

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.02.035.

郝守宁, 董飞, 刘晓波, 等. 西藏尼洋河流域土地景观格局演变的生态风险分析[J]. 水土保持研究, 2023, 30(2): 378-383.

HAO Shouning, DONG Fei, LIU Xiaobo, et al. Analysis on Ecological Risk of the Evolution of Land Landscape Pattern in the Nyang River Basin [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(2): 378-383.

西藏尼洋河流域土地景观格局演变的生态风险分析

郝守宁^{1,2}, 董飞³, 刘晓波³, 郭永刚², 苏立彬²

(1.西藏大学, 拉萨 850000; 2.西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000; 3.中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要:针对青藏高原流域生态景观格局的演变所引起的生态风险问题,选取青藏高原生态脆弱区的尼洋河流域为研究区域,以1980年、1995年、2010年、2020年4期土地利用数据为基础,根据景观生态学理论将尼洋河流域划分为814个生态风险评价单元,构建景观生态风险评价模型,对尼洋河流域景观生态风险的时空动态演变特征进行了评价和分析。结果表明:(1)尼洋河流域近40年来的6种土地利用类型面积皆发生了改变,其中水域和建设用地变化幅度最明显;(2)1980—2020年流域内高生态风险区与中生态风险区面积增加,流域内总体景观生态风险呈增加的趋势,生态恶化的区域主要发生在尼洋河干流河谷区和高海拔区;尼洋河流域各期景观生态风险等级以尼洋河干流为轴线呈现对称式分布,跟随海拔高程的上升生态风险等级增加;(3)尼洋河流域景观生态风险空间分布呈逐年上升的正相关性,在空间上表现为集聚效应。综上,1980—2020年尼洋河流域生态风险总体呈上升的趋势,人类活动和气候变化是驱动生态恶化的重要因素。

关键词:土地利用;生态风险;空间变化;尼洋河流域

中图分类号:X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2023)02-0378-06

Analysis on Ecological Risk of the Evolution of Land Landscape Pattern in the Nyang River Basin

HAO Shouning^{1,2}, DONG Fei³, LIU Xiaobo³, GUO Yonggang², SU Libin²

(1.Tibet University, Lhasa 850000, China; 2.Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000, China; 3.China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Aiming at the ecological sensitivity risk caused by the evolution of the ecological landscape pattern of the Tibet Plateau, taking the Nyang River Basin in the ecologically fragile area of the Tibet Plateau as the research object, based on the four periods of land use data in 1980, 1995, 2010 and 2020, quantitative analysis of the changes in land use structure and transformation characteristics of the Nyang River Basin in the past 40 years, the theory of landscape ecology, we divided Nyang River Basin into 814 ecological risk assessment units, constructed a landscape ecological risk assessment model, and quantitatively evaluated the spatial and temporal dynamic evolution characteristics of landscape ecological risks in the Nyang River Basin. The results show that: (1) the area of the six land use types in the Nyang River Basin has changed in the past 40 years, of which the water area and construction land has changed the most; (2) the area with high ecological risk and medium ecological risk in the basin from 1980 to 2020 increased, and the overall landscape ecological risk in the basin was increasing; the areas of ecological deterioration mainly occurred in the valley area of the Nyang River and high-altitude areas; the ecological risk levels of the Nyang River Basin in each period were based on the Nyang River as the axis presented a symmetrical distribution, and the ecological risk level

收稿日期:2021-12-09

修回日期:2022-01-09

资助项目:西藏自治区自然科学基金(XZ202001ZR0021G);西藏大学研究生“高水平人才培养计划”(2019-GSP-B002);国家重点研发计划项目(2018YFC0407702)

第一作者:郝守宁(1986—),男,河南滑县人,博士研究生,副教授,主要从事流域模拟和环境地表过程研究。E-mail:645427848@qq.com

通信作者:郭永刚(1966—),男,黑龙江双城人,博士,教授,主要从事灾害防治研究。E-mail:Guoyg2013@163.com

<http://stbcj.paperonce.org>

increased with the increase in altitude; (3) the spatial distribution of landscape ecological risk in the Nyang River Basin was positively correlated year by year, which manifested as an agglomeration effect in space. From 1980 to 2020, the ecological risk of the Nyang River Basin rose. Human activities and climate change are important factors driving the ecological deterioration.

Keywords: land use; ecological risk; spatial variation; Nyang River Basin

土地是人类生存的基本自然资源之一,土地覆被的变化是人类活动与自然环境共同作用的直接表现^[1-4],区域土地利用覆盖变化的复杂过程中,土地原有的生态系统在外界和自身演替作用下其结构和功能^[5]产生剧烈的变动,土地生态环境随之受到巨大的影响^[6],土地生态系统可持续发展是社会经济与农业可持续发展的保障^[7-8],为此土地生态安全是土地生态系统可持续发展的必备条件。近年来,土地覆被结构受到人类不合理活动所导致的问题频频出现,研究表明导致区域生物多样性锐减和物种灭绝的因素中景观破碎化和生境丧失是其中的两大主要因素^[9-11],为此,从土地景观生态学的角度定量评价分析区域生态安全也越来越受到重视,随着地理空间信息技术的发展基于区域土地覆被变化下的生态风险研究已成为学术界的研究热点。国内关于土地覆被变化的生态风险研究主要是基于3S技术,从土地利用结构、土地利用方式和土地利用类型等方面,结合土地覆被状况、植被覆盖变化来分析生态风险状况^[12-14];国外关于土地覆被生态风险研究主要以生态实体保护为基础,整合土地生态系统服务机制关系,从土地利用的功能性、土地覆被变化与生态景观理论、土地覆盖多重性以及土地多功能作用与人类可持续发展的耦合关系等方面^[15-18]分析研究区土地覆被变化的生态风险状况;土地覆被生态风险的主要研究方法有:生态足迹模型^[19]、地学统计分析及空间自相关分析方法^[20]、多元线性回归和主成分分析^[21]、构建生态安全评价指标体系^[22]、土地利用变化测度模型^[23]、景观生态模型^[24]和CLUE-S模型等^[25]。研究区域涉及到干旱区、沿海海岸、城市、流域、黄土台塬、石漠化地区等。但对于青藏高原地区内的土地利用时空演变及其生态风险的研究相对较少,一方面受海拔和寒冷等特点的影响,素有“世界屋脊”之称的青藏高原平均海拔在4 000 m以上,不仅是中国重要的生态屏障,也是全球生态环境十分敏感和脆弱的地区之一,另一方面西藏是中国重要的生态功能调节区、气候变化敏感区和生物多样性高度集中区,其生态战略地位极为重要,为此研究其土地覆被时空变化规律及生态风险状况对青藏高原土地生态系统的平衡、土地资源的合理保护以及生态安全屏障的建设具有重要意义。

本研究选取西藏高寒生态脆弱区内的尼洋河流域作为研究区,借助GIS技术利用转移矩阵将研究区内不同时期的景观类型在时空上的相互转化进行分析,结合尼洋河流域内人类活动特征和流域自然地貌探讨流域景观生态风险变化的驱动力。在此基础上对研究区进行渔网网格划分,同时结合各类景观的风险强度系数构建研究区内各个网格的生态风险指数,利用空间普通克里金插值划分生态风险等级,从生态风险等级的变化角度解释研究区内景观生态风险的时空变化规律。

1 材料及方法

1.1 研究区概况

尼洋河流域坐落于青藏高原的藏东南生态安全屏障区,坐标为东经 $92^{\circ}10'$ — $94^{\circ}35'$,北纬 $29^{\circ}28'$ — $30^{\circ}30'$,流域上游为水源涵养与牧业适度发展生态功能区,下游为农林产业与生态旅游生态功能区。流域主导的生态功能为水源涵养、动植物保护、旅游资源的开发和生物多样性保护。流域受印度洋暖流与北方寒流的影响,形成了区域特有的温和湿润气候条件,常年年均气温在 8°C 左右,年降水量^[26]约800 mm。流域内主要以农牧业为主,受流域内地形及气候环境的影响,农牧民居住及城市建设主要分布在河流两岸。流域内人类活动对自然生态系统影响较大,目前存在的主要生态问题为生物多样性减少、林草退化和水土流失等问题,近年来随着城市的建设及区域经济的发展,大量的人口涌入林芝、加之川藏铁路的修建、水利工程的建设以及产业的转变,流域内土地覆被状况受到一定的干扰。

1.2 数据来源

尼洋河流域1980年、1995年、2010年、2020年4期的土地利用栅格数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>),分辨率为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$,土地利用一级类型综合评价精度达到94.3%以上^[27],同时根据中科院资源环境数据中心的土地覆被遥感监测数据分类体系,结合研究区实际状况,将尼洋河流域按一级土地类型划分为6类土地覆被类型:水域、建设用地、林地、草地、耕地、未利用土地;数字高程模型数据(30 m DEM)来源于地理空

间数据云(<http://www.gscloud.cn>),根据西藏林芝行政区的矢量数据进行裁切处理。

1.3 研究方法

1.3.1 生态风险单元划分 根据数据精度和研究目的,为更直观展现景观生态风险指数的空间化,本研究在考虑景观空间异质性和尼洋河流域面积的基础上,参考生态安全评价中渔网网格的划分方法^[28-29],每个评价单元的渔网网格面积由研究区景观斑块平均大小的 2~5 倍,最终将尼洋河流域划分为 5 km×5 km 的格网进行网格采样,采用等间距的方法将尼洋河流域划分为 814 个网格作为生态风险评价单元。根据尼洋河流域的土地利用数据,基于 GIS 空间统计及叠加分析模块计算 1980—2020 年尼洋河流域土地利用转移矩阵。

1.3.2 景观生态风险指数计算 为探索尼洋河流域土地类型间相互转移对生态环境产生的影响,本文利用区域生态安全指数^[28](Ecological Risk Index,ERI)对尼洋河流域生态风险的时空状况进行分析。不同用地类型的生态功能存在差异,网格单元内生态风险状况由该单元内的土地类型的组成及空间组合所决定,基于不同土地利用类型的生态风险参数^[29]结合研究区网络单元格内土地类型的组成,依据土地利用类型的面积比重及各类土地的生态风险强度系数构建尼洋河流域景观生态风险指数 ERI,计算公式如下:

$$ERI=\sum_{j=1}^n\frac{A_{ij}}{A_i}\times W_j$$

式中:ERI 为本研究中构建的土地景观生态风险指数; A_i 为流域内第 i 个生态风险单元格的面积; A_{ij} 为第 i 个生态风险单元格内第 j 类土地利用类型面积; W_j 为流域 j 类型土地生态风险强度系数; n 为土地景观类型数量。根据 ERI 值的大小将尼洋河流域景观生态风险指数划分为 5 个等级:低生态风险区 I ($ERI\leq 0.228$)、较低生态风险区 II ($0.228<ERI\leq 0.360$)、中生态风险区 III ($0.360>ERI\leq 0.490$)、较高生态风险区 II ($0.490<ERI\leq 0.630$)、高生态风险区 II ($ERI>0.630$)。

1.3.3 生态风险空间自相关分析 本研究利用全局自相关系数 Moran's I 指数探索尼洋河流域生态风险的空间关联和差异状况,计算方式依据已有的文献研究成果^[28-31]。

2 结果与分析

2.1 研究区景观格局变化分析

尼洋河流域 1980—2020 年土地利用类型结构组成变化状况见图 1。由图 1 可知,尼洋河流域土地利

用结构中主要以林地、草地及未利用土地为主,多年来 3 类土地景观格局总面积占流域的 90% 以上。1980—2020 年,林地、草地及未利用土地由流域的 27.30%,38.91%,23.99% 分别增加到 27.50%,40.10%,28.45%,值得注意的是此 3 类土地类型增幅最大的阶段同时发生在 1980—1995 年,林地、草地及未利用土地在此期间分别增加了 0.19,1.19,4.47 km²;流域内水域及耕地面积由流域的 8.82%,0.92% 分别减少到 2.79%,0.92%,水域面积变化最快的时间段发生在 1980—1995 年,面积减少了流域总面积的 5.85%,耕地面积变化幅度最大的时间段在 2010—2020 年减少了 0.11 km²;40 年间流域内建设用地发生突变的阶段发生在 1995—2010 年,由流域的 0.04% 增加到 0.06%,面积增加了 3.88 km²。1980—2020 年的 40 年内流域内土地利用结构发生了重组,各类土地景观在不同阶段发生扩张或缩减,面积变化最大为水域和未利用土地,变化幅度最大的为建设用地,2020 年建设用地面积是 40 年前的 1.46 倍。

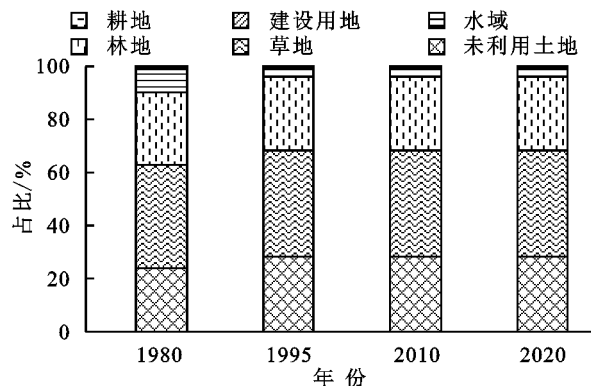


图 1 1980—2020 年尼洋河流域各类土地利用结构变化

由表 1 可知,1980—2020 年尼洋河流域内各土地利用类型间存在较为激烈的动态博弈:40 年间草地面积的增加主要来源于林地、未利用土地和水域面积的转入,同时草地面积遭到耕地、建设用地、林地、水域及未利用土地的掠夺,与水域间的博弈幅度最大,水域 226.97 km² 转入草地的同时,有 12.06 km² 草地转为水域;耕地面积减少了 2.59 km² 变化波动较小,但与其他类型土地间在空间上的相互转化较为频繁,总体上耕地的转入类型主要为草地 2.10 km²,转出类型主要为建设用地和林地,分别为 2.55,2.20 km²;建设用地增加了 3.40 km²,主要以牺牲流域内耕地和草地为代价;林地面积增加了 35.70 km²,数量上主要是水域面积的转入;水域面积减少了 1 046.40 km²,主要转出类型为未利用土地和草地;未利用土地增加了 797.06 km²,未利用土地的增加主要来源于流域的林地与水域的转入。1980—2020 年的 40 年间唯有耕地与水域面积缩减,林地、建设用地、未利

用土地及草地面积都有增加。面积变化最大土地利用类型为水域,流域内土地利用类型间的相互转化状况离不开流域内人类活动和气候变化,根据土地利用类型的转变及流域内的实际状况,水域面积变化的主要原因为流域内大量人口的涌入、水利工程的建设、以及全球气候变暖,其一气候上升致使流域内常年积

雪及冰川的融化导致流域内水资源量上升,其二近年来尼洋河流域的开发新增的水电站工程建设导致流域内水域面积增加。变化幅度最大土地利用类型为建设用地,建设用地的增加导致流域内水域及建设用地的大幅度转移同时,其他土地利用类型在时空上发生不同程度的转化。

表 1 尼洋河流域 1980—2020 年土地利用转移矩阵

| 年份 | 土地利用类型 | 1980 年 | | | | | |
|--------|--------|---------|--------|------|---------|--------|---------|
| | | 草地 | 耕地 | 建设用地 | 林地 | 水域 | 未利用地 |
| 2020 年 | 草地 | 6815.93 | 2.20 | 0.07 | 47.22 | 226.97 | 72.01 |
| | 耕地 | 4.30 | 155.05 | 1.06 | 2.49 | 1.29 | 0.21 |
| | 建设用地 | 0.91 | 3.61 | 6.00 | 0.07 | 0.06 | 0.09 |
| | 林地 | 48.13 | 4.69 | 0.08 | 4790.66 | 43.19 | 26.12 |
| | 水域 | 12.06 | 1.24 | 0.11 | 5.43 | 502.14 | 8.98 |
| | 未利用地 | 70.24 | 0.21 | 0.02 | 31.29 | 802.71 | 4178.83 |

2.2 流域景观生态风险的时空分异演变

流域景观演变过程可知流域土地利用类型间的相互转化幅度较大,为更好地探索流域内局部和整体生态风险的时空分异演变特征,需要考虑流域内每个网格评价单元生态风险值的改变及权重,普通克里金插值可以将每个单元格的的风险值进行滑动加权平均,为此本研究基于流域渔网网格的生态风险评价单元 ERI 的计算值,结合 GIS 区划分析平台中的地统计

模块,利用空间普通克里金插值法对尼洋河流域 814 个网格单元进行生态风险指数插值区划。为更科学的展现尼洋河流域生态风险的时空分异特征,结合尼洋河流域实际情况和 4 个时期土地景观的 ERI 指数,采用自然断点法绘制出尼洋河流域 4 个时期的生态风险时空分异图,同时根据断点值将尼洋河流域景观生态风险指数划分为 5 个等级^[29](图 2)。

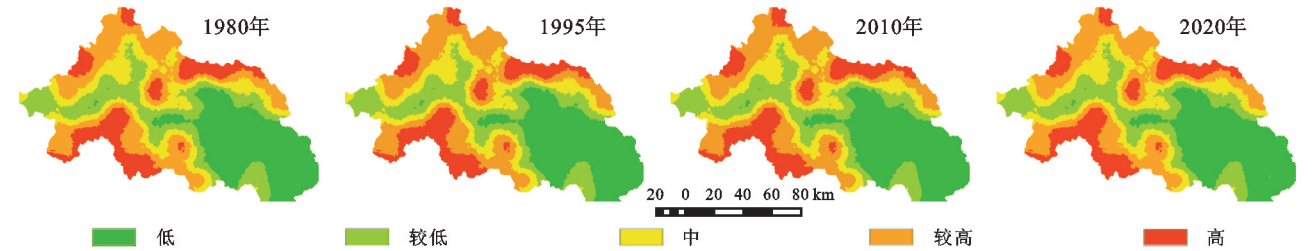


图 2 1980—2020 年尼洋河流域景观生态风险空间分布

由图 2 可知,1980—2020 年尼洋河流域各期的生态风险空间分异较为明显,生态风险空间分异受流域内海拔高程影响较大,总体沿尼洋河干流两岸呈对称式分布,以高程为阶梯,以尼洋河河谷为轴线,向东北、西南生态风险逐步递增,流域内生态风险与海拔高程密切相关,伴随海拔高程的降低生态风险随之降低,时间上流域总体生态风险呈现为先缓慢下降后急速上升的变化趋势。1980—2020 年,流域内低生态风险区主要分布在海拔 3 700 m 以下,在下游呈大规模区域分布,占下游流域的 90% 以上且较为集中,此外尼洋河中上游流域内小片状及条带低生态风险区,主要集中在中游干流河谷区域。较低生态风险区主要分布在尼洋河流域内海拔 4 300 m 以下,在流域下游围绕着低生态风险区成环形分布,在流域中上游沿着尼洋河干流及支流方向保持一致呈条带状分布。中生态风险区主要分

布在海拔 4 700 m 以下,以尼洋河干流为轴线呈对称式以条带状分布,主要以林地和草地为主。较高生态风险区主要分布在海拔 5 100 m 以下,分布状态与形状与中生态风险区相似,近 10 a 与中生态风险去博弈幅度较大。高生态风险区在流域内呈条带和片块状分布,主要集中在海拔 5 100 m 以上的上游区域与流域的东北分水岭区,主要土地利用类型为永久积雪和冰川,随全球气候变化即流域人类活动的影响,后期高生态风险区域呈急速扩大趋势。

2.3 流域景观生态风险的时序变化特征

根据尼洋河流域 4 期土地景观的渔网单元格的生态风险指数统计可知:1980 年、1995 年、2010 年、2020 年的生态风险指数范围同为 0.120~0.800,其平均值分别为 0.359 0,0.359 0,0.359 1,0.359 3。生态风险指数 ERI 由 1980 年 0.359 0 增长至 2020 年

的 0.359 3, 尽管尼洋河流域 40 年来整体生态风险变化较小, 生态风险水平较低, 但近 10 a 的生态风险值呈急速上升趋势, 且生态风险变化区域较为集中。

为更好地探索分析尼洋河流域景观态风险的时序变化特征, 根据流域内 4 期土地景观生态风险指数 ERI 的变化情况, 对流域内各期的土地景观 ERI 进行统计分析(表 2), 同时利用 GIS 中计算工具将相近两期渔网的 ERI 值对 1980—1995 年、1995—2010 年和 2010—2020 年的生态风险变化进行计算(后期 ERI—前期 ERI), 并对相近两期的 ERI 值进行叠加

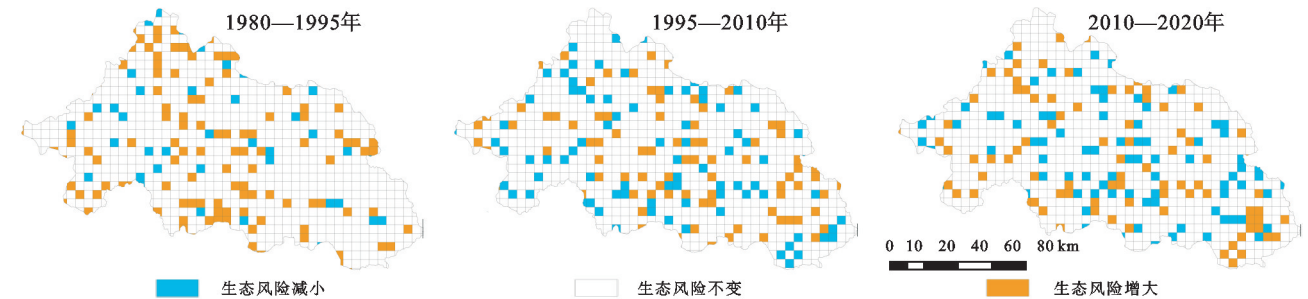


图 3 1980—2020 年尼洋河流域生态风险变化特征

由图 3、表 2 可知, 1980—2020 年 40 年内的 3 个时间段尼洋河流域土地景观生态风险变化幅度不明显, 但总体呈上升趋势。1980—1995 年的 15 年间, 尼洋河流域土地景观格局的生态风险指数 ERI 值没有改变, 流域内各生态风险等级面积占比也没有发生变化, 但流域内的生态风险区域有相互转移的状况; 此阶段生态风险小幅度改善的渔网单元格分布与尼洋河干流和支流的分布一致, 主要呈条带形分布在河谷, 生态风险恶化的区域分布近邻改善的单元格, 分布在河流两岸的交通用地及城镇建设用地。1995—2010 年的 15 年间, 流域内的土地景观生态风险变化区域分布与前 15 a 相似, 生态风险恶化与改善的区域主要分布在河谷地区, 受人类活动影响较大的区域; 此阶段 I 级区、IV 级区与 V 级区的面积虽没有发生变化, 计算结果表明流域内有 0.12% 的面积由较低生态风险变化为中生态风险级别, 从而导致流域内总体生态风险呈缓慢恶化的趋势。2010—2020 年的 10 年间, 此阶段生态风险恶化较为明显, 高生态风险区由流域的 10.44% 扩增至 11.06%, 除低生态风险面积占比没有改变, 其他生态风险区面积都产生了波动, 流域生态风险总体呈急速上升的趋势; 此阶段生态风险变化的区域与前两个阶段有较大区别, 生态风险增加区远远超过减小区, 且生态恶化区不仅呈条带状分布在河谷区, 在流域海拔较高的区域呈环状扩增, 此结果表明尼洋河流域土地景观生态风险在此阶段不仅受人类活动影响, 同时受到气候变化的影响较为明显。整个研究期内, 尼洋河流域生态风险变化由前的

直观展示此阶段的生态风险变化状况; 若差值为 0 表明此阶段内渔网格内土地景观生态风险没有发生变化, 差值 > 0 说明生态风险增加, 差值 < 0 表明生态风险减小, 计算结果得到图 3。

表 2 尼洋河流域各生态风险等级区域面积比 %

| 年份 | I 级区 | II 级区 | III 级区 | IV 级区 | V 级区 |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 1980 | 34.52 | 18.92 | 21.25 | 14.86 | 10.44 |
| 1995 | 34.52 | 18.92 | 21.25 | 14.86 | 10.44 |
| 2010 | 34.52 | 18.80 | 21.38 | 14.86 | 10.44 |
| 2020 | 34.52 | 17.57 | 22.24 | 14.62 | 11.06 |

期蠕动变为后期的急速, 区域由低海拔的河谷地区增加到高海拔区域, 说明随着流域内的发展及全球气候变化的大环境下, 尼洋河流域内土地景观格局的生态风险不仅受到人类活动的影响, 同时受气候变化的影响不容小觑。为保护流域整体环境的发展及生态的改善, 探索分析气候变化及人类活动对流域土地景观格局变化的影响机制是今后重点研究课题。

2.4 景观生态风险空间相关性分析

根据 1980—2020 年 4 期渔网评价单元格景观生态风险指数的空间分布, 利用 GIS 空间分析模块进行尼洋河流域全局自相关计算 Moran's I 指数, 分析流域生态风险在空间上是否存在趋同性, 以此来探索尼洋河流域整体空间模式的变化。尼洋河流域的景观生态风险在 1980 年、1995 年、2010 年和 2020 年的 Moran's I 指数值计算结果分别为 0.864 3, 0.865 1, 0.872 1, 0.883 8, 尼洋河流域土地景观生态风险指数在空间分布上具有明显的正相关现象, 且呈逐年上升趋势, 但增幅较小, 流域内各风险等级分布有较高的关联性, 说明尼洋河流域的土地景观生态风险在空间呈现集聚效应与趋同特征, 即流域内高生态风险区周边的生态风险值亦高, 低生态风险区周边的生态风险值亦低, 生态风险恶化特征由点到面辐射性扩散。

3 讨论与结论

(1) 1980—2020 年, 尼洋河流域土地利用结构及景观格局都发生了改变, 6 种土地类型的面积均发生不同幅度的变化, 其中水域和耕地面积减少, 草地、

建设用地、林地及未利用土地面积增加。草地和林地一直是流域内的优势土地景观类型。

(2) 1980—2020 年,尼洋河流域高、中生态风险区的面积比例分别增加了 0.61%,0.98%,生态风险等级在空间上以尼洋河干流为轴线呈对称式分布,且生态风险等级由河谷随海拔高程的上升呈增加的趋势,高生态风险区主要分布在高海拔极端区域,生态风险在时序上呈增加的趋势,生态恶化区域由前期的河谷区域扩增到后期的高海拔区域;尼洋河流域土地景观生态风险整体表现为先蠕动增加状态变为急速增长的趋势,变化区域较为集中。

(3) 1980—2020 年,尼洋河流域 4 期土地景观生态风险指数的自相关 Moran's I 指数值分别为 0.864 3, 0.865 1, 0.872 1, 0.883 8,呈逐年增加的正相关关系,生态风险状况在空间分布上表现为集聚效应和趋同特征。

自原始社会以来人类就择水而居,特别是原生态的西藏高原流域,受地形地貌的限制,尼洋河流域内河谷区域为社会经济活动的集中区。随着流域内人类活动强度的增加及全球气候变化,土地景观格局也随之发生变化。特别是近年来林芝市大量人口的涌入、旅游业的迅速发展、交通工程及城镇化建设、加之全球气候的变暖,对生态脆弱的尼洋河流域持续关注和研究其生态风险及演化十分有必要。本研究利用 GIS 技术通过土地景观格局类型比重构建生态风险指数,对尼洋河流域的生态风险变化进行评估,对藏东南生态安全屏障建设具有一定的现实和理论指导意义。但本次研究只是将尼洋河流域作为一个封闭的系统来进行探索,没有考虑流域气候、地形、地貌、人类活动和区域间的物质交换等因素,所以研究成果存在一定的局限性。其次研究内容上过于粗略,未能深入甄别何种原因导致了生态风险级别的改变,也没有考虑生态系统的自我恢复能力和生态风险恶化的临界点,对于解决流域内生态风险改善的现实问题有一定的局限。受研究者知识和经验的因素影响,关于尼洋河流域景观生态风险的驱动力解释还不够完善,因此在以后对尼洋河生态风险的研究探索中还需要进一步改进和完善。

参考文献:

[1] 邵全琴,赵志平,刘纪远,等.近 30 年来三江源地区土地覆被与宏观生态变化特征[J].地理研究,2010,29(8): 1439-1451.

[2] 李小弯.沙颖河流域土地利用/覆被与景观格局变化及其生态影响[D].郑州:河南农业大学,2020.

[3] Sohl T L, Claggett P R. Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decisionmakers

[J]. Journal of Environmental Management, 2013, 41 (16):235-243.

[4] 彭文君,舒英格.基于 GIS 的石漠化山区县域土地利用空间变化的生态风险测度[J].水土保持研究,2018,25 (1):342-348.

[5] 任国平,刘黎明,卓东.都市郊区景观生态质量空间差异及影响因素分析[J].农业工程学报,2016,32(21):252-263.

[6] 曾永年,靳文凭,王慧敏,等.青海高原东部土地利用变化模拟与景观生态风险评价[J].农业工程学报,2014,30 (4):185-194.

[7] 焦红,汪洋.基于 PSR 模型的佳木斯市土地生态安全综合评价[J].中国农业资源与区划,2016,37(11):29-36.

[8] 谢玲,邓晓军,卢月燕,等.广西石漠化地区土地利用空间变化的生态风险研究[J].中国农业资源与区划,2019, 40(8):113-121.

[9] Chen Y H, Li X B, Shi P J, et al. Land cover pattern optimization for local ecological security using remotely sensed data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006,27(10):2003-2010.

[10] 于潇,吴克宁,鄯文聚,等.三江平原现代农业区景观生态安全时空分异分析[J].农业工程学报,2016,32(8): 253-259.

[11] 曹玉红,陈晨,张大鹏,等.皖江城市带土地利用变化的生态风险格局演化研究[J].生态学报,2019,39(13): 4773-4781.

[12] 苏浩,吴次芳.基于景观结构的农林交错带土地利用生态风险时空分异研究[J].经济地理,2017,37(5):158-165.

[13] 李玉珍,张永福,安放舟.基于 GIS 的新和县土地利用生态风险分析[J].水土保持研究,2015,22(1):172-175,180.

[14] 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等.流域景观结构的城市化影响与生态风险评价[J].生态学报,2011,31(12):3432-3440.

[15] Tarawally M, Xu W B, Hou W M, et al. Land use/land cover change evaluation using land change modeller: A comparative analysis between two main cities in Sierra Leone[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2019,24(1):90-102.

[16] Araya Y H, Cabral P. Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal [J]. Remote Sensing, 2010,2(6):1549-1563.

[17] Fallati L, Savini A, Sterlacchini S, et al. Land use and land cover (LULC) of the Republic of the Maldives: first national map and LULC change analysis using remote-sensing data[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2017,189(8):417-429.

[18] Robinson D T. Land-cover fragmentation and configuration of ownership parcels in an exurban landscape[J]. Urban Ecosystems, 2012,15(1):53-69.

- substrates: Observational data and hydrological simulations[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021,291:112682.
- [16] Peng Z, Stovin V. Independent validation of the SWMM green roof module[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2017,22(9):100-111.
- [17] Locatelli L, Mark O, Mikkelsen P S, et al. Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications[J]. *Journal of Hydrology*, 2014,519: 3237-3248.
- [18] Zhang S, Guo Y. Analytical probabilistic model for evaluating the hydrologic performance of green roofs[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2013,18(1):19-28.
- [19] Johannessen B G, Hamouz V, Gagne A S, et al. The transferability of SWMM model parameters between green roofs with similar build-up [J]. *Journal of Hydrology*, 2019,569:816-828.
- [20] 葛德,张守红.不同降雨条件下植被对绿色屋顶径流调控效益影响[J].*环境科学*,2018,39(11):5015-5023.
- [21] Keifer C J, Chu H H. Synthetic storm pattern for drainage design[J]. *Journal of the Hydraulics Division*, 1957,83(4):1-25.
- [22] Rossman L A. Modeling low impact development alternatives with SWMM[J]. *Journal of Water Management Modeling*, 2010. DOI:10.14796/jwmm.r236-11.
- [23] Nash J E, Sutcliffe J V. River flow forecasting through conceptual models part I : A discussion of principles-ScienceDirect[J]. *Journal of Hydrology*, 1970,10(3): 282-290.
- [24] Liu X, Chui T F M. Evaluation of green roof performance in mitigating the impact of extreme storms[J]. *Water*, 2019,11(4). DOI:10.3390/w11040815.
- [25] Guo Y, Zhang S, Liu S. Runoff reduction capabilities and irrigation requirements of green roofs[J]. *Water Resources Management*, 2014,28(5):1363-1378.
- [26] Bollman M A, DeSantis G E, DuChanois R M, et al. A framework for optimizing hydrologic performance of green roof media[J]. *Ecological Engineering*, 2019, 140:105589.
- [27] 彭跃暖,秦华鹏,王传胜,等.蓄水层设置与植物选择对绿色屋顶蒸散发的影响[J].*北京大学学报:自然科学版*,2017,53(4):758-764.
- [28] Gong Y, Yin D, Li J, et al. Performance assessment of extensive green roof runoff flow and quality control capacity based on pilot experiments[J]. *Science of the Total Environment*, 2019,687:505-515.

~~~~~

(上接第 383 页)

- [19] Chen H S. Evaluation and analysis of eco-security in environmentally sensitive areas using an emergy ecological footprint [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017,14(2):136-153.
- [20] 周汝佳,张永战,何华春.基于土地利用变化的盐城海岸带生态风险评价[J].*地理研究*,2016,6(35):1017-1028.
- [21] Zhang C Q, Dong B, Liu L P, et al. Study on ecological risk assessment for land-use of wetland based on different scale[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2016,44(5):1-8.
- [22] 于海洋,张飞,曹雷.精河县土地利用/覆被变化及土地生态安全研究[J].*水土保持研究*,2017,24(6):348-353.
- [23] 汪建珍,卢李朋,赵锐锋,等.基于土地转移流的干旱区河谷城市土地系统稳定性评价:以兰州市近郊四区为例[J].*经济地理*,2014,34(4):153-158.
- [24] 徐兰,罗维,周宝同.基于土地利用变化的农牧交错带典型流域生态风险评价:以洋河为例[J].*自然资源学报*,2015,30(4):580-590.
- [25] Zhang R S, Pu L J, Li J G, et al. Landscape ecological security response to land use change in the tidal flat reclamation zone, China[J].*Environmental Monitoring & Assessment*, 2016,188(1):1-10.
- [26] 张涛,蔡五田,李颖智,等.尼洋河流域水化学特征及其控制因素[J].*环境科学*,2017,38(11):4537-4545.
- [27] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等.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[J].*地理学报*,2014,69(1):3-14.
- [28] 王永庶,唐岱,延相东,等.基于网格尺度的保山市中心城区生态安全评价研究[J].*西南林业大学学报:自然科学版*,2021,41(5):80-87.
- [29] 吕乐婷,张杰,孙才志,等.基于土地利用变化的细河流域景观生态风险评估[J].*生态学报*,2018,38(16): 5952-5960.
- [30] 叶长盛,冯艳芬.基于土地利用变化的珠江三角洲生态风险评价[J].*农业工程学报*,2013,29(19):224-232,294.
- [31] 李俊翰,高明秀.滨州市生态系统服务价值与生态风险时空演变及其关联性[J].*生态学报*,2019,39(21): 7815-7828.