doi:10.3969/j.issn.1672-1292.2026.02.008

基于土地利用变化的盐城海岸带水鸟生境质量评价及多情景模拟

李　琳[1],李玉凤[1],贾　悦[1],吴　涵[1],苏孟园[1],周　永[1],刘红玉[1],彭　模[2]

(1.南京师范大学海洋科学与工程学院,江苏 南京 210023)
(2.江苏省环境监测中心,江苏 南京 210036)

[**摘要**]　人类活动影响土地利用变化,土地利用变化影响下的生境质量时空格局演变对区域水鸟多样性保护具有重要意义. 以盐城海岸带为例,基于 1987—2022 年的土地利用空间数据,综合考虑自然与人文驱动因子,施以生态管控分区,控制转化速率,针对不同发展情景构建 CA-Markov 模型,模拟 2034 年不同情景下土地利用空间格局变化,定量分析 1987—2034 年水鸟生境质量空间分布特征. 结果表明:(1)研究期内,盐城海岸带的土地利用类型中耕地面积占比最高,大量盐田转变为养殖塘,自然湿地面积损失 35.30%,人工湿地面积增长 40.00%,非湿地面积增长 33.60%. (2)盐城海岸带水鸟生境质量在时间上呈现逐年下降、速度渐缓趋势;空间上形成由海向陆下降的空间分异特征,斑块趋于破碎化与均匀化,生境质量与土地利用类型分布密切相关. (3)通过加入生态管制分区,改变不同分区内土地利用变化转移概率矩阵,设置惯性发展情景、高速开发情景和生态保护情景,其水鸟生境质量较高和高等级总和的占比分别为 23.94%、22.68%和 31.14%,表明落实生态保护政策需考虑在不同区域用地需求的基础上,加强约束城镇扩张,调整用地结构以提高土地利用效率. 研究结果可为海岸带水鸟多样性保护与生态修复提供基础数据支撑,对不同发展目标导向下的国土空间规划提供决策思路和多重视角.

[**关键词**]　水鸟生境质量,盐城海岸带,InVEST 模型,CA-Markov 模型,情景模拟
[**中图分类号**]X826　[**文献标志码**]A　[**文章编号**]1672-1292(2026)02-0066-10

Habitat Quality Assessment and Multi-Scenario Simulation of Waterbird in Yancheng Coastal Zone Based on Land Use Changes

Li Lin[1],Li Yufeng[1],Jia Yue[1],Wu Han[1],Su Mengyuan[1],Zhou Yong[1],Liu Hongyu[1],Peng Mo[2]

(1.School of Marine Science and Engineering,Nanjing Normal University,Nanjing 210023,China)
(2.Jiangsu Environmental Monitoring Center,Nanjing 210036,China)

Abstract:Human activities influence land use change. And the spatio-temporal pattern evolution of habitat quality under the influence of land use change is of great significance for the conservation of regional waterbird diversity. This study takes Yancheng coastal zone as an example,bases on the spatial data of land use from 1987 to 2022,comprehensively considers the natural and human driving factors,applies ecological control zoning,controls the conversion rate,and builds a CA-Markov model for different development scenarios. Thus,the changes in the land use spatial pattern of the study area under different scenarios in 2034 are simulated,and the spatial distribution characteristics of waterbird habitat quality from 1987 to 2034 are quantitatively analyzed. The results show that:(1)During the study period,among the land use types in the Yancheng coastal zone,the cultivated land area accounts for the highest proportion. A large amount of salt pans are converted into aquaculture ponds. The area of natural wetlands decreases by 35.30%,the area of artificial wetlands increases by 40.00%,and the area of non-wetlands increases by 33.60%. (2)The waterbird habitat quality in the Yancheng coastal zone shows a decreasing trend year by year with a gradually slowing speed in time. In space,it forms the spatial differentiation feature of descending from sea to land. The patches tend to be fragmented and homogenized,and the habitat quality is closely related to the distribution of land use types. (3)By adding ecological control zoning and changing the

收稿日期:2024-04-24.
基金项目:国家自然科学基金项目(32571842).
通讯作者:李玉凤,教授,研究方向:湿地景观生态与 GIS 应用研究. E-mail:pandalee0826@ 163.com

transition probability matrix of land use change in different zones, and then scenarios of inertial development, high-speed development, and ecological protection are set. The proportions of the sum of high and higher grades of waterbird habitat quality are 23.94%, 22.68%, and 31.14% respectively. It indicates that implementing ecological protection policies needs to consider the land use demands of different regions, strengthen the restraint on urban expansion, and adjust the land use structure to improve land use efficiency. The research results can provide basic data support for the conservation and ecological restoration of waterbird diversity in the coastal zone and provide decision-making ideas and multiple perspectives for the national land space planning under different development goal orientations.

Key words: habitat quality of waterbird, Yancheng coastal zone, InVEST model, CA-Markov model, scenario simulation

海岸带位于陆地与海洋之间的生态过渡区,是为水鸟栖息、繁殖等提供资源的重要场所[1-2]. 海岸带为水鸟提供资源的能力称为水鸟生境质量,是水鸟多样性的重要保障[3-4]. 不断发展的人类活动使得海岸带部分区域转变为农业、工业和城市用地,这些人为干扰直接减少了水鸟生境面积,同时也使海岸带的生境承载能力降低[5-6]. 而土地利用变化程度体现了人类活动的强度,成为水鸟生境质量最重要的威胁因子[7]. 因此,基于历史土地利用变化数据,预测未来土地利用格局,分析水鸟生境质量演变趋势,可为不同发展目标导向下的国土空间规划提供决策思路和多重视角,为海岸带水鸟多样性保护与生态修复提供基础数据支撑.

相对于明确过去水鸟生境变化趋势而言,预测未来水鸟生境结构对于未来水鸟多样性保护更为重要. 这不仅关乎水鸟多样性保护的前瞻性规划,也直接关系到保护策略的有效性与适应性. 元胞自动机(cellular automata)作为空间发展预测的主要方法之一,是诸多模型的衍生基础[8],譬如 MLP-CA(multi-layer perceptron)模型[9]、PLUS(patch-generating land use simulation)模型[10]、ANN-CA(artificial neural network-cellular automata)模型[11]等. 其中,CA-Markov 模型是其衍生的较为成熟的模拟方法,集 CA 模型的预测空间演变特性和 Markov 模型的时间序列推演能力,根据多目标、多规则的土地分配原理[12],可获得更高精度的模拟结果. 已有研究采用 CA-Markov 模型较好地模拟了闽江流域、汾河源头和浙江大湾区等不同发展情景下土地利用空间格局[8,13-14]. 在土地利用模拟技术日趋完善的情况下,探究过去和将来的生境质量,已逐步成为研究热点[15]. 目前,国内外在评估海岸带生境质量时,主要依赖两种核心方法:一是通过设置样方[16-17]进行实地观测和采样分析,二是运用数学模型[18-19]进行量化评估和预测. 设置实地样方进行研究可以获得准确数据,但成本高,在大尺度范围上难以推广. 应用数学模型进行生境质量评价适用于大范围的研究,能够迅速、实时地评估,并作出合理的预测,可为人类活动提供有力的指导. 诸多学者将 InVEST 模型应用于区域生境质量评估,取得了显著成果[20-22].

盐城海岸带由于地处我国经济活跃的东部沿海经济带,伴随围垦开发,水鸟栖息地急速萎缩,水鸟生境质量退化十分明显[23]. 因此,本研究基于 1987—2022 年的土地利用空间数据,厘清海岸带历史开发行为和外来物种入侵等造成的土地利用变化和水鸟生境质量损害,利用 CA-Markov 模型模拟未来不同情景下土地利用结构,分析未来盐城海岸带水鸟生境质量演变趋势,研究结果可为水鸟多样性保护和海岸带可持续开发提供一定借鉴.

1　研究区概况及数据分析

1.1　研究区概况

盐城海岸带介于 32°30′N-34°30′N,119°45′E-121°20′E 之间,位于江苏东部沿海,拥有中国面积最大的沿海湿地[24]. 研究区北至响水县灌河,南至东台市北凌河,东侧边界与江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区海上边界一致,西侧与周边乡镇行政边界一致,涵盖了江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区、江苏大丰麋鹿国家级自然保护区和世界自然遗产地. 研究区处于亚热带和暖温带的过渡带,生物资源丰富,共有高等植物 614 种,各类动物 1 665 种[25]. 丰富的生物资源为丹顶鹤等珍稀水鸟提供了觅食、栖息、隐蔽和繁殖场所,成为东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线上的关键停歇地,每年在此停歇、繁殖、越冬的水鸟数量达到三百万只[26-28]. 由于各区域发展策略不同,为便于对比各区域在发展中形成的水鸟生境质量差异,本文根据行政区划与生态功能区划将海岸带划分为响水段、滨海段、射阳段、亭湖段、大丰段和东台段.

1.2　数据来源

本研究所涉及数据主要包括 1987、1998、2010、2022 年盐城海岸带四期 Landsat 卫星影像,以及行政区划等地理数据. 其中,卫星影像数据来自地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn/). 对遥感影像数据采用面向对象法和目视解译相结合的方法获得土地利用数据,解译精度为 30 m. 行政区划数据来自江苏省第三次土地调查数据. 考虑到海岸线变迁对时空分析的影响,统一采用 1987 年的海岸线作为基准线,向陆取到乡镇级行政边界. 根据《湿地分类》(GB/T 24708—2009)与盐城海岸带水鸟栖息地现状,将研究区生境分为三级 16 类,如表 1 所示.

表 1　研究区土地利用分类系统及其对威胁源的敏感度

Table 1　Land use classification system and its sensitivity to threat sources in the study area

一级分类	二级分类	生境适宜性	耕地	居民地	工业及交通等用地	盐田	养殖塘
自然湿地	光滩	0.8	0.7	0.9	0.3	0.6	0.5
	互花米草	0.5	0.6	0.9	0.7	0.5	0.5
	碱蓬	1	0.8	0.9	0.5	0.7	0.5
	芦苇	1	0.5	0.9	0.6	0.3	0.3
	獐茅	1	0.3	0.9	1	1	1
	河流	0.5	0.7	0.9	0.8	0.5	0.5
	近海水域	1	0.2	0.6	0.5	0.5	0.5
人工湿地	围垦未利用地	0.8	0.7	0.9	0.3	0.6	0.5
	盐田	0	0	0	0	0	0
	养殖塘	0.5	0	0	0	0	0
	水库	0.8	0.5	0.9	0.7	0.6	0.3
	沟渠	0.5	0.5	0.9	0.9	0.6	0.3
非湿地	林地	1	0.8	0.9	0.8	0.8	0.2
	耕地	0	0	0	0	0	0
	居民地	0	0	0	0	0	0
	工业及交通等用地	0	0	0	0	0	0

1.3　研究方法

1.3.1　海岸带生态管控分区

考虑不同区域的用地需求不同,在土地利用变化模拟时应加入生态管控分区作为控制条件. 根据不同分区的特征设置不同的参数,提升模型设定与现实相符度[29]. 结合盐城市各乡镇行政区划以及盐城湿地珍禽国家级自然保护区功能分区,将研究区划分为生态保护区、生态恢复区和正常发展区. 生态保护区包括盐城湿地珍禽国家级自然保护区核心区、大丰麋鹿自然保护区;生态恢复区包括盐城湿地珍禽国家级自然保护区缓冲区、世界自然遗产地;正常发展区是除上述保护区外的其他区域.

1.3.2　区域不同发展情景土地利用变化模拟

(1)区域不同发展情景设置

模拟未来土地利用格局需充分考虑未来政策变化[14]. 通过假设未来发展方向,模拟土地利用变化的不同情景. 在 CA-Markov 模型中,土地利用变化模拟主要依赖于两个核心要素:适宜性图像集和土地利用转移面积矩阵. 适宜性图像集确定土地利用类型变化的潜在方向,土地利用转移面积矩阵控制各种土地利用类型之间的转换数量[30]. 根据研究区土地利用特点及用地需求,结合盐城市湿地保护“十四五”规划、2035 年远景目标纲要和盐城市互花米草治理专项行动实施方案等,参考有关修改 Markov 转移矩阵的相关研究成果[31]以及前人[32-33]对土地利用模拟情景的设置方法,为 2034 年盐城海岸带的土地利用变化设定 3 种情景. 情景一(惯性发展情景):研究区土地利用处于当前的开发与保护程度下,一直延续到 2034 年. 情景二(高速开发情景):研究区更关注于社会发展需求,生态保护区仍然得到保护,不纳入开发范围;生态恢复区内自然湿地禁止转出;正常开发区非湿地转入概率提高 50%. 情景三(生态保护情景):在全面治理互花米草的背景下,只允许生态系统向更自然的状态转化,生态保护区保持原有转移概率,生态恢复区不允许自然湿地转出,正常开发区自然湿地转入提高 50%,全面禁止围填海.

(2)土地利用变化模拟

CA-Markov 模型综合 CA 模型复杂空间系统的动态演化能力和 Markov 模型时间动态的预测优势,被认为是模拟和预测土地利用变化的有效模型[34-35]. 本研究的元胞空间为盐城海岸带,元胞的状态为 16 种

地类. 首先,通过 Markov 模型获得 1998—2010 年 16 种土地利用类型适宜分布概率图和转移面积矩阵. 其次,考虑到指标的空间均衡性,分别选取距居民地的距离、距行政中心的距离、距河流水系的距离、距道路的距离和生态管控分区作为驱动因子,并将驱动因子与 16 种适宜分布概率图合并,生成适应性图集. 然后,以 2010 年土地利用图层为起始数据,运行 CA-Markov 模型预测 2022 年土地利用类型分布图,再进行模拟精度检验,得到 Kappa 值大于 0.85,模拟结果符合数据使用要求. 最后,利用适应性图集、2022 年土地利用数据和不同情景下转移面积矩阵,通过 CA-Markov 模拟得到不同情景下 2034 年盐城海岸带土地利用分布图.

1.3.3　水鸟生境质量评价

土地利用类型是影响区域水鸟种群多样性的主要因素[36]. 水鸟种群通常选择碱蓬沼泽、芦苇沼泽和光滩等自然湿地作为栖息地. 但由于 35 年来的社会经济发展、生态环境的演变以及国家政策等的影响,盐城海岸带的自然湿地逐渐向人工湿地和非湿地转变,水鸟生存现状呈现持续恶化趋势[37]. 并有研究表明,道路修建和居民地扩张等人类活动对水鸟的影响已经超过天敌对水鸟产生的威胁[38-39].

(1)水鸟生境质量评价参数设置

本研究通过 InVEST 模型的生境质量模块评估研究区水鸟生境质量变化特征. 该模型通过量化不同地类对生物的生境适宜度和外界威胁强度评估生境质量优劣,进而反映生态系统能够为物种提供生存繁衍条件的潜在能力[13,40]. 本研究中,以工业及交通等用地、养殖塘、盐田、耕地、居民地为威胁因子(表 2). 工业及交通等用地形成了一个线状干扰源,影响距离设置为 6 km[41];养殖塘的影响距离设置为向海陆单侧推进的最大距离[42],研究区 2010 年养殖塘面积达到最大,平均向陆推进约 1 km;盐田影响距离设为向单侧扩张的最大距离 1 km[19];耕地影响距离设置为 3km[42];居民地影响距离设置为 5 km[43]. 参考前人对水鸟生境威胁因子的研究设定[15,19,44],以对水鸟栖息产生的不利影响越大权重系数越高为原则,权重分别设置为 0.9、0.6、0.6、0.6、0.7.

表 2　威胁因子权重赋值及影响距离

Table 2　Weight assignment and threat distance of threat sources

威胁因子	最大影响距离	权重	衰退方式
工业及交通等用地	6	0.9	指数
养殖塘	1	0.6	线性
盐田	1	0.6	线性
耕地	3	0.6	线性
居民地	5	0.7	指数

(2)水鸟生境质量等级划分

通过自然断点法将水鸟生境质量评价分为 5 个级别,即低、较低、中、较高和高等级,水鸟生境质量等级越高表示研究区生境质量越高. 为使评估结果具有可比性,1987 年、1998 年、2010 年、2022 年以及 2034 年不同情景模拟预测的生态等级以 2022 年的自然断点等级为标准(表 3)[14].

表 3　盐城海岸带水鸟生境质量分级标准

Table 3　Habitat quality classification criteria for waterbird in Yancheng coastal zone

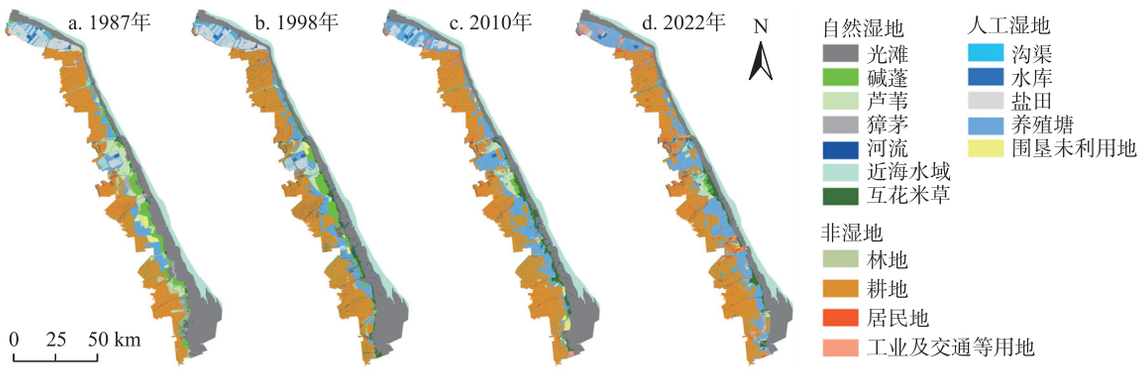
等级	低	较低	中	较高	高
分级区间	0.00-0.10	0.10-0.35	0.35-0.64	0.64-0.89	0.89-1.00

2　结果分析

2.1　土地利用变化分析

盐城海岸带 1987—2022 年土地利用分布和面积变化如图 1 和图 2 所示. 在时间变化上,过去 35 年里,自然湿地面积减少 9 54.12 km^2,损失 35.30%,其中湿地植被面积减少 463.52 km^2. 这一历史进程中,研究区内人工湿地和非湿地面积的增加主要源于对自然湿地的侵占以及对海域的围垦填海. 1987—1998 年研究区自然湿地主要分布在射阳河以南的沿海区域,2010 年自然湿地大量萎缩,到 2022 年仅盐城湿地珍禽国家级自然保护区的核心区保存大片自然湿地类型,呈现快速退化的趋势. 人工湿地面积增加 369.42 km^2,

增幅为 40.00%. 非湿地面积增长 586.05 km^2,增幅为 31.23%. 35 年间,研究区耕地面积占比最高;光滩、碱蓬、芦苇、獐茅、林地、河流、围垦未利用地与盐田面积呈下降趋势,其中盐田减幅最大,达 97.28%;互花米草、养殖塘、水库、沟渠、居民地、耕地、工业及交通等用地面积呈上升趋势,其中养殖塘涨幅最大,达 194.19%.



注:本文地图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2024)0650 号标准地图制作,底图无修改,下同.

图 1　1987—2022 年盐城海岸带土地利用分布图

Fig. 1　Land use distribution map of Yancheng coastal zone in 1987-2022

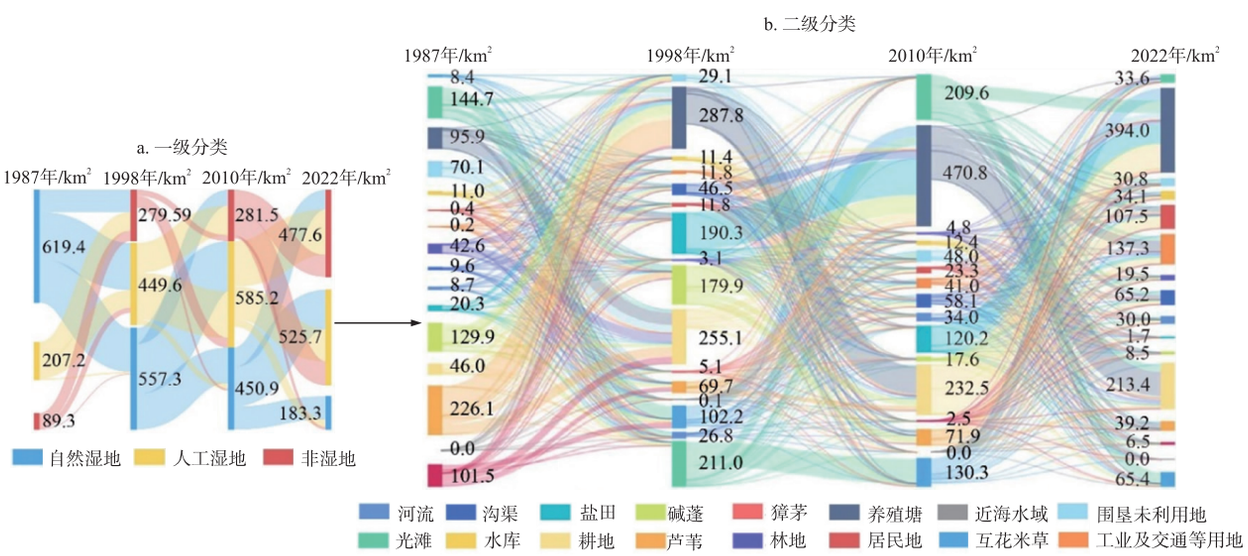


图 2　1987—2022 年土地利用面积转移矩阵桑基图

Fig. 2　Sankey diagiam of land use transfer matrix in 1987-2022

在空间分布上,土地利用变化总体上南部大于北部,东侧大于西侧. 北部土地利用变化主要集中于响水段,受基岩海岸的影响,主要表现为盐田转为养殖塘;南部受淤泥质海岸淤进与围垦影响,主要表现为光滩转养殖塘;在东侧沿海,光滩转养殖塘是主要的土地利用变化形式;西侧主要为耕地向居民地的转换. 1987 年和 1998 年研究区自然湿地广泛分布在射阳段以南的滨海区域. 2010 年研究区自然湿地分布范围快速萎缩,北缓冲区和南缓冲区大片自然湿地被围垦为养殖塘. 到 2022 年,研究区仅核心区现存大片自然湿地,其他区域自然湿地基本消失. 与此同时,非湿地分布呈现快速扩张趋势,且主要集中在港口附近.

2.2　未来情景模拟

图 3 所示为对不同发展情景下 2034 年盐城海岸带土地利用方式的预测. 从图 3 可以看出,惯性发展情景下的 2034 年土地利用格局延续当前发展趋势. 土地利用转变主要集中在居民地附近,其中滨海段、亭湖段和大丰段西侧因城市建设土地利用类型发生了显著的变化,主要表现为大量耕地被转化为居民地. 研究区域内非湿地面积占比为 46.95%,居民地和工业及交通等用地呈快速扩张趋势,由 8.71%增加至 14.02%;人工湿地面积由 23.48%增加至 24.24%;自然湿地面积由 31.80%减少至 28.81%. 耕地和养殖塘仍是主要的土地利用类型,各占总面积的 32.32%和 18.06%,其中耕地主要分布在研究区西部,养殖塘主要分布在响水段、射阳段南部和大丰段西部.

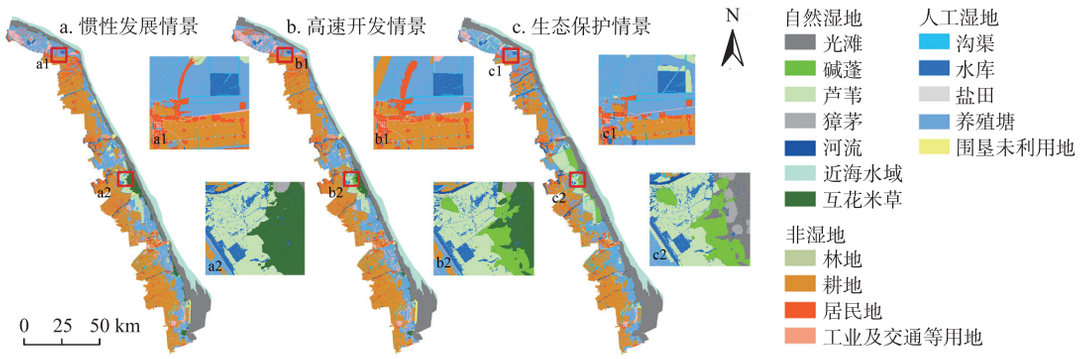


图 3　不同发展情景下 2034 年盐城海岸带土地利用方式的预测

Fig. 3　Prediction of land use pattern in Yancheng coastal zone under different development scenarios in 2034

高速开发情景下,土地利用转变主要集中在沿河和沿交通线两侧. 研究区内非湿地类型向外扩张速度更快,面积占总面积的 49.96%,主要由人工湿地转变而来;人工湿地面积占总面积的 23.31%,主要由自然湿地转移而成;自然湿地面积与 2022 年同比减少 5.10%,占比 26.70%.

根据《江苏省重要生态系统保护和修复重大工程实施方案(2021—2035 年)》等未来规划,生态保护情景下的盐城海岸带 2034 年预计实现互花米草全部清除,自然湿地在数量上和空间分布面积上得到良好保护. 相较于惯性发展情景和高速开发情景,该情景下非湿地扩张速度受到控制,非湿地面积占比为 36.56%;人工湿地占比为 28.81%,同比增加 5.33%;自然湿地受保护程度显著提高,故自然湿地向其他湿地类型转换速率减缓,相较于 2022 年,自然湿地面积增加,占区域总面积比例达到 34.63%,超过惯性发展情景和高速开发情景.

2.3　1987—2022 年水鸟生境质量等级时空分布特征

InVEST 中生境质量模块生成的结果为无量纲综合性指标,生境质量指数结果区间为[0,1],数值越大,代表相应区域的生境质量越优. 将数据输入该模块得到盐城海岸带 1987、1998、2010、2022 年 4 期的水鸟生境质量空间分布(图 4)和面积占比(图 5),平均生境质量分别为 0.47、0.41、0.38、0.36,呈现逐年下降趋势,趋势渐缓,表明研究区水鸟生境逐步被破坏.

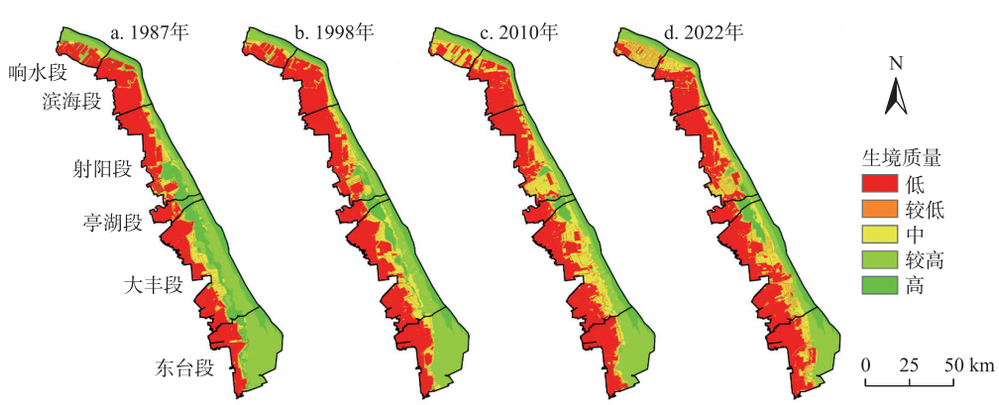


图 4　1987—2022 年研究区水鸟生境质量等级空间格局

Fig. 4　Spatial pattern of habitat quality grade of waterbird in the study area in 1987-2022

从时间变化来看,1987—2022 年研究区总体生境质量呈逐年下降趋势. 研究区域内 38.60%的地区生境质量保持不变(图 6),53.57%的区域生境质量出现下降,7.83%的区域生境质量升高. 在生境质量降低的区域中,有 86.04%降低了 0~0.64,虽然降幅不算剧烈,但累积起来仍然对生态环境造成不小的冲击;8.43%降低了 0.64~0.89,这部分土地的生境已受到明显损害;5.53%降低了 0.89 以上,这些区域的生态功能遭受了严重破坏. 以上表明这期间超过 13.96%的区域丧失了生态功能. 射阳段、大丰段和东台段等地区的东部自然湿地是生境质量降低较为严重的区域. 从土地利用变化来看,射阳段和大丰段大量光滩和草地被开垦为农田和养殖塘,随后逐渐被城市占据;东台段等地则存在有将沿海光滩转为建设用地、填海造陆等湿地开发的行为,导致部分区域水鸟生境质量断崖式下降.

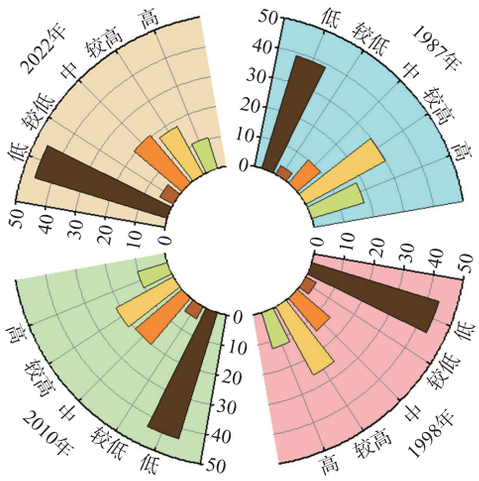


图 5　1987—2022 年研究区水鸟生境质量面积占比

Fig. 5　Area proportion of habitat quality grade of waterbird in the study area in 1987–2022

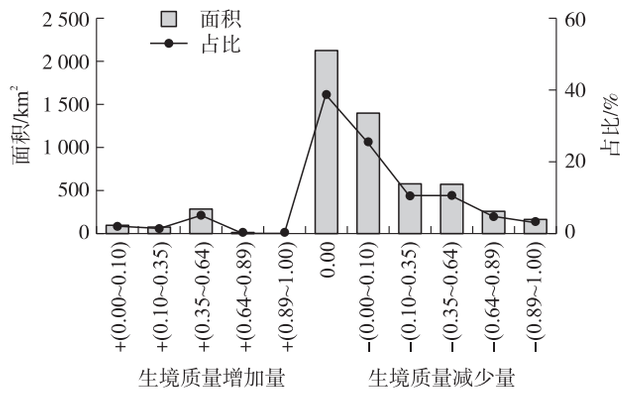


图 6　1987—2022 年研究区水鸟生境质量变化面积统计

Fig. 6　Area statistics of habitat suitability changes of waterbird in the study area in 1987–2022

研究区生境质量空间分异显著,呈现东高西低、由海向陆下降特征. 研究区西部多为耕地和建制镇,随改革开放的深入,耕地等土地利用类型被大量转化为建设用地,同时未利用土地得到大量开发,这些变化导致了西部生境质量较低. 东部存在大面积养殖塘等人工湿地以及盐城湿地珍禽国家级自然保护区,在区域上形成一道东部生态屏障,较高的生境质量得以维持. 但不可忽视的是,局部区域仍然出现了低生境质量斑块以及生境破碎化的现象. 盐城海岸带生境质量的空间分布格局表明土地利用变化对水鸟生境质量起到决定性作用.

2.4　2034 年水鸟生境质量空间分布情景模拟

2.4.1　惯性发展情景

盐城海岸带在惯性发展的情景下(图 7),平均生境质量为 0.33,生境质量高和较高等级的总和占 23.94%. 在 6 个岸段中(图 8),较高和高等级总和所占比例排序为:东台段>响水段>亭湖段>大丰段>射阳段>滨海段. 其中,平均生境质量状况最差和最好岸段是滨海段与响水段,其较低与低等级的总和占比分别为 34.54%和 61.03%.

2.4.2　高速开发情景

从图 7 可以看出,盐城海岸带在高速开发情景下,生境质量总体状况比惯性发展情景下更差,平均生境质量为 0.31,较高和高等级总和比例下降至 22.68%. 在 6 个岸段中(图 8),较高和高等级总和所占比例排序为:东台段>响水段>亭湖段>大丰段>射阳段>滨海段. 其中,滨海段和响水段是平均生境质量状况最差和最好的岸段,低和较低等级的总和占比分别为 68.20%和 30.44%.

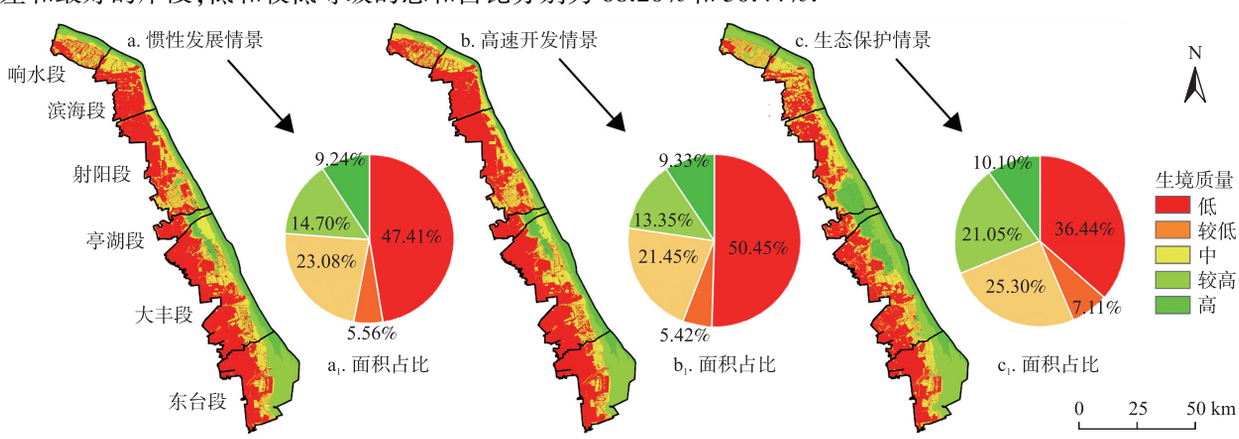


图 7　不同情景下 2034 年盐城海岸带生境质量空间分布及各生境质量等级的面积占比

Fig. 7　Spatial distribution and area proportion of each grade in 2034 of habitat quality under different scenarios in Yancheng coastal zone

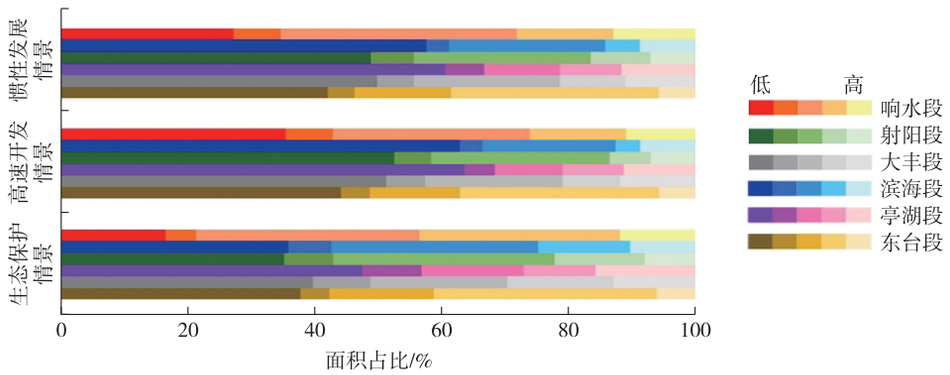


图 8　不同情景下各岸段生境质量的面积占比

Fig. 8　Area proportions of each suitability level of habitat quality in each coastal section under different scenarios

2.4.3　生态保护情景

生态保护情境下(图 7)平均生境质量达到 0.41,盐城海岸带低生境质量面积占比下降,高、较高、中和较低生境质量面积占比上升,较高和高等级总和所占比例在 3 种情景中最高,达到 31.14%. 在 6 个岸段中(图 8),较高和高等级总和所占比例排序为:响水段>东台段>大丰段>亭湖段>滨海段>射阳段. 水鸟生境质量状况最差的是亭湖段,最好的是响水段,低和较低等级的总和占比分别为 68.22%、42.56%.

预测情境下,生境质量退化区域主要围绕在居民地与养殖塘附近,居民地扩张侵占周围地类与耕地侵占养殖塘是造成这一现象的主要原因. 随着未来城市化进程的加速和社会经济的持续发展,人类对活动空间的需求日益增长,这直接体现为居民地的不断扩张,与生态-经济和谐稳定的发展目标背道而驰. 因此,针对当前的发展诉求,对区域土地利用变化进行科学的模拟和预测显得尤为重要. 通过模拟不同地类的调控结果与水鸟生境质量的响应,更清晰地了解土地利用结构变化对生态环境的具体影响. 在此基础上,综合对比模拟结果,结合发展目标,科学规划和合理利用土地资源,维护区域生态平衡,实现区域人、鸟和谐共生.

3　讨论

不同的发展导向会直接影响土地利用结构,而这种结构变化对区域水鸟生境质量具有重要影响. 为此,必须深入探讨未来土地利用结构可能发生的变化,以寻求两者之间的平衡与协调. 土地利用变化作为一个动态且复杂的过程,单纯依赖历史数据进行分析往往难以全面揭示各用地类型的演变机制,更难以兼顾多重发展目标. 因此,采用多情景模拟方法进行土地利用预测不仅关乎水鸟多样性保护的前瞻性规划,也直接关系到保护策略的有效性与适应性. 通过设定不同的情景,如惯性发展、高速开发和生态保护情景等,可以模拟出在各种发展导向下,土地利用结构可能呈现出的多样化格局. 通过解译过去与模拟未来土地利用格局,得到过去水鸟生境质量损害与未来水鸟生境质量发展趋势,分析结果可以为研究区空间规划提供多重视角与基础数据支撑.

4　结论

作为我国东部的生态屏障,盐城海岸带水鸟多样性丰富,但伴随着经济发展与人口增长,水鸟生境不断萎缩. 1987—2022 年,研究区耕地面积占比最高,光滩、碱蓬、芦苇、獐茅、林地、河流、围垦未利用地与盐田面积呈下降趋势,其中盐田减幅最大;互花米草、养殖塘、水库、沟渠、居民地、耕地与工业及交通等用地面积呈上升趋势,其中养殖塘增幅最大;人工湿地和非湿地面积的增加主要通过侵占自然湿地和围垦填海的方式实现. 本研究综合自然与人文驱动因子,施以生态管控分区,控制转化速率,针对不同发展情景构建 CA-Markov 模型,模拟 2034 年不同情景下栖息地空间格局变化,不同情境间差异明显,满足研究区不同发展诉求.

本研究选用 InVEST 模型中的生境质量模块探究盐城海岸带水鸟生境质量空间分布格局. 研究区总体呈现较低的水鸟生境质量,农田和人口聚集的居民区为研究区水鸟生境质量低值的主要分布区,高、较

高等生境质量主要分布在草地、林地覆盖地区以及众多河流水域地区,并形成由海向陆下降的空间分异特征. 1987—2022 年研究区水鸟生境质量呈现逐年下降、速度减缓趋势,1987—1998 年生境质量下降最明显,1998 年后下降速度减缓;惯性发展与高速开发情景下水鸟生境质量下降趋势加大;相较其他情景,生态保护情景下整体生境质量得到提高,且水鸟生境质量同比回升,结合规划政策可以有效限制居民地的无序扩张. 因此,研究区必须严格控制城镇规模,划定城镇发展边界,防止其进一步占用湿地空间,以实现城镇发展与生态并行的协调格局.

[参考文献](References)

[1] 詹雅婷,朱叶飞,苏一鸣,等. 基于国土资源卫星的盐城海岸带生态环境变化调查[J]. 国土资源遥感,2017,29(增刊 1):160-165.

[2] 吴渊,鲁照阳,史扬,等. 河北承德双塔山滦河国家湿地公园水鸟多样性及其季节分布规律[J]. 湿地科学,2020,18(1):71-76.

[3] 陈梦缘,汪生财,路琦,等. 环渤海海岸带水鸟栖息地适宜性评价及影响因素[J]. 生态学杂志,2024,43(4):1152-1160.

[4] 范冰雄,李杨帆,张雪婷,等. 海岸带区域陆海统筹生态安全研究[J]. 生态学报,2023,43(3):962-972.

[5] 侯西勇,张华,李东,等. 渤海围填海发展趋势、环境与生态影响及政策建议[J]. 生态学报,2018,38(9):3311-3319.

[6] Newbold T,Hudson L N,Hill S L L,et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity[J]. Nature,2015,520:45-50.

[7] Otto C R V,Roth C L,Carlson B L,et al. Land-use change reduces habitat suitability for supporting managed honey bee colonies in the Northern Great Plains[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2016,113(37):10430-10435.

[8] 王军,严有龙,王金满,等. 闽江流域生境质量时空演变特征与预测研究[J]. 生态学报,2021,41(14):5837-5848.

[9] 李婷,刘明皓,陈春,等. 基于分区 FA-MLP-CA 模型的城市扩张模拟:以成渝地区双城经济圈为例[J]. 地理与地理信息科学,2022,38(5):16-23.

[10] 陈竹安,刘子强,张立亭,等. 南昌市 LUCC 多情景模拟和生境质量时空演变与预测[J]. 农业机械学报,2023,54(5):170-180.

[11] 黄淇,牟凤云,张用川,等. 基于 ANN-CA 模型的重庆市多级流域耕地景观格局演化及预测[J]. 水土保持研究,2023,30(1):379-387.

[12] 岳东霞,杨超,江宝骅,等. 基于 CA-Markov 模型的石羊河流域生态承载力时空格局预测[J]. 生态学报,2019,39(6):1993-2003.

[13] 和娟,师学义,付扬军,等. 汾河源头区域土地利用及生境质量时空演变的多情景模拟[J]. 水土保持研究,2020,27(5):250-258.

[14] 崔旺来,蔡莉,奚恒辉,等. 基于土地利用/覆盖变化的浙江大湾区生态安全评价及多情景模拟分析[J]. 生态学报,2022,42(6):2136-2148.

[15] 吴健生,曹祺文,石淑芹,等. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变[J]. 应用生态学报,2015,26(11):3457-3466.

[16] 李思达. 通州湾近海生境适宜性和生境质量评价[D]. 南京:南京师范大学,2021.

[17] 任璘婧. 变化的长江口滩涂湿地景观与生态系统服务功能[D]. 上海:华东师范大学,2014.

[18] 张海涛,李加林,田鹏,等. 基于土地利用变化的东海区大陆海岸带生境质量时空演变研究[J]. 生态学报,2023,43(3):937-947.

[19] 张华兵,王娟,刘玉卿,等. 人类活动与互花米草扩张对滨海湿地生境质量演变的影响:以盐城国家级珍禽自然保护区核心区为例[J]. 长江流域资源与环境,2021,30(5):1153-1163.

[20] 魏文飞,包玉,王志泰,等. 喀斯特多山城市生境质量对土地利用变化的时空响应:以贵阳市为例[J]. 生态学报,2023,43(10):3920-3935.

[21] 张达,曾坚,艾合麦提·那麦提. 高强度开发地区鸟类自然保护地保护空缺识别:以天津市为例[J]. 应用生态学报,2023,34(6):1621-1629.

[22] 刘永婷,杨钊,徐光来,等. 基于 MGWR 模型的皖江城市带生境质量对城镇化的响应研究[J]. 地理科学,2023,43

(2):280-290.
[23] Wang C,Wang G,Guo Z R,et al. Effects of land-use change on the distribution of the wintering red-crowned crane(*Grus japonensis*) in the coastal area of northern Jiangsu Province,China[J]. Land Use Policy,2020,90:104269.
[24] Zhang X,Ji J. Spatiotemporal differentiation of ecosystem service value and its drivers in the Jiangsu coastal zone,Eastern China[J]. Sustainability,2022,14(22):15073.
[25] 王刚. 基于时空多尺度的盐城滨海湿地丹顶鹤栖息地选择及其影响机制研究[D]. 南京:南京师范大学,2021.
[26] 曹铭昌,刘威,刘彬,等. 盐城滨海湿地及水鸟栖息地保护[J]. 环境生态学,2019,1(1):74-79.
[27] 刘红玉,周奕,郭紫茹,等. 盐沼湿地大规模恢复的概念生态模型:以盐城为例[J]. 生态学杂志,2021,40(1):278-291.
[28] 任武阳,王成,刘红玉,等. 基于鸟类生境需求的植被景观覆盖度多样性:以江苏盐城滨海湿地为例[J]. 生态学杂志,2019,38(12):3870-3877.
[29] 赵林峰,刘小平,刘鹏华,等. 基于地理分区与 FLUS 模型的城市扩张模拟与预警[J]. 地球信息科学学报,2020,22(3):517-530.
[30] 黄哲,杨艳芬. 延河流域土地利用空间格局模拟对比研究[J]. 水土保持研究,2022,29(6):268-274.
[31] 曾辉,高凌云,夏洁. 基于修正的转移概率方法进行城市景观动态研究:以南昌市区为例[J]. 生态学报,2003(11):2201-2209.
[32] 齐菲,王丰,刘斌,等. 河北滨海湿地生态系统服务供需特征与情景分析[J]. 中国生态农业学报(中英文),2023,31(7):1133-1144.
[33] 陆汝成,黄贤金,左天惠,等. 基于 CLUE-S 和 Markov 复合模型的土地利用情景模拟研究:以江苏省环太湖地区为例[J]. 地理科学,2009,29(4):577-581.
[34] Rahnama M R. Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030[J]. Sustainable Cities and Society,2021,64:102548.
[35] Okwuashi O,Ndehedehe C E. Integrating machine learning with Markov chain and cellular automata models for modelling urban land use change[J]. Remote Sensing Applications:Society and Environment,2021,21:100461.
[36] 王成,刘红玉,李玉凤,等. 盐城滨海湿地水鸟类群生境适宜性及生态阈值研究:对栖息地景观结构恢复的启示[J]. 生态与农村环境学报,2022,38(7):897-908.
[37] 郭紫茹,王刚,吴玉琴,等. 人类活动对盐城海岸线与滨海湿地的影响研究[J]. 生态与农村环境学报,2021,37(3):295-304.
[38] 刘红玉,周奕,郭紫茹,等. 盐沼湿地大规模恢复的概念生态模型:以盐城为例[J]. 生态学杂志,2021,40(1):278-291.
[39] Grimes L. Saving Asia's threatened birds:a guide for government and civil society[J]. Biological Conservation,2004,120(1):150.
[40] 郑贱成,谢炳庚,游细斌. 基于土地利用变化的广东省生境质量时空演变特征[J]. 生态学报,2022,42(17):6997-7010.
[41] 贾艳艳,王少杰,刘福胜,等. 黄河三角洲高效生态经济区土地利用变化及其与生境质量的相关性[J]. 水土保持通报,2020,40(6):213-220.
[42] 孙贤斌,刘红玉. 江苏盐城海滨区域丹顶鹤适宜越冬生境变化[J]. 生态学杂志,2011,30(4):694-699.
[43] Li X W,Hou X Y,Song Y,et al. Assessing changes of habitat quality for shorebirds in stopover sites:a case study in Yellow River Delta,China[J]. Wetlands,2019,39:67-77.
[44] 严有龙. 基于生态系统服务的闽江流域生态补偿研究[D]. 北京:中国地质大学,2021.

[责任编辑:严海琳]