

DOI: 10.5846/stxb201606301335

刘世梁, 安南南, 尹艺洁, 成方妍, 董世魁. 广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测. 生态学报, 2017, 37(18): 5915-5923.

Liu S L, An N N, Yin Y J, Cheng F Y, Dong S K. Landscape pattern analysis and prediction of land-use change in the Guangxi coastal area. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(18): 5915-5923.

广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测

刘世梁*, 安南南, 尹艺洁, 成方妍, 董世魁

北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875

摘要: 研究滨海湿地景观动态及其发展趋势对于维持沿海地区可持续发展具有重要意义。利用移动窗口法分析广西滨海湿地景观格局时空变化, 同时提取珍珠湾、茅尾海和丹兜海典型区进一步分析景观变化趋势, 最后采用土地利用变化模型 (Land Change Modeler, LCM) 预测区域未来的景观演化趋势。结果表明, 2000—2014 年间, 草地、乔木园地和常绿阔叶灌木林面积减少, 而工业用地面积明显增加。研究区总体的景观异质性变化不大, 破碎化趋势不明显。比较景观格局指数发现, 边缘密度和多样性指数的空间分布特征相似, 多样性指数较大的区域, 边缘密度也大, 并且多集中于珍珠湾、茅尾海和研究区的中东部。3 个典型区的格局变化趋势相似, 景观多样性指数降低而均匀度增加, 其中, 湿地斑块数目减少且所占面积比也减少。LCM 模型结果表明, 至 2020 年, 草本湿地与森林灌丛湿地面积进一步降低, 而工业用地和居民区则持续增长; 其中, 3 个典型区土地利用变化均受到了工业发展的影响, 以珍珠湾土地利用动态度最高, 茅尾海其次, 而丹兜海最小。当前, 区域景观的变化明显降低了湿地植被的质量, 加强湿地植被保护, 限制工业区域的无序发展是维持区域生境完整和安全的有效途径。

关键词: 景观格局; 土地利用变化; 移动窗口法; LCM 模型; 广西滨海湿地

Landscape pattern analysis and prediction of land-use change in the Guangxi coastal area

LIU Shiliang*, AN Nannan, YIN Yijie, CHENG Fangyan, DONG Shikui

State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The determination of landscape patterns of coastal wetlands has great significance in promoting the sustainable development of coastal regions. Spatiotemporal changes in landscape patterns in the coastal wetlands were analyzed using the moving window method. Three typical regions were extracted for variation tendency analysis of landscape patterns, and future trends in landscape evolution were predicted using the Land Change Modeler (LCM). The results showed that the areas of grassland, arbor plantation, and evergreen broad leaved shrub forest decreased, whereas that of industrial land increased. Changes in landscape heterogeneity and fragmentation were not obvious in the study region from 2000 to 2014. The comparison of landscape indices showed that the spatial distribution patterns of edge density were similar to that of the diversity index, indicating that regions with higher diversity also had higher edge density. Areas with higher diversity and edge density were located in Zhenzhu Bay, Maowei Sea, and the middle eastern portion of the study area. In addition, three typical regions exhibited similar patterns in which the diversity index decreased while the evenness index increased from 2000 to 2014. The number of patches and the area of coastal wetlands declined during this period. Results from the LCM revealed that areas of herbaceous wetland and mixed shrub and forested wetland have a declining tendency until 2020 because of their conversion to industrial land and residential land. Thus, the expansion of industrial land will be the main

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0502103); 国家自然科学基金面上 (41571173)

收稿日期: 2016-06-30; **网络出版日期:** 2017-04-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

factor affecting land-use changes for these three typical regions. Zhenzhu Bay will experience the greatest level of land-use change, followed by Maowei Sea and Dandou Sea. In conclusion, changes in the regional landscape patterns resulted in decreased wetland quality; therefore, enhancing the protection of wetlands and limiting development of industrial land will be an effective way to maintain the integrity and security of the regional environment.

Key Words: landscape pattern; land-use change; moving window method; LCM model; Guangxi coastal wetland

土地利用/覆被变化是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式,与人类社会经济活动的活跃程度紧密相连^[1-2]。当前,我国正处于工业化、城镇化高速发展阶段,如何平衡快速增长的经济需求与有限的土地资源之间的关系是当前面临的重要问题之一。分析土地利用变化特征并对其未来发展趋势进行模拟预测对了解区域社会经济环境的发展具有重要意义。土地利用变化直接影响着景观格局,而景观格局的变化亦是土地利用变化的最直观表现^[3-4]。景观格局主要是指构成景观生态系统或土地利用/覆被类型的形状、比例和空间配置^[5-6]。目前景观格局的分析主要集中于两个方面,即景观异质性研究^[7-8]和景观动态研究^[9-10]。通常区域景观动态研究多采用景观指数分析景观格局特征以及空间异质性。景观格局指数不仅可以量化研究景观格局^[11],而且直观明了地反映景观格局的结构组成和空间配置^[12],因此在景观生态研究中得到广泛应用。

目前,国内外学者利用移动窗口法计算景观格局指数,对景观空间梯度格局^[13]、干旱河谷^[14]和梯级水电站^[15]进行了景观格局分析,而对于滨海区域的研究较少。由于受到外界人为干扰尺度大,滨海区域空间和时间景观异质性较强,表现出的格局变化也较为明显^[16]。在社会发展和生态环境之间矛盾愈发凸显的背景下,滨海区域景观变化及其保护对策研究成为相关领域的新热点^[17]。此外,土地利用预测也是当前土地利用变化研究的热点之一,目前已应用和发展了多种土地利用预测空间模型,如 CLUE、Agent 模型、神经网络、元胞自动机、土地利用变化模型(Land Change Modeler, LCM)等^[18-19]。其中,LCM 模型利用多图层识别感知器(Multi-Layer Perceptron, MLP)整合多要素的干扰,在模拟与分析土地利用变化方面应用良好^[20]。同时,将预测结果运用于模拟未来土地利用变化特征的发展态势对敏感脆弱的滨海区域具有重要意义。

广西北部湾沿海区域属于半封闭海湾,自然资源丰富,生境独特,景观类型多样,主要以滨海湿地、河流和河漫滩为主^[21]。近年来,由于海洋资源和海岸带开发与围填海工程等人类经济建设行为的影响,导致该区域城镇面积迅速扩张、滨海湿地面积锐减,对区域海洋生态系统甚至区域国土安全造成了严重影响^[22]。此外,丰富的红树林资源是广西沿海区域的特色资源,珍珠湾和丹兜海是区域内重要的红树林自然保护区,而探讨该区域景观结构分布,对于区域红树林的发展与保护具有重要的指导意义。因此,本研究以广西滨海湿地为研究对象,利用土地利用变化数据分析区域景观空间格局特征,探讨广西滨海湿地近 10 年的土地利用变化规律,并采用 LCM 模型预测土地利用未来变化态势,为滨海区域土地资源的可持续利用、维持景观完整性和安全性提供参考案例。

1 研究区概况

广西滨海湿地位于北回归线以南,位于 107°29'E—109°46'E, 20°54'N—22°28'N。海岸线总长 1595 km,东起合浦英罗港,西至东兴市北仑河,主要包括北海市、钦州市和防城港市 3 个行政区,属南亚热带气候区^[23]。研究区植被类型丰富,林木资源主要以松、桉类、木麻黄为优势种。该区红树林资源丰富,以白骨壤、桐花树、红海榄、秋茄和木榄为主。

研究区为海岸线 10 km 内的缓冲区,考虑到该区丰富的红树林资源,选择红树林集中的 3 个港湾珍珠湾、茅尾海和丹兜海,作为典型研究区(图 1)。3 个海湾是广西红树林的主要分布区并各具特色,珍珠湾位于北仑河口国家级保护区东侧,具有较高的红树林生态承载力;茅尾海是茅岭江、钦江、大风江河流交汇处,在河流

与海水的共同作用下,形成泥沙质平滩和潮沟岛屿景观,而且在潮间带与内陆之间广泛分布沿海渔业养殖区,加之周边城区的生活工业废水汇入茅尾海,使得当地红树林的自然环境健康受到威胁;丹兜海处于山口红树林保护区,海湾面积较小,植被生长状况与水质状况处于优良状态。

2 研究方法

2.1 滨海湿地景观变化分析

采用多时相 Landsat 遥感数据分类获得所需要的景观类型信息。为了尽可能的分析研究区较长时间序列的景观格局变化,该研究时间定为 2000 至 2014 年。分别下载 2000、2005、2010 和 2014 年 8—10 月间少云的 TM 影像(轨道号 124/45,125/45),影像分辨率为 30 m。先将影像在 ENVI 软件中利用支持向量机分类器进行监督分类,然后对小图斑进行剔除和重新分类,将栅格转换为矢量文件后进行分类结果的验证,并结合研究区规划图等资料和 2014 年实地调研资料,采用误差矩阵进行精度验证,影像的分类精度均大于 85%。

景观格局变化主要是指景观结构单元的组成成分、多样性、形状和空间格局随时间的变化。景观斑块的类型、形状、大小、数量和空间组合及景观功能质量的差异、各种干扰因素相互作用的结果,又影响着整个区域的生态过程和边界效应。基于以往研究,针对研究目标、数据来源,主要从景观和类型两个水平上量化分析广西滨海湿地景观格局^[24]。在景观水平上,选取斑块数量、Shannon's 多样性指数和均匀度等指标;在类型水平上,选取蔓延度指数、散布与并列指数和 Shannon's 多样性指数等指标。

本文借助移动窗口法对广西滨海湿地生态格局进行定量及可视化分析。研究区域的面积和移动窗口大小的选择对景观破碎化结果会产生一定影响。研究区的边缘效应会对移动窗口法的计算结果产生一定影响。在采用移动窗口法计算时分别尝试了 200、300、500、1000、1500 m 的边长,通过对比分析发现 500 m 的窗口能保留梯度特征又不至于使景观指数出现较大波动,能通过景观指标的变动特征真实反映空间格局的变化。选择边长为 500 m 矩形窗口,通过对窗口内选中的景观指数进行计算,输出数据为对应所选景观指数的栅格图。从破碎度、多样性和形状角度探讨研究区景观格局的空间变化特征^[25]。各指标的计算借助景观指数计算软件 Fragstats 4.2 完成。

2.2 基于 LCM 模型的土地利用模拟

利用 LCM 模拟未来土地利用时,为了保证具有较长且相等的时间间隔,该文并未将 2014 年的土地利用纳入模型,而是采用了具有相等时间间隔的 2000、2005 和 2010 年的三期土地利用。以滨海湿地 2000、2005 与 2010 年的 TM 数据源,针对土地利用转换情况,将景观重分类为:阔叶林(BF)、旱地(DL)、森林灌丛湿地(FW)、草地(GL)、草本湿地(HW)、工业用地(IL)、针阔混交林(MF)、水田(PF)、居住地(RL)、水库坑塘(RP)、河流(RS)、阔叶灌丛林(SF)、园地(TG)和交用地(TL)。根据研究区域的大小和影像的分辨率,将栅格大小设置为 30 m×30 m。在 IDRISI 软件中,利用距离道路、村落、河流、海岸线距离 4 个因子作为典型驱动变量,利用 LCM 模块对土地利用进行模拟,将不同土地利用类型的转化模型与不同影响因素之间构成一个神经网络,通过一组权重值相互连接(初始权值为一组随机量)构成 MLP。首先将 2000 和 2005 年景观类型数据作为基础数据,然后和 2010 年土地利用进行对比,预测结果 Kappa 系数表明,迭代次数一般在 5000 次内,准确率水平可以到在 70%—90%,构建的转化潜力 MLP 模型预测结果精确度总体上满足本研究的要求。在此基础上,利用 2010 年为起始年,利用 LCM 模块对研究区 2020 年的土地利用/覆被进行预测。为了统一使用的数据,分析未来区域土地利用变化时,以 2010 和 2020 年土地利用进行分析,不再引入 2014 年的数据。

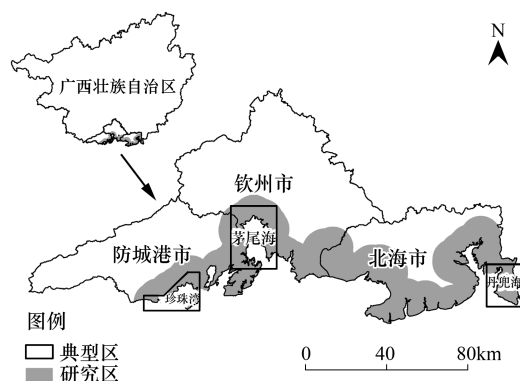


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

3 结果与分析

3.1 广西滨海湿地景观格局的总体特征

研究区景观类型以常绿阔叶林、旱地和常绿针叶林为主,三者多年来平均占区域总面积的 70%以上。区域内,14 年间变化较大的景观类型为草地、工业用地、乔木园地和常绿阔叶灌木林,其中草地、乔木园地和常绿阔叶灌木林面积分别减少了 97%、92%和 38%,而工业用地则增加了 88%。

研究区整体斑块数较多,平均为 28,225 块,斑块的平均面积约为 13 km^2 ,景观的多样性指数和均匀度指数分别平均为 1.93 和 0.68。各景观类型中以灌丛湿地斑块数最多,而灌丛湿地面积较小,说明整体上灌丛湿地的破碎化程度较为严重。边缘密度以采矿场、交通用地和居住区较高,草本湿地、常绿阔叶灌木林、灌木园、乔木园和草地较低(图 2)。而散布与并列指数在不同景观类型中则差异不大,整体多分布于 60—70 之间,其中草地最小为 46,交通用地最高为 72。多样性指数在不同景观类型间差异也不大,其中以草本湿地最低 0.82,采矿场和交通用地最高分别为 1.52 和 1.36。

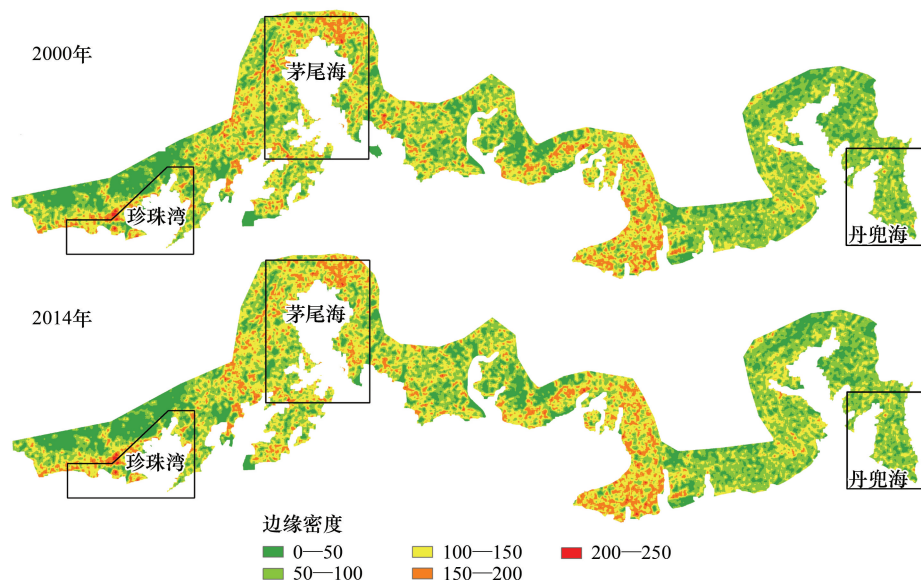


图 2 研究区域景观边缘密度指数空间分布

Fig.2 Spatial distribution of Edge Density (ED) index in the study area

2000 至 2014 年,广西滨海区域整体景观格局变化较小,景观异质性变化不大,破碎化趋势不明显。斑块总数由 2000 年的 28,293 个减少到 2014 年的 28,157 个,降低了近 0.5%。景观的多样性指数和均匀度指数分别由 1.96 和 0.68 减少到 1.90 和 0.67。

3.2 广西滨海湿地景观格局特征的时空分布

基于移动窗口法,得到的景观动态结果表明:在时间尺度上,14 年间,滨海湿地海岸带的边缘密度整体上基本没有变化(图 2),但研究区内各景观类型的景观指数变化趋势各不相同(图 5)。景观边缘密度能直观地反映景观或景观类型边界被割裂的程度,同时反映景观的破碎化程度。其中,常绿阔叶灌木林边缘密度增加最多,为 20 km/km^2 ,边缘密度减少最多的是工业用地,减少幅度为 28 km/km^2 。居住地的边缘密度也有小幅度的增加,这可能与城乡建设用地及农村居民点整改过程中缺少规划导致其形状趋于不规则化,并增加了斑块的周长。此外,海域和滩涂的边缘密度也有所下降,这可能与人类活动对滨海自然岸线的干扰有关,大量滨海海岸段被人工截弯取直使得岸线曲折度下降。其他景观类型的边缘密度变化则较小。

此外,区域边缘密度分布极不均匀(图 2)。边缘密度较大的区域多分布于茅尾海、珍珠湾和海岸带的中东部地区,景观类型多为旱地、常绿阔叶林和水库坑塘。旱地的边缘密度较大,主要是由于耕地集中分布的地

区往往也是乡镇居民点较为密集的地区,城镇建设以及乡镇基础设施的完善使得耕地被不断切断。林地边缘密度较大的原因则是由于该地区的阔叶林斑块较多,破碎化严重。此外,人类活动对水域地区的自然岸线干扰较大,增大了水域的边缘密度。珍珠湾的北部和丹兜海及其西部地区的边缘密度较小,该地区的景观类型多为成片的常绿阔叶林,水田和灌木乔木园地。

2000—2014 年,研究区散布与并列指数变化较大区域集中于东北部,但不同的景观类型的散布与并列指数变化则较小(图 5)。空间上,该指数分布相对较均匀,整体上区域的散布与并列指数多集中于 60 以上,反映了该区域不同景观类型之间相邻接的几率增大,且相邻接的景观类型也越来越多(图 3)。

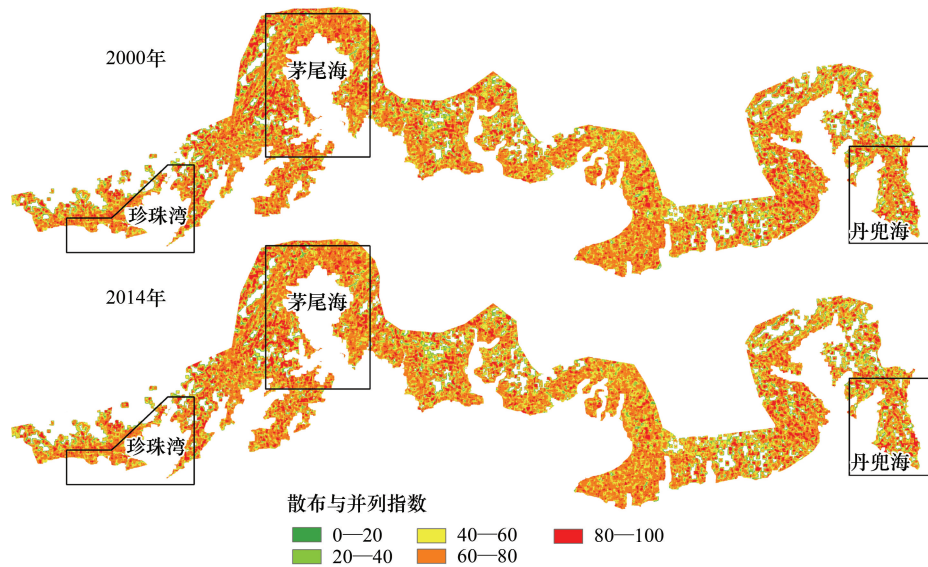


图 3 研究区域景观散布与并列指数空间分布

Fig.3 Spatial distribution of Interspersion Juxtaposition Index (IJI) in the study area

多样性指数是景观类型多样性和复杂性的度量,多样性指数的高低反映了景观类型的多少以及各类型所占比例的变化。研究区多样性指数总体上呈现增大的趋势,且西部多样性指数变化较大(图 4),但不同的景

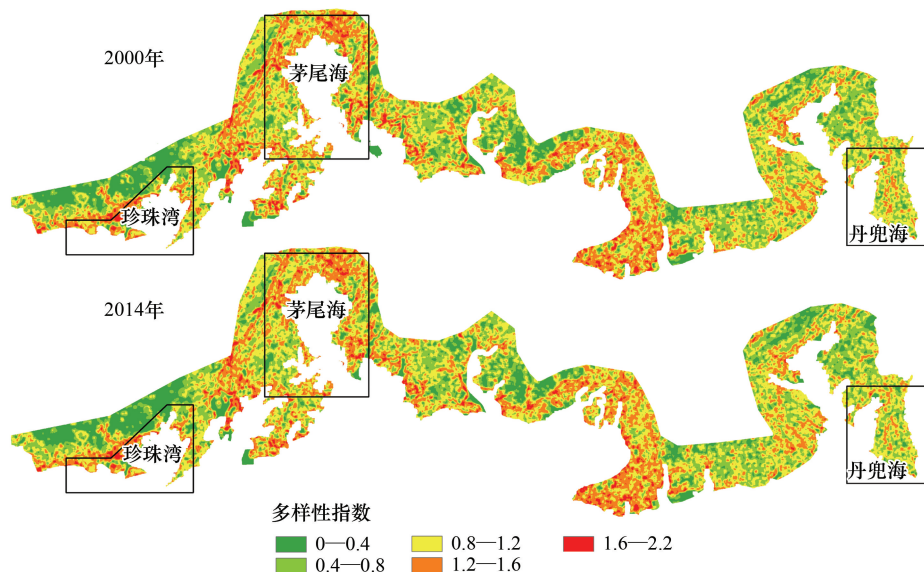


图 4 研究区域景观多样性指数空间分布

Fig.4 Spatial distribution of Shannon's Diversity Index (SHDI) in the study area

观类型的多样性指数变化则较小(图5)。空间上,珍珠湾,茅尾海和研究区中东部的多样性指数较大(图4),多在1.20以上,主要是因为这些地区的景观类型较丰富。

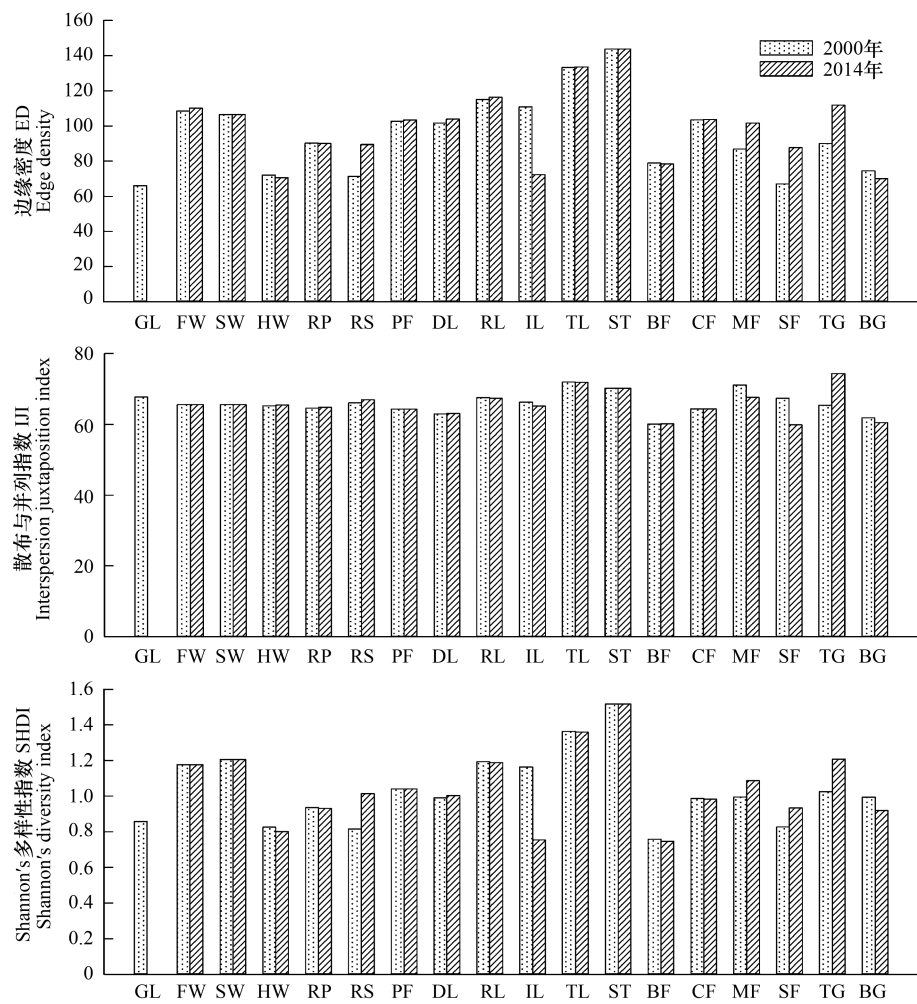


图5 2000—2014年广西滨海湿地海岸带各景观指数变化

Fig.5 Changes of landscape indices of Guangxi coastal wetland from 2000 to 2014

GL:草地 grassland;FW:森林湿地 forest wetland;SW:灌丛湿地 shrub wetland;HW:草本湿地 herbaceous wetland;RP:水库坑塘 reservoirs and ponds;RS:河流 rivers;PF:水田 paddy field;DL:旱地 dry land;RL:居住地 residential land;IL:工业工地 industrial land;TL:交通用地 traffic land;ST:采矿场 slope;BF:常绿阔叶林 evergreen broad leaved forest;CF:常绿针叶林 evergreen coniferous forest;MF:针阔混交林 mixed broadleaf-conifer forest;SF:常绿阔叶灌木林 evergreen broad leaved shrub forest;TG:乔木园地 tree garden;BG:灌木园地 bush garden

3.3 典型区的景观格局指数变化特征

由于珍珠湾在研究期间土地利用变化较小,景观指数变化也不明显,在表1中仅列出平均值与其他两个典型区进行比较。3个典型区,以珍珠湾湿地面积比最高,且斑块数目也相对较少,多样性值也较高。茅尾海湿地面积比居中,但斑块数目较多,多样性值也较高。而丹兜海湿地面积比和斑块数目均最低,且多样性值也较低。

2000—2014年间,丹兜海和茅尾海湿地斑块数量均呈微弱的减少趋势(表1),这种变化与人类活动有关,苇草地和灌草地被人为开发成农田、河库沟渠及盐田养殖池,故而减少了湿地斑块。

丹兜海和茅尾海滨海区域,14年内景观的多样性指数降低,而均匀度指数则增加(表1)。尽管二者变化幅度较小,但多样性值降低的同时,湿地类型并没有发生变化,表明不同湿地类型所占的比例差异降低。

此外,3个典型区的蔓延度指数值都小于60,且变化非常小,说明区域内的景观破碎化严重,小斑块较多,

且主要受到少数几种大的景观类型(旱地、灌丛湿地和草本湿地等)控制。丹兜海和茅尾海区域,14 年来的整体景观蔓延度指数分别从 57.35 和 50.32 下降到 56.24 和 48.40,这与湿地斑块数目增加和面积比减少的结果一致,从而反映出二者滨海湿地的开发与利用程度均有增加。

表 1 典型区的景观格局指数

Table 1 Landscape indices of the typical regions

景观指数 Landscape indices	丹兜海 Dandou Sea			茅尾海 Maowei Sea			珍珠湾 Zhenzhu Bay
	2000	2005	2014	2000	2005	2014	
湿地斑块数 Wetland patch number	110	108	102	800	796	787	294
湿地面积比 Wetland area ratio	11.34	11.43	12.08	19.33	18.96	17.89	24.34
CONTAG	57.35	58.33	56.24	50.32	51.01	48.4	49.35
IJI	51.96	50.88	54.11	64.76	63.5	67.34	67.18
SHDI	1.75	1.71	1.69	2.07	2.03	1.96	2.02
SHEI	0.66	0.65	0.68	0.75	0.73	0.77	0.77
AI	88.64	88.74	88.76	84.49	84.49	84.23	85.19

2000—2014 年间,珍珠湾景观指数并无明显变化,只列出平均值。Landscape indices of Zhenzhu Bay did not obviously change from 2000 to 2014, therefore, landscape indices showed in the table were averaged values; CONTAG: 蔓延度指数 CONTAGion index; IJI: 散布与并列指数 Interspersion Juxtaposition Index; SHDI: SHannon's 多样性指标 SHannon's Diversity Index; SHEI: 香浓均匀度指数 SHannon's Evenness Index; AI: 聚集度指数 Aggregation Index

总体上,2000—2014 年,典型区的多样性指数降低而均匀度指数增加,但考虑到湿地斑块数量减少且面积比降低,这表明新增加的景观类型如开发滩涂、盐田等面积在逐渐增加,且趋于稳定。

3.4 基于 LCM 的广西滨海湿地土地利用预测

3.4.1 研究区总体景观变化的预测模型结果

图 6 为 2020 年广西滨海湿地土地利用预测模拟图。与 2010 年土地利用图比较发现,土地利用变化主要集中在滨海附近的公路与村落,斑块变化区域比较分散。不同景观类型中,工业用地和居住地分别增加了 4%与 3%,而森林灌丛湿地则降低 2%,草本湿地降低 5%。旱地、落叶阔叶林、园地、交通用地、河流和草地等景观类型的变化则相对较小。总体上,草本湿地与森林灌丛湿地的面积减少较多,分别从 53 km²降低到 52 km²,122 km²降低到 115 km²,主要是围海造田,湿地向工业用地等转换导致的(图 7)。

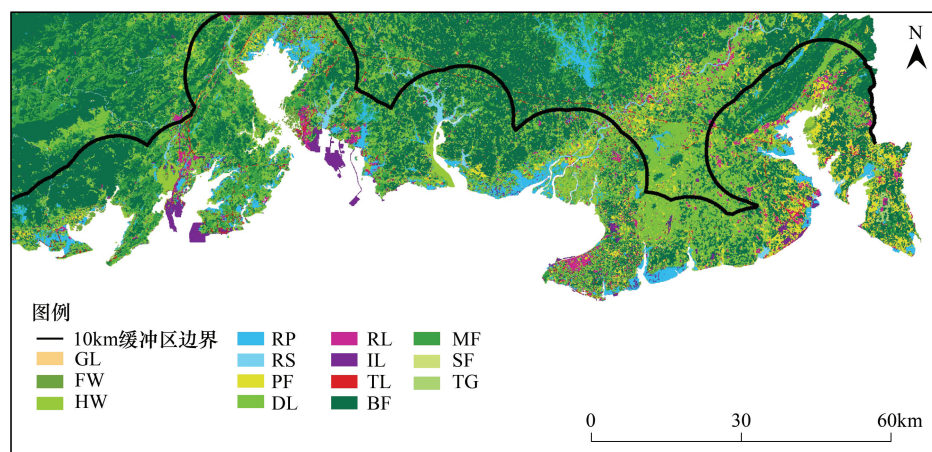


图 6 2020 年土地利用变化预测图

Fig.6 Prediction map of land-use change in 2020

GL: 草地 grassland; FW: 森林灌丛湿地 forest and shrub wetland; HW: 草本湿地 herbaceous wetland; RP: 水库坑塘 reservoirs and ponds; RS: 河流 rivers; PF: 水田 paddy field; DL: 旱地 dry land; RL: 居住地 residential land; IL: 工业用地 industrial land; TL: 交通用地 traffic land; BF: 阔叶林 broad leaved forest; MF: 针阔混交林 mixed broadleaf-conifer forest; SF: 常绿阔叶灌木林 evergreen broad leaved shrub forest; TG: 园地 plantation

3.4.2 典型区景观未来变化分析

利用 IDRISI 的 LCM 模块分析 2020 年土地利用变化情况,进一步通过空间分析,分析 3 个典型区的景观变化情况。模拟结果见图 8,并利用综合土地利用动态度,分析各研究区的景观变化速率。

从图 8 可以看出,3 个典型区工业用地的变化均为正值,说明工业用地在不同区域均有所增加。珍珠湾区域的湿地面积减少较大,森林灌丛湿地和草本湿地分别降低 1% 和 2%,而工业用地则增加了 17%,此外,其水田面积也有所增加,旱地面积则有所减少。对于茅尾海区域来说,森林灌丛湿地面积减少较多,分别为 2% 和 3%,工业用地增加 2%。丹兜海区域的景观类型转换较少,大部分维持现状。其中,草本湿地变化基本维持不变,森林灌丛湿地略有降低为 0.06%,工业用地增加 1%,旱地减少 2%,其他景观类型变化较小。

总体上,3 个典型区土地利用动态度以珍珠湾最高,茅尾海其次,丹兜海最低。珍珠湾未来土地利用变化率相对较高,其土地利用可能会发生较大变化,而丹兜海未来的土地利用变化可能会较小。然而,与广西滨海其他区域相比,3 个典型区域的土地利用未来变化相对均较小。

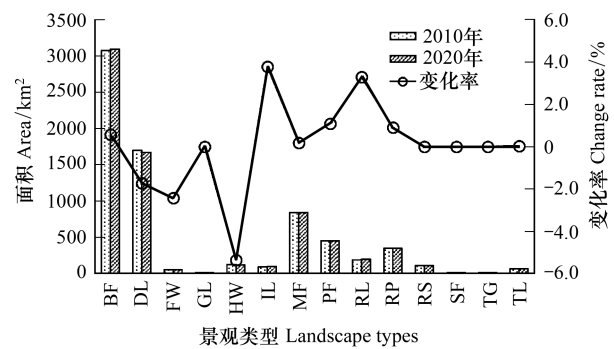


图 7 研究区景观类型变化

Fig.7 Variations of landscape types in the study region

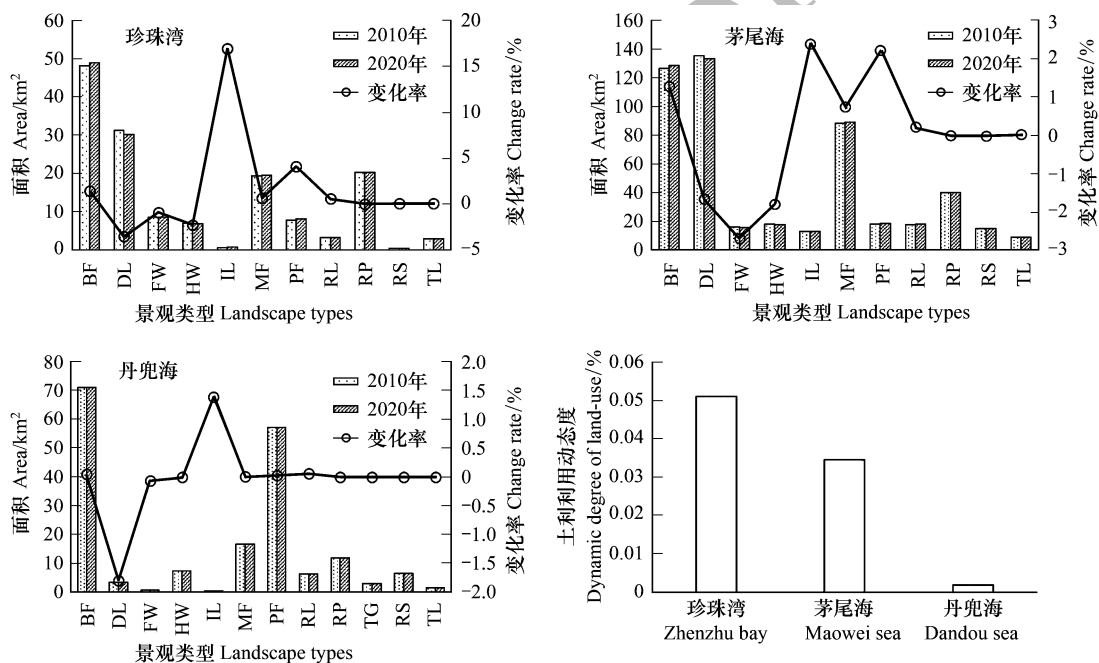


图 8 典型区的景观类型面积变化与土地利用动态度

Fig.8 Area changes of different landscape types and dynamic degrees of land-use in the typical regions

4 讨论与结论

该研究区域的景观格局兼具了滨海区域脆弱性、敏感性和资源矛盾突出的特征。大规模海洋资源、海岸带开发,尤其是围填海工程等人类活动大量占用了滨海湿地,促使建设用地迅速增加,对研究区景观格局产生显著影响。2000—2014 年间,广西滨海区域景观的变化主要表现为草地、园地和常绿阔叶灌木林面积的下降以及工业用地面积的增加。滨海区域自然景观的退化在其他关于海岸带的研究中也普遍存在^[4, 26],在经济快速发展的同时如何尽可能的维持自然植被的完整是当前亟待探讨的议题。

景观格局上,研究区域景观异质性变化不大,破碎化趋势不明显。但不同景观类型间略有差异,灌丛湿地

的斑块最多,考虑到其面积较小,说明其破碎化程度也较严重。这意味着区域内生境斑块之间隔离程度的增加,从而可能会阻碍物种扩散,致使生境质量下降。利用 LCM 模型预测的 2020 年的景观与 2010 年相比,森林灌丛湿地和草本湿地降低比率较大,这会进一步降低区域的生态环境质量。在当前景观结构的基础上,优化资源的配置是研究区域较为合适的发展方向。必须将已建立的人工区域充分利用,才有可能降低对自然植被的破坏。限制区域内不合理的围填海工程,发展以自然景观为主的特色生态旅游,将滨海湿地作为旅游资源有效的列入保护对象^[27]。在帮助维持促进区域自然环境多样性的同时,提高其稳定性,同时有利于增强区域发展的可持续性。

整体上,区域内景观格局变化相对较小,但区域内重要的湿地资源是工业化用地的主要入侵对象。此外,三个红树林典型区均不同程度的受到了湿地开发利用的影响,新开发景观类型面积在逐渐增大,这对典型区内原有的湿地生境产生了严重的潜在威胁。LCM 模型预测结果表明,研究区滨海湿地在将来的发展也不容乐观。因此,当前区域内的土地利用规划和政策可能仍需要进一步提高对自然岸线和滨海自然景观保护的重视,高效充分利用人工建成区域,限制其他用地类型对湿地的侵扰,并加强对区域内重要湿地的保护是当前研究区可行的发展道路。

参考文献(References):

- [1] Mooney H A, Duraipapp A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(S1): 3665-3672.
- [2] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 徐新良, 秦元伟, 宁佳, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 吴世新, 史学正, 江南, 于东升, 潘贤章, 迟文峰. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. *地理学报*, 2014, 69(1): 3-14.
- [3] Zhou Z Z. Landscape changes in a rural area in China. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 47(1/2): 33-38.
- [4] 吴莉, 侯西勇, 徐新良, 邸向红. 山东沿海地区土地利用和景观格局变化. *农业工程学报*, 2013, 29(5): 207-216.
- [5] 郭冻, 余世孝. 泰山风景区景观格局时空变化的研究. *应用生态学报*, 2005, 16(4): 641-646.
- [6] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题. *地理科学*, 2003, 23(3): 264-270.
- [7] 蒋文伟, 刘彤, 丁丽霞, 温国胜, 张万荣, 钟泰林. 景观生态空间异质性的研究进展. *浙江林学院学报*, 2003, 20(3): 311-314.
- [8] 叶功富, 洪志猛, 甘永洪, 倪志荣, 蔡干强, 郭剑锋. 厦门城市绿地生态系统景观结构与异质性分析. *东北林业大学学报*, 2005, 33(5): 71-74.
- [9] 冯异星, 罗格平, 周德成, 韩其飞, 鲁蕾, 许文强, 朱磊, 尹昌应, 戴丽, 李艳忠. 近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响——以新疆玛纳斯河流域为例. *生态学报*, 2010, 30(16): 4295-4305.
- [10] 张玉红, 苏立英, 于万辉, 张洪云. 扎龙湿地景观动态变化特征. *地理学报*, 2015, 70(1): 131-142.
- [11] 何鹏, 张会儒. 常用景观指数的因子分析和筛选方法研究. *林业科学研究*, 2009, 22(4): 470-474.
- [12] 何原荣, 周青山. 基于 SPOT 影像与 Fragstats 软件的区域景观指数提取与分析. *海洋测绘*, 2008, 28(1): 18-21.
- [13] 刘昕, 国庆喜. 基于移动窗口法的中国东北地区景观格局. *应用生态学报*, 2009, 20(6): 1415-1422.
- [14] 张玲玲, 赵永华, 殷莎, 房舒, 刘晓静, 蒲苗苗. 基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析. *生态学报*, 2014, 34(12): 3276-3284.
- [15] 刘琦, 刘世梁, 赵清贺, 王聪, 邓丽, 杨珏婕, 董世魁. 基于移动窗口法的水电开发影响下景观格局梯度分析. *山地学报*, 2012, 30(5): 628-635.
- [16] 王倩. 防城港海岸带景观格局变化研究[D]. 西宁: 广西大学, 2013.
- [17] 张明祥, 董瑜. 双台河口自然保护区滨海湿地景观变化及其管理对策研究. *地理科学*, 2002, 22(1): 119-122.
- [18] 李志, 刘文兆, 郑粉莉. 基于 CA-Markov 模型的黄土塬区黑河流域土地利用变化. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 346-352.
- [19] 吴季秋. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的海南八门湾海湾生态综合评价[D]. 海口: 海南大学, 2012.
- [20] 黄晓磊, 刘东云, 冯仲科, 仇琪, 苗婕. 基于 CA-Markov 模型的天津市土地利用预测研究. *中国农业科技导报*, 2012, 14(5): 84-89.
- [21] 黎遗业. 广西沿海红树林湿地的生态保护对策. *资源开发与市场*, 2008, 24(3): 267-269.
- [22] 雷富, 张荣灿, 陈宪云, 许铭本, 何碧娟, 姜发军. 夏季广西北部湾近岸海域海水和表层沉积物中重金属污染现状及评价. *海洋技术*, 2013, 32(2): 94-100.
- [23] 沈琪. 生态经济背景下的区域生态承载力研究——以广西北部湾经济区为例. *桂海论丛*, 2014, 30(2): 91-96.
- [24] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 李秀珍, 贺红土. 景观指数之间的相关分析. *生态学报*, 2005, 25(10): 2764-2775.
- [25] 游丽平, 林广发, 杨陈照, 林巧莺, 杨丽萍. 景观指数的空间尺度效应分析——以厦门岛土地利用格局为例. *地球信息科学*, 2008, 10(1): 74-79.
- [26] 潘翔, 孙元敏, 吴剑, 陈鹏. 厦门湾海岸带景观格局时空动态演变研究. *生态科学*, 2016, 35(1): 117-123.
- [27] 吕建树, 刘洋, 张祖陆, 李静, 王学. 鲁北滨海湿地生态旅游资源开发潜力评价及开发策略. *资源科学*, 2011, 33(9): 1788-1798.