

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2024.02.024

刘佳依, 许大为, 徐嘉. 基于 InVEST 模型的蒲河流域景观格局及生境质量时空演变分析[J]. 水土保持学报, 2024, 38(2): 258-267.

LIU Jiayi, XU Dawei, XU Jia. Analysis of landscape patterns and spatio-temporal evolution of habitat quality in the PU River basin based on the InVEST Model[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(2): 258-267.

基于 InVEST 模型的蒲河流域景观格局及生境质量时空演变分析

刘佳依, 许大为, 徐嘉

(东北林业大学园林学院, 哈尔滨 150040)

摘要: [目的] 通过对景观生态格局和生境质量的时空动态分析, 深入研究沈阳市蒲河流域实施水土保持措施前后的生境质量响应情况, 旨在为小型流域的水土保持策略提供科学依据, 以促进生态经济的协同增长和区域生态的持续健康发展。[方法] 基于蒲河流域 2000 年、2010 年、2020 年的土地利用数据和数字高程模型 (DEM) 等数据, 结合 FRAGSTATS 和 InVEST 模型, 运用土地利用转移矩阵、景观格局指数、生境质量及生境退化度对土地利用变化进行分析, 探究响应机理。[结果] (1) 在 2000—2010 年期间, 蒲河流域的耕地开发活动频繁, 导致森林、草地等土地类型的比例显著下降; 在 2010—2020 年期间, 蒲河生态廊道的建设推动土地利用的变化, 耕地面积流向人造地表、森林和草地。(2) 在 2000—2020 年期间, 蒲河流域的整体景观格局经历先趋于完整后破碎化的演变过程, 蒲河两岸景观形成多种要素集合的密集格局, 城市中心北部边缘地区生境持续破碎化。(3) 从流域整体分析, 2000 年、2010 年、2020 年的生境平均质量分别为 0.349, 0.329, 0.354, 呈现出先降后升的趋势。生境退化平均值分别为 0.098, 0.112, 0.086, 与生境质量变化趋势一致。随着蒲河生态廊道建设, 2020 年生境质量明显改善, 生态系统受到的威胁减少。从空间格局分析, 东北部与西南部呈现出明显的空间分布特征; 东北山区、西南湿地等区域生境质量总体较好, 但有着生境退化的威胁。[结论] 在水土保持措施的影响下, 蒲河流域的景观生态格局得以改善, 有效抑制了生境的退化现象。

关键词: InVEST 模型; 生境质量; 时空动态变化; 景观格局

中图分类号: Q149; TV212.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242-(2024)02-0258-10

Analysis of Landscape Patterns and Spatio-temporal Evolution of Habitat Quality in the PU River Basin Based on the InVEST Model

LIU Jiayi, XU Dawei, XU Jia

(College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: [Objective] Through the spatio-temporal dynamic analysis of landscape ecological pattern and habitat quality, the response of habitat quality before and after the implementation of soil and water conservation measures in PU River Basin of Shenyang City was deeply studied, aiming to provide scientific basis for soil and water conservation strategies in small river basins, so as to promote the coordinated growth of the eco-economy and the sustainable and healthy development of regional ecology. [Methods] Based on the land use data and Digital Elevation Model (DEM) of PU River Basin in 2000, 2010 and 2020, combined with the FRAGSTATS and InVEST models, land use transfer matrix, landscape pattern index, habitat quality and habitat degradation degree were used to analyze land use change and explore quality response situation. [Results] (1) During the period from 2000 to 2010, the cultivated land development activities in the PU River Basin were frequent, resulting in a significant decline in the proportion of forest, grassland and other land types; In the period from 2010 to 2020, the construction of the PU River ecological corridor will promote the change of land use, and the cultivated land area will flow to artificial surfaces, forests and grasslands.

收稿日期: 2023-08-30

修回日期: 2023-10-14

录用日期: 2023-11-20

网络首发日期 (www.cnki.net): 2024-03-04

资助项目: 国家自然科学基金项目 (42171246)

第一作者: 刘佳依 (1999—), 女, 硕士研究生, 主要从事景观生态研究。E-mail: 1932105342@qq.com

通信作者: 许大为 (1962—), 男, 教授, 主要从事风景园林规划设计景观生态研究。E-mail: xdw_ysm@126.com

http://stbxb.alljournal.com.cn

(2) During 2000 to 2020, the overall landscape pattern of the PU River Basin experienced a process of first becoming complete and then fragmentary. The landscape on both sides of the Puhe River formed a dense pattern of multiple elements, and the habitat in the northern edge of the urban center continued to fragment. (3) From the overall analysis of the basin, the average habitat quality in 2000, 2010, and 2020 was 0.349, 0.329, and 0.354, respectively, showing a trend of first decreasing and then increasing. The mean values of habitat degradation were 0.098, 0.112, and 0.086, which were consistent with the trend in habitat quality. With the construction of the PU River Ecological Corridor, the quality of habitat will be improved significantly in 2020, and the threats to the ecosystem will be reduced. From the analysis of spatial pattern, the northeast and southwest show obvious spatial distribution characteristics. The quality of habitat in the mountainous areas of northeast China and the wetlands of southwest China is generally good, but there is a threat of habitat degradation. [Conclusion] Under the influence of soil and water conservation measures, the ecological pattern of the PU River Basin can be and the degradation of habitat can be effectively inhibited.

Keywords: InVEST model; habitat quality; spatio-temporal dynamic changes; landscape pattern

Received: 2023-08-30

Revised: 2023-10-14

Accepted: 2023-11-20

Online(www.cnki.net): 2024-03-04

土地是人类社会发展和生态系统维持的基础资源,其空间格局变化直接影响水资源和土壤资源的可持续发展^[1]。面对当前生态环境的波动和人类活动干预带来的水土流失问题,深入剖析土地利用的变化特征及驱动因素尤为迫切。随着生态环境保护研究的不断深入,评估景观格局的合理性,深入探究生境质量变化规律成为揭示土地利用变化和驱动因素的重要手段^[2]。

土地利用变化的研究主要借助遥感技术(remote sensing, RS)和地理信息技术(geographic information system, GIS),用以获取土地利用覆被变化(land use and cover changes, LUCC)的特征,极大地促进区域尺度上对地表覆被变化的研究^[3]。陈伊多等^[4]从动态度、转化趋势等方面分析西藏自治区 LUCC 特征,结果表明,人类活动对研究区土地利用变化主要体现在草地与未利用土地的相互转换;黄安东等^[5]采用主成分分析方法(PCA)对 LUCC 的主要驱动因素进行定量分析,为安徽省土地资源开发政策提供支持。但土地利用变化分析主要集中在结构、布局方面,这种变化无法直观体现驱动因素,因此需要评估景观格局和了解生境质量的空间分布。

景观格局是土地利用的外在表现,当土地利用出现变化时,直接引导景观结构的变化。通过评估景观格局合理性对水土流失问题可以起到指导性作用,这主要体现在景观结构对土壤侵蚀和沉积的显著影响^[6]。汪东川等^[7]利用移动窗口法分析水电站建设各时期景观格局指数的时空演变规律对水土流失问题提供景观层面分析;涂雯等^[8]探究了水土保持措施下的土地利用景观格局变化及驱动因素,对黄土丘陵区的水土保持起到指导作用。但景观格局分析集中于地物类型的变化,无法准确判断环境的优劣程度,

因此结合生境质量的空间分布进行研究显得尤为关键。生境质量对土地利用变化的响应机制^[9]可作为对环境保护和可持续发展的参考依据。例如,生态系统服务社会价值(SolVES)模型^[10]、栖息地适宜性指数(HIS)模型^[11]及生态系统服务综合评估(InVEST)模型^[12]。其中,由斯坦福大学等机构联合开发的 InVEST(综合生态系统服务价值与权衡评估)模型,能够用于定量分析多种生态系统服务功能,并以专题地图的形式呈现评估结果^[13]。高庆彦等^[14]耦合了 InVEST 模型对生境质量进行定量评估,探究生境质量变化对耕地、林地、草地、水域和建设用地的响应。基于土地利用变化,通过探究景观格局和生境质量变化可以更加清楚了解区域内的变化,从而为生态保护提供参考。

关于土地利用的综合探究多以省为研究范围^[15-16],对于经过生态治理的小型流域的研究较少。为探究小型流域生态保护政策实施前后的影响,选取沈阳市蒲河流域作为研究区域。蒲河流域是沈阳市的第四大河流,属于浑河的分支。其流域湿地广布,为动植物提供重要的生境,是沈阳市生活及工农业生产的重要供水水源之一。在过去几十年中,随着流域经济的不断发展,工业、农业及城市化带来水土流失、流域生境破坏等一系列环境问题,严重影响流域生境质量和生态服务供给,威胁到区域的可持续发展。然而在沈阳市政府的规划引导下,坚持生态与经济协调发展,蒲河流域建设成为沈阳市重要的生态廊道。因此,在本研究中,选取 2000 年、2010 年、2020 年 3 个年份的 LUCC 数据探究蒲河流域的土地利用变化情况,利用 FRAGSTATS 对蒲河流域景观生态格局进行定量分析,基于 InVEST 模型分析蒲河景观空间格局栖息地质量变化,探究土地利用与生境质量响应

机制,为蒲河流域的生态环境保护及土地资源高水平开发提供了指导方法。

1 研究区概况

蒲河属浑河水系($122^{\circ}40'48''-123^{\circ}06'32''E$, $41^{\circ}21'53''-42^{\circ}04'15''N$),是浑河右岸的主要支流,辽宁省四条大型河流之一。主干河流长度 205 km,流域面积约为 $2\,610\text{ km}^2$,其中沈阳境内河长 179.72 km,流域面积为 $2\,268\text{ km}^2$ ^[17-18],包括有仙子湖、丁香湖、秀湖三大天然湖泊及辽中湿地(图 1)。研究区发源于其铁岭县横道河子想儿山,经棋盘山风景区上游望滨乡流入沈阳境内 5 个县(区),于辽中县老关坨乡汇入浑河。地势较为平缓,东北方向地势较高,向西南处地势较低延伸,属于大陆性季风气候,年平均气温 $8.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 647.4 mm,境内物种资源丰富^[19],如国家一级保护动物“斑海豹”和国家重点保护植物“野大豆”,体现其在自然保护中的价值。蒲河不仅是沈阳市生活用水的主要来源,而且作为重要生态廊道,对城市生态环境起到关键作用^[20]。

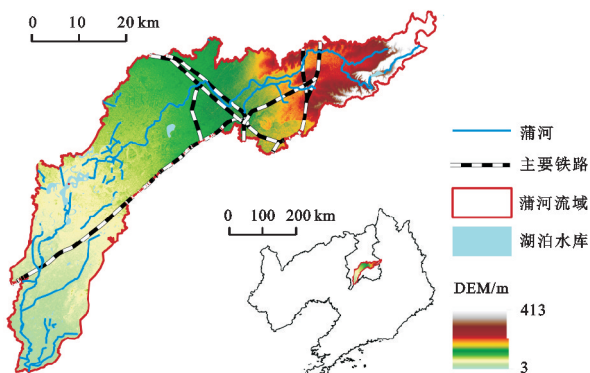


图 1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究采用的主要数据为:(1)土地利用数据,于中国科学院资源环境科学与数据中心^[21]分别选取 2000 年、2010 年、2020 年土地利用数据,空间分辨率为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$,按照土地利用分类标准(GB/T 21010—2017),将土地类型分为建设用地、林地、水域、裸地、草地、耕地 6 类;(2)DEM 数据,来源于地理空间数据云平台,并基于 DEM 提取坡度数据;(3)道路数据,选取铁路及道路分布数据衡量城市化进程。具体数据信息来源见表 1。

2.2 研究方法

本研究将土地利用转移矩阵、景观格局指数和生境质量评估的结果进行整合分析,基于土地利用转移矩阵,采用景观格局指数定量分析土地利用变化对于景观结构的影响;根据土地利用变化和景观格局变化

数据,采用 InVEST 模型进行生境质量评估,综合探究土地利用和景观格局变化对生境质量和功能的影响。这种整合分析提供一个完整的方法学框架,以理解研究区的生态变化,并为其他类似地区的土地管理和生态保护提供参考。

表 1 数据信息

Table 1 Data information

数据类型	数据名称	数据来源
土地利用数据	2000 年、2010 年、2020 年土地利用数据	中科院资源环境科学与数据中心(http://www.resdc.cn)
	DEM(数字高程数据)	地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)
地形因子	坡度	基于 DEM 提取
道路数据	铁路及道路分布数据	OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org)

2.2.1 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵^[22]是研究土地利用变化和转移过程的重要工具,本研究选取 2000 年、2010 年、2020 年土地利用数据,依据 LUCC 分类体系将 22 种次级地类分成耕地、森林、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地、冰川和永久积雪、海域共 11 类,其中本研究区包含耕地、森林、草地、湿地、水体、人造地表 6 类。将收集的土地利用数据进行分类编码,建立转移矩阵,矩阵的行代表起始时间点的土地利用类型,列代表目标时间点的土地利用类型,严格保证行列数一致。

2.2.2 景观格局指数 景观格局指数是用于描述和量化地表景观特征的统计指标^[23]。本研究采用 FRAGSTATS 4.2 软件选取蔓延度指数(CONTAG)、最大斑块指数(LPI)、斑块形状指数(LSI)和斑块密度(PD)4 种景观格局指数。由表 2 可知,揭示地表特征的变化和变化趋势,为生态研究和水土资源管理和环境保护提供定量信息。

表 2 景观指数的生态学含义

Table 2 Ecological implications of the landscape index

景观指数	生态学含义
最大斑块指数 (LPI)	某一类型斑块占据整个景观面积的比例,其值的大小决定着景观的优势种、内部种等生态学特征。用于确定景观中优势斑块的类型
斑块密度 (PD)	表现某种斑块在景观中的密度,可反映出景观整体的异质性以及某一类型的破碎化程度,反映景观单位面积上的异质性
景观形状指数 (LSI)	能够综合反映地类的面积与异质程度
景观蔓延度 (CONTAG)	指标描述的是景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势

2.2.3 InVEST 模型 InVEST 模型是通过评估环境中的胁迫因子和景观敏感度来计算生境质量。本研究主要基于 InVEST3.13.0 中的 Habitat Quality 模块^[24]对研究区的生境质量指数的优劣进行评估。生境质量指数是 InVEST 模型对于生境质量的无量综合性指标。

生境质量指数公式为:

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

式中: Q_{xj} 为第 j 种景观类型 x 栅格单元的生境质量指数; H_j 为第 j 中 Q_{xj} 为第 j 种景观类型 x 栅格单元的生境质量指数; H_j 为第 j 种景观类型的生境适宜性分值,取值范围为 $0 \sim 1$; z 为尺度常数,一般取 2.5; k 为半饱和常数 Q_{xj} 的值,介于 $0 \sim 1$, Q_{xj} 值接近 0 表示栖息地质量低, Q_{xj} 值接近 1 表示栖息地质量高。

生境退化程度:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^R W_r} \right) \times r_y \times i_{rxy} \times \beta_x \times S_{jr} \tag{2}$$

式中: W_r 为每个威胁因素的权重; r_y 为威胁因素的强度; β_x 为栖息地的抗干扰水平; S_{jr} 为不同栖息地对不同威胁因素的相对敏感性。栖息地退化程度为 $0 \sim 1$, D_{xj} 值接近 1, 表明栖息地退化程度高。

根据蒲河流域的实际情况,结合 InVEST 模型手册及前人^[25-28]对于生态保护区的研究,将研究区内水田、旱地、居民地(城镇用地和农村居民点)、沙地、盐碱地、裸土(裸土地和裸岩石质地)和主要交通干道定义为威胁因子,并将其影响范围及权重、生境适宜度、生境对威胁因子的敏感程度等参数进行设置(表 3 和表 4)。

表 3 研究区威胁因子权重

Table 3 Threat factor weight of study area

胁迫因子	最大影响距离	权重	衰退类型
耕地	5	5.0	指数
城镇用地	9	1.0	指数
农村聚集点	6	0.6	指数
其他建设用地	2	1.0	指数
未利用地	1	0.4	线性
道路用地	6	0.6	线性

表 4 各类型景观对威胁因子的敏感度

Table 4 Sensitivity of landscape types to threat factors

生境类型	生境适宜性指数	耕地	城镇用地	农村聚集点	其他建设用地	未利用地	道路用地
耕地	0.4	0	0.8	0.6	0.7	0.4	0.5
有林地	1.0	0.7	0.9	0.8	0.8	0.5	0.9
灌木林地	1.0	0.6	0.8	0.6	0.7	0.4	0.9
疏林地	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.5	0.9
其他林地	0.6	0.7	0.8	0.7	0.8	0.4	0.9
高覆盖度草地	0.9	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
中覆盖度草地	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
低覆盖度草地	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
城镇用地	0	0	0	0	0	0	0
农村聚集点	0	0	0	0	0	0	0
其他建设用地	0	0	0	0	0	0	0
水体	0.8	0.4	0.7	0.6	0.7	0.4	0.8
未利用地	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5	0	0.5

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

通过比较蒲河流域 2000 年、2010 年、2020 年土地利用变化统计数据(表 5)可知,蒲河流域的主要覆被类型为耕地和人造表面,其次是草地、森林和水体,最后是湿地。其中,耕地是最大的斑块;人造地表主要集中在东北部的城市中心,向外呈现点状分布;湿地和水体主要集中在蒲河中段;森林草地主要集中在研究区的东北部区域。20 年间,耕地和人造表面的面积占比最高达到 67.92%和 18.88%,超过总面积的 85.00%。2000—2010 年期间,耕地开发活动密集,耕地面积增加,大量森林草地转化为农业用地,其中

森林和草地的变化率分别为 -5.50% 和 -6.05% , 出现明显下降;到 2020 年,人造地表、森林和草地面积占比为 20.83%,4.37%,4.71%,基本恢复至 2000 年相同水平。

由图 2 可知,蒲河流域耕地占比达 65%以上,分布广泛;人造地表占比 19%~21%,主要集中于东北部,东北—西南向分布较为分散;森林和草地东北部密集程度较高,其余呈点状零星分布于蒲河流域;湿地占比较少,主要分布在东北部森林、草地周围;水体自西南—东北向线性分布,其中西南处地势平缓处形成较大湖泊,蒲河流域降雨量丰富,且主要用于农业灌溉,无明显变化差异。

表 5 2000—2020 年蒲河流域土地利用面积变化

Table 5 Land use area change in Pu River Basin from 2000 to 2020

土地类型	2000 年		2010 年		2020 年		2000—2010 年	2010—2020 年
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	变化率/%	变化率/%
森林	104.55	4.61	99.07	4.37	104.21	4.59	-5.55	4.93
耕地	1 484.20	65.44	1 540.40	67.92	1 482.69	65.37	3.64	-3.89
湿地	6.91	0.30	6.93	0.31	6.90	0.41	0.29	-0.43
草地	106.91	4.72	100.81	4.44	106.81	4.71	-6.05	5.62
水体	92.45	4.08	92.57	4.08	92.43	4.09	0.13	-0.15
人造地表	472.98	20.85	428.22	18.88	472.35	20.83	-10.45	9.34

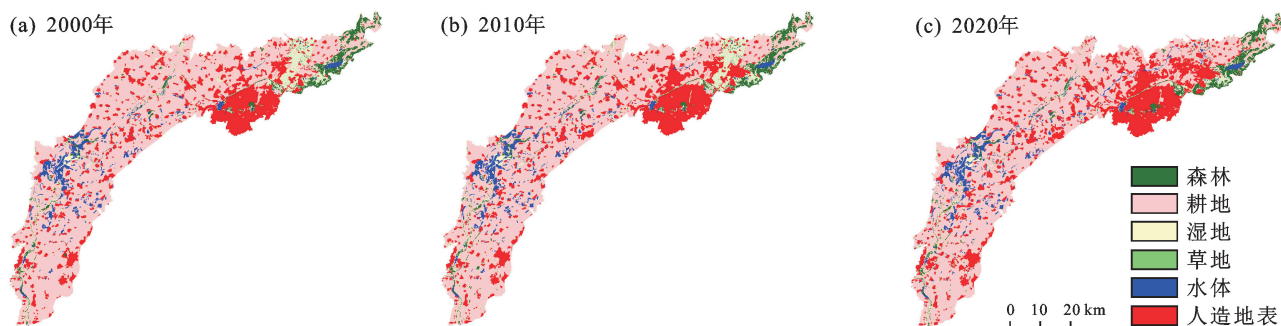


图 2 2000—2020 年研究区土地利用空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of land use in the study area from 2000 to 2020

由图 3 可知,从 2000—2010 年期间,人类活动导致地表格局发生显著变化,主要表现为向耕地转化的趋势。其中,人造地表向耕地转移的比例达到 11.30%;草地、森林和湖泊向耕地的转移也较为显著,分别占 7.74%,7.87%和 3.93%。然而,湿地面积并未呈现出明显的变化趋势。而在 2010—2020 年期间,人造地表、草地和森林的面积均呈现出增长的状态,并且增长速度明显加快,这种增长主要集中在蒲

河流域的东北部地区。城镇中心进一步集聚于环境资源丰富的东北部地区,这也在人造地表的分布上得到体现,尤其是人造地表主要集中于东北部的草地和森林附近。

与此同时,东北部的耕地面积进一步减少,农业中心向西南方向转移。蒲河的水体分布主要呈线状分布,从西南向东北延伸,并未出现明显的水域面积缩减。

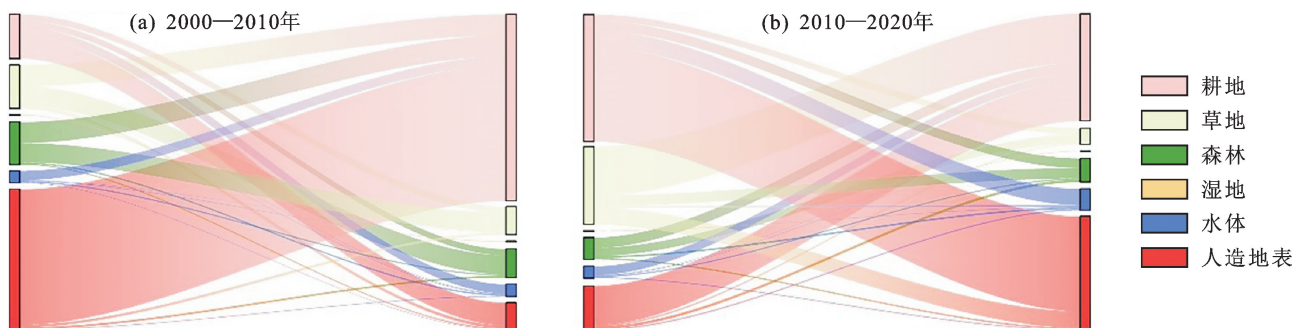


图 3 2000—2020 年研究区土地利用转移

Fig. 3 Land use transfer in the study area from 2000 to 2020

3.2 景观格局分析

从图 4 可以看出,在 2000—2020 年期间,蒲河流域的景观指数经历显著的变化。20 年间,斑块密度(PD)和景观形状指数(LSI)呈现下降后增加的趋势,最大斑块密度(LPI)和景观蔓延度指数(CONTAG)相对稳定。2000—2010 年 PD 值下降 19.248 km², LSI 稍有减小,CONTAG 与 LPI 最高值依然不变。2010—2020 年 PD 值上升 10.182 km²。LSI 稍有增

加,CONTAG 与 LPI 最高值不变。分析景观格局指数的空间分布,在蒲河河道两岸景观具有多种要素集合的密集格局,景观的破碎化程度较高。而其空间格局的改变主要集中于城市中心北部边缘,此处 LPI 值下降,CONTAG 值升高。2000—2010 年研究区大部分景观破碎化情况得到改善,斑块形状趋于规则,能为内部生境提供更稳定的条件,最大斑块没有发生改变,但在城市中心北部边缘地带,生境破碎化加剧。

2010—2020 年景观破碎化程度增加, 斑块形状趋于不规则, 边缘效应增强, 最大斑块没有发生改变。综上, 结合表 2 景观格局指数的生态学意义分析, 20 年间, 景观破碎化的情况有所改善, 景观形状趋于规则,

城市中心北部边缘呈现出破碎化的趋势。为了更具体地分析 2000—2010 年期间的耕地开垦及自 2009 年生态廊道建设对生态环境的影响, 有必要进行生境质量分析。

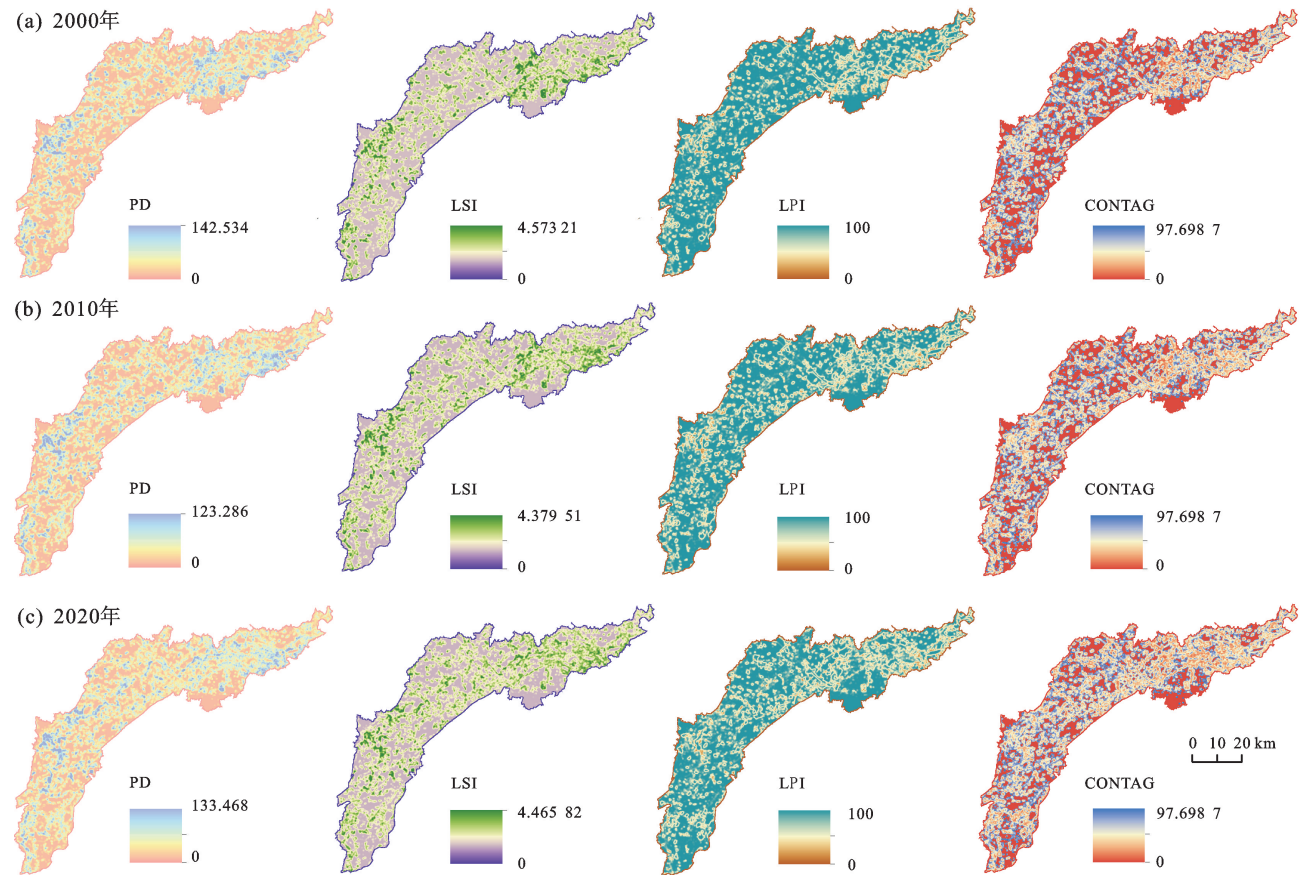


图 4 蒲河流域 2000—2020 景观格局指数空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of landscape pattern index in Pu River Basin from 2000 to 2020

3.3 生境质量分析

3.3.1 生境质量时空格局演变 由表 6 可知, 在 2000 年、2010 年、2020 年蒲河流域的生境质量平均值分别为 0.349, 0.329, 0.354。总体生境质量较差, 并在宏观上呈现出先下降后上升的趋势。

表 6 蒲河流域 2000—2020 年生境质量与退化度平均值统计

Table 6 Average statistics of habitat quality and degradation from 2000 to 2020				
年份	生境质量 最高值	生境质量 均值	生境退化度 最高值	生境退化度 平均值
2000	0.906 967	0.349	0.568 742	0.098
2010	0.923 535	0.329	0.666 075	0.112
2020	0.965 323	0.354	0.665 372	0.086

为了进一步探究蒲河流域生境质量的空间分布, 本文基于 ArcGIS 软件采用相等间隔法将 InVEST 模型的运行结果分为 5 个等级, 分别为: 差(0~0.2), 较差(0.2~0.4), 中(0.4~0.6), 较好(0.6~0.8), 优

(0.8~1.0)。由表 7 可知, 高质量生境区域占比最少, 从 15.11 km² 降至 6.34 km², 到 2020 年增至 9.75 km², 整体低于 2000 年。良好与中等生境面积持续减少, 差与较差生境质量面积持续增加。其中, 中等生境质量面分别为 1 512.20, 1 365.12, 1 244.24 km², 占比超过 60%, 总体生境质量主要受中等生境质量面积影响。

由图 5 可知, 蒲河流域生境质量空间差异显著, 东北、西南各有 1 处生境质量较高区域, 结合土地利用及地形分析发现, 东北地势较高, 山脉纵横, 植被广布, 交通不便; 蒲河流域湿地广布, 人迹罕至, 总体受人类活动影响较弱。在 2010—2020 年间, 城市中心北部边缘生境质量明显提高。在沈阳市中心城区及村庄地区生境质量总体较差, 城市化程度较高, 周围也以农田为主。整体看来, 生境质量的空间格局具有以城市中心为核心, 向外点状扩散的特征。

表 7 蒲河流域 2000—2020 年生境质量面积统计

Table 7 Overall landscape pattern index from 2000 to 2022

生境得分	2000 年		2010 年		2020 年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
0~0.2	272.39	14.31	359.51	18.89	272.39	14.31
0.2~0.4	9.56	0.51	83.06	04.37	303.58	15.95
0.4~0.6	1 512.20	79.46	1 365.12	71.73	1 244.24	65.39
0.6~0.8	93.79	4.93	89.08	04.68	73.14	03.84
0.8~1.0	15.11	0.79	6.34	0.33	9.75	0.52

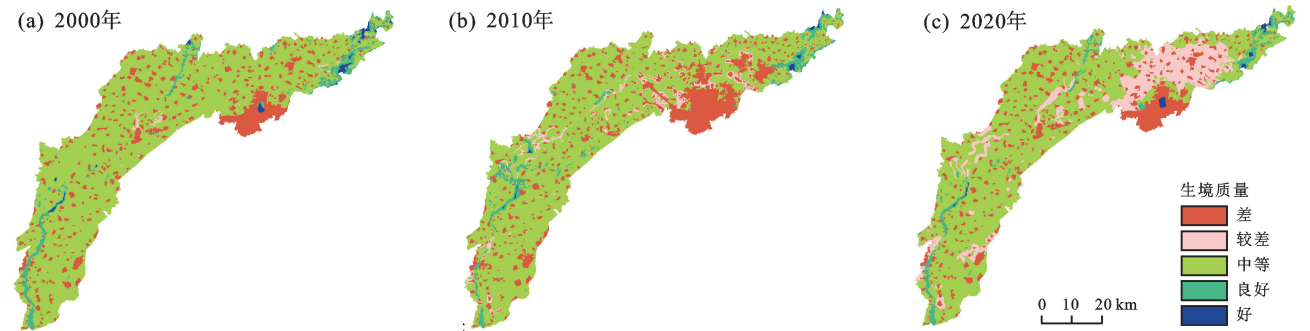


图 5 2000—2020 年研究区生境质量时空变化

Fig. 5 Temporal and spatial changes of habitat quality in the study area from 2000 to 2020

3.3.2 生境退化时空分布特征 由表 6 可知,2000—2020 年期间,蒲河流域的生境退化平均值分别为0.098, 0.112,0.086,总体趋势呈现出先增大后减小的趋势,与生境变化趋势相吻合。为进一步探究蒲河流域的时空动态演变过程,根据现有研究^[29],将生境退化分为轻度退化区(0~0.2)、中度退化区(0.2~0.4)和高度退化区(0.4~0.7)。由表 8 可知,2000—2010 年主要表现为高度退化区减少 18.03 km²,中度退化区增加 18.10 km²。2010—2020 年,高度退化区减少 12.43 km²,轻度退化区增加 11.66 km²,中度退化区变化不明显。

表 8 蒲河流域 2000—2020 年生境退化面积统计

Table 8 Statistical table of habitat degradation area in Pu River Basin from 2000 to 2020

等级	生境得分	2000 年		2010 年		2020 年	
		面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
轻度退化区	0~0.2	1 739.42	91.40	1 739.49	91.40	1 751.15	92.02
中度退化区	0.2~0.4	92.82	4.88	110.83	5.82	111.58	5.86
高度退化区	0.4~0.7	70.83	3.72	52.80	2.78	40.37	2.12

4 讨论

探究蒲河流域的土地覆盖类型的时空变换、景观格局分布及生境质量的时空演变对于小型流域水土保持政策的具体实施具有重要指导作用。从土地利用变化来看,在 2000—2010 年这段时间内,在西南部区域蒲河流域的农业开垦活动十分集中,导致不同土地利用类型向耕地的转变成为主要趋势。而在 2010—2020 年期间,沈阳市对蒲河生态廊道进行规划和基础建设,其中包括植树造林、退耕还林等一系列水土保持政策的实施^[30-31]。2009 年,沈阳市将营

造生态宜居型城市作为建设发展主旨,进一步拓展向北的发展空间。因此沈阳市政府将蒲河流域的湿地、水体资源进行保护性建设,加强对蒲河流域生态治理,提出建设蒲河生态廊道的战略部署^[32],加大对林草的种植,发展至 2020 年,人造地表、森林和草地面积占比为 20.83%,4.37%,4.71%,基本恢复至 2000 年相同水平。

在景观格局和生境质量方面,两者变化的主要原因是受到土地利用格局分布变化的影响^[33-34]。2000—2010 年期间,城市的急剧扩张导致研究区的东北部耕

地、草地等景观形态质量高、生境适宜度较高的地类转为建设用地等相对景观形态质量低、生境适宜度低的人造地表。这种地物转换在人工地表、草地、森林和耕

地之间引起显著的景观格局变化,尤其表现在(中部和东部)的斑块数量的减少和斑块密度的降低,同时伴随着东南部生境质量较差地区的大面积蔓延。

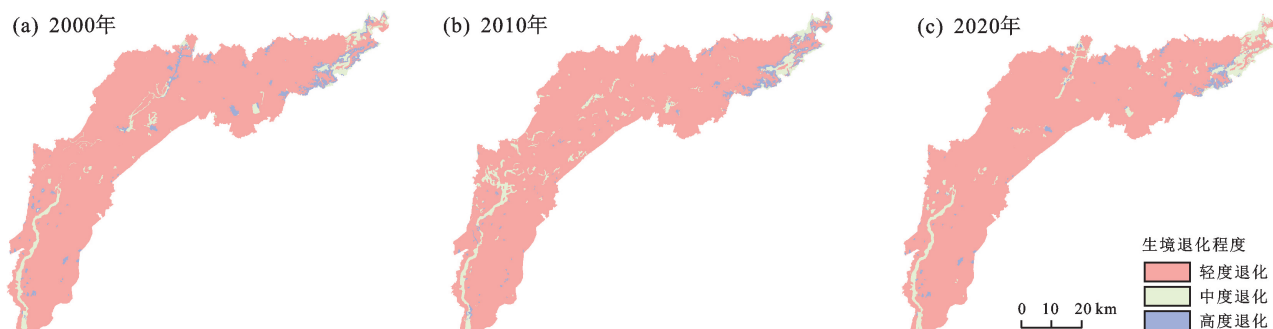


图6 2000—2020年研究区生境退化度时空变化

Fig. 6 Temporal and spatial changes of habitat degradation in the study area from 2000 to 2020

2010—2020年期间,随着蒲河生态廊道的建设,对景观格局产生进一步的影响。虽然由于土地利用变化的影响,整体景观格局破碎度增加,但是整体的斑块数量和斑块密度都有所增加,表明该生态廊道对蒲河流域的景观格局具有一定的塑造作用。此外,生态廊道的建设对生境质量也起到一定的影响,人造地表面积增加的同时并未引起城市区域生境退化威胁,这是由于人造地表面积主要用于生态公园的建设,同时在人造地表附近实施退耕还林政策,其主要来源为东北部城镇中心周围的耕地,森林和草地得到进一步丰富,生境质量得到明显的改善。这控制原有生境质量较差地区的继续蔓延,表明生态廊道的建设对蒲河流域整体的生境质量有积极的促进作用^[35]。在今后的规划中应减少耕地面积和建设用地的扩张,同时积极推进城市生态廊道的建设。

本研究主要利用景观格局指数和 InVEST 模型,但是在生境质量的实际应用中存在局限,主要表现为在生境质量评估处理过程中,由于不同区域存在一定特殊性与差异性,后续可以通过建立区域化指标或建立监测样点等方式提升生境质量参数的精细化与精准化。

5 结论

(1)土地覆被类型的时空变化:2000—2010年,蒲河流域的土地覆被类型主要由耕地和人造地表构成,其次为草地、森林和水体,湿地占比相对较少。以2009年沈阳市生态廊道计划为时间分界,2000—2010年,耕地的开垦对其他土地类型造成侵占,导致人造地表、草地和森林向耕地转变。而2010—2020年,在生态廊道建设的推动下,人造地表及生态保护区的发展集中在东北部,耕地面积减少,农业中心进一步向西南偏移,以实现农业经济、城市建设和生态保护的平衡发展。

(2)景观格局的时空演变:20年间,蒲河流域的整体景观格局经历先趋于完整后破碎化的演变过程,蒲河河道两岸景观具有多种要素集合的密集格局,中心北部边缘地区,生境持续的破碎化。

(3)生境质量时空演变:蒲河流域生境质量与生境退化指数均呈现出先下降后上升的趋势,并在东北部与西南部呈现出明显的空间分布特征。东北山区、西南湿地等区域生境质量总体较好,但是有着生境退化的威胁。在2010—2020年期间,受到生态保护措施加强的影响,东北部地区的生境质量水平显著提升。相对地,西南部地区继续推进农业发展,其生境质量并未出现明显的变化。

参考文献:

- [1] LIANG X, GUAN Q F, CLARKE K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, 85: e101569.
- [2] 宋卫信, 张锋, 刘荣堂. 生境破坏的模式对集合种群动态和续存的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4815-4819.
SONG W X, ZHANG F, LIU R T. The effect of habitat destruction pattern on the dynamics and persistence of metapopulation[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4815-4819.
- [3] DENG Y H, WANG S J, BAI X Y, et al. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical Karst area [J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): e641.
- [4] 陈伊多, 杨庆媛. 西藏自治区土地利用/覆被变化时空演变特征及驱动因素[J]. 水土保持学报, 2022, 36(5): 173-180.
CHEN Y D, YANG Q Y. Temporal and spatial characteristics and driving factors of land use/cover change in Tibet Autonomous Region[J]. Journal of Soil and Water

- Conservation, 2022, 36(5): 173-180.
- [5] 黄安东, 赵明松, 郜敏, 等. 1980—2020 年安徽省土地利用时空演化特征[J]. 科学技术与工程, 2022(11): 4627-4635.
HUANG A D, ZHAO M S, GAO M, et al. Characteristics of spatio-temporal evolution of land use in Anhui Province from 1980 to 2020[J]. Science Technology and Engineering, 2022(11): 4627-4635.
- [6] 曾辉, 刘国军. 基于景观结构的区域生态风险分析[J]. 中国环境科学, 1999, 19(5): 454-457.
ZENG H, LIU G J. Analysis of regional ecological risk based on landscape structure[J]. China Environmental Science, 1999, 19(5): 454-457.
- [7] 汪东川, 张威, 王志恒, 等. 拉西瓦水电站建设对区域景观格局与生境质量的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(3): 200-205.
WANG D C, ZHANG W, WANG Z H, et al. Impact of Laxiwa hydropower station construction on the regional landscape pattern and habitat quality[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(3): 200-205.
- [8] 涂雯, 吴静雯, 马理辉, 等. 水土保持措施驱动村域土地利用景观格局变化: 以米脂县高西沟村为例[J]. 水土保持学报, 2023, 37(3): 147-154.
TU W, WU J W, MA L H, et al. Soil and water conservation measures drive the change of land use landscape pattern in the village: A case study of Gaoxigou Village in Mizhi County[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2023, 37(3): 147-154.
- [9] 奥勇, 蒋嶺峰, 白召弟, 等. 基于格网 GIS 的黄河流域土地生态质量综合评价[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 164-175.
AO Y, JIANG L F, BAI Z D, et al. Comprehensive evaluation of land ecological quality in the Yellow River Basin based on Grid-GIS[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 164-175.
- [10] 马月伟, 潘健峰, 蔡思青, 等. 生态系统服务社会价值与生态价值的权衡与协同关系: 以普达措国家公园为例[J]. 地理科学, 2022, 42(7): 1283-1294.
MA Y W, PAN J F, CAI S Q, et al. Trade-offs and synergies between social value and ecological value of ecosystem services: A case study of the Potatso National Park[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(7): 1283-1294.
- [11] HU W M, LI G, GAO Z H, et al. Assessment of the impact of the Poplar Ecological Retreat Project on water conservation in the Dongting Lake wetland region using the InVEST model[J]. The Science of the Total Environment, 2020, 733: e139423.
- [12] XIAO P N, ZHOU Y, LI M Y, et al. Spatiotemporal patterns of habitat quality and its topographic gradient effects of Hubei Province based on the InVEST model[J]. Environment, Development and Sustainability, 2023, 25(7): 6419-6448.
- [13] HUANG C, ZHANG C C, LI H. Assessment of the impact of rubber plantation expansion on regional carbon storage based on time series remote sensing and the InVEST model[J]. Remote Sensing, 2022, 14(24): e6234.
- [14] 高庆彦, 潘玉君, 刘化. 基于 InVEST 模型的大理州生境质量时空演化研究[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(3): 402-408.
GAO Q Y, PAN Y J, LIU H. Spatial-temporal evolution of habitat quality in the Dali Bai autonomous prefecture based on the InVEST model[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(3): 402-408.
- [15] 龙花楼, 王文杰, 翟刚, 等. 安徽省土地利用变化及其驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(6): 526-530.
LONG H L, WANG W J, ZHAI G, et al. Analysis on land use changes and their driving forces in Anhui Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002, 11(6): 526-530.
- [16] 戚丽萍, 栾兆擎, 魏勉, 等. 基于土地利用的江苏省各市生态系统服务价值时空变化研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(4): 200-208.
QI L P, LUAN Z Q, WEI M, et al. Spatial and temporal variations of ecosystem service values in Jiangsu Province based on land-use change[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(4): 200-208.
- [17] 王立阳, 李斌, 李佳熹, 等. 沈阳市典型城市河流优先控制污染物筛选及生态环境风险评估[J]. 环境科学研究, 2019, 32(1): 25-34.
WANG L Y, LI B, LI J X, et al. Priority pollutants and their ecological risk in typically urbanized river of Shenyang[J]. Research of Environmental Sciences, 2019, 32(1): 25-34.
- [18] 张译珊, 范婷婷. 新型城镇化与乡村振兴融合下的沈阳近郊城乡空间发展评估与建议: 以沈阳蒲河生态经济带为例[J]. 住宅与房地产, 2019(36): 238-239.
ZHANG Y S, FAN T T. Evaluation and suggestions on spatial development of urban and rural areas in Shenyang suburb under the integration of new urbanization and rural revitalization: A case study of Puhe ecological economic belt in Shenyang[J]. Housing and Real Estate, 2019(36): 238-239.
- [19] 韩博, 周丽丽, 范昊明, 等. 蒲河流域径流模拟与模型评价[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(5): 615-618.
HAN B, ZHOU L L, FAN H M, et al. Runoff simulation and model evaluation in the Puhe River Basin[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2012, 43(5): 615-618.
- [20] 姜永伟. 蒲河流域大型底栖无脊椎动物群落结构及水质

- 评价[J].现代农业科技,2015(9):207-209.
- JIANG Y W. Community structures of macrozoobenthos and assessment of water quality in Pu river basin[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015(9): 207-209.
- [21] 刘美娟,仲俊涛,王蓓,等.基于 InVEST 模型的青海湖流域产水功能时空变化及驱动因素分析[J].地理科学, 2023,43(3):411-422.
- LIU M J, ZHONG J T, WANG B, et al. Spatiotemporal change and driving factor analysis of the Qinghai Lake Basin based on InVEST model[J].Scientia Geographica Sinica, 2023,43(3):411-422.
- [22] 钱凤魁,逢然然,于洋,等.辽宁省不同地貌区耕地景观格局与耕地质量空间关联特征及作用机制[J].中国生态农业学报(中英文),2023,31(1):113-124.
- QIAN F K, PANG R R, YU Y, et al. Spatial correlation characteristics and mechanism of cultivated land landscape pattern and cultivated land quality in different geomorphic areas of Liaoning Province [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023, 31 (1): 113-124.
- [23] WANG A, ZHANG M M, AL KAFY A, et al. Predicting the impacts of urban land change on LST and carbon storage using InVEST, CA-ANN and WOA-LSTM models in Guangzhou, China[J].Earth Science Informatics, 2023,16(1):437-454.
- [24] RAJASEKAR A, PILLAI A R, ELANGO VAN R, et al. Risk capacity and investment priority as moderators in the relationship between big-five personality factors and investment behavior: A conditional moderated moderated-mediation model[J].Quality and Quantity, 2023, 57(3):2091-2123.
- [25] 潘韬,吴绍洪,戴尔阜,等.基于 InVEST 模型的三江源区生态系统水源供给服务时空变化[J].应用生态学报, 2013,24(1):183-189.
- PAN T, WU S H, DAI E F, et al. Spatiotemporal variation of water source supply service in Three Rivers Source Area of China based on InVEST model [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24 (1): 183-189.
- [26] WANG B X, CHENG W M. Effects of land use/cover on regional habitat quality under different geomorphic types based on InVEST model [J]. Remote Sensing, 2022,14(5):e1279.
- [27] 刘树锋,陈记臣,关帅,等.基于 InVEST 模型的杨溪河流域土地利用变化对水源涵养功能的影响[J].科学与技术,2022,22(12):4746-4751.
- LIU S F, CHEN J C, GUAN S, et al. Influence of land use change on water conservation function in Yangxi River Basin based on InVEST model[J].Science Technology and Engineering, 2022,22(12):4746-4751.
- [28] CHU L, SUN T C, WANG T W, et al. Evolution and prediction of landscape pattern and habitat quality based on CA-markov and InVEST model in Hubei section of Three Gorges Reservoir area (TGRA) [J]. Sustainability, 2018,10(11):e3854.
- [29] 岳文泽,夏皓轩,吴桐,等.浙江省生境质量时空演变与生态红线评估[J].生态学报,2022,42(15):6406-6417.
- YUE W Z, XIA H X, WU T, et al. Spatio-temporal evolution of habitat quality and ecological red line assessment in Zhejiang Province[J].Acta Ecologica Sinica, 2022,42(15):6406-6417.
- [30] 齐常清,杨滨章.绿色基础设施理念下蒲河廊道生态建设研究[J].山西建筑,2014,40(7):209-211.
- QI C Q, YANG B Z. Research on ecological construction of Puhe corridor under green infrastructure idea[J].Shanxi Architecture, 2014,40(7):209-211.
- [31] 王阳.蒲河生态廊道建设初探[J].科技资讯,2012,10(7):e137.
- WANG Y. Preliminary study on the construction of ecological corridor in Puhe River[J].Scienceand Technology Information, 2012,10(7):e137.
- [32] 荆勇,崔涤尘.蒲河水生态修复工程与功效评估[J].环境保护科学,2017,43(4):85-89.
- JING Y, CUI D C. Puhe river water ecological restoration projects and efficacy evaluation[J].Environmental Protection Science, 2017,43(4):85-89.
- [33] 蒙莎莎,陆汝成,庞晓菲.2000—2020 年广西陆地边境地区生境质量演变[J].水土保持研究,2023,30(6):376-385.
- MENG S S, LU R C, PANG X F. Evolution of habitat quality in the land border areas of Guangxi from 2000 to 2020[J].Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(6):376-385.
- [34] 杜峯屹,陈松林,蒲佳豪.2000—2020 年闽东南地区土地利用变化及生境质量时空演变[J].水土保持研究,2023, 30(6):345-356.
- DU F Y, CHEN S L, PU J H. Land use change and spatiotemporal evolution of habitat quality in southeastern Fujian from 2000 to 2020[J].Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(6):345-356.
- [35] 郭玉佳,刘世梁,董玉红,等.基于景观格局和生态系统服务的生态廊道修复成效评估指标体系[J].中国生态农业学报(中英文),2023,31(10):1525-1538.
- GUO Y J, LIU S L, DONG Y H, et al. An indicator system for effectiveness evaluation of ecological corridor restoration based on landscape patterns and ecosystem services[J].Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023,31 (10):1525-1538.