

基于 GIS 和 RUSLE 的高山峡谷区土壤侵蚀研究

——以云南省泸水县为例

朱 军, 李益敏, 蒋德明

(云南大学 资源环境与地球科学学院 云南省地理研究所, 云南 昆明 650091)

摘 要: [目的] 研究区域土壤侵蚀, 揭示水土流失的空间分异规律, 为区域水土保持和生态农业建设提供理论指导依据。[方法] 应用 GIS 和 RUSLE 模型对云南省泸水县的土壤侵蚀进行研究。RUSLE 模型中的因子包括降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡度坡长因子、植被覆盖和水土保持措施因子, 运用 GIS 空间分析模块, 获取泸水县土壤侵蚀模数空间分布图, 根据 SL 190-2007 的分级标准进行土壤侵蚀强度分级, 并分析该区土壤侵蚀强度空间分布格局。[结果] (1) 从各强度侵蚀面积上看, 泸水县 2014 年土壤侵蚀以微度侵蚀为主, 占总面积的 86.86%, 但从平均土壤侵蚀模数看, 土壤侵蚀量为 4.24×10^6 t, 平均侵蚀模数为 $1\ 373.1$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 土壤侵蚀强度属于轻度侵蚀; (2) 土壤侵蚀较严重区与未利用地、耕地空间分布基本一致, 在坡度 $25^\circ \sim 50^\circ$ 的范围内, 侵蚀面积占总侵蚀面积的 75%, 并且在该坡度段上的耕地面积占总耕地的 63%, 剧烈侵蚀集中分布在未利用地上, 中度以上剧烈以下强度侵蚀集中分布在该坡度段上的耕地上, 说明该坡耕地、未利用地对土壤侵蚀的贡献最大, 要加强对未利用地的生态治理。[结论] 坡度大, 陡坡垦殖和未利用地的不合理利用是该区土壤侵蚀加重的主要原因, 坡度在 25° 以上的地区不适宜耕种, 应优化农业产业结构如实施退耕还林还草等措施, 才能有效的保持水土。

关键词: GIS; 泸水县; RUSLE; 空间分析; 土壤侵蚀模数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0277-07

中图分类号: S157.1

文献参数: 朱军, 李益敏, 蒋德明. 基于 GIS 和 RUSLE 的高山峡谷区土壤侵蚀研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 277-283. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.048

A Study on Soil Erosion in Alpine and Gorge Region Based on GIS and RUSLE Model

—Taking Lushui County of Yunnan Province as an Example

ZHU Jun, LI Yimin, JIANG Deming

(Department of Environment and Resource, Yunnan University,

Yunnan Institute of Geography, Kunming, Yunnan 650091, China)

Abstract: [Objective] To research regional soil erosion and reveal the spatial distribution of soil and water loss in order to provide theoretical support for regional soil and water conservation and eco-agriculture construction. [Methods] Soil erosion in Lushui County of Yunnan Province was studied by using GIS and RUSLE model. The factors in the RUSLE model included rainfall erosivity, soil erodibility and slope and length, vegetation cover and soil maintain measures factors. Spatial distribution map of soil erosion modulus in Lushui County was obtained by using GIS spatial analysis module. The soil erosion intensity was classified according to the grading standards of SL 190-2007, and the spatial distribution pattern of soil erosion intensity was analyzed. [Results] (1) According to the area, soil erosion intensity in Lushui County in 2014 was mainly micro degree of erosion, which accounted for 86.86% of the total area. While according to the average soil erosion modulus, soil erosion amount was 4.24×10^6 t, the average erosion modulus was $1\ 373.1$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),

收稿日期: 2015-09-30

修回日期: 2015-10-28

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于 3S 技术的怒江州农业产业结构调整优化与生态修复互动研究”(41161070); 云南省科技惠民计划项目(2013CA014); 云南省自然科学基金资助项目(2013F2001)

第一作者: 朱军(1991—), 男(汉族), 贵州省黔西县人, 硕士研究生, 研究方向为 GIS 开发与应用。E-mail: 846921812@qq.com。

通讯作者: 李益敏(1965—), 女(白族), 云南省昆明市人, 博士, 教授, 主要从事山地环境与发展研究。E-mail: 648119611@qq.com。

and the soil erosion intensity was mainly slight erosion. (2) Soil erosion in the unused land and cultivated land was more severer. The erosion area in the slope between 25° and 50° was accounted for 75% of the total erosion area, in which the cultivated land accounted for 63%. Moderate and intensive erosion distributed mainly on the cultivated land, indicated that the slope farmland and unused land contributed the most to soil erosion. [Conclusion] The steep slope, cultivation and unreasonable use of unused land are the main causes for the severer soil erosion in the study area. It is not suitable for cultivation in the slope above 25°. To maintain soil and water, we should optimize the agricultural industrial structure.

Keywords: GIS; Lushui County of Yunnan Province; RUSLE; spatial analysis; soil erosion modulus

土壤侵蚀已成为全球性的重点生态环境问题之一,土壤侵蚀导致土壤退化、土地生产能力下降和影响农业生产和食物安全等方面,已成为限制人类生存和发展的重要因素之一^[1]。

国内外对土壤侵蚀的研究开始于 19 世纪晚期,只限于表面现象观察和定性描述^[1]。20 世纪 80 年代后,随着科学技术和计算机技术以及相关学科的快速发展,土壤侵蚀模型方法研究和应用得到重视,主要的模型有经验统计模型和物理成因模型。经验统计模型主要以美国通用土壤流失方程(USLE)和修正后的通用土壤流失方程(RUSLE)为代表,也是目前世界上运用最为广泛的土壤侵蚀模型之一,物理成因模型由于其计算和实现复杂,对其的研究并不是很多。国内经验统计模型比较有代表性的是高燕等^[2]针对东北地区黑土特征提出了相关的土壤流失模型、韩晓燕等^[3]根据黄土高原土壤侵蚀现状分析所有影响的因子,提出了相关的 USLE 模型、田国行等^[4]对交通沿线的边坡土壤流失特征建立了相关的 USLE 方程;国内在土壤侵蚀物理模型方面,主要是对国外成熟模型的引进和借鉴,主要以刘克娜等^[5],文江苏等^[6]的研究为代表。20 世纪 90 年代后,3S 技术的快速发展和应用给土壤侵蚀模型实现及建模带来了强大的技术支撑,结合 3S 技术研究土壤侵蚀,可以进行土壤侵蚀过程演化模拟和预测,更好地实现区域土壤侵蚀空间分布差异和成因分析,因而在土壤侵蚀研究中得到了快速而广泛的应用。国外学者利用“3S”技术主要进行了全球和区域土壤侵蚀调查、生态效应等方面的工作;中国学者利用“3S”技术对土壤侵蚀研究主要集中在区域土壤侵蚀调查、其动态研究和土壤侵蚀模式的模拟等方面,具有代表性的有赵文武等^[7]利用 GIS 方法研究了土壤侵蚀评价指数中各因子的具体计算和实现技术、张蕴潇等^[8]的研究中,通过 3S 技术对内蒙古的土壤侵蚀研究模型进行了构建、陈旭东等^[9]依托 3S 技术和相关软件技术,编译了岳西县土壤侵蚀预测分析软件库以及袁再建^[10]和张喜旺

等^[11]的研究成果。目前和 GIS 技术结合应用最为广泛的土壤侵蚀模型是 USLE 和 RUSLE,后者是前者的升级和扩展,本文将运用 GIS 与 RUSLE 模型结合研究云南省泸水县 2014 年土壤侵蚀状况。

1 研究区概况

泸水县位于中国西南云南省怒江州南部,总面积 3 203.04 km²,辖 9 个乡镇,人口为 15.9 万;气候主要受印度洋热带季风的影响,干湿明显,具有亚热带、温带、中温带、高山草原地带、寒带等 7 个气候带,多年年均降雨量为 1 300 mm,立体气候特征突出;土壤和植被的垂直地带性明显,土壤类型多样,主要有黄棕壤、黄红壤、亚高山草甸土、黄壤和棕壤等土壤,植被种类丰富;地势北高南低,最高海拔为 4 161.6 m,最低海拔为 738 m,相对高差达 3 423.6 m,典型的高山峡谷地貌,25°以上的坡度面积占总面积 78%,生态环境脆弱,多自然灾害,土壤容易遭受侵蚀。因此,本文拟基于 GIS 和 RUSLE 模型,开展泸水县土壤侵蚀研究,以期相关部门实施水土保持工作提供科学的决策和理论依据。

2 模型及模型因子提取

2.1 模型方法

美国修正后的水土流失模型 RUSLE 为:

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中:A——单位面积年平均土壤流失量[t/(km²·a)];
R——降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm²·h·a)];
K——土壤可蚀性因子[(t·hm²·h)/(hm²·MJ·mm)];
LS——坡长和坡度因子;
C——土地利用类型因子;
P——水土保持措施因子。

本文所需要的相关数据有研究区月降雨量、土地利用类型、土壤质地、DEM 高程等数据以及相关的辅助材料(详见表 1)。最后将获取的各因子,按照研究模型,通过 GIS 空间分析,最终得到土壤侵蚀模数空间分布状况。

表 1 所用数据及来源

所用数据	数据来源
雨量站分布、月降雨量信息	云南省气象局、水文局
坡度、坡长数据	1 : 50 000 DEM(25 m×25 m)高程数据提取
土地利用类型数据	2013 年 RapidEye 遥感影像(5 m×5 m)解译
土壤类型数据	高应新.怒江土壤(1 : 100 万).昆明:云南大学出版社,1991.
2004 年泸水县土壤侵蚀数据	怒江州水务局第一次土壤侵蚀普查数据

2.2 因子分析及估算

2.2.1 降雨侵蚀力因子(R) 降雨侵蚀力(R)是土壤侵蚀评价中最主要的原动力因子,其主要通过雨滴击溅,分离土壤颗粒和地表径流的搬运作用而产生土壤侵蚀,降雨侵蚀力(R)成为了土壤侵蚀定量评估的重要指标,指降雨引起土壤侵蚀的潜在能力。降雨侵蚀力的估算模型多样,针对研究区降雨特征,采用适合研究区的 R 估算模型,即杨子生在云南省金沙江流域土壤侵蚀方程研究中的 R 估算模型^[12]:

$$R=0.44488 \cdot P^{0.96982} \quad (2)$$

式中:R——降雨侵蚀力 [MJ/(mm·hm²·h)];
P——该年降雨量(mm)。

首先,受到地形地貌的限制,泸水县目前仅有 39 个雨量观测站,雨量站设置空间分布存在不均匀性,主要集中分布在中部和北部以及东南部,东部和西部雨量站较少,主要是因为东部和西部为高大的雪山,

雨量站设置较困难,周边临县的雨量站距离研究区太远,仅增加了北部福贡县最南端匹河、普洛 2 个雨量站参与插值。虎雄岗等^[14]对基于地形高程的云南省降雨量空间插值方法研究表明,协同克里金插值法考虑地形高程对降雨量的影响,在所有插值方法中,具有更好的插值效果,适合云南省高山峡谷地形地貌地区的降雨量空间内插。

本文采用此方法对该区雨量站降雨量进行插值,再根据公式(2)求 R 的空间分布(图 1a),最大程度降低雨量站少且分布不均匀所带来的精度误差问题,为结果分析提供实用有效的基础数据。

通过与实际的降雨分布规律对比,插值生成的降雨分布规律与实际的分布规律基本保持一致,说明其精度能够为下面的分析提供有效的依据,最终的结果能够为相关水土保持工作提供有效的科学决策依据。

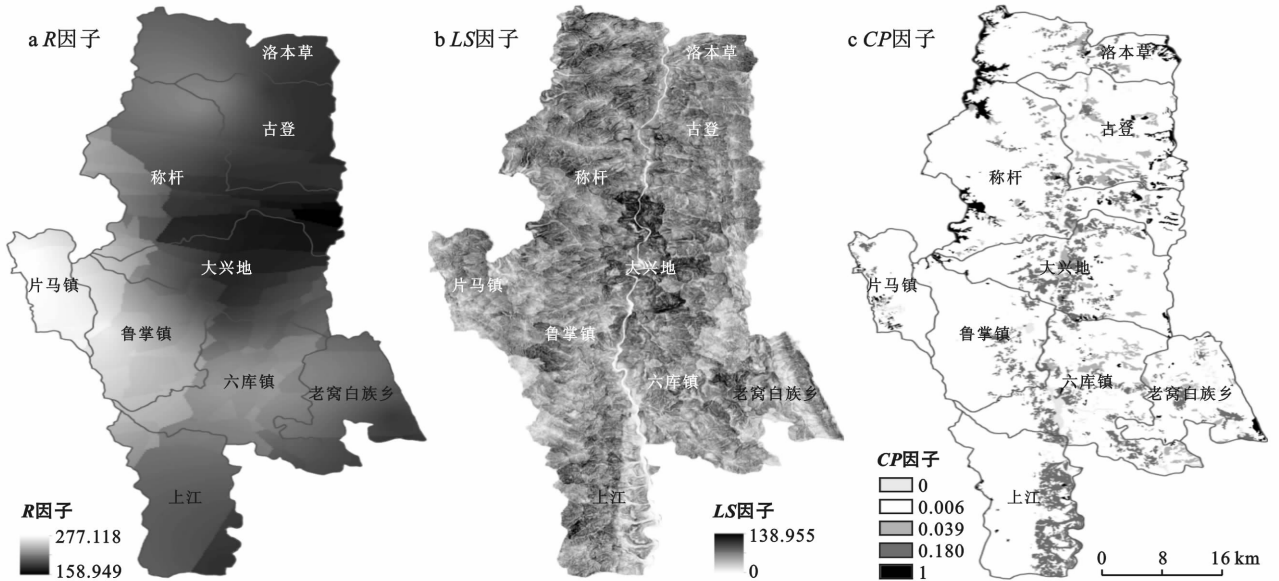


图 1 泸水县土壤侵蚀各因子分布

2.2.2 坡长坡度因子(LS) 地形起伏是土壤侵蚀产生的动力因素,集中体现在坡度坡长。LS 因子反映地形地貌特征对土壤侵蚀的影响,是侵蚀动力加速因子^[13]。针对本研究区的地形地貌特征以及相关研究,坡度坡长因子采用杨子生等在云南北部山区坡耕

地土壤侵蚀小区试验确定的计算公式^[15]:

$$LS=(\lambda/20)^{0.24} \times (\theta/5)^{1.32} \quad (3)$$

式中:S——坡度因子;θ——坡度(°);L——坡长因子;λ——坡长(m)。通过 GIS 栅格计算器将 LS 二者相乘得到坡度坡长因子空间分布结果图 1b。

2.2.3 土壤可蚀性因子(K) 土壤本身的可蚀性也会对土壤侵蚀产生一定的抑制作用,土壤在降雨的作用下发生分离、冲蚀和搬运的难易程度,土壤的颗粒组成和化学成分结构性质会 from 不同程度上抑制到降雨对其的冲击分散程度。根据获取的泸水县土壤数据可知,泸水县土壤按土类分为暗棕壤、棕色针叶林土、黄棕壤、亚高山灌丛草土、红壤、棕壤、黄壤和水稻土等 8 种。参考彭建,邓良基等^[15-16]的研究,确定研究区不同土壤的 K 值,暗棕壤为 0.289,棕色针叶林土为 0.286,黄棕壤为 0.308,亚高山灌丛草土为 0.305,红壤为 0.324,棕壤为 0.294,黄壤为 0.313,水稻土为 0.253,运用 GIS 空间属性赋值方式给各种土壤赋予相应的 K 值,生成研究区土壤可蚀性分布图(附图 14)。

2.2.4 植被覆盖和水土保持措施因子(CP) 植被覆盖因子(C)、水土保持措施因子(P)是土壤侵蚀抑制因子,起着水土保持作用^[15]。在几个因子中,受人类活动影响, CP 是变化最快的,也是最容易改变的。因此,其评价准确度将直接影响 RUSLE 计算土壤侵蚀量的空间分布。土地利用/土地覆盖能够反映植被覆盖率高低程度与水土保持措施的差异,本文参考林斌、彭建、邓良基、刘宝元等^[15-18]对山区土壤侵蚀研究基础上,依据土地利用类型代替植被覆盖和水土保持

措施因子求取 CP 值,综合确定研究区的土地利用类型的 CP 值(表 2)。 CP 值越大,二者对土壤侵蚀的抑制作用越小, $CP=0$,土壤侵蚀不产生; $CP=1$,其抑制作用为零,土壤侵蚀严重。由土地利用类型图,得到研究区 CP 因子分布图(图 1c)。

表 2 各种土地利用类型的 CP 值

土地利用类型	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地
C	0.35	0.006	0.04	0	0.2	1
P	0.55	1	1	0	0	1
CP	0.19	0.006	0.04	0	0	1

3 结果与分析

根据土壤流失方程式 RUSLE(1),对所有因子统一坐标系和像元大小(25 m×25 m),运用 GIS 空间分析模块,得出研究区土壤侵蚀模数空间分布图,根据中国国家水利部最新颁发的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190-2007),结合泸水县土壤侵蚀量实际空间分布,确定了研究区土壤侵蚀强度分级标准(表 3),通过空间重分类方法获取研究区 2014 年土壤侵蚀强度空间分布(附图 15)。

表 3 泸水县土壤侵蚀强度分级标准

分级	侵蚀模数/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	平均流失厚度/ ($mm \cdot a^{-1}$)	面积/ km^2	占总面积 百分比/%	平均侵蚀模数/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	侵蚀量/ t
微度	0~500	0~0.37	2 683.61	86.86	194	520 619.37
轻度	500~2 500	0.37~1.9	126.61	4.10	1 375	174 082.73
中度	2 500~5 000	1.9~3.7	86.96	2.81	3 783	328 955.49
强度	5 000~8 000	3.7~5.9	86.50	2.80	6 327	547 305.27
极强度	8 000~15 000	5.9~11.1	41.27	1.34	9 975	411 618.38
剧烈	>15 000	>11.1	64.68	2.09	34 943	2 260 244.30

3.1 泸水县土壤侵蚀强度时空分布格局

3.1.1 总体空间分布特征 通过 GIS 统计分析,获得了各级侵蚀强度面积、占总面积百分、侵蚀量(表 3)。由表 3 得出,泸水县 2014 年土壤侵蚀强度从面积上看,以微度侵蚀为主,占总面积 86.86%,但从平均侵蚀模数分析,土壤侵蚀总量为 $4.24 \times 10^6 t$,平均侵蚀模数为 $1 373.1 t/(km^2 \cdot a)$,属于轻度侵蚀;中度侵蚀及以上强度侵蚀面积仅占 9%,但土壤侵蚀量 83.6%却来自于中度及以上强度侵蚀区,说明该区土壤流失主要来源于中度及以上强度侵蚀区,由各级强度平均侵蚀模数看,每上升一个强度等级,侵蚀模数就成倍数增大,因此要抑制土壤侵蚀较强区的发展,降低其侵蚀强度。由降雨资料显示,泸水县该年

降雨偏少,平均降雨量为 850 mm,与多年平均降雨量差异大,随着来年降雨量恢复增加,土壤侵蚀将会加重,因此要及时防御和治理水土保持,以防未来土壤侵蚀随着降雨量的增加而加强。空间分布上,微度侵蚀分布较为连续,各乡镇都有大面积分布,中度、强度和极强度侵蚀主要分布在怒江两岸地区,剧烈侵蚀主要分布在称杆乡的西南部和西北部以及东部、古登乡的东部、洛本卓乡的西南部、西北部和东部地区,是水土保持治理的重点。

3.1.2 泸水县不同时期土壤侵蚀强度变化特征 通过将 2014 与 2004 年土壤侵蚀状况对比分析(表 3 和表 4),2004 年泸水县土壤发生微度侵蚀面积为 $2 016.42 km^2$,2014 年为 $2 683.61 km^2$,增加了 $667.19 km^2$,

轻度侵蚀面积减少了 304.28 km²,中度侵蚀面积减少了 246.8 km²,强度侵蚀面积减少了 47.83 km²,极强度侵蚀增加了 35.98 km²,剧烈侵蚀面积增加 64.68 km²,说明轻度到强度侵蚀各级别面积减少大,但强度以上侵蚀强度面积增加了 100.66 km²,说明部分地区土壤侵蚀加重;2004 年轻度及以上强度侵蚀总面积为 904.9 km²,2014 年为 406.31 km²,减少

498.58 km²,说明侵蚀面积有所增加,但 1/2 左右面积的轻度及以上强度侵蚀区向微度侵蚀转化,土壤侵蚀强度总体明显变弱,说明生态环境得到了有效的保护和治理,但该区有一定区域的土壤变得严重侵蚀,要加强对该区生态进行保护和建设,最大程度降低其土壤侵蚀强度。泸水县各乡镇侵蚀状况不尽相同,进一步分析其土壤侵蚀状况。

表 4 泸水县 2004 年土壤侵蚀强度数据

侵蚀强度	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀	剧烈侵蚀
面积/km ²	2 016.42	430.89	333.76	134.33	5.92	0.00
百分比/%	69.02	14.75	11.42	4.60	0.20	0.00

注:2004 年泸水县土壤侵蚀数据来源于怒江州水务局 2004 年第一次土壤侵蚀普查数据。

3.1.3 泸水县各乡镇土壤侵蚀状况 通过空间统计,得出各乡镇土壤侵蚀状况(表 5)。

由表 5 可知,从侵蚀面积上看,各乡镇主要以微度侵蚀为主,各乡镇微度侵蚀占其总面积 90%左右;各乡镇都有中度及以上强度侵蚀分布,称杆乡最大,为 58.13 km²,其次为大兴地镇,为 51.23 km²,再次为六库镇为 40 km²,以老窝白族乡、片马镇、和鲁掌镇为最少,平均为 12 km²。

从空间分布上:①片马镇中度侵蚀及以上主要分布在其西南部的片马河流域及西北部的岗房等地区,总体上西部比东部侵蚀较严重;②鲁掌镇轻度、中度和强度侵蚀混杂分布在东部登埂河流域与替命河北岸地区,极强度和剧烈侵蚀分布在替命河的西北部河段两岸地区,总体上,最西北部和中部以东地区较为严重,中部以西侵蚀不明显;③上江镇微度侵蚀主要分布在中部以西,轻度、中度、强度和极强度侵蚀混杂分布在东部的蚂蜡沟、丙奉、丙贡河和弯桥河两岸等地区,以及该镇的东北部,总体上东部侵蚀较严重,西部侵蚀不明显,处于微度侵蚀;④洛本卓乡轻度侵蚀主要分布在中部、金美河和该境内的怒江两岸

地区,中度及以上强度侵蚀分布在西部和东部,总体上,中部、东部边界、西部边界等地区的土壤侵蚀较严重,其余处于微度侵蚀;⑤大兴地镇轻度、中度、强度和极强度侵蚀集中分布在怒江两侧的支流两岸地区,剧烈侵蚀主要分布在最西端地区,总体来看,中部侵蚀较为严重,西部和东部的土壤侵蚀不明显;⑥古登乡轻度和中度侵蚀主要分布在南部的计多依玛河北岸地区,强度及以上强度侵蚀分布在东部边界地区,总体上东南部侵蚀较严重;⑦称杆乡轻度和中度侵蚀分布在计多依玛河南支流的南岸、堵堵洛依河两岸等地区,强度和极强度侵蚀分布在怒江两岸大面积区,剧烈侵蚀集中分布在该乡的芭蕉河支流两岸、丫皮扒拉河西北段的支流两岸等地区,总体上,中部以东、西南部和西北部侵蚀最严重,其余地区侵蚀不明显,处于微度侵蚀;⑧六库镇轻度、中度和强度主要分布在该境内的怒江两岸地区以及老窝河北部、石江河东南段两岸地区,总体上,东南部、中部和北部侵蚀较严重;⑨老窝白族乡轻度和中度集中分布在老窝、冲家河两岸以及老窝河东南段两岸地区,极强度及以上侵蚀强度集中分布在东南部。

表 5 泸水县各乡镇土壤侵蚀强度面积统计

乡 镇	侵蚀面积/km ²						侵蚀量/t
	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀	剧烈侵蚀	
洛本卓乡	224.17	7.02	5.72	6.60	2.97	16.62	361 245.45
古登乡	280.66	24.60	5.23	7.60	2.86	7.18	450 559.59
称杆乡	511.42	16.06	11.54	11.10	9.05	26.43	804 095.08
大兴地镇	320.66	14.82	12.86	21.89	11.71	4.77	530 994.08
片马镇	148.66	1.99	2.21	1.72	0.91	2.12	216 410.86
鲁掌镇	320.03	2.78	5.01	7.86	3.03	1.21	466 738.14
六库镇	375.45	24.73	15.48	15.74	7.33	1.82	604 927.79
老窝白族乡	212.88	11.77	5.71	3.59	1.40	2.95	327 207.16
上江镇	289.32	22.83	23.20	10.40	1.99	1.57	479 638.42

3.2 泸水县土地利用类型、坡度与土壤侵蚀关系分析

(1) 通过空间区域统计, 获得不同土地利用类型和坡度范围上的各侵蚀强度面积(表 6—7)。由表 6 得知: 林草地主要发生微度侵蚀, 草地主要发生轻度

侵蚀轻度, 耕地主要发生轻度到极强度侵蚀, 未利用地主要发生极强度和剧烈侵蚀, 说明各土地利用类型对土壤侵蚀的贡献大小依次为: 未利用地 > 耕地 > 草地 > 林地 > 水体和建设用地。

表 6 泸水县不同土地利用类型的土壤侵蚀面积

km²

土地利用类型	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀	剧烈侵蚀
耕地	8.49	41.30	82.94	84.69	34.55	0.25
水体	12.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
林地	2 613.29	4.09	0.00	0.00	0.00	0.00
建设用地	40.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	0.19	0.61	0.01	1.81	6.72	64.43
草地	8.50	80.61	3.01	0.00	0.00	0.00

表 7 不同坡度上的各侵蚀强度面积

km²

坡度分级	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀	剧烈侵蚀
0~15	150.34	26.73	1.40	1.27	1.96	0.08
15~25	414.58	26.58	42.16	2.38	4.14	9.84
25~35	912.88	29.84	35.83	49.42	3.89	28.37
35~50	1 112.08	36.83	5.64	33.05	29.13	24.20
50~78.6	93.74	6.64	1.92	0.39	2.15	2.20

(2) 由表 7 可知: 土壤侵蚀主要发生在坡度 15° 以上, 占总面积的 94%; 坡度在 25° 以上的侵蚀面积占 78%, 中度及以上强度侵蚀面积为 279.41 km², 在该坡度段上的面积占其总面积的 98.3%, 说明该坡度段上的土壤侵蚀强度较大; 将坡度分级图与土地利用类型图叠加分析得出, 在坡度 25° 以上的耕地面积占总耕地的 63%, 因此可以说明该县在坡度 25° 以上的陡坡耕地是土壤侵蚀较严重区形成的主要因素, 严格意义上说, 15° 以上的坡耕地也要进行治理, 考虑到该研究区的实际可耕地分布和人口需求情况, 根据该区相关部门政策, 坡度 15°~25° 允许耕地存在, 坡度在 25° 以上的地区不适应耕种, 要实施退耕还林还草, 才能有效地保持水土。

4 讨论与结论

(1) 和泸水县 2004 年土壤侵蚀普查数据对比, 2014 年土壤侵蚀面积有所增加, 但总体侵蚀强度有减弱的趋势, 但部分地区土壤侵蚀加重, 出现了剧烈侵蚀区, 面积为 64.68 km²。2014 年泸水县以微度侵蚀为主, 占总面积 86.86%, 但从平均侵蚀模数分析, 属于轻度侵蚀, 土壤侵蚀量 83.6% 来自于中度及以上强度侵蚀区; 土壤侵蚀较严重区主要分布在怒江两岸地区、称杆乡的西南部和西北部以及东部、古登乡的东部、洛本卓乡的西南部、西北部和东部地区, 是水土保持工作实施的重点区域。

(2) 中度及以上强度侵蚀集中分布在该坡度段的耕地上, 最强侵蚀区主要分布在未利用地上, 说明该未利用土地地区生态破坏较严重; 其次, 陡坡垦植是该研究区土壤侵蚀较严重区产生的主要因素。未利用地对土壤侵蚀的贡献最大, 因而要加强对该未利用地的生态恢复建设, 坡度在 25° 以上的区域不适宜耕种, 实施退耕还林还草等措施, 降低土壤侵蚀强度才能有效的保持水土。

(3) 研究区降雨分布图由雨量站降雨量通过协同 Kriging 插值方法实现, 针对研究区, 是所有插值力效果最好的, 但精度大小取决于样点数目多少以及各站点数据的精度, 因此, 研究区降雨样点少且分布存在一定区域不均匀, 插值精度总会与实际的降雨大小空间分布有一定的误差, 会一定程度上影响降雨侵蚀力的精度估算, 从而影响土壤侵蚀量的精度计算, 但与实际的降雨空间分布规律特征基本相符, 对结果分析的精度影响不大。今后要尽可能设更多的样点观测站, 提高降雨侵蚀力计算的精度, 这是所有插值方法的不足之处。

(4) 土地利用类型划分还不够细, 未利用地存在裸岩和荒草的可能, 可能会影响土壤侵蚀强度的判断错误, 因此还要结合实地考察证实; 林地可能存在不同的林地, 如稀疏林地和幼苗林地等等, 这二者的保水性是有差异的。

[参 考 文 献]

- [1] 郑粉莉,刘峰,杨勤科,等.土壤侵蚀预报模型研究进展[J].水土保持通报,2001,21(6):16-18.
- [2] 高燕,王晓欣,鞠哗,等.东北黑土区土壤侵蚀模型研究现状与展望[J].东北水利水电,2010,28(12):16-17.
- [3] 韩晓燕,钱鞠,王磊,等.黄土高原土壤侵蚀(水蚀)多尺度过程与水土保持研究进展[J].冰川冻土,2012,34(6):1487-1498.
- [4] 田国行,杨晓明,杨春.高速公路边坡土壤侵蚀研究进展[J].中外公路,2008,28(6):21-28.
- [5] 刘娜,王克林,张伟,等.土壤侵蚀及其评价、检验方法研究进展[J].中国农学通报,2011,27(18):1-6.
- [6] 文江苏,何小武.国外土壤侵蚀模型发展研究[J].宁夏农林科技,2012,53(4):92-93.
- [7] 赵文武,傅伯杰,郭旭东.多尺度土壤侵蚀评价指数的技术与方法.地理科学进展,2008,27(2):47-52.
- [8] 张蕴潇,孙紫英.基于 3S 技术内蒙古水土保持土壤侵蚀模型建立及参数提取[J].内蒙古农业大学学报,2012,33(4):108-112.
- [9] 陈旭东,程先福,鲍伟伟,等.基于 ArcObjc 的土壤侵蚀模型的设计与实现[J].水土保持研究,2010,17(6):26-31.
- [10] 袁再建.基于 CIS 的分布式侵蚀产沙模型及其空间尺度转换研究进展[J].中国农学通报,2012,28(9):293-296.
- [11] 张喜旺,周月敏,李晓松,等.土壤侵蚀评价遥感研究进展[J].土壤通报,2010,41(4):1010-1017.
- [12] 杨子生.云南省金沙江流域土壤侵蚀流失方程研究[J].山地学报,2002,20(S):1-9.
- [13] 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):467-71.
- [14] 虎雄岗,谈树成,金艳珠,等.基于地形高程的云南省降雨量空间插值方法研究[J].热带地理,2012,32(4):370-377.
- [15] 彭建,李丹丹,张玉清.基于 GIS 和 RUSLE 的滇西北山区土壤侵蚀空间特征分析:以云南省丽江县为例[J].山地学报,2007,25(5):548-556.
- [16] 邓良基,侯大斌,王昌全,等.四川自然土壤和旱耕地土壤可蚀性特征研究[J].中国水土保持,2003,23(7):29-48.
- [17] 林斌.基于 RS 与 GIS 的定西市安定区土壤侵蚀因子提取与侵蚀强度定量评价研究[D].兰州:甘肃农业大学,2011.
- [18] 刘宝元,谢云,张科礼,等.土壤侵蚀预报模型[M].北京:科学技术出版社,2001.
- [19] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(6):1835-1840.
- [20] Wischmeier W H, Smith D D. Prediction rainfall erosion losses: A guide to conservation planning science [M]. Washington D C: U. S. Department of Agriculture, Handbook 537,1978.
- [21] McCool D K, Foster G R, Mutchler C K, et al. Revised slope length factor for the universal soil loss equation[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (USA), 1987, 30(5):1387-1396.
- [22] 赵磊,袁国林,张琰,等.基于 GIS 和 USLE 模型对滇池宝象河流域土壤侵蚀量的研究[J].水土保持通报,2007,27(3):42-46.
- [23] 蔡崇法,丁树文.应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J].水土保持学报,2000,14(2):19-24.
- [24] 陈思旭,杨小唤,肖林林,等.基于 RUSLE 模型的南方丘陵山区土壤侵蚀研究[J]. Resources Science, 2014, 36(6):1288-1297.
- [25] 游松财,李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算:以江西省泰和县灌溪乡为例[J].自然资源学报,1999,14(1):62-68.

(上接第 276 页)