

海坛岛土地利用变化模拟与景观生态风险评价

杨阳, 黄义雄, 李潇, 古璠, 郭佳蕾

(福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: [目的] 对海坛岛土地利用变化进行模拟与景观生态风险评价, 为该岛的土地利用规划和政策制定提供理论依据。[方法] 在福建省平潭县综合试验区规划建设背景下, 将 Markov 模型和 CLUE-S 模型相结合, 模拟海坛岛 2021 年自然发展模式 and 城市规划发展模式下的土地利用空间分布格局, 并用景观指数和景观生态风险指数对不同模式的景观格局进行分析。[结果] ① 2021 年的预测结果与 2013 年土地利用状况相比, 在自然发展模式下森林、灌丛、湿地、农田分别减少了 9.58%, 5.53%, 2.33% 和 8.82%。城市规划模式下分别减少了 12.86%, 6.16%, 2.40% 和 11.67%; 建筑用地面积自然发展模式下增加了 24.56%; 城市规划模式下增加了 31.79%。② 海坛岛的景观斑块破碎化程度日趋严重, 森林、灌丛、湿地、农田、建设用地和未利用地的斑块数目均有不同程度的增加, 景观面积百分比和景观形状指数上, 森林、灌丛、湿地、农田均呈下降趋势, 建设用地呈上升状态, 未利用地变化不大。③ 海坛岛 2013 和 2021 年两种不同发展模式下的景观生态风险指数分别为 0.334, 0.337 和 0.351。[结论] 海坛岛整体景观趋于破碎化和离散化, 景观生态风险指数呈上升趋势, 景观生态问题日渐严重。

关键词: 土地利用/覆盖变化; CLUE-S 模型; 风险评价; 海坛岛

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0146-06

中图分类号: F301.2

文献参数: 杨阳, 黄义雄, 李潇, 等. 海坛岛土地利用变化模拟与景观生态风险评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6):146-151. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.024; Yang Yang, Huang Yixiong, Li Xiao, et al. Land use change simulation and landscape ecological risk assessment of Haitan Island[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6):146-151. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.024

Land Use Change Simulation and Landscape Ecological Risk Assessment of Haitan Island

YANG Yang, HUANG Yixiong, LI Xiao, GU Fan, GUO Jialei

(College of Geographic Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: [Objective] Simulating the land use change and evaluating the landscape ecological risk of Haitan Island, to provide basis for land use planning and policy development. [Methods] Under the background of planning and constructing in Pingtan County Experimental Area in Fujian Province, this study combined the model of Markov model and the CLUE-S model to simulate spatial distribution pattern of land use in 2021, under the scenarios of either spontaneously developing pattern or rapid urbanization development. The possible evolved landscape patterns under different development scenarios were predicted by landscape index and landscape ecological risk index. [Results] ① The forecast results of 2021 are compared to the land use situation in 2013. The areas of forest, shrub, wetland, farmland decreased by 9.58%, 5.53%, 2.33%, 8.82%, respectively under the scenario of spontaneous development mode; while, these items decreased by 12.86%, 6.16%, 2.40%, 11.67% in the rapid urbanization development scenario. Construction land areas increased by 24.56% and 31.79% in scenarios of spontaneous development and rapid urban development. ② Haitan island landscape patch fragmentation will becoming increasingly serious. The numbers of plaques in forests, shrubs, wetlands, croplands, construction sites and unused land increased differently; the construction land

收稿日期: 2017-04-08

修回日期: 2017-05-05

资助项目: 福州市政府研究项目“福州市生态文明建设研究”(CO0062)

第一作者: 杨阳(1990—), 男(汉族), 河南省驻马店市人, 硕士研究生, 研究方向为生态与环境。E-mail: 1286255308@qq.com。

通讯作者: 黄义雄(1960—), 男(汉族), 福建省福州市人, 博士, 研究员, 主要从事景观生态方面的研究。E-mail: yxhuang@fjnu.edu.cn。

will on the rise but the unused land might change little. ③ The landscape ecological risk indexes were 0.334, 0.337, 0.351 in 2013 and under different development models in 2021. [Conclusion] The whole landscape of Haitan Island tends to be broken and discretized. Landscape ecological risk index is on the rise and the degree of fragmentation of landscape patches is becoming more and more serious.

Keywords: land use/cover change; CLUE-S model; risk assessment; Haitan Island

土地利用/覆盖变化是人类和自然综合作用的结果,并且具有复杂的机理和过程^[1]。土地利用/覆盖变化对气候变化、陆地生态系统地球物理和地球化学循环过程以及对陆地—海洋的相互作用和物质交换具有重要的影响^[2-3],研究土地利用/覆盖变化对于区域甚至全球生态环境的变化具有重要的意义^[4-5],因此,土地利用/覆盖变化一直以来都是各国学者所关注的问题^[6],土地利用变化的研究主要包括数量上的变化和空间位置上的变化。早期的土地利用变化模型主要是非空间模型,近年来随着计算机技术和 GIS 技术的成熟,研究者以发展空间模型为主,主要是建立模型模拟土地利用的空间分布格局或者对未来土地利用的变化做出预测^[7-10],并分析自然、经济、人类等驱动因子对土地利用变化的影响。目前这类模型很多,如 CLUE-S, GEOMOD, SLEUTH 等。自 CLUE-S 模型创建推出以来,土地利用变化模拟的精度大大提高,国际上也出现了较多的应用案例,并且取得了较好的研究和应用效果^[11-12]。

中国运用 CLUE-S 模型的案例主要出现在 2004 年以后,研究区主要集中在土地利用研究的热点区域和生态脆弱区^[13-15]。海岛地区是海洋和陆地的过渡地带,有着独特的生态系统和经济发展模式,且生态系统比较简单,更容易受到人类活动的干扰和破坏,随着人们对海岛开发利用的加剧,海岛地区生态环境所面临的威胁日趋加剧。因此本研究以海坛岛为案例区,并结合区域的实际情况和发展战略,分别设置自然发展和城市规划两种模式,运用 CLUE-S 模型分别对两种模式土地利用进行空间配置和预测,并进行从景观指数和景观生态风险指数两方面对模拟结果进行风险评价,旨在为海岛地区的土地利用规划和政策的制定提供参考。

1 研究区概况

海坛岛位于北纬 25°15′—25°45′,东经 119°32′—120°10′,与台湾隔海相望,是福建省第一大岛,也是中国 12 个海岛之一。海坛岛总面积为 328.24 km²,在气候上属于亚热带海洋性季风气候,年均气温为 19~19.9℃,年均降水量约为 900~1 200 mm,主要集中在 3—10 月,年蒸发量约为 1 300 mm。海坛岛

平面形状整体不太规范,主要有丘陵、平原、湖泊、滨海、滩涂等多种地貌类型。2009 年被划为综合试验区建设以来,海坛岛的社会经济进入快速发展时期,截止 2013 年,全岛生产总值达 155.39 亿元,同比增长 13%,建设用地的扩张和公路的修建侵占了大量的耕地和沿海防护林,因此所带来的生态环境问题也日趋严重。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究主要选取 2005,2013 年 2 期 Landsat 遥感影像以及平潭县土地利用变更数据,土地利用变更数据来源于福州市国土资源局,DEM 数字高程数据,空间分辨率为 30 m,福建省交通、水系图;平潭县 2011,2014 年统计年鉴。运用 ENVI 4.8 软件对遥感影像进行几何校正等预处理,结合平潭县的实际情况,将研究区土地划分为:森林、灌丛、湿地、农田、城镇、未利用地 6 类,经野外踏勘以及与同期土地利用变更数据的对比,解译精度均在 90% 以上。土地利用类型空间分布驱动因子主要包括自然、社会、经济三方面;根据 CUUE-S 模型对数据的要求,在 ArcGIS 10.2 软件的操作下,将平潭县土地利用图和 DEM 数字高程数据及其他空间驱动因子均投影到统一坐标系下并转换成 100×100 的栅格图层。

2.2 研究方法

2.2.1 CLUE-S 模型 CLUE-S 模型是荷兰瓦赫宁根大学 Verburg 等^[16]科学家于 2002 年在 CLUE 模型的基础上创建的。该模型主要兼顾了土地利用系统中的自然、社会、经济等驱动因子,并且在空间上反映土地利用变化的过程和结果精度更高,具有更高的可信度和说服力^[17-18]。CLUE-S 模型主要由限制区域、土地利用类型转换规则、转换弹性系数、土地需求文件 4 个输入模块和 1 个空间分配模块 5 个部分组成^[19]。CLUE-S 模型中,主要运用 Logistic 回归分析方法计算土地利用的空间分布格局与驱动因子之间的定量关系。计算公式为:

$$\log\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i} \quad (1)$$

式中: P_i ——土地利用类型 i 在某栅格单元内出现的概率; $X_{n,i}$ ——地类空间分布格局的驱动因子;

β ——Logistic 回归方程的回归系数,主要表示土地利用类型与驱动因子的定量关系。

根据研究区土地利用变化的实际情况和独特的地理位置,最终选取距主要交通的距离、距湖泊的距离、距河流沟渠的距离、距农村居民点的距离、高程、坡度、人口密度、人均 GDP 共 8 种驱动因子。运用 Logistic 回归分析计算每个驱动因子对各土地利用类型的影响,并通过 ROC(relative operating characteristics)检验概率分布的可靠性,其值介于 0.5~1,一般情况下 $ROC > 0.7$ 时,说明所选取的驱动因子有很好的解释能力,若 $ROC < 0.5$ 时,认为驱动因子对地类没有解释能力。

土地利用类型转移规则由土地利用类型转换弹性(ELAS)和土地利用类型转换规则两块构成,土地利用转换弹性主要代表土地利用类型之间转换的难易程度,其值介于 0~1,其值越接近 1 说明该土地利用类型越稳定,其值的确定主要依靠研究者对研究区土地利用变化的理解^[20]和在模拟过程中的反复调试。本研究跟距平潭县 2005—2013 年的土地利用转移矩阵以及咨询专家的方法最终确定森林、灌丛、湿地、农田、城镇、未利用地的转换弹性依次为 0.7, 0.6, 0.7, 0.6, 0.8, 0.7。并且设定该研究区的各地类之间均可相互转化,转化规则矩阵的值均设定为 1。土地利用需求的计算方法有很多种,主要有线性内插法、Markov 模型、Grey 模型和 SD 模型等,研究者可以根据研究区的实际情况选取合适的方法,本次研究主要根据平潭县 2005—2013 年的土地利用数据并且利用 Markov 模型预测出研究区 2013—2021 年各类土地利用的需求量。最后利用模型的迭代方法完成对土地利用结构空间上的分配。迭代分配的公式为:

$$TPROP_i = P_i + ELAS_i + ITER_i \quad (2)$$

式中:TPROP_{*i*}——土地利用类型 *i* 在栅格上出现的总概率; *P_i*——Logistic 回归得到的土地利用类型 *i* 的概率; ELAS_{*i*}——土地利用类型 *i* 的转化弹性系数; ITER_{*i*}——迭代变量。

2.2.2 情景设计 海坛岛自被划为综合试验区以来,经济发展和城市建设进入快速发展时期,据此设置自然发展和城市规划两种发展模式。自然发展模式下各类土地的转移速率按照海坛岛 2005—2013 年各类土地利用类型的转移速率,并且运用 Markov 模型求出各类土地的需求量;城市规划模式下以城市的扩张为主,增加的面积按照 2005—2013 年城镇建设面积增加量的 30% 计算,城市建设用地主要来源于森林和农田,因此设定森林和农田向建设用地的转换量各增加 15%。

2.2.3 景观格局指数 景观指数可以较直观的反映景观格局的变化特征,景观指数分为缀块水平指数、缀块类型水平指数和景观水平指数 3 类,其中缀块水平指数是研究其他指数的基础,本文在总结其他研究者的基础上^[21],结合研究区的自身特点从缀块类型水平指数(4 个)和景观水平指(8 个)数上选取 12 个了能反映研究区景观格局变化的景观生态指数,缀块类型水平指数包括:斑块数目(NP),最大斑块数目(LPI),景观形状指数(LSI),景观面积百分比(PLAND);景观水平指数包括:斑块数目(NP),聚合度(AI),景观类型丰富度(SHDI),边界密度(ED),景观凝聚度(CONTAG),斑块密度(PD),均匀度(SHEI),景观形状指数(LSI)。

2.2.4 景观生态风险评价 景观生态风险指数主要用于客观地描述研究区生态风险的大小,景观生态风险指数 ERI^[22]的计算公式为:

$$ERI = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{A} \cdot \sqrt{E_i \cdot F_i} \quad (3)$$

式中:*A_i*——景观类型 *i* 的总面积; *N*——景观类型的总数; *A*——研究区的总面积; *E_i*——景观类型 *i* 的景观干扰度指数; *F_i*——土地利用类型 *i* 的景观脆弱性指数。

景观干扰度指数可以通过其他指数的叠加计算,景观干扰度指数 *E_i* 的表达式为:

$$E_i = aC_i + bS_i + cDO_i \quad (4)$$

式中:*C_i*——景观破碎度指数,用斑块密度表示; *S_i*——景观分离度指数,为土地利用类型 *i* 的距离指数与面积之比; *DO_i*——景观均匀度指数,是斑块密度、和斑块比例的平均值。*a, b, c* 根据参考文献^[23]分别设为 0.5, 0.3, 0.2。

景观脆弱度指数 *F_i* 主要反映景观抵抗外界干扰的能力,根据研究区内各类景观的稳定性看,景观脆弱性指数可以根据生态系统的实际情况分别赋值为:未利用地=6,湿地=5,农田=4,灌丛=3,森林=2,城镇建设用地=1^[24],统一归一化处理,森林、灌丛、湿地、农田、城镇、未利用地的景观脆弱指数依次为 0.095, 0.143, 0.238, 0.191, 0.048, 0.289。

3 结果与分析

3.1 Logistic 回归结果

将单一地类和各驱动因子转换的 ASC II 文件导入 SPSS 中,并设定在进入“0.001”、删除“0.002”和“条件向前”的情况下得出各驱动因子与各类土地利用类型空间分布之间的关系,Logistic 回归结果显示(表 1)所选的驱动因子能较好地解释研究区的土地

利用变化情况,森林主要分布在高程、坡度较大的山地以及丘陵地带,因此森林与高程和坡度表现出较强的正相关,灌丛主要分布在森林的边界区域,所以灌丛的出现频率也主要受坡度和高程的影响,湿地主要分布在地势低洼及距离水源较近的地区,因此湿地的分布主要受距离水源距离和地表起伏度的影响,农田与距湖泊距离、距河流沟渠距离、距农村居民点的距离以及高程坡度表现出较强的负相关关系,表明距离水源和居民点的远近程度以及地形的起伏程度对农田的发生和发展起至关重要的作用,城镇主要与人口密度和人均 CDP 呈正相关,与高程坡度呈负相关,未

利用地主要分布于研究区的边界等其他人类活动较少的区域,因此未利用地与人口密度呈负相关,与农村居民点的距离呈正相关。

森林、灌丛、湿地、农田、城镇、未利用地的 ROC 值依次为 0.750,0.654,0.868,0.760,0.717,0.709;除了灌丛的 ROC 值相对较低外,其他土地利用类型的 ROC 值均大于 0.7,灌丛 ROC 值低的原因可能是由于灌丛的面积较小,并且分布相对分散,主要分布在森林的边缘地带。从 ROC 曲线值的整体情况来看,本次研究所选的驱动因子能够较好地解释各土地利用类型。

表 1 Logistic 回归分析结果

驱动因子	距主要交通的距离	距湖泊的距离	距河流沟渠的距离	距农村点的距离	高程	坡度	人口密度	人均 GDP	ROC 值
森林	-0.001	0.011	0.001	0.001	0.907	0.353	—	—	0.750
灌丛	0.001	—	-0.001	—	0.037	0.331	—	—	0.654
湿地	—	-0.001	0.001	0.003	-2.325	-1.032	—	—	0.868
农田	—	-0.013	-0.004	-0.312	-0.266	-0.021	—	—	0.760
城镇	0.011	0.001	—	-0.003	-0.248	-0.475	0.019	0.022	0.717
未利用地	0.001	—	0.001	0.012	—	—	-0.004	—	0.709

3.2 模拟结果精度检验

以 2005 年土地利用栅格数据为基础,完成模型的参数设置,运行 CLUE-S 模型,模拟研究区 2013 年的土地利用状况空间格局,并与 2013 年实际土地利用图进行对比。

用 Kappa 指数对模拟结果进行验证,Kappa 指数的计算公式为:

$$\text{Kappa} = \frac{P_o - P_c}{P_p - P_c} \quad (5)$$

式中: P_o ——正确模拟的比例; P_c ——随机情况下正确模拟的比例; P_p ——理想状态下正确模拟的比例。通常情况下 Kappa 的值大于 0.75 时,说明模拟效果较好,0.4 \leq Kappa \leq 0.75 时,模拟效果一般,Kappa \leq 0.4 时,模拟结果较差。

在 ArcGIS 中利用 2013 年土地利用模拟图与 2013 年土地利用现实图进行栅格相减运算,得到 0 值的栅格数目,即模拟正确的栅格数目,本研究中栅格运算后得到 0 值栅格的数目为 27 653,总栅格数目为 32854,然后进行 Kappa 指数的计算,得出 Kappa 的值为 0.81,大于 0.75,说明本次模拟精度较高,适合进行目标年的土地利用变化模拟。

3.3 不同情景发展模式下模拟结果与分析

基于 2013 年土地利用现状图以及上述所选取的

驱动因子,模拟 2021 年海坛岛自然发展模式 and 城市规划模式下的土地利用空间分布格局(附图 1),与 2013 年相比,自然发展模式下,森林、灌丛、湿地、农田面积均有不同程度的减少,其中,森林、灌丛、湿地和农田分别减少了 9.58%,5.53%,2.33%,8.82%,其中森林和农田面积的面积减少量所占比例较大,主要原因是自平潭县被划为综合试验区建设以来,经济发展和城乡建设进入快速发展时期,大量的森林、农田区域被列为城市发展的规划用地,另一方面,海坛岛内的森林主要是木麻黄和台湾相思人工林构成,第一代木麻黄的营造时间主要是 20 世纪 40 年代,而木麻黄的成熟年限一般为 35~40 a,从而出现森林普遍退化的现象;建设用地和未利用地分别增加 24.56%和 5.85%,建设用地主要是在原有的基础上向外扩张,扩张地区主要集中在东北方向的白青乡、西北沿海的苏澳镇、县城的周边地区和东部沿海的澳前镇,未利用地主要集中在海坛岛的边界位置。城市规划模式下,森林和农田的减少幅度加大,分别减少 12.86%和 11.67,灌丛和湿地的减少幅度变化不大,分别减少了 6.16%和 2.40%,建设用地的增幅高达 31.79%,未利用地相对自然发展模式增加了 1.25%。城市规划模式下建筑用地除了上述地区向外扩张外,乡镇地区扩张也较为明显。

表 2 不同情景下海坛岛 2021 年土地利用结构

土地利用类型	森林	灌丛	湿地	农田	建设用地	未利用地
2013(A)	7 315	1 736	7 367	8 118	6 404	1 914
自然发展(B)	6 614	1 640	7 195	7 402	7 977	2 026
城市规划(C)	6 374	1 629	7 190	7 171	8 440	2 050
B-A	-701	-96	-172	-716	1 573	112
C-A	-941	-107	-177	-947	2 036	136

3.4 不同发展模式下景观格局分析

从表 3 中可以看出,森林、灌丛、湿地、农田的各景观指数在不同发展模式下的表现趋势大体一致,建设用地和未利用地的趋势基本一致。与 2013 年相比,2021 年海坛岛森林、灌丛、湿地、农田、建设用地、未利用地的斑块数目在不同发展模式下均表现出上升趋势,其中变化较大的是森林、农田、建设用地,森林在 2013 年的斑块数目为 406 个,自然发展模式下将增加到 450 个,城市规划模式下增加到 522 个;农

田斑块数目由 2013 年的 323 个依次上升到 352 个和 396 个;建设用地的板块数目从原来的 645 个增加到 694 个,说明海坛岛在不断发展过程中景观破碎度不断加剧。

森林、灌丛、湿地、农田的景观面积百分比呈下降趋势,建设用地和未利用地则呈上升趋势,其中森林景观面积百分比分别下降 2.14,2.87,农田分别下降 2.18,2.88,建筑用地景观面积百分比由原来的 19.49 依次增加到 24.28,25.69,表明海坛岛在发展建设过程中建设用地不断侵占其他类型用地;最大斑块数变化明显的为森林和建设用地,森林的最大斑块数由原来的 6.59 个下降到 4.17 和 4.30 个,建设用地由 4.59 个分别上升到 5.84 和 6.22 个;景观形状指数也是表现出森林和农田快速下降,建设用地快速升高的趋势,表明海坛岛的发展模式不断破坏原有的景观类型,使景观复杂度逐渐降低。

表 3 海坛岛不同情景的景观类型水平指数

类型水平 指数	斑块数目			景观面积百分比			最大斑块数			景观形状指数		
	2013 年	2021 年		2013 年	2021 年		2013 年	2021 年		2013 年	2021 年	
		自然 发展	城市 规划		自然 发展	城市 规划		自然 发展	城市 规划		自然 发展	城市 规划
森林	406	450	522	22.27	20.13	19.40	6.59	4.17	4.30	29.04	27.16	25.48
灌丛	606	603	618	5.28	4.99	4.96	0.33	0.15	0.15	28.50	28.62	28.52
湿地	338	342	380	22.42	21.90	21.89	9.33	9.39	9.39	19.31	18.77	18.67
农田	323	352	396	24.71	22.53	21.83	7.58	7.58	7.51	37.04	35.09	34.27
建设用地	645	675	694	19.49	24.28	25.69	4.59	5.84	6.22	31.90	32.54	33.05
未利用地	471	476	488	5.83	6.17	6.24	0.28	0.34	0.37	27.26	26.71	26.65

景观水平上斑块数目和斑块密度主要决定景观的破碎化程度,斑块数目越多并且斑块密度越大景观的破碎化程度就越高,边界密度和景观形状指数主要决定景观形状,边界密度和景观形状指数的值越大则景观形状的复杂程度越高,景观凝聚度和聚合度主要反映景观要素的分离程度,凝聚度越高则优势景观在总体景观水平上所占的地位越重,景观类型的丰富度和景观空间均匀度主要决定景观类型的多样性。从表 4 中可以看出,海坛岛景观水平上的斑块数目和斑

块密度的大小顺序为:2013 年<2021 年自然发展模式<2021 年城市规划模式,说明海坛岛在 2013 年的景观破碎度最低,保持自然发展或快速城镇化的模式都将使海坛岛的景观破碎度加深;边界密度和景观形状指数也呈上升趋势,表明海坛岛内随着城乡建设的进一步加深景观形状的复杂程度也不断加深;景观类型丰富度和均匀度没有太多变化,景观凝聚度和聚合度的值均在 2013 年最大,也表明了不同的发展模式都将使海坛岛内各景观的分离程度加深。

表 4 海坛岛不同情景景观水平指数

景观水平 指数	斑块数目	斑块密度	边界密度	景观形状 指数	景观凝 聚度	景观类型 丰富度	景观空间 均匀度	聚合度
2013 年	2 798	8.52	68.90	34.64	23.04	1.65	0.92	64.44
自然发展模式	2 898	8.82	70.02	35.15	22.64	1.66	0.92	63.87
城市规划模式	3 098	9.43	72.12	36.10	22.22	1.65	0.92	62.81

3.5 不同发展模式景观生态风险指数分析

根据上述景观生态风险指数的计算方法分别计

算出海坛岛 2013,2021 年不同发展模式的景观生态风险指数,海坛岛在 2013,2021 年自然发展模式和城

市规划模式的景观生态风险指数分别为 0.334, 0.337和 0.351,其中城市规划模式下景观生态风险指数最高为 0.351,高于 2013 年实际土地利用的景观生态风险指数 0.334,自然发展模式下年的景观生态风险指数与 2013 年相差不大,但也呈上升趋势,主要原因是目前海坛岛经济发展和城市建设处于初级阶段,城镇化水平还相对较低,经济还相对不发达,目前的城镇扩张对当地的生态环境的破坏还不太显著,但是随着经济的进一步发展和城镇建筑面积的不断扩大,难免会对当地的生态环境造成压力,因此当地政府对海坛岛的进一步规划建设中,一定要提高土地利用的集约程度并且保护好当地的生态环境。

4 结论

(1) Logistic 回归结果表明,所选的驱动因子能较好地解释研究区的土地利用变化情况,各土地利用类型的 ROC 值除灌丛相对较低外,为 0.654,其他地类得 ROC 值均大于 0.700,表明所选的驱动因子对各种地类有较好的解释能力。

(2) 以 CLUE-S 模型模拟海坛岛 2013 年土地利用状况,并将 2013 年模拟结果与实际土地利用现状图对比验证;Kappa 指数为 0.81,表明模拟结果具有较高的精确度。

(3) 与 2013 年实际的土地利用状况对比,2021 年自然发展模式下海坛岛内森林、灌丛、湿地、农田分别减少了 9.58%,5.53%,2.33%和 8.82%,城市规划模式下分别减少了 12.86%,6.16%,2.40%和 11.67%,建筑用地和未利用地自然发展模式下分别增加了 24.56%和 5.85%,城市规划模式下分别增加了 31.79%和 7.11%,建筑用地的变化主要集中在海坛岛的北部、西北和东部的沿海地带以及县城的周围地区。

(4) 通过海坛岛 2013,2021 年自然发展模式以及城市规划模式下的景观格局对比,海坛岛景观水平上斑块数目、斑块密度、边界密度、景观形状指数呈上升趋势,凝聚度和聚合度逐渐降低,表明海坛岛内各类景观的破碎化程度不断加深,整体景观格局趋于破碎化和离散化。

(5) 海坛岛 2013,2021 年自然发展模式下以及 2021 年城市规划模式下的景观生态风险指数指数分别为 0.334,0.337 和 0.351,,景观生态风险指数呈上升趋势,表明海坛岛的景观生态安全问题日趋严重,因此当地政府在发展规划的同时一定要保护好当地的生态环境,实现经济与环境的协调发展。

[参 考 文 献]

- [1] Sohl T L, Claggett P R. Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decision-makers [J]. *Journal of Environmental Management*, 2013,129 (C):235-243.
- [2] Foley J A, Defries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005,309(5734):570-574.
- [3] 吴文斌,杨鹏,唐华俊,等.土地利用对土壤性质影响的区域差异研究[J]. *中国农业科学*,2007,40(8):1697-1702.
- [4] Liu J, Diamond J. China's environment in a globalizing world[J]. *Nature*, 2005,435(7046):1179.
- [5] 于兴修,杨桂山,王瑶.土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J]. *地理科学*,2004,24(5):627-633.
- [6] 陈佑启,杨鹏.国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J]. *经济地理*,2001,21(1):95-100.
- [7] 秦丽杰,张郁,许红梅,等.土地利用变化的生态环境效应研究:以前郭县为例[J]. *地理科学*,2002,22(4):508-512.
- [8] 邬建国.景观生态学中的十大研究论题[J]. *生态学报*, 2004,24(9):2074-2076.
- [9] Matthews R B, Gilbert N G, Roach A, et al. Agent-based land-use models: A review of applications[J]. *Landscape Ecology*, 2007,22(10):1447-1459.
- [10] Brömmelstroet M T. Equip the warrior instead of manning the equipment: Land use and transport planning support in the Netherlands[J]. *Journal of Transport & Land Use*, 2010,3(1):25-41.
- [11] Verburg P H, Koning G H J D, Kok K, et al. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use[J]. *Ecological Modelling*, 1999,116(1):45-61.
- [12] Veldkamp A, Lambin E F. Predicting land-use change [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2001,85 (1/3):1-6.
- [13] Jiang Weiguo, Chen Zheng, Lei Xuan, et al. Simulating urban land use change by incorporating an autologistic regression model into a CLUE-S model[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2015,25(7):836-850.
- [14] 冯仕超,高小红,顾娟,等.基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟[J]. *生态学报*,2013,33(3):985-997.
- [15] 潘影,刘云慧,王静,等.基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析[J]. *生态学报*,2011,31 (2):529-537.
- [16] 摆万奇,张永民,阎建忠,等.大渡河上游地区土地利用动态模拟分析[J]. *地理研究*,2005,24(2):206-212.

- [4] 张应华, 仵彦卿, 乔茂云. 黑河下游河床渗漏试验研究[J]. 干旱区研究, 2003, 20(4): 257-260.
- [5] 张彦增, 尹俊岭. 河北省中东部平原区河道渗漏损失率分析探讨[J]. 地下水, 2002, 24(1): 10-11.
- [6] 张石春, 季志恒, 贾茂平, 等. 大理深条件下水文地质参数分析[J]. 水利规划与设计, 2003(3): 19-23.
- [7] 汪生斌, 王万平, 贺海松, 等. 格尔木河河床入渗能力分析[J]. 山西建筑, 2016, 42(28): 99-100.
- [8] 陆中央. 应用水文学方法推求河道渗漏补给量[J]. 水文地质工程地质, 1985(6): 41-43.
- [9] Zhao Baofeng, Ding Xiang, Cao Haidong. The recognition of river channel flood infiltration capacity based on numerical simulation[C]// International Symposium on Water Resource and Environmental Protection. IEEE, 2011: 910-913.
- [10] 王宗志, 程亮, 王银堂, 等. 高强度人类活动作用下考虑河道下渗的河网洪水模拟[J]. 水利学报, 2015, 46(4): 414-424.
- [11] 程亮, 王宗志, 胡四一, 等. 强烈下渗条件下天然河道洪水演进模拟方法[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2015, 45(2): 207-215.
- [12] 王艳丽. 时变参数法在滹沱河洪水预报中的应用[J]. 地下水, 2016, 38(3): 139-141.
- [13] 王春泽, 胡军波, 刘彦华, 等. 时变参数法在洪水预报中应用[J]. 水文, 2010, 30(5): 32-37.
- [14] 孟德娟, 李森, 魏保义, 等. 基于 MIKE21 模型的流域地表积水风险模拟[J]. 北京水务, 2015(2): 26-30.
- [15] 朱冰冰, 张平仓, 丁文峰, 等. 长江中上游地区土壤入渗规律研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(4): 43-47.
- [16] Li Guangwen, Feng Qi, Zhang Fuping, et al. Research on the infiltration processes of lawn soils of the Babao River in the Qilian Mountain. [J]. Water Science & Technology A Journal of the International Association on Water Pollution Research, 2014, 70(4): 577.
- [17] 冯增帅. 季节性河道非饱和带现场入渗试验及室内试验数值模拟研究[D]. 山东 青岛: 青岛理工大学, 2016.

(上接第 151 页)

- [17] Peng Jian, Cai Yunlong, P. H. Verburg. Simulation of land use/cover change scenarios in karst mountain areas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(7): 64-70.
- [18] Zheng Xinqi, Zhao Lu, Hu Yecui, et al. Spatio-temporal allocation of general land-use planning index. [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 6(4): 297-305(9).
- [19] 王丽艳, 张学儒, 张华, 等. CLUE-S 模型原理与结构及其应用进展[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(3): 73-77.
- [20] 张永民, 赵士洞, P. H. Verburg. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用[J]. 自然资源学报, 2003, 18(3): 310-318.
- [21] 曾永年, 何丽丽, 靳文凭, 等. 长株潭城市群核心区城镇景观空间扩张过程定量分析[J]. 地理科学, 2012, 32(5): 544-549.
- [22] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5020-5026.
- [23] 曾永年, 靳文凭, 王慧敏, 等. 青海高原东部土地利用变化模拟与景观生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 185-194.
- [24] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5020-5026.