

DOI: 10.5846/stxb201711011955

刘迪,陈海,梁小英,马胜,王嘉妮.黄土丘陵沟壑区生态风险动态变化及其地形梯度分析——以陕西省米脂县为例.生态学报,2018,38(23):

Liu D, Chen H, Liang X Y, Ma S, Wang J N. The dynamic changes to ecological risk in the loess hilly-gully region and its terrain gradient analysis: a case study of Mizhi County, Shaanxi Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(23):

黄土丘陵沟壑区生态风险动态变化及其地形梯度分析 ——以陕西省米脂县为例

刘 迪, 陈 海*, 梁小英, 马 胜, 王嘉妮

西北大学城市与环境学院, 西安 710127

摘要:以黄土丘陵沟壑区陕西省米脂县为研究区,综合考虑区域农耕生态背景与社会经济发展状况,建立了以农耕生态风险概率与自然—社会复合系统损失度耦合的综合生态风险评价体系,分析了2009年、2015年土地利用生态风险的时空分异,并依托地形分布指数探究了生态风险与地形起伏度的关系,得出如下结论:米脂县土地利用变化明显,主要表现为耕地减少,林地与荒地增加;米脂县2009年、2015年综合生态风险指数分别为0.1466、0.1607,农耕风险胁迫增大,风险高值区片状分布于米脂县中部,研究期间有向川道集聚的趋势;低风险优势分布于起伏度高值区,高风险则优势分布于起伏度低值区,研究期间风险向较高地形起伏度迁移明显,同时高风险区域在起伏度低值区上的分布也更加集聚。

关键词:生态风险;土地利用;时空分异;地形起伏度;米脂县

The dynamic changes to ecological risk in the loess hilly-gully region and its terrain gradient analysis: a case study of Mizhi County, Shaanxi Province, China

LIU Di, CHEN Hai*, LIANG Xiaoying, MA Sheng, WANG Jiani

College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China

Abstract: The land ecosystem, the area utilized by man for economic gain, is an essential part of the global terrestrial ecosystem. Anthropogenic changes to land use inevitably result in a variety of changes to the structure and ecological processes of ecosystems, which result in ecological risks. It is therefore important to quantify and evaluate the ecological risks driven by many different sources. Ecological risk assessment can provide a strong scientific basis for future research on the relationship between the ecological environment and anthropogenic effects, especially in the loess hilly-gully region of Mizhi County, Shaanxi Province, China. Land use data for 2009—2015 showed that seven types of land use can be categorized in this area: farmland, forest, grassland, orchard, water body, construction land, and wasteland. A 2 km×2 km grid was established as the auxiliary evaluation unit for this area, and ArcGIS was used as the data integration analysis platform. The agricultural background and socioeconomic development of the research area were taken into consideration and the Agricultural Ecological Risk Possibility (AERP) and Natural-Social Loss Index (NSLI) were used to construct a Comprehensive Ecological Risk (CER) evaluation system. The land use change characteristics in the research area were analyzed quantitatively and maps of comprehensive ecological risk were then generated using spatial interpolation. The spatial-temporal variation for ecological risk was also investigated. Finally, the relationship between ecological risk and terrain relief was examined using the terrain distribution index. Several conclusions were drawn from this analysis: 1)

基金项目:国家自然科学基金项目(41671086,41271103)

收稿日期:2017-11-01; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chw@nwu.edu.cn

although land use in the Mizhi area has experienced considerable change, farmland and grassland still accounted for more than 68% of the land use in this region. However, land use change data showed that there had been a reduction in farmland and an increase of forest and wasteland. The policy of returning farmland to forest or wasteland, a result of various economic factors, has led to a significant transformation of farmland to forests. 2) The study area was divided into five ecological risk classes using the natural breaks method. These were risk region I ($CER < 0.095$), risk region II ($0.095 \leq CER < 0.139$), risk region III ($0.139 \leq CER < 0.183$), risk region IV ($0.183 \leq CER < 0.24$), and risk region V ($CER > 0.24$). Between 2009 and 2015, the comprehensive ecological risk index increased from 0.1466 to 0.1607, which was an increase of 9.65%. The ecological risk levels showed a tendency to increase during the study period, which indicated that ecosystems had become degraded. The ecological risk assessment showed that the comprehensive ecological risk level moved from the II/III level to the III/IV level between 2009 and 2015. Spatial differences in comprehensive ecological risk were also significantly different in the research area. Regions with a higher risk level were mainly located towards the center of the research region, and are the key areas for ecological restoration and pattern regulation. 3) Ecological risk was closely related to terrain relief. Regions with lower risk levels were mainly distributed in areas with a higher relief, and vice versa. The results showed that at risk areas began to move on to the higher relief land during the study period. However, regions with higher risk levels were mainly concentrated in the lower relief areas.

Key Words: ecological risk; land use; spatial-temporal distribution; terrain relief; Mizhi County

目前,地球已经进入“人类世”新纪元^[1],土地利用变化背景下大部分社会—生态复合系统受到人类活动的胁迫并引致诸多生态风险^[2]。科学评估与缓解人类活动引发的风险,已成为当前地理学与生态学研究的核心议题之一^[3]。黄土丘陵沟壑区等生态脆弱区对土地利用变化具有极强响应,区域内农耕活动频繁,景观较为破碎,生态系统稳定性及恢复力差^[2,4],极大影响人类福祉赖以发展的自然根基。定量表征与评价区域内人类活动对生态环境造成的风险,是黄土高原生态恢复及可持续发展的基础^[5]。

生态风险是生态系统组分受到外界压力而产生不利生态影响的可能性^[6]。目前,生态风险研究范式较为统一,基于景观格局指数度量的景观生态风险评价的研究居多^[7-11],且以土地利用变化为诱因的风险评价^[12-13]已成为研究热点。尽管同时将风险源对生态环境的胁迫、风险对人类社会的影响纳入综合生态风险评价的研究还不多见^[14-16],且指标间的权重大多采用层次分析法^[16]、专家打分法^[15]等主观方法来确定,但在依据研究区实际情况遴选风险源指标、基于干扰度和脆弱度来表征自然系统损失度、综合自然属性和社会属性来表征风险损失度等方面已得到诸多学者的认可^[17-19]。同时,生态风险评价研究主要聚焦流域^[7-9,14]、海岸带^[10,12,20]等自然地域以及矿区^[11]、行政区^[13,17,21-22]等人文地域,黄土丘陵沟壑区风险评价研究案例较少。

基于此,本文以地处黄土丘陵沟壑区的陕西省米脂县为例,选取农户干扰胁迫、土壤污染胁迫、外部距离胁迫等3类风险源,基于熵权法确定指标权重,构建耦合农耕风险概率与自然—社会复合系统损失度的二维风险模型,对生态风险时序变化进行分析的同时结合地形分布指数探究了生态风险时空分布特征与地形之间的关系。

1 研究区概况

米脂县(109°49'E—110°29'E,37°39'N—38°05'N)位于陕西省榆林市东南部,总面积1178 km²,地处黄土丘陵沟壑区。属中温带半干旱气候带,全年降雨量低,气候干燥,夏季是降雨主要季节;境内沟壑纵横,地势起伏较大,植被覆盖度低,地表破碎化程度突出(图1)。伴随着大量农药化肥、塑料薄膜的使用以及陡坡种植等高密度农耕行为,米脂县农业生态系统呈现出脆弱性特征并使生态风险持续增加,及时把握风险的演变趋势对于米脂县十分必要。作为国家首批退耕还林示范县,1999—2015年持续退耕使林草地面积持续增加,在区域政策与经济利益的驱动下,耕地类型转化与弃耕撂荒行为频发;加之自然条件过渡性与多样性,研究区土地

利用类型产生较大变化,为揭示综合生态风险的时空演化提供了良好的研究平台。

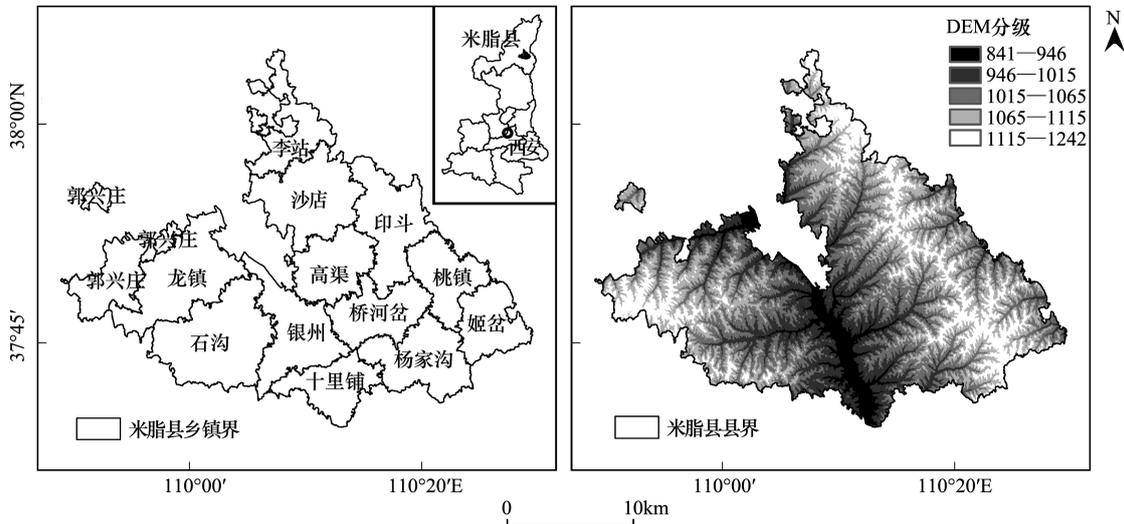


图1 米脂县地理位置及其高程

Fig.1 Location and DEM of the Mizhi County

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

数据来源涉及土地利用、地形及社会经济数据等多个数据集。其中,2009年米脂县土地利用类型数据基于第二次全国土地利用调查数据集获得;2015年米脂县土地利用数据以该年高分一号影像(321波段)为数据来源,通过ENVI5.1进行几何校正、影像增加处理后,进行监督分类和目视解译获取,解译结果的Kappa指数达到0.86,满足风险评价精度要求。参照全国土地利用分类标准,将土地利用类型分为耕地、果园、林地、草地、水域、城镇村及工矿用地、荒地(含盐碱地)7类。DEM数据源于中科院计算机网络信息中心地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),重采样为10m DEM,利用ArcGIS邻域分析工具建立5×5矩形移动窗口分别提取邻域栅格高程最大值与最小值并求取差值,生成研究区地形起伏度^[23]。人口密度、粮食产量及农业投入等社会经济数据源自《米脂县社会经济统计年鉴》(2009年、2015年)。

2.2 生态风险评价框架

本文按照生态损失指数法,将研究区生态风险定量表征为风险概率与风险损失的乘积^[6]。黄土丘陵农耕区生态风险源识别需较好地表征外部胁迫,而土地利用是农户改造自然环境最直观的表现形式^[12],并关联诸多生态环境问题^[13],因此与土地利用密切关联的农耕风险类型应当予以关注。基于此,黄土丘陵农耕区综合生态风险(Comprehensive Ecological Risk, CER)可以通过农耕生态风险概率(Agricultural Ecological Risk Possibility, AERP)与自然—社会复合系统损失度(Natural-Social Loss Index, NSLI)共同表征^[5,17]。公式如下:

$$CER_i = AERP_i \times NSLI_i \quad (1)$$

式中, CER_i 为风险小区*i*的综合生态风险; $AERP_i$ 为风险小区*i*的农耕生态风险概率; $NSLI_i$ 为风险小区*i*的自然—社会复合系统损失度。其中:

$$AERP_i = \sum_j^3 \lambda_j P_{ij}; NSLI_i = aNLI_i + bSLI_i \quad (2)$$

式中, P_{ij} 为第*i*个风险小区的*j*类风险源概率; λ_j 为*j*类风险源权重,农户干扰胁迫、土壤污染胁迫、外部距离胁迫三者权重分别为0.24、0.42、0.34; NLI_i 为第*i*个风险小区自然系统损失度; SLI_i 为第*i*个风险小区社会系统损失度;权重 $a=0.64$ 、 $b=0.36$ 。权重通过客观熵权法赋值得到。

为探讨生态风险空间分异,本文利用等间距系统采样将研究区划分为 362 个 2 km×2 km 单元网格^[10],将计算得到的各类风险源指标数值及损失度值赋予风险小区中心点,借助 ArcGIS 空间分析工具进行普通克里金插值,实现空间化。

2.2.1 农耕生态风险概率

目前,由于人类活动与自然环境关联程度不断加深,土地利用替代自然要素在短期内主导环境变化和区域发展已成客观事实^[19]。在黄土丘陵沟壑区,景观演化亦具有人类主导性,结合风险动态演化的研究目标导向,生态风险概率偏重农户耕作与生产生活引致的风险,主要包括由农户干扰胁迫、土壤污染胁迫、外部距离胁迫三者引致的风险。

农户干扰胁迫是指农户从事农业活动、生产生活形成的干扰体对景观环境施加的胁迫^[24]。本文根据黄土丘陵农耕区特点,选取土地垦殖系数表示农户对土地资源的利用与干扰程度,该系数为耕地面积占土地总面积的比例。一般情况下,土地垦殖系数较大的区域往往面临较高的局域水土流失与土壤盐渍化风险。考虑到研究区水资源匮乏、工业滞后,因此区域环境污染应重点关注农业土壤污染,本文选取农药化肥施用强度与农塑薄膜覆盖密度表征研究区农业种植行为对区域生态环境带来的土壤污染胁迫。

外部距离胁迫是农户对不同景观类型干扰距离的刻画,一般而言,距离道路越近,人类活动影响下各类景观类型代表的生态系统面临其生态系统服务降低的风险越大^[5]。另外,外部距离胁迫值也与自身地类属性对农户的吸引程度有关,本文通过距离衰减系数进行衡量^[25]。公式如下:

$$DIS = \frac{1}{1 + (d/a_j)} \quad (3)$$

式中, d 为景观单元距道路的距离; a_j 为 j 类景观类型的距离衰减系数,根据建筑用地、耕地、果园、水域、草地、林地和荒地对道路依赖程度的不同,分别取 1000、500、500、100、10、1、1。

2.2.2 自然—社会复合系统损失度

自然—社会复合系统损失度包含自然系统损失度,社会系统损失度,分别表示自然系统、社会系统暴露于风险下可能带来的损失^[17-18]。农耕行为对生态环境的干扰,使区域内所有景观暴露在一种或多种风险源之下,其代表的生态系统都可能遭到损失^[21],直观地表现在景观结构和功能的变化上。不同类型景观暴露于区域的多种位置,其受到的干扰程度与自身应对外界干扰的抵抗能力均有差异^[10]。本文选用基于干扰度和脆弱度的自然损失指数反映风险受体受到人为干扰时其自然属性损失的程度^[18]。公式如下:

$$NLI_i = \sum_k \frac{S_{ik}}{S_i} \sqrt{E_k \times F_k} \quad (4)$$

式中, NLI_i 为第 i 个风险小区的自然系统损失度; E_k 为景观类型 k 的干扰度; F_k 为景观类型 k 的脆弱度; S_{ik} 为第 i 个风险小区 k 类景观类型面积; S_i 为第 i 个风险小区总面积。参考前人^[10,22]研究,干扰度包含破碎度、分离度、优势度,各项指标在 Fragstats4.2 中计算得到;脆弱度依据专家打分法归一化求得。

由于不同的生态危害发生在不同的风险小区内,可能导致完全不同的结果。因此损失度不仅要考虑受体的自然属性,还要考虑其社会经济属性^[16]。农耕区社会经济系统中,人口是区域发展的根本,粮食资产是关乎农户福祉的关键,两者是研究区风险胁迫下最为敏感的损失受体。本文通过社会系统损失度 SLI 定量分析区域灾损敏度,利用人口密度、粮食产量指标等权重综合反映。本文依托于土地利用数据,人口密度以格网内建设用地比例与乡镇人口密度标准值进行分区统计获取,粮食产量以格网内耕地面积比例与乡镇粮食产量标准值进行分区统计获取。

2.3 地形起伏度及其分布指数

地形起伏度是对区域地形切割深度的数值度量,是表征地貌类型的重要指标,尤其是在黄土丘陵沟壑区等地表切割较强地区,地形起伏度的成图成为该类区域地貌过程分析的重要步骤^[26]。黄土丘陵沟壑区内地形对人类活动的限制性和对土地利用空间分布的自然选择性,使区域内人类风险胁迫与社会财富随地形梯度

分布呈现规律的变化特征,而风险源与损失度等关联要素的变化导致地形梯度上不同等级生态风险的迁移。本文结合分布指数^[27]旨在探讨地形起伏度因子与生态风险之间的时空关联。分布指数通过消除不同地形起伏度等级面积差异和不同风险组分面积比重差异来描述各风险组分在地形起伏度梯度上的分布状况。公式如下^[27]:

$$P = (S_{ie}/S_i)(S/S_e) \quad (5)$$

式中, P 为分布指数, S_{ie} 为第 e 种地形起伏度下第 i 类风险等级面积, S_i 为第 i 类风险等级总面积; S_e 为第 e 种地形起伏度总面积, S 为研究区总面积。 $P>1$,说明特定风险等级在特定地形起伏度上处于优势分布。

3 结果分析

3.1 土地利用变化分析

由表 1 可知,研究期间米脂县土地利用总体变化不大。草地、果园、水域及城镇用地面积比例基本维持稳定,而耕地、林地、荒地土地流转明显。耕地减少 3168.45 hm²,变化幅度为-6.16%;林地增加 1102.95 hm²,变化幅度为 8.54%;荒地增加 1609.47 hm²,变化幅度为 183.70%,是面积比例变化最大的土地利用类型。减少的耕地,部分受退耕还林政策推动转化为林地,部分受农户个体抛荒转化为荒地。抛荒行为原因多样,大多受经济利益驱动,年轻农户出外打工或响应移民搬迁政策离开农村选择主动抛荒,部分农户因年龄增长难以负担繁重农工而被迫抛荒。林地增加大多来源于耕地转入,相较于耕种,部分农户更意向于退耕还林,出外打工而获得更高收益。盐碱地产生于沟谷地带,研究期间由于大面积土壤盐渍化使盐碱地面积增加,土壤耕性受到影响且短时间内难以恢复。

表 1 2009—2015 年米脂县土地利用类型变化/%

Table 1 Changes of land use types from 2009 to 2015 in the Mizhi County

年份 Year	耕地 Farmland	果园 Orchard	林地 Forests	草地 Grassland	水域 Water body	城镇用地 Construction land	荒地 Wasteland
2009	43.41	12.35	11.01	28.55	0.73	3.17	0.78
2015	40.74	12.38	11.95	28.71	0.77	3.23	2.22

3.2 综合生态风险时空分异

本文基于自然断点法将农耕生态风险概率、系统损失度以及综合风险进行分级,等级越高表示风险概率、损失度以及综合风险越大,结果分别如图 2、图 3 和图 4 所示。

3.2.1 农耕生态风险概率

农耕风险概率是农户干扰胁迫、土壤污染胁迫与外部距离胁迫的综合表征。由图 2 可知,研究期间风险概率空间差异显著,大致呈现中东部高、西北部低的空间分布格局。2009 年最高风险概率(V 级)占研究区面积的 12.25%,集中分布于中部的银州与东部的桃镇与杨家沟;银州位于川道,农耕与乡镇交通发达,农户干扰较大,桃镇与杨家沟因其较高的垦殖率与农肥施用而呈现较高的农耕风险。III、IV 级风险概率在 V 级风险区域周围呈环状分布,占研究区面积的 31.03%。I、II 级风险概率占研究区面积的 56.82%,主要分布于西部与北部区域;西部各乡镇农地耕作强度与农肥使用量较低,土壤污染有限,同时北部与西部交通相对闭塞,农户干扰造成的生态系统服务价值降低的可能性较小。与 2009 年相比,2015 年农耕生态风险呈现“西移北进”、中部扩张的趋势,风险概率整体上升了 13.19%。东南部风险核心有所缩小,主要是由于杨家沟土壤污染明显减轻;西部与北部农耕风险的扩张则与石沟和沙店的道路扩张、石沟和高渠等乡镇土壤污染的上升密切相关。

3.2.2 自然—社会复合系统损失度

自然—社会复合系统损失度由景观结构损失度、社会经济损失度综合表征,由图 3 可知,研究期间系统损失度空间差异显著,大致呈现中西部高、南北低的空间分布格局。2009 年较高损失度(IV、V 级)块状分布于研究区中部,主要包括西部的郭兴庄、石沟、中部的桥河岔等乡镇,占研究区面积的 25.22%;郭兴庄毗邻榆林

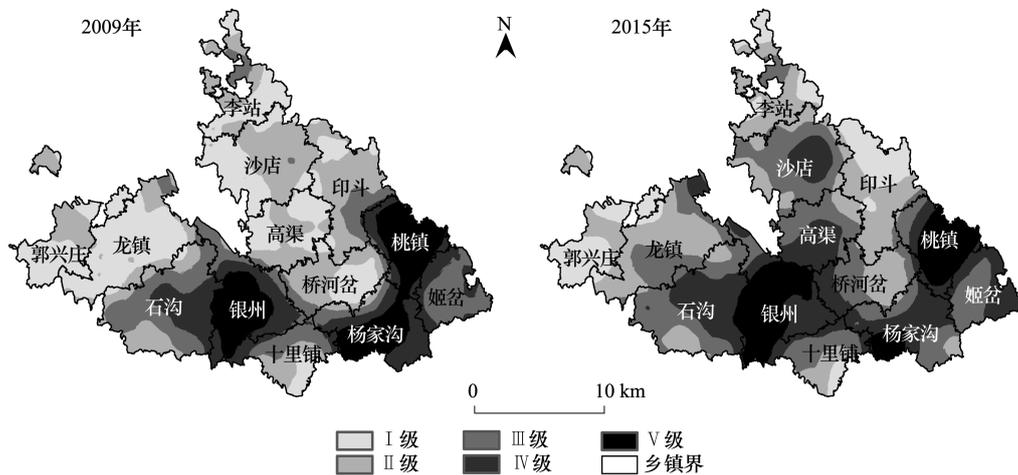


图2 米脂县 2009—2015 年农耕生态风险概率空间分布

Fig.2 Spatial distribution of Agricultural Ecological Risk Possibility from 2009 to 2015 in the Mizhi County

风沙区,植被稀少,土壤风蚀沙化明显,自然损失度全县最高;石沟与桥河岔高损失度闭合区正处米脂县最大的两条侵蚀沟,土地利用开发程度强,景观破碎,且人口密集,风险造成的损失较大。I、II级损失度占研究区面积的 44.53%,主要分布于东北部以及南部各乡镇。与 2009 年相比,2015 年系统损失度呈现“南移东进”、中部聚集的趋势,系统损失度整体上升 3.62%。随着城镇化推进,中部银州接纳更多的外来乡镇人口,人口密度有所上升,风险损失增加。近年来石沟乡镇建设使得区域景观分离度降低,损失度核心区域缩小,而东部的桃镇由于大面积土地撂荒导致景观趋于破碎,自然损失度增加而成为新增的损失度高值核心。

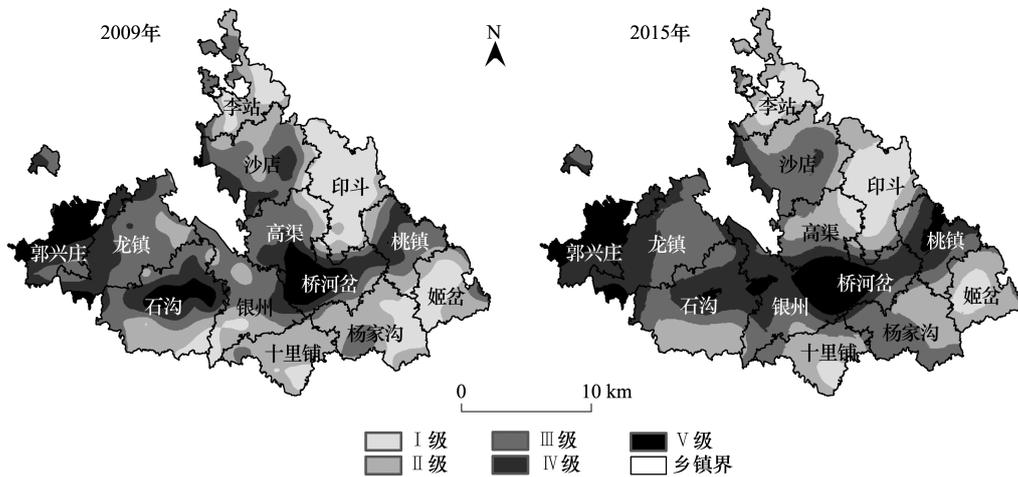


图3 米脂县 2009—2015 年自然—社会复合系统损失度空间分布

Fig.3 Spatial distribution of Natural-Social Loss Index from 2009 to 2015 in the Mizhi County

3.2.3 综合生态风险

综合生态风险是“概率—损失”二维模型的集成表达(图4)。研究期间,2009年、2015年米脂县综合生态风险指数分别为 0.1466、0.1607,风险值上升 9.65%。为更好说明风险值的变化特征,本文采用风险转移矩阵分析各个风险等级面积转化情况(表2)。

研究期间风险转移类型除各个风险级别面积保持不变之外,主要有 I—II、I—III、II—III、II—IV、III—IV、III—V、IV—V 7 类等级增加的风险转移类型以及 II—I、III—II、IV—III、V—IV 4 类等级减小的转移类型。将相邻等级风险转换面积相互抵消可得到风险面积的转化去向:I—II 的转化面积为 4679 hm²;II—III 的转化面积

为 20936 hm^2 ; III—IV 的转化面积为 10032 hm^2 ; IV—V 的转化面积为 2264 hm^2 。由转化去向看出,风险等级均在自身等级的基础上转向较高级。通过简单统计,风险等级由低到高转变的面积占研究区面积的 40.9%,而反向转变面积仅占 6.07%,说明生态风险度虽在局部地区有所下降,但在整体上呈上升趋势。

表 2 米脂县 2009—2015 年综合生态风险转移矩阵/ hm^2

Table 2 Transition matrix of Comprehensive Ecological Risk from 2009 to 2015 in the Mizhi County

生态风险等级 Ecological risk grades	I	II	III	IV	V	2015 年总计 Total in 2015
I	13267	722				13988
II	5401	14742	1994			22138
III	770	22930	17671	1767		43239
IV		1230	11799	10175	2676	25902
V			1258	4940	6420	12619
2009 年总计 Total in 2009	19539	39646	32722	16882	9097	117886
面积净变化 Net change in area	-5551	-17508	10416	9098	3546	

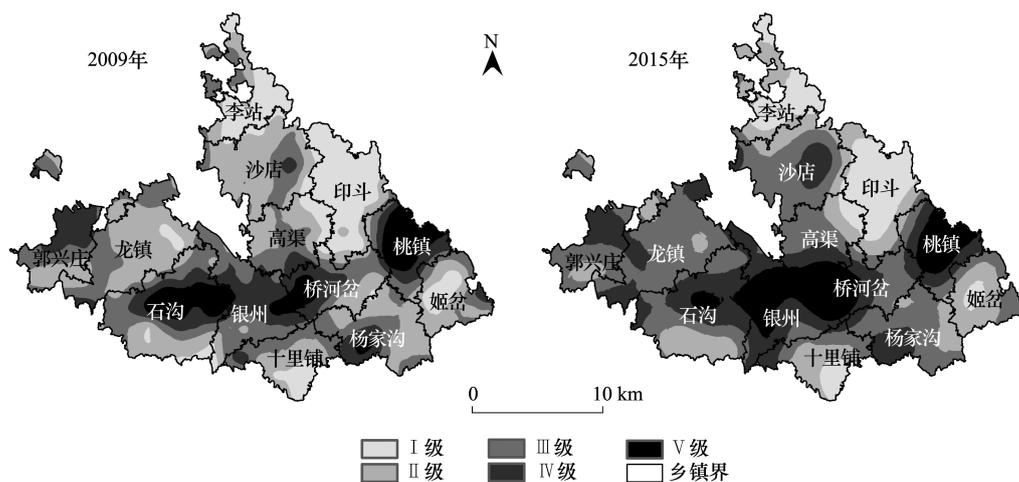


图 4 米脂县 2009—2015 年综合生态风险空间分布

Fig.4 Spatial distribution of Comprehensive Ecological Risk from 2009 to 2015 in the Mizhi County

同时,从图 4 可以看出,研究区综合生态风险空间差异性显著,整体上呈现中间高南北低的空间分布格局。2009 年 I、II 等级风险区约占研究区面积的一半,主要分布于东部和北部。IV、V 等级风险占研究区面积的 22.04%,集中于研究区中部,呈片状直线分布。与 2009 年相比,2015 年生态风险维持前期的空间格局,但各等级风险面积比例发生较大变化,综合风险有明显增加的趋势。I、II 级风险区占研究区的面积分别下降 4.7%、14.85%,其中 II 级风险区面积的减少是研究期间风险转移面积最大的类型。III 级风险区面积扩大明显且已联接成片,达到研究区面积的 1/3,面积比例增加 8.84%。IV、V 级风险区面积比例分别增加 7.72%、3.01%,且空间格局变化明显,桥河岔及银州 V 级高风险核心扩大明显,相较而言石沟高风险核心明显缩小。

3.3 生态风险与地形起伏度的关系

为厘清生态风险与地形的耦合关系,本文以地形起伏度为单一因子,结合分布指数探讨生态风险的时空分异(表 3)。表 3 中,数字 1—5 表示地形起伏梯度,通过自然断点法进行分级;数值区为分布指数 P 。

随地形起伏度级别增加,生态风险变化趋势大致分为 3 类:增加型,即 I、II 级风险区;稳定型,即 III 级风险区;减少型,即 IV、V 级风险区。从同一年份分布优势数值变化来看,随地形起伏度梯度增加,I、II 级风险分布优势持续升高,大致在 3—5 级梯度上占优势;较高的地形起伏度说明区域相对高差较大,不适宜农户耕作且可达性较差,农耕风险影响十分有限,且起伏度较高的区域分布大量林草地,自然损失度较小。IV、V 级风

险在 1 级地形起伏梯度上呈现优势分布,随梯度增加,分布优势持续降低。较低的起伏度能够指示较高的地形完整性与可达性,集中分布于川道河谷区及沟谷坝地区,受高密度农耕行为影响呈现为较高风险概率,且区域人口集中,粮食产量较高,系统损失度大,综合生态风险最高。III 级风险随地形起伏度的增加变化不明显。从不同年份分布优势数值的变化来看,I 级风险在 3—5 级优势梯度上的数值明显降低,而 II 级风险在 4—5 级优势梯度上的数值升高,说明了高地形起伏度区域将承受更多的生态风险。V 级风险除在 1 级起伏度上分布优势有所升高外,在其他起伏度级别上分布优势均降低,说明高风险区域在较低起伏度上的分布更加集聚,川道区域将承受更高的风险胁迫。

表 3 综合生态风险与地形起伏度的分布关系

Table 3 The distribution relationship between comprehensive ecological risk and terrain relief

生态风险等级 Ecological risk grades		1 (0.01—1.41 m)	2 (1.42—4.37 m)	3 (4.38—8.38 m)	4 (8.39—14.49 m)	5 (14.5—44.32 m)
I	2009 年	0.92	0.97	1.00	1.05	1.07
	2015 年	0.92	0.98	0.99	1.04	1.04
II	2009 年	0.96	1.01	1.01	1.03	1.06
	2015 年	0.98	1.00	1.01	1.06	1.11
III	2009 年	1.03	0.99	0.99	0.98	0.97
	2015 年	0.97	1.01	1.01	1.00	1.00
IV	2009 年	1.11	0.98	0.98	0.91	0.87
	2015 年	1.14	0.98	0.99	0.96	0.96
V	2009 年	1.03	1.01	1.01	0.99	0.93
	2015 年	1.06	0.99	0.99	0.95	0.86

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 研究区土地利用发生较大变化,充分体现了以退耕还林政策与农户行为二元主导的农耕区土地利用格局特点。持续退耕与耕地撂荒,使耕地不断减少,造林与抛荒面积不断增加,受土壤盐渍化影响河谷坝地产生大量盐碱地。

(2) 研究区 2009 年、2015 年综合生态风险指数分别为 0.1466、0.1607,农耕风险胁迫增大。生态风险空间分布差异明显,风险高值区片状直线分布于研究区中部,研究期间有向川道集聚的趋势。

(3) 依托于地形分布指数分析了综合生态风险与地形起伏度的关系。结果发现,低风险往往优势分布于较高的地形起伏度区域内,高风险则聚集于起伏度低值区;研究期间,风险向较高地形起伏度迁移明显,同时高风险区域在较低起伏度上的分布也更加集聚。

4.2 讨论

本文基于经典的概率—损失二维框架解构综合生态风险,丰富了偏重人为风险源的生态风险评价体系,在综合风险动态变化分析的同时探究了风险与起伏度的关系。指标体系的构建上,本文选择具有区域代表性的农耕区土地生产投入和外部距离等指标,分别表征土壤污染和外部距离胁迫,研究结果与当地实际情况较为吻合。同时,复合系统损失度不仅综合考虑了自然生态损失与社会经济损失,还对其时序变化进行分析,较为充分地体现了风险受体的自然与社会经济属性及其变化。

同时,本文结合可有效表征研究区地形特征的地形起伏度,将其纳入分布指数来分析生态风险与地理环境之间的时空关联,相较于以往针对风险等级制定风险降低对策,本文则基于不同起伏度上优势风险分布给出空间差别化的生态保护措施:1) 在高与较高风险分布的低起伏度优势区段,即川道河谷区以及沟谷坝地区。应严格管控农户农耕行为,控制农药化肥以及塑料薄膜施用量,控制以边坡开挖增加的建筑用地面积,保

护坝地和水田,缓解人地矛盾;2)在低与较低风险分布的高起伏度优势区段,即深切沟谷。应禁止坡耕地开发,严格控制放牧樵采,积极发展经济林果产业,降低生态环境脆弱性,提高抗风险能力。

本文基于土地利用变化的风险模型,从景观格局方面探讨受体自然损失的尝试,为后续综合景观格局和生态学过程来探讨生态风险奠定坚实的基础。加之农户行为是造成景观格局和生态学过程变化的主要因子。因此,综合考虑景观格局与生态学过程,基于行为模型探讨和分析生态风险的时空分异与演化,就为今后探讨宏观生态风险的微观驱动机理提供了有效途径。

参考文献(References):

- [1] 傅伯杰. 地理学:从知识、科学到决策. 地理学报, 2017, 72(11): 1923-1932.
- [2] 彭建, 党威雄, 刘焱序, 宗敏丽, 胡晓旭. 景观生态风险评价研究进展与展望. 地理学报, 2015, 70(4): 664-677.
- [3] 张小飞, 彭建, 王仰麟, 吴文斌, 杨鹏, 刘焱序, 宋治清, 薛怡珍. 全球变化背景下景观生态适应性特征. 地理科学进展, 2017, 36(9): 1167-1175.
- [4] 冯舒, 赵文武, 陈利顶, 吕楠. 2010 年来黄土高原景观生态研究进展. 生态学报, 2017, 37(12): 3957-3966.
- [5] 彭建, 谢盼, 刘焱序, 胡晓旭. 低丘缓坡建设开发综合生态风险评价及发展权衡——以大理白族自治州为例. 地理学报, 2015, 70(11): 1747-1761.
- [6] 张思锋, 刘晗梦. 生态风险评价方法述评. 生态学报, 2010, 30(10): 2735-2744.
- [7] 刘世梁, 刘琦, 张兆苓, 邓丽, 董世魁. 云南省红河流域景观生态风险及驱动力分析. 生态学报, 2014, 34(13): 3728-3734.
- [8] Xie H L, Wang P, Huang H S. Ecological risk assessment of land use change in the Poyang Lake eco-economic zone, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013, 10(1): 328-346.
- [9] Liu D D, Qu R J, Zhao C H, Liu A P, Deng X Z. Landscape ecological risk assessment in Yellow River Delta. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2012, 10(2): 970-972.
- [10] 高宾, 李小玉, 李志刚, 陈玮, 何兴元, 齐善忠. 基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析. 生态学报, 2011, 31(12): 3441-3450.
- [11] 吴健生, 乔娜, 彭建, 黄秀兰, 刘建政, 潘雅婧. 露天矿区景观生态风险空间分异. 生态学报, 2013, 33(12): 3816-3824.
- [12] 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. 地理研究, 2016, 35(6): 1017-1028.
- [13] 徐羽, 钟业喜, 冯兴华, 徐丽婷, 郑林. 鄱阳湖流域土地利用生态风险格局. 生态学报, 2016, 36(23): 7850-7857.
- [14] 许妍, 高俊峰, 郭建科. 太湖流域生态风险评价. 生态学报, 2013, 33(9): 2896-2906.
- [15] 许开鹏, 王晶晶, 迟妍妍, 刘敏, 鲁海杰. 基于综合生态风险的云贵高原土地利用优化与持续利用对策. 生态学报, 2016, 36(3): 821-827.
- [16] 李谢辉, 王磊, 李景宜. 基于 GIS 的渭河下游河流沿线区域生态风险评价. 生态学报, 2009, 29(10): 5523-5534.
- [17] 虞燕娜, 朱江, 吴绍华, 周生路, 李保杰. 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. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1264-1274.
- [18] 张雅洲, 谢小平. 基于 RS 和 GIS 的南四湖生态风险评价. 生态学报, 2015, 35(5): 1371-1377.
- [19] 杜悦悦, 彭建, 赵士权, 胡智超, 王仰麟. 西南山地滑坡灾害生态风险评价——以大理白族自治州为例. 地理学报, 2016, 71(9): 1544-1561.
- [20] Malekmohammadi B, Blouchi L R. Ecological risk assessment of wetland ecosystems using Multi Criteria Decision Making and Geographic Information System. *Ecological Indicators*, 2014, 41: 133-144.
- [21] 方广玲, 香宝, 王宝良, 金霞, 胡钰, 张立坤. 苏南经济快速发展地区人类活动生态风险评价——以镇江市丹徒区为例. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1076-1084.
- [22] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 安静. 流域景观结构的城市化影响与生态风险评价. 生态学报, 2011, 31(12): 3432-3440.
- [23] 范建容, 张子瑜, 李立华. 四川省山地类型界定与山区类型划分. 地理研究, 2015, 34(1): 65-73.
- [24] 徐浩田, 周林飞, 成遣. 基于 PSR 模型的凌河口湿地生态系统健康评价与预警研究. 生态学报, 2017, 37(24): 8264-8274.
- [25] 李景刚, 何春阳, 李晓兵. 快速城市化地区自然/半自然景观空间生态风险评价研究——以北京为例. 自然资源学报, 2008, 23(1): 33-47.
- [26] 周自翔, 李晶, 任志远. 基于 GIS 的关中—天水经济区地形起伏度与人口分布研究. 地理科学, 2012, 32(8): 951-957.
- [27] 哈凯, 丁庆龙, 门明新, 许皞. 山地丘陵区土地利用分布及其与地形因子关系——以河北省怀来县为例. 地理研究, 2015, 34(5): 909-921.