

DOI: 10.5846/stxb201306121681

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.

Liu S L, Liu Q, Zhang Z L, Deng L, Dong S K. Landscape ecological risk and driving force analysis in Red river Basin. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(13): 3728-3734.

云南省红河流域景观生态风险及驱动力分析

刘世梁*, 刘琦, 张兆苓, 邓丽, 董世魁

(北京师范大学环境学院 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘要:以云南省红河流域为研究区域, 利用 GIS 和 RS 技术, 建立基于景观格局和土壤侵蚀过程的景观生态风险指数, 分析研究区域内景观生态风险分布规律。研究结果表明: 重度和极重度格局风险区域、土壤侵蚀区域及综合景观生态风险区域主要沿红河主干道分布; 综合景观生态风险指数在空间上呈现正的自相关性, 高风险聚集区主要沿河流分布; 不同景观类型中, 建设用地、未利用地和水域的景观格局风险大于耕地、草地和林地, 未利用地的土壤侵蚀风险最高, 综合景观生态风险度依次为建设用地>水域>未利用土地>耕地>林地>草地; 坡度在一定程度上影响着景观格局、土壤侵蚀以及综合景观生态风险。

关键词:景观; 生态风险; 空间自相关; 红河流域

Landscape ecological risk and driving force analysis in Red river Basin

LIU Shiliang*, LIU Qi, ZHANG Zhaoling, DENG Li, DONG Shikui

School of Environment, State Key Laboratory of Water Environment Simulation, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Taking Red River watershed as a case, we analyzed landscape ecological risk variability by establishing a risk index based on landscape pattern and process using GIS and RS technology. The results showed: the regions with severe and very severe landscape pattern, soil erosion, and integrated landscape risk were located along the main stream of Red River. The integrated landscape risk index presented positive spatial autocorrelation and the regions of high-high integral landscape risk was located in the upstream and downstream of the Red River. Landscape pattern risks of the constructed land, water and unused land were higher than those of the cultivated land, grassland and forest land. Unused land had highest soil erosion risk. The rank order of six land use types according to their integral landscape ecological risk was constructed land > water > unused land > cultivated land > forest land > grassland. Topographical factors and human disturbance factors can affect the landscape pattern, soil erosion, and integrated landscape ecological risk to a certain extent.

Key Words: landscape; ecological risk; spatial autocorrelation; Red River Basin

生态风险评价开始于 20 世纪 70 年代末 80 年代初的美国, 随着近 30 年的发展, 生态风险评价的评价内容、评价尺度、评价方法都有了很大的进步^[1]。风险源由单一风险源发展到多风险源^[2-5]; 风险受体由单一受体发展到多受体^[6-8]; 研究尺度从单一种群扩展到生态系统、区域、流域和景观尺

度^[9-11]; 评价方法模型化^[12-13]。中国生态风险评价的研究起步较晚, 与国外研究发展历程相似, 评价尺度也发展到区域、流域和景观尺度^[14-16]。区域景观生态风险评价是指研究区域受到人类活动或自然灾害影响后, 在景观尺度上对生态系统结构、功能等产生不利生态后果的可能性和危害程度进行评估的一

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(40871237); 国家自然科学基金重点资助项目(50939001); 国家科技支撑计划项目(2008BAB38B02)

收稿日期: 2013-06-12; 修订日期: 2014-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shiliangliu@163.com

种方法,为区域景观生态建设提供理论基础和技术支持。国内主要通过建立景观生态风险指数方法来进行景观生态风险评价,而构建景观生态风险指数时往往忽视人类干扰对生态过程的影响,仅仅考虑建立基于景观格局和结构的景观生态风险指数^[17-19]。

参照人类干扰对景观格局影响的研究,目前许多学者采用土壤侵蚀指数来反映风险源对生态过程的影响。例如,刘世梁等研究了不同等级道路建设对景观格局及土壤侵蚀的影响^[20];姚华荣等分析了纵向岭谷区典型公路沿线的土壤侵蚀风险^[21];马萧分析了脆弱性矿区的土壤侵蚀特点^[22]。红河流域植被覆盖率较低,土壤侵蚀面积较大,在云南省六大流域中位居第二,其中中度(平均侵蚀模数大于 $2500 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$)以上土壤侵蚀面积为 $12\ 865.7 \text{ km}^2$,占全省总面积的 3.4%,占本流域面积的 17.3%;高度(平均侵蚀模数大于 $5\ 000 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$)以上侵蚀面积为 $1\ 827.4 \text{ km}^2$,占全省总面积的 0.5%,占本流域面积的 2.5%,局部区域水土流失严重^[23]。因此本文应用土壤侵蚀指数来反映风险源对生态过程的影响具有十分重要的意义。

本文以云南省红河流域为例,利用土壤侵蚀指数来表征风险源对景观过程的影响,建立基于景观格局和生态学过程的综合景观生态风险指数,分析当地的景观生态风险规律并对景观生态驱动力进行分析,为当地景观区域生态建设、风险管理提供理论依据和技术支持。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

云南省红河流域位于云南省中南部,经纬度范围为 $100^{\circ}35' - 104^{\circ}58' \text{ E}$, $22^{\circ}30' - 25^{\circ}30' \text{ N}$ (图 1)。研究区域地势北高南低,海拔最高 3123 m ,最低 71 m ,平均 1544 m 。红河从西北入境,由南部出境,流域总面积 54026 km^2 。该区域主要受亚热带高原山地季风气候影响,干湿分明,雨热同季。

1.2 数据来源

利用 2011 年的环境卫星数据获得植被的覆盖因子;利用 GIS 从校正后的 $1:50000$ DEM 数据提出坡长和坡度因子;用土壤类型分布图来得到土壤的侵蚀力因子分布,基于以上数据通过 USLE 模型计算

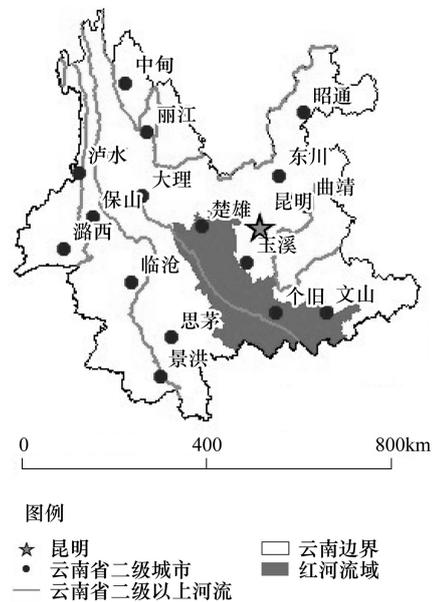


图 1 红河流域地理位置

Fig.1 The location of the study area

土壤侵蚀模数;并基于以上数据计算景观破碎度、分离度和优势度等景观格局指数。

2 研究方法

2.1 基于景观指数的景观格局分析

基于现有的数据和研究需要,应用基于景观格局指数的方法对景观格局进行分析,建立一个综合的景观格局指数定量的反映人类干扰对景观格局的影响。参照文献^[14,24]选取景观破碎度(C_i)、景观分离度(S_i)和景观优势度(D_i)来反映人类干扰对景观格局的影响。

(1)景观破碎度(C_i) 景观破碎化是由于自然或人为干扰所导致的景观由单一、均质和连续的整体趋向于复杂、异质和不连续的斑块镶嵌体的过程,景观破碎化是生物多样性丧失的重要原因之一。公式为:

$$C_i = N_i/A_i \quad (2)$$

式中, N_i 为景观 i 斑块数, A_i 为景观斑块 i 的总面积。

(2)景观分离度(S_i) 指某一景观类型中不同斑块数个体分布的分离度:

$$S_i = \frac{\sqrt{C_i}}{2P_i} \quad P_i = A_i/A \quad (3)$$

式中, A 为景观总面积, A_i 为景观斑块 i 的总面积。

(3)景观优势度(D_i) 反映斑块在景观中占有的地位及其对景观格局形成和变化的影响:

$$D = \ln(m) + \sum_{i=1}^6 (P_i) \times \ln(P_i) \quad (4)$$

式中, m 为景观类型的数目。

2.2 景观生态风险模型

基于景观格局和过程指数, 建立景观生态风险模型。

(1) 构建基于景观格局的生态风险指数 E_i

参考相关文献^[14,24], 通过景观破碎度(C_i)、分离度(S_i)和优势度指数(D_i)的简单叠加来反映不同景观类型所代表的生态系统受到干扰的程度。基于景观格局的生态环境指数可以表示为:

$$E_i = aC_i + bS_i + cD_i \quad (5)$$

借鉴前人的相关研究结果并结合研究区域的实际情况^[25-26]。式中权重 a 、 b 、 c 的值为 0.5、0.3、0.2, 而对于未利用土地的权重设为 0.3、0.2、0.5。

(2) 构建基于生态过程的生态风险指数 P_i

本文采用由 Wischmeier 和 Smith^[27] 提出的通用土壤流失方程 (USLE) 来估算基于降水量、土壤类型、地形因子、生产方式和管理方式的通用土壤流失模数。该方程的模型形式如下:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (6)$$

式中, A 为单位面积上年均土壤流失量; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; L 为坡长因子; S 为坡度因子; C 为作物覆盖与管理因子; P 为水土保持措施因子。根据通用土壤流失模型 (USLE) 计算出土壤侵蚀模数, 再进行归一化处理得到生态过程风险指数。本文中各因子参考相关文献^[28-29] 计算得到。

(3) 区域景观生态风险指数

根据研究区域范围, 把研究区域划分为 $20\text{km} \times 20\text{km}$ 的正方形评价单元, 共有 190 个采样区, 计算每个评价单元的景观生态风险指数。为建立景观结构和区域面积综合生态环境状况之间联系, 利用景观组分的面积比重, 引入景观生态风险指数, 通过采样方法将景观空间结构转换为空间化的生态环境变量, 公式如下:

$$ER_k = \sum_{i=1}^N (S_{ki} E_i P_i / S_k) \quad (6)$$

式中, ER_k 为样区生态风险指数, N 为斑块组分类型的数量, S_{ki} 为第 k 个风险小区 i 类景观组分的面积, S_k 为第 k 个风险小区总面积。

2.3 空间自相关分析

空间自相关的度量是用来检验在空间上具有一定规律性的空间变量在不同空间位置上的相关性^[30]。度量空间自相关性的方法和指标有很多, 如 Moran's I , Geary's C , 这些指标都分为全局指标和局部指标两种, 全局指标用于验证整个研究区域某一要素的空间模式, 而局部指标用于反映整个大区域中, 一个局部小区域单元上的某种地理现象或某一属性值与相邻局部小区域单元上统一现象或属性值的相关程度。Moran's I 是空间统计分析中被广泛应用的空间自相关判断指标。本文应用 Geoda 软件对景观生态风险指数的空间结构进行全局空间自相关指标 Moran's I 分析和局部空间自相关指标 LISA 分析。

3 结果分析

3.1 景观生态风险指数空间分布

由公式 2—6 计算 190 个网格内景观生态风险指数, 把景观格局风险指数、土壤侵蚀指数和综合景观生态风险指数分为 5 级: 极轻度风险、轻度风险、中度风险、重度风险和极重度风险, 相对应的风险指数依次是: 0.0—0.1, 0.1—0.2, 0.2—0.3, 0.3—0.4, 0.4—1。云南省红河流域 190 个采样区中, 平均景观格局风险指数、标准化土壤侵蚀指数和综合生态风险指数分别为 0.18、0.29 和 0.21。

由图 2 和可以得出, 景观格局风险指数处于极轻度风险、轻度风险、中度风险、重度风险和极重度风险所对应的网格百分比依次是: 16.8%, 43.7%, 33.2%, 5.8%, 0.5%, 处于中度以下级别的网格在 93% 以上, 重度和极重度风险的网格主要分布在红河上游东侧的禄丰县、易门县和楚雄市部分地区, 下游区域的元阳县和河口瑶族自治县部分地区。标准化土壤侵蚀指数处于极轻度风险、轻度风险、中度风险、重度风险和极重度风险所对应的网格百分比依次是 17.9%, 21.6%, 15.8%, 16.8%, 27.9%, 处于重度和极重度风险的网格主要分布沿红河两侧的楚雄市、双柏县、新平彝族傣族自治县、元江哈尼族彝族自治县、石屏县、元阳县、绿春县、金平县、个旧市、屏边苗族自治县和河口瑶族自治县大部分地区。综合景观生态风险指数是基于景观格局指数和土壤侵蚀指数建立, 反映了网格综合的景观生态风险, 处于极轻度风险、轻度风险、中度风险、重度风险和极重度

风险所对应的网格百分比依次是 8.9%, 41.6%, 37.4%, 10.5%, 1.6%, 处于中度以下级别的网格在

87% 以上, 重度和极重度风险的网格主要分布在红河沿岸县市部分地区。

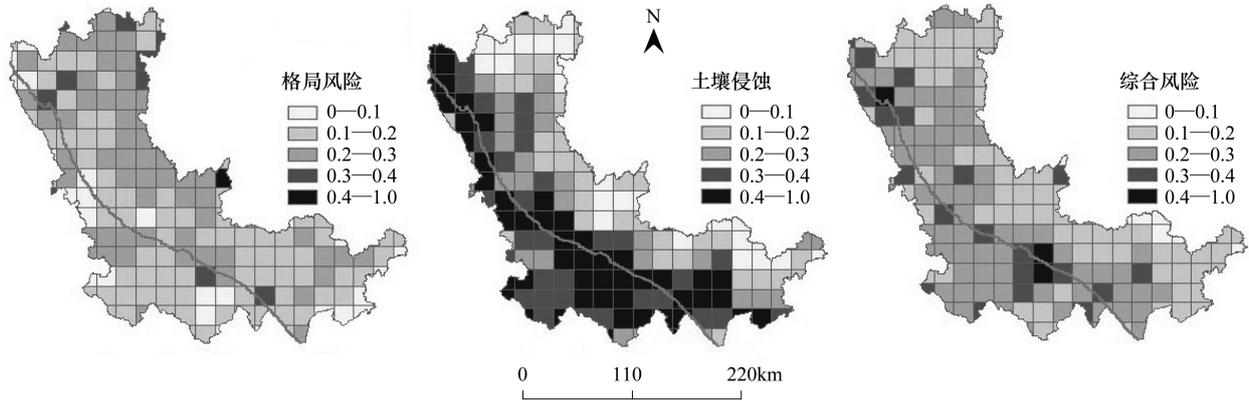


图 2 红河流域景观格局、土壤侵蚀和综合景观风险指数网格分布图

Fig.2 Distribution of landscape pattern, soil erosion, and integrated landscape risk indexes

3.2 景观生态风险指数空间自相关分析

全局 Moran's I 和局部空间自相关 LISA 结果见图 3、图 4。红河流域全局 Moran's I 为 0.3952, 表明红河流域的综合景观生态风险指数表现为在地理空间上的显著的的正的空间自相关, 研究区的景观生态风险指数在空间上存在着一定的空间集聚效应。由局部 Moran's I (图 4) 可见, 红河流域综合景观生态高-高风险聚集区有两处, 主要集中在红河上游及下游的沿岸地区, 分别位于上游楚雄市和双柏县境内以及下游建水县、个旧和元阳境内。低风险聚集区

主要分布在下游河岸的东侧, 位于文山、西畴县和马关县。

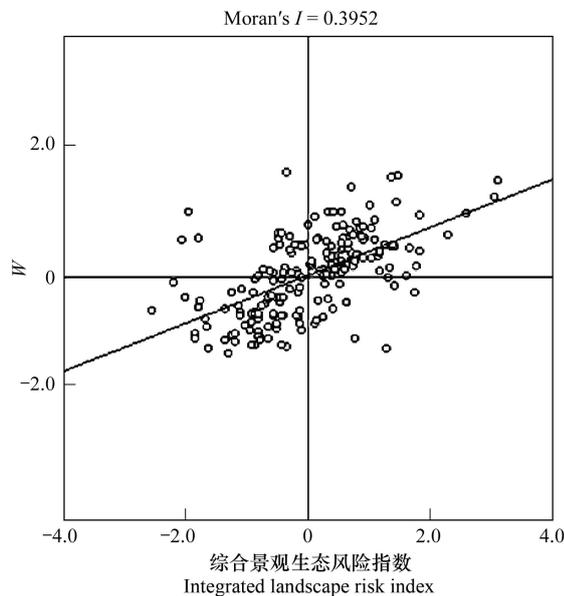


图 3 综合景观生态风险指数全局 Moran's I 散点图

Fig.3 Global Moran's I scatter plot of integrated landscape ecological risk

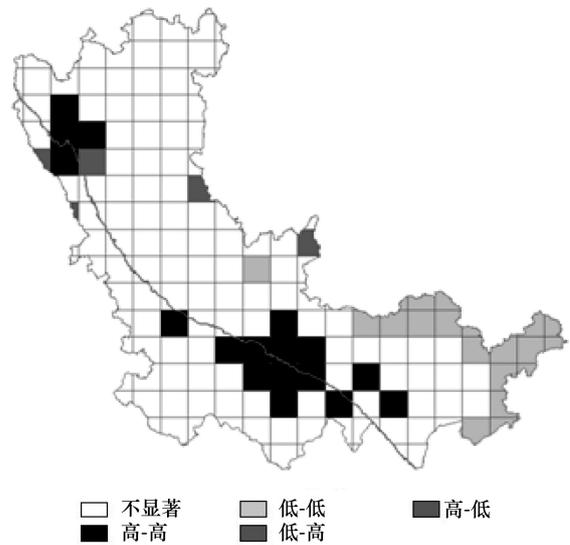


图 4 综合景观生态风险度局部空间自相关 LISA 结果

Fig.4 Local spatial autocorrelation of integrated landscape ecological risk

3.3 不同景观类型景观生态风险分析

把红河流域景观类型也分为 6 类: 耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地, 景观类型代码编号为 1、2、3、4、5 和 6。由图 4 所知, 红河流域主要的景观类型面积比排列依次是: 林地、草地、耕地、水域、建设用地和未利用地, 其中前 3 种景观类型面积和占整个流域面积的 99% 以上; 斑块数排列依次是: 耕地、草地、林地、建设用地、水域和未利用地; 相对应的斑块数依次是: 6900, 4623, 1806, 828, 382, 19。从

图 5 可以看出,水域、建设用地和未利用地的景观格局风险指数分别为 8.4,7.5,4.4,远高于耕地、林地和草地。而基于裸露的未利用地土壤侵蚀指数最高,其次是耕地、林地和草地。综合考虑格局风险和土壤侵蚀的综合景观生态风险指数排列依次是:未利用地、建设用地、水域、耕地、林地和草地。

3.4 景观生态风险与地形的关系研究

把海拔和坡度作为主要地形因子,分析地形与景观生态风险的关系。计算红河流域 190 个网格内平均海拔和坡度,红河流域网格内最高平均海拔为 2740 m,最低 327 m,平均海拔是 1564 m;红河流域网格内坡度最大值为 25°,最小值为 4°,平均坡度 14°。

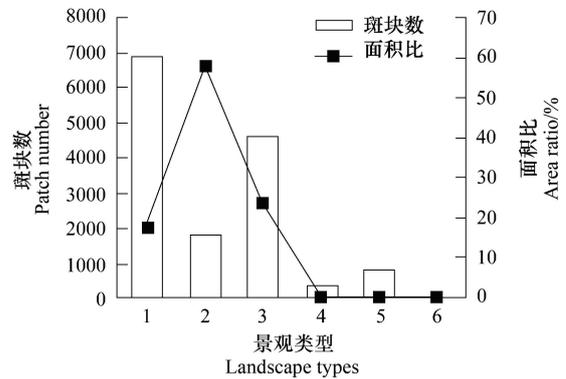


图 5 不同景观类型斑块数和面积比
Fig.5 Patch number and area ratio of different landscape types

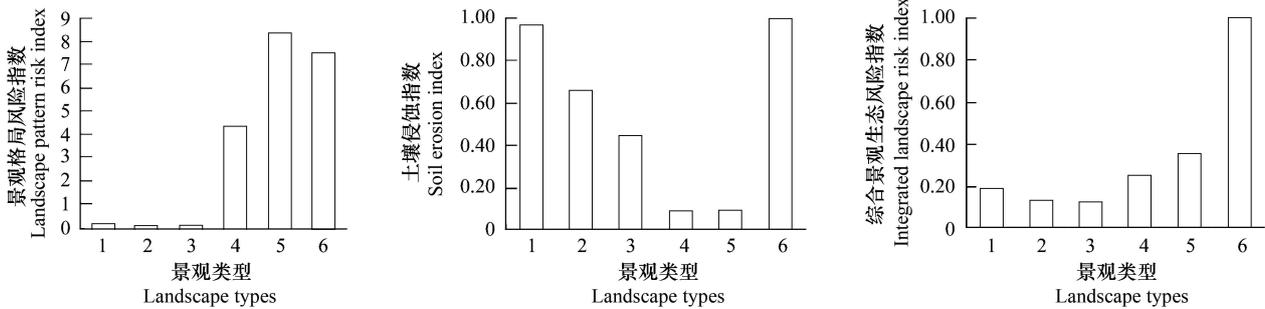


图 6 不同景观类型景观格局风险指数、土壤侵蚀指数和综合景观生态风险指数
Fig.6 Landscape pattern risk indexes, soil erosion and integrated landscape risk indexes of different landscape types

根据红河流域海拔范围和坡度范围,把红河流域海拔分布为两个等级<1500m、>1500m;坡度分为 4 个等级<10°、10—15°、15—20°、>20°。分析红河流域不同地形因子风险指数分布规律,海拔<1500m 的红河流域网格由于人为干扰严重,景观格局风险指数较大,土壤侵蚀严重,综合风险指数大。在两个海

拔范围内,随着坡度的增加,土壤侵蚀严重,景观格局风险增加,综合景观风险增加。计算红河流域网格内综合景观生态风险指数与网格内平均海拔、坡度相关性指数(图 7),发现综合景观生态风险指数与坡度呈显著性相关,相关性指数为 0.550,海拔与综合景观生态风险相关性不大。

表 1 红河流域不同地形因子下各风险指数

Table 1 Three risk indexes of different topography factors in Red River Basin

海拔分级/m Elevation classification	坡度分级/(°) Slope classification	标准化土壤侵蚀指数 Normalized soil erosion index	景观格局风险 Landscape pattern risk	综合景观风险指数 Integrated landscape risk indexes
<1500	<10	0.27	0.12	0.18
	10—15	0.29	0.17	0.22
	15—20	0.33	0.20	0.25
	>20	0.58	0.22	0.35
>1500	<10	0.12	0.12	0.12
	10—15	0.21	0.17	0.18
	15—20	0.35	0.20	0.26
	>20	0.56	0.24	0.36

4 结论与讨论

基于景观格局和生态学过程建立的景观生态风

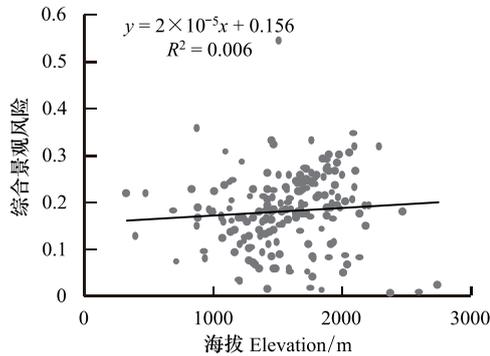


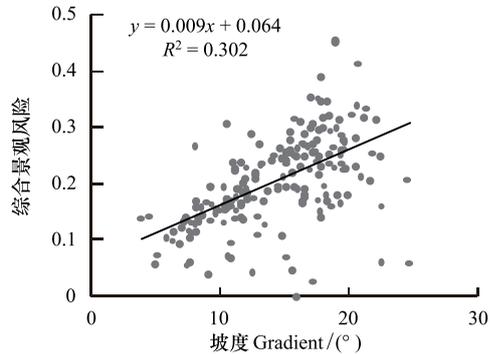
图 7 红河流域海拔、坡度与综合景观风险指数相关关系图

Fig. 7 The correlation between elevation, slope and integrated landscape risk index

局指数,反映人类干扰在景观格局上的影响;选用土壤侵蚀指数建立生态过程指数,反映风险源在生态过程上的影响。通过对景观格局风险、土壤侵蚀风险、综合景观生态风险的空间分析得出,3种高风险区域主要分布在红河沿岸的县市中。综合景观生态风险呈现正的空间自相关性,高风险聚集区主要分布在上游的楚雄市、双柏县以及下游的建水县、个旧和元阳境内,是重大道路和居民点聚集区。低风险聚集区离河流较远,主要分布在下游。红河沿岸干热河谷主要分布在海拔 1000—1400m 以下,由于气候、土壤等原因,干热河谷林草植被覆盖率低,生物多样性低,水土流失严重,由于人口剧增,土地过度开发,导致区域生态环境脆弱,景观生态风险提高^[31-32]。分析不同景观类型的生态风险表明,未利用土地、建设用地及水域呈现较高的综合景观生态风险。此外,综合景观生态风险与地形因子—坡度呈现显著的正相关性。

本文采用通用土壤流失方程 (USLE) 计算土壤侵蚀指数,它在 20 世纪 80 年代引入我国,有研究证明 USLE 中的因子取值方法并不适合研究地区的自然地理状况^[33-34],因此在对定量计算红河流域土壤侵蚀时,根据所现有的数据和研究目的,选用符合研究区自然地理状况的因子取值方法。文章以景观为风险受体,人类干扰为风险源,可能还有一些对景观生态有影响的风险源未考虑,比如:干旱、洪涝等,这将在以后的研究中进一步细化和改进。

险指数能够综合的反映风险源对景观的影响,为当地景观区域生态建设、风险管理提供理论和技术支持。本文利用破碎度、分离度和优势度建立景观格



References:

- [1] Sun H B, Yang G S, Wei Z, Wan R R. Research progress on ecological risk assessment. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28 (2): 335-341
- [2] Smith S M, Gawlik D E, Rutchey K, Crozier GE, Gray S. Assessing drought-related ecological risk in the Florida Everglades. *Journal of environmental management*, 2003, 68: 355-366
- [3] Muschal M. Assessment of risk to aquatic biota from elevated salinity—A case study from the Hunter River, Australia. *Journal of environmental management*, 2006, 79: 266-278
- [4] Natio W, Miyamoto K, Nakanishi J, Masunaga S, Bartell M S. Evaluation of an ecosystem model in ecological risk assessment of chemicals. *Chemosphere*, 2003, 53: 363-375
- [5] Mansour S A, Gad M F. Risk assessment of pesticides and heavy metals contaminants in vegetables; A novel bioassay method using *Daphnia magna* Straus. *Food and chemical toxicology*, 2010, 48: 377-389
- [6] Bartell S M, Lefebvre G, Kaminski G, Carreau M, Campbell R K. An ecosystem model for assessing ecological risks in Que'bec rivers, lakes, and reservoirs. *Ecological modeling*, 1999, 124: 43-67
- [7] Hlihor R M, Apostol L C, Smaranda C. Bioavailability processes for contaminants in soils and their use in risk assessment. *Environmental engineering and management journal*, 2009, 8 (5): 1199-1206.
- [8] Bertollo P. Assessing Landscape Health: A Case Study from Northeastern Italy. *Environmental management*, 2001, 27: 349-365
- [9] Pantus F J, Dennison W C. Quantifying and Evaluating Ecosystem Health: A Case Study from Moreton Bay, Australia. *Environment management*, 2005, 36(5): 757-771
- [10] Van Sickle J, Stoddard J L, Paulsen S G, Olsen A R. Using relative risk to compare the effects of aquatic stressors at a regional scale. *Environmental Management*, 2006, 38(6): 1020-1030
- [11] Schriever C A, Liess M. Mapping ecological risk of agricultural pesticide runoff. *Science of the total environment*, 2007, 384: 264-279
- [12] Natio W, Miyamoto K, Nakanishi J, Masunaga S, Bartell M S.

- Application of an ecosystem model for aquatic ecological risk assessment of chemicals for a Japanese lake. *Water research*, 2002, 36: 1-14
- [13] Wataru N, Ken-ichi M, Junko N, Masunaga S, Bartell M S. Evaluation of an ecosystem model in ecological risk assessment of chemicals. *Chemosphere*, 2003, 53: 363-375
- [14] Chen P, Pan X L. Ecological risk analysis of regional landscape in inland river watershed of arid area—a case study of Sangong River Basin in Fukang. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22 (4): 116-120
- [15] Wu L Y, Huang Y X. Landscape ecological risk assessment of Dongshan Island. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2003, 22(4): 116-120
- [16] Li X H, Li J J. Analysis on regional landscape ecological risk based on GIS—a case study along the lower reaches of the Weihe River. *Arid Zone Research*, 2008, 25(6): 899-903
- [17] Wang C Y, Zhang J, Xin H M, Fu J. Ecological risk assessment of island exploitation based on landscape pattern. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2811-2817
- [18] Jing Y P, Zhang S W, Li Y. Ecological risk analysis of rural-urban ecotone based on landscape structure. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27 (2): 229-234.
- [19] Xie H L. Regional eco-risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics. *China Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (10): 5020-5026.
- [20] Liu S L, Zhang Z L, Zhao Q H, Deng L, Dong S K. Effects of Road on Landscape Pattern and Soil Erosion; A Case Study of Fengqing County, Southwest China. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(1): 169-173
- [21] Yao H R, Yang Z F, Cui B S. The risk of soil erosion along typical highway in LRGR. *Chinese Science Bulletin*, 2006, (51): 66-72
- [22] Ma X. Ecological risk assessment of vulnerable mine area—taking Shengli east No. 2 open-pit as an example [D]. 2011, China University of Geosciences (Beijing)
- [23] Dai X L. Characteristics of Sediment and conservation of soil and water in Hong he river basin. *Pearl River*, 2008, 3: 22-23
- [24] Liu S L, Yang Z F, Cui B S, Gan S. Effects of road on landscape and its ecological risk assessment; A case study of Lancang jiang River valley. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24 (8): 897-901
- [25] Li X Y, Zhang S W. Analysis on the dynamic trend of ecological security in the west part of Jilin Province, China based on the landscape structure. *Arid Zone Research*, 2005, 22(1): 57-62
- [26] Wang J, Cui B S, Liu J, Yao H R, Zhai H J. 2008. The effect of land use and its change on ecological risk in the Lancang River watershed of Yunnan Province at the landscape scale. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 28 (2): 269-277
- [27] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses—a guide for conservation planning [M]. USDA. *Agricultural Handbook*, 1978
- [28] Zhang W B, Xie Y, Liu B Y. Rainfall erosivity estimation using daily rainfall amounts. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 12 (6): 705-711
- [29] Liu Z, Hu T X, Zhao A J, Huang C D, Gao Y Z. Dynamics of soil erosion in the region of forest protection project at middle Reaches of the Yangtze River—A Case Study of Daoshuihe Basin at Hongan County of Hubei Province. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2009, 27(3): 295-301
- [30] Lin L, Ma F. Spatial distribution and trends of the aging of population in Guangzhou. *Geographical Research*, 2007, 26(5): 1043-1054
- [31] Zhu Y S, Chen C M, Jiang H P. To protect water resources in Honghe River basin including Yuanjiang dry-hot valleys (DHV). *Pearl River*, 2012(1): 14-17
- [32] Zheng P. Analysis on rehabilitation from regressive ecosystem in rock desertification area in Honghe prefecture. *Forest Inventory and Planning*. 2008, 33(3): 104-107
- [33] Zhou F J. On soil erosion and comprehensive harness in Fujian Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1995, 9(1): 25-30, 36
- [34] Chen M H, Zhou F J, Lin F X, Huang Y H, Lu C L. Study on the Soil erodibility Factor. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1995, 9(1): 19-24
- 参考文献:**
- [1] 孙洪波, 杨桂山, 苏伟忠, 万荣荣. 生态风险评价研究进展. *生态学杂志*, 2009, 28(2): 335-341
- [15] 巫丽芸, 黄义熊. 东山岛景观生态风险评价. *台湾海峡*, 2005, 24(1): 35-42
- [16] 李谢辉, 李景宜. 基于 GIS 的区域景观生态风险分析. *干旱区研究*, 2008, 25(6): 899-903
- [17] 王常颖, 张杰, 辛红梅, 付军. 基于景观格局的海岛开发潜在生态风险评价. *生态学报*, 2008, 28(6): 2811-2817
- [18] 荆玉平, 张树文, 李颖. 基于景观结构的城乡交错带生态风险分析. *生态学杂志*, 2008, 27(2): 229-234
- [19] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析. *生态学报*, 2008, 28(10): 5020-5026
- [20] 刘世梁, 张兆苓, 赵清贺. 道路对景观格局和土壤侵蚀的影响. *土壤通报*, 2011, 42(1): 169-173
- [21] 姚华荣, 杨志峰, 崔保山. 纵向峡谷区典型公路沿线的土壤侵蚀风险. *科学通报*, 2006, (51): 66-72
- [22] 马萧. 脆弱性矿区生态风险评价——以胜利东二号露天矿为例 [D]. 2011, 中国地质大学
- [23] 代兴兰. 红河流域泥沙特性及水土保持. *人民珠江*, 2008, 3: 22-23
- [24] 刘世梁, 杨志峰, 崔保山, 甘淑. 道路对景观的影响及其生态风险评价——以澜沧江流域为例. *生态学杂志*, 2005, 24 (8): 897-901
- [25] 李晓燕, 张树文. 基于景观结构的吉林西部生态安全动态分析. *干旱区研究*, 2005, 22(1): 57-62
- [26] 王娟, 崔保山, 刘杰, 姚华荣, 翟红娟. 云南澜沧江流域土地利用及其变化对景观生态风险的影响. *环境科学学报*, 2008, 28 (2): 269-277
- [28] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究. *地理科学*, 2002, 12(6): 705-711
- [29] 刘赞, 胡庭兴, 赵安玖, 黄从德, 高友珍. 基于通用土壤流失方程的长江防护林区的土壤侵蚀动态特征——以湖北省红安县倒水河流域为例. *四川农业大学学报*, 2009, 27 (3): 295-301
- [30] 林琳, 马飞. 广州市人口老龄化的空间分布及趋势. *地理研究*, 2007, 26(5): 1043-1054
- [31] 朱远生, 陈春梅, 姜海萍. 红河流域元江干热河谷地区水资源保护初探. *人民珠江*, 2012(1): 14-17
- [32] 郑平. 试析红河州石漠化地区退化生态系统的恢复. *林业调查规划*, 2008, 33(3): 104-107
- [33] 周伏建, 陈明华, 黄炎和, 林福兴, 黄炎和. 福建省土壤流失预报研究. *水土保持学报*, 1995, 9(1): 25-30, 36
- [34] 陈明华, 周伏建, 黄炎和, 卢程隆, 林福兴. 土壤可蚀性因子的研究. *水土保持学报*, 1995, 9(1): 19-24