

谢 刚,董艳艳,谢元贵,等. 重点开发区景观格局变化与土壤侵蚀研究——以贵州省龙里县为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(18):280–286.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.18.068

# 重点开发区景观格局变化与土壤侵蚀研究 ——以贵州省龙里县为例

谢 刚,董艳艳,谢元贵,金 桃,廖小锋,陈 远,肖玖军

(贵州科学院山地资源研究所,贵州贵阳 550001)

**摘要:**龙里县为贵州省重点开发区,受自然因素和人为因素影响,土地利用景观格局及土壤侵蚀发生了明显变化。以龙里县为研究区域,利用 2002 年、2009 年和 2015 年 3 期 Landsat 遥感影像数据为信息源,运用 GIS、RS 技术和景观生态学研究方法,利用通用土壤流失方程(USLE)分析了龙里县 2002—2015 年景观格局动态变化与土壤侵蚀。结果表明:(1)林地、草地和建设用地呈增长趋势,耕地和未利用地呈减少趋势,水域呈平衡状态保持相对不变;(2)斑块数量、斑块密度呈递增趋势,平均斑块呈减少趋势,形状指数、周长面积分维数呈先下降后增加的变化,蔓延度指数、聚集度指数、香浓多样性指数、香浓均匀度指数呈总体上升;(3)土壤侵蚀面积由 449.79 km<sup>2</sup> 减少为 405.22 km<sup>2</sup>,其中微度侵蚀和中度侵蚀呈上升趋势,轻度侵蚀呈下降趋势,强烈侵蚀、极强烈侵蚀和剧烈侵蚀呈先增加后减少趋势。

**关键词:**贵州省龙里县;景观格局;土壤侵蚀;通用土壤流失方程(USLE)

**中图分类号:** S157;S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2018)18–0280–06

景观格局与土壤侵蚀有着密切关系,合理的景观格局能控制土壤侵蚀,不合理的景观格局会加剧土壤侵蚀的发生。因此,土壤侵蚀的研究既要研究土壤理化性质及养分流失,又要研究与景观格局的关系<sup>[1]</sup>。

景观格局是指景观在空间上的排列规律,即大小、形状、属性不一的景观单元在空间上的组合与分布规律<sup>[2]</sup>,景观格局能够对景观的异质性进行直接反映<sup>[3–5]</sup>。土地利用景观格局变化与自然条件及人类的活动是紧密联系的<sup>[6–9]</sup>。通过分析土地景观格局的变化特征可以了解研究区域的土地景观状况和发展趋势,促进人类对土地的合理利用。土壤侵蚀是指土壤及其母质和地表组成物质在风力、重力、水力、冻融等外营力作用下,被破坏、剥蚀、搬运和沉积的过程<sup>[10]</sup>。土壤侵蚀的发生大部分是由于人类活动的影响,人类不合理的规划将造成景观格局的不合理,人类耕作方式的不合理将加剧土壤侵蚀的发生<sup>[11–12]</sup>。

近年来,由于龙里县特殊的地理位置,经济社会条件不断改善,人口数量迅速增加,城镇建设和经济开发正以前所未有的速度进行,经济的快速发展导致土地利用矛盾不断凸显,加之龙里县被贵州省主体功能区划分为重点开发区,因此及时对龙里县土地利用景观格局和土壤侵蚀进行研究,可掌握龙里县土地利用变化特征以及空间分布特点,为制定有效的土

地资源管理和土地利用规划提供数据支持,为当地的经济的发展提供有力的信息基础。本研究利用 2002 年、2009 年和 2015 年 3 期 Landsat 遥感影像数据为信息源,运用 GIS、RS 技术、数理统计方法和生态学理论知识,对龙里县 2002—2015 年的土地利用类型、景观格局变化及土壤侵蚀变化的特点进行解析,以此对龙里县今后土地利用规划、生态环境的保护和修复、土地的可持续利用提供可以参考的依据。

## 1 研究区概况

龙里县位于黔中腹地,地处 26°10′19″~26°49′33″N、106°45′18″~107°15′1″E 之间,土地总面积 1 508.48 km<sup>2</sup>。境内最高海拔 1 775 m,最低海拔 770 m,地貌类型为丘陵、低山、中山及河谷槽地,气候类型为亚热带季风湿润气候,温和舒适,日照充沛,冬无严寒,夏无酷暑,年平均气温 14.8℃,最冷月均温 4.6℃,最热月均温 23.6℃;年降水量 1 100 mm,年日照时数 1 160 h 左右,无霜期 280 d 以上;地表年径流量为 8.426 亿 m<sup>3</sup>,森林覆盖率为 55.29%。研究区位置如图 1 所示。

## 2 数据处理和研究方法

### 2.1 数据来源

本研究采用的遥感数据为从地理空间数据云平台下载的 2002 年(Landsat-5)、2009 年(Landsat-5)和 2015 年(Landsat-8)3 期 TM 影像(分辨率为 30 m)、20 m 分辨率的数字高程(DEM)数据,龙里县行政区划图、土壤类型图以及野外考察采集的各种信息和数据等。

### 2.2 数据处理

利用龙里县 1:5 万地形图作为参考图像,运用 ERDAS 9.2 对 TM 影像进行波段合成、图像拼接、几何精校正、图像增强、研究区裁剪等预处理;然后依据 TM 图像的色调、形态、纹理对应野外实地调查信息,建立龙里县景观类型解译标志,采

收稿日期:2017–12–29

基金项目:贵州科学院院长基金(编号:黔科院字[2016]05 号、黔科院字[2017]04 号);贵州省科技计划(编号:黔科合 SY 字[2013]3169、黔科合 SY 字[2009]3084);贵州科学院“土地资源可持续利用创新人才团队”项目;贵州省国土厅财政专项资金。

作者简介:谢 刚(1987—),男,贵州龙里人,硕士,助理研究员,工程师,主要从事林学、水土保持及土地资源研究。E-mail:564290987@qq.com。

通信作者:谢元贵,硕士,副研究员、高级工程师,主要从事林学、土地资源及水土保持研究。E-mail:yuangui\_xie@163.com。

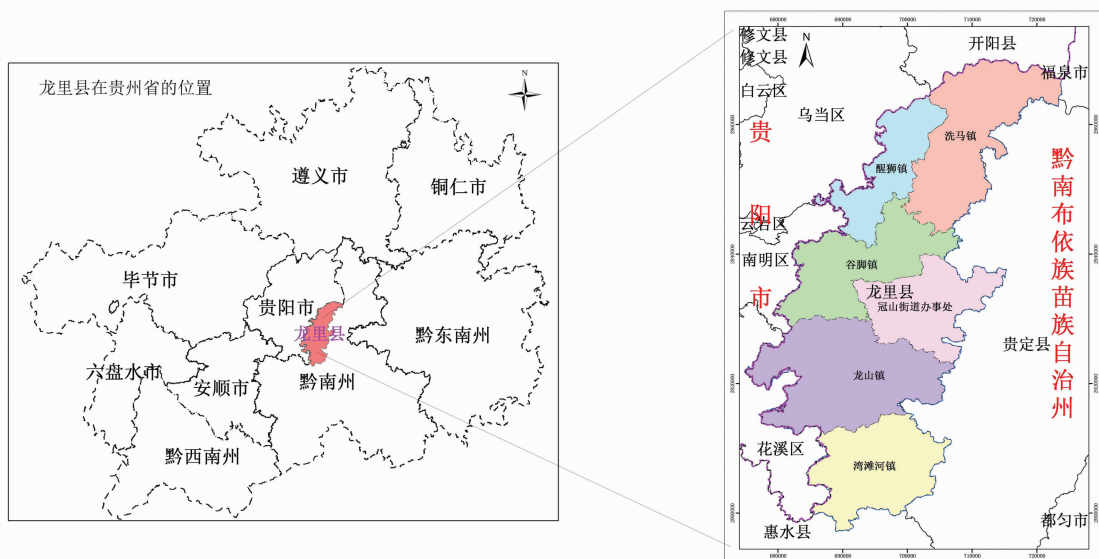


图1 龙里县地理位置

用最大似然法 (Maximum Likelihood) 进行监督分类,将研究区划分为林地、耕地、草地、建设用地、水域、未利用地共 6 种景观类型;利用野外实地采样,通过 kappa 系数对 3 期 TM 影像分类结果进行精度检验,总体解译精度均在 80% 以上,满足本研究的精度要求;最后利用 ARCGIS 10.2 将解译后的土地利用类型图像转换成  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  的 grid 栅格数据,利用 FRAGSTATS 4.2 软件进行景观格局指数计算。利用 ArcGIS 10.2 软件计算通用土壤流失方程 (USLE) 的各种侵蚀因子,获得各因子像元分布图,参照土壤侵蚀强度等级划分标准 (SL190—2007),得到研究区土壤侵蚀强度分布图;最后分析研究区景观动态变化与土壤侵蚀的关系,探讨利于研究区水土保持的合理景观结构布局。

### 2.3 研究方法

**2.3.1 景观格局指数选取** 景观格局指数常用于景观生态研究,它有效地反映了某一地区景观的整体变化情况,在目前研究中使用非常广泛<sup>[13-16]</sup>。为从不同景观类型和整体景观特征来反映龙里县的景观格局变化状态,本研究从景观和斑块类型 2 个水平上进行景观格局变化分析,通过形状特征、破碎化特征、异质性特征等内容选取景观格局指标。

(1) 景观水平上:斑块数 (NP)、斑块密度 (PD)、形状指数 (LSI)、平均斑块面积 (AREA\_MN)、周长面积分维数 (PAFRAC)、蔓延度指数 (CONTAG)、斑块聚集度指数 (COHESION)、香浓均匀度指数 (SHDI)、香浓多样性指数 (SHEI)。

(2) 斑块类型水平上:斑块面积 (CA)、斑块数 (NP)、平均斑块面积 (AREA\_MN)、形状指数 (LSI)、聚合度 (AI)。

**2.3.2 土壤侵蚀定量研究** 通用土壤流失方程表达式如下:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P. \quad (1)$$

式中:  $A$  为土壤侵蚀量,  $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$ ;  $R$  为降雨侵蚀力因子,  $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{年})$ ;  $K$  为土壤可蚀性因子,  $(\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h})/(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ ;  $LS$  为坡度坡长因子,统称地形因子 (无量纲);  $C$  为植被覆盖与管理因子 (无量纲);  $P$  为水土保持措施因子 (无量纲)

**2.3.2.1 降雨侵蚀力因子  $R$**  降雨侵蚀力是指由降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,是一项客观评价由降雨所引起土壤分离和搬运的动力指标<sup>[17]</sup>。经过大量文献的查阅和比较,结合收集到的降雨数据,本研究选用以月均降雨量和年均降雨量为基础的 Wischmeier 公式计算降雨侵蚀力因子 ( $R$ ),其表达式如下:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{[(1.5 \times \lg \frac{p_i}{p} - 0.8188)]}. \quad (2)$$

式中:  $R$  为降雨侵蚀力因子,  $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{年})$ ;  $p_i$  为月平均降雨量,  $\text{mm}$ ;  $p$  为年平均降雨量,  $\text{mm}$ 。

**2.3.2.2 土壤可蚀性因子  $K$**  土壤可蚀性因子  $K$  值计算公式如下:

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0256 Sa \left( 1 - \frac{Si}{100} \right) \right] \right\} \left( \frac{Si}{CI + Si} \right)^{0.3} \left[ 1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.92C)} \right] \left[ 1 - \frac{0.7Sn}{Sn + \exp(-5.51 + 22.9Sn)} \right]. \quad (3)$$

式中:  $Sn = 1 - Sa/100$ ;  $Sa$ 、 $Si$ 、 $CI$ 、 $C$  分别代表沙粒含量、粉粒含量、黏粒含量、有机碳含量, %<sup>[18]</sup>。

**2.3.2.3 坡长坡度因子  $LS$**  经过大量的文献查阅与筛选,本研究采用 Wischmeier 提出的公式结合龙里县的 DEM 数据提取地形因子  $LS$ 。

坡度因子计算式:

$$\begin{aligned} S &= 10.8 \times \sin\theta + 0.03 (\theta < 5^\circ); \\ S &= 16.8 \times \sin\theta - 0.50 (5^\circ \leq \theta < 10^\circ); \\ S &= 21.9 \times \sin\theta - 0.96 (\theta \geq 10^\circ). \end{aligned} \quad (4)$$

式中:  $S$  为坡地因子;  $\theta$  为 DEM 提取的坡度。

坡长因子计算式:

$$L = (\gamma/22.13)^m. \quad (5)$$

式中:  $L$  为坡长因子;  $\gamma$  为水平投影坡长,  $\text{m}$ ;  $m$  为坡长指数,取值的方法为当坡度  $\theta \leq 1^\circ$  时,  $m = 0.2$ ; 当坡度  $1^\circ < \theta \leq 3^\circ$  时,  $m = 0.3$ ; 当坡度  $3^\circ < \theta \leq 5^\circ$  时,  $m = 0.4$ ; 当坡度  $\theta > 5^\circ$  时,  $m = 0.5$ 。  $\theta$  是利用 DEM 结合 Arcgis 提取的坡度。

上述 2 个公式的坡度可以通过 DEM 结合 Arcgis 直接提

取,提取的坡度运用上述坡度因子公式,可得到 S 因子栅格图。坡长的提取相对较为复杂,需要对 DEM 进行水文分析,通过填洼生成无洼地的 DEM,再对其作水流流向分析,得到水流流向图,计算其汇流长度,最后通过式(4)获得 L 因子栅格图。运用 Arcgis 的栅格计算器,将得到 S 因子栅格图和 L 因子栅格图相乘,得到地形因子 LS 栅格图。

2.3.2.4 植被覆盖与管理因子 C 植被覆盖与管理因子是指在相同的降雨、地形、土壤可蚀性相同的情况下,某一植被覆盖下的土壤侵蚀量与连续荒芜的条件下土壤侵蚀量的比值。在植被覆盖良好的情况下,其值接近于 0,在裸露的土地上,其值接近于 1,所以 C 的范围在 0~1 之间。本研究 C 值的确定由土地利用类型来决定,其值的大小参考贵州地区的研究成果,根据曾凌云等对红枫湖流域土壤侵蚀研究中的 C 因子值<sup>[19]</sup>,余丹等对红枫湖流域土地利用景观格局研究中的 C 因子值<sup>[20]</sup>。本研究 C 因子值确定如表 1 所示。

表 1 各土地利用类型对应的 C 值

土地利用类型	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地
C 值	0.06	0.6	0	0.2	1	0.9

2.3.2.5 水土保持措施因子 P 水土保持措施因子是指采取水土保持措施的土壤流失量与顺坡耕作时的土壤流失量的比值,当水土保持措施比较完善时,水土保持措施因子的值接近于 0,当没有采取任何水土保持措施时,水土保持措施因子的值接近于 1,其值范围为 0~1 之间。本研究对 P 因子的确定是通过各期土地利用类型图来实现的,其值的大小参考前人的研究成果:李嘉峻等在 GIS 支持下的土壤侵蚀动态变化研究中的 P 因子值<sup>[17]</sup>,许月卿等对贵州省猫跳河流域土壤侵蚀研究中的 P 因子值<sup>[21]</sup>。本研究 P 因子值的确定如表 2 所示。

表 2 各土地利用类型对应的 P 值

土地利用类型	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地
P 值	1	1	0	0	1	0.4

3 结果与分析

3.1 景观要素变化

根据 2002 年、2009 年、2015 年 3 个不同时期地类统计结果(表 3)得出,研究区优势景观类型是林地及耕地,两者面积占总景观面积的 79%。从 2002—2015 年,林地、草地、建设用地面积呈现出持续增长的态势,耕地和未利用地面积呈减少趋势,水体面积保持稳定(图 2、图 3、图 4)。主要原因是龙里县从 2000 年开始启动国家退耕还林政策,农民改变了以前的生产方式,使耕地渐变为林地,同时又受到进城务工等浪潮的影响,农村的劳动力不断外流,许多肥力不足、交通不便的土地便开始荒废,这是导致龙里县林地面积增加、耕地面积不断减少的主要原因。并且随着社会的发展,城市的不断扩大,许多耕地被用于城市建设,开发建设项目不断增加,导致建设用地不断增加,耕地减少。研究区景观格局的变化得出土壤侵蚀也在发生变化。

3.2 景观要素时空变化

土地利用动态度既能反映土地利用变化速率的区域差异,又能反映区域土地利用类型变化的剧烈程度<sup>[22]</sup>。

表 3 2002—2015 年龙里县景观要素类型面积变化

景观类型	2002 年		2009 年		2015 年	
	面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)
林地	641.89	42.20	713.97	46.94	725.76	47.72
耕地	559.08	36.79	479.93	31.55	459.10	30.18
草地	266.69	17.53	271.62	17.86	279.8	18.40
建设用地	49.75	3.27	52.46	3.45	53.76	3.54
水域	1.72	0.11	1.72	0.11	1.68	0.11
未利用地	1.87	0.12	1.3	0.09	0.90	0.06

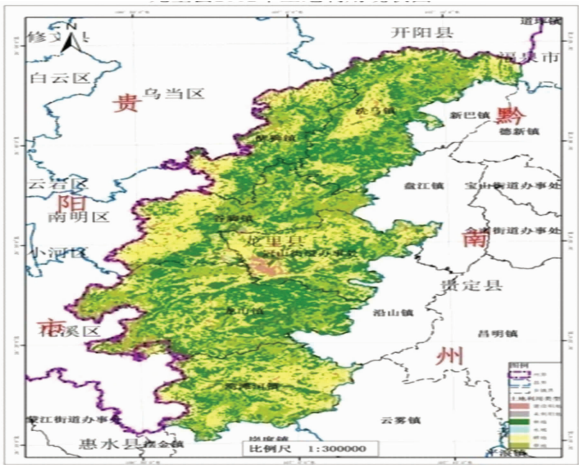


图2 2002 年土地利用类型

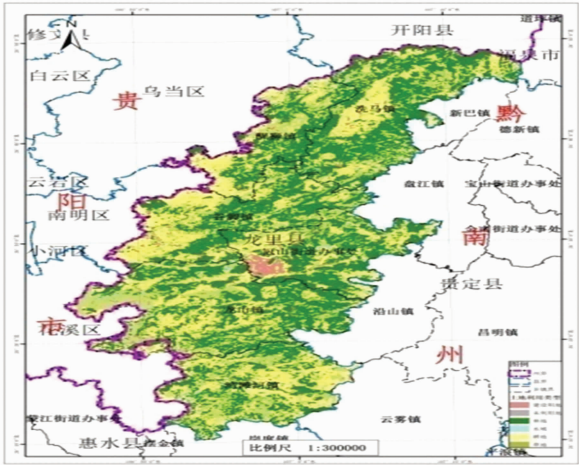


图3 2009 年土地利用类型

由表 4 可知,2002—2009 年,林地和耕地的年平均动态度较大,分别为 10.30%、-11.31%,主要原因是由于国家退耕还林政策的实施和农村劳动力减少,使大量的耕地转变为林地;其他几种土地利用景观虽发生变化,但变化不明显。2009—2015 年,土地利用景观类型的动态度均不大,说明这期间龙里县的土地利用结构相对稳定。

3.3 景观格局动态变化分析

3.3.1 类型水平上景观格局动态分析 斑块数和斑块平均面积是衡量景观破碎化的主要指标。从图 5、图 6 可以看出,2002—2015 年建设用地斑块数由 497 个先增长到 589 个,后下降到 503 个,平均斑块面积却逐年增长。说明建设用地在向外扩张的同时不断产生新的斑块且规模在不断增大。林地



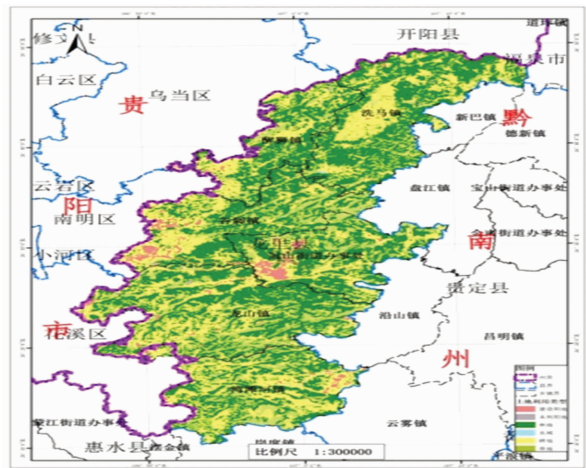


图4 2015 年土地利用类型

表 4 2002—2015 年龙里县景观要素类型变化动态度

景观类型	变化量 (km <sup>2</sup> )		年平均动态度 (%)	
	2002—2009	2009—2015	2002—2009	2009—2015
林地	72.07	11.80	10.30	1.97
耕地	-79.15	-20.83	-11.31	-3.47
草地	4.93	8.18	0.70	1.36
建设用地	2.71	1.30	0.39	0.22
水域	0.00	-0.04	0.00	-0.01
未利用地	-0.57	-0.40	-0.08	-0.07

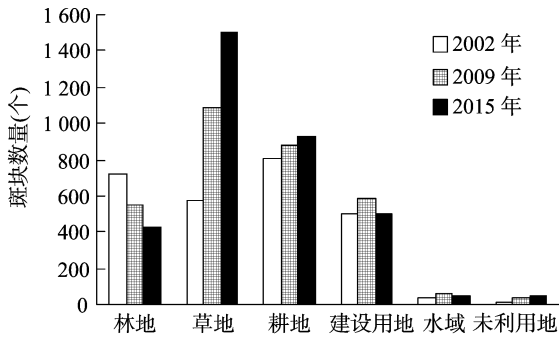


图5 各景观类型斑块数量变化特征

表 5 2002—2015 年龙里县景观格局动态变化

景观水平指数	2002 年	2009 年	2015 年	变化率 (%)		
				2002—2009	2009—2015	2002—2015
斑块数(个)	2 654.00	3 190.00	3 463.00	20.20	8.56	30.48
斑块密度(个/km <sup>2</sup> )	1.75	2.03	2.35	16.16	15.64	34.33
景观形状指数	40.58	39.15	45.70	-3.53	16.74	12.62
平均斑块面积(km <sup>2</sup> )	57.22	47.68	43.92	-16.67	-7.88	-23.24
周长面积分维数	1.60	1.56	1.62	-2.43	3.43	0.92
蔓延度指数	40.61	40.81	38.46	0.51	-5.77	-5.29
聚集度指数	96.69	96.84	96.72	0.15	-0.12	0.02
香浓均匀度指数	1.164 4	1.157 9	1.169 8	-0.56	1.03	0.46
香浓多样性指数	0.649 8	0.646 2	0.652 9	-0.55	1.04	0.48

从 3 期土壤侵蚀数据对比看出,从微度侵蚀到剧烈侵蚀,随着侵蚀强度的加强,侵蚀面积在逐渐减少,在侵蚀中所占的比例也越来越少。总的侵蚀面积(微度侵蚀除外)由 2002 年的 44 978.76 hm<sup>2</sup> 减少为 2015 年的 40 522.23 hm<sup>2</sup>,而微度侵蚀与中度侵蚀面积却处于增加趋势,轻度侵蚀面积一直在减

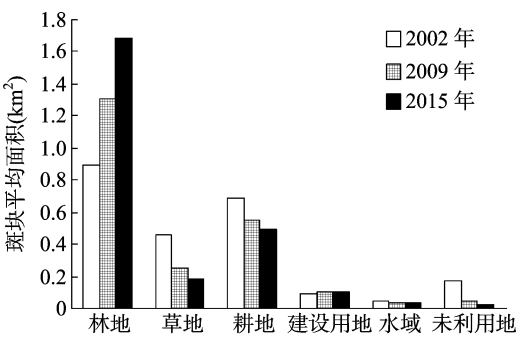


图6 各景观类型斑块平均面积变化

斑块数由 720 个持续下降到 431 个,平均斑块面积由 0.89 km<sup>2</sup> 增长到 1.68 km<sup>2</sup>,而耕地斑块数从 807 个增加到 923 个,平均斑块面积从 0.69 km<sup>2</sup> 减少到 0.50 km<sup>2</sup>。这说明耕地和林地之间转化时,林地和耕地原有斑块被分割,破碎度增大,随着国家“退耕还林”政策的实施,林地斑块破碎化得到有效控制,但耕地的破碎化加剧。

3.3.2 景观水平上景观格局动态分析 由表 5 可知,2002—2015 年间,研究区斑块数、斑块密度持续增加,斑块数由 2 654 个增加到 3 463 个,斑块密度由 1.75 个/km<sup>2</sup> 增加到 2.35 个/km<sup>2</sup>;平均斑块面积持续下降,由 57.22 km<sup>2</sup> 下降到 43.92 km<sup>2</sup>,整体景观破碎化程度越来越严重。景观形状指数先减小后增大,从 40.58 减小为 39.15 再增至 45.70,景观形状变得复杂。斑块的周长面积分维数由 1.60 增加到 1.62,聚集度指数由 96.69 增加到 96.72,香浓均匀度指数由 1.164 4 增加到 1.169 8,香浓多样性指数由 0.649 8 增加到 0.652 9,这些指标均反映了研究区景观多样性在逐渐增加,异质性不断增强,不同景观类型的斑块趋于均匀分布,空间分布趋于分散。

3.4 土壤侵蚀分析

3.4.1 土壤侵蚀面积分析 根据通用土壤流失方程,参照侵蚀强度分级指标将各种侵蚀因子在 ArcGIS 软件中叠加获得土壤侵蚀强度图(图 7、图 8、图 9),最终获得 3 期土壤侵蚀数据(表 6)。

少,强烈侵蚀、极强烈侵蚀及剧烈侵蚀面积均先增加再减少。分析原因主要是退耕还林、各部门植树造林项目启动及城市建设使容易产生土壤侵蚀的林地、草地、建设用地面积增加,而容易造成土壤侵蚀的耕地减少,最终导致侵蚀面积总体减少。

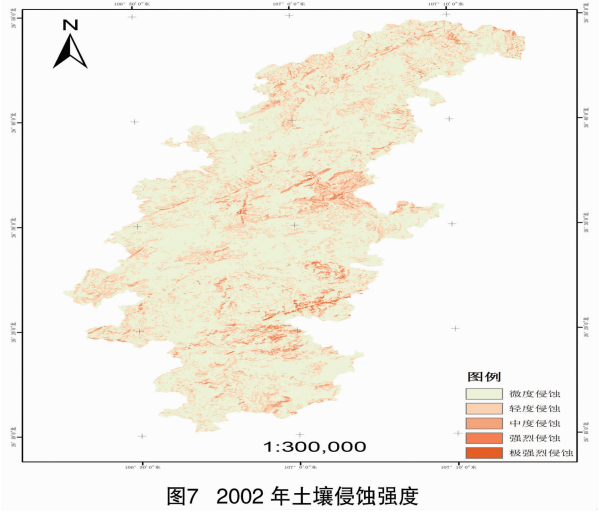


图7 2002 年土壤侵蚀强度

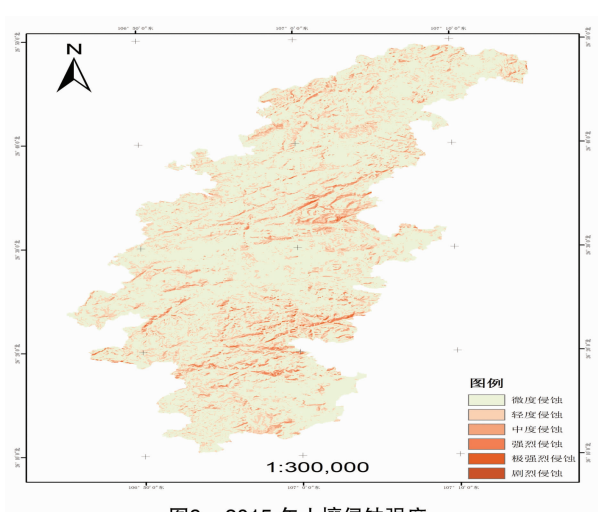


图9 2015 年土壤侵蚀强度

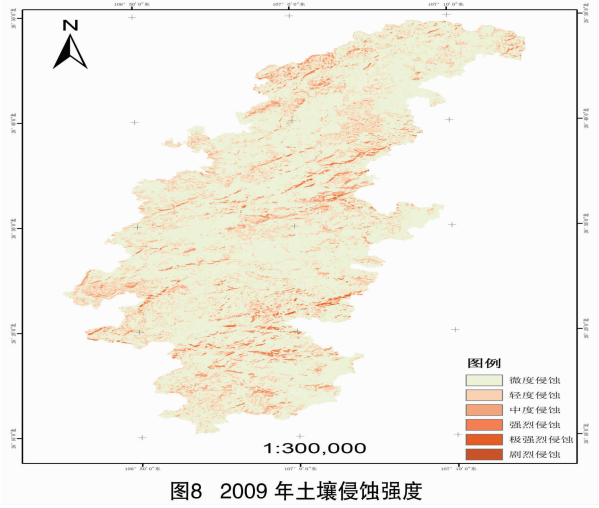


图8 2009 年土壤侵蚀强度

横向看,2002—2009 年微度侵蚀、强烈侵蚀、极强烈侵蚀转为其他侵蚀面积分别为 15 933.24、548.01、54.9  $\text{hm}^2$ ,都是转为轻度侵蚀的面积最多;轻度侵蚀、中度侵蚀转化为其他侵蚀面积分别为 19 650.15  $\text{hm}^2$ 、4 098.33  $\text{hm}^2$ ,均转为微度侵蚀的面积最大;转化为剧烈侵蚀面积为 0.63  $\text{hm}^2$ ,以轻度侵蚀与极强烈侵蚀转出的面积最多。纵向看,2009 年的微度侵蚀主要由 2002 年的轻度侵蚀和中度侵蚀转化而来,面积分别为 19 235.79  $\text{hm}^2$ ;2009 年轻度侵蚀主要由 2002 年的微度侵蚀、中度侵蚀和强烈侵蚀转化而来,面积为 14 219.91  $\text{hm}^2$ ;2009 年的强烈侵蚀主要由 2002 年的微度侵蚀、轻度侵蚀和中度侵蚀转化而来,面积为 1 358.73  $\text{hm}^2$ ;剧烈侵蚀主要由轻度侵蚀、强烈侵蚀和极强烈侵蚀转化而来。对角线方向看,在对角线以上的土壤侵蚀面积为向土壤侵蚀强度加强的方向转化,侵蚀强度加强面积为 19 889.64  $\text{hm}^2$ ;位于对角线以下的土壤侵蚀,其转化强度为由强变弱,面积为 20 394.99  $\text{hm}^2$ 。2002—2009 年各土壤侵蚀强度的侵蚀面积均发生变化,面积转移最大的是微度侵蚀,其中微度侵蚀、中度侵蚀、强烈侵蚀、极强烈侵蚀和剧烈侵蚀面积增多,轻度侵蚀面积减少。

3.4.2 土壤侵蚀强度面积转移矩阵分析 土壤侵蚀强度分级只能粗略地反映土壤侵蚀的变化,为了更好地反映土壤侵蚀强度在不同侵蚀级别面积上的变化规律和动态变化,运用 Arcgis 10.2 统计不同时期的土壤侵蚀面积转移矩阵表。由表 7

表 6 2002—2015 年龙里县土壤侵蚀数据

侵蚀类型	2002 年		2009 年		2015 年	
	面积( $\text{hm}^2$ )	百分比(%)	面积( $\text{hm}^2$ )	百分比(%)	面积( $\text{hm}^2$ )	百分比(%)
微度侵蚀	105 877.17	70.18	109 222.10	72.40	110 333.70	73.14
轻度侵蚀	38 217.06	25.33	32 833.44	21.76	31 832.37	21.10
中度侵蚀	5 828.76	3.86	6 860.43	4.55	7 068.96	4.69
强烈侵蚀	8 32.5	0.55	1 648.71	1.09	1 437.39	0.95
极强烈侵蚀	100.44	0.07	290.61	0.19	183.42	0.12
剧烈侵蚀	0.00	0.00	0.63	0.00	0.09	0.00

由表 8 横向看,2009—2015 年微度侵蚀主要转为轻度侵蚀与中度侵蚀;轻度侵蚀主要向微度侵蚀、中度侵蚀和强烈侵蚀转换;中度侵蚀主要向微度侵蚀和轻度侵蚀转化;强烈侵蚀主要向中度侵蚀转化,其次向微度侵蚀和轻度侵蚀转化;极强烈侵蚀主要是向强烈侵蚀和轻度侵蚀转化;剧烈侵蚀主要是向极强烈侵蚀转化。纵向看,2015 年的微度侵蚀主要由轻度侵蚀和中度侵蚀转化而来,转进面积为 15 859.17  $\text{hm}^2$ ,占总转入微度侵蚀面积的 99.01%;轻度侵蚀主要由微度侵蚀和

中度侵蚀转化而来,转进面积为 14 112.09  $\text{hm}^2$ ,占总转入轻度面积的 98.35%;中度侵蚀主要由微度侵蚀转化而来,强烈侵蚀和极强烈侵蚀主要由轻度侵蚀转化而来;剧烈侵蚀主要由强烈侵蚀转化而来。对角线方向看,位于对角线之上的土壤侵蚀为增强,增强面积为 16 243.74  $\text{hm}^2$ ;位于对角线以下的土壤侵蚀为减弱,减弱面积为 19 024.02  $\text{hm}^2$ 。2009—2015 年各种土壤侵蚀强度的土壤侵蚀面积都在变化,轻度侵蚀转化面积最大,其中微度侵蚀和中度侵蚀面积增加,其余侵蚀面

表 7 2002—2009 年土壤侵蚀强度面积转移矩阵

hm<sup>2</sup>

2002 年侵蚀强度	2009 年						2002 年合计
	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强烈侵蚀	极强烈侵蚀	剧烈侵蚀	
微度侵蚀	89 943.93	13 195.26	2 396.79	331.83	9.36	0.00	105 877.17
轻度侵蚀	16 566.21	18 566.91	2 693.16	290.07	100.44	0.27	38 217.06
中度侵蚀	2 669.58	644.58	1 730.43	736.83	47.34	0.00	5 828.76
强烈侵蚀	40.05	380.07	39.87	284.49	87.93	0.09	832.50
极强烈侵蚀	2.34	46.62	0.18	5.49	45.54	0.27	100.44
2009 年合计	109 222.11	32 833.44	6 860.43	1 648.71	290.61	0.63	150 855.93

表 8 2009—2015 年土壤侵蚀强度面积转移矩阵

hm<sup>2</sup>

2009 年侵蚀强度	2015 年						2009 年合计
	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强烈侵蚀	极强烈侵蚀	剧烈侵蚀	
微度侵蚀	94 245.65	12 123.18	2736.45	113.40	3.42	0	109 222.10
轻度侵蚀	14 197.05	17 484.21	642.33	437.22	72.63	0	32 833.44
中度侵蚀	1 729.17	1 988.91	3 037.68	102.42	2.25	0	6 860.43
强烈侵蚀	156.96	183.60	642.33	655.38	10.35	0.09	1 648.71
极强烈侵蚀	4.86	52.29	10.17	128.97	94.32	0	290.61
剧烈侵蚀	0	0.18	0	0	0.45	0	0.63
2015 年合计	110 333.69	31 832.37	7 068.96	1 437.39	183.42	0.09	150 855.93

积减少。

3.5 景观格局变化与土壤侵蚀的关系

根据研究区的景观格局和土壤侵蚀变化分析可知,景观格局变化与土壤侵蚀强度有着密切关系。景观格局的规划合理能有效控制土壤侵蚀,景观格局的不合理将加剧土壤侵蚀。由于国家及当地政府合理规划,大力发展城市建设及国家退耕还林政策的实施,研究区的景观格局发生变化,斑块破碎度降低,水土流失强度减弱。

4 结论

由于国家“退耕还林”政策的实施及社会经济高速发展,龙里县土地利用景观要素及土壤侵蚀发生了明显变化,主要原因是人为干扰不断加剧。2002—2015 年,建设用地、林地、草地面积呈现出逐年增长的趋势,耕地面积先增加后减少,耕地和未利用地面积呈减少趋势,水体面积相对比较稳定;2002—2009 年,林地和耕地的年平均动态度较大,主要原因是由于国家退耕还林政策的实施和农村劳动力减少,使大量的耕地转变为林地;2009—2015 年,土地利用景观类型的动态度均不大,说明这期间龙里县的土地利用结构相对稳定。

总体的土地利用是发生变化的,土地开发强度不断增强。从景观类型的转化方向来看,主要表现为耕地和林地之间相互转换。龙里县景观结构趋于多样化、均匀化、破碎化,空间分布比较分散,景观异质性不断增强,斑块密度增加,平均斑块面积减少,聚集度、香浓均匀度指数、香浓多样性指数总体上升。

2002—2015 年,土壤侵蚀面积由 44 978.76 hm<sup>2</sup> 减少为 40 522.23 hm<sup>2</sup>,微度侵蚀与中度侵蚀一直处于增长状态,增长面积分别为 4 456.53 hm<sup>2</sup> 和 1 240.20 hm<sup>2</sup>,轻度侵蚀一直在减少,减少面积为 6 384.69 hm<sup>2</sup>,强烈侵蚀、极强烈侵蚀及剧烈侵蚀均先增加后减少。

参考文献:

[1]张建香,张 勃,张 华,等. 黄土高原的景观格局变化与水土流

失研究——以黄土高原马莲河流域为例[J]. 自然资源学报, 2011,26(9):1513—1525.

[2]陈 颢,林毅伟,朱志鹏,等. 基于 RS 和 GIS 的莆田市土地利用景观格局变化分析[J]. 西北林学院学报,2017,32(1):279—286.

[3]张利利,余济云,李 锐,等. 1998—2010 年五指山市土地利用景观格局变化分析[J]. 西北林学院学报,2016,31(1):221—225.

[4]韩 蓉,唐湘玲. 玛纳斯河流域近 14 年多尺度粒度变化对土地利用景观格局的影响[J]. 水土保持研究,2017,24(2):194—201.

[5]孙风云,刘 森,胡远满,等. 基于多种方法的景观格局动态变化综合分析——以辽宁省铁岭市为例[J]. 生态学杂志,2013,32(8):2163—2171.

[6]张 瑜,王天巍,蔡崇法,等. 干旱区耕地景观格局碎化特征及社会经济驱动因素分析[J]. 水土保持研究,2016,23(4):179—184.

[7]刘菁华,李伟峰,周伟奇,等. 京津冀城市群景观格局变化机制与预测研究[J]. 生态学报,2017,37(16):5324—5333.

[8]林 宁,关学彬,麦全法. 三亚市 10 年间景观格局变化分析[J]. 农学学报,2017,7(2):68—73.

[9]周利军,张雪萍. 扎龙国家级自然保护区景观格局变化研究[J]. 湿地科学,2010,8(1):74—78.

[10]龚 伟,颜晓元,蔡祖聪,等. 长期施肥对华北小麦—玉米轮作土壤物理性质和抗蚀性影响研究[J]. 土壤学报,2009,46(3):520—525.

[11]李 冰,唐 亚. 金沙江下游地区人类活动对土壤侵蚀的影响[J]. 山地学报,2012,30(3):299—307.

[12]蔡卓杰,卢 远,谢坤坚. 广西人类活动对土壤侵蚀的影响[J]. 中国水土保持,2017(2):51—53.

[13]刘 江,崔胜辉,邱全毅,等. 滨海半城市化地区景观格局演变——以厦门市集美区为例[J]. 应用生态学报,2010,21(4):856—862.

[14]赵福强,代力民,于大炮,等. 长白山露水河林业局森林景观格局动态[J]. 应用生态学报,2010,21(5):1180—1184.

[15]张忠辉,杨雨春,谢 朋,等. 松原市近 20 年土地利用景观格局动态变化[J]. 中国农学通报,2014,30(2):222—226.

李 政,何 伟,吴冬林,等. 四川省耕地生态安全的时空格局及生态阻力分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(18):286-292.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.18.069

# 四川省耕地生态安全的时空格局及生态阻力分析

李 政,何 伟,吴冬林,刘晋希

(四川师范大学西南土地资源评价与监测教育部重点实验室/四川师范大学地理与资源科学学院,四川成都 610068)

**摘要:**针对四川省耕地生态安全状况,以四川省 21 个市(州)为研究对象,构建基于压力-状态-响应(pressure-state-response,简称 PSR)模型的耕地生态安全评价指标体系,综合运用地理信息系统(geographic information system,简称 GIS)空间分析法、综合指数法、耕地生态安全动态指数模型对 2004—2014 年四川省耕地生态安全时空格局和阻力值进行分析。结果表明,从时间上看,2004—2014 年期间,四川省耕地生态安全压力指数先上升后下降,响应指数呈连续上升趋势,状态指数与综合指数呈“V”字形变化趋势,综合指数安全等级由一般安全级变为比较安全级。从空间上看,四川省耕地生态安全空间分布格局由环状向片状变化,一般安全级大范围向四川省东部地区延伸,省域内耕地生态安全综合指数值具有较强的空间相关性,空间集聚格局明显。生态阻力方面,单位耕地面积化肥负荷、旱地占比、有效灌溉面积比、污水排放量、人均粮食占有量等成为阻碍耕地生态安全状况改善的主要阻力因子。

**关键词:**耕地生态安全;PSR 模型;GIS 空间分析法;综合指数法;时空格局;生态阻力;四川省

**中图分类号:**F323.211 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)18-0286-07

耕地资源属于宝贵的自然资源,是人类的生存之本,具有生产、环保、空间承载等功能,经人类长期的经营与开发,耕地系统逐渐演变成成为具有高度耦合性的社会-经济-生态复合系统<sup>[1]</sup>。21 世纪以来,伴随着工农业现代化以及城市化进程的加快,耕地利用等生态问题逐渐凸显。一方面建设用地快速扩张导致耕地稀缺性增强;另一方面为追求粮食高产而大量施用化肥和农药导致土壤污染严重,这些都对我国耕地资源的保护与粮食安全的保障提出了巨大的挑战,引起政府部门与学者的广泛关注<sup>[2-3]</sup>。因此,开展耕地生态安全评价研究,认识当前耕地生态安全状况,是保障区域经济社会可持续发展、协调人地关系的必要前提。

国外学者在耕地生态安全评价方面,成果颇丰,其中与可持续利用相结合的研究占绝大部分。Rasul 等将生态与社会经济相结合,分析了孟加拉国耕地的可持续利用<sup>[4]</sup>;Beesley 等将耕地可持续利用与生态安全相结合进行了系统的研

究<sup>[5]</sup>。我国对耕地的生态安全研究也不乏亮点,郑华伟等在进行四川省耕地生态安全诊断时,将压力-状态-响应(pressure-state-response,简称 PSR)模型与集对分析相结合,从整体与局部剖析耕地生态安全的内在关系<sup>[6]</sup>。张锐等在评价我国耕地生态安全状况时注重方法创新,将 PSR 模型与物元分析法相结合<sup>[7]</sup>。总体来看,耕地生态安全评价目前还处于初级阶段,定性分析较多,定量分析较少;理论支撑不够;指标多集中于资源、环境状况,而人类活动、社会经济因素往往被忽视。本研究将四川省 21 个市(州)作为研究对象,构建基于 PSR 模型的耕地生态评价指标体系,运用耕地生态安全动态指数模型、综合指数法、ArcGIS 10.2 软件平台地理信息系统(geographic information system 或,简称 GIS)空间分析模块对 2004—2014 年四川省耕地生态安全进行时间与空间格局的分析,并运用生态阻力模型对影响四川省以及各地区的阻力因子进行分析。旨在响应国家“藏粮于地、藏粮于技”的口号,为四川省耕地资源的合理利用与可持续发展以及生态安全提供参考和理论依据。

## 1 研究地区概况、技术路线、数据来源

### 1.1 研究区概况

四川省地处西南腹地,位于 97°21′~108°31′E,26°03′~34°19′N,东临重庆市,西达西藏自治区,北接陕西、甘肃、青海

收稿日期:2017-04-08

基金项目:四川省哲学社会科学规划项目(编号:SC16B066)。

作者简介:李 政(1992—),男,四川广元人,硕士研究生,研究方向为土地利用管理与评价。E-mail:845774791@qq.com。

通信作者:何 伟,硕士,副教授,研究方向为土地资源利用及评价。E-mail:cdwhe@163.com。

[16]贾静涛,杨 华,曾 晖,等. 山地城市土地利用景观格局动态变化分析——以重庆市主城区为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2013,30(4):35-40,171.

[17]李嘉峻,许有鹏,桑银江,等. GIS 支持下的土壤侵蚀动态变化研究:浙江一例[J]. 南京大学学报(自然科学版),2005,41(3):297-303.

[18]门明新,赵同科,彭正萍,等. 基于土壤粒径分布模型的河北省土壤可蚀性研究[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1647-1653.

[19]曾凌云,汪美华,李春梅. 基于 RUSLE 的贵州省红枫湖流域土

壤侵蚀时空变化特征[J]. 水文地质工程地质,2011,38(2):113-118.

[20]余 丹,饶 静,王震洪. 基于 GIS 的红枫湖流域的景观格局分析[J]. 农业与技术,2012,32(1):58-59.

[21]许月卿,邵晓梅. 基于 GIS 和 RUSLE 的土壤侵蚀量计算——以贵州省猫跳河流域为例[J]. 北京林业大学学报,2006,28(4):67-71.

[22]朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报,2003,58(5):643-650.