

河南黄河湿地国家级自然保护区人类干扰对生境质量的影响及空间优化策略

张京生^{1,2}, 郜梦妍^{1,2}, 张煜森^{1,2}, 漆良华³, 雷雅凯^{1,2}

(1.河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002; 2.河南农业大学 河南省风景园林国际联合实验室, 河南 郑州 450002; 3.国际竹藤中心国家林业和草原局/北京市共建竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102)

摘要: [目的] 探究自然保护区内人类活动强度对生境质量的影响, 为提升自然保护区生境质量和空间优化提供依据。[方法] 基于 2021 年土地利用数据和其他空间数据, 利用 InVEST 模型、人类影响指数模型和双变量空间自相关模型等方法, 分析河南黄河湿地国家级自然保护区(以下简称黄河保护区)内出现的主要用地冲突问题, 生境质量与人类活动影响的空间分布特征及其空间上的相关性。[结果] ①研究区主要用地冲突类型为农村建设用地、农田和鱼塘, 共占总面积的 28.85%。②人类影响指数中等以上面积占总面积的 37.97%, 人类影响指数呈现“东西两侧高, 中间区域低”的空间分布特征。③生境质量指数均值 0.65, 中级生境质量以下面积比例达 52.46%, 总体呈中级以下水平。④人类影响指数与生境质量之间呈现空间负相关(Moran's I 为-0.519)。[结论] 今后整合优化过程中黄河保护区需清退农田与鱼塘, 将东部平原区河道湿地作为保护重点, 优化保护范围, 结合人类活动特点制定管控和优化策略, 提升生境质量。

关键词: 人类活动; 生境质量; 人类影响指数; 双变量空间自相关; 黄河湿地国家级自然保护区; 河南省
文献标识码: B **文章编号:** 1000-288X(2022)05-0140-11 **中图分类号:** TU986, P964

文献参数: 张京生, 郜梦妍, 张煜森, 等. 河南黄河湿地国家级自然保护区人类干扰对生境质量的影响及空间优化策略[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 140-150. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20220527.001; Zhang Jingsheng, Gao Mengyan, Zhang Yusen, et al. Impact of human disturbance on habitat quality and spatial optimization strategy in He'nan Yellow River wetland national nature reserve [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(5): 140-150.

Impact of Human Disturbance on Habitat Quality and Spatial Optimization Strategy in He'nan Yellow River Wetland National Nature Reserve

Zhang Jingsheng^{1,2}, Gao Mengyan^{1,2}, Zhang Yusen^{1,2}, Qi Lianghua³, Lei Yakai^{1,2}

(1.College of Landscape Architecture and Art, He'nan Agricultural University, Zhengzhou He'nan 450002, China; 2.The International Joint Laboratory of Landscape Architecture, He'nan Agricultural University, Zhengzhou, He'nan 450002, China; 3.International Center for Bamboo and Rattan Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration /Beijing for Bamboo & Rattan Science and Technology, Beijing 100102, China)

Abstract: [Objective] The impact of human activity intensity on habitat quality in nature reserves was analyzed in order to provide a basis for improving habitat quality and spatial optimization in nature reserves. [Methods] Based on 2021 land use data and other spatial data, the main land use conflict problems occurring in the He'nan Yellow River wetland national nature reserve, the spatial distribution characteristics of habitat quality, and human activity impacts and their spatial correlations were analyzed using the InVEST model, the human impact index model, and the bivariate spatial autocorrelation model. [Results] ① The main land conflict types in the study areas were rural construction land, farmland, and fish ponds, accounting for

收稿日期: 2021-09-24

修回日期: 2021-12-08

资助项目: 河南省青年骨干教师资助项目“多尺度绿色空间规划设计对公共健康的影响”(2020GGJS049); 河南省国际合作项目“中原城市群多尺度绿色基础设施规划设计策略研究”(HNGD2021035); 国家自然科学基金项目“城市绿地布局对大气颗粒物污染的影响机制及尺度效应”(31600579)

第一作者: 张京生(1995—), 男(汉族), 河南省周口市人, 硕士研究生, 研究方向风景园林规划设计和自然保护地设计。Email: zukunes@163.com.

通信作者: 雷雅凯(1985—), 男(汉族), 河南省平顶山市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事风景园林规划设计理论与实践方面研究。Email: lykfjyl@163.com.

28.85% of the total area. ② The human influence index was above the intermediate level, accounting for 37.97% of the total area; the human influence index was high in the east and west, and low in the middle area. ③ The mean value of the habitat quality index was 0.65, and the area below the medium habitat quality level accounted for 52.46% of the total area, which was generally below the medium level. ④ There was a negative spatial correlation between the human impact index and habitat quality (the Moran's I was -0.519). [Conclusion] With future integration and optimization, the Yellow River wetland national nature reserve will need to remove farmland and fish ponds, focus protection efforts on river wetlands in the eastern plains, optimize the zone of protection, and develop corresponding control and optimization strategies based on the characteristics of human activities to improve habitat quality.

Keywords: human activity; habitat quality; human influence index; bivariate spatial autocorrelation; He'nan Yellow River wetland national nature reserve

在中国 14.8% 的陆域面积属于各类自然保护区,在维护生物多样性和改善生态环境方面发挥重大作用,然而经济发展与自然保护之间矛盾日益尖锐。研究表明在中国国家级自然保护区内各种人类活动分布十分普遍,其中农业用地和农村居民点占据人类活动总面积的 88.94% 以上^[1-2]。自然保护区空间规划的不合理更易导致自然保护和地方发展需求之间的矛盾^[1],为了对自然保护区空间优化和整合优化工作提供科学参考和依据,探讨自然保护区内人类活动对生境的影响成为了当务之急。

生境质量是指生态环境在一定时空范围内为生物提供生存和发展能力,是衡量环境内生态系统服务功能的重要条件^[3-4]。InVEST 模型是由美国自然资本项目组开发,用于生态系统服务评估及其经济价值、支持生态系统管理和决策的模型。该模型在自然保护区生境评价方面有着广泛的应用。例如,包玉斌等^[5]分析自然保护地内土地利用变化对生境的影响,王耕等^[6]探讨了景观格局与自然保护区生境时空关系。各项成果表明该 InVEST 模型中生境质量模块具有数据易获取、应用广泛等特点^[5,7],更加贴合自然保护区生境定量化评估。

本文中人类活动指为满足生产和发展需求对自然环境采取的一切活动,通过对生态环境的改变和利用,继而干扰生境质量^[8]。2002 年,Sanderon 等^[9]首次提出人类影响指数(human influence index, HII),是一种定量评价人类活动强度对一定陆域范围内生态系统影响程度的模型,该模型通过对人口密度、土地利用、交通可达性和电力基础进行多指标赋值和叠加分析,得到人类影响指数分布图^[9]。近些年,Allan 等^[10]选取全球数据评估人类足迹与世界遗产地森林损失之间的关系;Buckley 等^[11]通过该模型绘制中国大陆陆地自然保护区人类足迹指数。多项研究表明 HII 模型适用于自然保护区内人类活动强度的评估^[12]。

黄河保护区地处河南省西北部,包括三门峡水库、小浪底水库和西霞院反调节水库在内,是以保护黄河湿地生态系统和湿地珍惜水禽为主要目标的国家级自然保护区,对保护黄河湿地、维护生物多样性等方面发挥了重要作用^[13]。近年来,沿黄城市对黄河资源开发强度逐渐增加,农业用地的扩张,挤压原本的沿岸滩涂,导致水鸟栖息地被破坏^[14],非法捕猎等人为活动频繁,农药与重金属污染严重,导致生物多样性呈现下降趋势^[13]。

2021 年中共中央、国务院印发了《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》,提出推动改善黄河流域生态环境的要求^[15],而黄河保护区作为重要的生态湿地空间,对其相关生态研究很有必要。目前,黄河保护区研究主要集中在生态旅游^[16-17]和鸟类资源分析^[18]上,缺乏对黄河保护区的生境质量和人类活动相关方面的研究。因此本文为探究黄河保护区人类活动与生境质量状态,人类活动与生境质量之间的空间分布特点和相关性,借助 InVEST 模型分析黄河保护区生境质量空间分布特征,利用 ArcGIS 进行多指标叠加生成人类影响指数空间分布图,通过双变量空间自相关分析二者之间空间关系,并结合土地利用数据分析主要用地矛盾问题,对黄河保护区提出针对性的空间优化策略,并识别主要的保护区域,以期提升自然保护区生境,为自然保护区的整合优化提供参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

黄河保护区(112°21'49"—112°48'23"E; 34°33'59"—35°05'01"N),东西长 301 km,南北跨度 50 km,依黄河形态而呈带状分布,内部 3 个功能区分布见图 1。属于温带季风性气候,年平均气温 14.2℃,年平均降水量 614.2 mm。共有动物 867 种,国家一二级保护鸟类 43 种。



图 1 黄河保护区内部功能区划

1.2 数据来源与处理

黄河保护区土地利用数据基于谷歌地球引擎

(Google Earth Engine, GEE)平台,选取 2021 年 4—5 月时段的哨兵 2 号影像(云量小于 5%),对其进行镶嵌、去云和裁剪预处理后计算归一化植被指数(NDVI)、归一化差值水体指数(NDWI)和归一化差值建筑用地指数(NDBI),结合 30 m 空间分辨率的高程数据计算坡度、坡向和高程等地形特征,采用随机森林分类方法^[19],根据现场调研资料和相关研究^[13,20],将研究区土地类型分为农田、林地、草地、水体、湿地、人造地表、未利用和鱼塘 8 类。经人工目视解译修正后,分类结果总精度 88%,kappa 系数 0.86。主要道路(国道、省道和县道)来源于国家基础信息中心,次要道路(城市二、三和四级道路)来源于开发街道地图,数据具体信息及来源见表 1。

表 1 黄河保护区空间数据集及来源

数据名称	年份	类型	精度/m	来源
土地利用	2021	栅格	10 m	Google Earth Engine(https://earthengine.google.com)
NPP/VIIRS 夜间灯光数据	2021	栅格	500 m	科罗拉多矿业大学(https://eogdata.mines.edu/products/vnl/)
行政边界数据	2015	矢量		资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
人口密度数据集(worldpop 数据集)	2020	栅格	100 m	Worldpop(https://worldpop.ldpop.org/)
道路交通数据	2020	矢量		国家基础信息中心(https://www.webmap.cn/main.domethod=index) 开放街道地图(https://www.Openstreetmap.org)
保护区边界数据	2020	矢量		资源环境科学与数据中心 (https://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=272)

2 研究方法

2.1 InVEST 模型生境质量评估

InVEST 模型中生境质量模型(habitat quality)模块需要土地利用数据、威胁因子栅格数据、威胁因子数据表和生境质量适宜度及其对威胁因子敏感度表。威胁因子数据表通主要设定不同土地利用类型的威胁因子的最大距离、权重和空间衰退类型。生境质量适宜度及其对威胁因子敏感度表代表不同土地利用类型对威胁因子的适宜度及对威胁因子的敏感度。将以上 4 种数据导入模型后,计算得到生境质量,生境质量的计算公式为:

$$Q_{xj}=H_j\left[1-\left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z+k^2}\right)\right]$$
 (1)

式中: Q_{xj} 是土地利用中 j 中栅格 x 的生境质量; D_{xj}^z 为土地利用 j 中栅格 x 所受胁迫水平; k 为半饱和常数,通常取 D_{xj}^z 的一半(模型第一次得出); H_j 为土地利用 j 的生境适宜性; z 为归一化常数,一般为 2.5。

$$D_{xj}=\sum_{r=1}^R\sum_{y=1}^{Y_r}\left(\frac{\omega_r}{\sum_{r=1}^R\omega_r}\right)r_yi_{rxy}\beta_xS_{jr}$$
 (2)

式中: D_{xj} 为生境退化程度指数; R 为威胁因子; Y_r 为威胁因子的栅格总数; ω_r 为权重; r_y 为栅格 y 的威胁因子个数; β_x 为栅格 x 的可达性水平; S_{jr} 为土地利用 j 对于威胁因子 r 的敏感度;

$$i_{rxy}=1-\left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}}\right)$$
 (3)
(线性距离衰减函数)

$$i_{rxy}=\exp\left[-\left(\frac{2.99}{d_{rmax}}\right)d_{xy}\right]$$
 (4)
(指数距离衰减函数)

式中: d_{xy} 是栅格 x 与 y 的直线距离; d_{rmax} 为威胁因子 r 的最大影响距离。

基于 2021 年土地利用数据及其他空间数据,结合研究区围垦农田,修建养殖鱼塘的现状,而养殖鱼塘作为人工湿地,有时可满足水鸟的觅食,也能起到调节局部气候的作用。参考 InVEST 模型用户指南和前人研究成果^[5-6,21],最终确定了 8 种不同土地利用类型作为威胁因子,对威胁因子和各类型生境的适宜度和敏感度赋值(见表 2—3)。

表 2 黄河湿地保护区威胁因子参数

威胁因子	最大影响距离/km	权重	空间衰退类型
农 田	1	0.3	线性
鱼 塘	1	0.6	指数
人造地表	3	1	指数
未利用	0.5	0.5	线性
高 速	3	0.3	线性
铁 路	4	0.4	线性
主要道路	3	0.4	线性
次要道路	2	0.3	线性

2.2 人类影响指数模型

基于人类影响指数模型,参考 Sanderso 等研究结果^[22-24],评价指标主要为口密度、土地覆盖、交通可

达性,通过增加夜光灯光数据能更好地反映区域内电力基础情况与人类活动以及居住情况^[25]。根据黄河保护区现状,结合数据的可获取性,最终选取空间数据见表 4。将各类数据栅格重分类处理后,参考相关文献对每个因子进行 0~10 之间进行赋值,构建等分规则见表 1。将处理后的各个因子进行叠加处理,得到人类影响指数,分值越大代表受到人类活动影响程度越大。

$$HII=S_l+S_p+S_n+S_t+S_g+S_z+S_c$$

(5)

式中:HII 代表人类影响指数; S_l 代表土地利用赋值分数; S_p 代表人口密度重新赋值分数; S_n 代表夜间灯光赋值分数; S_t 、 S_g 、 S_z 和 S_c 分别代表铁路、高速、主要道路和次要道路赋值分数。

表 3 生境质量适宜度及其对威胁源的相对敏感度

土地类型	生境适宜度	农田	鱼塘	人造地表	未利用地	高速	铁路	主要道路	次要道路
农 田	0.4	0	0.7	0.4	0	0.6	0.6	0.6	0.8
林 地	0.8	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.8	0.6	0.9
草 地	0.6	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.8	0.4	0.9
水 体	1	0.6	0.8	0.7	0.2	0.6	0.5	0.6	0.6
湿 地	0.9	0.7	0.7	0.6	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5
人造地表	0	0	0	0	0	0	0	0	0
未利用	0	0	0	0	0	0	0	0	0
鱼 塘	0.5	0.6	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4

表 4 生境质量适宜度主要数据评价赋值方法

数据类型	赋值范围	赋值方法
人口密度	0~10	$S_p=4.254\ 87$ S_p 表示栅格重新赋值分数,表示该栅格的人口密度
土地利用	0,2,6,8,6,10	人造地表,10 分 农田,8 分 鱼塘,6 分 林地、草地,2 分 水体、湿地,2 分
夜间灯光	0~10	DN 值=0,0 分 0<DN 值<89,9 分 DN 值≥89,10 分
铁 路	4,6	两侧 50 m 范围,6 分 两侧 50—100 m 范围,4 分
高 速	4,6,8	两侧 50 m 范围,8 分 两侧 50—100 m 范围,6 分 两侧 100—500 m 范围,4 分
主要道路	2,4,8	两侧 500 m 范围,8 分 两侧 500—1 500 m 范围,4 分 两侧 1 500—2 500 m 范围,2 分
次要道路	2,4,6	两侧 50 m 范围,6 分 两侧 50—100 m 范围,4 分 两侧 100—500 m 范围,2 分

2.3 双变量空间自相关模型

空间自相关模型能够反映某种属性在空间上的

相关程度,分为全局和局部空间自相关两种。为了探究人类活动强度与生境质量的空间相关特征,使用双

变量空间自相关模型,利用 GeoDa1.18 软件,采用 Moran 散点图和空间联系的局部指标(LISA)进行空间自相关分析。最终结果为“高一高,高一低,低—低,低—高”4 种空间聚集类型,高一高类型代表高生境和高人类活动影响区,高一低类型代表高生境和低人类活动影响区,低—低代表低生境和低人类活动影响区,低—高代表低生境和高人类活动影响区,具体计算公式参考文献^[5,26]。

3 结果与分析

3.1 自然保护区内部用地冲突分析

黄河保护区土地利用现状见图 2。保护区内存在与保护目标不相符合的土地利用类型,且分布较为广泛。主要问题地类为农田、鱼塘及包含农村居民点、交通用地在内的农村建设用地,共占黄河保护区总面积的 28.85%。

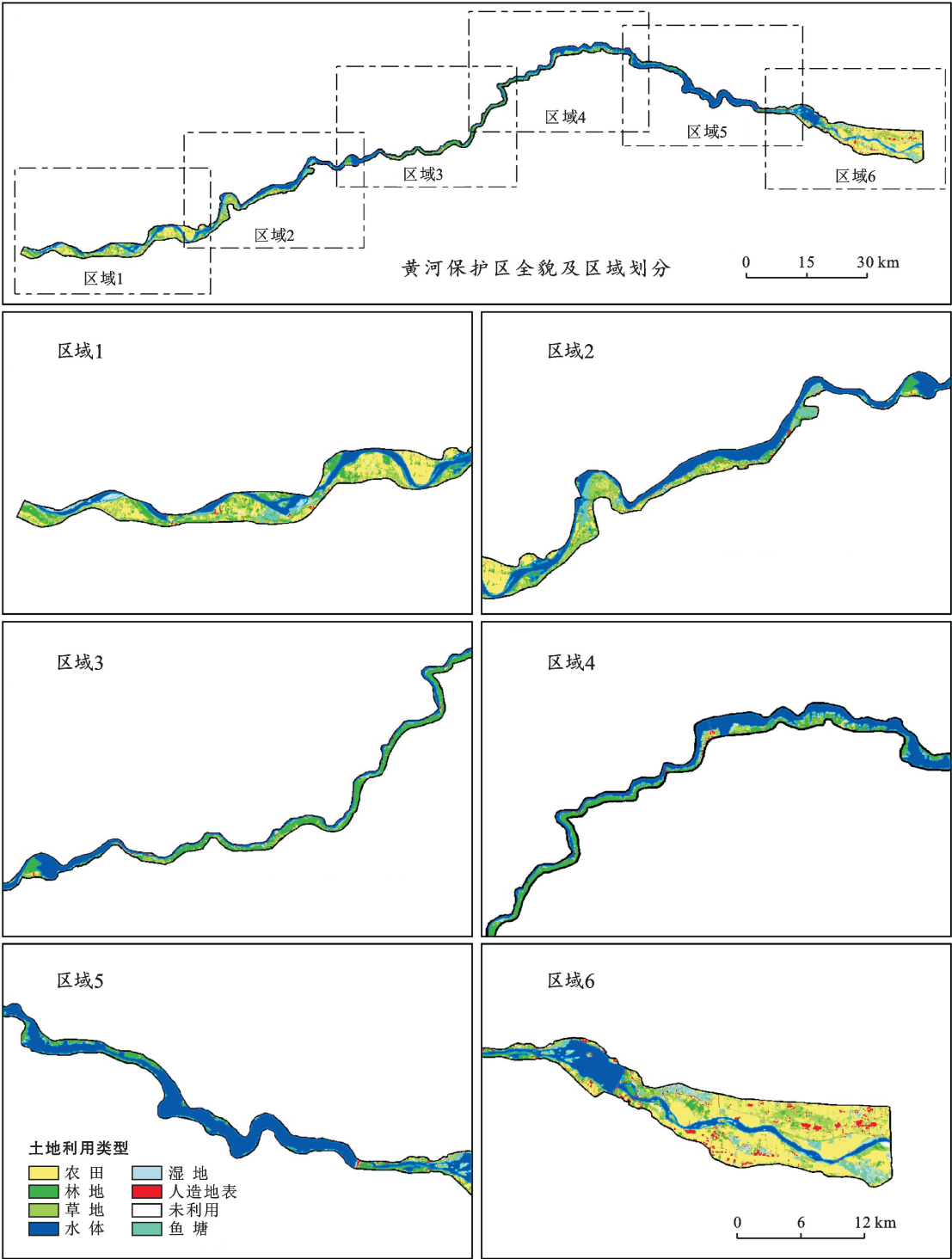


图 2 黄河保护区土地利用状况

区域 1 内河道的滩地内农田分布较为破碎化,侵占了原有的生态湿地,对河流产生较大威胁。区域 6 范围的农田分布较为集中连片,试验区与缓冲区附近大面积鱼塘和农村建设用地,也对当地自然保护区管理产生了难题,从面积上统上分析(表 5),总体上核心区矛盾用地总面积 6 571.56 hm² 大于其他功能分区。

表 5 黄河自然保护区区域内主要矛盾地类面积统计								hm ²
区 域	农田面积	林地面积	草地面积	水体面积	湿地面积	人造地表面积	未利用面积	鱼塘面积
核心区	5 456.78	2 212.07	2 108.19	5 500.17	716.81	183.74	150.36	931.04
缓冲区	1 614.57	538.02	1 266.45	473.51	85.59	304.81	32.07	182.26
试验区	3 666.83	4 736.94	4 132.38	11 450.1	810.85	896.34	145.69	689.72
总 计	10 738.18	7 487.03	7 507.02	17 423.78	1 613.25	1 384.89	328.12	1 803.02

3.2 人类影响指数空间分布特征

将人类影响模型结果在 ArcGIS 10.2 中采用自然断点法进行重分类,划分为 5 个等级(见表 6),其空间分布状况见图 3。高强度人类影响指数分布较为集中,主要分布于东西两侧(区域 2,6),占总面积的 4.60%,区域内农村居民点与路网较为密集;较高强度主要分布于西部(区域 6),占总面积的 11.73%,主要受到农田和次要道路双重影响;中等强度主要分布于东西两侧(区域 1,6),河流、湿地、集中连片的鱼塘和部分零星居民点周边,占总面积的 21.64%,该区地形平坦,水资源丰富,农业发达,耕作频繁;较低强度主要分布于东部(区域 1),现状为鱼塘、河道和林草地,占比为 24.63%;低强度主要分布于中部(区域 3,4,5),现状多为河流水体、林地和草地,其比例为 37.40%。由于缓冲区范围内农田占 35.90%,表明缓冲区主要受农田等人类活动的影响较大。核心区范围内人类活动总面积占比最大,但 3 个功能区中缓冲区高强度和较高强度人类影响指数面积远大于其他

两个区,表明农村建设用地对缓冲区影响程度比较大。

表 6 黄河保护区人类影响指数面积比例					
人类活动影响区域	不同人类影响指数等级面积比例/%				
	低强度 (0~5)	较低强度 (5~12)	中等强度 (13~19)	较高强度 (19~16)	高强度 (27~42)
核心区	34.69	34.03	25.02	6.04	0.22
缓冲区	16.31	19.46	28.02	25.73	10.49
试验区	42.90	19.37	18.31	12.99	6.44
合 计	37.40	24.62	21.64	11.73	4.60

3.3 生境质量空间特征

对黄河保护区进行生境质量评估,生境质量指数在 0~1 之间,越接近 1 表示生境质量越好,对生物多样性的威胁程度越小。在 ArcGIS 10.2 中使用自然断点法将其分为 5 个等级,各等级面积比例如表 7 所示,其空间分布见图 4。经统计分析,黄河保护区的总体生境质量均值为 0.65,较低级生境质量面积最大,约为 31.57%,中级以下共占比 52.46%,表明黄河保护生境处于中等以下水平。

表 7 黄河保护区生境质量统计结果						
生境区域	不同生境质量等级面积比例/%					生境质量 平均值
	低 级 (0~0.19)	较低级 (0.20~0.46)	中 级 (0.47~0.67)	较高级 (0.68~0.0.88)	高 级 (0.88~1)	
核心区	2.25	45.44	16.71	14.26	21.34	0.58
缓冲区	8.32	56.87	17.31	9.33	8.17	0.45
试验区	4.29	18.04	17.02	18.03	42.63	0.73
总 计	3.95	31.57	16.94	15.84	31.70	0.65

从空间分布上看,生境质量等级整体呈现出中级以上分布广泛,中级以下分布集中的特征。高级、较高级生境质量主要分布于研究区中部(区域 3,4,5),该区域属于三门峡水库、小浪底水库和西霞院反季节调水工程以及黄河河务控导及防洪工程范围内,生态管控较为严格,地形以丘陵为主;中等生境分布较广泛,多出现在东、西部(区域 1,6)平原区地带,土地利用现状以河流、湿地、鱼塘和林地为主;低级、较低生

境主要分布在研究区东部与西部的平原地区,处于核心与缓冲区范围内,该区域基础设施丰富,农村居民点聚集,开发程度较高。西部靠近河道区域内存在集中连片的农田和鱼塘,故生境质量较低。总体黄河保护区中部生境质量相对较好,东部与西部,生境质量较差,东部平原地区自黄河两岸南北纵向延伸,随着林地、草地与湿地面积逐渐减少,生境质量下降较为严重,西部区域河流生境处于较低水平。

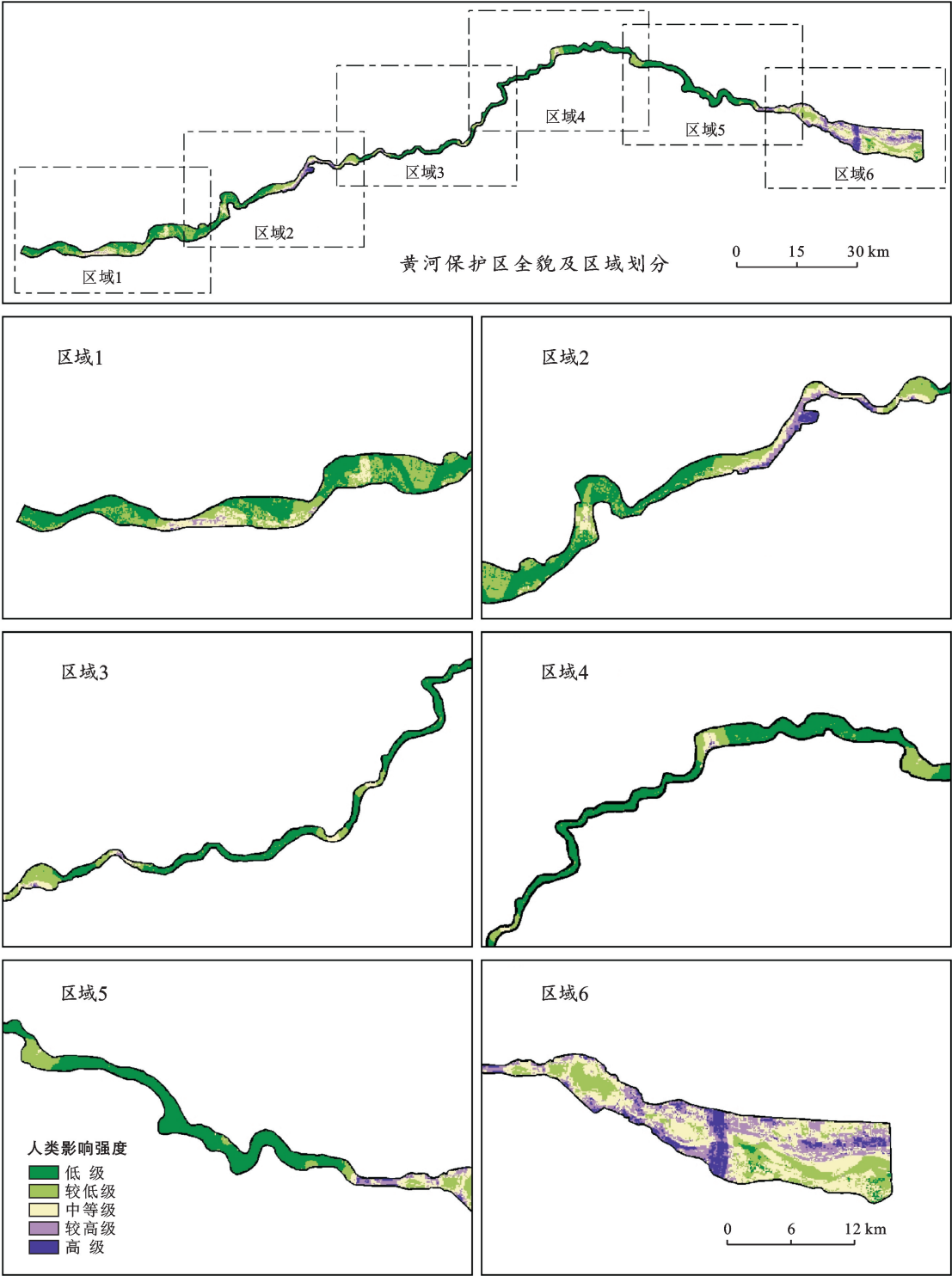


图 3 黄河保护区人类影响指数空间分布

3.4 人类活动对生境空间分布的影响分析

利用 ArcGIS 的空间分析工具提取 100 m 网格中心点人类影响指数与生境指数,由 GeoDa 软件建立空间权重矩阵,进一步探索人类活动对生境质量的影响。结果显示,双变量全局自相关 Moran's I 为一0.519,表明人类活动与生境质量之间存在显著空间负相关。

从人类影响指数和生境质量 LISA 聚类分析(图 5)表明,黄河保护区主要聚集形态类型为低—高和高—低,其中低—高型(低人类活动和高生境质量)分布在研究区中部水库段(区域 3,4,5),该区域属于水利工程区,相关管控政策的实行为周边高质量生境的稳定性提供了基础,不易受到大规模人类活动影响;高—低型(低生境质量和高人类活动)受平坦地形与

集中农田的影响,主要分布在研究区东部和西部(区域 1,6)。高一高型和低—低型在研究区内也有分布,但涉及范围较小。其中高一高类型主要分布于西

霞院水利枢纽和三门峡城市建成区附近,表明虽然人为活动影响较大,但若管控政策合理,对周边的生境也能起到一定的保护作用。

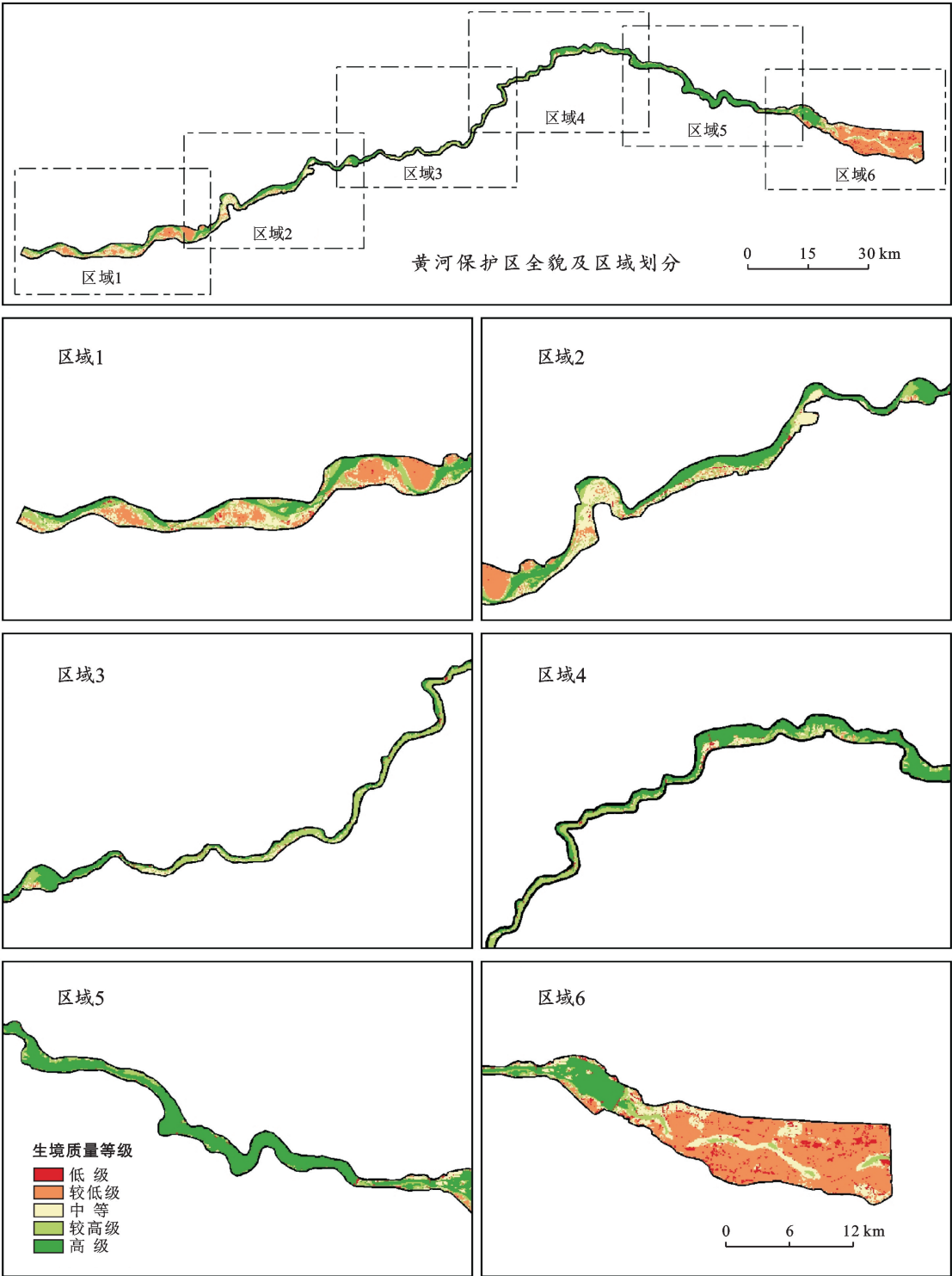


图 4 黄河保护区生境质量空间分布

3.5 优化策略

(1) 清退鱼塘与农田,制定科学的农田调整标准。参考《自然资源部国家林业和草原局关于做好自

然保护区范围及功能分区优化调整前期有关工作的函》以下称(自然资函)中的整合优化“三区变二区”要求,将原有的试验区与缓冲区统一划为核心区后,建

议将孟津县会盟县、孟州市西虢镇、吉利区吉利乡和灵宝市大王镇内鱼塘进行清退处理。退出核心区耕地,恢复黄河湿地。目前由于缺乏统一规定,部分地区出现调整面积尺度不一、避免自然保护地与耕地红线交叉,将基本农田全部调出则“天窗”开得过多,将会严重影响自然保护地的功能结构。针对研究区东西部农田空间分布特征不同,东部农田相较西部分布

较为破碎化的特点。建议将东西部河谷地带核心区范围内,如孟津县会盟县、白鹤镇、孟州市西虢镇、吉利区吉利乡和灵宝市西阎乡 5 个区域农田,退耕进行生态修复;非核心控制区内,位于中部河道两侧范围内梯田,也应采用退耕还林方式有序退出;保护区西部边缘集中连片农田保护价值不大,采取调出自然保护区策略。

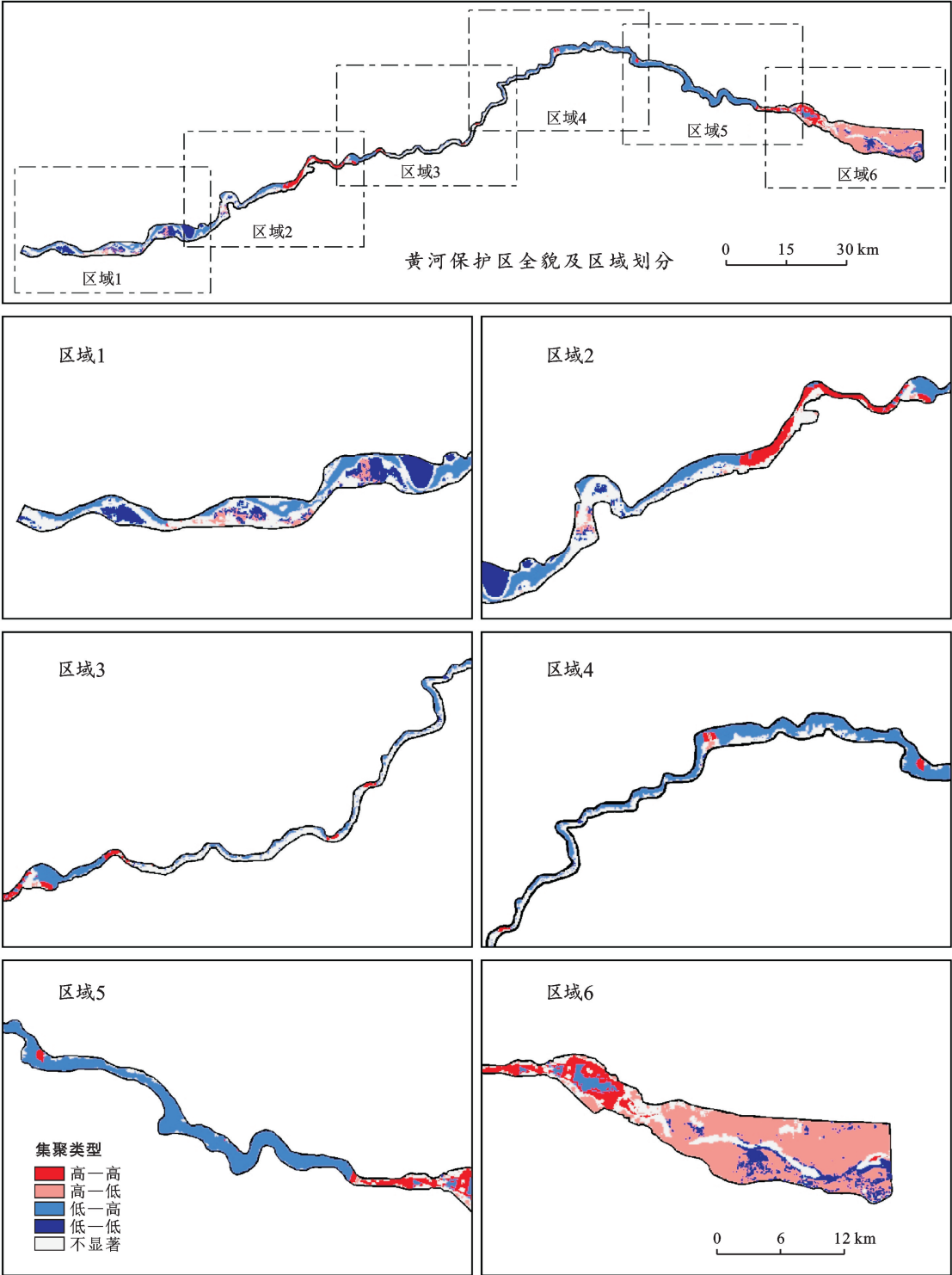


图 5 黄河保护区人类影响指数与生境质量空间 LISA 聚类

(2) 管控建设开发和村庄逐步退出,实施生境恢复工程。对于原缓冲区范围内孟州市辖区内梁庄和寺上村,在争取村民同意下,参考同类型湿地退出方案进行生态补偿,将村庄转移出保护区范围内。对于非核心区范围内零星村庄用地,三门峡经济开发区、孟津县白鹤镇范围内难以搬迁的镇村或者合法的线性基础设施用地,在不扩大用地规模的前提下,允许继续保留,修建生态防护林带。对于规模较大的清退鱼塘,可就地改造为人工湿地,面积较小的零星鱼塘可改造为景观荷塘。对于远离河道的农田应实施退耕还林,构建防护林带,靠近滩区的农田应结合局部微地形,恢复原有的植被结构,重建黄河滩区湿地生态系统。

(3) 优化保护边界,识别生境重点区域。黄河保护区东部边缘区人类活动强度大,农村居民点较多,土地利用主要以农田为主。对于内部保护价值较低的村镇,建议沿高崖、梁庄、寺村、竹园和陈湾等村庄南侧道路为界,将其以北区域调出自然保护区,对于边缘问题用地,应结合地形和线性基础设施调出保护区范围。识别保护空缺,纳入核心区范围。东、西部河道湿地是水禽的主要栖息地,作为重点保护,目前尚未划入核心保护区范围内,建议将三门峡市范围内相互分离的核心区进行连接;东至孟津与巩义市交界处、西至西霞院水坝的河流两岸 1 km 范围全部划入核心控制区范围,以增强黄河湿地保护能力。

4 结论

本文基于 InVEST 模型和人类影响指数模型,评估研究区的主要用地冲突、生境质量和人类活动强度,通过双变量空间自相关模型分析人类活动与生境质量之间空间关系。

(1) 人类影响指数在黄河保护区内呈现“东西两侧高,中间区域低”的空间分布特征,中等强度以上人类影响指数的面积达 37.97%,保护区内人类干扰程度较大,在土地利用中也表现为:核心区与缓冲区内用地冲突比较严重。集中连片的农田和农村居民点,给黄河保护区在保护上造成了一定的困难;核心区与缓冲区范围内存在养殖产业,也表明急需对内进行严格管理。

(2) 黄河保护区整体生境质量均值为 0.65,超过 52.46%的面积处于中等以下水平,其生境质量呈现为中等以下水平,急需加强生态保护。人类活动强度与生境质量双变量全局自相关 Moran's I 为 -0.519 ,显示两者之间具有空间负相关性。随着人类活动程度的加强,会导致生境质量降低。但研究区中部水库区

两者呈现正相关,表明严格管控人类活动是提升保护区生境质量的重要手段。

(3) 黄河保护区空间优化重点应放在鱼塘与围垦农田的清退、湿地化改造,村镇的调整和保护空缺的纳入等方面。养殖鱼塘应就地改造为人工湿地和恢复原貌,增强黄河湿地的生态能力,农田应根据其分布特征和所处区位,采取因地制宜的调整方案;核心区内村庄应做好生态补偿,有序退出,边缘非核心区的村镇,应调出保护区范围;划定生境薄弱的东、西部平原区的河道湿地作为新增的重点保护区域。

【参考文献】

- [1] 曹巍,黄麟,肖桐,等.人类活动对中国国家级自然保护区生态系统的影响[J].生态学报,2019,39(4):1338-1350.
- [2] 张书杰,庄优波.中国自然保护区现状人类利用强度量化特征分析与管理分类建议[J].中国园林,2020,36(8):14-19.
- [3] 黄木易,岳文泽,冯少茹,等.基于 InVEST 模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析[J].生态学报,2020,40(9):2895-2906.
- [4] 杨泽康,田佳,李万源,等.黄河流域生态环境质量时空格局与演变趋势[J].生态学报,2021,41(19):7627-7636.
- [5] 包玉斌,刘康,李婷,等.基于 InVEST 模型的土地利用变化对生境的影响:以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J].干旱区研究,2015,32(3):622-629.
- [6] 王耕,常畅,韩冬雪,等.老铁山自然保护区景观格局与生境质量时空变化[J].生态学报,2020,40(6):1910-1922.
- [7] 张华兵,甄艳,吴菲儿,等.滨海湿地生境质量演变与互花米草扩张的关系:以江苏盐城国家级珍禽自然保护区为例[J].资源科学,2020,42(5):1004-1014.
- [8] 刘世梁,刘芦萌,武雪,等.区域生态效应研究中人类活动强度量化评价[J].生态学报,2018,38(19):6797-6809.
- [9] Sanderson E W, Jaiteh M, Levy M A, et al. The Human footprint and the last of the wild: The human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not [J]. BioScience, 2002, 52(10): 891-904.
- [10] Allan J R, Venter O, Maxwell S, et al. Recent increases in human pressure and forest loss threaten many Natural World Heritage Sites [J]. Biological Conservation, 2017, 206: 47-55.
- [11] Buckley R, Zhou Rui, Zhong Linsheng. How pristine are China's parks? [J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2016, 4: 136.
- [12] Yang Jingyi, Yang Jun, Luo Xiangyu, et al. Impacts by expansion of human settlements on nature reserves in China [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 248: 109233.

- [13] 赵腾飞,郭准,郭净净,等.黄河湿地孟津段生态环境状况及对策研究[J].西北林学院学报,2019,34(1):170-174,197.
- [14] 关小克,王秀丽,任圆圆,等.黄河沿岸不同生态功能区耕地整治与优化调控研究[J].农业机械学报,2020,51(12):175-183,237.
- [15] 何文盛,岳晓.黄河流域高质量发展中的跨区域政府协同治理[J].水利发展研究,2021,21(2):15-19.
- [16] 张风霜,杨旭生,苏志国,等.河南黄河湿地自然保护区(济源段)生态旅游规划分析[J].林业调查规划,2015,40(3):60-63.
- [17] 李峥.基于 SWOT 分析的河南黄河湿地国家级自然保护区(洛阳段)生态旅游发展策略[J].安徽农学通报,2017,23(8):155-156,166.
- [18] 牛俊英,马朝红,马书钊,等.河南黄河湿地国家级自然保护区鸟类资源调查[J].四川动物,2009,28(3):462-467.
- [19] 邹大伟,李孝玲,康瑞存,等.基于 Google Earth Engine 的土地覆盖分类方法研究[J].测绘与空间地理信息,2021,44(S1):100-102,105.
- [20] 李继红,马朝红.河南孟津黄河湿地保护区保护现状及对策[J].现代农业科技,2011(21):306-307.
- [21] 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[J].中国沙漠,2021,41(4):12-22.
- [22] 周婷,陈万旭,李江风,等.1995—2015 年神农架林区人类活动与生境质量的空间关系研究[J].生态学报,2021,41(15):1-12.
- [23] Tapia-Armijos M F, Homeier J, Draper Munt D. Spatio-temporal analysis of the human footprint in South Ecuador: Influence of human pressure on ecosystems and effectiveness of protected areas [J]. Applied Geography, 2017,78:22-32.
- [24] 段群滔,罗立辉.1990—2015 年青藏高原人类足迹数据集[J].中国科学数据,2020,5(3):298-307.
- [25] 陈妍,李双成.夜间灯光数据在我国自然保护区人类活动监测中应用的思考[J].环境与发展,2018,30(5):146-147,149.
- [26] 王庭辉,王喜,秦耀辰,等.丹江口库区生态系统服务价值与人类活动时空关联分析[J].长江流域资源与环境,2021,30(2):330-341.

(上接第 122 页)

- [12] 于强,岳德鹏,张启斌,等.磴口县景观格局演变特征及生态网络构建[J].中国沙漠,2017,37(3):601-609.
- [13] 于强,刘智丽,岳德鹏,等.磴口县生态网络多情景模拟研究[J].农业机械学报,2018,49(2):182-190.
- [14] 牛腾,岳德鹏,张启斌,等.潜在生态网络空间结构与特性研究[J].农业机械学报,2019,50(8):166-175.
- [15] 王戈,于强,YANG Di,等.基于复杂网络分析法的层级生态网络结构研究[J].农业机械学报,2019,50(7):258-266.
- [16] 裴燕如,孙炎浩,于强,等.黄河流域典型矿区生态空间网络优化:以鄂榆地区为例[J].煤炭学报,2021,46(5):1541-1554.
- [17] Elnashar A, Zeng Hongwei, Wu Bingfang, et al. Assessment of environmentally sensitive areas to desertification in the Blue Nile Basin driven by the MEDALUS-GEE framework [J]. Science of the Total Environment, 2022,815:152925.
- [18] Guo Hongqiong, Yu Qiang, Pei Yanru, et al. Optimization of landscape spatial structure aiming at achieving carbon neutrality in desert and mining areas [J]. Journal of Cleaner Production, 2021,322:129156.
- [19] 杨少康,刘冀,张特,等.长江上游流域地表干燥度指数时空变化特征及其对气象因子的响应研究[J].水资源与水工程学报,2021,32(4):101-108.
- [20] 刘康,徐卫华,欧阳志云,等.基于 GIS 的甘肃省土地沙漠化敏感性评价[J].水土保持通报,2002,22(5):29-31.
- [21] 张启斌.乌兰布和沙漠东北缘生态网络构建与优化研究[D].北京:北京林业大学,2019.
- [22] Fang Minzhe, Si Guoxin, Yu Qiang, et al. Study on the relationship between topological characteristics of vegetation ecospatial network and carbon sequestration capacity in the Yellow River Basin, China [J]. Remote Sensing, 2021,13(23):4926.
- [23] 刘连友,王建华,李小雁,等.耕作土壤可蚀性颗粒的风洞模拟测定[J].科学通报,1998,43(15):1663-1666.
- [24] 吕晓芳,王仰麟,张镱锂,等.宁夏中部生态脆弱区土地利用变化及沙漠化响应:以宁夏盐池县为例[J].地理研究,2007,26(6):1156-1164.
- [25] 王梅梅,朱志玲,吴咏梅.宁夏中部干旱带土地沙漠化评价[J].中国沙漠,2013,33(2):320-324.
- [26] 申陆,田美荣,高吉喜,等.浑善达克沙漠化防治生态功能区防风固沙功能的时空变化及驱动力[J].应用生态学报,2016,27(1):73-82.
- [27] Wijitkosum S. Factor influencing land degradation sensitivity and desertification in a drought prone watershed in Thailand [J]. International Soil and Water Conservation Research, 2021,9(2):217-228.