

重点生态功能区水土流失敏感性评价与分布研究 ——以贵州省雷山县为例

孙小涛^{1,2}, 周忠发^{1,2}, 陈全^{1,3}, 陈继军⁴, 张珊珊^{1,2}

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵阳 550001;
3. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001; 4. 贵州省雷公山国家级自然保护区管理局, 贵州 雷山 557100)

摘要: 为了定量分析重点生态功能区雷山县水土流失敏感性现状, 揭示其空间分布特征, 识别出水土流失敏感性关键地域, 也为县域水土流失综合防治和生态环境治理提供理论依据, 研究选取 2010 年 10 月覆盖雷山县全域的 ALOS 遥感影像和 1:50 000 地形图等为数据源, 通过地理空间信息技术(RS 和 GIS 技术)结合使用, 运用 3D Analyst 栅格计算功能, 提取雷山县 DEM、坡度、坡向和土地利用等主要因子, 运用 ENVI 软件, 结合归一化植被指数模型, 获取植被覆盖度, 运用 ArcMap 空间叠加分析方法, 划分出水土流失敏感性等级, 得到研究区水土流失敏感性空间分布情况。结果表明, 雷山县轻度及以上水土流失敏感性区域面积 812.29 km², 占总面积的 67.45%, 水土流失敏感性以轻度为主; 强烈以上等级占总面积 5.96%, 所占面积小; 同时研究区不同高程、坡向、坡度和植被覆盖度等级与水土流失敏感性之间存在显著关系, 即轻度以上的水土流失敏感性区域面积出现先增大后减小的单峰分布; 水土流失敏感性区域主要出现在高程为 800~1 400 m 范围内, 坡向为东南和西北, 坡度为 15°~35°, 植被覆盖度在 30%~45% 的区域。

关键词: 重点生态功能区; 水土流失敏感性; 地理空间信息技术; 空间分布; 雷山县

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)06-0073-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2016.06.013

Sensitivity Evaluation and the Spatial Distribution of Soil Erosion in Key Ecological Function Areas: A Case of Leishan City of Guizhou

SUN Xiaotao^{1,2}, ZHOU Zhongfa^{1,2}, CHEN Quan^{1,3},

CHEN Jijun⁴, ZHANG Shanshan^{1,2}

(1. School of Karst Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001; 2. The State Key Laboratory

Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang 550001;

3. State Key Engineering Technology Research Center for Karst Rocky Desertification Rehabilitation of China,

Guiyang 550001; 4. Leigong Mountain National Nature Reserve Administration in Guizhou Province, Leishan, Guizhou 557100)

Abstract: In order to quantitatively analyze and reveal the present spatial distribution of soil erosion sensitivity, identify key areas for the loss of water and soil in Leishan county which belongs to the key ecological function area, and provide theoretical basis for comprehensive prevention and control of soil and water loss and ecological environment, this study selected the ALOS remote sensing images in Oct 2010, and 1:50 000 topographic map which covers the whole Leishan county as the data source. Through using the geospatial information technology (RS and GIS) combined with 3D analyst grid calculation function, Leishan County's DEM, slope gradient, slope aspect, land use and other main factors were extracted. By using ENVI software, combined with the normalized difference vegetation index model, the vegetation coverage was extracted. The spatial overlay analysis in ArcMap was used to divide water and soil erosion sensitivity level, quantitatively analyze its sensitivity in present situation, and reveal its spatial distribution. The results showed that: the slightly and highly sensitive area of soil erosion was 812.29 km², accounting for 67.45% of total area in Leishan country, and

收稿日期: 2016-06-03

资助项目: 国家自然科学基金项目“喀斯特石漠化地区生态资产与区域贫困耦合机制研究”(41661088); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“人为干预下喀斯特山地石漠化的演变机制与调控”(2012CB723202); 国家自然科学基金青年项目“喀斯特峰丛洼地地貌形态耦合模式及机制研究”(41301504); 贵州省重大应用基础研究项目“喀斯特石漠化生态修复及生态经济系统优化调控研究——岩土类型格局”(黔科合 JZ 字[2014]200201); 贵州省科技计划项目“基于北斗卫星的山地高效农业产业园区智能管理系统开发与应用”(黔科合 GY 字[2015]3001)

第一作者: 孙小涛(1989—), 男, 四川达州人, 硕士研究生, 主要从事地理信息系统与遥感研究。E-mail: sxt66666666@sina.com

通信作者: 周忠发(1969—), 男, 贵州遵义人, 博导, 主要从事地理信息系统与遥感研究。E-mail: fa6897@163.com

the sensitivity of soil erosion was mainly slight in most areas of the county. The highly sensitive area of soil erosion was small, accounting for 5.96% of the total area. At the same time, there was a significant relationship between different elevation, slope aspect, slope gradient, vegetation coverage level and the sensitivity of soil erosion in the study area. The slightly and highly sensitive soil erosion area appeared single peak distribution which increased at first then decreased. The sensitive soil erosion area occurred mainly in the altitude range of 800 to 1 400 m, with the southeast and the northwest slope and the slope degree of 15 to 35, and the vegetation coverage level in 30% to 45%.

Keywords: key ecological function areas; soil erosion sensitivity; spatial information technology; space distribution; Leishan county

水土流失在内外营力作用下,使水土资源和土地生产力受到破坏和损失,是目前全球面临的一个严峻环境问题。长期以来,水土流失使土地退化,生产力下降,生态环境恶化。由此产生的大量泥沙淤塞江河湖泊,加剧洪水灾害,直接威胁人类赖以生存的环境,被称为“环境破坏第一杀手”,给生态环境产生严重的威胁^[1],影响区域经济和可持续发展。水土流失是一个综合性的自然灾害,它的形成是多种因素共同作用的结果。水土流失的机理、影响因素和防治措施的研究是国内外颇受关注的科学问题^[2]。水土流失主要受土壤理化性质、降雨、地形地貌、植被覆盖以及管理方式等因素的综合影响。在贵州山区,水土流失的形成和空间分布很大程度上受地形的制约,高程、坡度等地形因子能直接或间接地反映温度、降雨等的空间差异,从而使得水土流失随地形的变化表现出一定的相关性和规律性^[3]。

水土流失在我国危害已达到十分严重的程度,严重影响生态平衡,其典型性、严重性与治理的长期性,受到社会的广泛关注。王计平等^[4]等借助 GIS 和 RUSLE,运用景观格局指数分析法,从景观水平和多尺度上探讨景观格局对流域水土流失过程的影响;刘世梁等^[5]利用 SWAT 模型分析了澜沧江中游小流域水土流失与 NDVI 时空动态关系;李月臣等^[6]研究了三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征;梁音等^[7]在南方红壤区水土流失与生态安全综合科学考察的基础上,分析南方红壤丘陵区水土流失现状、特点、成因、危害以及近 50 年来的演变趋势;李阳兵等^[8]根据喀斯特生态系统的特殊性,对我国喀斯特分布最广的贵州省进行了水土流失敏感性评价。目前对水土流失敏感性研究非常丰富,但是在贵州山区,尤其是在重点生态功能区的研究较少,从县域小尺度的分析也相对罕见。

雷山县地表起伏度较大,切割剧烈,河流下切冲刷强烈,造洪能力强。境内的地质构造复杂,断裂、节理、劈裂及过度性剪切带较发育,同时人类的不合理利用加剧水土流失的产生。并且,雷山县处于贵州省暴雨

洪灾区,是全省水土流失易发区域,水土流失严重,给人民群众带来严重的生命财产损失。研究通过地理空间信息技术(GIS 和 RS 技术)结合使用,选取 2010 年 10 月 ALOS 遥感影像和 1:50 000 地形图为数据源,运用 3D Analyst 栅格计算功能,提取雷山县 DEM、坡度、坡向和土地利用等主要因子,运用 ENVI 软件,结合归一化植被指数模型,获取植被覆盖度。通过 ArcMap 空间叠加分析,划分出水土流失敏感性等级,得到研究区水土流失敏感性空间分布情况,为雷山县开展水土流失综合防治提供决策依据,也为县域生态环境保护与建设提供理论基础。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

雷山县地处黔东南州西部,位于云贵高原向湘、桂丘陵盆地过渡的斜坡带,地理坐标为 107°55'E—108°22'E 和 26°02'N—26°34'N 之间,辖 8 个乡(镇),154 个行政村,323 个自然寨,全县国土面积 1 204.35 km²。在大地构造位置上,位于扬子地块与华南地块的结合部位,江南造山带西缘。主要山脉为雷公山(苗岭山脉西段),是长江水系与珠江水系分水岭,地貌属台状高中山、中山、低中山峡谷,溪河深切,山高谷深,地形复杂,地质环境脆弱,其中,低中山、中山占总面积 90.50%。地势东北高,西南低。最高峰雷公山海拔 2 178.8 m,最低处为背略亚麻河口,海拔 484 m,相对高差 1 694.8 m。境内以青白口系乌叶组、番召组、清水江组、平略组出露最为广泛。全县地处亚热带季风湿润气候带,年均气温 14~15℃,年降雨量 1 310 mm,无霜期 240~250 d,年均日照 1 225 h。境内山峦起伏,山高谷深,垂直气候差异明显。境内有黄红壤、黄壤、黄棕壤、山地灌丛土 4 个土类,33 个土属,77 个土种,土壤类型较丰富,耕地 156.33 km²,占土地总面积的 12.98%。园地 14.79 km²,占土地总面积的 1.23%。有较好的生态环境条件,地表资源丰富,森林覆盖率达 69.35%,林地面积占全县总面积的 19.07%,草地面积占总面积的 28%。境内水资源十分丰富,年均径流量 5.3 亿 m³。

1.2 数据来源

研究使用的数据类型主要包括覆盖雷山县全域的 1 : 50 000 地形图、分辨率 2.5 m 的全色影像 3 景和分辨率为 10 m 的多光谱 2 景、雷山县行政区划图 1 幅和雷山县国土第二次调查数据,其中地形图、国土第二次调查数据和行政区划图均来源于雷山县国土局。1 : 50 000 地形图主要用于生成研究区数字高程模型 (DEM),通过对 1 : 50 000 地形图进行矢量化,提取高程等信息,最后通过 3D Analyst 功能,生成栅格像元为 50 m×50 m 的 DEM;通过 DEM,结合雷山行政区划图,运用 ArcMap 提取坡度、坡向和高程等矢量数据;遥感影像主要选取日本地球观测卫星拍摄的 ALOS 遥感图像,拍摄于 2010 年 10 月,全色影像分辨率为 2.5 m,多光谱影像分辨率 10 m。对 ALOS 遥感影像运用 ENVI 软件,通过几何校正、图像增强、影像镶嵌、影像融合、裁剪等处理,实现影像内容与地物匹配,融合后的影像分辨率为 3 m;土地利用和植被覆盖度以融合处理后的影像为数据源,通过最大似然法进行监督分类,获取研究区土地利用数据。运用归一化植被指数模型,得到研究区植被覆盖度数据。

1.3 研究方法

文章主要参考王娇等^[9]和闫利会等^[10]的方法。通过地理空间信息技术,选取 2010 年 10 月 ALOS 遥感影像和 1 : 50 000 地形图为数据源,运用 3D Analyst 栅格计算功能,提取雷山县 DEM、坡度、坡向和土地利用等主要因子,运用 ENVI 软件,结合归一化植被指数模型,获取植被覆盖度。通过 ArcMap 空间叠加分析,得到研究区水土流失敏感性空间分布情况。为保证重点生态功能区雷山县水土流失敏感性等级判定的准确,以贵州省水土流失遥感调查水土流失等级调整标准 (SL 190—2007 修订)为分级标准。

1.3.1 水土流失敏感性强度分级标准 雷山县境内地质构造复杂,断裂、节理、劈理及过渡性剪切带发育,表现为岩石破碎变形破坏了岩石的连续性与完整性,贵州高原水土流失主要受降雨侵蚀力、土壤可蚀性、沟谷密度、土地利用类型、地形、植被覆盖、水土保持措施等因子的影响,并且雷山县为贵州山区非喀斯特区域。因此,为了突出遥感调查水土流失的客观性和准确性,以贵州省水土流失遥感调查水土流失等级调整标准 (SL 190—2007 修订)为强度分级标准 (表 1)。

表 1 水土流失敏感性强度分级标准

地类		坡度/(°)					
		0~5	5~8	8~15	15~25	25~35	>35
非耕地	75~100	微度	微度	微度	微度	微度	微度
	60~75	微度	微度	微度	微度	轻度	轻度
	林草	45~60	微度	微度	轻度	轻度	中度
	覆盖度/%	30~45	微度	轻度	轻度	中度	强烈
坡耕地	0~30	微度	轻度	轻度	中度	强烈	极强烈
	水田	微度	微度	微度	微度	微度	微度
	旱地	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
	水域	微度	微度	微度	微度	微度	微度
	建设用地	微度	微度	微度	微度	微度	微度
其他	开采用地、建设施工场地	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
	裸地	微度	微度	轻度	中度	强烈	极强烈

1.3.2 各指标因子提取

(1)植被覆盖度。植被的冠层截留、削弱雨滴对地面的打击力度、增加雨水下渗以及根系增强土壤的抗侵蚀力^[9]和植被覆盖度信息的提取,主要是通过归一化植被指数 (NDVI) 计算。它是应用一定的数学方法,将遥感影像中不同波段的灰度值进行各种组合运算。研究提取植被覆盖指数 (NDVI) 主要是通过 ENVI 软件 Transform 计算模块,构建 NDVI 模型,计算植被覆盖指数 (NDVI),根据植被覆盖指数模型 (公式 1)^[10],得出研究区植被覆盖度,实际上是对植被指数的综合和简化。

$$\begin{cases} \text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \\ f_{\text{cover}} = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}) \end{cases} \quad (1)$$

式中:NDVI_{min}为植被覆盖像元最小值的 NDVI;NDVI_{max}为植被覆盖像元最大值的 NDVI。

根据国家水利部的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190—2007)^[11],结合雷山县植被覆盖情况,将植被覆盖度分为 5 级:非常低 (0~30%)、低 (30%~45%)、中等 (45%~60%)、良 (60%~75%) 和优 (75%~100%)。运用上述计算方法,结合 ArcGIS 软件,生成研究区植被覆盖度数据。

(2)坡度。坡度是水土流失敏感性评价的重要指标,坡度越大,径流能量越大,对坡面冲刷能力越强^[12]。坡度指标主要以地形图为数据源。通过 1 : 50 000 地形图,利用 ArcMap 提取雷山县各区域高程线和高程点,结合 ArcMap 的 3D 分析工具生成不规则三角网,运用研究区边界编辑 TIN。利用 TIN 生成 DEM。再运用 3D Analyst 工具条下的 Surface Analysis 中的坡度 (Slope、Aspects) 计算模型,获取研究区坡度数据。再根据土壤侵蚀分类分级标准 (SL 190—2007) 及 1985 年全国土

壤侵蚀遥感调查工作技术细则及有关要求,将雷山县坡度等级划分为 6 级: $<5^{\circ}$, $5^{\circ}\sim 8^{\circ}$, $8^{\circ}\sim 15^{\circ}$, $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$, $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$, $>35^{\circ}$ 。

(3)土地利用。土地利用类型对水土流失敏感性评价影响较大,文章土地利用数据来源于对 ALOS 遥感影像的监督分类。研究提取土地利用数据主要是通过 ENVI 软件 Supervised Classification 计算模块,构建 Maximum Likelihood Classification 模型,进行分类,提取研究区土地利用数据。然后参考雷山县国土第二次调查数据,结合研究区土地利用实际情况,对土地利用数据进行专家修正,将雷山县域土地利用分成有林地、灌木林地、茶园等 23 类,得到研究区土地利用数据。

(4)坡向。利用坡度生成的技术方法,通过研究区 TIN 生成 DEM,再运用 3D Analyst 工具条下的 Surface Analysis 中的坡向工具功能生成以度为单位的坡向数据。将研究区坡向分为 -1° (平地), $0^{\circ}\sim 22.5^{\circ}$ 和 $337.5^{\circ}\sim 360^{\circ}$ (北坡), $22.5^{\circ}\sim 67.5^{\circ}$ (东北坡), $67.5^{\circ}\sim 112.5^{\circ}$ (东坡), $112.5^{\circ}\sim 157.5^{\circ}$ (东南坡), $157.5^{\circ}\sim 202.5^{\circ}$ (南坡), $202.5^{\circ}\sim 247.5^{\circ}$ (西南坡), $247.5^{\circ}\sim 292.5^{\circ}$ (西坡), $292.5^{\circ}\sim 337.5^{\circ}$ (西北坡)等 9 类^[13],生成研究区坡向数据。

2 结果与分析

2.1 水土流失敏感性遥感评价

通过 ArcMap 空间分析功能,将研究区坡度、植被覆盖度、土地利用等因子进行叠加分析,根据评判等级标准(表 1),最终确定研究区水土流失敏感性遥感评判等级,生成雷山县水土流失敏感性空间分布图(图 1)。

运用 ArcMap 空间叠加分析,将雷山县水土流失敏感性面积进行分级统计,得出雷山县水土流失敏感性强度基本特征(表 2)。轻度以上水土流失敏感性区域面积达 812.29 km^2 ,占全县国土面积的 67.45% ,尤其以轻度和中度为主。其中轻度水土流失敏感性区域达 591.28 km^2 ,占全县国土面积的 49.10% ;中度水土流失敏感性区域达 149.19 km^2 ,占全县国土面积的 12.39% ;强烈、极强烈和剧烈所占比重较小,占全县国土面积的 5.96% ;因此,可以揭示出雷山县水土流失敏感性区域覆盖面积广,流失程度比较敏感,尤其以轻度和中度为主,处于预防可控阶段。

从研究区水土流失敏感性空间分布图(图 1)可以看出,强烈、极强烈和剧烈水土流失区,图斑破碎,微小。研究表明雷山县水土流失敏感性区域分散,主要呈点状分布,极少区域呈面状分布特征,主要集中在丹江镇、西江镇、郎德镇、望丰乡和方祥乡,均为人类经济活动相对密集区,受人类生产生活影响较明显。

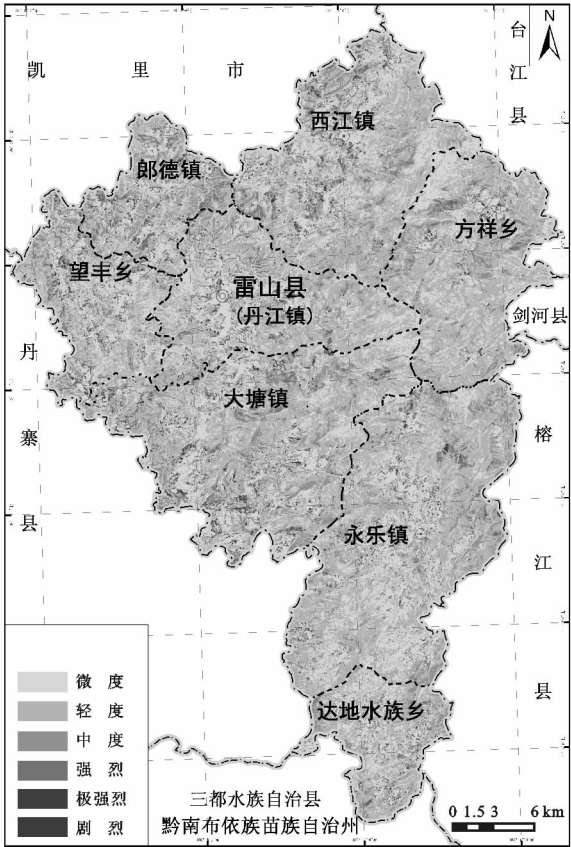


图 1 雷山县水土流失敏感性空间分布

表 2 雷山县水土流失敏感性强度基本特征

等级	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
面积/ km^2	392.06	591.28	149.19	50.17	18.60	3.05
占比/ $\%$	32.55	49.10	12.39	4.17	1.54	0.25

2.2 水土流失敏感性与高程

海拔每升高 100 m ,年平均气温约下降 $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$,雨量和相对湿度在一定的高度范围则随海拔升高而增加^[14]。同时,接受到的辐射强度、空气流动、土壤性质等亦随高程而变化^[15]。根据雷山县地形起伏度情况,将高程变量进行分组,成图,将高程分成 7 级:为 $<500\text{ m}$, $500\sim 800\text{ m}$, $800\sim 1\,100\text{ m}$, $1\,100\sim 1\,400\text{ m}$, $1\,400\sim 1\,700\text{ m}$, $1\,700\sim 2\,000\text{ m}$, $2\,000\sim 2\,300\text{ m}$ 。利用 ArcGIS 空间分析功能,通过数字高程模型(DEM)即研究区高程分级与水土流失敏感性评价结果,运用 ArcMap 空间叠加分析,分别统计各级水土流失敏感性强度在不同高程段的分布情况(表 3),得出研究区水土流失敏感性与高程的关系。

从表 3 可知,雷山县轻度以上水土流失敏感性区域主要分布在 $800\sim 1\,100\text{ m}$ 和 $1\,100\sim 1\,400\text{ m}$ 范围内,这两个等级范围占轻度以上水土流失敏感性区域的 75.94% 。可以看出研究区水土流失敏感性区域主要分布在高程在 $800\sim 1\,400\text{ m}$ 范围内,并且各级水土流失的高程特征呈单峰分布趋势;各级水土流失敏感性面积随高程先增加后减小的趋势,除轻度水

土流失敏感性区域范围在 1 100~1 400 m 范围内达到峰值外,其余等级水土流失敏感性区域范围均在 800~1 100 m 达到最高值。其主要原因在于雷山县平均海拔在 1 100 m,人类活动主要在 800 m~1 400 m 高程范围内。并且全县耕地少,贫困人口基数大,经济不发达,强烈的人类活动,同时坡耕地所占比重

大。并且研究区地势起伏大,降水受垂直地带性影响,降水主要集中在高程在 800~1 400 m 范围内,所以水土流失在海拔 800~1 400 m 范围内达到一个峰值。可见,研究区水土流失敏感性区域主要分布在海拔 800~1 400 m 高程范围内,该高程范围应该作为今后水土流失综合防治的核心地带。

表 3 水土流失敏感性强度与海拔关系

等级	<500 m	500~800 m	800~1100 m	1100~1400 m	1400~1700 m	1700~2000 m	2000~2300 m
微度/km ²	2.38	30.51	182.83	108.18	39.53	24.71	1.18
轻度/km ²	0.17	24.76	207.70	231.31	99.77	28.68	1.03
中度/km ²	0.21	7.39	62.87	55.37	19.69	4.03	0.09
强烈/km ²	0.10	3.06	25.71	16.43	4.47	0.54	0.00
极强烈/km ²	0.00	1.19	12.00	4.77	0.67	0.01	0.00
剧烈/km ²	0.01	0.22	2.02	0.76	0.01	0.00	0.00
轻度以上侵蚀面积/km ²	0.49	36.62	310.30	308.64	124.61	33.26	1.12
占比/%	0.06	4.49	38.07	37.87	15.29	4.08	0.14

2.3 水土流失敏感性与坡向

坡向对于山地生态环境有着较大影响,同时对降水的影响也很明显,向阳坡降水大于背阴坡,迎风坡降水大于背风坡。由于光照、温度、雨量、风速、土壤质地等因子的综合作用,坡向能够对植物间接产生影响,从而引起植物和环境的生态关系发生变化。山地的方位对日照时数和太阳辐射强度也有影响。运用 ArcMap 空间分析模块,将研究区水土流失敏感性分级图与坡向分布图叠加分析,提取各坡向范围内各级水土流失面积(表 4)。

从表 4 可以看出,雷山县水土流失敏感性区域总体上表现出各个坡向的面积差距不大,但存在微小差距,即北坡、南坡、东南坡、西坡和西北坡的水土流失

敏感性面积略大于东北坡、东坡、西南坡,与平地差距较大。主要原因是雷山县地处亚热带季风湿润气候区,受东南季风影响,东南部和南部处于迎风坡,降水大。相反东北坡、东坡和西南坡处于背阴坡,降水相对较少。同时西北坡水土流失相对较大,是因为西北部受局部昆明准静止风影响,降水相对充足。其中西北坡轻度以上水土流失敏感性面积达 130.94 km²,占轻度以上水土流失敏感性区域的 16.06%。东南坡轻度以上水土流失敏感性面积达 114.90 km²,占轻度以上水土流失敏感性区域的 14.09%。

可见研究区水土流失敏感性区域主要分布在东南坡和西北坡,应该作为今后水土流失综合防治的核心地带。同时其它坡向水土流失严重区域也不能忽视。

表 4 水土流失敏感性强度与坡向关系

等级	平地	北	东北	东	东南	南	西南	西	西北
微度/km ²	1.27	39.43	35.85	43.46	61.93	57.05	48.28	50.22	51.36
轻度/km ²	0.00	73.05	60.87	68.03	82.54	71.34	62.54	78.43	96.59
中度/km ²	0.00	21.35	18.17	16.89	19.47	16.62	14.29	17.28	26.07
强烈/km ²	0.00	5.42	5.39	6.69	8.63	7.57	5.56	5.12	5.91
极强烈/km ²	0.00	2.06	1.68	2.64	3.79	2.64	1.83	1.91	2.11
剧烈/km ²	0.00	0.30	0.46	0.48	0.47	0.50	0.29	0.26	0.26
轻度以上侵蚀面积/km ²	0.00	102.18	86.57	94.73	114.90	98.67	84.51	103.00	130.94
占比/%	0.00	12.53	10.62	11.62	14.09	12.10	10.36	12.63	16.06

2.4 水土流失敏感性与坡度

坡度表示了局部地表单元陡缓的程度,是影响地表物质流动的重要因子,直接影响物质交流与能量转换的方式与程度,改变土壤的基本属性,影响水土流失程度^[16]。运用 ArcMap 空间分析模块,将研究区水土流失敏感性评价结果与坡度数据进行叠加分析,得出水土流失敏感性与坡度关系(表 5)。

从表 5 可以看出,雷山县轻度以上水土流失敏感性区域主要分布在坡度 15°~25°和坡度 25°~35°坡度带

范围内,这两个坡度等级范围内轻度以上水土流失敏感性区域达 652.93 km²,占轻度以上水土流失敏感性区域的 80.03%。水土流失随坡度的关系主要表现为:水土流失的峰值随坡度的增加出现先增大后减小的趋势。即坡度对水力侵蚀作用的影响不是单一的正比关系,而是有一个侵蚀临界坡度存在,超过这一临界坡度,土壤侵蚀面积反而减少^[17]。主要是因为坡度大的地区所得到的积温较少,同时在同一区域投影面积相同的条件下,坡度越大单位面积上的平均降

水量越小^[13],并且坡度越大,比降越大,故水土流失强度随坡度的增大,但是从表 4 看出,研究区水土流失强度在坡度为 35°后开始下降,主要是因为雷山县为重点生态功能区,生态环境受到应有的保护,在

35°以上坡度实行退耕还林,受人为干预较少。可见研究区水土流失敏感性区域主要分布在坡度 15°~25°和坡度 25°~35°两个坡度带范围内,应该作为今后水土流失综合防治的核心地带。

表 5 水土流失敏感性强度与坡度关系

类型	0~5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
微度/km ²	23.92	26.31	114.78	163.91	47.96	11.59
轻度/km ²	0.00	1.69	25.10	263.70	273.66	29.37
中度/km ²	0.00	0.00	8.26	5.41	62.34	74.26
强烈/km ²	0.00	0.00	0.00	26.16	4.04	20.16
极强烈/km ²	0.00	0.00	0.00	0.00	17.62	1.05
剧烈/km ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.06
轻度以上侵蚀面积/km ²	0.00	1.69	33.36	295.27	357.66	127.90
占比/%	0.00	0.21	4.09	36.19	43.84	15.68

2.5 水土流失敏感性与植被覆盖度

植被具有截留降雨、减缓径流、防沙治沙、保土固土等功能,是维持生态环境、发挥有效生态效能的功能体,植被覆盖度与区域水土流失状况紧密相关,直接和间接影响水土流失敏感性程度。研究运用 Arc-Map 空间分析模块,将研究区水土流失敏感性评价结果与植被覆盖度数据进行叠加分析,得出水土流失敏感性评价与植被覆盖度关系(表 6)。

从表 6 可以看出,不同等级下的植被覆盖度与水土流失强度之间存在明显规律,即随着研究区植被覆盖度等级的上升,各等级下的水土流失敏感性区域面积呈现快速增加,然后减小。植被覆盖等级在 30%~45%处达到峰值,然后慢慢减小,说明雷山县水土流失分布在植被覆盖度在 30%~45%的区域;从各级植被覆盖度来看,面积随着水土流失等级的增加而减小;轻度以上水土流失面积基本保持随着植被覆盖度增加,面积减小的趋势,说明水土流失和植被覆盖度之间存在反比关系,即植被覆盖度增减与水土流失面积增减是相反。绝大部分轻度以上水土流失敏感性区域分布在植被覆盖度 30%~45%的区域。

表 6 水土流失敏感性强度与植被覆盖度关系

类型	0~30%	30%~45%	45%~60%	60%~75%	75%~100%
微度/km ²	11.47	221.21	144.19	7.76	3.41
轻度/km ²	6.27	434.40	150.31	2.51	0.02
中度/km ²	7.84	131.30	10.52	0.07	0.02
强烈/km ²	6.89	39.23	3.94	0.23	0.06
极强烈/km ²	2.01	12.96	3.55	0.12	0.03
剧烈/km ²	0.19	3.06	0.77	0.01	0.00
轻度以上侵蚀面积/km ²	23.20	620.95	169.09	2.94	0.13
占比/%	2.84	76.07	20.71	0.36	0.02

3 结论与讨论

(1)利用地理空间信息技术对雷山县水土流失敏感性进行评价发现,微度水土流失敏感性面积达

392.06 km²,占全县国土面积的 32.55%;轻度水土流失敏感性面积达 591.28 km²,占全县国土面积的 49.10%;中度水土流失敏感性面积达 149.19 km²,占全县国土面积的 12.39%;强烈水土流失敏感性面积达 50.14 km²,占全县国土面积的 4.17%;极强烈水土流失敏感性面积达 18.60 km²,占全县国土面积的 1.54%;剧烈水土流失敏感性面积达 3.05 km²,占全县国土面积的 0.25%。从各等级面积可以揭示出雷山县水土流失覆盖面积广,水土流失比较敏感,尤其以轻度和中度水土流失为主,处于预防可控阶段。从研究区水土流失敏感性空间分布特征可以看出雷山县水土流失敏感性区域分散,主要呈点状分布,极少区域呈面状分布特征。

(2)研究区不同坡度、坡向、高程和植被覆盖度下的水土流失面积和水土流失敏感性强度之间存在显著关系,即轻度以上侵蚀面积出现先增大后减小的单峰分布。水土流失比较敏感性区域主要出现在高程 800~1 400 m、坡向为东南和西北、坡度为 15°~35°、植被覆盖度在 30%~45%等范围内。应该作为今后水土流失综合防治的核心地带,同时其他区域也不能忽视。

(3)形成水土流失是多方面的共同作用,研究仅从高程、坡度、坡向、植被覆盖度等自然因素来考虑,尚未从人为因素深入分析。在后续的研究中,将从自然演化和人为干预两个角度着重考虑,经过科学反复论证,形成一套完整的评价规程,为县域地质灾害防治服务。

参考文献:

[1] 徐涵秋. 水土流失区生态变化的遥感评估[J]. 农业工程学报,2013,29(7):91-97.
[2] 曾立雄,肖文发,黄志霖,等. 三峡库区不同退耕还林模式水土流失特征及其影响因子[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(1):146-152.