

DOI: 10.20103/j.stxb.202408141917

窦文骏,王小天,孟雪,王兵,刘晓煌,车欣,张岩,孙文涛,王海宇.黄河口国家公园建设区陆域生境质量时空演变.生态学报,2025,45(11):5164-5177.  
Dou W J, Wang X T, Meng X, Wang B, Liu X H, Che X, Zhang Y, Sun W T, Wang H Y. Temporal and spatial evolution of terrestrial habitat quality in the construction area of Yellow River Estuary National Park. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(11): 5164-5177.

## 黄河口国家公园建设区陆域生境质量时空演变

窦文骏<sup>1,3,4</sup>, 王小天<sup>1,3,4</sup>, 孟雪<sup>1,3,4,\*</sup>, 王兵<sup>1,3,4</sup>, 刘晓煌<sup>2,3,4</sup>, 车欣<sup>5</sup>, 张岩<sup>5</sup>,  
孙文涛<sup>5</sup>, 王海宇<sup>1,3,4</sup>

1 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 烟台 264000  
2 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055  
3 自然资源部黄河入海口陆海交互作用野外科学观测研究站, 东营 257000  
4 自然资源部自然资源要素耦合过程与效应重点实验室, 北京 100055  
5 中科院山东东营地理研究院, 东营 257000

**摘要:**黄河三角洲湿地生态系统对黄河流域的生态保护和高质量发展具有重要意义。当前,黄河口区域已成为国家公园候选区,但由于泥沙变化和人类活动的影响,该区域生境质量发生了显著变化。研究应用 InVEST 模型,对 1990 年至 2020 年间黄河口国家公园建设区陆域生境质量的时空变化进行了评估。结果显示,黄河口国家公园建设区陆域范围平均生境质量从 1990 年的 0.635 提升至 2020 年的 0.648,生境质量提升的区域占研究区的 85.83%,但生境质量极高区域面积百分比从 1990 年的 19.84%降低至 2020 年的 0.87%;高值聚集区也从 7.23%降低到了 0.29%。1990—2020 年生境质量变化率为 -0.71 至 0.70,其中生境质量降低的区域集中分布在海岸带附近及黄河沿岸,生境质量升高的区域集中分布在居民区及其周边。黄河三角洲面积的演化与生境质量呈显著正相关,国家公园建设区的生境质量高于其他区域。针对评估结果和可能的原因,从一体化顶层设计、研发提升盐碱地生物多样性相关技术和借鉴国际先进的理念、管理策略和技术经验等方面对提升黄河口国家公园建设区生境质量提出了建议。研究结果可为黄河口国家公园建设区域及其所在的黄河三角洲区域的一体化生态保护与修复提供参考。  
**关键词:**生境质量;InVEST 模型;空间聚集度;时空演变;黄河口国家公园

## Temporal and spatial evolution of terrestrial habitat quality in the construction area of Yellow River Estuary National Park

DOU Wenjun<sup>1,3,4</sup>, WANG Xiaotian<sup>1,3,4</sup>, MENG Xue<sup>1,3,4,\*</sup>, WANG Bing<sup>1,3,4</sup>, LIU Xiaohuang<sup>2,3,4</sup>, CHE Xin<sup>5</sup>, ZHANG Yan<sup>5</sup>,  
SUN Wentao<sup>5</sup>, WANG Haiyu<sup>1,3,4</sup>

1 Yantai Center of Coastal Zone Geological Survey, China Geological Survey, Yantai 264000, China  
2 Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China  
3 Observation and Research Station of Land-Sea Interaction Field in the Yellow River Estuary of Ministry of Natural Resources, Dongying 257000, China  
4 Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Ministry of Natural Resources, Beijing 100055, China  
5 Shandong Dongying Institute of Geographic Sciences, Dongying 257000, China

**Abstract:** The Yellow River Delta wetland area is one of the key areas for the development and protection of the Yellow River Basin and is an important part of maintaining the health of the Yellow River, with high biodiversity research value, which is of great significance for the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin. The Yellow River Estuary region has become a candidate area for national park designation, but the habitat quality in this area

基金项目:中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心黄河三角洲自然资源综合调查监测与评价项目(DD20220886)

收稿日期:2024-08-14; 网络出版日期:2025-04-07

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mengxue\_0127@163.com

has significantly changed due to sediment variations and human activities. The InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) model was used to evaluate the temporal and spatial changes in terrestrial habitat quality in the construction area of the Yellow River Estuary National Park from 1990 to 2020. The research results show that the average habitat quality of the terrestrial area of the Yellow River Estuary National Park construction area improved from 0.635 in 1990 to 0.648 in 2020, and the areas with improved habitat quality accounted for 85.83% of the study area. However, the percentage of areas with very high habitat quality decreased from 19.84% in 1990 to 0.87% in 2020, and the area of high-value aggregation also decreased from 7.23% to 0.29%. The rate of change in habitat quality from 1990 to 2020 ranged from -0.71 to 0.70, with areas of reduced habitat quality concentrated near the coastal zone and along the Yellow River, and areas of increased habitat quality concentrated in and around residential areas. The evolution of the Yellow River Delta area is positively correlated with the habitat quality, and the habitat quality in the national park construction area was higher than in other areas. This paper also proposes suggestions for improving the habitat quality of the Yellow River Estuary National Park construction area including: strengthening the top-level design of integrated protection and restoration, considering the internal and external effects of ecological protection and restoration measures, and implementing measures in different areas; continuously promote scientific research and exploration, strengthen ecological environment monitoring and assessment, and research and develop technologies to enhance the biodiversity of saline and alkaline land; international advanced concepts, management strategies and technological experience could be utilized to enhance sustainability in the planning and implementation of ecological protection and restoration measures. These findings offer valuable insights into the integrated ecological protection and restoration of the Yellow River Estuary National Park construction area and the Yellow River Delta region in which it is located.

**Key Words:** habitat quality; InVEST model; spatial aggregation; spatial-temporal evolution; Yellow River Estuary National Park

生境质量是指生态系统为个体物种、种群、群落的持续生存和繁殖提供必要条件的能力,是决定生物多样性的基本条件,其变化是人类活动与自然环境相互作用的直接结果<sup>[1-3]</sup>。近年来,日益剧烈的气候变化和多样的人类活动引起的景观格局变化,导致局部生境质量降低、生态源地和廊道破碎化,降低了生境内包括人类在内的物种、种群和群落的生存潜力,生物多样性受到威胁<sup>[4]</sup>。因此,研究生境质量的时空动态变化对有效开展生态保护和修复具有重要意义。已有生境质量评估方法主要分为指标体系法和模型模拟法两类。由于指标体系法多基于多个或少数关键指标,难以兼顾数据需求量、准确性和结果可比性,因此,模型模拟法在生境质量评估中的应用逐渐增多<sup>[5]</sup>。常用的生境质量评估模型有 MaxENT 模型、SolVES 模型、HSI 模型、IDRISI 模型、InVEST 模型<sup>[6-11]</sup>。MaxEnt 模型对物种潜在分布的预测具备显著优势,但在进行数量较少的样本研究时易存在模型过度拟合的情况,对建模数据与检验数据的独立性保障有待提升<sup>[6]</sup>。HSI 模型在研究生境的关键影响因子方面有重要作用,但因缺乏普适性导致了模型应用存在一定局限性,例如对国家、州等大尺度的研究往往存在误差<sup>[9]</sup>。在众多生境质量评估模型中, InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) 模型的生境质量模块 (Habitat Quality Model) 具备数据需求量小、评估准确度高和易操作等优点,能够对生态系统展开综合评价,目前已得到广泛应用<sup>[12-20]</sup>。

黄河三角洲湿地是黄河流域开发和保护的重点区域之一,是维持黄河健康的重要组成部分,具有较高的生物多样性研究价值<sup>[21]</sup>。黄河三角洲湿地的演变受到黄河径流泥沙条件和海洋动力的双重约束<sup>[22]</sup>,是研究生态修复与生境质量关系的典型区域。国家高度重视黄河三角洲的生态治理,1992 年批准建立黄河三角洲国家级自然保护区,2007 年围绕保护黄河口新生湿地生态系统的目标,加大自然保护区基础设施建设力度。近年来《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035 年)》、《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》等多项文件均为加强保护修复黄河三角洲湿地、促进生物多样性保护和恢复提供支撑<sup>[23-24]</sup>,

黄河口相关区域已作为国家公园候选区被纳入《国家公园空间布局方案》。2000 年至 2020 年,黄河三角洲湿地面积增加,生态系统功能逐渐恢复,生物多样性增加,但同时需加强关注人类活动对黄河三角洲区域生境质量的影响<sup>[13,25–26]</sup>。日益膨胀的资源需求加大了地区开发强度,区域生境发生剧烈变化,土地利用动态度增大,土地利用类型越发复杂,生境趋于破碎<sup>[27–34]</sup>。

当前研究较多聚焦黄河流域的生境质量研究,对黄河三角洲特别是黄河口国家公园建设区域的关注较少。为明确黄河三角洲区域生境质量与生态系统演进情况,本文基于 InVEST 模型,结合黄河三角洲生态建设重要时间节点,研究了 1990—2020 年黄河口国家公园建设区陆域范围土地利用变化、生境质量的时空分异规律与演进趋势,探讨黄河三角洲时空演变和黄河口国家公园建设对区域生境质量的影响,以为合理制定和优化黄河三角洲生态保护修复措施与布局提供科学依据。

## 1 研究区概况

黄河口国家公园位于黄河入海口处(118°13'55.28"—119°30'57.00"E,37°25'02.67"—38°17'53.47"N),其所在的黄河三角洲是我国三大河口三角洲之一<sup>[35–36]</sup>。根据《黄河口国家公园总体规划》<sup>[37]</sup>,黄河口国家公园以山东黄河三角洲国家级自然保护区、山东黄河三角洲国家地质公园、山东黄河口国家森林公园等现有 8 个自然保护地为主体,同时纳入黄河口区域海洋生物的重要产卵场和孵育场等生态价值较高的区域,总面积约  $3.5 \times 10^5 \text{ hm}^2$  (图 1)。黄河口国家公园拥有我国暖温带保存最完整、最广泛、最年轻的湿地生态系统以及海陆变迁面积增长最快、最活跃的三角洲湿地<sup>[38–40]</sup>。土壤质地以砂质黏壤土为主,土壤类型多为潮土或盐碱土<sup>[41–42]</sup>,植被类型以耐盐、轻度耐盐的水生植物和盐生植物为主,植被群落较为简单,稳定性较差,主要植被类型为芦苇和盐地碱蓬<sup>[36,43]</sup>。黄河口国家公园在黄河三角洲气候调节、生物多样性维持等方面具有重要作用<sup>[38]</sup>。



图 1 研究区地理位置图

Fig.1 Geographical location map of the research area

## 2 研究数据与方法

### 2.1 土地利用变化分析

本研究所用土地利用数据来源于武汉大学基于 Landsat 数据制作的年度中国土地覆盖数据集,选取了数据集中 1990 年、2000 年、2010 年和 2020 年的 4 期数据,空间分辨率为 30m,并结合研究区实际地类情况和土地分类标准将土地利用类型划分为耕地、草地、湿地、陆地水域、建筑用地、未利用地、其他海域 7 类<sup>[44-45]</sup>。对 1990—2020 年间黄河三角洲和黄河口国家公园建设区陆域区域不同土地利用类型变化情况展开分析,并利用 ArcGIS 软件进行图示化,明确区域土地类型年际变化及演进趋势。

### 2.2 生境质量计算

生物多样性与生态系统服务的生产有着密切的联系。生物多样性本质具有空间化特征,因此可以通过分析土地利用和土地覆盖图(LULC)及其对生物多样性威胁程度计算得到。生境质量评估选取 InVEST 模型生境质量模块,通过输入 LULC 地图、LULC 对每种威胁的敏感性、每种威胁分布和密度的空间数据以及保护区空间位置等数据,从而评估该地区景观的生境质量、退化水平和生境稀有性等。根据不同生境的生境质量、不同威胁源对不同生境的影响程度计算得到生境质量来评估不同生态源地下的生境质量和退化情况,能体现生态系统为物种提供生存条件的潜力水平<sup>[30,33,46]</sup>。生境质量模块生成的结果范围为 $[0, 1]$ ,生成的结果为连续变量,数值越大,生境质量越高。InVEST 模型中对生境质量的计算主要通过分析相关土地利用类型及其某种植被类型或生境类型的范围、退化程度来进行表达,即通过威胁因子数据和威胁源数据、土地利用数据进行计算,计算公式如下:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left( \frac{\omega_r}{\sum_{r=1}^R \omega_r} \right) \times r_y \times i_{rxy} \times \beta_x \times S_{jr}$$

$$Q_{xj} = H_{ij} \times \left[ 1 - \left( \frac{D_{xj}^Z}{D_{xj}^Z + k^Z} \right) \right]$$

式中,  $D_{xj}$  为生境类型  $j$  中  $x$  栅格的生境退化度;  $R$  为模型默认参数的胁迫因子;  $r$  为威胁源;  $y$  为  $r$  威胁栅格图上的所有栅格;  $Y_r$  为  $r$  威胁栅格图上的某一组栅格;  $\omega_r$  为威胁因子的权重;  $r_y$  为栅格  $y$  的胁迫值;  $i_{rxy}$  为栅格  $y$  中的威胁源  $r$  对栅格  $x$  的胁迫水平,分为指数与线性两种作用;  $\beta_x$  为威胁源到栅格  $x$  的可达性水平;  $S_{jr}$  为生境类型  $j$  对威胁源  $r$  的敏感性;  $Q_{xj}$  为生境质量;  $H_{ij}$  为生境适宜度;  $k$  为半饱和参数,通常取值 2.5;  $Z$  为模型默认参数的归一化常量。

参考 InVEST 模型指南手册<sup>[16]</sup>及相关研究<sup>[47-48]</sup>,在考虑研究区实际情况的基础上,确定不同地类的生境类型及其生境适宜度以及威胁源因子的最大影响距离和权重、各生境对威胁因子的敏感性。本文重点关注受生态保护修复措施直接影响的陆生植被的生物多样性,因此将受人类活动干扰较大的耕地、建筑用地作为主要的生境威胁因子。黄河三角洲区域的耕地主要为水田与旱地,因地形地势的影响,该区域山地、丘陵较多,居民点分布零散,故将建筑用地细化为城镇用地、农村居民点与其他建设用地。因此,本研究将水田、旱地、城镇用地、农村居民点和其他建设用地定义为生境的威胁源因子。最大胁迫距离表示的是每一种威胁源能对研究区域产生影响的最大距离;权重则表示的是研究所选取的对生境完整性的影响权重,是与其它威胁源的相对值;空间衰退类型则表示威胁源所带来退化的类型,通过判定其影响是否随距离的增加而增加呈现线性或指数变化而确定。本研究中,各生境对威胁因子的敏感性首先通过 InVEST 模型指南手册<sup>[16]</sup>和文献资料分析<sup>[15,32,49-51]</sup>形成初步数据,再通过咨询专家意见进行修订,最后设计出 Habitat Quality 模块参数表(表 1,表 2)

为进一步保证区域生境质量研究结果的精确性与科学性,在土地利用类型生境适宜度及威胁因子敏感性研究时对地类展开进一步细化,分为水田、旱地、有林地、疏林地、其他林地、高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖

草地、河流、湖泊、水库坑塘、滩地、城镇用地、农村居民点、其他建设用地、沙地、盐碱地、沼泽地、裸土地共计 19 类。Habitat Quality 模块将土地利用类型与威胁源建立连接,用以评价区域生境质量,得分值在 0—1 之间,数值越接近 1,表示生境质量越高,生态结构越稳定<sup>[7,45]</sup>。

表 1 威胁源因子的最大胁迫距离、权重及空间衰减类型

Table 1 Maximum stress distance, weight and spatial attenuation types of threat source factors

威胁源 Threat source	最大胁迫距离/km Maximum stress distance	权重 Weight	空间衰减类型 Spatial attenuation types
水田 Paddy field	4	0.6	指数
旱地 Dry land	2	0.4	线性
城镇用地 Urban land	10	1	线性
农村居民点 Rural residential area	5	0.7	指数
其他建设用地 Other construction land	8	0.8	线性

表 2 土地利用类型生境适宜度及威胁因子敏感性

Table 2 Habitat suitability and threat factor sensitivity of land use type

地类 Land class	生境 Habitat	水田 Paddy field	旱地 Dry land	城镇用地 Urban land	农村居民点 Rural residential area	其他建设用地 Other construction land
水田 Paddy field	0.4	0	0.1	0.5	0.3	0.2
旱地 Dry land	0.2	0.2	0	0.5	0.2	0.2
有林地 Forest land	1	0.8	0.8	1	0.8	0.6
疏林地 Open forest land	0.6	0.8	0.8	1	0.8	0.5
其他林地 Other forest land	0.6	0.6	0.6	0.9	0.8	0.5
高覆盖草地 High-cover grassland	0.9	0.7	0.7	0.9	0.8	0.6
中覆盖草地 Medium-cover grassland	0.7	0.4	0.4	0.6	0.5	0.3
低覆盖草地 Low-cover grassland	0.5	0.3	0.3	0.6	0.4	0.4
河流 River	0.6	0.7	0.6	0.8	0.6	0.4
湖泊 Lake	0.8	0.7	0.6	0.8	0.7	0.5
水库坑塘 Reservoir and pond	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.4
滩地 Mudflat	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	0.5
城镇用地 Urban land	0	0	0	0	0	0
农村居民点 Rural residential area	0	0	0	0	0	0
其他建设用地 Other construction land	0	0	0	0	0	0
沙地 Sandy land	0.1	0.2	0.6	0.8	0.7	0.6
盐碱地 Saline-alkali land	0.2	0.1	0.5	0.7	0.7	0.6
沼泽地 Marshland	0.7	0.1	0.3	0.8	0.8	0.7
裸土地 Bare land	0.2	0.1	0.5	0.7	0.6	0.6

### 2.3 空间聚类分析

采用 Getis-Ord  $G_i^*$  指数分析生境质量的热点和冷点,表征其显著高值和显著低值的集聚区。 $z$  分数和  $P$  值是统计显著性的度量,显示逐个特征是否拒绝零假设。一个特征的高  $z$  值和低  $P$  值表明高值的空间聚类。为数据集中每个要素返回的  $G_i^*$  统计就是  $z$  得分。对于具有显著统计学意义的正  $z$  得分, $z$  得分越高,高值(热点)的聚类就越紧密。对于统计学上的显著性负  $z$  得分, $z$  得分越低,低值(冷点)的聚类就越紧密。有关统计显著性以及针对多重测试和空间依赖性进行校正的详细信息来源于相关文献<sup>[28,31,52]</sup>。 $G_i^*$  指数和  $z$  得分的计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_j^n w_{ij} x_j}{\sum_j^n x_j}$$

$$Z(G_i^*) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{SD \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}{n-1}}}$$

式中,  $w_{ij}$  为一个对称的要素  $i$  和  $j$  之间的  $1/0$  空间权重矩阵;  $\bar{x}$  为生境质量的平均值;  $SD$  为生境质量的标准误差;  $n$  为总像元数。冷热点  $z$  得分和置信水平  $P$  值如表 3 所示。

表 3 冷热点  $z$  得分和置信水平

Table 3 Hot and cold spot z-scores and confidence level

冷热点类型 Hot and cold spot type	$z$ 得分 z-scores	$P$
极显著热点 Extremely significant hot spots	>2.58	<0.01
显著热点 Significant hot spots	1.96—2.58	<0.05
热点 Hot spots	1.65—1.96	<0.10
非显著点 Inconspicuous regions	-1.65—1.65	—
冷点 Cold spots	-1.96—-1.65	<0.10
显著冷点 Significant cold spots	-2.58—-1.96	<0.05
极显著冷点 Extremely significant cold spots	<-2.58	<0.01

## 2.4 黄河三角洲面积变化与生境质量的相关性分析

用 Pearson 相关分析法<sup>[53]</sup>分析黄河三角洲面积变化与总体生境质量之间的关系,其中,黄河三角洲的面积数据来源为 1990—2020 年间的 6 期土地利用数据,生境质量数据则是基于前文分析结果计算得到的区域生境质量平均值,并对分析结果进行显著性检验( $P < 0.05$  为显著相关,  $P < 0.001$  为极显著相关)。

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}}$$

式中,  $n$  为样本数量,  $\bar{X}$  是自变量黄河三角洲的面积均值,  $\bar{Y}$  是生境质量的均值,  $r_{xy}$  是变量  $x$  和  $y$  的相关系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 黄河口国家公园陆域土地利用格局与变化

根据土地利用分类结果(图 2), 1990—2020 年间黄河口国家公园陆域范围内耕地占比呈现增大-减小-增大的波动变化趋势, 草地则呈现相反的变化规律。湿地占比逐渐增大, 未利用地逐渐减少。1990 年黄河口国家公园陆域范围内主要为未利用地(38.88%)、耕地(30.87%)和湿地(20.14%), 其中耕地主要分布在河道两岸, 且周边分布有面积较大的未利用地。以 10 年为间隔, 三个时段内土地利用变化方向和幅度均有所差异。1990—2000 年, 耕地占比增加至 67.71%, 这一时段黄河入海口发生变化, 耕地逐渐向河口周边扩张; 湿地占比增加至 29.52%, 未利用地显著减少。2000—2010 年间, 耕地占比显著减少至 11.92%, 湿地占比显著增加至 54.70%, 这可能与研究区范围内实施人工湿地工程密切相关<sup>[54]</sup>; 草地面积增加至 14.60%, 且多分布在耕地与湿地之间。2010—2020 年间, 湿地占比继续增大, 但草地占比减少且耕地占比有所增加。

进一步量化分析黄河口国家公园建设区陆域范围内土地利用类型的转移情况, 利用和弦图分析 1990—

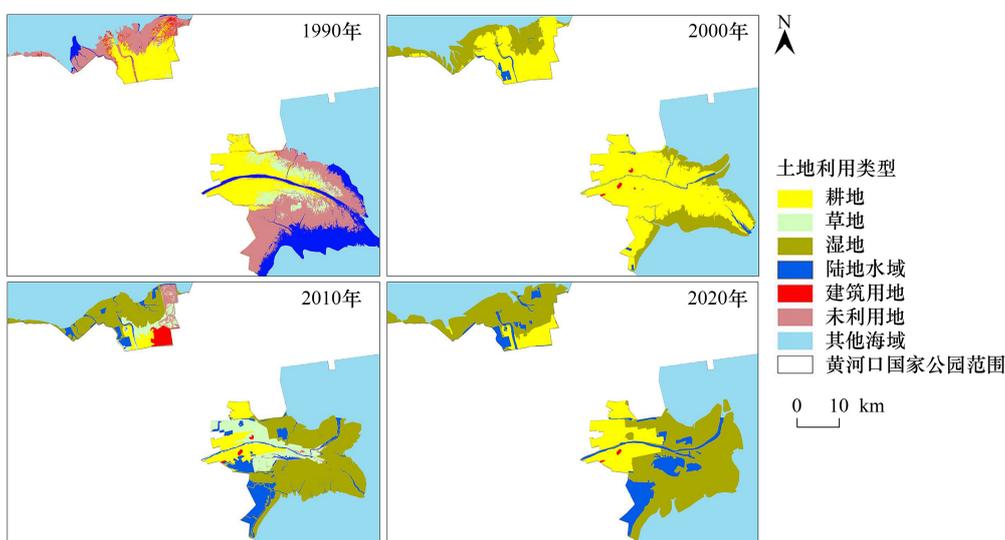


图 2 1990—2020 年黄河口国家公园陆域范围土地利用格局

Fig.2 Terrestrial land use pattern of the Yellow River Estuary National Park from 1990 to 2020

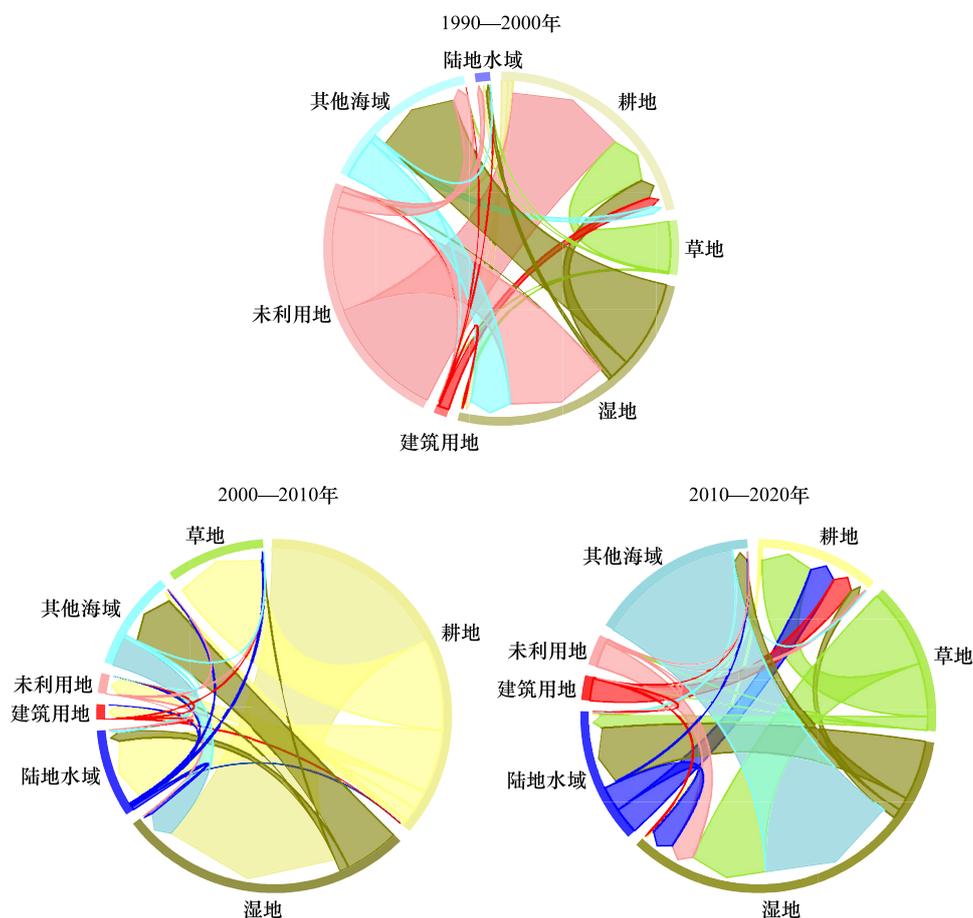


图 3 1990—2020 年黄河口国家公园陆域范围土地利用类型转移矩阵

Fig.3 Terrestrial land use pattern transition matrix of the Yellow River Estuary National Park from 1990 to 2020

2000 年、2000—2010 年和 2010—2020 年三个时段的土地利用类型转移面积矩阵如图 3。1990—2000 年间，土地利用类型转移主要表现为草地转为耕地、未利用地转为耕地和湿地、湿地转为其他海域和耕地，表明人类

活动,特别是大范围的垦荒侵占了大量草地和未利用地,高强度人类活动区域和自然环境为主区域之间的缓冲空间被不断压缩。2000—2010 年间,减少的耕地面积主要转为草地、湿地和陆地水域,湿地与其他海域互有转移。这一时段内受黄河水沙变化的影响,三角洲整体呈退蚀状态,一定程度上导致了临海区域湿地与海域之间的相互转移,同时由于受海水侵蚀影响,土壤盐渍化日益严重从而导致大量耕地退化后被撂荒<sup>[55]</sup>,部分耐盐碱植被开始生长。2010—2020 年间,部分建筑用地转为耕地,这可能是由于耕地保护等政策的实施促使不合理建筑用地退还为耕地;未利用地和草地主要向湿地转移,其他海域转为湿地的面积显著高于湿地转为其他海域的面积,另有部分湿地转移为陆地水域、部分草地转移为耕地。总体上,耕地和未利用地、湿地之间的转换较为频繁,表明耕作等人类活动对区域土地利用模式具有重要影响。

### 3.2 黄河口国家公园陆域生境质量格局演化

黄河口国家公园建设区 1990—2020 年陆域生境质量变化率为-0.71 至 0.70,其中生境质量降低的区域占 13.86%,集中分布在海岸带附近及黄河沿岸;生境质量升高的区域占 85.83%,集中分布在居民区及其周边;变化不显著的区域占 0.32%(图 4)。

以 5 年为间隔分析不同时段黄河口国家公园陆域范围不同年份生境质量分级及其占比。综合采用 ArcGIS 的自然断点和等间距法,结合研究区数据情况将生境质量分为低、较低、一般、高、较高和非常高 6 级<sup>[32,56]</sup>。根据生境质量指数设定生境质量分级标准如表 4。根据表 4 的划分标准,分析黄河口国家公园陆域范围不同年份生境质量分级及其占比(图 5)。1990—1995 年,研究区生境质量等级基本保持稳定,生境质量高或非常高的区域面积占比超过 60%且主要分布在黄河沿岸,而 1995—2000 年,生境质量等级低的区域面积占比逐渐增大。2000—2005 年间,生境质量等级为高/非常高的占比下降,生境质量较低区域占比逐渐增大。推测可能的原因,一方面黄土高原开展大规模退耕还林,入海泥沙减少,三角洲退蚀带来陆域生境面积减少;另一方面,黄河调水调沙虽然带来了三角洲面积扩大,但短时大量泥沙入海形成的三角洲土质结构疏松,土壤水分含盐量高,新增区域的生境质量较差。而 2005 年之后,虽然生境质量等级为低的区域显著减小且生境质量等级为高及以上的比例显著增大,但其中生境质量非常高的区域占比显著减小,表明一系列生态保护修复措施有效提升了区域总体生境质量,但一些原有的生境质量极高的区域受人类活动影响,等级有所降低。自 2010 年起,区域生境质量等级总体保持稳定,等级为低的区域略有减少。

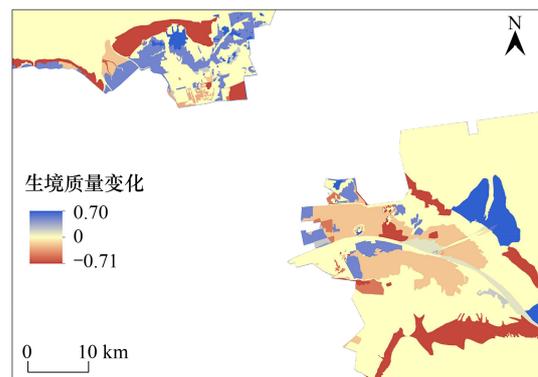


图 4 1990—2020 年黄河口国家公园陆域范围生境质量变化率  
Fig.4 Change rate of terrestrial habitat quality of the Yellow River Estuary National Park from 1990 to 2020

表 4 生境质量分级标准

Table 4 Habitat quality classification criteria

生境质量指数 Habitat quality index	等级 Classification	生境质量指数 Habitat quality index	等级 Classification
0.0—0.1	低	0.6—0.7	高
0.1—0.3	较低	0.7—0.8	较高
0.3—0.6	一般	>0.80	非常高

进一步分析黄河口国家公园建设区生境质量的空间聚集度变化(图 6)。1990—2000 年,黄河口国家公园陆域范围内生境质量高值区域主要集中在黄河沿岸和海岸地带,变化不显著。2000—2010 年,生境质量高值聚集区显著减少,低值聚集区在北部显著减少但在南部略有增加,此外在北部有部分高值聚集区转变为低值聚集区。2010—2020 年,南部低值聚集区有所减少,但高值聚集区增加不显著,表明这一时段尽管生境质

量等级总体提升,但生境仍然较为破碎,难以形成较大范围的高等级生境。

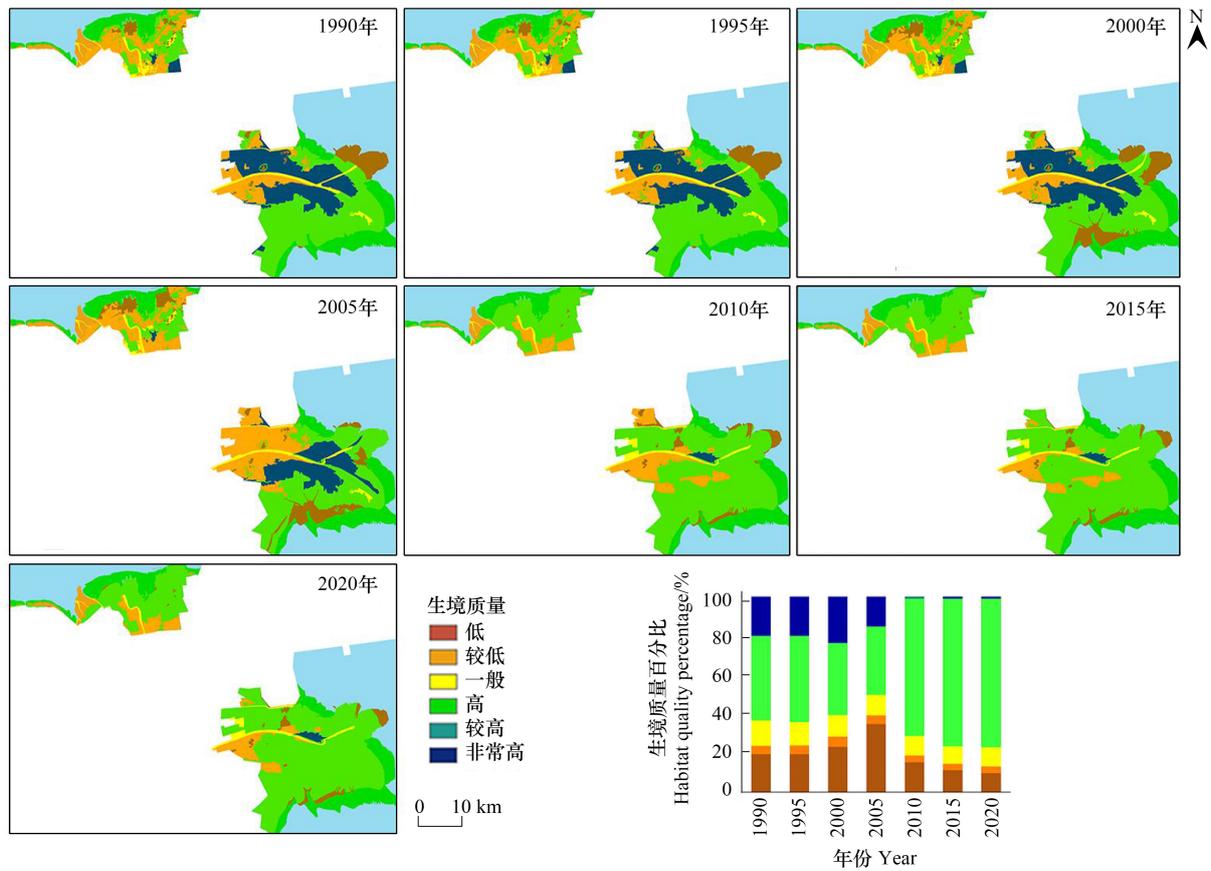


图 5 黄河口国家公园陆域生境质量分级及占比的年际变化

Fig.5 Interannual variation of classification and proportion of terrestrial habitat quality in Yellow River Estuary National Park

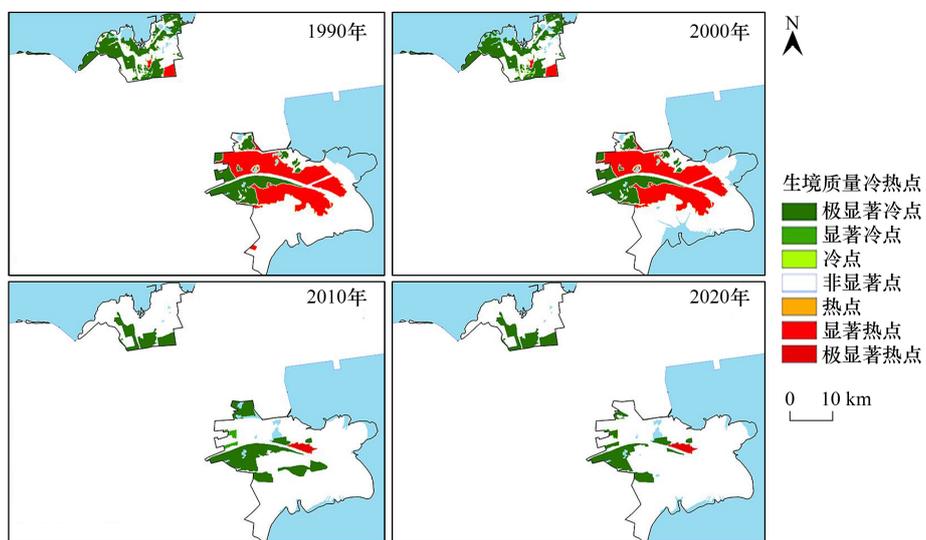


图 6 黄河口国家公园陆域生境质量空间聚集度年际变化

Fig.6 Interannual variation of spatial aggregation of terrestrial habitat quality in Yellow River Estuary National Park

### 3.3 黄河口国家公园建设对黄河三角洲生境质量的影响

由于受到黄河运移泥沙和海洋侵蚀的双重影响,黄河三角洲处于不断演化中,其海岸线不仅受到自然因素的影响,还受到东营港建设等人类活动的直接影响。1990—2020 年间,黄河三角洲陆域面积在 9.8 万  $\text{hm}^2$  至 11.9 万  $\text{hm}^2$  范围内变化。根据 Pearson 相关分析结果,黄河三角洲总体生境质量与三角洲面积呈显著正相关,当三角洲面积超过 10 万  $\text{hm}^2$  时,总体生境质量显著增大( $P < 0.05$ , 图 7)。

黄河口国家公园建设区涵盖了山东黄河三角洲国家级自然保护区、山东黄河三角洲国家地质公园、山东黄河口国家森林公园等现有 8 个自然保护地,在黄河口国家公园进入实质性建设前即开展了生态保护修复。对比黄河口国家公园建设范围内外生境质量变化情况(图 8)可以发现,黄河口国家公园建设区内生境质量显著高于建设区外,且均在 2000—2005 年间显著下降,建设区内下降幅度大于建设区外。建设区外生境质量最高值出现在 1990 年,最低值出现在 2010 年,在 2015 年逐渐提升后又出现下降。建设区内生境质量在 1995—2000 年间开始下降,最低值出现在 2005 年,这一时段除三角洲面积和土壤结构的影响外,黄河入海口的改变也可能对研究区生境产生了影响<sup>[57]</sup>。建设区内 2005—2010 年生境质量显著提升,至 2020 年生境质量达到研究时段最高值且高于 1990 年初始状态,表明建设区内的退耕还湿、封育保护等生态保护修复措施有效提升了区域生境质量。

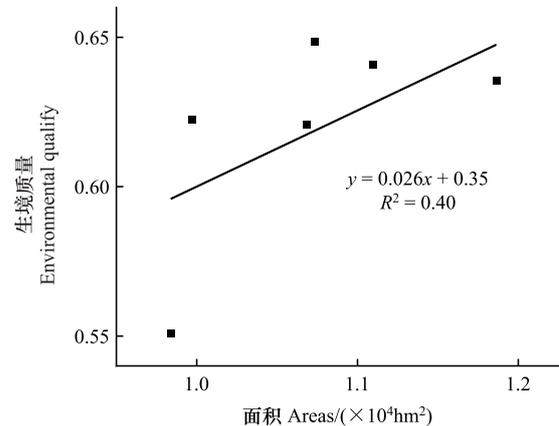


图 7 黄河三角洲时空演变对生境质量的影响

Fig.7 Effects of spatial-temporal evolution of Yellow River Delta area on habitat quality

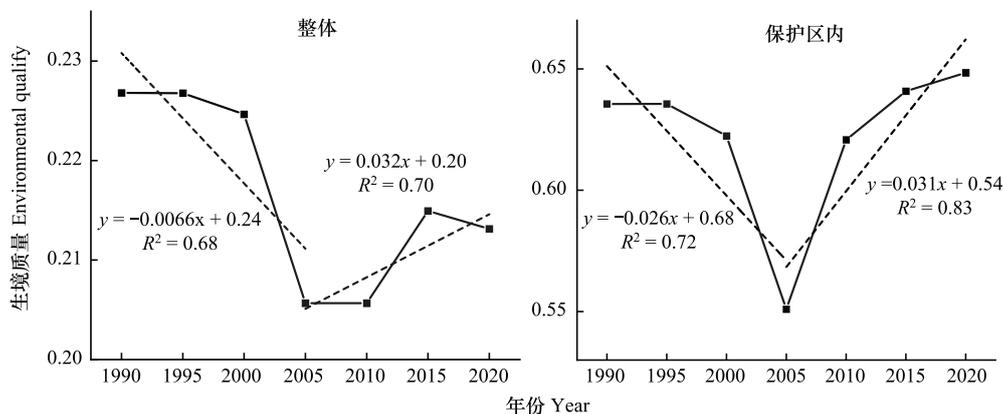


图 8 黄河口国家公园建设范围内外生境质量对比

Fig.8 Comparison of habitat quality inside and outside the construction area of Yellow River Estuary National Park

## 4 讨论

### 4.1 黄河口国家公园建设区域陆域生境质量与黄河三角洲演化的相互影响

河口区域的生态系统状况往往受自身和来自流域、海洋等方面的多重压力<sup>[40]</sup>。黄河口国家公园建设区域土壤盐碱化程度高、生态系统脆弱,其陆域生境质量的变化不仅与黄河三角洲演化具有密切联系,同时也受到黄河水沙通量变化的直接影响。根据自然资源部提供的数据,黄河三角洲的演化具有显著的年际波动性,2000—2003 年黄河入海量受黄河中游水土保持措施的影响实现降低,造成三角洲造陆面积的减少;2003—

2004年,黄河调水调沙试验使导致下游河道淤积的大量泥沙被冲刷入海,但新形成的三角洲土壤结构不稳定,生境质量较差。在同一时段内,黄河口国家公园建设区范围内的生境质量均呈显著下降趋势(图5、图8),表明三角洲退蚀或快速扩张对区域总体生境质量具有负面影响。

黄河口国家公园作为黄河三角洲生态保护“一园、两带、多廊道”空间格局的重要部分,河口治理与湿地修复提升了区域生态系统的健康及稳定性<sup>[58]</sup>。2007年以来围绕保护黄河口新生湿地生态系统的目标,自然保护区基础设施建设力度不断增大,黄河三角洲湿地被推荐列入联合国“国际重要湿地名录”,大范围生态保护修复、有害生物防治措施开始实施。研究结果显示,尽管受黄河入海水沙量波动的影响,黄河三角洲自2004年以来呈退蚀状态,且2005—2020年间黄河口国家公园建设区范围外生境质量仍保持较低水平,但建设区范围内的生境质量显著升高(图8),表明生态保护修复措施能够有效缓解三角洲退蚀对生境质量的负面影响。这一时段内,区域高速的社会发展伴随着人类活动对生态环境的频繁干扰,导致区域生境质量下降的同时,生态保护修复措施的实施、生态环境保护政策的发布、相关法律制度的完善、生态文明意识的形成与发展都对区域生态环境的保护与改善产生积极影响,是促进区域生境质量提高的正向驱动因素。

#### 4.2 黄河口国家公园建设区生境质量提升建议与展望

黄河三角洲的演化受黄河径流泥沙和海洋侵蚀的双重影响,自然环境原始而脆弱,对黄河流域生态保护和高质量发展具有重要意义<sup>[34]</sup>。黄河口国家公园作为黄河三角洲的重要组成部分,以较少的面积覆盖了较多的物种种类<sup>[59]</sup>,其建设的系统性和科学性对筑牢区域生态安全屏障、促进黄河流域生态保护和经济社会高质量发展具有重要意义,也有助于黄河三角洲自然生态系统的保护与修复<sup>[60]</sup>。高强度的人类活动已经对河口区域生态系统的健康发展和物种多样性的保持构成了威胁<sup>[13]</sup>,需要通过合理、有效的生态保护修复措施提高生境质量,丰富生物多样性。

黄河口国家公园建设中需要加强一体化保护修复顶层设计,统筹兼顾生态保护修复措施的域内外效应,分区施策。结合生境质量变化率(图4)和空间聚类度(图6)分析,尽管1990—2020年间部分区域生境质量显著增加,但并未形成显著高值聚集区,低值聚集区和原有高值聚集区的分布具有连续性,因此在制定生态保护修复规划时应打破县、乡等行政边界,开展山水林田湖草海一体化保护与修复顶层设计。在此基础上开展分区施策。依据研究结果,针对生境质量降低的海岸带附近及黄河沿岸区域,需采取退耕还湿、退养海滩、生态补水等措施,恢复并改善湿地生境。针对生境质量提升的居民区及其周边区域,做好区域生态维护工作,防止生境退化,加强生态文明的宣传建设,鼓励、引导居民参与生态保护和修复工作,促进生态文明社会共建共享;同时,需加快探索形成生境高值聚集区的策略,利用生态修复项目等手段,提高湿地生态功能和生物多样性。针对生境质量等级高但显著减少的区域,探索其减少的原因,并因地制宜采取措施展开生态保护和修复。

黄河口国家公园建设区生态保护与治理全过程需持续推进科研探索,加强生态环境监测与评估,同时研发提升盐碱地生物多样性的相关技术,提升生态治理的效率和质量。综合前人和本文研究结果(图2),近年来互花米草等有害物种经过治理得到了一定控制,但随着黄河三角洲的演变,黄河口国家公园建设区外来入侵物种防治形式依然严峻。此外,由于土壤基质盐碱含量较高,区域植被群落往往结构简单,抵抗力稳定性较差。因此需要加强对生物多样性的调查监测,研发盐碱地植被配置优化技术,同时通过优化水资源配置、构建生态环境保护补偿机制等方式,加强对区域水资源的管理,提高淡水资源利用效率<sup>[58]</sup>。开展智慧黄河口建设工程,持续观测区域生物资源及生态系统,建立自然保护区生态和资源监测预警体系,促进生物多样性的保护和生态系统的稳健发展。

为兼顾生态效益和人类福祉,提高生态修复工程的可持续性,在生态保护修复措施规划和实施过程中可借鉴国际先进的理念、管理策略和技术经验。世界自然保护联盟(IUCN)提出的基于自然的解决方案(Nature-based Solutions, NbS)包含了应对社会挑战、尺度、权衡、生物多样性净增长、投资、公众参与和主流化等多个方面,能够有效促进人与自然和谐发展<sup>[27,29]</sup>。在推进生态补偿中,可以借鉴NbS全球标准关于经济可行性的相关内容,发展多元化的资金投入机制,缓解政府财政压力<sup>[61-62]</sup>。在设计和实施生态保护修复工程时,可以

借鉴 NbS 全球标准关于生态系统完整性的考虑,以及充分保障当地居民参与程度、开展适应性管理等内容。此外还可以借鉴 IUCN 世界自然保护地委员会编制的全球自然保护地从业者能力手册,提升国家公园管理人员的能力,提高基层生态治理水平,从而有效提升黄河口国家公园管理水平和保护成效,保障生境质量提升的可持续性<sup>[63-64]</sup>。

开展跨部门协同治理,进一步完善相关法规,为黄河口国家公园的生态保护修复和生境质量提升提供政策保障。国家公园的建设需要处理好与原有自然保护地、地方政府部门和居民生计的关系<sup>[65]</sup>。在黄河口国家公园的建设中,需要统筹协调林草、水利、农牧等多个行业,完善河口区、盐碱地治理等相关法规,同时提高黄河口国家公园建设科技、人才等方面的政策保障,从而保障各项有利于生境质量提升的生态保护修复措施顺利实施。

## 5 结论

(1) 较 1990 年,2020 年黄河口国家公园建设区陆域范围生境质量总体提升,其中生境质量降低的区域占 13.86%,集中分布在海岸带附近以及黄河沿岸;而生境质量提升的区域集中分布在居民区及其周边,且未能形成显著的高值聚集区。较 2010 年,2020 年黄河口国家公园建设区陆域范围内生境质量为低和较低的区域减少、生境质量等级为高的区域显著增加,同时生境质量等级为非常高的区域显著减少。

(2) 黄河三角洲面积演化与生境质量呈显著正相关,黄河口国家公园建设区陆域生境质量显著高于其他区域,生态保护与修复措施对提升生境质量具有积极作用,但还需在一体化保护修复、生物多样性监测与保护等方面做出改善。区域生态系统与社会活动的协调发展是促进黄河三角洲生境质量提高的重要条件,需要科学规划与创新方法,因地制宜解决问题,推动区域实现高质量发展。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] 李胜鹏,柳建玲,林津,范胜龙. 基于 1980—2018 年土地利用变化的福建省生境质量时空演变. 应用生态学报, 2020, 31(12): 4080-4090.
- [ 2 ] Song Y N, Wang M, Sun X F, Fan Z M. Quantitative assessment of the habitat quality dynamics in Yellow River Basin, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, 193(9): 614.
- [ 3 ] Newbold T, Hudson L N, Hill S L L, Contu S, Lysenko I, Senior R A, Börger L, Bennett D J, Choimes A, Collen B, Day J, De Palma A, Díaz S, Echeverria-Londoño S, Edgar M J, Feldman A, Garon M, Harrison M L K, Alhusseini T, Ingram D J, Itescu Y, Kattge J, Kemp V, Kirkpatrick L, Kleyer M, Correia D L P, Martin C D, Shai M R, Novosolov M, Yuan P, Phillips H R P, Purves D W, Robinson A, Simpson J, Tuck S L, Weiher E, White H J, Ewers R M, Mace G M, Scharlemann J P W, Purvis A. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 2015, 520(7545): 45-50.
- [ 4 ] 孙金欣. 黄河三角洲生境质量时空演变及多情景模拟[D]. 济南: 山东师范大学, 2023.
- [ 5 ] Ma R M, Lü Y H, Fu B J, Lü D, Wu X, Sun S Q, Zhang Y L. A modified habitat quality model to incorporate the effects of ecological restoration. *Environmental Research Letters*, 2022, 17(10): 104029.
- [ 6 ] 赵玥,朱晓雅,李卫强,韩兴华,杨小妹,王震,徐世才,朱梦炎. 基于 MaxEnt 模型的陕北林区黄喉貂潜在适宜生境评估. 延安大学学报(自然科学版), 2024, 43(4): 28-35.
- [ 7 ] 吴岚. 南北盘江流域景观格局与生境质量的响应及驱动因素分析[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2024.
- [ 8 ] 曾浩威,凌成星,张军,刘华,赵峰,金跃,刘曙光,张雨桐. 基于融合 MaxEnt 和 HSI 模型的驼鹿生境适宜性评价. 林业资源管理, 2023, (4): 115-122.
- [ 9 ] 金龙如,孙克萍,贺红士,周宇飞. 生境适宜度指数模型研究进展. 生态学杂志, 2008, 27(5): 841-846.
- [ 10 ] 段鹏,陈文波,杨欢,梁翔. 生境破碎化过程对流域生境质量的影响. 生态学报, 2024, 44(14): 6053-6066.
- [ 11 ] 何利杰,黄炉斌,柯新利,陈青芸,宋钰. 长江流域耕地爬坡现象对区域生态系统服务的影响分析. 生态学报, 2025, 45(1): 367-384.
- [ 12 ] 孔令桥,张路,郑华,徐卫华,肖焱,欧阳志云. 长江流域生态系统格局演变及驱动力. 生态学报, 2018, 38(3): 741-749.
- [ 13 ] Zhang H L, Wang F Q, Zhao H, Kang P P, Tang L. Evolution of habitat quality and analysis of influencing factors in the Yellow River Delta Wetland from 1986 to 2020. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2022, 10: 1075914.
- [ 14 ] Dai L M, Li S L, Lewis B J, Wu J, Yu D P, Zhou W M, Zhou L, Wu S N. The influence of land use change on the spatial-temporal variability of

- habitat quality between 1990 and 2010 in NorthEast China. *Journal of Forestry Research*, 2019, 30(6): 2227-2236.
- [15] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 黄河流域生境质量时空演变及其影响因素. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 12-22.
- [16] Sharp R, Chaplin-Kramer R, Wood S, Guerry A, Tallis H, Ricketts T. *InVEST 3.2.0 User's Guide*. 2017.
- [17] Pressey R L, Bottrill M C. Approaches to landscape- and seascape-scale conservation planning: convergence, contrasts and challenges. *Oryx*, 2009, 43(4): 464-475.
- [18] Polasky S, Nelson E, Pennington D, Johnson K A. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(2): 219-242.
- [19] Terrado M, Sabater S, Chaplin-Kramer B, Mandle L, Ziv G, Acuña V. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning. *Science of the Total Environment*, 2016, 540: 63-70.
- [20] Kunwar R M, Evans A, Mainali J, Ansari A S, Rimal B, Bussmann R W. Change in forest and vegetation cover influencing distribution and uses of plants in the Kailash Sacred Landscape, Nepal. *Environment, Development and Sustainability*, 2020, 22(2): 1397-1412.
- [21] Wang F Q, Yang H, Zhao H, Kang P P. Ecological effect evaluation of water diversion in the Yellow River delta wetland. *Water Policy*, 2018
- [22] 韩广轩, 栗云召, 于君宝, 许景伟, 王光美, 张志东, 毛培利, 刘玉虹. 黄河改道以来黄河三角洲演变过程及其驱动机制. *应用生态学报*, 2011, 22(2): 467-472.
- [23] 计伟, 刘海江, 高吉喜, 马欢, 宋婷, 高艳妮, 冯朝阳. 黄河流域生态质量时空变化分析. *环境科学研究*, 2021, 34(7): 1700-1709.
- [24] 关凤峻, 刘连和, 刘建伟, 付英, 王凌云, 王峰, 李勇, 余星滢, 车娜, 肖颖. 系统推进自然生态保护和治理能力建设——《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》专家笔谈. *自然资源学报*, 2021, 36(2): 290-299.
- [25] 刘莉, 韩美, 刘玉斌, 潘彬. 黄河三角洲自然保护区湿地植被生物量空间分布及其影响因素. *生态学报*, 2017, 37(13): 4346-4355.
- [26] 巴音吉, 庞国涛, 刘晓煌, 窦文骏, 李闯, 高金华, 马汝强. 黄河三角洲湿地资源 1980 年以来演变驱动因素及保护修复对策. *现代地质*, 2024, <https://doi.org/10.19657/j.geoscience.1000-8527.2024.125>.
- [27] Kabisch N, Frantzeskaki N, Pauleit S, Naumann S, Davis M, Artmann M, Haase D, Knapp S, Korn H, Stadler J, Zaunberger K, Bonn A. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 2016, 21(2): 39.
- [28] Mashini D P, Fogarty K J, Potter R C, Berles J D. Geographic hot spot analysis of vaccine exemption clustering patterns in Michigan from 2008 to 2017. *Vaccine*, 2020, 38(51): 8116-8120.
- [29] Moreau C, Cottet M, Rivière-Honegger A, François A, Evette A. Nature-based solutions (NbS): a management paradigm shift in practitioners' perspectives on riverbank soil bioengineering. *Journal of Environmental Management*, 2022, 308: 114638.
- [30] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D, Chan K M, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [31] Scott L, Janikas M. *Handbook of Applied Spatial Analysis*. 2009, Springer, Switzerland.
- [32] 吴艳霞, 刘方南, 陈宝童. 黄河流域下游城市群生境质量时空演变及其驱动因素. *水土保持通报*, 2023, 43(4): 396-404.
- [33] 樊影, 王宏卫, 杨胜天, 刘勤, 衡嘉尧, 高一薄. 基于生境质量和生态安全格局的阿勒泰地区生态保护关键区域识别. *生态学报*, 2021, 41(19): 7614-7626.
- [34] 洪佳, 卢晓宁, 王玲玲. 1973—2013 年黄河三角洲湿地景观演变驱动力. *生态学报*, 2016, 36(4): 924-935.
- [35] Dou X Y, Guo H D, Zhang L, Liang D, Zhu Q, Liu X T, Zhou H, Lv Z R, Liu Y M, Gou Y T, Wang Z L. Dynamic landscapes and the influence of human activities in the Yellow River Delta wetland region. *Science of the Total Environment*, 2023, 899: 166239.
- [36] 初小静. 黄河三角洲非潮汐湿地生态系统 CO<sub>2</sub> 交换对降雨季节性分配的响应机制[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.
- [37] 山东省自然资源厅. 黄河口国家公园总体规划. 2021, <http://www.dnr.shandong.gov.cn>.
- [38] 张慧欣, 韩美, 孔祥伦, 孙金欣, 段绪萌. 黄河口国家公园生态系统健康空间分异及其驱动因素. *环境科学*, 2024, <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202405133>.
- [39] 王金凤, 徐洁, 徐基良, 安丽丹. 黄河流域国家级自然保护区生态系统服务功能评估. *北京林业大学学报*, 2024, 46(7): 90-100.
- [40] 牛明香, 王俊, 徐宾铎. 基于 PSR 的黄河河口区生态系统健康评价. *生态学报*, 2017, 37(3): 943-952.
- [41] 李鹏. 黄河口及其邻近海域悬浮泥沙多尺度时空动态与驱动机制[D]. 上海: 华东师范大学, 2023.
- [42] 侯冠群, 来剑斌, 李静, 刘振, 公华锐, 王兵, 孙志刚, 欧阳竹, 侯瑞星. 成土时间对黄河三角洲植物及微生物演替的影响. *生态学报*, 2022, 42(21): 8839-8859.
- [43] 尹小岚, 谭程月, 柯樱海, 周德民. 1973—2020 年黄河三角洲滨海盐沼湿地景观格局演化模式和驱动因素. *生态学报*, 2024, 44(1): 67-80.
- [44] Yang J, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8):

3907-3925.

- [45] 郑启航,徐光来,刘永婷,杨强强,池建宇,孙久星,张婷.基于 InVEST 和 MGWR 模型的安徽省生境质量评估及驱动.水土保持研究,2024,31(3):373-382.
- [46] 提杨,庄鸿飞,陈敏豪,张超,胡发祥,赵秋璐,胡志良,栾晓峰.天津市自然保护地与区域生境质量的时空演变格局.生态学报,2023,43(7):2770-2780.
- [47] 刘春芳,王川.基于土地利用变化的黄土丘陵区生境质量时空演变特征——以榆中县为例.生态学报,2018,38(20):7300-7311.
- [48] 张学儒,周杰,李梦梅.基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析.地理学报,2020,75(1):160-178.
- [49] 袁文华,范文君,李建春,刘黎明.黄河流域典型县域生境质量的时空分异特征及影响因素研究.生态与农村环境学报,2024,40(5):622-633.
- [50] 齐松,董春,卫东,邱士可.基于 InVEST 模型的黄河干流沿岸生境质量时空变化研究.测绘科学,2022,47(8):114-122.
- [51] 李欣,陈登帅,张冰冰,曹建荣.快速城镇化地区生态系统服务时空演变及权衡协同分析:以黄河下游地区为例.环境科学,2024,45(9):5372-5384.
- [52] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 1992, 24(3): 189-206.
- [53] Pearson K. Mathematical contributions to the theory of evolution.—on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1897, 60((359/367)): 489-498.
- [54] 任玲玲,栗云召,于森,杨继松,战超,周迪.1984—2015 年黄河三角洲人工湿地的演变及主要驱动因子.农业资源与环境学报,2020,37(4):493-502.
- [55] 王林林,范晓梅.基于 BFAST 算法和多源数据的黄河三角洲耕地退化演变及驱动因素分析.地球信息科学,2023,25(11):2218-2231.
- [56] 周璐红,曹瑞超.黄土高原生境质量时空演变及其驱动因素.水土保持通报,2022,42(6):343-350.
- [57] 马乐,陈健斌,俞永庆,王亚梅,王国阳,黄渊源,吕燕玲,丁咚.近 30 年黄河陆上三角洲蚀退-淤进对气候变化和人类活动的响应.海洋地质前沿,2024,40(9):49-62.
- [58] 薄宏波,胡健,刘新兵,曹洪博.黄河三角洲生态环境面临的主要问题与治理措施建议.水利科技与经济,2013,19(2):33-34.
- [59] 徐卫华,赵磊,韩梅,欧阳志云.国家公园空间布局物种保护状况评估.国家公园(中英文),2023(1):11-16.
- [60] 张小云,张宇航.习近平生态文明思想视域下黄河口国家公园建设研究.环境与发展,2024,36(2):13-17.
- [61] 朱梦洵,王爽,朱岩芳,何洪兵,吴裕鹏,张俊,王立东,王忠敏.黄河口国家公园生态保护补偿机制探究.湿地科学与管理,2024,20:89-92,96.
- [62] IUCN. 基于自然的解决方案全球标准 NbS 的审核、设计和推广框架第一版,格兰德,瑞士:IUCN. 2021.
- [63] 冯春婷,王爱华,王伟.中国国家公园管理人员能力评价:进展与建议.国家公园(中英文),2024,2(8):504-513.
- [64] Appleton M. A global register of competences for protected area practitioners (Nepali version). Gland, Switzerland: IUCN, 2019.
- [65] 马本,陈泽长,程美英.中国国家公园体制构建的理论逻辑、实践探索与未来展望.国家公园(中英文),2024,2(8):475-486.