综合利用 Landsat TM、SPOT、HRV 等遥感数据信息和航空相片监测美国海岸湿地及其毗邻陆地的变化规律 (于雪等,

2016)。中国海岸带土地利用变化大的区域较为集中,主要分布在黄河、长江、珠江三角洲和环渤海地区(黎夏等,1997;许学工等,2001;朱会义等,2001)。目前,国内关于土地利用变化的研究主要分为土地利用/覆被变化空间格局研究、过程研究、驱动机制研究等三个方面(张荣天和焦华富,2015)。以人类活动为主线,综合多种海洋环境指标,分析快速城市化进程中,建设用地和围填海导致的生态环境效应,前人研究较少。

长江三角洲是世界上最大的河口三角洲之一,是中国经济最发达、社会发展最迅速的地区,也是土地利用程度最高、变化最大的区域之一(戴锦芳,2002;屠雪姣等,2008;刘敏等,2010)作为开发最为活跃的海岸带区域,长江三角洲海岸带地区长期以来面临着巨大的人口增长和经济增长的压力,具有土地扩张强度大、土地保有量降低、综合产出率高、耕地流失幅度大、土地类型构成变化大等特征(李晓文等,2003;彭补拙等,2004)。近年来随着海岸带人为开发强度越来越大,海岸带土地类型结构发生显著转化,出现了河口环境污染(Bessa et al., 2018)、滨海湿地生境面积锐减(Jankowski et al., 2017)、海岸带生态风险加剧(Pan et al., 2021),海岸带开发与保护的矛盾凸显(查书平等,2003;赵孜苗等,2010;张训华等,2015; Yin et al., 2018; Zhao et al., 2018)。开展长江三角洲海岸带典型区土地利用变化与生态环境效应研究,是陆海相互作用研究的重要科学内容,研究成果将为海岸带地区的国土资源可持续利用、海岸带环境保护提供科学依据。

2 研究区概况

研究区位于长江三角洲核心区,主要包括南通、上海、嘉兴、宁波和舟山5市的陆域行政区及其近岸海域,陆域总面积约29470 km²(图1)。

长江三角洲海岸带区位优势独特,社会经济持续快速发展,是中国最发达的地区之一。近年来大力发展海洋经济,各省市先后制定实施了海洋经济发展的长期规划,海洋经济发展迅猛,在沿江、沿海地区建设了大量的港口、水利、交通和能源电网等重大基础设施,并且大力开发潮滩资源和海岸带资源(如矿产资源、渔业、淡水资源),进行围填海、开发新的临海工业区等等,这些措施都极大地促进了

长江三角洲海岸带地区产业结构优化升级和整体实力提升,对促进中西部地区协调发展,完善全国海岸带地区生产力布局,加强中国与欧洲、东北亚和中亚国家的交流与合作,起到了不可估量的作用。

3 数据来源及研究方法

3.1 数据来源

本研究收集了美国Landsat(TM5/TM7/TM8)影像5期(1995年、2000年、2005年、2010年、2015年),中国资源卫星系列遥感影像1期(2015年)(表1,表2);所有数据均进行了波段合成、几何校正、色彩拉伸等处理。此外,还收集了长江三角洲海岸带地区1:15万~1:30万海图,作为辅助数据,经过扫描数字化后,为海岸带围填海分析做解释参考。海洋环境效应研究数据来源于国家海洋局《中国海洋环境状况公报》(1997—2015年)和中国海洋灾害公报(2000—2015年)。

3.2 遥感数据处理方法

3.2.1 控制点选取

依据卫星提供的辅助数据,只需9个控制点就可以建立起严密的物理模型,一般情况下多项式模型的建立,每景均需要不少于30个控制点,在一些复杂的地区可以适当增加多个点位进行约束。由于几何多项式模型的确定与地形的关系密不可分,所以几何多项式某些对控制点的要求比以上几种模型要更多。通常情况下,每景对于控制点的要求往往在40~60个,山部地区因为地形的变化及其复杂,应适当多增加控制点的数量进行建模(邹杰,2003)。

控制点的选取准则为:均匀布设、相对固定、四周控制。如:公路、铁路的交叉点;水库坝基;山脊交点等。

3.2.2 影像纠正

(1)纠正模型:在纠正遥感数据的整幅影响时,如果卫星影像数据量较大,应采取全覆盖的研究区影像为纠正单元,辅以纠正几何多项式作为主要的研究模型,例如山区地形起伏较大,应辅以物理模型等其他纠正方法(邹杰,2003)。

几何纠正的一般方程式为:

$$\left. \begin{aligned} X &= F_1(x, y) \\ Y &= F_2(x, y) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中的 x 、 y 分别代表像元在原始图像上的坐



图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

表1 Landsat 卫星参数

Table 1 Landsat satellite parameters

卫星参数	LandSat5	LandSat7	LandSat8
发射时间/年/月/日	1984.3.1	1999.4.15	2013.2.11
卫星高度/km	705	705	705
半主轴/km	7285.438		
倾角/°	98.22	98.2(轻微右倾)	
经过赤道的时间	9:30 a.m.		10:00 a.m.
覆盖周期/d	16	16	16
扫幅宽度/km	185	185×170	170
波段数	7	8	11
机载传感器	MSS、TM	ETM+	OLI、TIRS

标, X, Y 为像元的目的图像上的坐标。通过同名点的对应和多项式求得可以得到函数 $F_1(x, y), F_2(x, y)$, 该方法通用简便, 且准确度高(邹杰, 2003)。即:

$$\left. \begin{aligned} X &= F_1(x, y) = \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^{n-j} a_{jk} x^j y^k \\ Y &= F_2(x, y) = \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^{n-j} b_{jk} x^j y^k \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

a_{jk} 和 b_{jk} 代表几何纠正系数, 位置是在原始影像和结果影像上的同句点, 利用最小二乘法求得。 n 次多项式的点不得少于 $[\frac{1}{2} \times (3n+n^2)+1]$ 个, 其中 $n=1, 2, 3, 4, \dots$ 。

设 X, Y 为校准遥感影像的坐标, x, y 为待校准影像坐标, X', Y' 分别代表经变换的实验影像的坐标。即 $X' = F_1(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3$ 代入主元消去法, 即可得出系数值: $a_{00}, a_{10}, a_{01}, a_{20}, a_{11}, a_{02}, a_{30}, a_{21}, a_{12}, a_{03}$, 而后将这些系数代入方程式中变换图像的任一点的数值即可得到 X' 而偏差值 $= X - X'$ (邹杰, 2003)。

用同样的方法, 按 $Y = F_2(x, y) = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y + b_{20}x^2 + b_{11}xy + b_{02}y^2 + b_{30}x^3 + b_{21}x^2y + b_{12}xy^2 + b_{03}y^3$ 解算出系数: $b_{00}, b_{10}, b_{01}, b_{20}, b_{11}, b_{02}, b_{30}, b_{21}, b_{12}, b_{03}$ 应用二次多项式建立遥感图像坐标 (x, y) 与参考坐标 (X, Y) 的对应关系为:

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \quad (3)$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \quad (4)$$

(2) 控制点残差: 通过设置的控制点和 DEM 数据构建纠正模型进而对遥感图像进行纠正。为了达到良好的精度显示, 残差控制应在限差范围内。如果残差不理想, 应采取调整或者增加控制点的方

表2 资源一号 02C 卫星轨道参数

Table 2 Orbital parameters of Ziyuan-1 02C satellite

序号	项目	参数
1	轨道高度/km	780.099
2	轨道倾角/°	98.5
3	降交点地方时	10:30 a.m.
4	交点周期	100.38
5	轨道偏心率	0.0011
6	覆盖周期	55

法提高数据质量。

3.2.3 几何校正的重采样、内插方法

当输出的影像阵列中任一像素在原始的影像中的投影点位坐标值显示为整数, 可以将整数点位上原始影像中的亮度值写入输出的影像。如果投影点位的坐标值不是整数, 说明该原始影像阵列中无现成可用的亮度值, 必须使用合适的方法积累此点位四周相近整数点位上的亮度值, 重新生成该点位的亮度值(胡琦, 2013)。图像采样的间距尽可能使用原始影像的分辨率, 重采样方法使用双线性内插。

3.2.4 图像增强

(1) 主成分分析法

主成分分析(PCA)的数学名称为 K-L 变换, 图像的统计特征是 PCA 的基础, 在遥感应应用领域, 主成分方法主要包括: 图像增强、数据压缩(去相关)、突出光谱特征空间中的物理指数(如绿度、亮度、湿度等)、动态监测土地覆表的变化等(于森, 2009; 刘俊, 2009)。对研究区应用主成分分析方法, 把多维空间的信息进行压缩, 达到信息综合与增强的目的。主成分分析法可以在图像增强信息的基础上, 从不同的角度分析区域地质的相关信息(刘俊, 2009)。

(2) 对比度增强

当原始图像的亮度值都集中在一个较窄的有效值域范围, 为了增强影像的对比度, 可以改变图像中的每一个像元的幅度尺寸, 令 r 及 S 代表原始图像及增强后图像的灰度级。原始图像中的每一个灰度等级为 r 的像元转换成增强后图像中对应象元的灰度等级为 $S = T(r), T[\cdot]$ 称作灰度变换函数。

变换函数的呈现方式是由待处理影像的情况决定的。假设原始影像及增强后的影像的灰度范围相同, 即 $r_1 \leq r_2 \leq r_3$, 又 $s_1 \leq s_2 \leq s_3$; 当原始影像没有占满全部容许范围(即 $r_1 \leq r \leq r_2$) 时, 为了增强对比度可

以使用下列线性变换公式(邹杰,2003):

$$S = \frac{(S_2 - S_1)}{(r_2 - r_1)}(r - r_1) + S_1 \quad (5)$$

假如影像中的大部分像素在某一灰度范围内,其他灰度范围的像素较少时,可以使用非线性变换函数,压缩只有较少像素的灰度范围,扩充具有较多像素的灰度范围。如此可使总灰度范围不变,增强影像中绝大多数的象素对比度。如8 Bit图像的灰度动态范围为0~255级(邹杰,2003)。

(3)直方图均衡

图像灰度分布直方图表示的是各种级别的灰度值在影像中所占的比例,能直观地反映影像的样子。通过变换影像灰度直方图,可以增强图像的对比度。直方图均衡是指平衡影像中每一灰度级别上的像素数量,即使直方图均匀分布的技术。

使用非线性变换的直方图均衡技术可以降低影像中象素的聚集程度,拓宽将原始影像中的相近灰度区域的面积,锐化大范围内的微小的灰度波动,强化图像的辨识度,扩大像元灰度的动态范围。影像在经过直方图均衡处理后具有最大熵,可以使影像的本质信息充分显示。

(4)遥感数据的线性增强

线性增强采用滤波分析,特别是纹理提取技术,如边缘跟踪、霍夫(Hough)变换,提取图像的空间结构信息。根据不同区域的构造特性,选取北东向、东西向、南北向、北西向的滤波处理,增强这些方向的线性特性,有利于更好地提取这些方向的纹理信息(李琳,2013)。为了便于分析,对这些信息进行色彩变换和信息增强等处理,减少它们的相似冗余信息,可以得到构造的纹理影像图。为解译工作提供更为直观的解译信息依据。

3.3. 研究方法

3.3.1 土地利用转移趋势

转移矩阵是目前国内外用于定量描述LUCC的特征、方向及结构的有力工具,在具体应用中,矩阵以表格形式来表示,转移矩阵的作用不仅可以用来反映研究时段开始与研究时段结束时的土地利用类型结构,也可以反映研究时段内各土地利用类型的来源与构成(宗玮,2012)。

在ArcGIS软件下,运用Toolbox模块,执行overlay命令,将不同年份长江三角洲海岸带土地利

用图进行叠加,在ArcMap下计算各种土地利用类型之间的转化面积,获得土地利用类型空间转移矩阵,对转移矩阵进行分析,整理出主要转化形式的面积,有助于进一步识别土地利用变化空间特征以及内在演化规律。

3.3.2 扩展强度指数

城镇建设用地扩展强度指数是一个特定区域年平均城镇建设用地扩展面积和土地总面积的比值,一般用来表征各市区城镇建设用地扩展差异,计算公式为

$$B_i = \frac{U_i}{A \times \Delta t} \times 100 \quad (6)$$

式中: B_i 为*i*区城镇建设用地扩展强度指数, U_i 为*i*区前一基年至后一基年城镇建设用地扩展面积, A 为*i*区土地总面积, t 为以年为单位的变化的时间。

4 分析结果与讨论

4.1 土地利用变化概况

土地利用结构可以反映一个地区内各种土地利用类型在整个土地利用中占有的比例,可以体现这一地区土地利用状态。利用ArcGIS软件,统计1995年、2000年、2005年、2010年和2015年的遥感解译数据,建立各年份的土地利用数据库,得到5期不同土地利用类型面积以及面积变化统计值,同时得到5期各类土地利用类型面积占整个研究区面积的百分比数据(表3,图2)。

1995年长江三角洲海岸带地区土地利用方式以耕地、林地、建设用地为主,所占比例分别为68.5%、15.3%和9.2%。至2015年,虽然主要的土地利用类型没有改变,但所占比例有所变化,耕地的比例降为55.7%,建设用地比例增至22.7%,成为主要的土地利用类型。

1995—2015年间,建设用地面积大幅度增长,20年共增加3977.1 km²,占海岸带土地面积的比例由1995年的9.2%增至22.7%,增幅达13个百分点;耕地面积大幅度减少,20年间共减少3933.25 km²;由此可见长江三角洲海岸带地区城镇扩张速度之快,以及耕地面积减少之多。

4.1.1 土地利用转移趋势

从统计结果(表4)可知,1995年到2015年的20年中,长江三角洲典型区土地利用情况发生明显变化。从1995年到2015年的20年中,研究区内的建设

表3 各年份不同土地利用类型占海岸带总面积百分比(%)及变化统计

土地类型	1995年/%	2000年/%	2005年/%	2010年/%	2015年/%	1995—2015年变化面积/km ²
耕地	68.5	65.5	61.7	57.2	55.7	-3933.25
林地	15.3	15.6	15.5	15.2	15.1	+15.5
草地	1.4	1.1	0.1	0.6	0.6	-237.9
水域	5.6	5.8	5.5	5.5	5.9	+119.7
建设用地	9.2	12	17.2	21.5	22.7	+3977.1

用地面积由 2635.3 km²增加到 6491.3 km²,共增加 3856 km²,年平均增加 192.8 km²。其中有 3658.84 km²耕地转变为建设用地,占建设用地新增面积的 92%,可见耕地是城镇建设用地增加的主要来源。

4.1.2 建设用地扩展趋势

以南通、上海、嘉兴、宁波、舟山市等为基本计算单元,根据公式计算长江三角洲海岸带的城镇建设用地扩展强度指数,城镇建设用地扩展强度指数

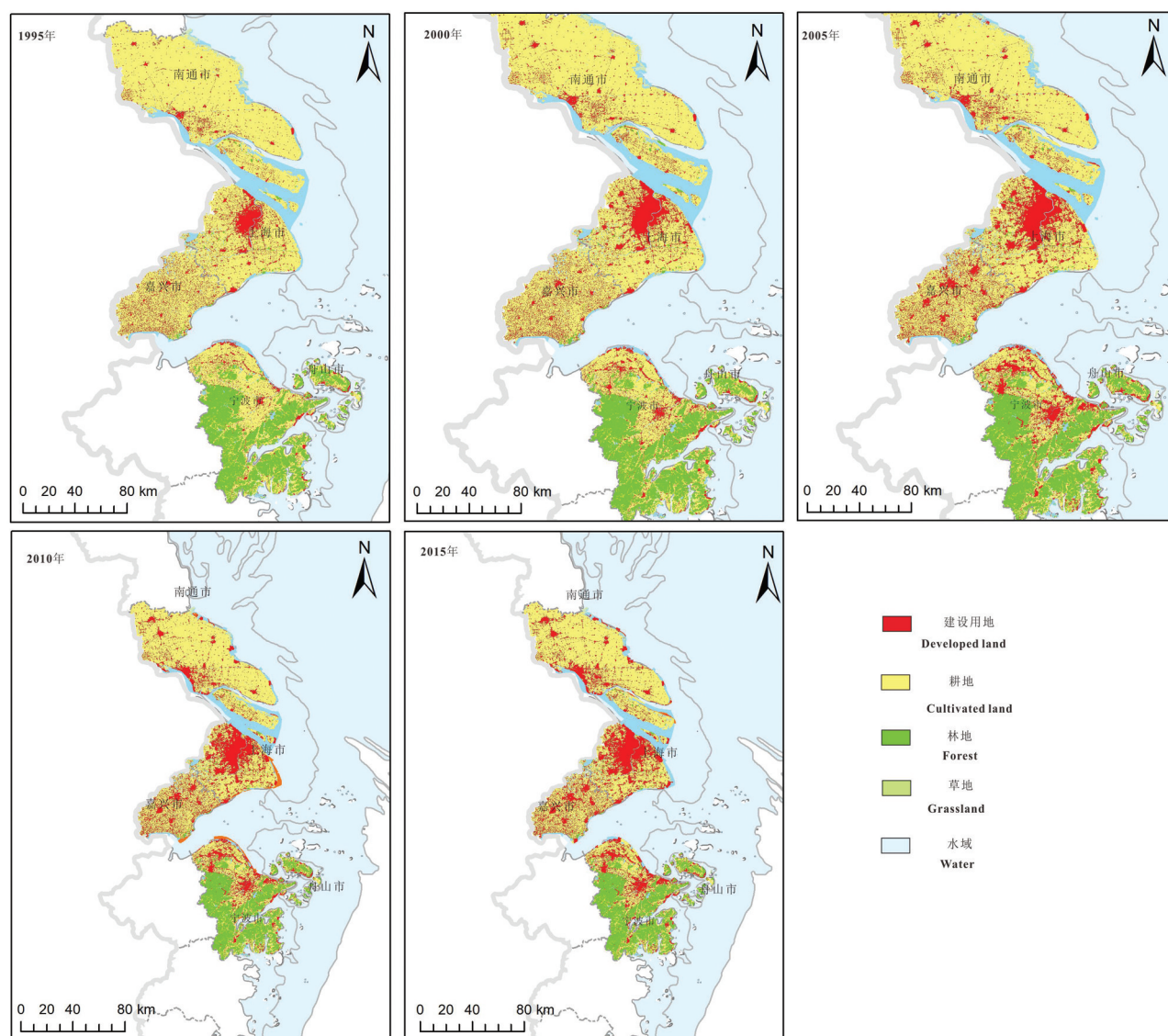


图2 长江三角洲海岸带典型区土地利用变化图(1995—2015年)

Fig.2 Land use classification results in the Yangtze River Delta from landsat imagery during 1995–2015

表4 长江三角洲典型区土地利用转换(km²)
Table 4 Land use conversion matrix in the study area (km²)

用地类型	草地	建设用地	耕地	林地	水域	1995年转出
草地	-	74.61	26.29	101.93	91.28	294.16
建设用地	0.02	-	41.93	2.73	3.87	48.55
耕地	2.47	3658.84	-	82.27	189.67	3933.25
林地	42.06	73.39	42.42	-	11.33	169.2
水域	11.74	233.20	64.09	1.96	-	310.99
2015年转入	56.29	3977.1	174.73	188.89	296.15	-

较大的区域主要分布在上海、宁波、南通、嘉兴这些经济发展较快的海岸带城市(图3,图4)。其中上海、嘉兴、宁波2000—2005年的城镇建设用地扩展强度指数均大于或接近于1。从一个侧面反映出这几个区域对重点基础设施建设项目给予了有效的用地保障,对各类基础设施建设项目的顺利建设具有积极推进作用,这些工程建设有利地促进了地区经济社会发展,充分发挥了这些资源为社会经济服务的功能。

4.1.3 海岸带围填海时空变化分析

1995—2015年研究区城市海岸带共围填土地1622.7 km²(图5)。其中围填面积最多的研究时段是2010—2015年,共围填557.3 km²,占总围填土地的34.3%;其次是2005—2010年围填了434.7 km²,占总围填面积的26.8%;再次是2000—2005年围填了311.97 km²,占19.3%;围填最少的时段是1995—2000年,围填318.6 km²,占19.6%。

4.2 土地利用变化生态环境效应

4.2.1 土地利用变化对气候变化的影响

近年来气候变化和大气污染等成为全球关注的焦点,全球变暖、海平面上升、雾霾等一系列问题严重威胁着地球生态环境。土地利用变化会带来大气成分、生态系统的急剧变化,进而影响全球的气候变化,目前全球变暖问题日益突出,土地利用变化带来的大气环境效应受到了世界范围的广泛关注。

孙伟(2012)等的研究工作表明,长三角地区CO₂排放处于严重失衡状态(图6),很大程度上是因土地利用变化导致,耕地、林地等被建筑物覆盖,碳吸收能力减弱,而排放量飙升。1995—2007年期间,苏州、上海、南京和宁波的固碳量分别减少了91.73、46.72、64.43和100.99万t。

一方面是碳排放的持续增加,另一方面是因城市发展导致的耕地林地等被占用,固碳能力不断削弱,区域内的碳收支缺口呈现持续上升趋势,到目

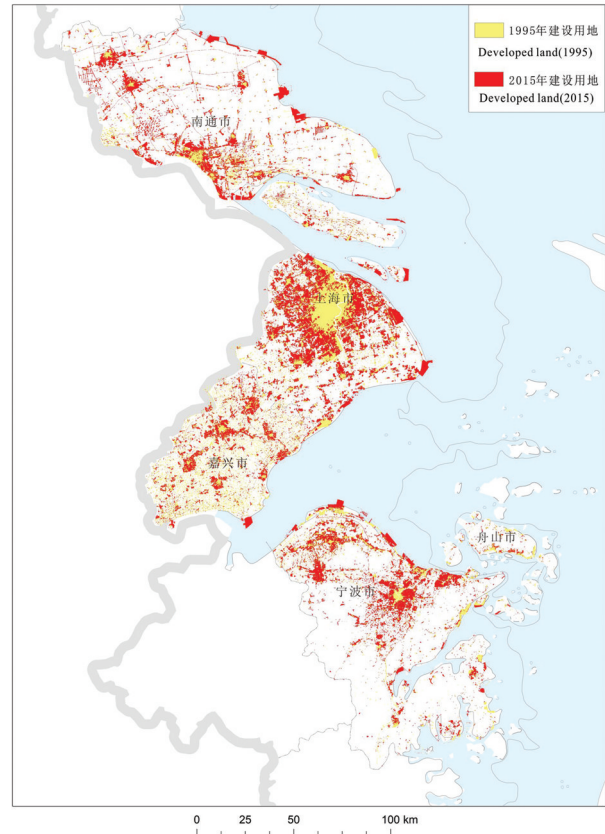


图3 长江三角洲海岸带典型区建设用地时空演化图(1995—2015年)

Fig.3 Spatio-temporal evolution of construction land in typical coastal zone of Yangtze River Delta during 1995–2015

前已经基本无法依靠自生生态系统的固碳能力来实现收支平衡。这必然会导致地区环境恶化,若这种状态持续,将必然导致经济发展所带来的短暂收益无法弥补的负面环境效应(张润森等,2013)。

4.2.2 对湿地生态系统的影响

长江三角洲处于长江流域与沿海的交汇带,湿地面积广阔,湿地资源丰富(图7)。近年来,随着近岸海域的开发,大规模围填海、近岸工程等,长江三角洲潮间带面积锐减,纳潮量剧降,研究区域自

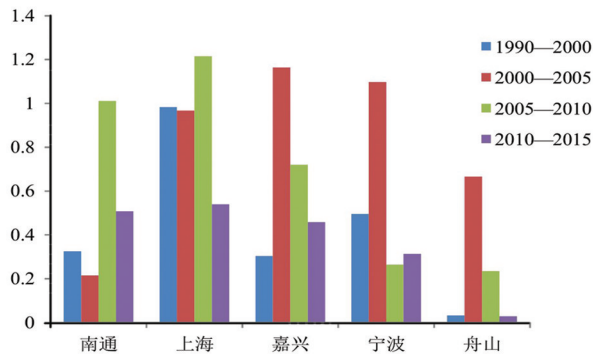


图4 研究区城市建设用地扩展强度指数图
Fig.4 The intensity index of construction land expansion in the study area

1995—2015年期间累计围填海1622.7 km²(图8)。湿地被誉为大自然的肾,而随着潮间带开发活动的加剧,陆地与海洋之间的缓冲区间被不断压缩,在很多高强度活动区域生活、工业污水都直接排海,原本陆源物质在潮间带的不断交换过程被截断。随着潮间带开发活动的加剧,引入了大量的N、P及其他物质,营养盐过剩会导致一系列的环境问题。同时因围填海导致海陆之间的缓冲区间被占用,抑制了物质在潮间带的交换、降解。湿地面临面积萎缩或者消失,生态系统质量下降,功能退化。

4.2.3 对近海岸环境状况的影响

国家海洋局发布的《中国海洋环境状况公报

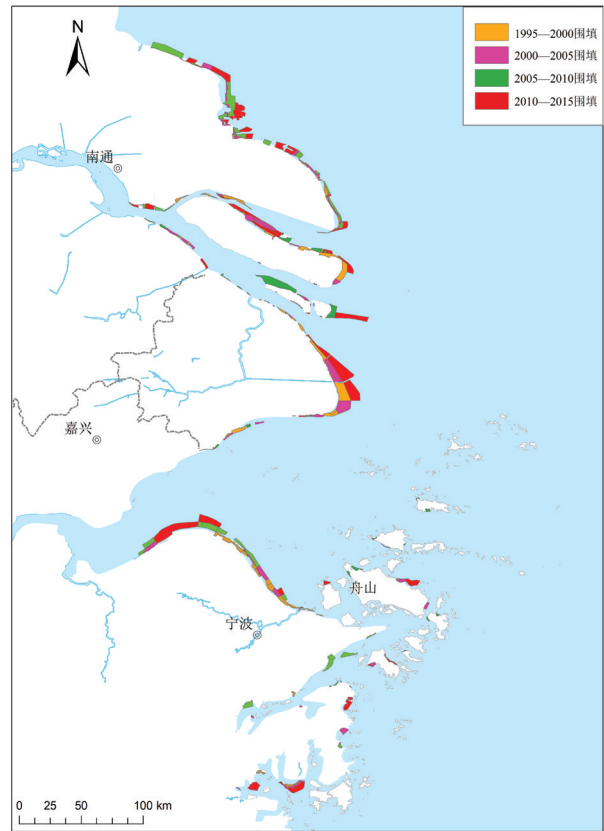


图5 长江三角洲海岸带典型区围填海趋势图(1995—2015年)

Fig.5 Trend chart of reclamation in typical coastal zone of Yangtze River Delta during 1995—2015

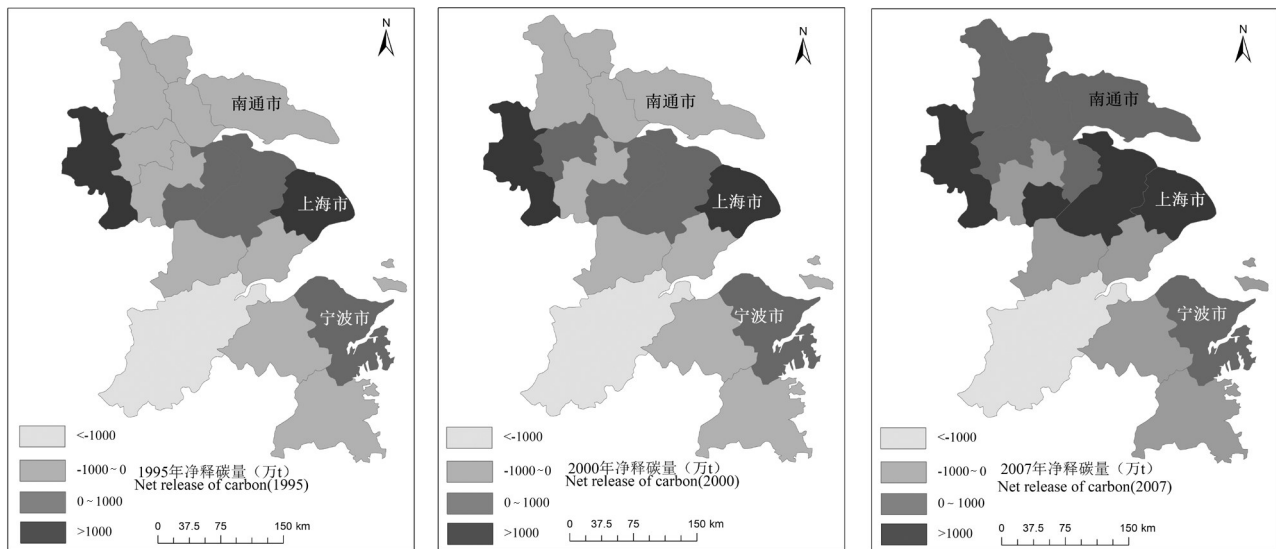


图6 长三角主要城市1995、2000和2007年碳收支分布图(据孙伟,2012)

Fig.6 Carbon budget distribution maps of major cities in the Yangtze River Delta in 1995, 2000 and 2007 (after Sun Wei, 2012)

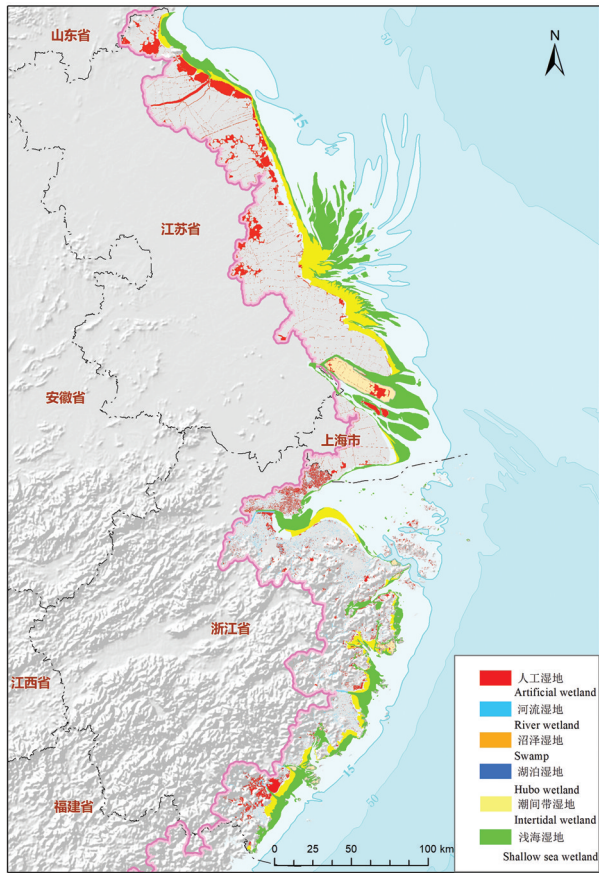


图7长江三角洲海岸带典型区湿地分布图(2015年)
Fig.7 Distribution map of coastal wetland in the Yangtze River Delta(2015)

(1997—2015)》显示,长江口海域污染最为严重,伴随着城市的迅速扩张,建设用地面积的急剧增长,工业废气废水排放量显著增加(图9)。根据对长江口及近岸海域重金属的长期观测结果,近年来长江口海域水质状况也发生了明显的变化,20世纪80年代以来沉积物中重金属含量整体增长(密蓓蓓等,2013)。受人类活动的影响,21世纪初期以来,长江口及东海近岸赤潮爆发频次和危害面积迅速增加。另一方面受国家及地方政策的影响,包括退耕还林、限制污染物直排等一系列措施的实施,抑制了区域水土流失,增加了陆域物质储存能力,限制了污染物的快速入海;国家和地方对环境治理的投入也在持续增加,以上海为例,虽然城市快速扩张,但工业污水排放量呈现降低趋势。因此,近年来长江口赤潮爆发频次和危害面积有降低趋势(图10)。近年来,长江口海域重污染水域面积基本维持稳定,这主要得益于国家对污染物排放的严格管控。

5 结 论

(1)通过对长江三角洲海岸带典型区域土地利用规律的分析可以看出,长江三角洲海岸带地区土地利用方式以耕地、林地、建设用地为主。近20年来,长江三角洲海岸带地区土地利用变化明显,耕地大幅度减少,建设用地迅速扩张,比例由9.2%增至

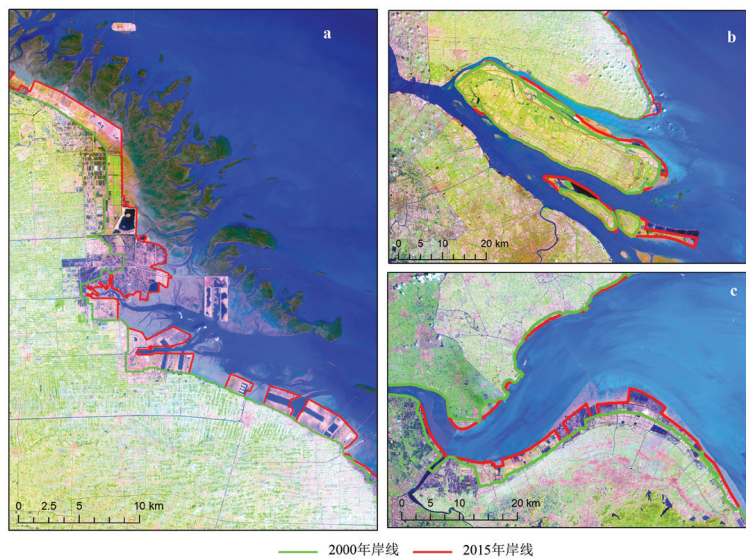


图8长江三角洲海岸带典型区岸线变化遥感解译图(2000—2015年)
a—通州湾;b—长江口;c—杭州湾
Fig.8 Coastline changes in typical coastal areas of the Yangtze River Delta(2000—2015)
a—Tongzhou Bay;b—Changjiang Estuary;c—Hangzhou Bay

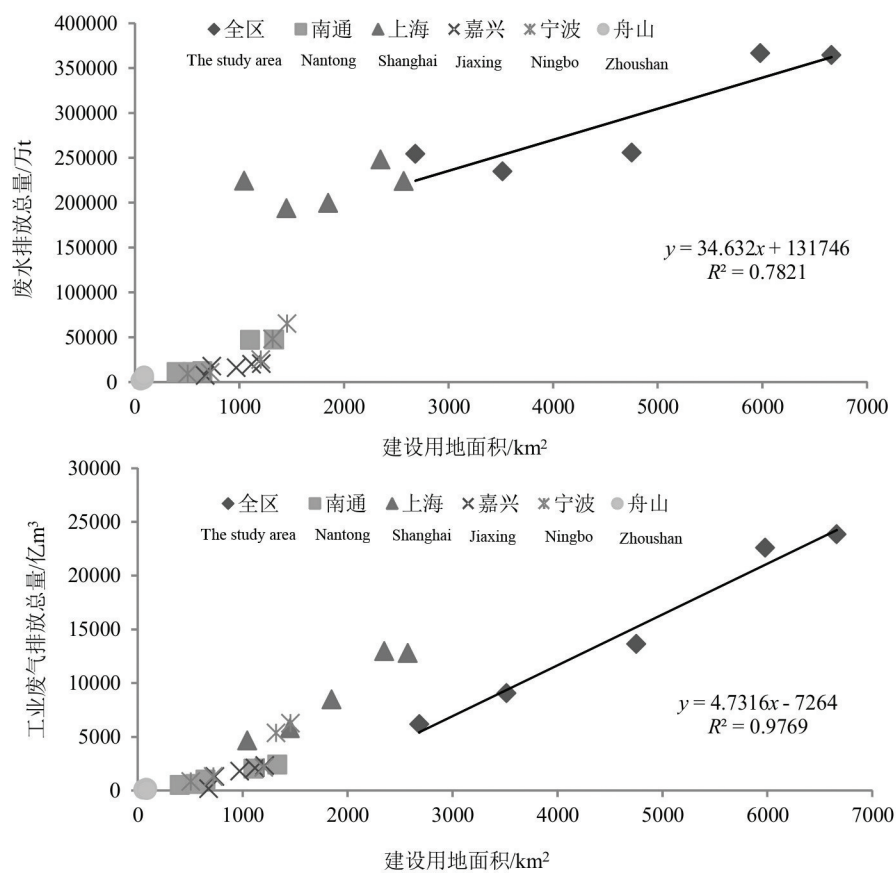


图9长江三角洲海岸带废水和废气排放与建设用地增长相关关系图

Fig.9 Diagram of the correlation between wastewater and exhaust gas discharge and construction land growth in the coastal zone of the Yangtze River Delta

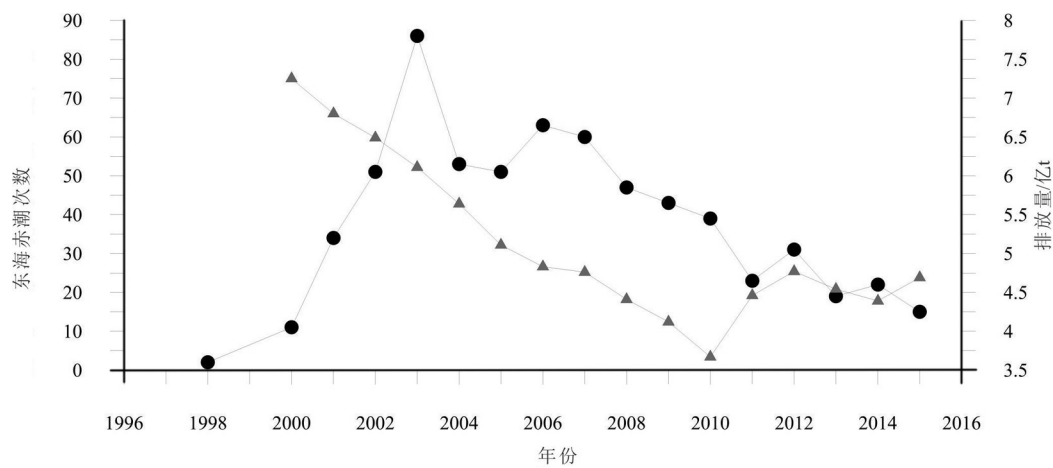


图10东海赤潮发生次数及上海市工业废水排放量(2000—2015)

Fig.10 Occurrence of red tides in the East China Sea and discharge of industrial wastewater in Shanghai(2000—2015)

22.6%。研究区内的建设用地面积由 2635.3 km² 递增到 6491.3 km², 年平均增加 192.8 km²。统计结果表明,近 20 年来,耕地是建设用地的主要来源,占总转移面积的 92%。作为建设用地占补平衡的有效补充方式,围填海在长江三角洲地区十分活跃。

(2)随着城市规模的迅速扩张,导致污染物排放量逐年增加;另一方面受国家环保投入的影响,陆源物质入海总量受到严格管控;再次,建筑面积增长迅猛、林地耕地等减少、滨海湿地面积锐减,对污染物质迁移过程、路径产生明显影响,环境自净能力减弱。各方面综合影响导致自 20 世纪 80 年代至 21 世纪初期海域环境状况明显恶化,近几年整体较为平稳。

土地是城市发展的宝贵资源,随着经济的快速发展和城镇水平的不断提高,耕地锐减、用地结构不合理、围而不填、填而不用现象严重。海岸带土地的可持续利用不仅是海岸带地区综合管理的基础,也是生态环境协调发展的保障。坚持在发展中保护、在保护中发展的原则,通过合理的规划,在保护耕地的前提下,建立合理有效的土地利用配置机制,合理控制围填用海活动,使主要污染物排海总量得到控制,海洋可持续发展能力增强。

致谢:感谢审稿专家及编辑部老师所提出的宝贵意见。

References

- Dai Jinfang. 2012. Dynamic analysis of land resources in Yangtze River Delta by using remote sensing [J]. *Geo-Information Science*, 20(4):69-74(in Chinese with English abstract).
- Foley Jonathan A, DeFries Ruth, Asner Gregory P, Barford Carol, Bonan Gordon, Carpenter Stephen R., Chapin F. Stuart, Coe Michael T, Daily Gretchen C, Gibbs Holly K, Helkowski Joseph H, Holloway Tracey, Howard Erica A, Kucharik Christopher J, Monfreda Chad, Patz Jonathan A., Prentice I. Colin, Ramankutty Navin, Snyder Peter K. 2005. Global consequences of land use[J]. *Science*, 309 (5734): 570-574.
- Hao Huimei, Ren Zhiyuan. 2009. Land use/land cover change (LUCC) and eco-environment response to LUCC in farming-pastoral zone, China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 8(1):91-97(in Chinese with English abstract).
- Li Xia, Ye Jiaan. 1997. Application of remote sensing for monitoring and analysis of urban expansion—A case study of Dongguan[J]. *Geographical Research*, 16(4):56-62(in Chinese with English abstract).
- Li Xiaowen, Fang Jingyun, Pu Shilong. 2003. Land use changes and its implication to the ecological consequences in Lower Yangtze Region[J]. *Acta Geographica Sinica*, 58(5):659-667(in Chinese with English abstract).
- Li Zhen, Huang Haijun. 2010. Study on Land use/cover change in coastal zone of Jiaozhou Bay [J]. *Land and Resources Remote Sensing*, 22(4):71-76(in Chinese with English abstract).
- Liu Min, Xu Shiyuan, Hou Lijun, Ou Dongni. 2010. Dynamic variations and environmental effects of land use and land cover change in the Yangtze Delta Region[J]. *Resource Science*, 32(8): 1533-1537(in Chinese with English abstract).
- Mi Beibei, Lan Xianhong, Zhang Zhixun. 2013. Distribution of heavy metals in surface sediments of Yangtze River Estuary and environmental quality assessment[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, (6):47-54(in Chinese with English abstract).
- Peng Buzhuo, Gao Zhonggui. 2004. The studies on the changes of land use and policy marking on the deltaic area of the Changjiang River [J]. *Quaternary Sciences*, 24(5): 506-511(in Chinese with English abstract).
- Sharareh Pourebrahim, Hadipour Mehrdad, Bin Mokhtar Mokhtar. 2015. Impact assessment of rapid development on land use changes in coastal areas; case of Kuala Langat district, Malaysia[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 17(5): 1003-1016 (in Chinese with English abstract).
- Shi Hongchao. 2012. A Review of Land Use and Land Cover Change[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 40(26): 13107-13110, 13125(in Chinese with English abstract).
- Sun Wei, Wu Rihan. 2012. Study on the balance of carbon budget and its spatial differentiation in Yangtze River Delta[J]. *Geographical Research*, 31:2220-2228(in Chinese with English abstract).
- Tao Yu, Wang Hongning, Ou Weixin, Guo Jie. 2018. A land-cover-based approach to assessing ecosystem services supply and demand dynamics in the rapidly urbanizing Yangtze River Delta region[J]. *Land Use Policy*, 72:250-258(in Chinese with English abstract).
- Tu Xuejiao, Chen Duochang. 2008. Relationship between industrialization, urbanization and sustainable land-use——Taking Changjiang River Delta as an empirical study example [J]. *Resource Development & Market*, 24(12):1109-1113(in Chinese with English abstract).
- Vitousek Peter M. 1994. Beyond global warming: Ecology and global change[J]. *Ecology*, 75(7):1861-1876.
- Xu Xuegong, Chen Ziaoling, Guo Honghai. 2001. A study on land use and land cover quality change: Taking Yellow River Delta as a case[J]. *Acta Geographica Sinica*, 56(6): 640-648(in Chinese with English abstract).
- Yin Ping, Duan Xiaoyong, Gao Fei, Li Meina, Lü Shenghua, Qiu Jiandong, Zhou Liangyong. 2018. Coastal erosion in Shandong of China: Status and protection challenges[J]. *China Geology*, 1(4): 512-521.
- Yin Ping, Lin Liangjun, Xiao Guoqiang, Cao Ke, Yang Jilong, Li Meina. 2017. Coastal zone geo-resources and geo-environment in China [J]. *Geology in China*, 44(5): 842-856(in Chinese with English abstract).

- Yu Xue, Pu Lijie, Xu Yan. 2016. Analysis of Land use changes in relation to environmental variables in coastal city in Jiansu Province from 1980 to 2010: A Case Study in Donggatai City [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 25(4):537-543(in Chinese with English abstract).
- Zha Shuping, Ding Yuguo, Yu Hongbo. 2003. Land-use dynamic change in the Yangtze Delta based on RS and GIS technology[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 26(6): 815-820(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jian, Pu Lijie, Shan Yongjie. 2012. Progress of The resevse and eco-environmental effects of coastal zone [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 21(1): 36(in Chinese with English abstract).
- Zhang Mingshu. 1998. A brief talk on the basic characteristics of coastal zone in China[J]. Geology in China, 251(4): 42-46(in Chinese with English abstract).
- Zhang Rongtian, Jiao Huaifu. 2015. Urban land use efficiency pattern evolution and driving mechanism in the Yangtze Rive economic belt [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 24(3): 387-394.
- Zhang Runlin, Pu Lijie, Liu Zhen. 2013. Advances in research on atmospheric environment effects of land use and land cover change [J]. Areal Resarch and Decelopment, (4):123-128(in Chinese with English abstract).
- Zhao Guangming, Ye Siyuan, Yuan Hongming, Yang Shixiong, He Lei, Edward A. Laws. 2018. A new-type sampler using to collect undisturbed samples of shallow drilling sediment core in the coastal wetland geological surveys[J]. China Geology, 2(3): 398-399.
- Zhao Yali, Liu Youzhao, Long Kaisheng. 2014. Eco-environmental effects of urban land development intensity change across capital cities in China[J]. China Population, Resouces and Enviroment., 24(7):23-29(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zimiao. 2010. Inheritance and innovation of traditional ethical culture in architectural space[J]. Journal of Zhejiang Wanli University, 23(2):53-60(in Chinese with English abstract).
- Zhou Xia. 2006. Land Use/Cover Change and its Driving Forces in Coastal Zone of Tianjin Binhai New Area [D]. China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Zhu Huiyi, He Shujin, Zhang Ming. 2001. Driving forces analysis of land use change in Bohai Rim [J]. Geographical Reseach, 20(6): 669-678(in Chinese with English abstract).
- Zong Wei. 2012. Study on Land Use/Cover Patterns Change and Driving Mechanism in Shanghai Coastal Zone[D]. East China Normal University(in Chinese with English abstract).
- 黎夏, 叶嘉安. 1997. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程——以东莞市为例[J]. 地理研究, 16(4):56-62.
- 李晓文, 方精云, 朴世龙. 2003. 近10年来长江下游土地利用变化及其生态环境效应[J]. 地理学报, 58(5):659-667.
- 李振, 黄海军. 2010. 胶州湾海岸带土地利用/覆被变化研究[J]. 国土资源遥感, 22(4):71-76.
- 刘敏, 许世远, 侯立军, 欧冬妮. 2010. 长江三角洲土地利用/土地覆被动态变化及其环境效应[J]. 资源科学, 32(8):1533-1537.
- 密蓓蓓, 蓝先洪, 张志珣. 2013. 长江口外海域沉积物重金属分布特征及其环境质量评价[J]. 海洋地质与第四纪地质, (6):47-54.
- 彭补拙, 高中贵. 2004. 长江三角洲地区土地利用变化及对策研究[J]. 第四纪研究, 24(5):506-511.
- 史洪超. 2012. 土地利用/覆被变化(LUCC)研究进展综述[J]. 安徽农业科学, 40(26):13107-13110.
- 孙伟, 乌日汗. 2012. 长三角核心区碳收支平衡及其空间分异[J]. 地理研究, 12:2220-2228.
- 屠雪姣, 陈多长. 2008. 工业化、城市化与土地资源可持续利用之间的关系——以长江三角洲地区为例的实证研究[J]. 资源开发与市场, 24(12):1109-1113.
- 许学工, 陈晓玲, 郭洪海. 2001. 黄河三角洲土地利用与土地覆被的质量变化[J]. 地理学报, 56(6):640-648.
- 印萍, 林良俊, 陈斌, 肖国强, 曹珂, 杨吉龙, 李梅娜. 2014. 中国海岸带地质资源与环境评价研究[J]. 中国地质, 44(5): 842-856.
- 于雪, 濮杰, 许艳. 2016. 1980-2010年江苏沿海城市土地利用变化及其与环境因子关系分析——以东台市为例[J]. 长江流域资源与环境, 25(4):537-543.
- 张健, 濮杰, 陕永杰. 2012. 海岸带土地开发利用及生态环境效应研究简述[J]. 长江流域资源与环境, 21(1):36.
- 张明书. 1998. 浅谈我国海岸带的基本特征[J]. 中国地质, 251(4): 42-46.
- 张润森, 濮杰, 刘振. 2013. 土地利用/覆被变化的大气环境效应研究进展[J]. 地域研究与开发, (4):123-128.
- 张荣天, 焦华富. 2015. 长江经济带城市土地利用效率格局演变及驱动机制研究[J]. 长江流域资源与环境, 24(3):387-394.
- 赵亚莉, 刘友兆, 龙开胜. 2014. 城市土地开发强度变化的生态环境效应[J]. 中国人口资源与环境, 24(7):23-29.
- 赵夜苗. 2010. 厦门湾海岸带区域人类开发活动的环境效应评价[J]. 浙江万里学院学报, 23(2):53-60.
- 朱会义, 何书金, 张明. 2001. 环渤海地区土地利用变化的驱动力分析[J]. 地理研究, 20(6):669-678.
- 宗玮. 2012. 上海海岸带土地利用/覆盖格局变化及驱动机制研究[D]. 华东师范大学.
- 邹霞. 2006. 天津滨海新区海岸带土地利用/覆被变化及其驱动力研究[D]. 中国地质大学(北京).
- 邹杰. 2003. 城市网吧地理信息系统设计与建立[D]. 山东科技大学.
- 胡琦. 2012. 基于RS和GIS的土地利用研究及生态环境评价[D]. 西安科技大学.

附中文参考文献

- 查书平, 丁裕国, 于红博. 2003. 基于RS与GIS的长江三角洲土地利用变化分析[J]. 大气科学学报, 26(6):815-820.
- 戴锦芳. 2012. 长江三角洲土地资源遥感动态分析[J]. 地球信息科