

2000—2015 年豫西黄土丘陵区土地利用变化及景观生态风险评价

杜 军¹, 赵胜朝², 邱士可¹, 郭 雷¹

(1.河南省科学院地理研究所, 郑州 450052; 2.河南省水土保持监督监测总站, 郑州 450003)

摘 要:以豫西黄土丘陵区为研究对象,基于 2000 年、2010 年和 2015 年的土地利用数据,通过土地利用面积空间变化、转移矩阵和土地利用动态度指标分析了 2000—2015 年豫西黄土丘陵区土地利用动态变化特征。按照 5 km×5 km 格网将研究区划分为 1 069 个生态风险评价单元,根据土地利用类型占比、景观脆弱指数及扰动指数构建生态风险指数,利用半变异函数和空间自相关等空间分析方法,开展豫西黄土丘陵区 2000—2015 年土地利用变化及景观生态风险空间分异特征评价。结果表明:豫西黄土丘陵区以林地、耕地为主,占研究总面积的 83% 以上,2000—2015 年土地利用类型的转化强度也在不断增加,耕地、林地向建设用地转换最为明显;2000—2015 年,景观生态风险整体呈现上升趋势,高生态风险区的基质景观类型以耕地为主;生态风险值的空间集聚形态主要以低—低集聚和高—高集聚为主,呈现低—低集聚区域增加、高—高集聚区域先增加后减少的趋势。

关键词:豫西黄土丘陵区;土地利用;景观生态风险;空间自相关分析

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)01-0279-06

Land Use Change and Landscape Ecological Risk Assessment in Loess Hilly Region of Western Henan Province from 2000 to 2015

DU Jun¹, ZHAO Shengchao², QIU Shike¹, GUO Lei¹

(1.Institute of Geographical Sciences, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450052, China;

2.Henan Provincial Soil and Water Conservation Supervision and Monitoring Centre, Zhengzhou 450008, China)

Abstract:Based on the data of land use of 2000, 2010 and 2015, we analyzed the characteristics of land use dynamic change in the loess hilly area of western Henan Province from 2000 to 2015 through the spatial change of land use area, transfer matrix. The study area is divided into 1 069 ecological risk assessment units according to the 5 km×5 km grid. The ecological risk index was constructed by type proportion, landscape vulnerability index and disturbance index, and the spatial analysis methods of semi-variogram and spatial autocorrelation were used to evaluate the spatial differentiation characteristics of land use change and landscape ecological risk in the loess hilly area of western Henan Province from 2000 to 2015. In the loess hilly area of western Henan Province, woodland and cultivated land were the main types, accounting for more than 83% of the total research area. From 2000 to 2015, the conversion intensity of land use types was also increasing, and the conversion from cultivated land and forest land to construction land was the most obvious. From 2000 to 2015, the overall landscape ecological risk was on the rise, and the matrix landscape types of high ecological risk areas were mainly cultivated land; with respect to the spatial concentration of ecological risk value, the main patterns were low—low agglomeration and high—high agglomeration, showing the trend of increasing low agglomeration area and decreasing high—high agglomeration area.

Keywords:loess hilly region of western Henan Province; land use; landscape ecological risk; spatial autocorrelation analysis

生态风险指在一定区域内,生态系统或整个景观的正常功能受到外界胁迫,这些胁迫作用的结果可能导致生态系统结构和功能的损伤^[1-4]。生态风险评价是针对自然和人类活动对区域生态系统产生不利影响的可能性和程度评价^[5-6]。已有研究结果表明,土地利用变化能够直接反映区域中各种潜在的生态影响及其空间异质性^[7-8],土地利用强度的变化及利用类型的转变将会直接影响区域生态风险的强度^[9-11]。因此,在缺少长时间序列生态监测数据的情况下,从土地利用变化及景观格局特征角度构建生态风险指数能够有效反映区域生态状况及空间分异情况。国内学者以土地利用数据为基础,提出了不同的生态风险指数构建方法,藏淑英^[12]、卢江林^[13]、王卫林^[14]等学者利用土地利用类型面积占比及土地利用类型所反映的生态风险强度参数构建生态风险指数,于淑会^[15]、南颖^[16]等基于压力—状态—响应(P-S-R)模型构建生态安全评价体系,张月^[6]、周汝佳^[17]等学者基于景观格局指数和土地利用变化的信息,构建区域景观生态风险指数,并对区域生态风险的时空分布特征及关联特征进行了分析。

豫西黄土丘陵区属于黄土高原向黄淮海平原过渡的交错地带,是河南省生态环境比较脆弱的区域之一。本研究在前人研究的基础上,结合豫西黄土丘陵区的实际情况,基于2000年、2010年、2015年的遥感影像获取研究区土地利用动态变化数据,采用由土地利用类型占比、景观扰动指数和景观脆弱指数构建的景观生态风险指数,借助地统计学和空间自相关分析方法,对豫西黄土丘陵区生态风险的时空分布特征及关联特征进行评估,为豫西黄土丘陵区生态风险的防控提供一定的参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

豫西黄土丘陵区(110°21′—113°30′E、33°32′—35°17′N)位于河南省西北部,行政区划上包括郑州市、洛阳市、焦作市、三门峡市和济源市的19个县(市),总面积2.71万 km²,约占河南省总面积的16.23%。属于黄土高原向黄淮海平原过渡的交错地带,水土流失严重,是河南省生态环境比较脆弱的区域之一。区域内地形起伏较大、地貌复杂、土地利用类型多样,最低海拔85 m,最高海拔2 392 m,地貌类型主要包括山地(中山和低山)、丘陵和平原等,土地利用类型主要以耕地、林地为主。该区属于温带半湿润半干旱气候,年平均气温14.6℃,平均降水约为643.4 mm。

1.2 数据来源

本文利用2000年、2010年的Landsat TM和2015年的Landsat OLI遥感影像数据(分辨率:30 m;成像时间:8—10月),对影像进行融合、校正等预处理,利用监督分类法并结合人工目视判读对3期利用进行解译,将研究区分为林地、园地、草地、耕地、建设用地、水域、未利用地7种类型,解译结果随机采样并进行野外核查,总体精度均大于95%。

2 研究方法

2.1 评价单元划分

研究土地利用变化对区域景观生态风险的影响,进一步体现豫西黄土丘陵区景观生态风险在空间上的分异特征,根据景观斑块大小和研究区面积,本文利用5 km×5 km正方形格网对研究区2000年、2010年和2015年3期土地利用数据进行采样,共有1 069个生态风险单元(图1)。

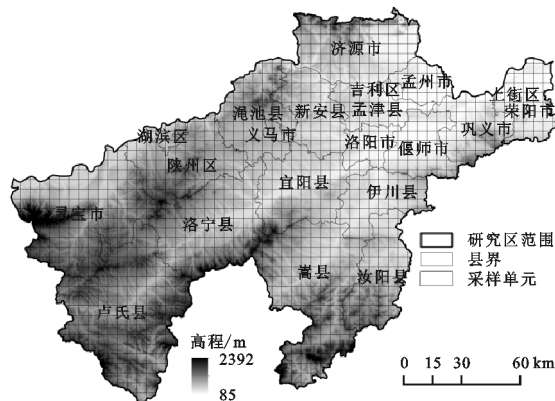


图1 豫西黄土丘陵区概况及景观生态风险评价单元划分

2.2 景观生态风险指数构建

本文依据采样各评价单元内土地利用类型占比、景观扰动及景观脆弱性构建景观生态风险指数ER,公式如下:

$$ER_k = \sum_{i=1}^N \frac{A_{ki}}{A_k} \sqrt{E_i \cdot F_i} \quad (1)$$

式中:ER_k表示采样单元k的生态风险指数;A_{ki}表示采样单元k中i类景观面积;A_k表示采样单元k的面积;N表示景观类型数量;F_i为景观脆弱指数,表示各类景观受外界干扰的敏感性,林地、园地、草地、耕地、水域、建设用地、未利用地为不同景观类型赋值分别为2,2,3,4,5,1,6^[18]。通过赋值的归一化处理,得到各类景观的脆弱度指数。

E_i为景观干扰指数,计算公式如下:

$$E_i = w_a C_i + w_b N_i + w_c D_i \quad (2)$$

式中:N_i,C_i,D_i分别为第i个评价单元的景观分离度、破碎度及优势度指数;W_a,W_b,W_c为各指数权

重,分别赋值为 0.5,0.3,0.2^[19]。

2.3 空间分析方法

(1) 土地利用动态变化。利用 2000 年、2010 年、2015 年的研究区土地利用数据,通过土地利用面积变化类型转化等指标分析不同时间段土地利用动态变化过程。利用 ArcGIS 的 Tabulate Area 空间叠加分析,计算生成 2000—2015 年研究区土地利用转移矩阵,定量分析土地利用结构特征与各类型之间的转换特征,明确 2000 年各土地利用类型转移去向以及 2015 年各土地利用类型面积增加的来源。

(2) 空间自相关分析。空间自相关系数是用来度量物理或生态学变量在空间上的分布特征及其对邻域的影响程度。空间自相关分析可以检验空间变量在特定位置与相邻区域是否具有显著相关性^[20]。全局空间自相关用来研究某一现象在空间上是否具有聚集特性,而局部空间自相关更能体现其空间聚集分布格局和集聚的显著度。全局自相关公式为:

I = (n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})) / (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) (3)

式中: n 表示样本数量; x_i 与 x_j 分别为样本 i 和 j 属性值; \bar{x} 为样本平均值; w_{ij} 为空间权重。 I 的取值范围为 $[-1,1]$,小于 0 表示空间负相关,等于 0 表示不相关,大于 0 表示正相关。

局部空间自相关可表征每个区域与周边地区之间的局部空间关联和差异程度,通常利用 Moran 散点图和 LISA 聚集图对局部差异的空间分布进行可视化表达。局部 Moran's I 指数计算公式为:

I = x'_i \sum_{j=1}^n w_{ij} x'_j (4)

式中: x_i 代表采样单元 i 标准化值; x_j 代表采样单元 j

标准化值。利用 Geoda、ArcGIS 统计分析软件分别计算 Moran's 指数和制作空间关联局域指标(LISA)图。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型变化特征分析

豫西黄土丘陵区主要的土地利用类型为林地、耕地,共占研究区总面积的 83% 以上。由表 1 看出,2000—2015 年豫西黄土丘陵区土地利用变化较为显著,林地面积占比减少了 0.64%,耕地面积占比减少了 4.74%;有;草地、建设用地和水域面积不断增加,面积占比分别增加了 3.20%,32.77%,45.29%。其中耕地、建设用地的变化最为显著,2000—2015 年耕地面积共计减少了 554.90 km²,建设用地共计增加了 423.70 km²。

豫西黄土丘陵区林地占比较高,为研究区的优势地类,主要分布于西部的崤山和熊耳山的陕州区、灵宝市、卢氏县、嵩县、汝阳县等区域,在 2000—2015 年的 15 a 间,林地面积持续减少,减少面积为 184.29 km²,其中 2000—2010 年林地减少率远大于 2010—2015 年。园地面积由 2000 年的 40.99 km² 增加到 2015 年的 151.93 km²,集中分布在灵宝是、陕州区等区域。草地零星分布于研究区中部和北部区域,2000—2015 年草地面积增加了 66.51 km²,面积的增加主要集中在 2010—2015 年。耕地集中分布中部和东部的在涧河流域、伊川临汝盆地、伊洛河盆地等区域,2000—2015 年耕地面积大幅度减少,总计减少了 554.90 km²,其中 2010—2015 年耕地面积减少了 459.91 km²,变化幅度最大,占耕地减少总量的 82.88%。与耕地面积大幅度减少相对应的是建设用地的大幅度增加,2000—2015 年建设用地持续增加,总计增加了 423.70 km²,2010—2015 年建设用地增加率显著高于前一个时期。

表 1 2000—2015 年豫西黄土丘陵区土地利用变化

土地利用类型	2000 年/ km ²	2010 年/ km ²	2015 年/ km ²	2000—2010 年		2010—2015 年		2000—2015 年	
				变化量/km ²	比率/%	变化量/km ²	比率/%	变化量/km ²	比率/%
林地	11488.86	11347.19	11304.57	−141.67	−1.23	−42.62	−0.38	−184.29	−1.60
园地	40.99	108.22	151.93	67.23	164.02	43.71	40.39	110.94	270.65
草地	2177.64	2180.89	2247.40	3.25	0.15	66.51	3.05	69.76	3.20
耕地	11705.11	11610.12	11150.21	−94.99	−0.81	−459.91	−3.96	−554.90	−4.74
建设用地	1292.87	1447.10	1716.57	154.23	11.93	269.47	18.62	423.70	32.77
水域	357.48	378.28	519.39	20.80	5.82	141.11	37.30	161.91	45.29
未利用地	35.96	27.12	8.41	−8.84	−24.58	−18.71	−68.99	−27.55	−76.61

利用 2000 年、2015 年两期土地利用图在 Arc-GIS 中进行叠加分析,生成豫西黄土丘陵区 2000—2015 年土地利用类型变化转移矩阵。由图 2 可以看出,2000—2015 年,耕地是豫西黄土丘陵区土地利用

的主要转出类型,耕地与建设用地、林地和园地的转化比较剧烈,转出面积分别为 455.66 km²,233.40 km²,138.56 km²,占耕地总面积的比例分别为 3.89%,1.99% 和 1.18%。其次为林地转变为草地、

耕地和建设用地的面积分别为 181.00 km²,143.40 km²,53.61 km²。近 15 a 年来,建设用地是豫西黄土丘陵区土地利用的主要转入类型,增加面积表主要

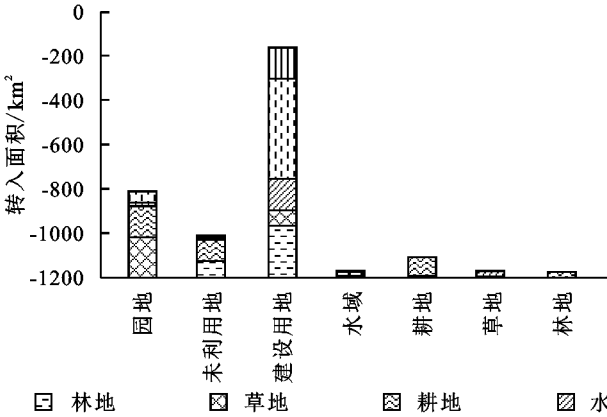


图 2 2000—2015 年豫西黄土丘陵区土地利用转换特征

3.2 景观生态风险空间自相关分析

空间自相关分析是检验某一要素与其邻近范围是否具有关联以及关联度,全局空间自相关可以表征某一要素在整体范围内的空间依赖程度,而局部空间自相关表征一个采样单元与其相邻单元的相似程度,能够更直观体现某一要素在空间上的聚集特征。本研究通过生态风险指数构建模型计算得到研究区 2000 年、2010 年、2015 年 3 期生态风险指数,利用空间计量软件(GeoDa)进行空间全局和局部自相关分析。由

来源耕地和林地,城市空间扩展、交通设施建设与农业产业结构调整是建设用地增加与耕地减少的主要原因。

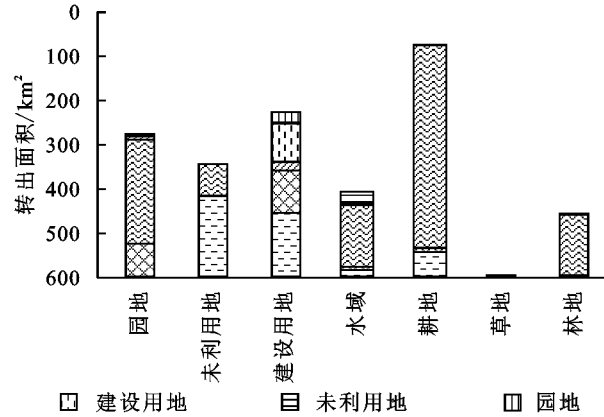


图 3 看出,研究区 2000 年、2010 年、2015 年 3 期生态风险指数全局自相关系数分别为 0.587,0.586,0.540。Moran's *I* 指数为正值,表明研究区生态风险呈现正相关关系,生态风险出现聚集区,高等级风险区周围分布着相应高等级的风险,低等级生态风险区周围风险等级也较低。全局自相关值呈现上升的趋势,表明研究区 2000—2010 年生态风险区聚集趋势变化不明显,2010—2015 年呈现减弱的趋势。

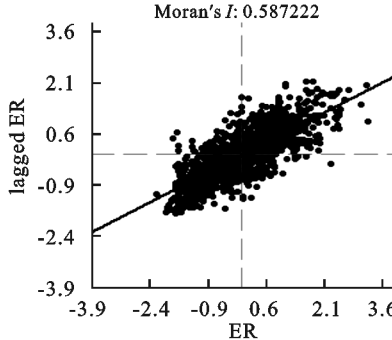
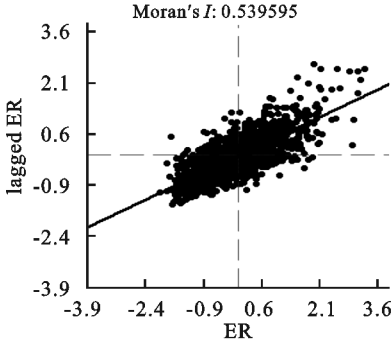
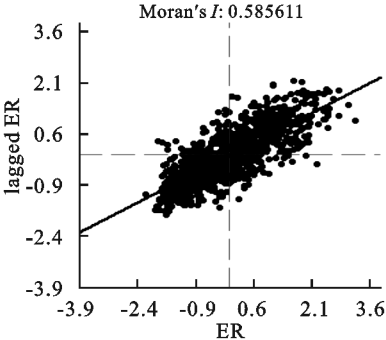


图 3 2000—2015 年豫西黄土丘陵区景观生态风险 Moran 散点图

Moran's *I* 指数仅可以反映区域空间分布状态及空间聚集指数,并不能完全表现生态风险在空间上的相互联系程度,利用局部自相关分析(LISA)来探讨豫西黄土丘陵区生态风险在区域上的关联度及其空间聚集特征。通过 GeoDa 软件对研究区 1 096 个采样区 2000 年、2010 年、2015 年 3 期生态风险进行 LISA 分析,得到 3 期生态风险局部自相关 LISA 结果(图 4)。研究区生态风险值的空间聚集形态主要以低—低集聚和高—高集聚为主。3 个时期低—低集聚样区分别占总采样数的 13.75%,13.84%,20.49%,高—高集聚样区分别占总采样数的 12.91%,12.91%,16.18%,低—高集聚和高—低集聚区占总采样数的 0.94%,0.75%,2.71%。从研究区局部自相关情况来看,

低—低集聚区域呈现增加趋势,高—高集聚区域呈现先增加后减少趋势。从空间分布来看,生态风险高值集聚区(H—H)主要集中分布在卢氏县—洛宁县—灵宝县,这一区域属于黄土覆盖低山区,地表覆盖类型多样,景观优势度较低且景观分布破碎,人类活动强度的增加极易引起水土流失、林草退化等生态环境问题。其次,高—高集聚区(H—H)也少量分布在城市的建成区及周边地区,这些区域受人类活动影响大,土地利用转换和利用强度高。生态风险低值集聚区(L—L)主要集中分布在伊川县、孟津县、新安县、义马市等区域,这些区域主要位于伊川临汝盆地、黄土台地丘陵区,景观类型以耕地为主,景观优势度较高,且斑块的破碎度较低。

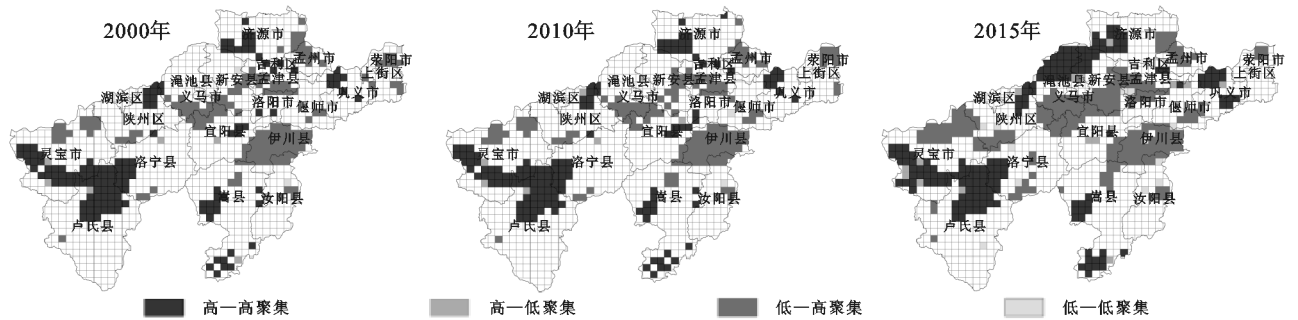


图 4 豫西黄土丘陵区生态风险值局部自相关分布

3.3 景观生态风险时空变化分析

为了进一步分析豫西黄土丘陵区景观生态风险的空间分异特征,本研究借助地统计学方法,将研究区 1 096 个采样单元的生态风险值(ER)进行克里金插值(Kriging),得到豫西黄土丘陵区景观生态风险的空间分布图(图 5)。利用 ArcGIS 自然断点法(Natural Breaks)将研究区的景观生态风险划分为高

风险、较高风险、中风险、较低风险以及低风险区 5 个等级,赋值区间分别为:较高风险区($ER > 0.45$)、较高风险区($0.40 < ER \leq 0.45$)、中风险区($0.36 < ER \leq 0.40$)、较低风险区($0.32 < ER \leq 0.36$)、低风险区($ER \leq 0.32$)。2000—2015 年豫西黄土丘陵区景观生态风险整体呈现上升趋势,其中较低、中生态风险区所占比重较大,高风险生态风险所占面积较小。

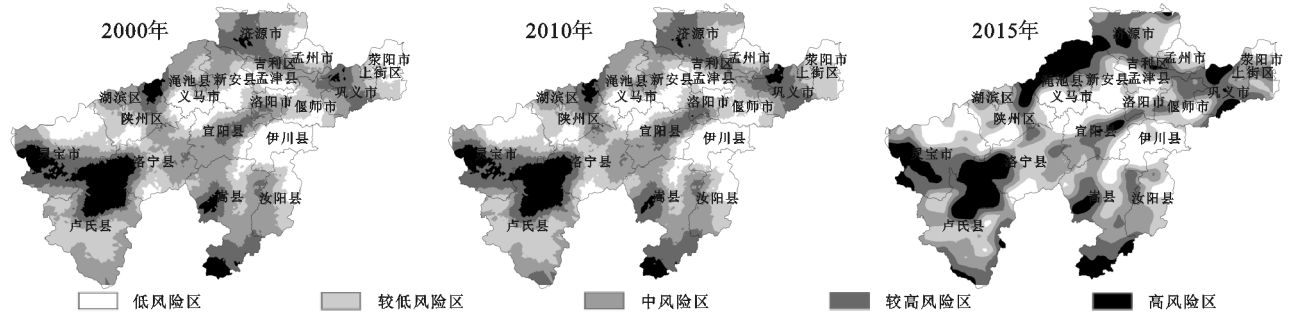


图 5 豫西黄土丘陵区景观生态风险空间分布

2000 年豫西黄土丘陵区低、较低生态风险分布区域分别占研究区总面积的 18.22%,23.77%。低生态风险区主要集中分布在孟津县西部、新安县南部、宜阳县北部、渑池县南部以及伊川县等区域,灵宝北部、孟州西部也有分布,该区域位于黄土台地丘陵和伊川临汝盆地,较低生态风险区主要分布在低生态风险区周边区域,土地利用类型主要以耕地为主,土地利用类型单一且集中连片。这些区域景观类型以耕地为主,林地和草地等景观在周边分布,耕地、林地的景观脆弱度较低,且耕地景观集中连片分布,因此这些区域生态风险等级较低。中生态风险区主要分布在渑池县和新安县北部、洛宁县东部、宜阳县南部及嵩县中北部等区域,处于耕地和林地景观类型的过渡带,占研究区总面积的 34.98%。较高风险区主要分布在济源市西部、洛阳—宜阳一线以及巩义市中部区域,占研究区总面积的 14.99%。高生态风险区主要分布在卢氏县—洛宁县—灵宝县三角地带,这一区域属于黄土覆盖低山区,占研究区总面积的 8.04%,景观类型主要为林地、坡旱地,且景观较为破碎,人类活动强度的增加极易引起水土流失、林草退化等生态环境问题。

2010 年豫西黄土丘陵区生态风险各等级面积发生相应变化,但空间分布规律较 2000 年未发生明显变化。其中生态风险低、较低等级所占面积较 2000 年增加了 2.96%,面积增加区域主要是生态风险低、较低等级向外扩展,面积增大。生态风险中等级分布面积有大幅度的减少,面积占比较 2000 年减少了 6.32%,生态风险中等级区域主要转变为较高生态风险区等级,减少的区域主要分布在洛阳—宜阳一线、济源市、巩义和荣阳市,这些区域人类活动强度增大,大面积耕地景观向建设用地类型转换,使得原有较完整的景观变得破碎,景观生态风险在逐渐增大。较高生态风险等级区域面积占比较 2000 年增加了 3.85%,主要是集中分布在济源西部、灵宝市南部、洛阳—宜阳一线以及巩义市,这些区域林地转换为耕地和草地景观,景观类型转换的区域生态脆弱度增大,高生态风险区面积略有减少,面积占比较 2000 年减少了 0.47%。2015 年豫西黄土丘陵区中生态风险和生态风险区面积及空间分布发生了显著变化,低生态风险区较 2010 年基本保持稳定,生态风险低、中等级分布面积较 2010 年显著减少,分别减少了 3.36%,

5.69%;生态风险较高等级面积占比较 2000 年增加了 1.93%,高生态风险区等级所占面积增长较为显著,较 2010 年增加了 6.88%。较高、高生态风险变化的区域主要集中在渑池县北部、巩义市、荥阳市西部,这些区域的基质景观类型以耕地为主,受到人类活动干扰后的损失度较高,另外,这些区域耕地景观向建设用地转换,景观的破碎度及分离度也在不断增大。

2000—2015 年,豫西黄土丘陵区低、较低生态风险区面积基本保持稳定,仅减少了 0.17%,中生态风险区所占面积减小幅度较大,面积占比较 2000 年减少了 12.02%,2015 年较高、高生态风险区所占面积较 2000 年增加了 12.19%,呈现明显的上升趋势。在这 15 a 间,研究区景观生态风险整体呈现上升趋势,高生态风险区的基质景观类型以耕地为主,受到人类活动干扰后的损失度较高,随着人类活动强度增强,土地利用类型的转化强度也在不断加大,景观类型转换的区域生态脆弱度增大(林地转换为耕地和草地),景观的破碎度及分离度也在不断增大(耕地转换为建设用地)。

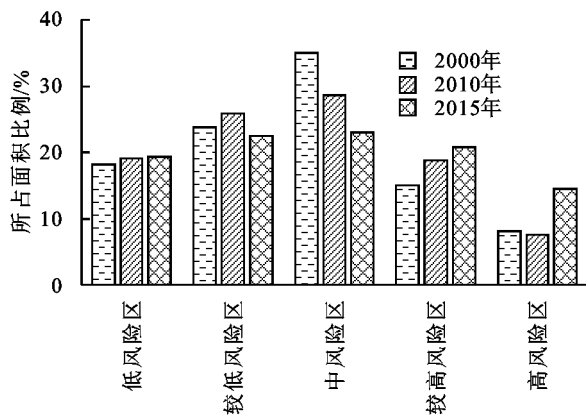


图 6 2000—2015 年研究区景观生态风险各等级面积占比

4 结论

(1) 豫西黄土丘陵区主要的土地利用类型为林地、耕地,共占研究区总面积的 83% 以上。2000—2015 年土地利用类型的转化强度也在不断增加,大量的耕地、林地向为建设用地转换,其中 2010—2015 年耕地减少幅度最大,占耕地减少总量的 82.88%。

(2) 2 000—2015 的 15 a 间,景观生态风险整体呈现上升趋势,高生态风险区的基质景观类型以耕地为主,受到人类活动干扰后的损失度较高。

(3) 研究区生态风险空间集聚形态以低—低集聚和高—高集聚为主,表现为低—低集聚区域呈现增加趋势,高—高集聚区域呈现先增加后减少趋势。生态风险高值集聚区(H—H)主要集中在卢氏县—洛宁县—灵宝县,这一区域属于黄土覆盖低山区,地表覆盖类型

多样,景观优势度较低且景观分布破碎。

本文尝试通过构建景观生态风险指数建立土地利用及景观格局的变化与区域生态风险之间的经验联系,通过空间格网采样方法将景观空间结构转化为生态风险变量。本文仅从景观空间结构角度衡量豫西黄土丘陵区生态风险程度,并没有考虑其他自然或社会经济因素,所以计算出的生态风险值并不具有绝对性。但是基于景观格局构建生态风险指数的方法研究流域的生态风险空间格局和动态变化是可行有效的。

参考文献:

- [1] Hunsaker C T, Graham R L, Suter G W, et al. Assessing ecological risk on a regional scale[J]. Environmental Management, 1990, 14(3): 325-332.
- [2] Lipton J, Galbraith H, Burger J, et al. A paradigm for ecological risk assessment[J]. Environmental Management, 1993, 17(1): 1-5.
- [3] 颜磊,许学工.区域生态风险评价研究进展[J].地域研究与开发, 2010, 29(1): 113-118.
- [4] 安佑志,尹占娥,殷杰,等.上海城市土地利用变化及生态风险研究[J].地域研究与开发, 2011, 30(1): 130-134.
- [5] 张小飞,王如松,李正国,等.城市综合生态风险评价:以淮北市城区为例[J].生态学报, 2011, 31(20): 6204-6214.
- [6] 张月,张飞,周梅,等.干旱区内陆艾比湖区域景观生态风险评价及时空分异[J].应用生态学报, 2016, 27(1): 233-242.
- [7] 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.
- [8] 虞燕娜,朱江,吴绍华,等.多风险源驱动下的土地生态风险评价:以江苏省射阳县为例[J].自然资源学报, 2016, 31(8): 1264-1274.
- [9] 傅伯杰,陈利顶,王军,等.土地利用结构与生态过程[J].第四纪研究, 2003, 23(3): 247-255.
- [10] 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.
- [11] 刘永强,廖柳文,龙花楼,等.土地利用转型的生态系统服务价值效应分析:以湖南省为例[J].地理研究, 2015, 34(4): 691-700.
- [12] 臧淑英,梁欣,张思冲.基于 GIS 的大庆市土地利用生态风险分析[J].自然灾害学报, 2005, 14(4): 141-145.
- [13] 卢江林,李阳兵.基于土地利用/覆被变化的贵阳市红枫湖水源保护区生态风险演变[J].水土保持研究, 2015, 22(6): 229-233, 239.
- [14] 王卫林,叶燎原,杨昆,等.山地城镇化建设背景下的土地利用生态风险分析[J].水土保持研究, 2016, 23(6): 358-362.

- 生态风险格局演化研究[J].生态学报,2019,39(13):4773-4781.
- [5] 刘焱序,王仰麟,彭建,等.基于生态适应性循环三维框架的城市景观生态风险评价[J].地理学报,2015,70(7):1052-1067.
- [6] 赵越,罗志军,李雅婷,等.赣江上游流域景观生态风险的时空分异:从生产—生活—生态空间的视角[J].生态学报,2019,39(13):4676-4686.
- [7] 常小燕,李新举,李西灿,等.矿区土地利用生态风险的时空异质性[J].生态学报,2019,39(9):3075-3088.
- [8] Heggem D T, Edmonds C M, Neale A C, et al. A landscape ecology assessment of the Tensas river basin[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2000, 64(1):41-54.
- [9] Kapustka L A, Galbraith H, Luxon B M, et al. Using landscape ecology to focus ecological risk assessment and guide risk management decision-making[J]. Toxicology and Industrial Health, 2001,17(5/10):236-246.
- [10] Hayes E H, Landis W G. Regional ecological risk assessment of a near shore marine environment:Cherry point, WA[J]. Human & Ecological Risk Assessment An International Journal, 2004,10(2):299-325.
- [11] Rosa D L, Martinico F. Assessment of hazards and risks for landscape protection planning in Sicily[J]. Journal of Environmental Management, 2013, 127(sep.suppl.):S155-S167.
- [12] 韦仕川,吴次芳,杨杨,等.基于 RS 和 GIS 的黄河三角洲土地利用变化及生态安全研究:以东营市为例[J].水土保持学报,2008,22(1):185-189.
- [13] 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.
- [14] 潘竟虎,刘晓.疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建[J].生态学杂志,2016,35(3):791-799.
- [15] 徐露.四川省农业景观生态风险评价研究[J].中国农业资源与区划,2019,40(1):48-52.
- [16] 王飞,叶长盛,华吉庆,等.南昌市城镇空间扩展与景观生态风险的耦合关系[J].生态学报,2019,39(4):1248-1262.
- [17] 薛冰,肖骁,李京忠,等.基于 POI 大数据的老工业区房价影响因素空间分异与实证[J].人文地理,2019,34(4):106-114.
- [18] 王俊珏,叶亚琴,方芳.基于核密度与融合数据的城市功能分区研究[J].地理与地理信息科学,2019,35(3):66-71.
- [19] 张景奇,陈小冬,修春亮.基于 POI 数据的城市蔓延测度研究:以沈阳市为例[J].中国土地科学,2019,33(4):93-102.
- [20] 浩飞龙,王士君,冯章献,等.基于 POI 数据的长春市商业空间格局及行业分布[J].地理研究,2018,37(2):366-378.
- [21] 孙宗耀,翟秀娟,孙希华,等.基于 POI 数据的生活设施空间分布及配套情况研究:以济南市内五区为例[J].地理信息世界,2017,24(1):65-70.
- [22] 李双成,高伟明,周巧富,等.基于小波变换的 NDVI 与地形因子多尺度空间相关分析[J].生态学报,2006,26(12):4198-4203.
- [23] 史娜娜,全占军,韩煜,等.基于生态敏感性评价的乌海市土地资源承载力分析[J].水土保持研究,2017,24(1):239-243.
- [24] 甘琳,陈颖彪,吴志峰,等.近 20 年粤港澳大湾区生态敏感性变化[J].生态学杂志,2018,37(8):2453-2462.
- [25] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于景观结构的生态移民安置区生态风险评价:以宁夏红寺堡区为例[J].生态学报,2018,38(8):2672-2682.
- [26] 纪学朋,黄贤金,陈逸,等.基于陆海统筹视角的国土空间开发建设适宜性评价:以辽宁省为例[J].自然资源学报,2019,34(3):451-463.
- [27] 邢璐平,方斌,向梦杰.基于 GWR 模型的江苏省耕地集约利用水平时空变化特征及影响因素[J].长江流域资源与环境,2019,28(2):376-386.
- [28] 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,2018,39(21):26-39.



(上接第 284 页)

- [15] 于淑会,周向莉,卿冀川,等.河北滨海盐碱土地生态安全评价[J].中国生态农业学报,2017,25(5):778-786.
- [16] 南颖,吉喆,冯恒栋,等.基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价[J].生态学报,2013,33(15):4790-4798.
- [17] 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,2016,35(6):1017-1028.
- [18] 孙才志,闫晓露,钟敬秋.下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局[J].生态学报,2014,34(2):247-257.
- [19] 潘竟虎,刘晓.疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建[J].生态学杂志,2016,35(3):791-799.
- [20] 赵越,罗志军,李雅婷,等.“三生空间”视角下的赣江上游流域景观生态风险时空分异研究[J].生态学报,2018,39(13):1-10.