

\*\*\*\*\*  
综合研究  
\*\*\*\*\*

## 北海市银滩土地利用演变特征及其影响因素

杨云川<sup>1,2,3</sup>, 廖丽萍<sup>1,2,3</sup>, 燕柳斌<sup>1,2,3</sup>, 胡小川<sup>3</sup>, 肖帅<sup>3</sup>, 谢燕平<sup>3</sup>

(1. 广西大学 工程防灾与结构安全教育部重点实验室, 广西 南宁 530004; 2. 广西大学 广西防灾减灾与工程安全重点实验室, 广西 南宁 530004; 3. 广西大学 土木建筑工程学院, 广西 南宁 530004)

**摘要:** [目的] 针对北海市银滩海岸近些年土地利用巨变、生态环境退化的现象, 分析区域土地利用演变特征及其影响因子, 为该区可持续开发与管理提供科学依据。[方法] 基于长时间序列 Landsat 遥感影像, 采用土地利用动态度、转移矩阵、强度及多样性指数等指标分析北海银滩滨海区土地利用演变特征, 并讨论土地利用变化的主要影响因子。[结果] 1979—2013 年的 35 a 间, 银滩滨海区建设用地、人工湿地面积显著增加, 并且主要是由耕地、林地转入而来, 从而导致耕地和林地面积显著减少, 草地、水域和滩涂面积增减变化幅度相对较小。区域土地利用综合程度先增大后减小, 但开发强度却一直在增大; 多样性指数在 2000 年年前较为稳定, 之后显著下降。银滩滨海区土地利用演变主要受气温、台风、潮汐等气候因子和城市化、围垦、渔业、旅游业和规划管理等人类活动因子综合影响。[结论] 近 35 a 来, 银滩海岸土地利用类型趋向单一化, 开发速率减小但开发强度增大, 空间分布破碎化, 区域生态系统脆弱性增强。研究时段内, 人类活动因子影响比气候因子更显著, 各驱动因子影响物理机制及其定量化贡献亟待进一步研究。

**关键词:** 北海银滩; 海岸带; 土地利用; 影响因子

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)06-0223-08

**中图分类号:** P285.2, P748

**文献参数:** 杨云川, 廖丽萍, 燕柳斌, 等. 北海市银滩土地利用演变特征及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 223-230. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.038

## Land Use Evolution and Its Impact Factors in Silver Beach of Beihai City

YANG Yunchuan<sup>1,2,3</sup>, LIAO Liping<sup>1,2,3</sup>, YAN Liubin<sup>1,2,3</sup>, HU Xiaochuan<sup>3</sup>, XIAO Shuai<sup>3</sup>, XIE Yanping<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Disaster Prevention and Structural Safety of Ministry of Education, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Disaster Prevention and Engineering Safety, Nanning, Guangxi 530004, China; 3. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China; )

**Abstract:** [Objective] In recent years, land use of silver beach of Beihai City had experienced great changes and the subsequent significant degradation of ecological environment. Therefore, the land use evolution and its impact factors were urgently needed to be understood to provide an importantly scientific reference for future sustainable development and management. [Methods] The remote-sensing images of Landsat were adopted to analyze the land use evolution and to discuss its impact factors in silver beach of Beihai. [Results] In the years of 1979—2013, the areas of construction land and artificial wetland were considerably increased and were mainly transformed from cultivated land and forest land. The areas of cultivated land and forest land were substantially reduced accordingly. The areas of grassland, water area and intertidal zone had no great variation. Land use intensity was consistently increased. Before 2000, land use was diversified and after that it markedly reduced. Driving forces of land use change include not only climatic factors as air temperature, typhoon and tide, but also human activity factors as urbanization, sea reclamation, fishing, tourism and planning management. [Conclusion] During the past 35 years, the land use of silver beach of Beihai City presented trends of simplification, slowdown but intensified and fragmental developed evolution, which was coincided with the enhancement in vulnerability of regional ecosystem. It is urgently needed to probe the in-

收稿日期: 2016-06-22

修回日期: 2016-07-14

资助项目: 广西教育厅科技项目“北海银滩海岸带演变遥感反演与驱动机制研究”(KY2015YB013); 广西大学科研基金项目(XJZ140286); 广西水利厅科技项目(201522)

第一作者: 杨云川(1982—), 男(汉族), 宁夏自治区中宁县人, 博士, 讲师, 主要从事海岸带水文地理与环境演变研究。E-mail: yyc\_sciences@163.com.

通讯作者: 廖丽萍(1985—), 女(壮族), 广西自治区柳州市人, 博士, 讲师, 主要从事水土资源遥感与地质灾害研究。E-mail: 01llp@163.com.

teracting mechanism among the above multiple factors and to quantify the respective contribution of them to land use evolution.

**Keywords:** silver beach of Beihai City; coastal zone; land use change; impact factors of land use change

土地利用是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式<sup>[1]</sup>,是全球气候、环境变化和可持续发展研究的重要内容<sup>[2]</sup>。海岸带作为人类经济活动频繁、生态系统脆弱、对全球变化响应极其敏感的区域,其土地利用变化特征更是全球变化背景下区域响应的极佳切入点<sup>[3]</sup>。目前,借助遥感和 GIS 技术对海岸带土地利用进行研究已成为主要手段,以揭示其时空演变规律及驱动机制<sup>[4]</sup>。研究重点已呈现“从全球到区域”的转变。通过对大量不同区域、不同尺度案例的分析与比较,探讨土地利用的动力学机制<sup>[5]</sup>。区域研究强调对海岸带人类活动及其环境效应的综合研究,以求进一步深入理解海岸带人为因素与自然因素的交互影响作用<sup>[6]</sup>,注重考虑多种驱动因素的综合影响途径与机制<sup>[7]</sup>。银滩位于广西壮族自治区北海市东南部沿海,属典型的沙质平原海岸,其海滩总面积约 50 km<sup>2</sup>,低潮位时,沙滩宽度在 30~1 000 m 之间,是中国最大、最理想的海滨浴场和休闲度假胜地。

近年来,由于其海岸缺乏统一的可持续开发规划,造成土地利用发生了巨大的变化,生态环境退化显著,呈现出海岸侵蚀、沙滩面积萎缩、沙质变差的现象<sup>[8-9]</sup>。伴随着银滩滨海旅游业的迅猛发展,亟需全面掌握该区域土地利用演变特征及其影响因素,确定该区域开发利用程度和进一步开发模式,这对保护北海银滩这种稀缺的银白色自然沙滩旅游资源,促进区域旅游业和经济发展都具有举足轻重的作用。为此,本研究基于长时间序列 Landsat 卫星遥感影像,分析了近 35 a 来北海银滩海岸土地利用演变特征及其影响因子,以期为该区域海岸带资源管理与环境保护以及未来可持续开发规划提供科学参考。

## 1 研究区域、数据与方法

### 1.1 研究区概况

目前海岸带空间范围的认定因学科、研究目的和研究手段的不同而差异巨大,各国海岸带调查的空间范围多是指向海 20 m 等深线,向陆延伸 10 km 左右,中国 20 世纪 80 年代开展的全国海岸带和海滩资源综合调查即参照这一标准<sup>[10]</sup>。在参考上述标准基础上,结合北海银滩海岸开发规划的需求,确定对气候变化和人类活动响应最为敏感的银滩海岸滨海区域作为研究对象,该区域总面积约为 47.58 km<sup>2</sup>,包括了北海银滩旅游区整个海岸范围。东起大冠沙,西至冠头岭,海岸带全长 24 km,呈弧型带状沿海岸分布的旅游资源区,并以白虎头和侨港为界划分为东区、中区和西区。

### 1.2 数据来源

在众多遥感影像产品中,Landsat 卫星遥感产品具有时间序列长、空间分辨率较高和易于获取的特点,因此采用该遥感影像开展北海银滩滨海区土地利用演变研究。

Landsat 卫星遥感产品包括 Landsat MSS/TM/ETM<sup>+</sup>/OLI 等多种传感器遥感影像,数据来源于美国地质调查局(USGS)网站(<http://glovis.usgs.gov/>);数据时段为 1979—2013 年,在数据获取时尽量选择了无云、高清的影像年份和成像日,所获取的影像都是经过精确几何校正和地形校正的 L1 T 级产品,选择典型的 6 个年份,具体产品属性详见表 1。所有影像预处理采用 Erdas 9.3 软件完成。

表 1 北海银滩 Landsat 遥感影像产品属性

年份	轨道号	卫星	传感器	成像日期	云量/%	波段数	组合波段	空间分辨率/m**
1979	P134/R045*	L3	MSS	19791022	0	4	B4321	60
1991	P125/R045	L5	TM	19910919	0	7	B543	30
1995	P125/R045	L5	TM	19951117	3	7	B543	30
2000	P125/R045	L7	ETM <sup>+</sup>	20001106	0	8	B543	30
2006	P125/R045	L5	TM	20060912	0	7	B543	30
2013	P125/R045	L8	OLI	20131204	1	9	B654	30

注:\* 1979 年 MSS 传感器采用了与其他产品的坐标参考系不同,故其轨道号不同;\*\* 表中空间分辨率专指组合波段。

### 1.3 研究方法

采用邸向红等<sup>[11]</sup>提出的中国海岸带土地利用遥感分类系统优化方案,对北海银滩滨海区进行了土地

利用的监督分类,并结合历时土地利用调查资料进行了目视解译校正。在土地利用演变特征分析方面主要采用了以下指标。

1.3.1 综合土地利用动态度<sup>[1]</sup> ( $L_c$ , %) 该指标是指研究区域内在一定时间范围内整个土地利用类型的变化速度,是刻画土地利用类型变化速度区域差异的指标,能够反映区域内的社会经济活动对土地利用变化的综合影响,其计算公式为:

$$L_c = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{ij}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $LU_i$  ——研究期初第  $i$  类土地利用类型面积 ( $\text{km}^2$ );  $LU_{ij}$  ——研究期内土地利用类型第  $i$  类转化为  $j$  类 ( $i \neq j, j = 1, 2, \dots, n$ ) 的面积绝对值 ( $\text{km}^2$ );  $T$  ——研究时间步长 (a)。

1.3.2 土地利用转移矩阵 该指标能够描述各种土地利用类型之间的转换情况,它不仅可以反映研究期初、研究期末的土地利用类型结构,同时还可以反映研究时段内各土地利用类型的转移变化情况,用来刻画区域土地利用变化方向以及研究期末各土地利用类型的来源与构成<sup>[12-13]</sup>。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:  $S$  ——转移的面积 ( $\text{hm}^2$ );  $n$  ——各类土地利用类型数;  $i, j$  ——研究期初与期末的土地利用类型 ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ );  $S_{ij}$  ——土地利用类型从转移前的  $i$  地类转成转移后的  $j$  地类的面积 ( $\text{hm}^2$ )。

1.3.3 土地利用强度指数 ( $L$ )<sup>[1]</sup> 该指标表示在区域土地利用程度分级表的基础上进行数学综合,形成一个在 1~5 之间连续分布的综合指数,其值的大小综合反映了某一地区土地利用程度。考虑到地理信息系统中处理的方便,在按分级赋值计算的基础上乘上 100,其计算公式为:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i, \quad L \in [100, 500] \quad (3)$$

式中:  $A_i$  ——研究区第  $i$  级土地利用程度分级指数;  $C_i$  ——研究区内部第  $i$  级土地利用程度的面积百分率 (%);  $n$  ——土地利用程度分级数。

1.3.4 土地利用结构多样性指数<sup>[14]</sup> ( $H$ ) 也即是土地利用结构信息熵,描述了土地类型的结构、功能随时间变化的多样性,反映出土地利用类型的复杂性和丰富程度;数值越大,表明土地利用类型复杂度越高。其计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i \quad (4)$$

式中:  $P_i$  ——研究地区第  $i$  级土地利用类型所占百分率 (%);  $n$  ——土地利用类型数量。

## 2 银滩滨海区土地利用演变特征

### 2.1 土地利用空间分布格局与面积变化

2.1.1 土地利用空间分布格局特征 将银滩滨海区土地利用类型划分为建设用地、耕地、人工湿地、林地、草地、水域和滩涂等 7 大类,6 个典型年份 (1979, 1991, 1995, 2000, 2006 和 2013 年) 的土地利用分类结果如图 1 所示。

由图 1 可知,近 35 a 来,银滩滨海区各种土地利用类型面积和空间分布格局均表现出了显著的变化特征。其中最为显著的是建筑用地类型,其表现为从 20 世纪 80 年代 (1979 年) 主要集中在银滩中西部沿岸呈带状分布,经历了 90 年代和 2000 年后的约 10 a 的城市化迅猛发展,至 2013 年已遍布整个银滩东、中、西部区域,并由海岸向内陆扩展,并且呈更加破碎化的分布格局;与之相对应的耕地和林地 80 年代 (1979 年) 广泛分布于银滩海岸靠内陆的全部区域,而到 2013 年已基本被建筑用地和人工湿地占用殆尽,只留下了银滩西部角的冠头岭区域留存有少量的林地。例外的是,2006 年以来,银滩白虎头和东部沿海红树林面积反而有显著的增加,这与近年来广西沿海红树林保护的人类活动有直接关系。35 a 来,人工湿地的规模也有较为显著的扩大,许多林地、耕地和潟湖水域被围垦改造为人工湿地来发展渔业。银滩海岸滩涂资源从 1979—2013 年虽然总面积减少不显著,但在空间分布上连续性有所破坏,并在银滩西区萎缩显著。草地因其总面积较小,总体上看空间分布特征不明显。水域空间分布总体上呈现萎缩趋势变化,亦说明人类围垦活动显著。

2.1.2 土地利用类型面积变化趋势 银滩滨海区各类型土地利用面积逐年时段变化趋势如图 2 所示。由图 2 可以看出,区域建设用地类型面积逐年显著上升,其面积 (比率) 从 1979 年的  $5.01 \text{ km}^2$  (10.53%) 显著增加至 2013 年的  $13.57 \text{ km}^2$  (28.52%); 人工湿地类型面积在 1979—1995 年时段变化不大,而在 1995—2006 年时段从  $7.88 \text{ km}^2$  显著增加到了  $16.22 \text{ km}^2$ , 面积比率达到了 34.08%, 随后至 2013 年面积略有减小至  $13.86 \text{ km}^2$ ; 耕地类型面积在 1979—1991 年时段略有增加,而自 1991—2006 年时段从  $10.42 \text{ km}^2$  显著减小到  $1.93 \text{ km}^2$ , 面积比率仅为 4.05%; 林地类型面积在 1979—1995 年时段显著减小,而自 1995—2013 年时段略有增减波动,至 2013 年面积 (比率) 仅为  $6.53 \text{ km}^2$  (13.73%); 草地类型面积自

1979—2013 年以来整体上呈先略微减小后略微增加的变化趋势,但总体上 35 a 来,其面积最大值和最小值分别仅为 1.90 和 0.32 km<sup>2</sup>,是所有土地利用类型中面积(比率)最小的一类;水域类型在此指海岸浅海、港湾和湖水域,其面积自 1979—1991 年时段略有

增加,之后的 1991—2013 年总体上呈显著下降变化趋势;滩涂类型是银滩海岸最重要的旅游资源,其面积在 1979—2013 年时段内增减波动变化但总体面积变化不大,但 2006—2013 年时段表现为萎缩的变化趋势。

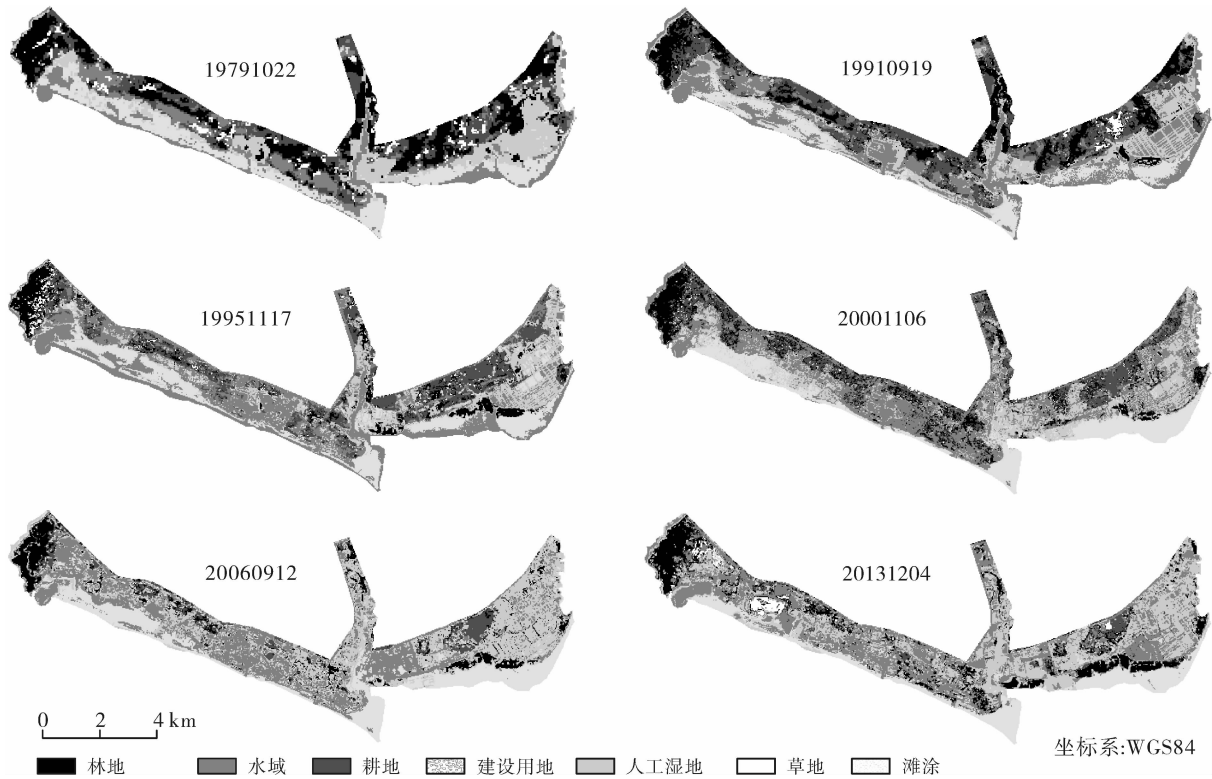


图 1 银滩滨海区土地利用空间分布格局特征

上述分析表明,1979—2013 年时段内,银滩滨海区土地利用类型空间格局与面积变化显著,其中建筑用地和人工湿地类型大幅度扩张,而相对应的林地、草地、水域及滩涂等类型大幅度萎缩或破碎化,这必将导致银滩海岸区域生态、环境、旅游等一系列不良问题日益凸显,因此,银滩海岸环境与生态安全问题应给予重视。

## 2.2 土地利用类型结构演变动态

2.2.1 综合土地利用动态度 由表 2 可知,2000—2006 年时段综合土地利用动态度变化最为剧烈( $L_c = 2.98\%$ ),也即该时段人类的社会经济活动对该区域的土地资源的综合开发和利用影响最大,其次为 1991—2000 年 ( $L_c = 1.75\%$ ) 和 2006—2013 年 ( $L_c = 1.79\%$ ) 时段,而 1979—1991 年 ( $L_c = 1.19\%$ ) 时段变化速率最慢,也即人类活动的影响亦最小。从 1979—2013 年整个长时段来看,其综合土地利用动态度变化仅为 0.87%,但结合研究区单一类型的面积变化情况可发现,35 a 来其综合动态变化缓慢是基于短时段和单一类型显著增减变化相互抵消的结果。因此,不能仅从多年的综合动态变化来评估银滩海岸的土地利用动态变化程度,而因更加关注单一类型的显著增减动态变化,才更有利于决策部门制定相应策略,实现银滩海岸生态系统的健康可持续发展和开发利用。

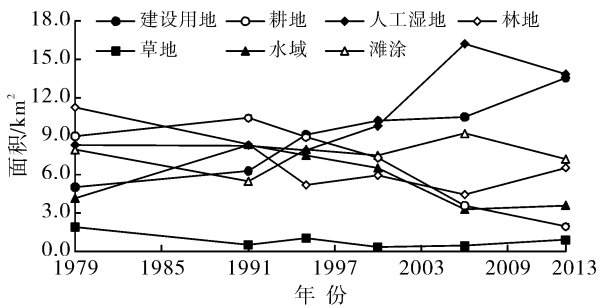


图 2 银滩滨海区各土地利用类型面积变化趋势

表 2 银滩滨海区土地利用综合土地利用动态度

年份时段	1979—1991 年	1991—2000 年	2000—2006 年	2006—2013 年	1979—2013 年
时段年数/a	12	9	6	7	34
动态度 $L_c/\%$	1.19	1.75	2.98	1.79	0.87

2.2.2 土地利用类型转化动态 将 1979—2013 年的整个时段划分为 1979—1991 年,1991—2000 年,2000—2006 年和 2006—2013 年 4 个时段进行土地利用转移矩阵计算,结果依次详见表 3—6。由表 3 可知,1979—1991 年时段内,水域、耕地、建设用地等类型面积增加,其他各类型面积均减少。其中,水域类型面积增加了 414.72  $\text{hm}^2$ ,增加幅度最大,达到 99.98%,主要由人工湿地和滩涂转入而来,其转入面积(占转入面积比例)分别为 259.2  $\text{hm}^2$ (50.75%)和 202.86  $\text{hm}^2$ (39.72%);建设用地类型面积增加 125.82  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 25.11%,主要由耕地转入,转入面积(占转入面积比例)为 189.63  $\text{hm}^2$ (46.31%);耕地类型面积增加 141.57  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 15.72%,主要由林地转入,转入面积(占转入面积百分数)为 373.95  $\text{hm}^2$ (63.27%);其余各类型中,草地、滩涂、林地和人工湿地类型面积分别减少了 73.62%,30.86%,25.77%和 0.89%,对应主要转出为耕地、水域、耕地和水域。由表 4 可知,1991—2000 年时段内,建设用地、滩涂、人工湿地等类型面积增加,其他各类型面积均减少。其中,建设用地类型面积增加了 396.36  $\text{hm}^2$ ,增加幅度最大,达到 63.23%,主要由耕地和人工湿地转入而来,其转入面积(占转入面积百分数)分别为 280.71  $\text{hm}^2$ (40.85%)和 201.69  $\text{hm}^2$ (29.35%);滩涂类型面积增加 201.6  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 36.76%,主要由水域转入,转入面积(占转入面积百分数)为 303.57  $\text{hm}^2$ (83.18%);人工湿地类型面积增加 153.09  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 18.55%,主要由水域转入;其余各类型中,草地、耕地、林地和水域类型面积分别减少了 36.87%,29.92%,29.11%和 21.4%,对应主要转出为耕地、建设用地、耕地和滩涂。

由表 5 可知,2000—2006 年时段内,人工湿地、草地、滩涂和建设用地等类型面积增加,其他各类型面积均减少。其中,人工湿地类型面积增加了 643.5  $\text{hm}^2$ ,增加幅度最大,达到 65.78%,主要由建设用地和水域转入而来,其转入面积(占转入面积百分数)分别为 343.71  $\text{hm}^2$ (29.6%)和 326.88  $\text{hm}^2$ (28.15%);草地类型面积增加 10.35  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 32.76%,主要由耕地转入,转入面积(占转入面积百分数)为 17.55  $\text{hm}^2$ (42.12%);滩涂类型面积增加 171  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 22.8%,主要由人工湿地转入,转入面积(占转入面积比例)为 185.13  $\text{hm}^2$ (65.24%);建设用地类型面积增加 27.09  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 2.65%,主要由人工湿地和耕地转入;其余各类型中,耕地、水域和林地类型面积分别减少了 51.35%,49.97%和 25.51%,对应主要转出均为人工湿地。由表 6 可知,2006—2013 年时段内,草地、林地、建设用地和水域等类型面积增加,其他各类型面积均减少。其中,草地类型面积增加了 46.89  $\text{hm}^2$ ,增加幅度最大,达到 111.8%,主要由建设用地转入而来,其转入面积(占转入面积比例)为 38.88  $\text{hm}^2$ (44.4%);林地类型面积增加 211.68  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 47.94%,主要由人工湿地转入,转入面积(占转入面积百分数)为 166.59  $\text{hm}^2$ (44.53%);建设用地类型面积增加 306.72  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 29.2%,主要由人工湿地转入,转入面积(占转入面积百分数)为 453.42  $\text{hm}^2$ (53.92%);水域类型面积增加 32.49  $\text{hm}^2$ ,增加幅度为 9.96%,主要由人工湿地转入,转入面积(占转入面积比例)为 165.33  $\text{hm}^2$ (73.75%);其余各类型中,耕地、滩涂和人工湿地类型面积分别减少 45.81%,21.68%和 14.51%,对应主要转出为建设用地、人工湿地、和建设用地。

表 3 银滩 1979—1991 年土地利用转移矩阵

LUCC 类型面积	建设用地	耕地	林地	草地	滩涂	水域	人工湿地	1991 年合计
建设用地	217.35	189.63	44.28	43.11	84.42	11.07	36.99	626.85
耕地	97.29	450.90	373.95	86.31	9.27	0.54	23.67	1 041.93
林地	26.19	127.80	585.81	35.82	4.32	4.59	51.57	836.10
草地	5.13	23.94	5.67	15.21	0	0	0.09	50.04
滩涂	32.85	3.51	0.63	0.09	398.34	54.90	58.14	548.46
水域	11.52	11.25	25.65	0.27	202.86	318.78	259.20	829.53
人工湿地	110.70	93.33	90.36	8.91	94.05	24.93	402.84	825.12
1979 年合计	501.03	900.36	1 126.35	189.72	793.26	414.81	832.50	4 758.03

表 4 银滩 1991—2000 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

LUCC 类型面积	建设用地	耕地	林地	草地	滩涂	水域	人工湿地	2000 年合计
建设用地	336.06	280.71	149.13	6.39	31.14	18.09	201.69	1 023.21
耕地	106.65	367.74	188.28	38.88	0.36	0.27	27.99	730.17
林地	59.85	225.72	246.33	1.89	0.90	4.95	53.10	592.74
草地	0.72	17.37	11.97	1.08	0	0	0.45	31.59
滩涂	18.27	2.97	0.63	0.18	385.11	303.57	39.33	750.06
水域	33.57	52.74	112.41	0.54	17.19	252.36	183.24	652.05
人工湿地	71.73	94.68	127.35	1.08	113.76	250.29	319.32	978.21
1991 年合计	626.85	1 041.93	836.10	50.04	548.46	829.53	825.12	4 758.03

表 5 银滩 2000—2006 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

LUCC 类型面积	建设用地	耕地	林地	草地	滩涂	水域	人工湿地	2006 年合计
建设用地	523.53	129.51	75.42	3.24	54.81	62.82	200.97	1 050.30
耕地	46.8	218.7	71.91	15.39	0	0.36	2.07	355.23
林地	35.64	100.26	229.86	6.12	3.33	31.41	34.92	441.54
草地	10.26	17.55	12.33	0.27	0	0.36	1.17	41.94
滩涂	36.81	3.87	1.26	0.09	637.29	56.61	185.13	921.06
水域	26.46	14.85	9.27	0.09	8.55	173.61	93.42	326.25
人工湿地	343.71	245.43	192.69	6.39	46.08	326.88	460.53	1 621.71
2000 年合计	1 023.21	730.17	592.74	31.59	750.06	652.05	978.21	4 758.03

表 6 银滩 2006—2013 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

LUCC 类型面积	建设用地	耕地	林地	草地	滩涂	水域	人工湿地	2013 年合计
建设用地	516.15	108.63	69.12	19.62	137.34	52.74	453.42	1 357.02
耕地	37.62	89.28	20.07	3.69	1.62	2.07	38.16	192.51
林地	83.25	99.36	279.09	9.99	10.08	4.86	166.59	653.22
草地	38.88	14.85	4.41	1.26	10.89	4.68	13.86	88.83
滩涂	113.31	9.72	4.95	0.81	538.56	7.83	46.17	721.35
水域	21.96	1.44	2.16	0.09	33.21	134.55	165.33	358.74
人工湿地	239.13	31.95	61.74	6.48	189.36	119.52	738.18	1 386.36
2006 年合计	1 050.3	355.23	441.54	41.94	921.06	326.25	1 621.71	4 758.03

2.2.3 土地利用强度与多样性动态 银滩滨海区土地利用强度和多样性指数变化趋势如图 3 所示。

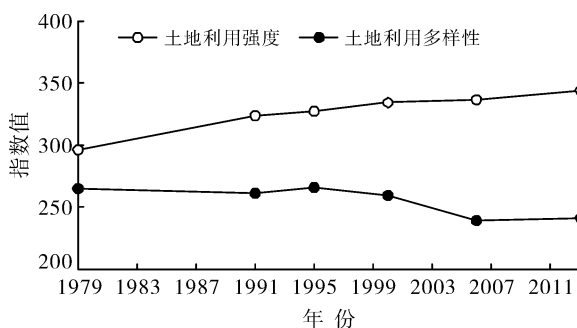


图 3 银滩滨海区 1979—2013 年土地利用强度与结构多样性指数变化

由图 3 中土地利用强度指数变化可知,银滩滨海区近 35 a 来其土地利用程度表现为持续增强的态

势,即从 1979 年的 296.48 一致增强到 2013 年的 344.31。而相对应的土地利用结构多样性指数却是先在 1979—2000 年时段基本保持稳定,后至 2000—2013 年时段呈较为显著的下降趋势变化,最低值为 2006 年的 239.2。由此表明,便随着银滩滨海区的持续开发利用,该区域的土地利用结构的复杂度和丰富度已受到显著破坏,也预示着其生态系统已向单一化和脆弱性更强的方向演变,区域生态风险与环境问题日益加剧。

### 3 银滩土地利用演变的影响因子

银滩海岸滨海区人类活动频繁、生态系统脆弱、气候变化响应极其敏感,故该区域土地利用类型结构的演变必然受到气候变化和人类活动的交互作用和影响。因此,可将银滩滨海区土地利用结构演变的影

响因子分为气候变化影响因子和人类活动影响因子两大类,其中,前者主要包括气温、台风和潮汐等3个方面,后者主要包括城市化、围垦、渔业、旅游业和管理规划等5个方面。

### 3.1 气候影响因子

3.1.1 气温因子 根据 IPCC(2007, 2013 年)的研究,全球气候变暖,气温升高,导致区域海平面上升已成不争的事实<sup>[15]</sup>,同时,海水密度的变化也导致了海平面的变化<sup>[16]</sup>。根据 2013 年《中国海平面公报》,1980—2012 年广西沿海的海平面上升速率为 1.8 mm/a,北海附近海域的海平面上升速率为 2~4 mm/a;周雄<sup>[17]</sup>研究发现近 40 a 来,北海海平面上升速率为 2.11 mm/a,黄鹄等<sup>[9]</sup>研究表明,海平面上升导致北海银滩岸线位置蚀退速率为 0.26 m/a。因此,气温升高致使海平面上升,必然导致银滩海岸侵蚀及其滩涂、水域、红树林等地貌类型面积的逐渐萎缩。

3.1.2 台风因子 根据《热带气旋年鉴》1949—2014 年的台风统计数据,影响广西近岸及海岛的台风平均每年有 4.5 个,最多的年份达 9 个,年内以 7—9 月居多。台风是沿海形成风暴潮的主要前提,麻荣永等<sup>[18]</sup>研究表明,广西沿海的风暴潮受厄尔尼诺现象为主,受拉尼娜现象影响为辅;台风及其风暴潮不仅对银滩海岸地貌直接产生风力侵蚀,同时带来了暴雨、洪水灾害以及台风发生期内的海啸对海岸的冲蚀,对北海市均造成了巨大财产损失,也显著改变了银滩海岸地貌特征。银滩宝贵的银白色沙滩旅游资源被台风不断地带入内陆,且大部分白沙浸入海岸周边的绿化带或泻湖中而无法恢复,这直接制约了银滩旅游业、渔业的发展。

3.1.3 潮汐因子 银滩海岸属于不正规全日潮为主的混合潮型,根据北海站 1996—2008 年验潮资料统计,其多年平均潮差为 2.46 m,最大潮差为 5.36 m<sup>[17]</sup>,银滩海岸部分区域坡度主要为 1%~2.5%,一个太阳日内,高低潮引起银滩淹没宽度数百米。潮汐一方面表现为潮水位的规律性涨落,对银滩海岸的具有长期的淹没和冲蚀,另一方面,海潮咸水生态系统与银滩海岸内陆淡水生态系统相互渗透,导致银滩海岸沉积物、地下水位和水质的变化,不仅影响着海岸线的迁移,同时导致了沿海生态与环境演变<sup>[19]</sup>。

### 3.2 人类活动影响因子

3.2.1 城市化因子 过去的 35 a 间,银滩海岸滨海区城市化发展迅猛,建设用地类型面积从 1979 年的 3.93 km<sup>2</sup> 显著增加至 2013 年的 13.57 km<sup>2</sup>,显著改

变了区域的土地利用类型结构。另外,银滩海岸的城市化建筑物侵占海滩,直接造成了滩涂面积的萎缩。又如黄鹄等<sup>[8]</sup>研究发现,1955—1998 年间广西海岸滩涂面积总体显著递减,并以沙砾质滩涂和红树林滩涂减少最多。

3.2.2 围垦因子 由图 1 各时段水域空间分布特征即可发现,人类围垦开发利用银滩海岸的活动从未停止,例如 1984 年的白虎头沙堤、1990 年的银滩公园、1992—1993 年的潮间带建筑物投资热及随后的防浪堤、2000 年以来的银滩整治等<sup>[20]</sup>,这造成了海平面上升导致水域面积的增加量未能抵消人类围垦活动造成的水域面积萎缩量,因此总体上该区域水域面积仍为减少态势。其他土地利用类型也都在 35 a 间经历了不同程度的增减变化,这都与人类围垦和开发利用活动直接相关。

3.2.3 渔业因子 银滩海岸区域渔民主要靠渔业为生,因此对应的沿岸浅海养殖、海岸人工湿地开发迅猛,人工湿地类型面积在 1995—2006 年时段就从 7.88 km<sup>2</sup> 显著增加到了 16.22 km<sup>2</sup>。孙永光等<sup>[21]</sup>研究亦表明,人类活动对滩涂养殖的影响最为显著;由此可见,人类渔业发展对人工湿地类型的影响显著。

3.2.4 旅游因子 银滩滩涂资源一直以来都是该区域旅游业发展的核心资源,因旅游业的发展,其滩涂面积曾一度萎缩,沿岸旅游产业建筑的扩张处处可见,而来往游客对滩涂沙质的影响最为突出。翁毅等<sup>[20]</sup>研究亦表明,旅游开发加速了银滩蚀退和泻湖的淤积,并使其景观体型走向衰退、景观格局的稳定性下降。

3.2.5 管理与规划因子 银滩海岸管理部门及其开发规划直接决定这人类活动对该区域土地利用类型结构的影响范围、方向和程度。例如 1984 年以前,北海银滩尚未正式规划开发,银滩海岸陆地主要为林地、草地和滩地;而在 20 世纪 90 年代以来,陆续的开发活动导致建设用地、人工湿地等类型的大幅度增加,而对应的耕地、林地、草地等类型面积显著减小;而在 2007 后投入建设使用的高尔夫球场又增加了草地的覆盖面积。

综上所述,气温、台风和潮汐等气候因子和城市化、围垦、渔业、旅游业和管理规划等人类活动因子均对银滩海岸土地利用类型结构演变具有重要贡献,但就近几十年的时间尺度下,人类活动因子的贡献显著大于气候因子的贡献,而上述各类因子的影响机制和贡献定量分析亟待进一步研究。

## 4 结论

(1) 银滩滨海区土地利用类型趋向单一化,空间

分布呈现破碎化,建设用地、人工湿地类型面积的显著增加主要以占用耕地、林地类型所致,而其他土地利用类型增减变化幅度不大。

(2) 银滩滨海区土地利用综合开发速率呈先增大后减小,在 2000—2006 年时段达到最大值 2.98,但区域总体开发利用强度在 35 a 内一直呈上升趋势;不同土地利用类型间的转化频发、程度剧烈,且在不同时段内类型间的转化动态差异很大。

(3) 伴随着银滩滨海区土地利用强度的不断增大,其土地利用类型多样性在 2000 年年前较为稳定,之后显著下降,也即土地利用类型的丰富度下降,区域生态系统的脆弱性增强。

(4) 银滩滨海区土地利用类型结构演变受气温、台风、潮汐等气候因子和城市化、围垦、渔业、旅游业、管理规划等人类活动因子的综合影响,且在研究时段内,人类活动影响更为显著。

(5) 银滩滨海区开发利用程度已接近极限,区域生态系统服务功能已开始下降,脆弱性显著增强,该区域亟待确定进一步的可持续开发规划管理方案。银滩海岸土地利用类型结构演变的多种影响因子作用机理复杂,在本研究结果基础上,迫切需要开展各因子影响机理及各因子贡献的量化方法研究,为该区域海岸带的良性演变和可持续开发利用决策提供科学依据。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Liu Jiyan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [2] Sterling S M, Ducharne A, Polcher J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle [J]. *Nature Climate Change*, 2012, 3(4): 385-390.
- [3] Sekovski I, Newton A, Dennison W C. Megacities in the coastal zone: Using a driver-pressure-state-impact-response framework to address complex environmental problems [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2012, 96(7): 48-59.
- [4] 高义, 苏奋振, 孙晓宇, 等. 近 20 年广东省海岛海岸带土地利用变化及驱动力分析[J]. *海洋学报: 中文版*, 2011, 33(4): 95-103.
- [5] 马万栋, 张渊智, 施平, 等. 海岸带土地利用/土地覆被变化研究进展[J]. *地理科学进展*, 2008, 27(5): 87-94.
- [6] Osborn D, Datta A. Institutional and policy cocktails for protecting coastal and marine environments from land-based sources of pollution [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2006, 49(7): 576-596.
- [7] Christopher R, Antonio B, Brent A. Impact of land-use change and hard structures on the evolution of fringing marsh shorelines [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, 88(3): 365-376.
- [8] 黄鹄, 陈锦辉, 胡自宁. 近 50 年来广西海岸滩涂变化特征分析 [J]. *海洋科学*, 2007, 31(1): 37-42.
- [9] 黄鹄, 戴志军, 盛凯. 广西北海银滩侵蚀及其与海平面上升的关系 [J]. *台湾海峡*, 2011, 30(2): 275-279.
- [10] 杜云艳, 周成虎, 苏奋振, 等. 海岸带及近海科学数据集成与共享研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [11] 邱向红, 侯西勇, 吴莉. 中国海岸带土地利用遥感分类系统研究 [J]. *资源科学*, 2014, 36(3): 463-472.
- [12] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论 [J]. *地理学报*, 2003, 58(5): 643-650.
- [13] 马志昂, 盖艾鸿, 孙林军. 格尔木市盆地地区土地利用/覆盖变化时空演变 [J]. *水土保持通报*, 2015, 35(5): 268-273, 278.
- [14] 谢花林, 刘曲, 姚冠荣, 等. 基于 PSR 模型的区域土地利用可持续性水平测度: 以鄱阳湖生态经济区为例 [J]. *资源科学*, 2015, 37(3): 449-457.
- [15] 沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点 [J]. *冰川冻土*, 2013, 35(5): 1068-1076.
- [16] 王国栋, 康建成, 韩钦臣, 等. 近代全球及中国海平面变化研究述评 [J]. *海洋科学*, 2014, 38(5): 114-120.
- [17] 周雄. 北海市海平面变化及其对沿岸的影响 [D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [18] 麻荣永, 李建, 郑二伟, 等. ENSO 对北部湾广西沿海风暴潮的影响 [J]. *广西大学学报: 自然科学版*, 2008, 33(4): 422-425.
- [19] 黄鹄, 戴志军, 施伟勇, 等. 强潮环境下的海滩剖面沉积特征: 以春季广西北海银滩为例 [J]. *热带海洋学报*, 2011, 30(4): 71-76.
- [20] 翁毅, 蒋丽. 旅游开发活动对沙坝—潟湖景观稳定性的影响分析: 以广西北海银滩沙坝—潟湖景观为例 [J]. *海岸工程*, 2008, 27(1): 47-55.
- [21] 孙永光, 赵冬至, 高阳, 等. 海岸带人类活动强度遥感定量评估方法研究: 以广西北海为例 [J]. *海洋环境科学*, 2014, 33(3): 407-411, 424.