

DOI: 10.5846/stxb201405140987

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): - .  
Xu K P, Wang J J, Chi Y Y, Liu M, Lu H J. Spatial optimization and sustainable use of land based on an integrated ecological risk in the Yun-Gui plateau region. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): - .

## 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

许开鹏\*, 王晶晶, 迟妍妍, 刘敏, 鲁海杰

环境保护部环境规划院, 北京 100012

**摘要:** 本文以云贵高原地区为研究对象, 综合考虑区域自然特征、生态背景和社会经济发展状况, 建立了以自然灾害、人为活动、生态敏感性和生态服务功能重要性为主要风险因子的综合生态风险评价指标体系与模型, 并计算出云贵高原地区土地开发利用综合生态风险指数。通过与 DEM 和土地利用类型数据进行空间叠置分析, 最终得到云贵高原地区实际可利用土地面积约为 3586 km<sup>2</sup>, 不足该地区国土面积的 1%, 主要分布在楚雄、红河、曲靖、昆明、黔南等地。为确保区域土地资源的可持续利用, 提出以下对策建议: (1) 要转变粗放、低效的用地方式, 节约集约利用坝区可开发用地; (2) 要及时转变城乡建设用地方式, 因地制宜的推动工业项目、城镇建设向山坡、丘陵发展; (3) 要加强可开发利用地区生态保护与建设, 在推进低丘缓坡荒滩等未利用土地的开发利用过程中, 将地质灾害和水土流失防治、生态环境保护置于优先地位, 制定防治措施。本文通过云贵高原地区的案例研究, 提出了综合生态风险评价的方法, 为基于生态风险的土地利用格局优化提供了技术借鉴。

**关键词:** 综合生态风险; 土地利用; 云贵高原地区; 空间叠置

## Spatial optimization and sustainable use of land based on an integrated ecological risk in the Yun-Gui plateau region

XU Kaipeng\*, WANG Jingjing, CHI Yanyan, LIU Min, LU Haijie

Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China

**Abstract:** Spatial optimization of land use is essential to achieve systematic utilization of land resources and sustainable development of the environment and economy. Due to inappropriate land and resource development, and ecological damage resulting from urbanization and industrialization, spatial optimization of land use must take account of ecological constraints. Here, we present an analysis of the Yun-Gui plateau region, which is important because of a shortage of utilizable land and extremely complicated ecological and environmental problems. It illustrates that poorly considered land use decisions will lead to ecological problems. We examined the natural features, ecological background, and socioeconomic development of the Yun-Gui plateau region in order to create an integrated ecological risk evaluation system and model of the major risk factors, including natural disasters, human activity, ecological sensitivity, and critical ecological functions. Additionally, the evaluation system made it possible to perform a comprehensive ecological risk evaluation of land development in the Yun-Gui plateau region. Utilizable land was defined as that with an inclination less than 8°, that accounts to a total area of over 8 km<sup>2</sup>, which is termed the Yun-Gui flatland. A spatial overlay analysis indicated that 21.52% of the area was at high risk, 63.51% at medium risk, and 14.97% at low risk. The high-risk area was mainly in the south of Zhunyi and northeast of Bijie in Guizhou Province. The medium-risk area was concentrated in the south of Guizhou Province, Xishuangbanna, the

基金项目: 国家环境保护公益性行业科研专项(2012467044, 201309063); 西部大开发重点区域和行业发展战略环境评价

收稿日期: 2014-05-14; 网络出版日期: 2015- -

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xukp@caep.org.cn

local area in the south of Puer, and in the valley area of western Yunnan. By contrast, the low-risk area was distributed mostly in the east of west Guizhou and the central eastern region of Yunnan Province. This study focused on bare land with little vegetation, which was regarded as a suitable land for development according to ecological and agricultural criteria. The area of utilizable land was about 3,586 km<sup>2</sup> of the Yun-Gui flatland, less than 1% of the region's land area. This was mainly located in Chuxiong, Honghe, Qujing, Kunming, and southern Guizhou. In order to ensure the sustainable use of regional land resources, we propose the following recommendations: (1) change the extensive and inefficient use of land to promote the economical and intensive use of flatland; (2) promote industrial projects and urban construction on hillsides according to local conditions; and (3) strengthen ecological and environmental protection while promoting the development and utilization of gently sloping wasteland and avoiding geological disasters with erosion control. This case study on the Yun-Gui plateau region presents an integrated ecological risk assessment method and provides a technical reference for the optimization of land use.

**Key Words:** integrated ecological risk; land use; Yun-Gui plateau region; spatial overlay

土地利用格局优化是科学合理利用土地资源,实现自然环境和经济社会协调可持续发展的必要步骤<sup>[1-3]</sup>。随着城镇化与工业化造成的生态破坏和土地资源不合理开发现象日益严重,土地利用格局优化的研究重点已经从单纯关注数量结构的优化,转向注重空间优化配置的研究<sup>[4-5]</sup>,并且更多考虑生态的约束条件<sup>[6-8]</sup>。生态风险的研究兴起于 20 世纪 70 年代,国内外学者在评价框架与指标体系、评价方法、应用及管理方面开展了大量研究<sup>[9-12]</sup>,但大多是针对特定小场地下化学污染物的生态风险,随着研究尺度的扩大,传统的研究框架已经不能适应区域尺度的需求<sup>[13]</sup>。国内已有学者建立了基于景观尺度的生态风险评价框架,但大多集中县域、市域、小流域等中小尺度<sup>[14-15]</sup>。

云贵高原地区以山地为主,可开发利用的土地资源短缺,同时区内生态环境问题极其复杂,不合理的土地利用将造成一定的生态风险。区域生态风险是一个包括自然、经济、社会系统的典型多要素系统<sup>[16-19]</sup>。本文在考虑区域自然特征、生态背景和经济社会活动的基础上,试图建立一套适用于区域尺度范围内生态风险评价指标体系及模型,用以评估区域土地利用布局的生态风险,进而进行土地利用优化配置。

## 1 研究区域

本文的云贵高原地区指云南省和贵州省,土地总面积 57.02 万 km<sup>2</sup>,占全国国土面积的 5.9%。云南省受山地地貌的影响,人均用地较低,25°以上的陡坡土地占全省土地总面积的近 40%,可供建设和耕作的土地资源相对不足,全省大部分地区水土流失严重和易遭受滑坡、泥石流等灾害威胁,限制了林牧业和城镇、交通的建设与发展,加剧了人地矛盾。贵州省受喀斯特地区特殊地质条件的影响,生态环境十分脆弱,水土流失、石漠化严重,省内山高、陡坡、降雨频繁且集中,地质灾害频发,是我国地质灾害的多发区和易发区,也是我国地质灾害最严重的省份之一。

## 2 研究方法

本研究首先通过选取生态风险因子和评价指标,建立综合生态风险指数模型,评估区域综合生态风险,然后与区域可利用土地图层进行叠置分析,识别土地利用的生态风险程度,最终结合土地利用数据,得出基于综合生态风险的可利用土地格局。

### 2.1 综合生态风险评价指标体系构建

依据云贵高原地区自然特征、生态背景和社会经济发展状况<sup>[20]</sup>,以自然灾害  $R_1$ 、人为活动  $R_2$ 、生态背景(生态敏感性  $R_3$ 和生态功能重要性  $R_4$ )作为生态风险因子,并选取相应的评价指标,各评价指标选取理由

如下:

云贵地区自然环境复杂,自然灾害种类多,居主导地位的自然灾害是干旱、地震、滑坡、泥石流,其次是暴雨洪灾,因此自然灾害因子主要选取干旱灾害、地震灾害、滑坡泥石流灾害、暴雨洪涝灾害 4 个评价指标;随着经济社会发展,人类对自然环境的破坏和扰乱日益增强,结合区域发展战略和主导产业,因此人为活动因子选取农业生产、林业资源开发、矿产资源开发、工业发展、旅游发展、城镇化 6 个评价指标;该地区生态环境脆弱、喀斯特地貌分布广泛,是我国水土流失最严重的地区之一,因此生态敏感性因子选取石漠化敏感性、土壤侵蚀敏感性、酸雨敏感性、生境敏感性 4 个评价指标;该地区是全球生物多样性重点保护热点地区 and 我国生物多样性保护优先区域,同时也是长江流域、珠江流域的上游,是重要的水源涵养功能区,因此生态功能重要性因子选取生物多样性维护重要性、水源涵养重要性 2 个评价指标。

通过以上考虑,本文构建了包括 4 个风险因子和 16 个评价指标的综合生态风险评价指标体系(见表 1)。

表 1 云贵高原地区生态风险评价模型

Table 1 Model of integrated ecological risk assessment in Yun-Gui plateau area

项目 Item	风险因子 及权重 Risk factors and weights	风险指标 及权重 Risk indicators and weights	风险因子 评价方法 Methods of Risk factors assessment	综合生态风险指数 计算方法 Method of integrated ecological risk index calculator	
综合生态风险 Integrated ecological risk (R)	自然灾害 $R_1$	0.25	干旱灾害 $R_{11}$	0.45	$R = \sum_{i=1}^n \beta_i \times R_i$ 其中 $\beta_i$ 表示 i 类风险因子的权重, $R_i$ 表示 i 类风险因子的等级值
			地震灾害 $R_{12}$	0.15	
			滑坡泥石流灾害 $R_{13}$	0.3	
			暴雨洪涝灾害 $R_{14}$	0.1	
	人为活动 $R_2$	0.45	农业生产 $R_{21}$	0.2	
			林业资源开发 $R_{22}$	0.25	
			矿产资源开发 $R_{23}$	0.3	
			工业发展 $R_{24}$	0.1	
			旅游发展 $R_{25}$	0.05	
			城镇化 $R_{26}$	0.1	
	生态敏感性 $R_3$	0.15	石漠化 $R_{31}$	$R_3 = \text{Max} \{ R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34} \};$	
			土壤侵蚀 $R_{32}$		
			酸雨敏感性 $R_{33}$		
			生境敏感性 $R_{34}$		
	生态功能重要性 $R_4$	0.15	生物多样性 $R_{41}$	$R_4 = \text{Max} \{ R_{41}, R_{42} \}$	
			涵养水源 $R_{42}$		

## 2.2 综合生态风险指数计算

综合生态风险指数(R)计算公式如下(见表 1):

$$R = \sum_{j=1}^n \beta_j \times R_j$$

其中,  $\beta_j$  表示风险因子中  $j$  类风险因子的权重,  $R_j$  表示  $j$  类风险因子的指数,通过专家打分法,确定自然灾害、人为活动、生态敏感性、生态功能重要性的权重分别为 0.25、0.45、0.15、0.15。

自然灾害和人为活动风险因子指数采用加权法计算,考虑自然灾害发生对生态系统的影响,运用专家打分法,对干旱灾害、地震灾害、滑坡泥石流灾害、暴雨洪涝灾害等自然灾害指标分别赋权重值 0.45、0.15、0.3、0.1,对农业生产、林业资源开发、矿产资源开发、工业发展、旅游发展、城镇化等人为活动指标分别赋权重值 0.2、0.25、0.3、0.1、0.05、0.1。自然灾害各指标的风险值主要根据多年灾害发生的频率及强度进行量化,从高到低分为 5 个等级,其中一级区的自然灾害风险最高。

生态敏感性和生态功能重要性风险因子指数采用最大值法计算,考虑区域生态系统特征的影响,分别取

石漠化敏感性、土壤侵蚀敏感性、酸雨敏感性、生境敏感性等生态敏感性指标的最大值和生物多样性维护重要性、水源涵养重要性指标的最大值,各指标主要参考《生态功能区划暂行规程》<sup>[21]</sup>的评价方法,按照敏感和重要性程度进行量化,从高到低分为 5 个等级。

### 3 结果与分析

#### 3.1 综合生态风险评价

根据综合生态风险指数模型,得到云贵高原地区各风险因子评价图(图 1)和综合生态风险分布图(图 2),依照综合生态风险值的自然分类法将云贵地区依次分为高风险区( $R \geq 2.3$ )、中等风险区( $0.5 \leq R < 2.3$ )和低风险区( $0 \leq R < 0.5$ ),三者的面积所占两省总面积比依次为:20.2%、49.4%和 30.4%。其中,高风险区包括黔中、滇中、黔北和黔西等经济区和黔南盆地、滇东南河谷和滇南西双版纳等林区和旅游开发区,对区内生态风险应采取重点监控;中等风险区包括滇西北“三江并流”区、滇西盈江下游、滇东南喀斯特地区和云贵高原湖盆区,对该区生态风险应适度规避;低风险区则主要包括黔东生态建设区和滇东产业稀疏区,对该区生态风险采取一般管理措施。

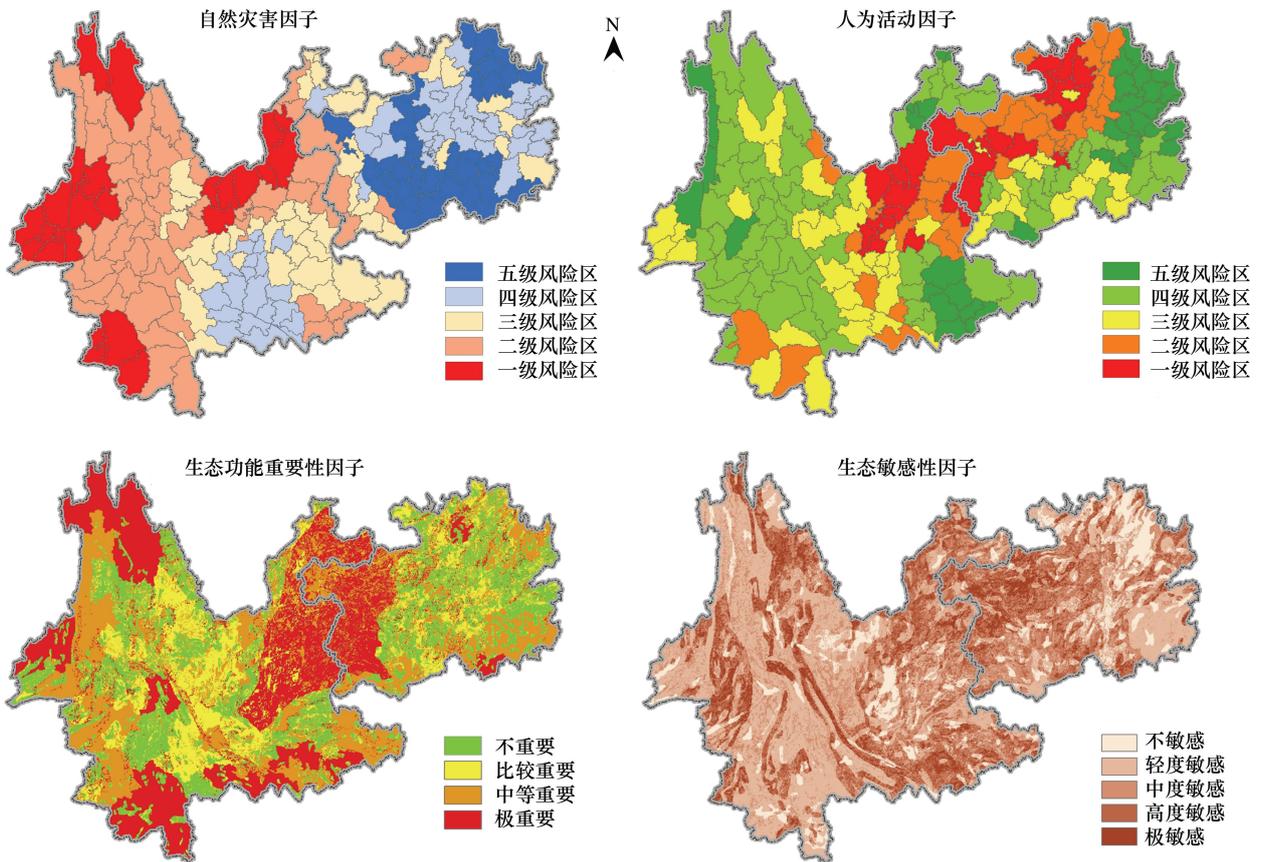


图 1 研究区各类生态风险因子评价图

Fig. 1 Map of ecological risk factors evaluation in Yun-Gui plateau area

#### 3.2 基于综合生态风险的土地利用格局

可利用土地选取同时需要兼顾土地开发的成本和效率,地形坡度大的地区,开发成本高且危险隐患造成的后期防护和治理成本高;面积较小限制土地开发规模,降低经济效益,同时造成空间布局分散,资源不能集中分配,加大管理难度。云贵可开发利用土地选取主要考虑坡度和地块大小。根据云贵两省实际情况,坡度主要选取 8°以下的地区;地块大小的选取主要依据不同大小地块下可开发利用土地面积变化的情况,

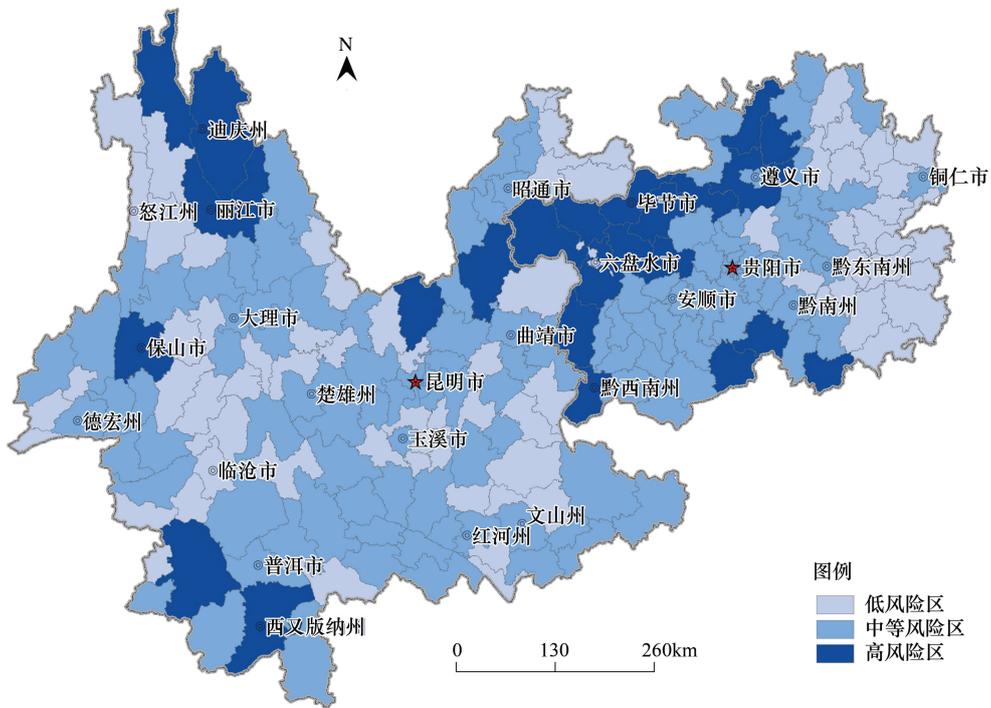


图 2 研究区综合生态风险评价图

Fig. 2 Map of integrated ecological risk s evaluation in Yun-Gui plateau area

随着地块面积的增大,可开发利用土地面积在逐渐减少,本文选取面积斜率变化相对稳定的 8 km<sup>2</sup>作为云贵可开发利用区(见图 3),简称为“云贵坝区”。

通过云贵地区综合生态风险评价图与可开发利用区分布图叠加得出云贵的坝区和缓坡区分布风险指数分布图(见图 4),根据统计,云贵可开发利用区总面积约为 54435 km<sup>2</sup>,约占云贵两省面积的 10.1%,其中处于高风险区( $R \geq 2.3$ )、中等风险区( $0.5 \leq R < 2.3$ )和低风险区( $0 \leq R < 0.5$ )的坝区面积比例分别为:15.0%、63.5%和 21.5%。在地域分布上,黔北地区的遵义市南部、毕节市东北部为高风险坝区,黔南部分地区、滇南西双版纳和普洱市局部地区以及滇西部分河谷地段生态风险指数较高,而黔东,黔西和滇东、滇中大部为低生态风险坝区。

结合土地利用数据(见表 2),云贵坝区土地利用类型以耕地、林地、草地、人工表面、水域和裸地为主,各地类在坝区所占的面积比例分别为 56.4%、30.7%、2.8%、6.0%、3.3%和 0.8%,其中处于低生态风险地区的地类以灌木林、耕地和水域为主。考虑到对生态用地和优质耕地的保护,将稀疏灌木、草丛和裸地作为适宜开发利用的地类,经统计,该地类面积为 3586 km<sup>2</sup>,约占整个坝区面积的 6.9%,主要分布在楚雄、红河、曲靖、昆明、

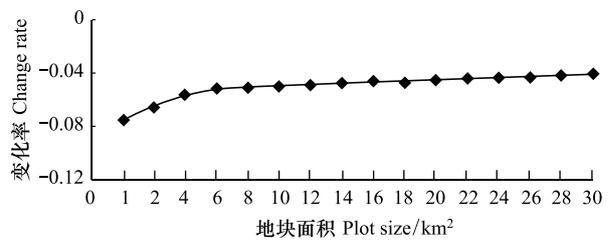


图 3 云贵坝区面积变化斜率

Fig. 3 Changes of areas based on different plot sizes in Yun-Gui flatland

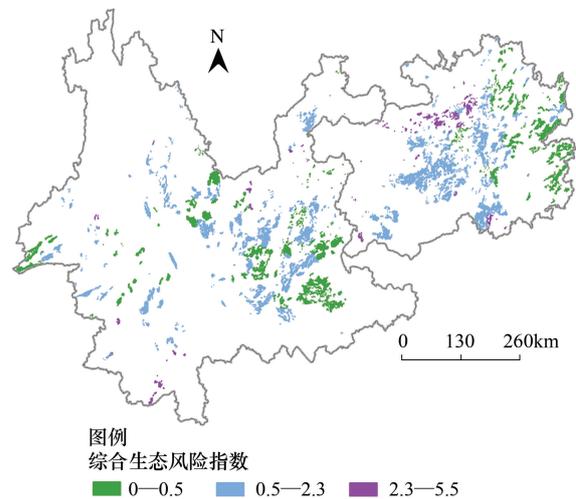


图 4 云贵坝区综合生态风险指数分布图

Fig. 4 Map of integrated ecological risk index in Yun-Gui flatland

黔南等地(见图5),其中云南省和贵州省可利用的坝区面积分别约为 2575 km<sup>2</sup>和 1011 km<sup>2</sup>,均不足各省面积的 1%。这些区域为具有开发价值与后备土地生产潜力地区,既不存在地震、滑坡、泥石流等自然灾害高风险,也不存在生态地位极其重要或极其脆弱的敏感区,同时当前受人为生态风险较小。

表2 云贵坝区可开发利用区不同地类所处风险级别的面积比例  
Table 2 Proportion of land types in different risk levels

土地类型 Land types	面积(平方公里) Area/(km <sup>2</sup> )	不同风险级别的面积比(%) Proportion in different risk levels(%)		
		低风险 Low risk	中等风险 Medium risk	高风险 Higher risk
林地 Forest	16695.7	30.8	62.8	6.4
草地 Grassland	1545.6	32.2	63.1	4.6
水域 Water body	1801.1	56.2	18.5	25.4
人工表面 Artificial surface	3264.5	4.7	84.9	10.4
裸露地 Bare ground	451.9	30.2	63.5	6.3
耕地 Farmland	30676.7	15.6	51.2	33.2

#### 4 结论与建议

本研究综合考虑区域自然灾害和人为活动的生态风险以及生态敏感性、生态服务功能重要性的生态背景,按照 4 个风险因子确定了影响生态风险的主要指标,建立了综合生态风险的指标体系和计算模型。结合 DEM 模型和 GIS 软件,确定云贵坝区总面积约为 54435 km<sup>2</sup>,约占云贵两省面积的 10.1%,通过与综合生态风险进行空间叠置分析,基于生态风险的云贵坝区适宜开发利用的土地面积为 3586 km<sup>2</sup>,约占整个坝区面积的 6.9%,其中云南省和贵州省可利用的土地面积分别约为 2575 km<sup>2</sup>和 1011 km<sup>2</sup>,均不足各省面积的 1%。因此,必须采取一系列措施改善该区土地利用紧张问题。

首先,要转变粗放、低效的用地方式,节约集约利用坝区可开发用地,控制建设用地总规模,提高土地的城镇利用效率,合理安排产业集聚区用地规模;其次,要及时转变城乡建设用地方式,严格保护好坝区内的耕地,选择地质条件、生态约束条件、交通条件等比较优越的区域,适当推动工业项目、城镇建设向山坡、丘陵发展;最后,要加强可开发利用地区生态保护与建设,在推进低丘缓坡荒滩等未利用土地的开发利用过程中,做好地灾危险性评价、水土流失评价和环境质量影响评价,制定防治措施,在开发过程中,预留生态服务用地,以维护当地域生态功能。

研究以云贵高原地区为例,从自然灾害、人为活动以及生态背景出发,建立了区域尺度的综合生态风险评价指标体系与方法,并为土地利用优化的提供指导。鉴于研究地区的特殊性,本研究所提综合生态风险评价模型在其它区域应用时还需要结合实际进行改善。另外,本研究对各风险因子和指标的量化主要采用专家打分法,未来可结合当地居民以及管理部门的意见进一步修正。

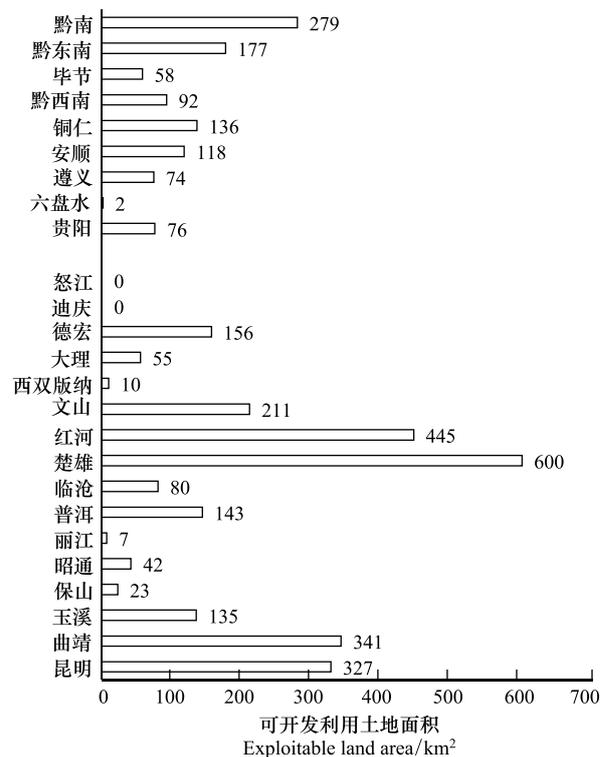


图5 云贵坝区各地(州)市可利用土地分布图

Fig. 5 Map of exploitable land distribution in Yunnan-Guizhou flatland

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change (LUCC): implementation strategy. IGBP report No. 48 and IHDP report No. 10, 1999.
- [ 2 ] Antoine J, Ficher G, Makowski M. Multiple criteria land use analysis. *Applied Mathematics and Computation*, 1997, 83(2/3): 195-215.
- [ 3 ] Yin Y Y, Pierce J T, Love E. Designing a multisector model for land conversion study. *Journal of Environmental Management*, 1995, 44(3): 249-266.
- [ 4 ] Sharifi M A, Van Keulen H. A decision support system for land use planning at farm enterprise level. *Agricultural Systems*, 1994, 45(3): 239-257.
- [ 5 ] 张耀光. 辽河三角洲土地资源利用结构优化与持续利用对策. *自然资源学报*, 2001, 16(2): 115-120.
- [ 6 ] 孙伟, 严长清, 陈江龙, 段学军. 基于自然生态约束的滨湖城市土地利用分区——以无锡市区为例. *资源科学*, 2008, 30(6): 925-931.
- [ 6 ] Sun W, Yan C Q, Chen J L, Duan X J. Land use Zoning in Urban Lakeshore areas based on natural and ecological restrictions: A case study of Wuxi city. *Resources Science*, 2008, 30(6): 925-931.
- [ 7 ] 李德一, 张树文. 生态约束的哈大齐区域城市土地开发适宜性评价. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 207-211.
- [ 8 ] 苏雷, 朱京海, 闫格, 胡克梅. 基于生态约束的土地利用格局优化——以锦葫沿海地区为例 // 中国城市规划学会. 多元与包容——2012 中国城市规划年会论文集(09. 城市生态规划). 北京: 中国城市规划学会, 2012: 13-13.
- [ 9 ] Hope B K. An examination of ecological risk assessment and management. *Environment International*, 2006, 32(8): 983-995.
- [ 10 ] 杜静. 生态风险评价的数学模型及应用研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2009. [ 11 ] Walker R, Landis W, Brown P. Developing a regional ecological risk assessment: a case study of a Tasmanian Agricultural Catchment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2001, 7(2): 417-439.
- [ 12 ] Landis W G. *Regional Scale Ecological Risk Assessment: Using the Relative Risk Model*. Boca Raton, FL: CRC, 2005.
- [ 13 ] 陈春丽, 吕永龙, 王铁宇, 史雅娟, 胡文友, 李静, 张翔, 耿静. 区域生态风险评价的关键问题与展望. *生态学报*, 2010, 30(3): 808-816.
- [ 14 ] 李谢辉, 李景宜. 基于 GIS 的区域景观生态风险分析-以渭河下游河流沿线区域为例. *干旱区研究*, 2008, 25(6): 899-903.
- [ 15 ] 曾勇. 区域生态风险评价-以呼和浩特市为例. *生态学报*, 2010, 30(3): 668-673.
- [ 16 ] 阳文锐, 王如松, 黄锦楼, 李锋, 陈展. 生态风险评价及研究进展. *应用生态学报*, 2007, 18(8): 1869-1876.
- [ 17 ] Gheorghe A V, Nicolet-Monnier M. *Integrated Regional Risk Assessment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [ 18 ] 李国旗, 安树青, 陈兴龙, 张纪林, 张久海, 谈健康, 朱学雷. 生态风险研究述评. *生态学杂志*, 1999, 18(4): 57-64.
- [ 19 ] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评价. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 267-271.
- [ 20 ] 陆军, 迟妍妍, 许开鹏, 王晶晶. 云贵地区生态环境空间管控方法与对策. *环境保护*, 2013, 41(18): 32-35.
- [ 21 ] 国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程[S]. 北京, 2003.