

# 基于地质灾害的陇南山区生态风险评价

## ——以陇南市武都区为例

巩 杰, 赵彩霞, 王合领, 孙 朋, 谢余初, 孟兴民

( 兰州大学 西部环境与气候变化研究院, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 陇南山区地质构造活动强烈, 频繁的地质灾害对生态环境和生态安全构成严重威胁。分别以陇南市武都区的主要地质灾害( 滑坡、泥石流和地震) 和景观类型为风险源和受体, 以景观结构指数和易损性指数作为评价指标, 构建生态风险评价模型, 进行生态风险特征评估。结果表明: 武都区生态风险特征的分布主要受地质灾害风险分布和景观格局的影响, 人类活动、植被覆盖度和海拔梯度也是重要的影响因素。极高风险区和高风险区主要集中在分布在东江镇以东的白龙江沿岸及整个白龙江南岸、安化、马街、汉王和两水镇北部等地; 低风险区和较低风险区主要分布在武都区东部和南部以及西部和西北部区域。基于景观结构的多风险源生态风险评价对于区域生态风险管理具有重要的现实和指导意义。

**关键词:** 生态风险评价; 地质灾害; 景观格局; 陇南山区

中图分类号: X141

文献标识码: A

生态风险评价是评价一种或多种干扰对生态系统及其组分产生有害影响的或然性, 是对环境管理中长时间和大区域尺度上的风险可能造成的效应进行辨认并将其联系起来, 并对人类活动和环境系统进行综合评估<sup>[1]</sup>, 最终为生态环境风险管理与环境监测提供决策支持<sup>[2-6]</sup>。区域生态风险评价是生态风险评价的分支, 是在区域尺度上描述和评估环境污染、人为活动或自然灾害对生态系统及其组分产生不利作用的可能性和大小的过程<sup>[7]</sup>, 其评价内容主要包括危害评价、暴露评价、受体分析和风险表征等<sup>[8]</sup>, 可对整个区域的生态风险管理提供综合、系统而科学的理论借鉴和技术支持<sup>[9]</sup>。

近年来, 生态风险评价研究正在由单一风险源

和单一受体的风险评价扩展到流域和景观尺度上的多风险源生态风险评价<sup>[6]</sup>。当前, 国外的研究主要是应用相对生态风险评价模型( RRM) 在流域和景观尺度上的生态风险评价研究<sup>[1, 10-11]</sup>。在国内, 李景宜<sup>[8]</sup>和陈鹏<sup>[12]</sup>等主要是基于景观结构, 以景观格局指数和景观脆弱度指数作为评价指标构建生态风险评价模型; 许学工<sup>[13]</sup>、卢宏伟<sup>[14]</sup>和巫丽芸<sup>[15]</sup>等选取多种风险源, 以生态指数和脆弱性指数作为评价指标来进行生态风险评价, 但在景观尺度上进行多风险源生态风险评价的研究尚比较鲜见。

由于地质构造活动强烈, 地质灾害频繁, 甘肃省陇南山区是我国四大滑坡、泥石流密集高发区之一<sup>[16]</sup>, 也是生态系统与自然环境对地质灾害响应的

收稿日期( Received date): 2012 - 03 - 26; 改回日期( Accepted): 2012 - 05 - 26。

基金项目( Foundation item): 国家科技支撑计划课题——白龙江流域滑坡泥石流灾害区域监测与重大灾害预警技术研究与示范( 2011BAK12B06) 和国家自然科学基金委创新群体科学基金项目——青藏高原和中东亚干旱区环境变化与地表过程研究( 41021091) 资助。[National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China: Study and demonstration of technology on regional monitoring and early warning of landslide and debris flow in the Bailongjiang River Basin; National Innovative Research Team Project of Natural Science Foundation of China: Environmental changes and surface physical processes in Qinghai - Xizang Plateau and Central - East Arid Asia ( 41021091) .]

作者简介( Biography): 巩杰( 1975 - ) 男, 生态学博士, 副教授, 主要从事景观生态学、土地变化科学、恢复生态学和生态评价与规划研究。[Jie Gong( 1975 - ) , male, Ph D of ecology, Associate professor, his research interest includes landscape ecology, land change science, restoration ecology, ecological assessment and planning. ]E - mail: jgong@ lzu. edu. cn

最为敏感区域之一。武都区是陇南市的社会、经济和文化中心,也是白龙江流域受地质灾害影响的典型城市之一。因此,本文拟以武都区多种地质灾害,如滑坡、泥石流和地震,为风险源,基于景观结构构建生态风险评价模型,探讨武都区的生态风险特征及其时空分布格局。研究可为区域生态环境管理与地质灾害防治提供科学依据。

## 1 研究区概况

武都区地处我国黄土高原向青藏高原过渡带,位于长江二级支流白龙江流域中段。总地势为西北高,东南低;区内主要的地貌类型有侵蚀堆积河谷、侵蚀构造高中山和侵蚀构造溶蚀丛峰中山等。属亚热带半湿润气候,多年平均降水量400~900 mm且年内分配极不均匀,主要集中在6—9月。山区植被多为天然林、灌丛和草地,山前和河谷平原区多为人

工林和草地,植被覆盖南部好于西北部(图1)。武都区国土面积为4 683 km<sup>2</sup>,总人口55.5万人(2010年)。由于武都区特殊的地形、岩石条件,导致地质灾害多发<sup>[16-17]</sup>,地质灾害对该区域的生态环境造成严重破坏。同时,由于长期以来的毁林开荒等一系列破坏生态的活动,导致该区域水土流失严重,强降雨又会引发新的滑坡、泥石流等灾害,生态环境日益恶化,生态系统功能弱化。

## 2 生态风险评价方法

以景观格局特征为基础,以景观结构指数和易损性指数作为评价指标构建景观损失指数;利用GIS将各类地质灾害分布图进行叠加,获得风险小区。在此基础上计算每个风险小区内的综合生态损失度,最终得到武都区生态风险特征空间分布图,对生态风险特征进行分析研究。

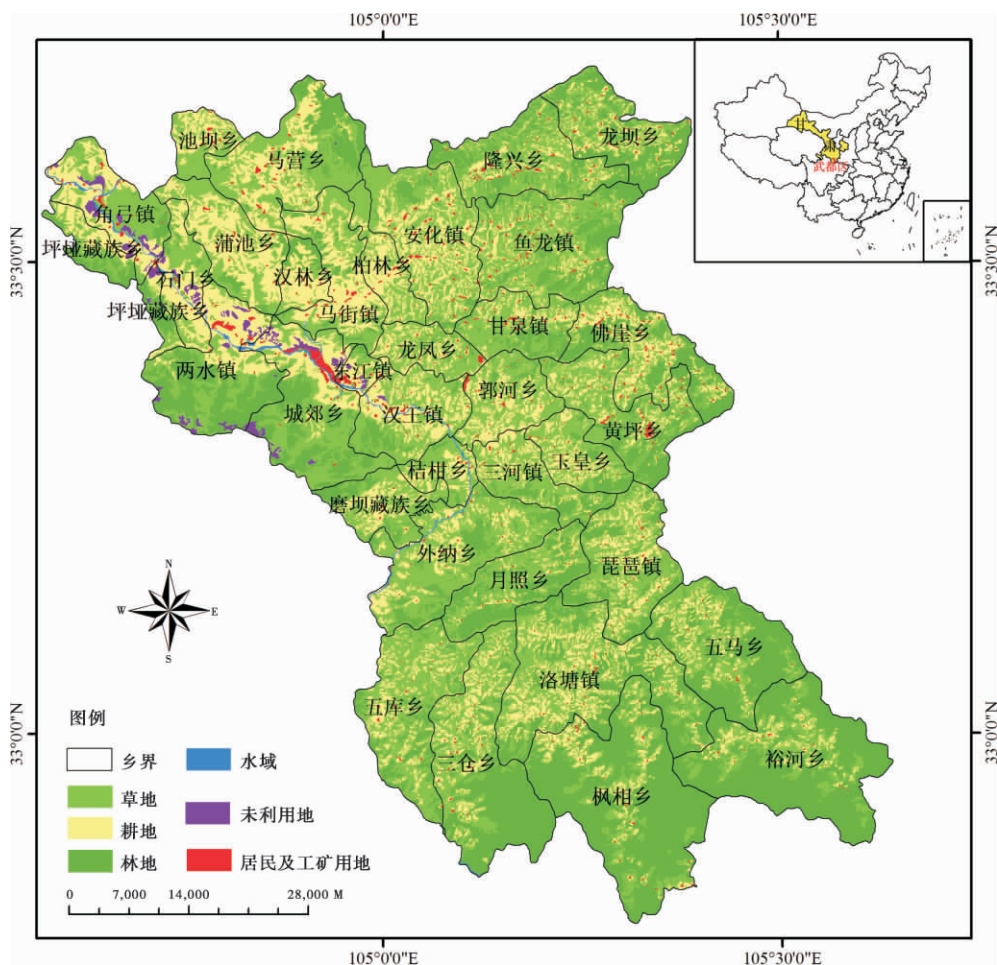


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of the study area

## 2.1 风险受体分析

受体即风险承受者,在风险评价中指生态系统中可能受到来自风险源干扰的不利作用的组成部分<sup>[18]</sup>。本文以研究区 2010 年分辨率为 30 m 的 TM 影像为基础,运用 RS 和 GIS 结合的技术,并经过野外验证得到武都区 2010 年土地利用/覆盖图,将研究区分为耕地、林地、草地、水域、居民及工矿用地和未利用地 6 类景观类型,作为风险受体。

## 2.2 风险源

风险源,又称为压力或干扰,指可能对生态系统产生不利影响的一种或多种化学的、物理的或生物的风险来源,如气象、水文、地质等方面的自然灾害、生境破坏以及严重干扰生态系统的人为活动等<sup>[18]</sup>。本文选取武都区主要的地质灾害地震、滑坡和泥石流作为风险源,进而开展地质灾害影响下武都区生态风险评价研究。

风险源以其发生的概率和强度来描述,同时区域生态风险评价需要考虑风险源的作用区域范围。其中,滑坡、泥石流的发生概率依据 1991 年以来的滑坡、泥石流灾害纪实<sup>[19]</sup>获得,地震发生概率依据中国地震台网信息<sup>[20]</sup> 1991 年以来的历史地震数据来获得,分别得到地震、滑坡和泥石流的发生概率为 70%、50% 和 35%。根据武都区滑坡点的分布,通过 ARCGIS 进行密度计算得到滑坡分布分级图,并对武都区滑坡密度图、地震动峰值加速度区划图和长江上游陇南片滑坡泥石流分布图<sup>[21]</sup> 等进行数字化,获得武都区地震、滑坡和泥石流灾害风险分布图

(图 2)。

## 2.3 基于景观格局的生态风险指数

景观格局作为自然与人为多种因素相互作用所产生的区域生态环境体系的综合反映,既是景观异质性的具体体现,又是各种生态过程在不同尺度上作用的最终结果<sup>[22]</sup>。景观具有空间异质性,不同的景观类型在受到风险源干扰后反映的剧烈程度和方式不同,景观格局指数能够高度浓缩景观格局的信息,可以定量地反映出景观格局的变化信息。

### 2.3.1 景观结构指数

景观结构指数可用来反映不同景观生态系统受到干扰的程度,可通过景观破碎度、景观分离度和景观分维数的权重叠加而获得。

$$S_i = aC_i + bN_i + cF_i$$

式中  $S_i$  为景观结构指数,  $C_i$  为景观破碎度指数,  $N_i$  为景观分离度指数,  $F_i$  为景观分维数;  $a$ 、 $b$  和  $c$  分别为各个指数的权重,且  $a + b + c = 1$ 。借鉴前人的相关研究成果<sup>[22-23]</sup>,并结合研究区的实际情况,分别赋以景观破碎度、分离度和分维数 0.5、0.3、0.2 的权重。但对于未利用地(中主要指裸岩、荒草地)来说,其分离度越大,代表着裸岩分布面积也越大,脆弱性越强,因而分离度最能代表干扰下的生境状况,故未利用地的景观破碎度、分离度和分维数的权重分别赋为 0.3、0.5 和 0.2。

1. 景观破碎度指数  $C_i$ : 是表述整个景观或某一景观类型在给定时间和给定性质上的破碎程度<sup>[8]</sup>。它可以用来描述受到地质灾害的干扰后景观类型的

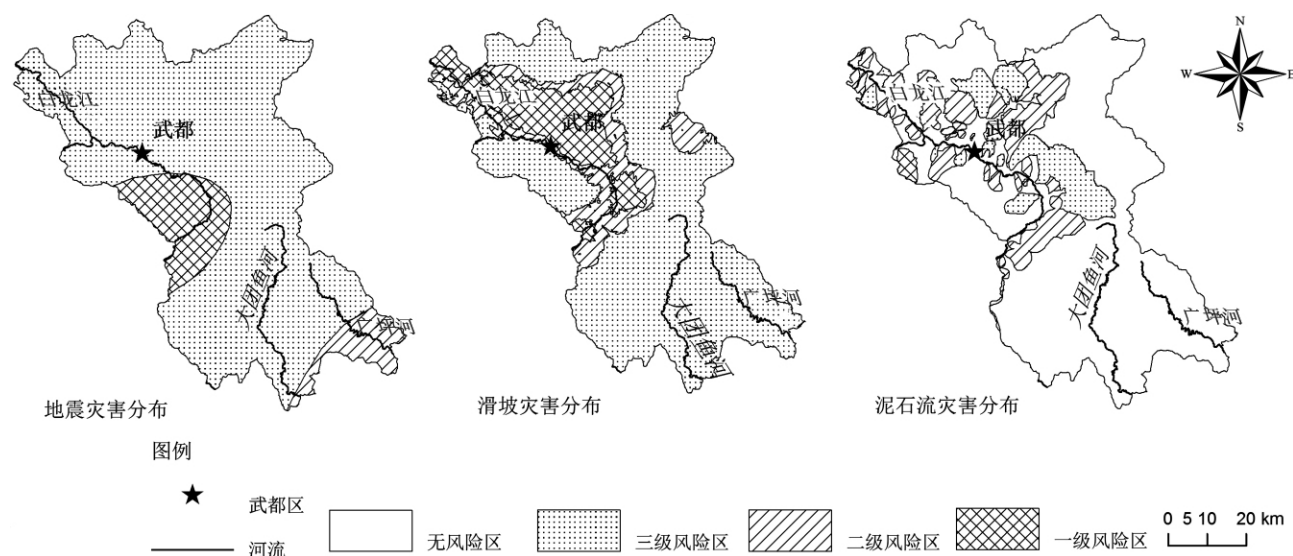


图 2 武都区主要风险源的风险分布状况

Fig. 2 The distribution of main geo-disasters of risk in Wudu

破碎程度,其计算公式如下

$$C_i = n_i / A_i$$

式中  $n_i$  为景观类型  $i$  的斑块数,  $A_i$  为景观类型  $i$  的总面积;

2. 景观分离度指数  $N_i$ : 是指某一景观中不同斑块个体空间分布的离散程度<sup>[22]</sup>。其计算公式为<sup>[24]</sup>

$$N_i = I_i \times A / A_i$$

$$I_i = 0.5 \sqrt{n_i / A}$$

式中  $I_i$  为景观类型  $i$  的距离指数,  $A$  为景观总面积,  $A_i$  为景观类型  $i$  的总面积,  $n_i$  为景观类型  $i$  的斑块数;

3. 景观分维数  $F_i$ : 描述了景观中斑块形态的复杂性特征, 可以反映景观在受到地质灾害的扰动后其形态的复杂程度。其计算公式为<sup>[25]</sup>

$$F_i = 2 \ln \left( \frac{P_i}{4} \right) / \ln A_i$$

### 2.3.2 景观易损性指数

由于不同地质灾害的暴发条件不同, 不同景观类型受到地质灾害的影响程度不同; 由于不同景观类型自身脆弱程度的不同, 在受到地质灾害影响之后其损害程度也不同。因此, 借鉴相关文献<sup>[13 22]</sup>, 针对地质灾害的发生特点和研究区各景观类型本身的特征, 对6类景观类型的易损性进行排序及标准化处理: 未利用地(0.29) > 水域(0.24) > 耕地(0.19) > 草地(0.14) > 居民及建设用地(0.10) > 林地(0.05)。

### 2.3.3 景观生态损失指数

景观生态损失指数表示遭遇干扰时各景观类型所受到的生态损失的差别, 是某一景观类型的景观结构指数和脆弱度指数的综合<sup>[26]</sup>。生态损失指数计算公式如下

$$R_i = S_i \times V_i$$

式中  $R_i$  为景观类型  $i$  的生态损失指数,  $S_i$  为景观类型  $i$  的景观结构指数,  $V_i$  为景观类型  $i$  的易损性指数。

## 2.4 区域生态风险综合评价

### 2.4.1 风险源的权重确定

不同风险源(地质灾害类型)对不同景观格局的影响程度不同, 形成的生态风险作用也不同。采用层次分析法(AHP)计算各地质灾害的权重, 根据各风险源对不同景观类型影响程度的差异构建比较矩阵, 对比较矩阵进行计算得到最大特征值为3.278, 所对应的归一化特征向量, 获得各风险源的权重为: 地震0.27、泥石流0.53、滑坡0.2,  $CR =$

0.037 < 0.1, 通过一致性检验。

### 2.4.2 风险小区的划分

风险源在整个研究区域的风险等级不同, 在进行区域生态风险评价时要考虑其区域的空间异质性。鉴于此, 将本区风险源的风险分布图通过GIS叠加, 将整个研究区域划分为257个风险小区, 每个小区内其风险源的风险等级一致。

### 2.4.3 风险值的度量

划分风险小区之后, 对每个风险小区内的风险值进行计算, 根据每个风险小区内各风险源的严重等级, 将其分为三级, 分别用数值表示, 同时考虑到各风险源的发生概率, 通过加权得到每个小区内的综合风险值  $P_j$ , 用以下公式表示

$$P_j = \sum_{l=1}^{l=3} L_{jl} \times W_l \times P_l$$

式中  $P_j$  是风险小区  $j$  的综合风险值,  $L_{jl}$  是风险小区  $j$  内  $l$  地质灾害的严重等级,  $W_l$  是  $l$  类地质灾害的权重,  $P_l$  是  $l$  类地质灾害的发生概率。

### 2.4.4 综合生态风险评价

为了建立景观结构与区域综合生态环境状况之间的联系, 利用景观组分的面积比重, 引入生态环境风险指数, 用于描述一个风险小区内综合生态损失的相对大小, 以将景观空间结构转化成空间化的生态风险变量<sup>[27]</sup>。其计算公式如下

$$D_j = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{A_{ji}}{A_j} \times R_i$$

式中  $D_j$  风险小区  $j$  的综合生态损失度,  $A_{ji}$  是风险小区  $j$  内  $i$  景观类型的面积,  $A_j$  是风险小区  $j$  的面积,  $n$  是景观类型。

由此, 得到生态风险指数(Ecological Risk Index,  $ERI$ ), 其计算公式为

$$ERI = P_j \times D_j$$

式中  $ERI$  为生态风险指数,  $P_j$  为风险小区  $j$  的综合风险值,  $D_j$  为风险小区  $j$  的综合生态损失度。

## 3 结果与分析

### 3.1 景观类型的基本特征

由表1可知, 研究区草地面积所占比例最大(41%), 林地次之(33%), 水域和未利用地占整个研究区的面积比例最小(分别为0.004%和0.006%)。

研究区各景观类型的破碎度依次为: 居民及工

矿用地的破碎度最高(0.132),耕地次之(0.025),水域和草地最小(均为0.003)。居民及工矿用地和耕地是受人类活动干扰最强的景观类型,由于大面积森林砍伐和毁林开荒,致使林地面积大幅度减小,斑块数增多,破碎度增大。对于景观分离度而言,居民及工矿用地的景观分离度最高(为1.694),所占面积较小,斑块数也较少;其次为未利用地(为0.834),所占面积最小,且呈零星散点状分布,并被其他类型斑块所隔离;分离度最低的是草地(0.044),所占面积最大,斑块数也最多。在6种景观类型中,水域的景观分维数最高为1.169,其次为

草地1.104,居民及工矿用地和林地的景观分维数最低,自相似性强。

### 3.2 生态风险空间特征

利用 ARCGIS 中的 quantities 分级方法将风险值分为5个等级,将研究区生态风险指数划分为5个等级,I级为极高风险区( $ERI > 0.032$ )、II级为高风险区( $0.022 < ERI \leq 0.032$ )、III级为中等风险区( $0.017 < ERI \leq 0.022$ )、IV级为较低风险区( $0.013 < ERI \leq 0.017$ )、V级为低风险区( $ERI \leq 0.013$ ),并据此对各风险等级面积进行统计(表2),得到武都区生态风险水平等级分布图(图3)。

表1 武都区各景观类型的生态损失指数

Table 1 The ecological loss index of landscape types in Wudu

景观类型	面积 /km <sup>2</sup>	斑块数	景观破碎度	景观分离度	景观分维数	景观结构指数	景观易损性指数	生态损失指数
林地	1 561.86	816	0.005	0.062	1.079	0.237	0.190	0.045
耕地	1 098.88	2727	0.025	0.162	1.090	0.279	0.048	0.013
草地	1 901.55	610	0.003	0.044	1.104	0.236	0.143	0.034
居民及工矿用地	53.52	705	0.132	1.694	1.041	0.782	0.238	0.186
水域	16.62	5	0.003	0.459	1.169	0.373	0.286	0.107
未利用地	30.90	57	0.018	0.834	1.082	0.639	0.095	0.061

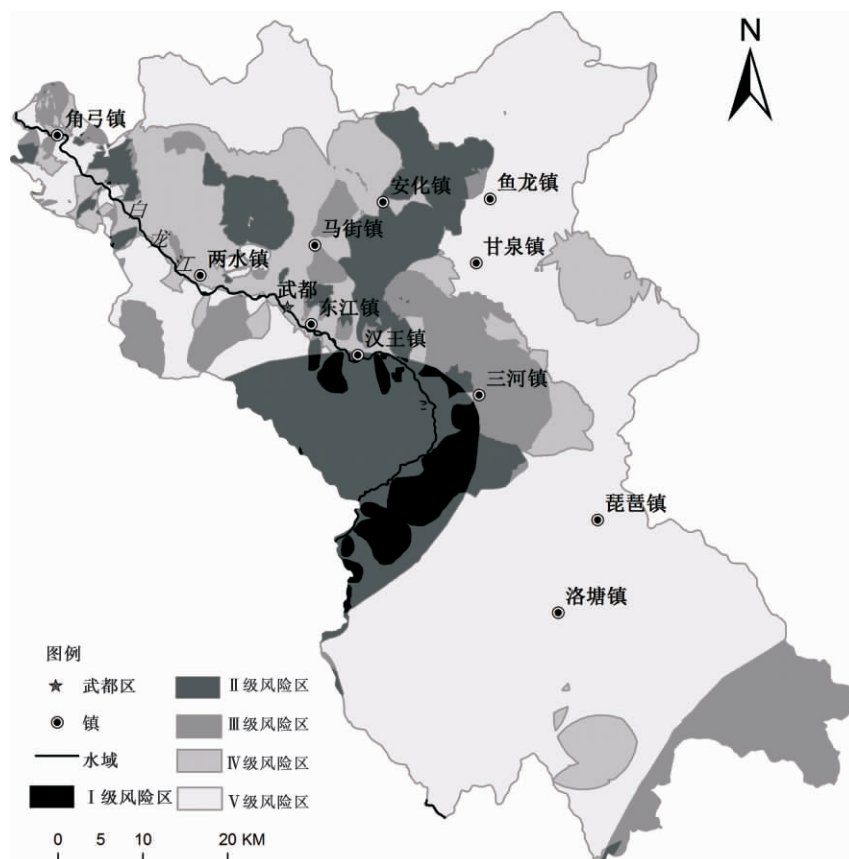


图3 武都区生态风险等级分布图

Fig. 3 The distribution of ecological risk level in Wudu

表2 武都区生态风险分区面积统计表

Table 2 Area and percent for ecological risk level in Wudu

风险等级	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
I 级风险区	149.35	3.20
II 级风险区	690.94	14.82
III 级风险区	559.50	12.00
IV 级风险区	721.29	15.47
V 级风险区	2 542.25	54.52

由表2得出,低风险区和较低风险区占研究区面积的69.99%,极高和高风险区占研究区的总面积比例为18.02%,中等风险区占研究区面积的14.82%。

总的来说,陇南市武都区生态风险空间分布的特征呈现为沿白龙江区域的生态风险等级高于其他区域。其中极高风险和高风险区主要集中在东江镇以东的白龙江沿岸及整个白龙江南岸地区,从安化、马街到汉王呈带状分布,两水北部、角弓镇东部和南部也有分布。这主要是由于武都区北部地质灾害集中多发,严重影响生态环境。据有关资料显示<sup>[16]</sup>,白龙江干流两岸山区,滑坡有75处,占滑坡总数的40%,泥石流162条,占总数的61%,北峪河流域有滑坡48处,占总数的26%,泥石流38条,占总数的15%;而这些区域的主要景观类型为耕地、居民及工矿用地和草地,居民及工矿用地、耕地的景观破碎度和分离度最高,因此,区域的系统抗干扰能力低;白龙江两岸及安化、马街等区域人口分布集中,农业、工业和城镇建设活动多且集中,人类干扰大;此外这些区域的植被覆盖度低且海拔高于南部。

低风险区和较低风险区主要分布在武都区东部、南部大片区域、西北和西部区域。这主要是由于该区域地质灾害风险等级低,对生态环境影响较小,据有关资料显示<sup>[16]</sup>,南部原洛塘区滑坡、泥石流分布较少,分别占总数的21%、5%;武都区东部、南部的主要景观类型为林地和草地,这两类景观类型的景观破碎度指数和景观分离度指数较低,因而,区域的系统抗干扰能力高;林地覆盖广泛,面积大,植被覆盖度高;东部和南部区域地形崎岖,人口分布较少,人类活动强度小。中等风险区主要分布在研究区东南部、三河镇,部分分布在马街,两水南部,在角弓镇也有零星分布。该区域地质灾害较频繁,植被覆盖度较低,海拔较高。

通过对研究区不同景观类型的生态风险等级进

行统计分析(图4),水域、草地和耕地景观主要集中在分布极高风险区和高风险区,两个等级所占面积比重之和在20%以上。未利用地、居民及工矿用地和林地景观中较低风险区和低风险区所占面积比例大,两个等级所占面积比重之和在75%以上。

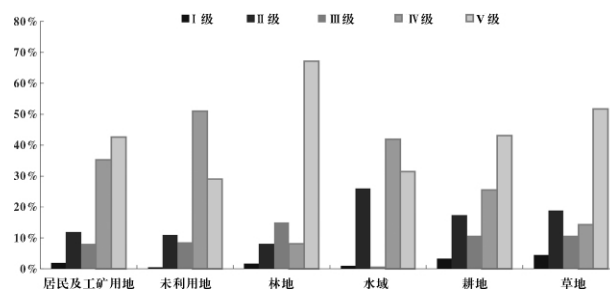


图4 武都区不同景观类型的生态风险分布特征

Fig. 4 Distribution of ecological risk level of different landscape types in Wudu

## 4 结论与讨论

本文以地质灾害滑坡、泥石流和地震作为风险源,对武都区的生态风险特征进行分析探讨,将地质灾害对生态环境造成的可能性影响从景观的角度以定量化地形式表现出来,对于认识武都区生态风险的空间分布特征,进行区域生态风险管理具有重要的现实指导意义。

1. 武都区生态风险分布的总体特征是沿白龙江区域的生态风险等级高于其他区域,高风险区主要分布在东江镇以东的白龙江沿岸及整个白龙江南岸区,从安化、马街到汉王镇呈带状分布,在两水镇北部、角弓镇东部和南部也有零星分布。这主要受地质灾害的影响。一般来讲,地质灾害的高发区也是生态风险的高风险区。此外,景观格局是重要的影响因素,它对生态风险水平的影响主要是通过景观格局指数表现出来。同时,人类活动、植被覆盖度和海拔对生态风险等级分布也有影响。

2. 极高风险区和高风险区主要分布在水域、草地和耕地景观中,较低和低风险区主要分布在未利用地、居民及工矿用地和林地景观中。水域对地质灾害尤其是滑坡和泥石流有重要影响,水分入渗可能导致土体不稳定,诱发滑坡。而且,洪水和强降雨是暴发泥石流的必要条件之一。耕地是受人类活动严重影响的区域,植被覆盖少,土体松散,极易受到地质灾害的影响。林地景观中植被覆盖度高,林木



可以固定土壤表层,松散物质较少,不易发生泥石流和滑坡。

3. 生态风险评价的一个重要特点就是在判定暴露危害时,斑块之间的空间关系起着重要作用,一个斑块中的危害可以转移到其他斑块中,并且区域景观格局的变化必然会导致区域生态系统结构和功能的改变。因此,在借鉴相关研究的基础上,结合研究区地质灾害频发特征,开展基于景观格局的多风险源生态风险评价,对区域生态风险评价具有一定的理论依据和借鉴意义。本文只考虑了地质灾害这一类风险源,研究区还存在其他对生态系统造成影响的多种风险源,如人类活动、洪涝、水土流失等,将在后续研究中进行更具体更综合的分析。

### 参考文献 (References)

- [1] Landis W G. Twenty years before and hence; ecological risk assessment at multiple scales with multiple stressors and multiple endpoints[J]. *Human and Ecological Risk Assessment* 2003 9: 1317 - 1326
- [2] Mao Xiaoling, Ni Jinren. Recent progress of ecological risk assessment[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2005 41(4): 646 - 654 [毛小玲,倪晋仁. 生态风险评价研究述评[J]. 北京大学学报: 自然科学版 2005 41(4): 646 - 654]
- [3] Suter II G W. Applicability of indicator monitoring to ecological risk assessment[J]. *Ecological Indicators* 2001: 101 - 112
- [4] Zhang Sifeng, Liu Hanmeng. Review of ecological risk assessment methods[J]. *Acta Ecologica Sinica* 2010 30(10): 2735 - 2744 [张思锋,刘晗梦. 生态风险评价方法述评[J]. 生态学报, 2010 30(10): 2735 - 2744]
- [5] Hope B K. An examination of ecological risk assessment and management practices[J]. *Environment International* 2006 32: 983 - 995
- [6] Kapustka L A, Galbraith H, Luxon M et al. Using landscape ecology to focus ecological risk assessment and guide risk management decision-making[J]. *Toxicology and Industrial Health* 2001 17: 236 - 246
- [7] Fu Zaiyi, Xu Xuegong. Regional ecological risk assessment[J]. *Advance in Earth Sciences* 2001 16(2): 267 - 271 [付在毅,许学工. 区域生态风险评价[J]. 地球科学进展 2001 16(2): 267 - 271]
- [8] Li Jingyi, Li Xiehui, Fu Zhijun et al. Watershed ecological risk assessment and floodwater utilization——taking Weihe river basin in Shanxi province as an example[M]. Beijing: Beijing Normal University Publishing Group 2008: 55 - 62 [李景宜,李谢辉,傅志军,等. 流域生态风险评价与洪水资源化——以陕西省渭河流域为例[M]. 北京师范大学出版社 2008: 55 - 62]
- [9] Suter II G W, Norton S B, Barnhouse L W. The evolution of frameworks for ecological risk assessment from the red book ancestor[J]. *Human and Ecological Risk Assessment* 2003 9: 1349 - 1360
- [10] Obery A M, Landis W G. A regional multiple stressor risk assessment of the Codorus Creek Watershed applying the Relative Risk Model[J]. *Human and Ecological Risk Assessment* 2002 8(2): 405 - 428
- [11] Wiegers J K, Feder H M, Mortensen L S et al. A regional multiple - Stressor Rank——based ecological risk assessment for the Fjord of Port Valdez, Alaska[J]. *Human and Ecological Risk Assessment* 1998 4(5): 1125 - 1173
- [12] Chen Peng, Pan Xiaoling. Ecological risk analysis of regional landscape in inland river watershed of arid area[J]. *Chinese Journal of Ecology* 2003 22(4): 116 - 120 [陈鹏,潘晓玲. 干旱区内陆流域区域景观生态风险分析[J]. 生态杂志 2003 22(4): 116 - 120]
- [13] Xu Xuegong, Lin Huiping, Fu Zaiyi. Regional ecological risk assessment of wetland in the Huanghe river delta[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* 2001 37(1): 111 - 120 [许学工,林辉平,付在毅. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. 北京大学学报 2001 37(1): 111 - 120]
- [14] Lu Hongwei, Zeng Guangming, Xie Gengxin et al. The regional risk assessment of Dongting lake watershed[J]. *Acta Ecologica Sinica* 2003 23(12): 2520 - 2530 [卢宏玮,曾光明,谢更新,等. 洞庭湖流域区域生态风险评价[J]. 生态学报 2003 23(12): 2520 - 2530]
- [15] Wu L iyun, Huang Yixiong. Landscape ecological risk assessment of Dongshan island[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2005 24(1): 36 - 42 [巫丽芸,黄义雄. 东山岛景观生态风险评价[J]. 台湾海峡 2005 24(1): 36 - 42]
- [16] Chen Yaoqian. Formation conditions and distribution characteristics in the Wudu district[J]. *Gansu Science and Technology* 2004 20(9): 139 - 141 [陈耀乾. 武都县地质灾害的形成条件与分布特征[J]. 甘肃科技 2004 20(9): 139 - 141]
- [17] Liu Jinfeng, Huang Jiangcheng, Ou Guoqiang et al. Susceptibility evaluation of debris flow in the Wudu district, Longnan city, Gansu province[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control* 2010 21(4): 8 - 21 [柳金峰,黄江成,欧国强,等. 甘肃陇南武都区泥石流易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(4): 8 - 21]
- [18] Meng Jijun, Zhao Chunhong. Research progress on index system of regional risk assessment[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009 20(4): 983 - 988 [蒙吉军,赵春红. 区域生态风险评价指标体系[J]. 应用生态学报 2009 20(4): 983 - 988]
- [19] Longnan First Station of Alarming System of Landslide and Debris Flow on the Upper Reaches of the Yangtze River, Longnan Administration of Alarming System of Landslide and Debris Flow on the Upper Reaches of the Yangtze River. Disasters alarming and mitigation for 20 years ——a collection of achievements of Longnan and South Shanxi on the upper reaches of the Yangtze river[R]. 2011: 9 - 14 [长江上游滑坡泥石流预警系统陇南一级站, 长江上游滑坡泥石流预警系统陇南管理局. 预警减灾 20 年——长江上游滑坡泥石流预警系统陇南陕南片成果汇编[R]. 2011: 9 - 14]
- [20] China Earthquake Networks Center [OL]. [http://www.ceic.ac.cn/adv\\_search.jsp](http://www.ceic.ac.cn/adv_search.jsp). [中国地震台网中心 [OL]. [http://www.ceic.ac.cn/adv\\_search.jsp](http://www.ceic.ac.cn/adv_search.jsp)]

ic. ac. cn/adv\_search. jsp. ]

- [21] Office of Soil-water Conservation of major control regions in Changjiang River Basin of Gansu Province. Survey of alarming system of landslide and debris flow on the upper reaches of the Yangtze river——census report in Longnan and South Shanxi [R]. Lanzhou: Research Institute of Relieving Natural Disasters ,Gansu Science Academy ,1990 [甘肃省长江流域重点治理区水土保持领导小组办公室. 长江上游滑坡泥石流预警系统调查——陇南 陕南普查报告[R]. 兰州: 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所 ,1990]
- [22] Lu Yuan ,Su Wenjing ,Hua Cui ,et al. Landscape ecological risk assessment for upper Zuojiang river basin[J]. Tropical Geography , 2010 ,30( 5) : 496 – 502 [卢远 ,苏文静 ,华瑾 ,等. 左江上游流域景观生态风险评价[J]. 热带地理 2010 ,30( 5) : 496 – 502]
- [23] Wang Juan ,Cui Baoshan ,Yao Huarong ,et al. The temporal and spatial characteristic of landscape ecological security at Lancang river watershed of longitudinal range gorge region in southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica 2008 28( 4) : 1681 – 1690 [王娟 ,崔保山 ,姚华荣 ,等. 纵向岭谷区澜沧江流域景观生态安全时空分异特征[J]. 生态学报 2008 28( 4) : 1681 – 1690]
- [24] Chen Liding ,Fu Bojie. Analysis of impact of human activity on landscape structure in Yellow river delta——a case study of Dongying region[J]. Acta Ecologica Sinica ,1996 ,16( 4) : 337 – 344 [陈利顶 ,傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析[J]. 生态学报 ,1996 ,16( 4) : 337 – 344]
- [25] Wu Jianguo. Landscape ecology ——pattern ,process ,scale and hierarchy[M]. Beijing: Higher Education Press ,2007: 26 [邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社 ,2007: 26]
- [26] Gong Lu ,Ju Qiang ,Pan Xiaoling. Ecological landscape risk assessment study of Bosten lake[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment 2007 21( 1) : 27 – 31 [贡璐 ,鞠强 ,潘晓玲. 博斯腾湖区域景观生态风险评价研究[J]. 干旱区资源与环境 2007 ,21( 1) : 27 – 31]
- [27] Zeng Hui ,Liu Guojun. Analysis of regional ecological risk based on landscape structure[J]. Chinal Environmental Science ,1999 ,19( 5) : 422 – 425 [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) : 422 – 425]

## Ecological Risk Assessment of Longnan Mountainous Area Based on Geological Disasters

### ——A Case Study of Wudu

GONG Jie ZHAO Caixia ,WANG Heling ,SUN Peng ,XIE Yuchu ,MENG Xingmin

( Research School of Arid Environment and Climate Change ,Lanzhou University ,Lanzhou 730000 ,China)

**Abstract:** Longnan mountainous area was famous for its intensive geologic structure activity and frequent geo-disasters which caused loss and threatening the local fragile ecological environment and security. In this paper ,typical geological disasters ( debris flow ,landslide and earthquake) in Wudu and 6 landscape types ( forestland ,farmland ,grassland ,water area ,constructed and residential land ,unused land) were selected as risk sources and receptors separately ,landscape pattern index and vulnerability index were considered as indicator for an ecological risk assessment model to evaluate the ecological risk of Wudu. The results showed that: 1) the distribution of ecological risk levels was mainly caused by the risk distribution of geological disasters and landscape patterns. 2) human activities ,vegetation coverage and elevation also affect risk distribution. 3) the extreme high and high risk areas distributed mainly in the south coast area of Bailongjiang river and east part of Dongjiang town along Bailongjiang river and partly in Anhua ,Majie ,Hanwang and north of Liangshui; while the lower and low risk areas scattered primarily in the east and south of Wudu and partly in the west and northwest of Wudu. Ecological risk assessment with multi-risk source and landscape pattern can be very useful for regional ecological risk management and environmental protection.

**Key words:** ecological risk assessment; geo-disasters; landscape pattern; Longnan mountainous area