

## 重庆武隆区景观类型转移的生态风险时空演化研究

黄九松<sup>1</sup>, 刘婷<sup>2</sup>, 王钟书<sup>3\*</sup>, 张传华<sup>2</sup>, 邓炜<sup>1,4</sup>

(1. 重庆市规划和自然资源信息中心, 重庆 401147; 2. 重庆理工大学管理学院, 重庆 400054; 3. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042; 4. 重庆铁路投资集团有限公司, 重庆 400025)

**摘要** [目的]分析武隆区景观生态风险时空演变特征。[方法]以武隆区2010、2015、2020年土地利用数据为基础,运用ArcGIS 10.2和Fragstats 4.3软件,通过构建景观生态风险模型测算和分析景观生态风险大小及时空演变特征。[结果]2010—2020年武隆区景观格局变化明显,耕地面积先增后减,景观优势度降低;林地面积先减后增,破碎度和分离度呈先升高后降低趋势;建设用地面积先减后增,景观优势度升高;湿地和裸地景观分离度和损失度先降低后升高。2010、2015和2020年都以中高生态风险等级为主,低风险生态区占比较少;空间分布以乌江为轴线,风险等级距离城区呈环状逐级递减状态。2010—2015、2015—2020年低等级向高等级风险转换的面积分别占总面积的3.62%、4.46%,高等级向低等级风险转换的面积占比分别为0.52%、17.13%,即研究区景观生态风险等级呈下降趋势。[结论]武陵山区应在生态环境保护中寻求社会经济发展,建立和完善生态环境保护责任制,提升生态系统服务功能和抗风险能力。

**关键词** 景观格局;景观生态风险;时空演变;武隆区

中图分类号 X 718.55; X 826 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)11-0056-06

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.11.013



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Study on Temporal and Spatial Evolution of Ecological Risk of Landscape Type Transfer in Wulong District of Chongqing**

**HUANG Jiu-song<sup>1</sup>, LIU Ting<sup>2</sup>, WANG Zhong-shu<sup>3</sup> et al** (1. Chongqing Planning and Natural Resources Information Center, Chongqing 401147; 2. College of Management, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054; 3. Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042)

**Abstract** [Objective] To analyze the temporal and spatial evolution characteristics of landscape ecological risk in Wulong District. [Method] Based on the land use data of Wulong District in 2010, 2015, and 2020, using ArcGIS 10.2 and Fragstats 4.3 software, the landscape ecological risk model was constructed to calculate and analyze the magnitude and spatiotemporal evolution characteristics of landscape ecological risk.

[Result] From 2010 to 2020, the landscape pattern changed obviously, the area of arable land increased first and then decreased, and the landscape dominance decreased; the area of forest land decreased first and then increased, and the fragmentation and separation increased first and then decreased; the area of construction land decreased first and then increased, and the landscape dominance increased; the landscape separation and loss of wetland and bare land decreased at first and then increased. In 2010, 2015 and 2020, the ecological risk levels were dominated by medium and high ecological risk levels, and the low-risk ecological areas accounted for a small proportion; the spatial distribution took the Wujiang River as the axis, and the risk level from the urban area was in a state of gradual decrease in a ring shape. During 2010-2015 and 2015-2020, the area converted from low-grade to high-grade risk accounted for 3.62% and 4.46% of the total area, and the area converted from high-grade risk to low-grade risk accounted for 0.52% and 17.13% of the total area, that was, the landscape ecological risk level in the study area showed a downward trend. [Conclusion] Seek social and economic development in ecological environmental protection in Wulong District, establish and improve the ecological environmental protection responsibility system, and enhance the ecosystem service function and anti-risk ability.

**Key words** Landscape pattern; Landscape ecological risk; Spatiotemporal evolution; Wulong District

生态文明建设已纳入中国特色社会主义事业的总体布局,景观格局风险预控是实现区域生态风险综合防范、景观生态管理和生态保护的重要手段之一。景观生态风险是指景观环境与生态环境在自然因素或人为活动的干扰下相互作用而产生的负面影响<sup>[1]</sup>,是基于经济、社会和自然生态层面对景观格局演变造成的不利后果进行区域性和综合性的预判<sup>[2-3]</sup>。

国内外学者对景观生态风险的研究成果丰硕,学者们通过景观指数法<sup>[4]</sup>、风险“源-汇”法<sup>[5-6]</sup>、空间自相关分析法<sup>[7-8]</sup>等方法,从景观风险评价<sup>[9-10]</sup>、格局优化<sup>[11-12]</sup>、时空分异<sup>[13-14]</sup>等视角,对河湖流域<sup>[15-16]</sup>、城市地域<sup>[17-18]</sup>、自然保护区<sup>[19]</sup>、水利枢纽区<sup>[20]</sup>等不同尺度进行研究。纵观已有研究,鲜有学者关注到山地景观生态风险防控。我国山地丘陵地

貌分布广,且生态环境较平原和河湖地区更为脆弱,山区受到自然因素和人为活动的干扰不断加剧,伴随产生的一系列生态安全问题严重威胁区域生态环境的持续发展和生态安全格局的合理构建<sup>[21]</sup>。因此,以山地为视角研究景观生态风险时空演变有重要的现实意义。

武陵山脉贯穿黔东、湘西、鄂西、渝东南地区,是乌江、沅江、澧水的分水岭,是长江流域的重要生态安全屏障。武隆区位于武陵山脉西部,地处乌江下游流域,是重庆的生态功能区。武隆区崇山峻岭,沟壑纵横,自然资源丰富,对当地的自然生态进行保护式利用有利于当地生态旅游的发展,对武隆区的社会经济发展、当地脱贫成果巩固、实现经济持续增长具有重要意义。因此,该研究选取武隆区为研究对象,通过构建景观生态风险模型,对武隆区的景观格局指数时序变化和景观生态风险时空分异情况进行研究,以期为武隆区生态景观格局优化及风险防范、山区自然生态环境保护与管理提供理论基础和依据。

**1 资料与方法****1.1 研究区概况** 武隆区位于重庆东南部(107°14'~**基金项目** 重庆市社科联一般项目(2022NDYB80);重庆市自然科学基金项目(CSTB2022NSCQ-MSX1310, CSTB2022NSCQ-MSX1409)。**作者简介** 黄九松(1981—),男,土家族,重庆人,高级工程师,硕士,从事自然资源管理工作。\*通信作者,工程师,硕士,从事生态保护和修复、乡村振兴研究。**收稿日期** 2022-06-22

108°05'E、29°02'~29°40'N),处于武陵山与大娄山的结合部,东邻彭水,西接南川和涪陵,南靠贵州道真,北抵丰都,位于重庆“一圈两翼”的渝东南翼,有“渝黔门屏”之称(图1)。武隆区土地面积为288 947.49 hm<sup>2</sup>,最低海拔160 m,最高海拔2 033 m,全区崇山峻岭,沟壑纵横,自然资源丰富,土壤以紫色土、黄壤土、黄棕壤土和水稻土为主,主要植被为人工林和天然次生林。该区属于亚热带湿润季风气候,全年平均气温17.4℃,年降水量1 199.7 mm,年日照时数939.0 h。截至

2021年底,全年地区生产总值突破262.14亿元,同比增长7.8%;工业增加值59.9亿元,增长7.4%;一般公共预算收入15.8亿元,增长18.1%;固定资产投资86.8亿元,增长3.3%;社会零售总额136.8亿元,增长21.7%;城乡居民人均可支配收入分别达44 194、17 175元,分别增长9.1%、11.0%。武隆有丰富的旅游资源,包括芙蓉江国家重点风景名胜、仙女山国家森林公园景区、天生三桥、千里乌江画廊等旅游胜地,被誉为中国西部地质之乡。

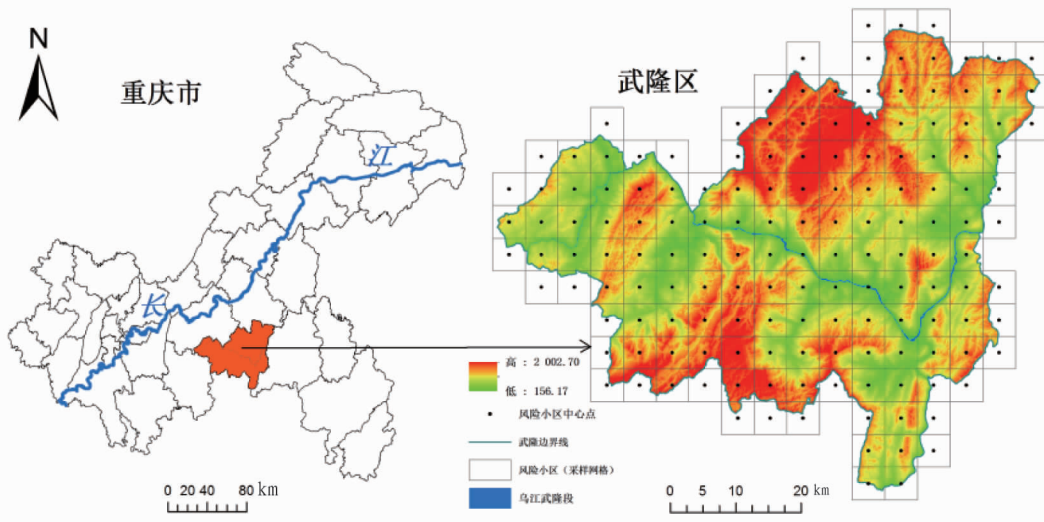


图1 武隆区区位及风险小区

Fig. 1 Location and risk community of Wulong District

**1.2 数据来源与处理** 该研究所采用的数据主要包括:①土地利用类型来源于2010、2015、2020年3个时期土地利用遥感监测数据,运用Erdas imagine 9.0软件对各期影像进行几何校正和配准,采用人工目视解译、判读和识别提取3期土地利用信息,参照GB/T 21010—2017全国土地利用分类体系将武隆区景观划分为6种基本类型:耕地、林地、草地、湿地、建设用地、裸地(图2)。②数字高程模型(digital elevation model)来源于ASTER GDEM数据,运用ArcGIS 10.2

处理得到武隆区坡度、高程和地形数据。以上数据获取后,通过ArcGIS 10.2建立空间数据库进行整合,并统一各专题图件的空间投影坐标系(Gauss\_Kruger, CGCS2000\_3\_Degree\_GK\_Zone\_35),统一栅格数据空间分辨率为30 m×30 m。③景观格局指数运用Fragstats 4.3计算得出。④人口、社会、经济数据来源于历年《武隆区统计年鉴》以及武隆区国民经济和社会发展统计公报。



图2 2010、2015和2020年武隆区基本类型景观空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of basic types of landscape in Wulong District in 2010, 2015 and 2020

### 1.3 研究方法

**1.3.1 风险小区划分。**参考已有研究<sup>[22]</sup>,该研究利用ArcGIS 10.2等间距系统采样法对武隆区2010、2015和2020年

的土地利用数据进行5 km×5 km的正方形网格化处理,采集划分风险小区155个(图1),风险小区面积为研究区景观斑块平均面积的2~5倍<sup>[23]</sup>。以风险小区为评价单元,计算风

险小区内各景观类型的景观格局指数,利用半方差分析法进行生态风险等级空间特征分析。

**1.3.2 景观生态风险模型。**各种不确定因素对景观生态系统的影响程度决定了景观生态风险的大小,不确定性因素包括外界对其的干扰程度和自身抵抗力的强弱<sup>[24]</sup>。景观格局是一种反映区域生态环境状况的有效手段,体现了人类活动作用于自然生态环境而产生的影响结果<sup>[25]</sup>。而景观格局指数高度凝练了景观格局类型组成与空间分布特征<sup>[26]</sup>,是衡量区域景观生态风险水平的重要定量指标。根据谢花林<sup>[27]</sup>、贾艳艳等<sup>[28]</sup>的研究,景观破碎度指数( $C_i$ )、景观优势度指数( $D_i$ )、景观分离度指数( $N_i$ )、景观脆弱度指数( $F_i$ )、景观干扰度指数( $S_i$ )和景观损失度指数( $R_i$ )等景观格局指标可以用来评价风险小区景观生态风险的大小,构建的景观生态风险指数模型<sup>[29]</sup>如下:

$$ERI_j = \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_{jk}}{A_j} R_k \right) \quad (1)$$

式中, $ERI_j$ 为第 $j$ 个评价单元的景观生态风险指数, $A_{jk}$ 为第 $j$ 个评价单元内景观类型 $k$ 的面积, $A_j$ 为第 $j$ 个评价单元的面积, $R_k$ 为第 $k$ 类景观的景观损失度指数。其中, $k$ 代表6种基本景观类型。各景观格局指数的计算公式及含义如表1所示, $n_i$ 是景观类型 $i$ 的斑块数; $A_i$ 是景观类型 $i$ 的总面积; $L_i$ 是斑块 $i$ 的面积/风险小区总面积; $Q_i$ 是风险小区出现斑块 $i$ 的数量/风险小区总数量; $M_i$ 是斑块 $i$ 的数量/斑块总数量; $l_i$ 是景观类型 $i$ 的距离指数; $A$ 是全部景观类型的总面积; $a$ 、 $b$ 、 $c$ 分别对应 $C_i$ 、 $N_i$ 、 $D_i$ 的权重,且 $a+b+c=1$ ,参考徐维艺等<sup>[23]</sup>和刘春艳等<sup>[35]</sup>的研究成果,并结合武隆区实际情况,最终对武隆区 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 这3个权重的赋值分别为0.6、0.3、0.1。

表1 景观格局指数的计算公式和含义

Table 1 Calculation formula and meaning of landscape pattern index

序号 No.	名称 Name	计算公式 Calculation formula	含义 Meaning
1	景观破碎度指数 $C_i$	$C_i = \frac{n_i}{A_i}$	衡量整个景观或某一景观类型在一定条件下表现出的破碎化程度,值越大,对应的生态系统的整体性和稳定性越低 <sup>[30]</sup>
2	景观优势度指数 $D_i$	$D_i = \frac{2L_i + Q_i + M_i}{4}$	衡量斑块对景观产生的影响程度的重要指标,其值直接反映了斑块对景观格局形成和变化的影响效果 <sup>[31]</sup>
3	景观分离度指数 $N_i$	$N_i = l_i \times \frac{A}{A_i}, l_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_i}{A}}$	衡量斑块在景观类型中的分离程度,是景观破碎化程度的体现,值越大,景观分布越分散和复杂 <sup>[32]</sup>
4	景观脆弱度指数 $F_i$	通过特尔斐法 归一化获得	衡量不同景观类型受外界影响的敏感程度,值的大小与其在自然演替过程中所处的阶段有关 <sup>[33]</sup> 。一般而言,生态系统处于初级演替阶段、食物链结构单一、生物多样性小时较为脆弱 <sup>[34]</sup>
5	景观干扰度指数 $S_i$	$S_i = aC_i + bN_i + cD_i$	衡量不同景观类型受外界(主要是人类活动)影响的程度 <sup>[32]</sup>
6	景观损失度指数 $R_i$	$R_i = S_i \times F_i$	衡量在受到不同的自然或人为因素影响时,景观类型自然属性的损失程度 <sup>[34]</sup>

**1.3.3 半方差分析法。**作为一种区域性空间变量,景观生态风险指数通过地统计学中的变异函数方法,利用半方差函数进行生态风险程度的空间分析<sup>[7,22]</sup>。计算公式如下:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2, (i=1, 2, \dots, N(h)) \quad (2)$$

式中, $\gamma(h)$ 是变异函数; $h$ 是配对抽样的空间分隔距离; $N(h)$ 是间隔距离为 $h$ 时的样点数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别是景观生态风险指数在空间位置 $x_i$ 和 $x_i+h$ 上的观测值。

将计算得出的风险小区景观生态风险指数进行球面模型拟合和空间插值<sup>[28]</sup>,绘制武隆区2010、2015和2020年的生态风险等级空间分布图。

## 2 结果与分析

**2.1 景观格局指数时序变化** 利用Excel和Fragstats 4.2软件的统计分析功能,根据表1的景观格局指数计算公式计算得到2010、2015、2020年6种基本类型的景观格局指数(表2)。

研究期内,耕地和林地的面积有变化,但其在研究区景观类型中的主要地位没有发生改变。2007年武隆喀斯特地

貌成功申遗,武隆区进入快速发展阶段,建设用地扩张速度急剧加快,但得益于2008年开始实施的重庆地票制度,武隆区大量废弃闲置的农村建设用地复垦为耕地。总体来看,2010—2020年建设用地增加了3 104 hm<sup>2</sup>,耕地减少了16 299 hm<sup>2</sup>;其中前5年建设用地面积略有减少,耕地面积略有增加;而后5年建设用地面积快速增加,耕地面积快速减少。随着武隆区旅游业的快速发展和城镇化进程的不断加快,人为的开发利用活动对景观格局的影响不断加强。

2010—2020年,耕地的斑块数量先减后增,但面积先增后减,耕地的破碎度指数( $C_i$ )和分离度指数( $N_i$ )呈先减后增趋势,耕地被农村居民点、城镇用地等景观类型用地分割,最终形成小块零散的分布状态,耕地优势度指数( $D_i$ )总体呈降低趋势,损失度指数( $R_i$ )总体呈升高趋势,由2010年的0.016 7升高至2020年的0.020 0。与耕地相反,林地斑块数量先增后减,但面积先减后增, $C_i$ 和 $N_i$ 呈先升高后降低趋势, $R_i$ 没有变化。建设用地斑块数量增加,面积呈先减后增趋势, $C_i$ 和 $N_i$ 呈先升高后降低趋势, $D_i$ 不断升高,由2010年的0.313 2升高至2020年的0.342 4, $R_i$ 先升高后降低。草地斑块数量和面积不断减少, $C_i$ 和 $D_i$ 降低, $N_i$ 和 $R_i$ 升高。

湿地  $D_i$  先升高后降低,  $C_i$  先降低后升高,  $N_i$  和  $R_i$  先降低后升高。裸地斑块数量和面积均呈先增后减趋势,  $C_i$  升高,  $D_i$  先升高后降低,  $N_i$  和  $R_i$  先降低后升高。草地和裸地转换为其他景观类型是造成上述两类景观指数变化的主要原因。

**2.2 景观生态风险时空分异** 借鉴高宾等<sup>[34]</sup> 和 黄木易等<sup>[36]</sup> 的研究, 结合武隆区实际, 运用手动断点法将各风险小

区的景观生态风险指数划分为 5 个等级: 低风险区 ( $ERI \leq 0.0064$ )、较低风险区 ( $0.0064 < ERI \leq 0.0080$ )、中风险区 ( $0.0080 < ERI \leq 0.0094$ )、较高风险区 ( $0.0094 < ERI \leq 0.0108$ )、高风险区 ( $ERI > 0.0108$ ), 统计不同等级生态风险面积比例(图 3), 进行生态风险面积动态变化分析(表 3), 绘制得出 2010、2015、2020 年武隆区景观生态风险等级分布图(图 4)。

表 2 武隆区 6 种基本类型景观格局指数

Table 2 Landscape pattern index of six basic types in Wulong District

景观类型 Landscape type	年份 Year	斑块面积 CA/hm <sup>2</sup>	斑块个数 NP//个	破碎度指数 $C_i$	分离度指数 $N_i$	优势度指数 $D_i$	干扰度指数 $S_i$	脆弱度指数 $F_i$	损失度指数 $R_i$
耕地 Arable land	2010	73 210	1 223	0.016 7	0.128 4	0.462 4	0.094 8	0.176 5	0.016 7
	2015	77 276	1 206	0.015 6	0.120 8	0.467 1	0.092 3	0.176 5	0.016 3
	2020	56 911	1 439	0.025 3	0.179 1	0.441 9	0.113 1	0.176 5	0.020 0
林地 Forest land	2010	200 665	103	0.000 5	0.013 6	0.516 7	0.056 1	0.098 8	0.005 5
	2015	196 714	109	0.000 6	0.014 3	0.512 3	0.055 8	0.098 8	0.005 5
	2020	214 314	54	0.000 3	0.009 2	0.527 9	0.055 7	0.098 8	0.005 5
草地 Grassland	2010	1 635	92	0.056 3	1.576 6	0.148 9	0.521 6	0.128 5	0.067 0
	2015	1 614	90	0.055 8	1.580 0	0.143 9	0.521 9	0.128 5	0.067 1
	2020	1 023	55	0.053 8	1.949 0	0.124 1	0.629 4	0.128 5	0.080 9
建设用地 Construction land	2010	8 736	660	0.075 5	0.790 4	0.313 2	0.313 8	0.043 2	0.013 6
	2015	8 372	674	0.080 5	0.833 4	0.315 7	0.329 9	0.043 2	0.014 3
	2020	11 840	951	0.080 3	0.700 0	0.342 4	0.292 4	0.043 2	0.012 6
湿地 Wetland	2010	4 045	186	0.046 0	0.906 1	0.224 2	0.321 8	0.243 2	0.078 3
	2015	4 309	187	0.043 4	0.852 9	0.226 3	0.304 5	0.243 2	0.074 1
	2020	4 731	278	0.058 8	0.947 2	0.255 5	0.345 0	0.243 2	0.083 9
裸地 Bare land	2010	656	55	0.083 9	3.039 2	0.180 3	0.980 1	0.309 8	0.303 6
	2015	663	56	0.084 5	3.035 2	0.182 0	0.979 5	0.309 8	0.303 4
	2020	129	12	0.093 3	7.236 1	0.125 4	2.239 3	0.309 8	0.693 7

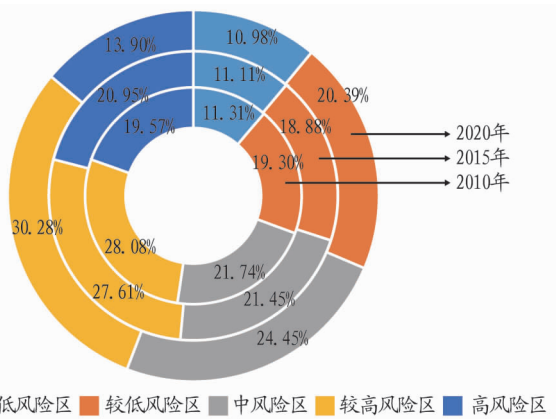


图 3 2010、2015、2020 年武隆区不同等级生态风险面积比例

Fig. 3 Proportion of ecological risk areas at different levels in Wulong District in 2010, 2015 and 2020

从时间序列分析(图 3 和表 3), 2010、2015 和 2020 年研究区均以中高风险等级为主, 分别占研究区面积的 69.39%、70.01%、68.63%, 且 3 个年份较高生态风险所占比重都是最高的, 分别是 28.08%、27.61% 和 30.28%; 低生态风险所占比重都是最低的, 分别是 11.31%、11.11% 和 10.98%; 较低风险区和中风险区所占比重维持在 20% 左右; 高风险区在 2020 年的比重明显降低, 为 13.90%。2010—2015 年, 只有高风险区面积增加, 动态度为 7.06%, 其他 4 种风险区面积均减少, 动态度为 -2.15% ~ -1.33%; 2015—2020 年, 高风险区面积大幅减少, 动态度为 -33.67%, 中风险区面积大幅增加, 动态度为 14.00%。总的来看, 后 5 年较前 5 年各个风险区面积和动态度变化加剧。

从空间分布分析(图 4), 高风险区集中分布在武隆区中部和东南部, 且以乌江为轴线的南北两岸, 风险等级距离城

表 3 2010—2020 年武隆区不同等级景观生态风险面积变化及动态度

Table 3 Change and dynamic degree of landscape ecological risk area at different levels in Wulong District in 2010—2020

风险等级 Risk grade	2010—2015 年		2015—2020 年		2010—2020 年	
	面积变化 Area change hm <sup>2</sup>	动态度 Dynamic degree//%	面积变化 Area change hm <sup>2</sup>	动态度 Dynamic degree//%	面积变化 Area change hm <sup>2</sup>	动态度 Dynamic degree//%
低风险区 Low risk area	-578	-1.77	-373	-1.16	-951	-2.91
较低风险区 Lower risk area	-1 200	-2.15	4 338	7.95	3 139	5.63
中风险区 Medium risk area	-839	-1.33	8 678	14.00	7 839	12.48
较高风险区 Higher risk area	-1 375	-1.69	7 740	9.70	6 364	7.84
高风险区 High risk area	3 991	7.06	-20 383	-33.67	-16 391	-28.98



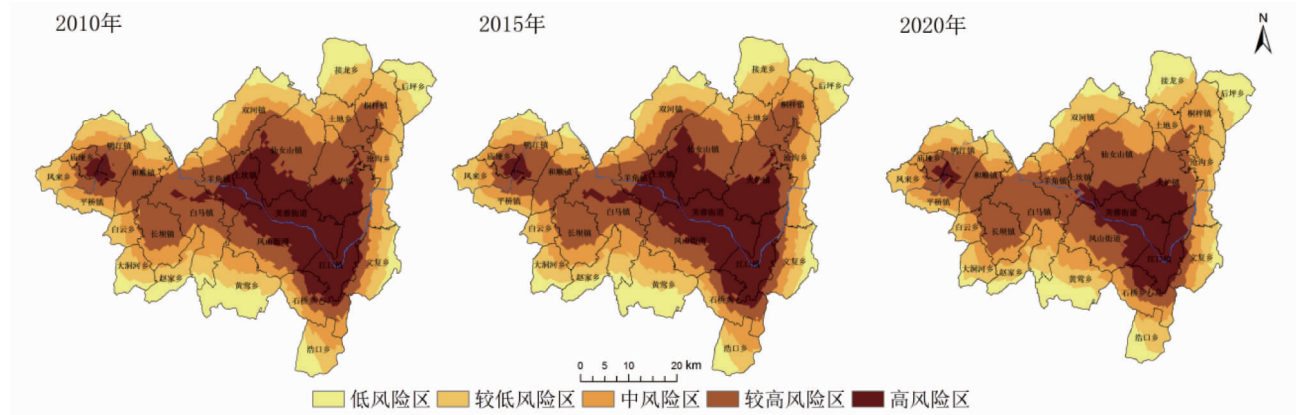


图4 2010、2015、2020年武隆区景观生态风险等级分布

Fig. 4 Distribution of landscape ecological risk level in Wulong District in 2010, 2015 and 2020

区呈环状逐级递减状态。该风险区地势平坦,经济发达,人口密度大,建设用地分布广,人类活动干扰程度大,建设用地的破碎度和分离度显著高于耕地和林地,因此处于高生态风险等级;距乌江越远,海拔越高,地形起伏越大,社会经济条件越差,人类活动干扰程度越低,生态风险等级越低。

**2.3 景观生态风险转换分析** 运用 ArcGIS 10.2 的叠加分析功能,将武隆区 2010、2015、2020 年的生态风险等级分布图进行叠加,得到 2010—2015 和 2015—2020 年 2 个时间段不同等级生态风险转换矩阵(表 4~5)。

武隆区正向(高风险—低风险)景观生态风险的转换类型包括较低—低风险、中—较低风险、较高—中风险、高一较高风险 4 种类型;武隆区逆向(低风险—高风险)景观生态风

险的转换类型包括低—较低风险、较低—中风险、中—较高风险、较高—高风险 4 种类型。从表 4 可以看出,2010—2015 年正向转换的面积为 1 490.75 hm<sup>2</sup>,占研究区总面积的 0.52%;逆向转换的面积为 10 454.50 hm<sup>2</sup>,占研究区总面积的 3.62%。正向转换的面积和比例低于逆向转换,说明 2010—2015 年研究区整体景观生态风险程度升高,生态环境有恶化趋势。由于 2010—2015 年武隆区处于城镇化快速发展阶段,人类活动对景观干扰强度加大,建设用地迅速扩张,耕地、林地被无序占用,政府管理力度小,没有迅速采取措施应对环境变化,生态环境遭到破坏却无法及时恢复,生态风险等级升高。

表 4 2010—2015 年武隆区不同等级生态风险转换矩阵

Table 4 Transition matrix of ecological risks at different levels in Wulong District from 2010 to 2015

单位:hm<sup>2</sup>

2010 年	2015 年				
	低风险区 Low risk area	较低风险区 Lower risk area	中风险区 Medium risk area	较高风险区 Higher risk area	高风险区 High risk area
低风险区 Low risk area	0.00	1 040.00	0.00	0.00	0.00
较低风险区 Lower risk area	461.75	0.00	2 230.25	0.00	0.00
中风险区 Medium risk area	0.00	452.50	0.00	2 823.50	0.00
较高风险区 Higher risk area	0.00	0.00	207.25	0.00	4 360.75
高风险区 High risk area	0.00	0.00	0.00	369.25	0.00

表 5 2015—2020 年武隆区不同等级生态风险转换矩阵

Table 5 Transition matrix of ecological risks at different levels in Wulong District from 2015 to 2020

单位:hm<sup>2</sup>

2010 年	2020 年				
	低风险区 Low risk area	较低风险区 Lower risk area	中风险区 Medium risk area	较高风险区 Higher risk area	高风险区 High risk area
低风险区 Low risk area	0.00	4 183.75	0.00	0.00	0.00
较低风险区 Lower risk area	3 811.00	0.00	5 315.00	0.00	0.00
中风险区 Medium risk area	0.00	9 280.25	0.00	2 971.75	0.00
较高风险区 Higher risk area	0.00	0.00	15 614.75	0.00	407.25
高风险区 High risk area	0.00	0.00	0.00	20 789.75	0.00

由表 5 可知,2015—2020 年生态风险等级的转换类型与 2010—2015 年的一致,正向转换的面积为 49 495.75 hm<sup>2</sup>,占研究区总面积的 17.13%;逆向转换的面积为 12 877.75 hm<sup>2</sup>,占研究区总面积的 4.46%。正向转换的面积和比例远高于逆向转换,说明 2015—2020 年研究区整体景观生态风险程度大幅下降,生态环境明显改善。一是因为建设用地集聚利

用,景观破碎度和分离度有所下降;二是政府为了促进旅游业的发展而加大了生态环境保护力度,促进了高等级生态风险范围面积缩小。

由图 5 可知,2010—2015 和 2015—2020 年 2 个时段的不同等级生态风险转换类型均发生在相邻 2 个等级的边缘地带,后 5 年(图 5b)比前 5 年(图 5a)生态风险等级转换范围

更广。前 5 年的转换范围是 11 945. 25  $\text{hm}^2$ , 后 5 年的转换范围是 62 373. 50  $\text{hm}^2$ , 是前 5 年的 5. 22 倍。说明随着时间的推移, 人类活动的干扰强度加大。2010—2020 年(图 5c)高

等级向低等级风险转换的面积为 50 986. 50  $\text{hm}^2$ , 低等级向高等级风险转换的面积为 23 332. 25  $\text{hm}^2$ , 前者是后者的 2. 19 倍, 说明生态风险等级呈下降趋势。

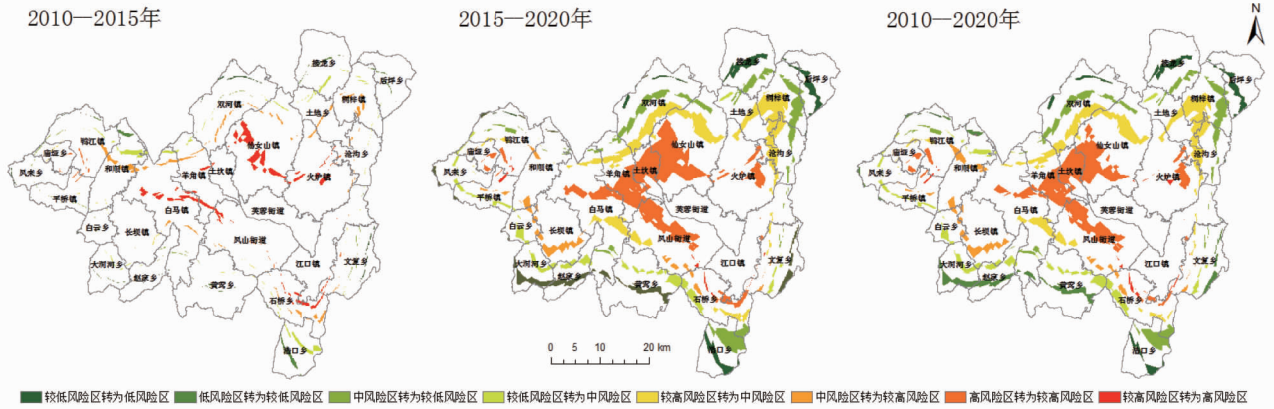


图 5 武隆区风险等级转换矩阵

Fig. 5 Transition matrix of ecological risk grades in Wulong District

### 3 结论与讨论

**3.1 结论** 该研究以风险小区为评价单元进行网格化定量研究, 运用 ArcGIS 10. 2 和 Fragstats 4. 3 软件, 通过构建景观生态风险模型测算和分析武隆区景观生态风险大小及时空演变特征, 主要结论如下:

(1) 景观格局指数时序特征: 2010—2020 年景观格局变化明显, 耕地面积先增后减, 景观优势度降低; 林地面积先减后增, 破碎度和分离度呈先升高后降低趋势; 建设用地面积先减后增, 景观优势度升高; 湿地和裸地景观分离度和损失度先降低后升高。

(2) 景观生态风险时空特征: 2010、2015 和 2020 年研究区都以中高风险等级为主, 分别占研究区总面积的 69. 39%、70. 01% 和 68. 63%; 低风险等级占比很小, 3 个年份都维持在 10% 左右; 空间分布上, 大致以乌江为轴线, 风险等级距离城区呈环状向外围逐级递减状态。

(3) 景观生态风险转换特征: 正向转换和逆向转换各有 4 种类型; 2010—2015、2015—2020 年低等级向高等级风险(逆向)转换的面积分别占总面积的 3. 62%、4. 46%, 高等级向低等级风险(正向)转换的面积占比分别为 0. 52%、17. 13%, 即研究区景观生态风险等级呈下降趋势。说明社会经济发展中人类活动的干扰以及有关生态文明建设的政策对于景观生态风险转移有重大贡献。

**3.2 讨论** 景观生态风险评价可为武陵山区生态景观格局优化及风险防范、自然生态环境保护与管理提供有力的依据。武陵山区应加强生态环境保护, 依托当地丰富的自然资源发展生态旅游, 打造武隆喀斯特文旅品牌, 在现有的生态保护旅游区的基础上, 形成特有的自然环境保护体系和区域连接链条, 建立和完善环境保护责任制, 全面整改生态环境保护督察反馈问题, 形成系统的生态保护体系, 提升生态系统服务功能和抗风险能力。

该研究构建的景观生态风险模型没有综合考虑武隆区当地的社会、经济和生态环境等其他因素, 只简单表征生态

问题可能发生的综合性概率; 该研究缺乏生态风险转移的驱动力分析, 没有探讨不同等级生态风险的应对和管理措施。

### 参考文献

- [1] 贾艳艳, 唐晓岚, 任宇杰. 长江流域安徽段生态系统服务价值与景观生态风险时空演变及其关联分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(3): 31-40.
- [2] LIU S L, CUI B S, DONG S K, et al. Evaluating the influence of road networks on landscape and regional ecological risk: A case study in Lancang River Valley of Southwest China[J]. Ecological engineering, 2008, 34(2): 91-99.
- [3] 曹祺文, 张曦文, 马洪坤, 等. 景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架: ESRISK[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 843-855.
- [4] 傅伯杰. 地理学综合研究的途径与方法: 格局与过程耦合[J]. 地理学报, 2014, 69(8): 1052-1059.
- [5] WU J S, ZHU Q L, QIAO N, et al. Ecological risk assessment of coal mine area based on "source-sink" landscape theory-A case study of Pingshuo mining area[J]. Journal of cleaner production, 2021, 295: 1-18.
- [6] 程晰钰. 基于“源-汇”景观格局理论的南四湖流域非点源污染控制研究[D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2020.
- [7] 杜春艳, 张丁轩, 付梅臣, 等. 基于景观格局的土地生态系统完整性空间分析研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(27): 13466-13469, 13483.
- [8] 王权, 唐芳, 李阳兵, 等. 岩溶地区景观格局演变及其生态安全的时空分异: 以贵州省东北部槽谷为例[J]. 生态学报, 2021, 41(18): 7273-7291.
- [9] 刘珍环, 张国杰, 付凤杰. 基于景观格局-服务的景观生态风险评价: 以广州市为例[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3295-3302.
- [10] 傅微, 吕一河, 傅伯杰, 等. 陕北黄土高原典型人类活动影响下景观生态风险评价[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(3): 290-299.
- [11] 李青圃, 张正栋, 万露文, 等. 基于景观生态风险评价的宁江流域景观格局优化[J]. 地理学报, 2019, 74(7): 1420-1437.
- [12] 潘彦虎, 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.
- [13] 陈丹, 蒋贵国, 张妍, 等. 基于生态服务价值的沱江流域土地景观生态风险时空分异研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(3): 223-230.
- [14] 李少玲, 谢苗苗, 李汉廷, 王回苗, 许萌, 周伟. 资源型城市景观生态风险的时空分异: 以乌海市为例[J]. 地学前沿, 2021, 28(4): 100-109.
- [15] XIE H L, WEN J M, CHEN Q R, et al. Evaluating the landscape ecological risk based on GIS: A case-study in the Poyang Lake region of China [J]. Land degradation & development, 2021, 32(9): 2762-2774.
- [16] ZHANG X M, DU H M, WANG Y, et al. Watershed landscape ecological risk assessment and landscape pattern optimization: Take Fujiang River Basin as an example[J]. Human and ecological risk assessment: An international journal, 2021, 27(9/10): 2254-2276.
- [17] 王莹, 张淑梅, 张煜, 等. 郑州市绿地景观破碎化对人为活动的时空响应[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(2): 231-239.

**3.4 加强品牌树立,特色文化建设** 枇杷寒冬开花、果实金黄,古人称之为“金丸”,寓意着黄金贵丸、财富终身,果熟正值每年5、6月高、中考期间,有“金榜题名中状元”的寓意。因此,可以参考苏州枇杷品牌的发展模式<sup>[30]</sup>,加强枇杷“状元”品牌树立,提升人气,招商引资,发挥品牌效应。此外,开发利用好枇杷文化资源,加强枇杷特色文化建设<sup>[31]</sup>,举办具有地方特色的枇杷节庆、观光采摘活动,拓展增加枇杷互动性、体验性的旅游项目,可以推动枇杷产业可持续发展。

#### 4 结语

以南通海门地区为代表的苏中地区的枇杷产业正在迅速发展,但并未将这一特色果品应有的地位和作用完全发挥。今后需在培育推广抗寒、大果、优质、矮化枇杷新品种,加快高效栽培管理关键技术推广,重点突破设施栽培技术,开发枇杷包装加工新技术,加强特色品牌树立与文化融合建设等方面深入研究,通过提升科技支撑、优化产业前端,深化产品开发、延长产业链条,拓展果业功能、推动产业升级,加强品牌树立和特色文化建设等方式,更好地促进枇杷产业融合升级,带动休闲农业发展及乡村产业振兴。

#### 参考文献

- [1] 林顺权,刘月学. 枇杷属植物图谱[M]. 北京:科学出版社,2016:25-27.
- [2] 林顺权. 栽培枇杷国际传播史考[J]. 果树学报,2020,37(2):272-277.
- [3] LIN S Q, SHARPE R H, JANICK J. Loquat; Botany and horticulture[J]. Horticultural reviews, 1999, 23: 179-231.
- [4] CAI C, XU C J, LI X, et al. Accumulation of lignin in relation to change in activities of lignification enzymes in loquat fruit flesh after harvest[J]. Postharvest biology & technology, 2006, 40(2): 163-169.
- [5] CAI C, CHEN K S, XU W P, et al. Effect of 1-MCP on postharvest quality of loquat fruit[J]. Postharvest biology & technology, 2006, 40(2): 155-162.
- [6] JABIR M S, HUSSIAN A A, SULAIMAN G M, et al. Green synthesis of silver nanoparticles from *Eriobotrya japonica* extract: A promising approach against cancer cells proliferation, inflammation, allergic disorders and phagocytosis induction[J]. Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology, 2021, 49(1): 48-60.
- [7] ZHANG S J, ZHANG H, SHI L J, et al. Structure features, selenylation modification, and improved anti-tumor activity of a polysaccharide from *Eriobotrya japonica*[J/OL]. Carbohydrate polymers, 2021, 273[2022-04-25]. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118496>.
- [8] 向阳,吕文亮. 基于网络药理学与分子对接法探讨薛氏五叶芦根汤代

- 茶饮防控新型冠状病毒肺炎的作用机理[J]. 湖北中医药大学学报, 2020, 22(3): 5-11.
- [9] 罗海蓉,贾俊丽,梅雪莹,等. 基于多源数据的江苏省休闲农业资源空间分布[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(4): 240-252.
  - [10] 吴斌,梁琦. 生态约束、大数据嵌入与绿色农业全产业链协同[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(5): 234-241.
  - [11] 洪林. 枇杷属植物种质资源及普通枇杷园艺学研究进展(综述)[J]. 亚热带植物科学, 2007, 36(4): 77-82.
  - [12] 农业农村部. 农业农村部关于加快农业全产业链培育发展的指导意见[J]. 中华人民共和国农业农村部公报, 2021(6): 16-19.
  - [13] 国务院. 国务院关于促进乡村产业振兴的指导意见[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2019(19): 21-26.
  - [14] 唐渝琳. 农耕文化与农业产业融合发展模式研究:以黄山七约农场为例[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(15): 20-22.
  - [15] 王晓为. 我国农业传统文化与后现代农业发展的相关思考[J]. 东北农业大学学报(社会科学版), 2012, 10(5): 15-17.
  - [16] 刘颖,徐伟,范洪臣,等. 水浴法及微波辅助法提取枇杷叶多酚类物质工艺的研究[J]. 中国食品添加剂, 2018(11): 131-139.
  - [17] 徐伟,李佳美,马智宇,等. 微波耦合漆酶法水提枇杷叶浸膏工艺的响应面优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 208-213, 240.
  - [18] 徐伟,马智宇,李佳美,等. 响应面法优化微波提取枇杷花酚类物质及其对酒精分解关键酶活性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 127-132, 139.
  - [19] 李佳美,徐伟,张雪,等. 基于 HPLC-MS/MS 对枇杷叶水提组分分析及萜类物质的结构鉴定[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 295-303.
  - [20] 谢子玉,薛琛,文祖会,等. 枇杷花多酚纳米颗粒的制备工艺及其特性研究[J]. 中国食品学报, 2022, 22(5): 211-218.
  - [21] 刘红云,简清梅,朱宇露,等. 枇杷果酒发酵工艺的优化[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(31): 45-47, 81.
  - [22] 范凯锋,李清斌,房玥,等. 气象灾害对宁波枇杷的影响及防御措施建议[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(8): 1818-1820.
  - [23] 姜燕敏,吴宝玉,朱玲蓉,等. 基于农田小气候的枇杷花果期低温冻害分析及预报[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(1): 89-94.
  - [24] 孙正烜,陈惠云,杨虎清,等. 纳米乳涂膜和1-甲基环丙烯处理对枇杷果实保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 257-262.
  - [25] 邵霜,王莉,凌晨,等. 不同纳米改性 LDPE 膜对枇杷保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(8): 1527-1534.
  - [26] 陈纪旺,叶永伟,葛雯. 枇杷果实的保鲜技术及现状分析[J]. 农业开发与装备, 2021(11): 215-216.
  - [27] 范晶晶,王朝丽,何娟,等. 塘栖枇杷气调保鲜技术试验[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(3): 476-478.
  - [28] 何超,王慧澄. 基于使用者需求的乡村庭院景观营造实践研究:以仁怀市枇杷村为例[J]. 绿色科技, 2021, 23(5): 56-61.
  - [29] 张莉敏. 观赏果树在城市景观设计中的应用:以南京地区为例[D]. 南京:南京林业大学, 2013.
  - [30] 贾文艺,姚婕. 苏州东山枇杷营销策略分析[J]. 中国市场, 2021(15): 130-131.
  - [31] 柳俊义. 农业文化视野下云霄枇杷产业提升策略研究[D]. 福州:福建农林大学, 2016.

(上接第 61 页)

- [18] 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.
- [19] GAINES K F, PORTER D E, DYER S A, et al. Using wildlife as receptor species: A landscape approach to ecological risk assessment[J]. Environmental management, 2004, 34(4): 528-545.
- [20] 任金铜,莫世江,陈群利,等. 贵州夹岩水利枢纽区域景观生态风险评价研究[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(4): 182-189.
- [21] 张传华,张凤太,王钟书,等. 生态敏感区村域尺度土地生态经济系统的耦合协调发展研究:以重庆市江津区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7): 1547-1558.
- [22] 李程程,南忠仁,王若凡,等. 基于景观结构和 3S 技术的干旱区绿洲生态风险分析:以高台县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(11): 31-35.
- [23] 徐维艺,阙瑶川,王国文,等. 基于价值-风险的阜平县生态分区研究[J]. 林业与生态科学, 2022, 37(1): 46-56.
- [24] 许凤娇. 基于土地利用变化的江苏沿海地区生态风险格局[D]. 曲阜:曲阜师范大学, 2018.
- [25] 肖笃宁,李秀珍. 当代景观生态学的进展和展望[J]. 地理科学, 1997, 17(4): 356-364.
- [26] 岳启发,赵筱青,李思楠,等. “一带一路”背景下博多河流域景观格局

- 变化及生态风险评价研究[J]. 世界地理研究, 2021, 30(4): 839-850.
- [27] 谢花林. 基于景观结构的土地利用生态风险空间特征分析:以江西兴国县为例[J]. 中国环境科学, 2011, 31(4): 688-695.
  - [28] 贾艳艳,唐晓岚,刘振威,等. 长江沿岸芜湖湖区段景观生态风险时空演变分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(11): 78-87.
  - [29] 张文静,孙小银,单瑞峰,等. 1975—2018 年南四湖流域景观生态风险时空变化及其驱动因素研究[J]. 生态科学, 2020, 39(3): 172-181.
  - [30] 徐丽丽. 盐城市道路网络对景观格局的影响和累积效应分析[D]. 南京:南京信息工程大学, 2015.
  - [31] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5020-5026.
  - [32] 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[J]. 干旱区研究, 2008, 25(6): 899-903.
  - [33] 许学工,林辉平,付在毅,等. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(1): 111-120.
  - [34] 高宾,李小王,李志刚,等. 基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3441-3450.
  - [35] 刘春艳,张科,刘吉平. 1976—2013 年三江平原景观生态风险变化及驱动力[J]. 生态学报, 2018, 38(11): 3729-3740.
  - [36] 黄木易,何翔. 近 20 年来巢湖流域景观生态风险评估与时空演化机制[J]. 湖泊科学, 2016, 28(4): 785-793.