

DOI: 10.5846/stxb202112243648

陈慧敏, 赵宇, 付晓, 吴钢. 西辽河上游生境质量时空演变特征与影响机制. 生态学报, 2023, 43(3): 948-961.

Chen H M, Zhao Y, Fu X, Wu G. Characteristics of spatio-temporal evolution and influence mechanism of habitat quality in the upper reaches of the West Liaohe River. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(3): 948-961.

西辽河上游生境质量时空演变特征与影响机制

陈慧敏^{1,2}, 赵宇^{1,*}, 付晓¹, 吴钢^{1,2}

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 西辽河上游是我国辽河流域的重要水源地, 其生境质量的好坏关系到下游流域生态安全和人类福祉。然而针对西辽河上游生境质量及其影响机制的研究还有待深入。基于 ArcGIS 软件、InVEST 模型, 定量分析了西辽河上游 1980—2018 年土地利用和生境质量的时空演变特征; 并进一步探究了西辽河上游生境质量变化的主要驱动因子。结果表明: (1) 1980—2018 年, 西辽河上游草地面积较 1980 年下降了 21.93%, 其中大部分转化为林地 (7719.09 km²)、耕地 (6014.90 km²) 和裸地等 (3025.71 km²) 等, 各斑块的空间分布异质性增加; 尽管研究期内, 林地面积较基期大幅度提升了 48.67%, 但全区域平均生境质量指数由 0.74 下降到 0.72。(2) 该地区无论在区域本底环境和区域社会经济发展水平上, 均对于西辽河上游的生境质量改善产生了积极作用, 年均气温 (0.218)、降水 (0.229)、地区生产总值 (0.850) 和受教育程度 (0.132) 与生境质量指数呈现较为明显的正相关关系; 然而, 本地区城镇化速率 (-1.137)、景观分离度指数 (-0.532) 和道路的扩张 (-0.394) 与生境质量指数呈现较为明显的负相关, 可见快速的城镇化所引起的人类活动加剧是导致区域生境质量的下降的重要诱因。本研究旨在为平衡区域发展和生态保护, 为以半干旱农牧交错带地区为代表的生态脆弱区可持续发展提供科技支撑。

关键词: 西辽河上游; 生境质量; 土地利用变化; 时空演变; InVEST 模型

Characteristics of spatio-temporal evolution and influence mechanism of habitat quality in the upper reaches of the West Liaohe River

CHEN Huimin^{1,2}, ZHAO Yu^{1,*}, FU Xiao¹, WU Gang^{1,2}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The upper reaches of the West Liaohe River is one of the most important water sources of the Liaohe River Basin in China, and the quality of its habitat is directly related to the ecological security and human well-being of the downstream basin. However, the relevant studies on the habitat quality about the upper reaches of the West Liaohe River is still relatively scarce, and further studies on its influencing mechanism also needs to be conducted. Based on the models of ArcGIS and InVEST, our study quantitatively analyze the spatial and temporal evolution characteristics of land use and habitat quality on the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018, what is more, we also further explored the main driving factors which caused the habitat quality changes during the 38 years. Several results have showed that: (1) From 1980 to 2018, the grassland patches area in the upper reaches of the West Liaohe River decreased by 21.93% compared with that in 1980, most of which has been converted into forest (about 7719.09 km²), farmland (about 6014.90 km²) and bareland (about 3025.71 km²). Meanwhile, the spatial heterogeneity of the land use patches in the study area

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0503603)

收稿日期: 2021-12-24; 网络出版日期: 2022-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuzhao1@rcees.ac.cn

has increased. Although the area of forest land patches increased by 48.67% compared with the that in 1980, the average habitat quality index of the whole area has dropped from 0.74 to 0.72. (2) Over the past 38 years, both the regional background environment and the level of regional social and economic development had played a positive role on the improvement of habitat quality in the upper reaches of the West Liaohe River. The factors, such as the annual average temperature, the precipitation, and the level of education, have shown significantly positively correlated with the habitat quality index, which regression coefficients were described as 0.218, 0.229, 0.850, 0.132 respectively. However, the factors, such as the urbanization rate, the splitting index, and the expansion of urban roads, have showed a negative relationship with the habitat quality index, which regression coefficients were expressed as -1.137, -0.532, and -0.394 respectively. It could be seen that the intensification of human activities caused by the rapid urbanization is an important inducement leading to the deterioration of the regional habitat quality. The study aimed to balance regional development and ecological protection about the upper reaches of the West Liaohe River. Moreover, it aimed to provide scientific and technological support for the sustainable development of ecologically fragile areas represented by semi-arid agro-pastoral ecotone.

Key Words: the upper reaches of the West Liaohe River; habitat quality; landuse change; spatio-temporal evolution; InVEST model

土地是自然生态环境与人类社会环境的重要载体,而土地利用变化被广泛认同为引起地表格局与生态环境变化的最主要驱动因素之一^[1-2]。生境质量通常被定义为生态系统为个体和种群提供适宜性、持续性生存条件的能力^[3],是生物多样性的重要表征^[4];土地利用类型的改变会影响生境斑块间的物质流、能量流等循环交换过程,改变区域景观分布的格局和功能,进而影响区域生境质量的好坏^[5]。一般来讲,区域生境质量的高低与生态系统本身与人类活动的邻接度及土地利用强度息息相关,周边土地利用强度的增大将会导致生境质量的衰退^[6-7]。近年来,我国新型工业、城镇化建设深入推进,中国国土空间开发利用格局发生了剧烈变化,建设空间、生态空间及生产空间格局发生了明显的重构^[8],这些变化均引起了局部区域栖息地空间(景观)格局的破碎、退化,甚至丧失,导致栖息地生物多样性和生态服务价值减少,进而影响人类福祉^[9]。当前,人类活动引起的土地利用变化所导致的生境质量改变的问题已经引起了国际社会的高度关注。

生境质量的测量或监测需要整合生态系统的多种特性,相较于传统地面数据采集方法耗时长且主观评价性较强的缺点^[10],目前,国内外学者在景观尺度上多采用指标体系方法^[11-13]或模型测算的方法。模型测算的方法具有准确性高、数据容易获取、成本低、可视性强等优势,如生境适宜性模型(HSI)、最大熵模型(MxEnt)、生态系统服务功能人工智能评估(ARIES)^[14]、SolVES(Social Values for Ecosystem Services)模型^[15]等,其中最成熟和最常用的模型是由美国斯坦福大学、明尼苏达大学、自然保护协会和野生动物基金协会联合开发的InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)模型^[16-17];国内外学者常用InVEST模型中的生境质量模块(Habitat Quality Model)进行生境质量评价,其优点在于建立了不同土地利用类型的适宜性与威胁之间的联系,然后根据不同生境对威胁源的敏感程度,评估不同景观格局下生境质量的分布和退化情况^[16]。如 Xu 运用 InVEST 模型对我国太湖地区生境质量的空间分布和演化特征进行了探究^[18];褚琳等利用 InVEST 模型对三峡地区北段生境质量进行评估^[19],并与 CA-Markov 相结合,模拟预测了武汉市未来模拟情景下的景观格局和生境质量^[20];Sallustio 等运用 InVEST 模型对意大利全国的生境质量进行分析评价^[7]。总体而言,InVEST 模型获取数据便利,能够以更少的参数提供重要的分析能力,易于操作、数据处理简单^[9,21];此外,它可以很容易地适应特定的背景和当地或全球现成的数据^[22],是目前阶段应用最广泛的生态系统功能评估模型^[17]。近年来,InVEST 生境质量模型已被广泛应用于评估土地利用变化和保护政策对陆地生境维持生物多样性的影响^[9,23],且在区域尺度生境质量对土地利用变化响应研究方面也成果斐然^[24-27],可推广性强、适用性高。因此,本研究利用 InVEST 模型针对典型区域开展生境质量演变特征的分析。

西辽河上游作为北方农牧交错带的典型区域,系总书记提出的北方生态屏障的重要组成部分和“三北防护林体系建设”中的国家级重点区域,也是我国重要的农牧生产基地,不可避免的也正经历着因人类生产生活所导致的土地利用类型发生改变^[28],如农田开垦与撂荒空间交错等,所导致的区域草原退化、生物多样性降低,区域生态系统受损、生态环境变差等问题。然而,目前针对西辽河上游的生境质量等生态系统服务的研究鲜有报道,且针对典型半干旱农牧交错带生境质量的研究还比较匮乏,特别是对其影响机制的研究还有待深入。

鉴于此,本研究选取西辽河上游这一我国北方农牧交错带的典型区域,在分析西辽河上游区域土地利用变化的基础上,利用 ArcGIS、InVEST 模型,评估分析了西辽河上游 1980—2018 年生境质量指数变化及其时空演变特征;并利用 SPSS 软件进行多元线性回归分析,探究生境质量时空演变的主要驱动因子。本研究旨在为西辽河上游土地管理和生态保护政策的制定提供科学依据,并为以北方农牧交错带为代表的生态脆弱区生态系统服务评估的完善以及生态可持续性发展提供参考。

1 研究区概况

西辽河上游地处燕山北麓、大兴安岭西南段与内蒙古高原向辽河平原的过渡地带,地理坐标为北纬 $41^{\circ}17'10''$ — $45^{\circ}24'15''$,东经 $116^{\circ}21'07''$ — $120^{\circ}58'52''$ 之间,总面积 90021 km^2 ^[29—30](图 1)。西辽河上游三面环山、西高东低、多山多丘陵的地貌特征,只有小块山间平地 and 沿河冲积平原,被称为“七山一水二分田”呈现出^[31]。全区域年平均气温的分布由西北向东南递增;年平均降水量为 381 mm ,水资源人均占有水量 851 m^3 ,属于典型的水资源匮乏和生态脆弱地区。西辽河上游覆盖内蒙古赤峰市绝大部分区域,下辖“三区二县七旗”。基于由北至南迥异的自然本底条件,兼具西拉沐伦河和老哈河两大水系涵养滋润,本区域的产业布局



图 1 西辽河上游位置示意图

Fig.1 Sketch map of the location of the upper reaches of the West Liaohe River

展现出牧区向半农半牧区、农区的过渡态势。北部区域与锡林郭勒草原和科尔沁草原交汇,拥有较大面积的自然草场资源;南部区域为传统的农业区,地理位置和气候特点非常适宜粮食生产和农业制种、育种,是全国首选的粮食生产基地之一;中部区域作为纯牧业和纯农业地区的过渡带,产业类型兼具畜牧业和农业生产的特点。由此,西辽河上游是典型的农牧交错带区域。

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

研究所需的 1980 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2018 年共计 8 期土地利用数据(30 m),均来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>),土地利用数据采用二级分类系统,分为耕地、林地、草地、水域、建设用地(城乡、工矿、居民用地)和其它用地(沙地、盐碱地、裸地、裸岩石质地等)6 个一级类型和 24 个二级类型。土地转移矩阵和景观格局指数的计算以土地利用数据为本底数据,揭示一定时间间隔内区域土地利用类型的格局特征和时空演变过程^[32-33]。路网数据来自于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>),对每一期高速公路、国家干线公路(国道)、省干线公路(省道)、县乡公路(县乡道)、乡村路和铁路等矢量道路图在 ArcGIS 中进行融合,得到 8 期路网数据威胁图层。本研究在影响机制分析时,选取 1980—2018 年西辽河上游年平均气温(℃)、年平均降水(mm)、分离度指数(SPLIT)、城镇化速率(%)、人均城市道路面积(m²)、地区生产总值(万元)及每万人高等学校在校学生数(人)为自变量,进行多元线性回归分析。除景观分离度指数由多年期土地利用数据计算而得,其余指标均来自《赤峰统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》。

2.2 景观格局分析方法

景观格局指数是反映景观结构组成、空间配置特征的简单量化指标,本研究利用 Fragstats 4.2 软件,从景观结构组成和空间配置两方面,从面积、形状指数、聚散性指标、多样性指标等方面选取具有代表性的 6 项景观格局指数^[34-35],如下表 1 所示。

表 1 景观格局指数指标选取及研究意义
Table 1 Index selection and its significance of landscape pattern

类别 Category	功能类型 Function types	指标名称 Index name	指标缩写 Abbreviation	指标描述 Indicator description
景观结构组成 Composition of landscape structure	面积/密度/边缘	斑块密度	PD	单位面积上的斑块数,利于比较不同大小景观间斑块细碎度
		最大斑块指数	LPI	某一斑块类型中的最大斑块占整个景观面积的比例,表征最大斑块对景观的影响程度
景观空间配置 Landscape space configuration	形状指标	景观形状指数	LSI	斑块周长与同面积圆形的周长之比,表征景观斑块形状的不规则程度,即形状复杂程度
		聚散性指标	分离度指数	SPLIT
	多样性指标	景观蔓延度指数	CONTAG	表征景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势
		香农多样性指数	SHDI	表征景观异质性,特别对景观中各斑块类型非均衡分布状况较为敏感

2.3 生境质量评估方法

本研究采用 InVEST 3.8.9 软件对西辽河上游 1980—2018 年的生境质量时空演变特征进行评估,结合土地利用状况和生物多样性威胁因素的信息生成生境质量地图。InVEST 模型中每个栅格的生境质量主要由以下两个因素决定:

(1)每一种威胁源的相对影响及生境栅格与威胁之间的距离,威胁 r 在栅格 x 的生境对栅格 y 的影响(r_y)用 i_{xy} 表示,用公式(1)和(2)表达:

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{r\max}} \right) \text{ if linear} \tag{1}$$

$$i_{rxy} = \exp \left(- \left(\frac{d_{xy}}{d_{r\max}} \right) d_{xy} \right) \text{ if exponential} \tag{2}$$

式中, d_{xy} 是栅格 x 和 y 之间的线性距离; $d_{r\max}$ 是威胁 r 的最大作用距离。参考相关文献, 并根据西辽河上游实际情况及专家的建议进行赋值, 威胁因子权重和影响距离如表 2 所示。

表 2 威胁因子权重和影响距离
Table 2 Threat factors' weight and influence distance

威胁源类型 Threat types	最大影响距离 Max influence distance	影响权重 Weight	距离递减率 Decay rate with distance
耕地 Farmland	3	0.7	线性
道路 Road	5	0.7	线性
建设用地 Urbanland	8	1	指数型
裸地等其它用地 Bareland	1	0.1	线性

(2) 每一种生境类型对每一种威胁的相对敏感性, 在 LULC 或生境类型 j 中栅格 x 的总威胁水平由 D_{xj} 表示为公式(3):

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \tag{3}$$

式中, r 为生境威胁因子, y 是指 r 威胁栅格图上的所有栅格, Y_r 是指 r 威胁栅格图上的一组栅格, w_r 为威胁因子 r 的权重, r_y 为栅格 y 的威胁强度, i_{rxy} 为 r_y 对生境栅格 x 的威胁水平, β_x 为栅格 x 的可达性水平, S_{jr} 为生境类型 j 对威胁因子 r 的敏感度。

根据研究区的实际情况及相关研究成果, 综合确定威胁因子及权重、最大影响距离和退化类型, 威胁因子包括建设用地、耕地、道路与裸地等其它用地。建设用地是人类社会活动最频繁的用地类型; 道路威胁是指城市化扩张、交通用地占比增加, 对农牧区本底生态环境具有较大的威胁; 而耕地是重要的生产用地, 受人为活动影响较大; 其它用地主要以沙地、盐碱地、裸地为主, 容易侵蚀周围生态环境, 是生境质量变化的重要威胁。生境适宜性表示每种地类作为生境的适宜程度, 一般来说, 越接近自然状态的地类, 生境适宜性越高; 生境对威胁因子的相对敏感性表示生境受威胁因子影响的程度, 不同生境对威胁的响应也不完全相同。分析不同生境对威胁源的相对敏感性的相关研究结果表明: 各生境类型对耕地和裸地等其它用地的敏感性比较低, 对建设用地和道路的敏感性都比较高, 其中耕地与林地二者的敏感性最高; 建设用地作为非生境, 敏感性为 0。根据 InVEST 模型使用说明以及相关研究, 确定不同土地利用类型的生境适宜性和每种生境类型对于每种威胁的相对敏感性, 如表 3 所示。

表 3 不同土地利用类型的生境适宜性及对威胁因子的敏感性
Table 3 Habitat suitability of different land use types and sensitivity to stress factors

土地利用类型 Landuse and landcover	生境适宜性 Habitat suitability	威胁源类型 Threat			
		耕地 Farmland	道路 Road	城乡等建设用地 Urbanland	裸地等其它用地 Bareland
耕地 Farmland	0.4	0.2	0.7	0.9	0.5
林地 Forest	1	0.5	0.8	0.8	0.2
草地 Grassland	0.9	0.2	0.4	0.5	0.3
水域 Water	1	0.5	0.65	0.75	0.45
城乡等建设用地 Urbanland	0	0	0	0	0
裸地等其它用地 Bareland	0.1	0.1	0.2	0.2	0

综上所述,在土地利用或生境类型 j 中栅格 x 的生境质量由 Q_{xj} 表示如公式(4):

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right) \right) \quad (4)$$

式中, Q_{xj} 为生境质量指数, H_j 为生境类型 j 的生境适宜性, k 和 z 为比例因子, 其中 k 为半饱和常数, z 为归一化常量。

2.4 多元线性回归分析

多元线性回归分析,可以定量地描述变量间的相关关系,表现各个解释变量与被解释变量之间关系的强弱以及整体的解释显著性水平的高低^[36]。本研究利用 SPSS 24.0 软件,采用多元线性回归分析,对引起西辽河上游 1980—2018 年生境质量指数变化的驱动因素进行了探究。在指标选择方面,从已有研究来看,生境质量变化与研究区域气候环境、地区发展和社会生活状况存在着动态相关^[37—38]。基于此,本研究从气候环境变化、地区发展状态和居民社会经济生活状况三个角度选取了 7 个因变量指标。在气候环境变化方面,本研究选取了年平均气温(℃)和降水(mm)两大最具有代表性的气候指标^[39]。在评估地区发展方面,本研究采用城镇化速率(%)^[40]、人均城市道路面积(m²)^[41],以及斑块的景观分离度指数(SPLIT),来表征人类生产生活方式对区域生境质量的扰动程度,其中景观分离度指数是指不同斑块个体的分离程度,用来表征经济社会发展下各景观类型的空间分布特征^[42—43]。在居民社会经济生活方面,本研究选取地区生产总值(万元)来表征地区社会经济发展程度^[44],经济发展与生态环境变化息息相关;高等学校在校学生数(人)是地区受教育程度的直观体现,受教育程度对环境保护具有一定的社会效应。

3 结果与分析

3.1 生态环境特征变化

3.1.1 土地利用变化

1980—2018 年西辽河上游典型生态系统土地利用变化如图 2、图 3 所示。草地广泛分布于西辽河上游的

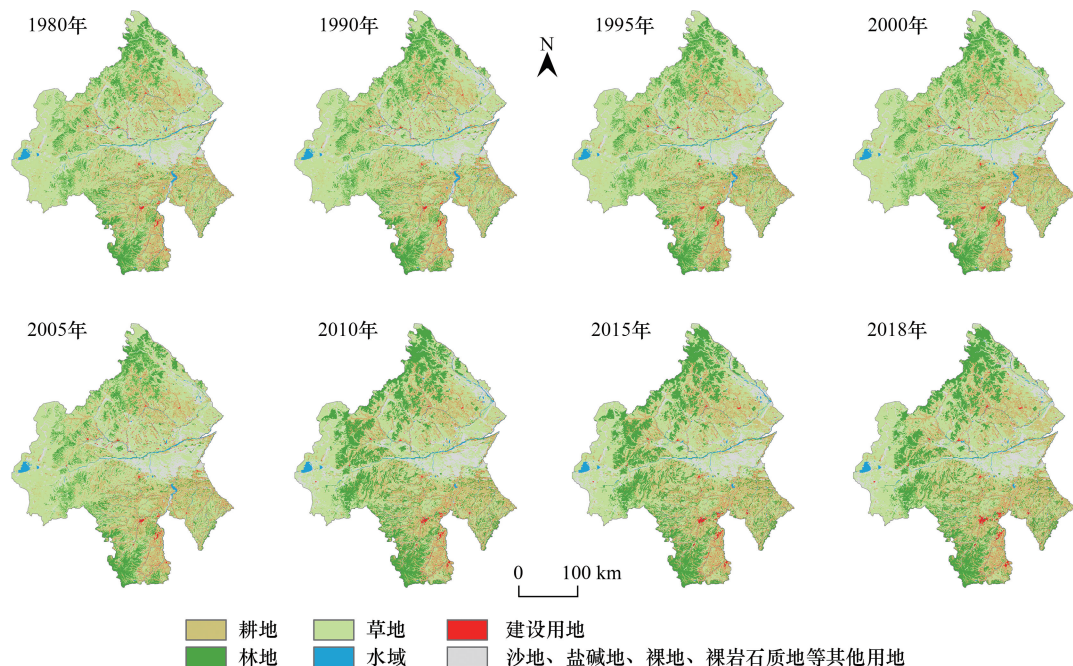


图 2 西辽河上游 1980—2018 年土地利用分布及其变化

Fig.2 Land use distribution and change in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

整个区域,是最主要的土地利用类型;林地分布在研究区域北部和西南部,耕地大多分布于北部和南部平原区;区域内沙地、盐碱地、裸地、裸岩石质地等其它用地则集中分布于中部地区。1980—2018 年间,西辽河上游草地面积较 1980 年下降了 21.93%,水域面积较 1980 年小幅度下降了 3.91%;与之相对的是,林地面积较基期大幅度提升了 48.67%,耕地、城乡用地小幅度增加,分别从占区域面积的 20.95%、1.94% 提高到 24.74%、2.44%;值得注意的是,研究期内,西辽河上游沙地、盐碱地、裸地、裸岩石质地等其它用地面积小幅度增加,从 1980 年的 7529.71 km² 上升至 2018 年 7905.57 km²。总体来看,草地为该区域的主导用地类型,1980—2018 年,草地、耕地、林地、建设用地间的相互变化使得西辽河上游的土地利用结构产生了较为显著的变化;同时,水域面积的明显减少,也一定程度上减少了本区域的生态空间。

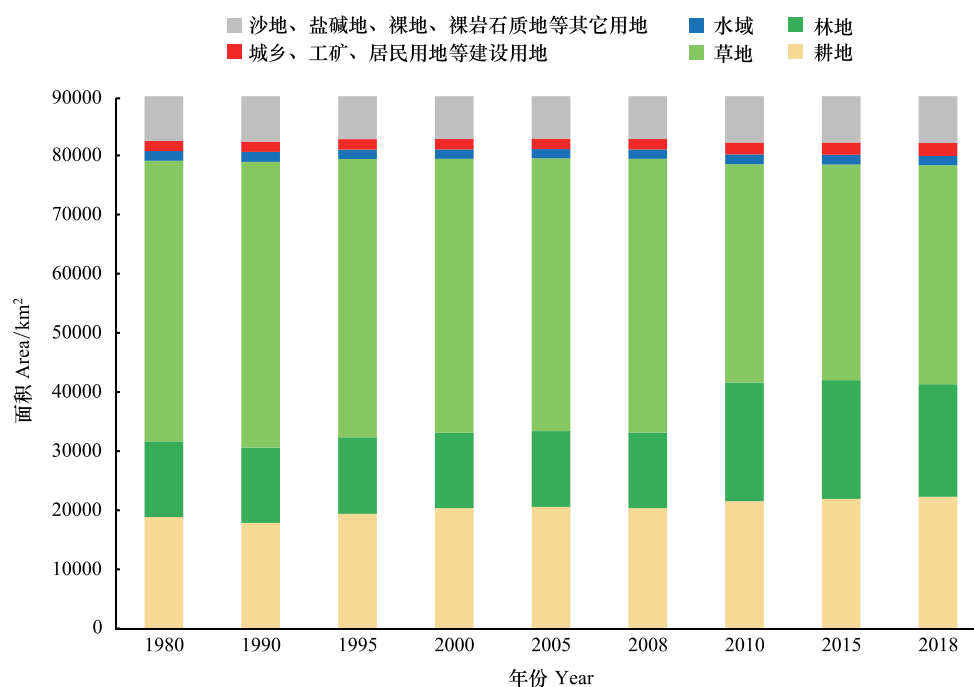


图 3 西辽河上游 1980—2018 年土地利用面积变化

Fig.3 Change of land use area in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

采用土地转移矩阵进一步探究西辽河上游土地利用类型间的变化。如表 4 所示,1980—2018 年间,草地是西辽河上游本区域变化程度最大的生态系统类型。草地大幅度转化为林地 (7719.09 km²)、耕地 (6014.90 km²) 和沙地、盐碱地、裸地等其它用地 (3025.71 km²), 分别占对应转入用地面积的 77.00%, 85.59%, 86.68%; 水域面积也大幅减少, 主要向耕地、沙地、盐碱地、裸地等其它用地的方向转变, 分别转变了 316.82 km²、139.09 km²。由此可见, 人类活动加剧所导致的耕地面积增加, 较大部分是由草地和水域转变而来; 且长时期的植树造林活动, 在一定程度提高本区域的防风固沙能力的同时, 也侵占了大量的草地资源; 与此同时, 对草地资源的侵蚀、水体面积的萎缩也造成了该区域一定程度的荒漠化现象。值得注意的是, 1980—2018 年, 城乡用地增长了 444.45 km², 耕地资源与草地资源为城乡用地扩张的主要来源。

3.1.2 景观格局变化

如图 4 所示, 1980—2018 年间, 西辽河上游各类用地斑块密度 (PD)、最大斑块指数 (LPI)、景观形状指数 (LSI) 呈下降趋势 (PD 从 0.36 稍微下降到 0.30, LPI 从 20.51 下降到 9.43, LSI 从 168.51 下降到 151.46); 分离度指数 (SPLIT) 成倍增加 (从 18.22 增加到 67.84); 蔓延度指数 (CONTAG) 稍有下降 (从 58.68 下降到 55.80)。表明西辽河上游整体景观分离度增加, 聚合程度减小; 香农多样性指数 (SHDI) 增加, 景观多样性增强。总体来看, 1980—2018 年间, 西辽河上游各土地利用斑块形状小幅度趋于稳定, 但同类型土地利用斑块间分离度

增大,各斑块的空间分布呈现出明显的异质化特性。

表 4 1980—2018 年西辽河上游土地利用转移矩阵/ km^2

Table 4 Transferring matrix of land use tpyes in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

	2018 年						
	耕地 Farmland	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Water	城乡用地 Urbanland	沙地、盐碱地、 裸地等其它用地 Bareland	总计 Total
1980 年 耕地	14459.01	965.18	2501.08	204.19	555.72	171.20	18856.37
林地	685.40	10011.04	1903.40	32.41	52.73	113.99	12798.97
草地	6014.90	7719.09	30116.47	169.71	402.44	3025.71	47448.31
水域	316.82	47.58	92.49	1026.75	14.22	139.09	1636.95
城乡用地	316.63	67.13	179.82	18.25	1128.00	40.86	1750.69
沙地、盐碱地、裸地等 其它用地	480.76	219.43	2250.80	121.98	42.02	4414.72	7529.71
总计 Total	22273.52	19029.44	37044.05	1573.27	2195.14	7905.57	90021.00

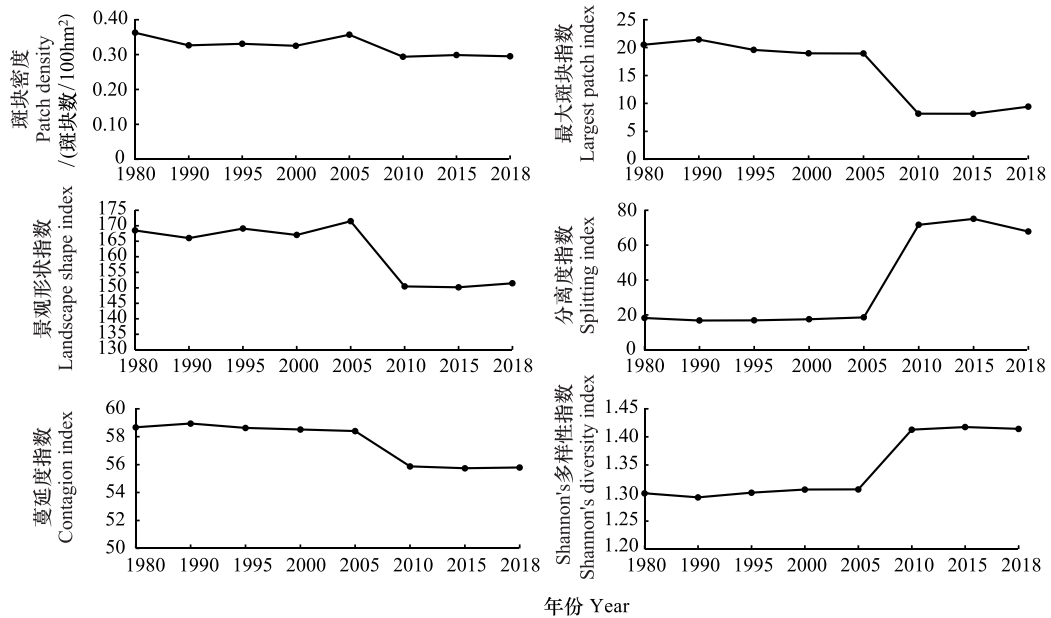


图 4 西辽河上游 1980—2018 年景观格局指数变化

Fig.4 Change of landscape pattern index in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

PD: 斑块密度 Patch density; LPI: 最大斑块指数 Largest patch index; LSI: 景观形状指数 Landscape shape index; SPLIT: 分离度指数 Splitting Index; CONTAG: 蔓延度指数 Contagion index; SHDI: 香农多样性指数 Shannon's diversity index

3.2 生境质量指数变化

InVEST 模型采用生境质量指数得分(0—1)来表征生境质量状况,数值越高生境质量越好,生物多样性越完整,生态结构也更为稳定^[45]。为更好的分析人类活动引起的土地利用演变及其对生境质量的影响特征,本研究采用自然分级法,将西辽河上游生境质量指数分为低(0—0.3),中(0.3—0.7),高(0.7—1)3个级别(如图5、表5)。从空间分布来看,低等级生境质量区域主要分布在中部沙地及北部小部分区域,研究期内面积变化不大;中等生境质量区域主要分布在研究区中部及南部耕地以及少部分草地,斑块面积与集中度逐年扩大;西辽河上游以高等级生境质量区域分布为主,高等级生境面积大于中、低质量生境区域,说明本区域生境质量总体比较良好。然而,在研究期内,西辽河上游低等级生境质量指数占区域面积比例从 8.53% 上升到 2018 年的 9.00%,中等生境质量指数占区域面积比例从 21.36% 增加到 25.36%,高等级生境质量指数所占比例从

70.11%下降到 65.63%。1980—2018 年,研究区的平均生境质量指数整体从 0.74067 逐步下降到 0.72364,一定程度上体现出了下降的态势。总体而言,西辽河上游生境质量呈现出高等级生境质量区域减少的趋势,变化为中等级和低等级生境质量区域。

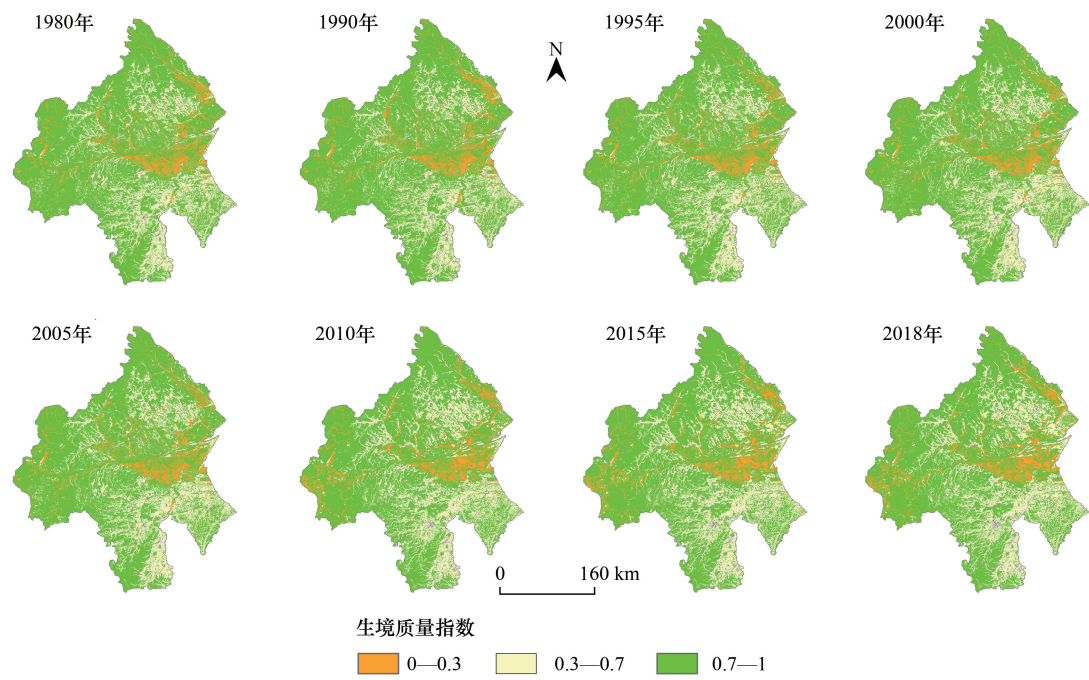


图 5 西辽河上游 1980—2018 年生境质量空间分布

Fig.5 Spatial distribution of habitat quality in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

表 5 西辽河上游 1980—2018 年各等级生境质量占地比例

Table 5 Proportion of each habitat quality level in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

生境质量指数 Habitat quality	1980 年	1990 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年
低 Low(0—0.3)/%	8.53	8.69	8.23	8.19	8.12	8.90	8.89	9.00
中 Middle(0.3—0.7)/%	21.36	20.24	21.98	23.09	23.33	24.47	24.94	25.36
高 High(0.7—1)/%	70.11	71.07	69.79	68.72	68.55	66.64	66.17	65.63
平均生境质量指数 Mean value of habitat quality	0.74067	0.74503	0.74010	0.73461	0.73394	0.73025	0.72796	0.72364

将不同年份的生境质量进行对比,根据生境质量指数上升或下降的幅度,划分为 5 种情况,分别为: <-0.5;-0.5—0;0;0—0.5;>0.5,如图 6、图 7 所示。基于分时间段统计分析可以看出:1980—1990 年,西辽河上游区域的 54.37%生境质量保持不变,主要分布在中部和北部的大部分区域;32.63%生境质量呈现变好的趋势,主要分布在区域北部和西南。1990—2005 年,生境质量变差区域增加到 37.65%,主要分布在西辽河上游的南部耕地区,大部分区域生境质量保持不变。2005—2010 年是西辽河上游生境质量指数变化较大的 5 年,其中 46.17%的区域变差,39.30%区域变好,仅有 14.54%区域保持不变,三者交错分布在全区域。2010—2018 年,西辽河上游 40%以上区域生境质量变差,主要分布在南部耕地、建设用地以及北部部分地区,中部区域生境质量维持不变。整体来看,2005 年以前,西辽河上游绝大部分区域生境质量基本维持稳定,然而生境质量变差的区域面积明显增加;2005 年以后,区域生境质量变差的现象愈来愈明显,并于 2015—2018 年间,绝大部分区域呈现出生境质量变差的态势(48.44%),远高于变好区域(16.45%)。从空间上来看,1980—2018 年,西辽河上游北部部分区域生境质量变好,中部区域保持不变,而南部耕地和建设用地区域生境质量呈现较为明

显的变差趋势。

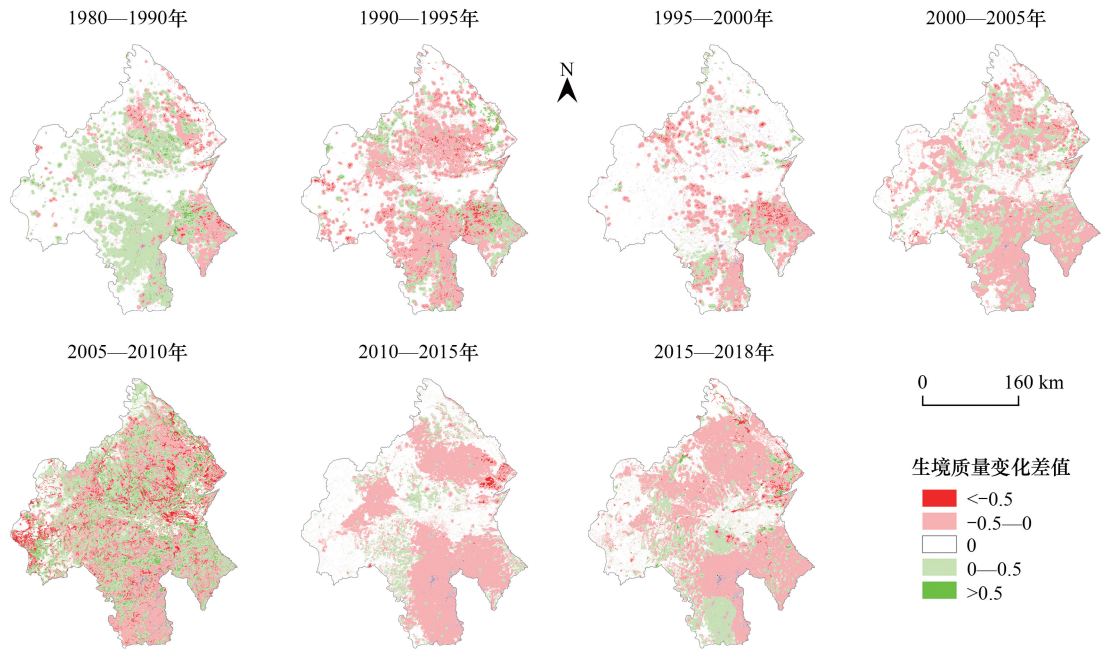


图 6 西辽河上游 1980—2018 年生境质量变化差值

Fig.6 Difference value of habitat quality in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

4 讨论

4.1 土地利用变化对西辽河上游生境质量的影响

生境质量具有显著的空间异质性^[46],且土地利用变化对于生境质量的影响具有距离效应,因此,生境质量对于土地利用变化的响应具有空间差异性。1980—2018 年,研究区内大部分区域(61.97%)生境质量变差。为进一步观察生境质量变差的区域土地利用变化的基本情况,本研究提取 1980—2018 年间生境质量变差的区域与土地转移矩阵进行叠加(图 8—10)。经统计分析发现,对于西辽河上游生境质量变差的广大区域而言,首先,区域生态用地向耕地转变是生境质量变差的主要原因,1980—2018 年,5948.66 km²的草地转化为耕地,林地向耕地转变了 678.21 km²、水域向耕地转变了 313.70 km²;其次,生境退化也是导致区域生境质量下降的主要诱因,有 1877.60 km²林地向草地的转变、112.99 km²林地向裸地等其它用地转变、2985.98 km²草地向裸地等其它用地转变、138.23 km²水域向裸地等其它用地转变;再次,城乡建筑用地对生态用地的扰动,也对区域生境质量产生了影响。本区域建筑用地的增加主要源于耕地的转化和对于生态空间的侵占,38 年间,分别有 17.45 km²的耕地和 18.16 km²的生态用地(林地、草地、水域)转化为了城乡建筑用地。建筑用地对于耕地面积和部分生态用地的侵占,从某种程度上加紧了耕地向其它生态用地倒逼的力度,致使生态用地损失,降低了有关区域的生境质量。

值得注意的是,从 1980—2018 年,西辽河上游北部山区林地的生境质量指数改善程度明显,这与该区域

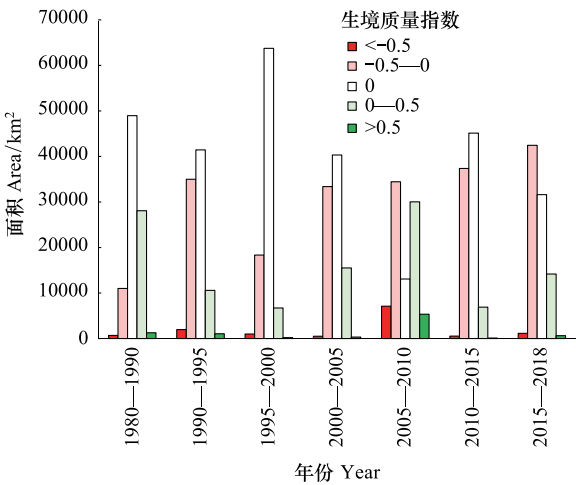


图 7 西辽河上游 1980—2018 年生境质量变化面积

Fig.7 Area of habitat quality change in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

严格执行我国六大生态工程中的三北防护林工程和防沙治沙工程^[47],大力植树造林的区域政策密切相关。

4.2 西辽河上游生境质量指数驱动因子分析

为进一步探究西辽河上游生境质量指数的变化,本研究采用多元线性回归分析法,选取 1980—2018 年西辽河上游年平均气温(℃)、年平均降水(mm)、分离度指数(SPLIT)、城镇化速率(%)、人均城市道路面积(m²)、地区生产总值(万元)及每万人高等学校在校学生数(人)为自变量,生境质量指数为因变量。为消除各项评价指标的量纲差异及数量级对计算结果可能产生的影响,充分保证评价结果的准确性与科学性,首先对原始数据进行了标准化预处理;经过标准化处理后再进行多元线性回归分析,得到结果见表 6。

地区生产总值(万元)、年平均降水(mm)、年平均气温(℃)、每万人高等学校在校学生数(人)的回归系数分别为 0.850、0.229、0.218、0.132,表明地区生产总值很大程度上影响了生境质量指数的变化,气温、降水以及居民受教育程度对生境质量指数的正面影响较小;城镇化率(%)、分离度指数(SPLIT)、人均城市道路面积(m²)的回归系数分别为-1.137、-0.532、-0.394,表明城镇化快速发展、景观格局的破碎度加剧以及城市道路的扩张都对生境质量指数的变化有负面影响。

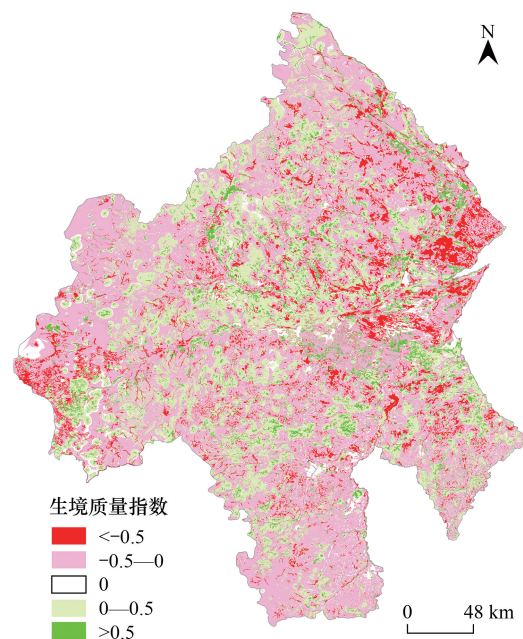


图 8 西辽河上游 1980—2018 年生境质量变化

Fig.8 Change of habitat quality in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

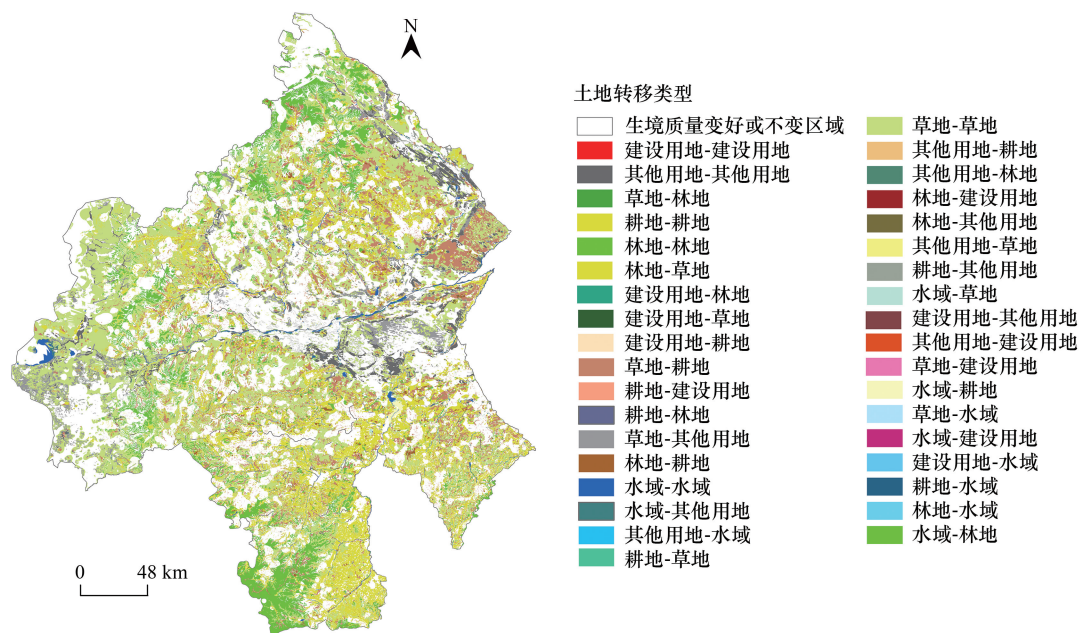


图 9 西辽河上游 1980—2018 年生境质量变差区域土地利用转移变化

Fig.9 Land use transfer in the area of habitat quality deterioration in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

通过对西辽河上游生境质量指数驱动因子分析,自然地理环境与区域社会经济发展等诸多因素对生境质量有正负“双向”效应。从自然地理环境的影响来看,年平均气温和降水与生境质量指数变化呈现小幅度的

正相关,可见就区域本地环境而言,对本地区生境质量的改善具有一定的积极作用。此外,地区生产总值和受教育程度对生境质量指数呈现正相关性,地区生产总值对生境质量的影响与国家政策的宏观调控有关,当城市发展达到一定水平,生态环境保护会引起地方政府的高度重视,从而缓解生境压力^[48]。与此同时,城乡居民受教育程度增加,居民的环保意识增强,地区环境保护力度增大,也在某种程度上展现出对生境质量改善的积极影响。可见,无论在区域本底环境和区域居民的社会经济发展水平上,均对于西辽河上游的生境质量改善产生了积极作用。

然而,西辽河上游生境质量仍表现出了整体下降的态势,这与本地区的发展状况密不可分。目前西辽河上游的发展状况还表现出较低质量发展的特点,具体表现在城镇快速扩张,占用了大部分耕地,致使耕地倒逼生态资源,致使草地等生态用地面积大幅度减少;同时,城

市的快速扩张,人类活动加剧,路网密度增加,使得生态用地景观格局破碎化程度加剧,割裂了生态斑块间的连接度,破坏了生态廊道,也不可避免的影响了区域的生境质量。综上,西辽河上游快速的城镇化扩张所引起的人类活动加剧是导致区域生境质量的下降的重要原因。

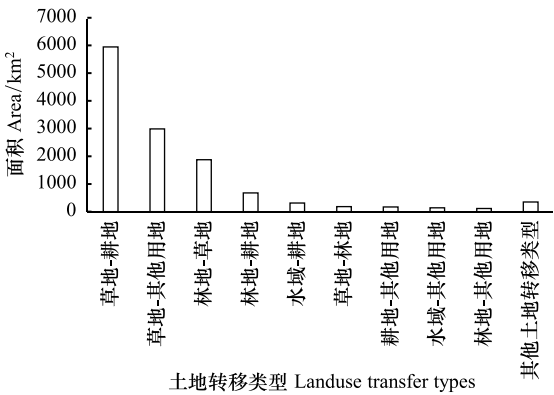


图 10 西辽河上游 1980—2018 年生境质量变差区域主要土地利用转移类型

Fig.10 The main land use transfer types in the area of habitat quality deterioration in the upper reaches of the West Liaohe River from 1980 to 2018

表 6 多元线性回归结果
Table 6 Multiple linear regression results

模型 Model	未标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standardized coefficients	B 的 95.0%置信区间 95.0% confidence interval for B	
	B	标准误差 Standard error	Beta	下限 Lower limit	上限 Upper limit
常量 Constant	0.735	0.000		0.735	0.735
年平均气温 Average annual temperature/℃	0.002	0.000	0.218	0.002	0.002
年均降水 Average annual precipitation/mm	0.002	0.000	0.229	0.002	0.002
分离度指数 Splitting index	-0.004	0.000	-0.532	-0.004	-0.004
城镇化率 The urbanization rate/%	-0.008	0.000	-1.137	-0.008	-0.008
人均城市道路面积 Urban road area per capita/m ²	-0.003	0.000	-0.394	-0.003	-0.003
地区生产总值 Gross Domestic Product/万元	0.006	0.000	0.850	0.006	0.006
每万人高等学校在校学生数/人 Number of students in institutions of higher learning per 10,000 people	0.001	0.000	0.132	0.001	0.001

B:未标准化系数 Unstandardized coefficients;Beta:标准化系数 Standardized coefficients

5 结论

本研究基于 ArcGIS 软件和 InVEST 模型的生境质量模块,定量分析了西辽河上游 1980—2018 年土地利用变化和生境质量的时空演变特征;并采用多元线性回归,进一步探究了西辽河上游生境质量变化的主要驱动因子,研究发现:

(1)1980—2018 年,西辽河上游草地面积下降了 21.93%,其中大部分草地转化为耕地、林地和裸地等其它用地,各斑块的空间分布呈现出明显的异质性;尽管研究期内,林地面积较基期大幅度提升了 48.67%,但全

研究区平均生境质量指数由 1980 年的 0.74, 下降到 2018 年的 0.72; 说明本区域的人类生产生活活动的加剧主要以牺牲草地、水域等生态资源为代价。

(2) 西辽河上游生态用的转变是生境质量变差的主要原因, 主要表现为生态用地资源向耕地和裸地转化; 此外, 生境退化也是导致区域生境质量下降的主要诱因, 主要体现在林分质量退化, 林地向草地转变, 以及生态用地向裸地等转变; 最后, 建筑用地对于耕地和部分生态用地的侵占, 从某种程度上加紧了耕地向其它生态用地倒逼的力度, 致使大量的生态用地损失, 降低了本区域的生境质量。

(3) 通过对西辽河上游生境质量指数驱动因子分析发现, 1980—2018 年间, 本地区无论在区域本底环境和区域居民的社会经济发展水平上, 均对于西辽河上游的生境质量改善产生了积极作用; 区域年平均气温和降水, 地区生产总值和受教育程度与本地区生境质量指数呈现较为明显的正相关。然而, 城镇化速率 (-1.137)、景观分离度指数 (-0.532) 和道路的扩张 (-0.394) 与生境质量指数呈现较为明显的负相关, 可见西辽河上游城镇化速度加快所引起的人类活动加剧对研究区生境质量的下降具有十分显著的影响。

1980—2018 年间, 西辽河上游处于快速城镇发展的阶段, 人类生产生活用地的扩张也以大量占用草地、水域等生态资源为主, 导致西辽河上游主要生境斑块的消失、破碎化与异质性。西辽河上游生境质量总体良好, 但下降趋势明显。因此, 该区域在未来快速城镇化发展的同时, 有关部门需要平衡区域发展和区域生态保护的关系, 合理规划城镇结构, 优化耕地、林地、草地、水域等生态用地结构, 重点保护本区域的草地资源, 以达到减缓生境质量的降低以及提高本区域生境质量持续健康发展的目的, 促进西辽河上游经济发展和生态环境改善齐头并进、稳步提升。

参考文献 (References):

- [1] 何改丽, 李加林, 刘永超, 史小丽, 马静武, 浦瑞良, 郭乾东, 冯佰香, 黄日鹏. 1985—2015 年美国坦帕湾流域土地开发利用强度时空变化分析. 自然资源学报, 2019, 34(1): 66-79.
- [2] 王超, 常勇, 侯西勇, 刘玉斌. 基于土地利用格局变化的胶东半岛生境质量时空演变特征研究. 地球信息科学学报, 2021, 23(10): 1809-1822.
- [3] Hall L S, Krausman P R, Morrison M L. The habitat concept and a plea for standard terminology. Wildlife Society Bulletin, 1997, 25(1): 173-182.
- [4] 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.
- [5] 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 黄秀兰, 卢志强. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3457-3466.
- [6] 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, Alhousseini 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.
- [7] Sallustio L, de Toni A, Strollo A, di Febbraro M, Gissi E, Casella L, Geneletti D, Munafò M, Vizzarri M, Marchetti M. Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. Journal of Environmental Management, 2017, 201: 129-137.
- [8] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 徐新良, 秦元伟, 宁佳, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 吴世新, 史学正, 江南, 于东升, 潘贤章, 迟文峰. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
- [9] 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.
- [10] Zlinszky A, Heilmeyer H, Balzter H, Czúcz B, Pfeifer N. Remote sensing and GIS for habitat quality monitoring: new approaches and future research. Remote Sensing, 2015, 7(6): 7987-7994.
- [11] Balasooriya B L W K, Samson R, Mbikwa F, Vitharana U W A, Boeckx P, Meirvenne M V. Biomonitoring of urban habitat quality by anatomical and chemical leaf characteristics. Environmental and Experimental Botany, 2009, 65(2/3): 386-394.
- [12] Ding Y K, Shan B Q, Zhao Y. Assessment of river habitat quality in the Hai river basin, Northern China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015, 12(9): 11699-11717.
- [13] Dong Z Y, Wang Z M, Liu D W, Li L, Ren C Y, Tang X G, Jia M M, Liu C Y. Assessment of habitat suitability for waterbirds in the West Songnen Plain, China, using remote sensing and GIS. Ecological Engineering, 2013, 55: 94-100.
- [14] Villa F. ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services): A new tool for ecosystem services assessment, planning, and valuation.

- Proceedings of the 11th Annual BIOECON Conference on Economic Instruments to Enhance the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity, 2009.
- [15] Sherrouse B C, Semmens D J, Clement J M. An application of Social Values for Ecosystem Services (SOLVES) to three national forests in Colorado and Wyoming. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 68-79.
- [16] 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.
- [17] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展. *生态学杂志*, 2013, 32(12): 3360-3367.
- [18] Xu L T, Chen S, Xu Y, Li G Y, Su W Z. Impacts of land-use change on habitat quality during 1985-2015 in the Taihu Lake Basin. *Sustainability*, 2019, 11(13): 3513.
- [19] Chu L, Sun T C, Wang T W, Li Z X, Cai C F. 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). *Sustainability*, 2018, 10(11): 3854.
- [20] 褚琳, 张欣然, 王天巍, 李朝霞, 蔡崇法. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的城市景观格局与生境质量时空演变及预测. *应用生态学报*, 2018, 29(12): 4106-4118.
- [21] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 黄河流域生态系统服务权衡协同关系时空异质性. *中国沙漠*, 2021, 41(6): 78-87.
- [22] Gao Y, Ma L, Liu J, Zhuang Z, Huang Q, Li M. Constructing ecological networks based on habitat quality assessment: a case study of Changzhou, China. *Scientific Reports*, 2017, 7.
- [23] 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.
- [24] 陈妍, 乔飞, 江磊. 基于 In VEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的影响研究——以北京为例. *北京大学学报: 自然科学版*, 2016, 52(3): 553-562.
- [25] 冯舒, 孙然好, 陈利顶. 基于土地利用格局变化的北京市生境质量时空演变研究. *生态学报*, 2018, 38(12): 4167-4179.
- [26] 冯琰玮, 甄江红, 马晨阳. 呼和浩特市生境质量对城市用地扩展的时空响应. *干旱区地理*, 2020, 43(4): 1014-1022.
- [27] 刘智方, 唐立娜, 邱全毅, 肖黎娜, 许通, 杨丽. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究. *生态学报*, 2017, 37(13): 4538-4548.
- [28] Liu Z F, Ding M H, He C Y, Li J W, Wu J G. The impairment of environmental sustainability due to rapid urbanization in the dryland region of Northern China. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 187: 165-180.
- [29] 姜珊. 赤峰市草原生态旅游业发展问题研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [30] 张爱平, 张华. 赤峰市生态系统服务价值变化研究. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(11): 191-195.
- [31] 李浩然. 内蒙古赤峰市喀喇沁旗设施农业推广现状与对策研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013.
- [32] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 罗娅, 周旭, 赵海根. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应. *地理学报*, 2014, 69(1): 54-63.
- [33] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论. *地理学报*, 2003, 58(5): 643-650.
- [34] 赵萌, 张雪琦, 张永霖, 贾天下, 吕晨璨, 吴钢. 基于景感生态学的城市生态空间服务提升研究——以北京市顺义区为例. *生态学报*, 2020, 40(22): 8075-8084.
- [35] 黄木易, 岳文泽, 冯少茹, 张嘉晖. 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. *生态学报*, 2020, 40(9): 2895-2906.
- [36] 李彦芙. 基于多元线性回归模型的江苏省 GDP 增长影响因素研究. *特区经济*, 2019(4): 84-88.
- [37] 焦全军, 付安民, 张肖, 孙涛, 张苏. 基于 MODIS 数据的锡林郭勒草原植被覆盖变化及驱动因子分析. *北京工业大学学报*, 2017, 43(5): 659-664.
- [38] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294-302.
- [39] 张微, 姜哲, 巩虎忠, 栾晓峰. 气候变化对东北濒危动物驼鹿潜在生境的影响. *生态学报*, 2016, 36(7): 1815-1823.
- [40] 刘宝涛, 王冬艳, 刘惠清. 城镇化发展与土地健康利用协同演化关系——以长春市为例. *经济地理*, 2016, 36(10): 76-83.
- [41] 李洁, 沈毅, 董博昶. 城市道路生态损失补偿理论及其应用. *公路交通科技*, 2013, 30(6): 148-152, 158.
- [42] 陈丁楷, 石龙宇. 基于土地利用变化的雄安新区景观生态风险评价与预测. *生态经济*, 2021, 37(11): 224-229.
- [43] Jaeger J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 2000, 15: 115-130.
- [44] 张亚如, 张军民. 城镇化与经济发展的时空相互作用机制研究——以新疆为例. *干旱区地理*, 2020, 43(3): 839-848.
- [45] 税燕萍, 卢慧婷, 王慧芳, 严岩, 吴钢. 基于土地覆盖和 NDVI 变化的拉萨河流域生境质量评估. *生态学报*, 2018, 38(24): 8946-8954.
- [46] 杨志鹏, 许嘉巍, 冯兴华, 郭蒙, 靳英华, 高雪娇. 基于 InVEST 模型的东北地区土地利用变化对生境的影响研究. *生态科学*, 2018, 37(6): 139-147.
- [47] 赵兴华. 我国六大生态工程. *环境导报*, 1994(3): 40-41.
- [48] 周亮, 唐建军, 刘兴科, 党雪薇, 慕号伟. 黄土高原人口密集区城镇扩张对生境质量的影响——以兰州、西安、咸阳及太原为例. *应用生态学报*, 2021, 32(1): 261-270.