

# 基于 USLE 模型的大小凉山地区土壤侵蚀定量研究

胡云华<sup>1</sup>, 刘斌涛<sup>2</sup>, 宋春风<sup>2</sup>, 贺秀斌<sup>2</sup>

(1. 四川省第三测绘工程院, 四川 成都 610500; 2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** [目的] 对四川省凉山地区土壤水力侵蚀状况进行定量研究, 为该区水土流失调查提供数据支持。[方法] 利用四川省地理国情普查数据, 基于对 USLE 模型的本土化研究成果进行分析和研究。[结果] 凉山彝族自治州平均土壤侵蚀模数为 1 207.67 t/(km<sup>2</sup>·a), 土壤侵蚀面积为 15 221 km<sup>2</sup>, 占该区土地总面积的 25.19%。从空间分布上看其中金沙江沿岸是凉山彝族自治州土壤侵蚀最为严重的地区, 其次是安宁河流域和黑水河流域。[结论] 凉山州目前水土流失面积较大, 水土流失治理的形势依然严峻。

**关键词:** 大小凉山地区; USLE; 土壤侵蚀

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)04-0232-05

**中图分类号:** S157.1

**文献参数:** 胡云华, 刘斌涛, 宋春风, 等. 基于 USLE 模型的大小凉山地区土壤侵蚀定量研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 232-235. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.041

## Soil Erosion Estimation in Liangshan Mountain Areas of Sichuan Province Based on USLE Model

HU Yunhua<sup>1</sup>, LIU Bintao<sup>2</sup>, SONG Chunfeng<sup>2</sup>, HE Xiubin<sup>2</sup>

(1. The Third Surveying and Mapping Engineering Institute in Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610500, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract:** [Objective] The quantitative study of soil hydraulic erosion in Liangshan area of Sichuan Province was conducted to provide data support for the investigation of soil erosion in this area. [Methods] Data of geographic conditions in Sichuan Province were obtained from previous provincial investigation and then processed based on the localization research of USLE model. [Results] Annual average amount of soil erosion in Liangshan Region is 1 207.67 t/(km<sup>2</sup>·a). Soil erosion area is 15 221 km<sup>2</sup>, accounting for 25.19% of this area. Area around Jinsha River is the most serious soil erosion areas, followed by Anning River basin and Heishui River basin. [Conclusion] Soil erosion area is still large, and the situation of soil erosion is still grim in this place.

**Keywords:** Liangshan mountain areas of Sichuan Province; USLE; soil erosion

大小凉山地区由于植被破坏, 暴雨集中等特点, 成为中国水土流失特别严重的地区之一<sup>[1-2]</sup>, 《四川省国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中明确要求要加强大小凉山水土保持及生物多样性重点生态功能区建设。水土流失和生态环境修复问题是大小凉山地区生态环境建设的重中之重, 但由于凉山州幅员面积较大, 大部分地区属于经济欠发达, 水土流失长期缺乏监测资料, 相关的水土流失研究工作也开展的很少<sup>[3-5]</sup>。为全面掌握四川省地理国情现状, 服

务经济社会发展和生态文明建设, 四川省于 2013 年启动第一次地理国情普查项目。本研究充分利用四川省地理国情普查成果, 以凉山彝族自治州为研究区, 在通用水土流失方程的基础上, 建立凉山州水土流失模型, 为当地水土流失调查提供数据支持, 也为基于地理国情数据开展水土流失监测提供理论支持。

## 1 研究区概况

凉山彝族自治州位于四川省西南部, 幅员面积

收稿日期: 2015-08-31

修回日期: 2015-11-03

资助项目: 四川省地理国情监测工程技术研究中心开放基金项目“基于多源遥感影像数据的大小凉山地区森林资源动态监测”(GC201507); 2014 年度地理空间信息工程国家测绘地理信息局重点实验室开放基金项目(201419)

第一作者: 胡云华(1988—), 男(汉族), 四川省自贡市人, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事地理信息系统与水土保持方面的研究工作。  
E-mail: huyunhua1@163.com.

$6.04 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 境内以山地地貌为主, 多为高山和中山, 约占幅员面积的 70%, 山原次之, 其余的山间谷地等不到总面积的 10%。地势西北高, 东南低, 起伏巨大, 地势最高点位于海拔 5 958 m 的木里县恰朗多吉峰, 最低点位于雷波县大岩洞金沙江谷底 305 m, 相对高差达 5 653 m。全区大部位于金沙江下游, 该地区是中国水土流失极为严重的地区之一, 当地输沙模数为金沙江和长江上游流域平均输沙模数的 4 倍<sup>[6]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

研究区 1:5 万 DEM 数据为 2000 国家大地坐标系, 空间分辨率 25 m, 1985 国家高程基准, 高斯—克吕格投影, 6°分带, 数据成图时间为 2013 年。2014 年地表覆盖分类数据基于融合后的凉山州 2014 年 Landsat 8 影像遥感解译获得, 属于“四川省地理省情监测”数据成果, 空间分辨率 15 m, 包含了耕地、林地、草地、水域湿地、建设用地及未利用地等 6 大地表覆盖类型。凉山彝族自治州 1:100 万土壤类型图来源于南京土壤所制作的全国 1:100 万土壤类型图。凉山彝族自治州内及其周边 17 国家气象站 1981—2014 年逐日气象观测数据, 数据主要用于凉山彝族自治州地区降雨侵蚀力的计算。

### 2.2 土壤侵蚀模型

目前, 土壤侵蚀的评价模型主要是基于通用土壤流失方程 (USLE 模型) 衍生模型及其基于土壤侵蚀过程的物理模型, 通用土壤流失方程是美国研制的用于农地和草地坡面多年平均土壤流失量的经验型模型, 该模型所依据的资料丰富, 涉及区域广, 形式简单, 因而具有较强的实用性, 并在世界范围内得到推广<sup>[7-8]</sup>。USLE 模型在我国也已经取得广泛的应用, 由于中国西南地区的地理特殊性, 刘斌涛等人对 USLE 模型的本土化进行了大量研究<sup>[9-11]</sup>。

本研究借助于凉山彝族自治州及周边的相关研究成果和实测资料, 基于刘斌涛等的研究成果<sup>[9-11]</sup>, 得到凉山彝族自治州土壤流失方程:

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

式中:  $A$ ——年土壤流失量 [ $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ];  $M$ ——修正因子, 无量纲单位;  $R$ ——降雨侵蚀力因子 [ $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ];  $K$ ——土壤可蚀性因子 [ $\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}/(\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$ ];  $L$ ——坡长因子;  $S$ ——坡度因子;  $C$ ——植被覆盖因子;  $P$ ——水土保持措施因子;  $L, S, C, P$  均为无量纲单位。

2.2.1 降雨侵蚀力因子  $R$  降雨侵蚀力因子是降雨

导致土壤侵蚀发生的潜在能力。采用第一次全国水利普查水土保持专项普查使用的降雨侵蚀力估算方程, 根据 1981—2014 年的逐日降水量资料, 剔除日雨量小于 12 mm 的非侵蚀性降雨后, 计算各气象站多年平均月降雨侵蚀力并进行空间插值。此降雨侵蚀力估算方程由章文波等<sup>[12]</sup>提出的降雨侵蚀力估算模型改进而来, 适用于我国的西南地区 (图 1)。

$$\bar{R}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \alpha \sum_{j=1}^M P_{dikj}^\beta \right) \quad (2)$$

$$\bar{R}_k = \frac{1}{N} \quad (3)$$

$$\alpha = 21.239\beta^{-7.3967} \quad (4)$$

$$\beta = 0.6243 + \frac{27.346}{P_{do}} \quad (5)$$

$$P_{do} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{12} \sum_{j=1}^M P_{dikj} \quad (6)$$

$$\bar{R} = \sum_{k=1}^{12} \bar{R}_k \quad (7)$$

式中:  $R_k$ ——第  $k$  个月的降雨侵蚀力 [ $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ];  $N$ ——计算数据序列长度;  $M$ ——第  $i$  年第  $k$  个月侵蚀性降雨的次数;  $P_{dikj}$ ——第  $i$  年第  $k$  个月第  $j$  次侵蚀性降雨量 (mm), 取日降雨量  $\geq 12 \text{ mm}$  作为侵蚀性降雨;  $\alpha, \beta$ ——模型参数, 通过公式以上估算;  $P_{do}$ ——侵蚀性降雨的多年平均值 (mm);  $\bar{R}$ ——多年平均降雨侵蚀力 [ $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ]。

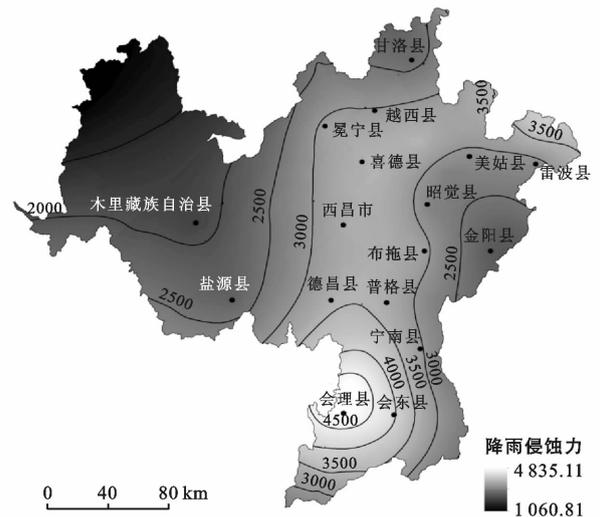


图 1 凉山彝族自治州多年平均降雨侵蚀力分布

2.2.2 土壤可蚀性因子  $K$  土壤可蚀性是反映土壤对降雨渗透能力及其对降雨和径流剥蚀、搬运敏感程度的一个重要指标, 是影响土壤流失的内在重要因素,  $K$  值的大小与土壤质地有较高的相关性。  $K$  值的求法主要有: 直接测定、诺谟图法、公式法。直接测定法可信度高但成本高。诺谟图法需要的参数较多,

而且有些参数的准确获取相当困难;公式法简单方便,本研究采用被广泛用来进行  $K$  值计算的

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0256 S_a \left( 1 - \frac{S_i}{100} \right) \right] \right\} \times \left( \frac{S_i}{C_i + S_i} \right) \times \left[ 1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \times \left[ 1 - \frac{0.7S_n}{S_n + \exp(-5.51 + 22.9S_a)} \right] \quad (8)$$

式中:  $S_a$ ——粒径 0.05~2 mm 沙粒的百分含量(%);  $S_i$ ——粒径 0.002~0.05 mm 粉砂的百分含量(%);  $C_i$ ——粒径 < 0.002 mm 黏粒的百分含量(%);  $C$ ——有机碳的百分含量(%)。

$$S_n = 1 - S_a / 100 \quad (9)$$

由于国外土壤可蚀性实测值与中国实测值之间存在明显的差异,由 EPIC 模型计算的值通常要比实际的值偏大,因此国外关于土壤可蚀性估算的研究成果不能直接在我国使用。本研究采用张科利<sup>[14]</sup>实测研究成果(图 2),修正的土壤可蚀性计算公式为:

$$K_{\text{rejt}} = 0.5157 K_{\text{epic}} - 0.0138 \quad (R^2 = 0.613, P = 0.106) \quad (10)$$

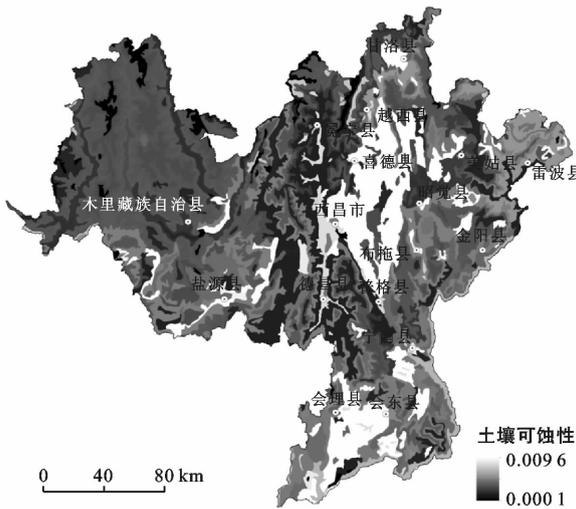


图2 凉山彝族自治州土壤可蚀性分布

2.2.3 坡长坡度因子  $LS$  主要采用了杨子生等<sup>[15]</sup>根据云南昭通的实测资料发展和修正而来的模型计算坡长,其计算公式为:

$$L = \frac{\lambda^{0.24}}{20} \quad (11)$$

式中:  $\lambda$ ——坡长(m);  $\lambda$  直接利用 ArcGIS 水文分析功能计算可得。

$$L = (\lambda / 22.1)^m, \quad m = \begin{cases} 0.2 & (\theta \leq 1^\circ) \\ 0.3 & (1^\circ < \theta \leq 3^\circ) \\ 0.4 & (3^\circ < \theta \leq 5^\circ) \\ 0.5 & (\theta > 5^\circ) \end{cases} \quad (12)$$

$S$  因子,在坡度  $\theta < 10^\circ$  的情况下,通用土壤流失方程的算法在凉山彝族自治州也仍然可用。刘宝

Williams等在 EPIC<sup>[13]</sup>模型中的估算方法计算土壤可蚀性  $K$  值。

元<sup>[16]</sup>根据黄土高原绥德/安塞和天水试验站的观测资料建模,修正了  $10^\circ$  以上坡度因子的计算方法,  $S = 21.91 \sin(\theta) - 0.96$ 。但西南地区地形地貌有异于黄土高原,  $25^\circ$  以上坡耕地广泛存在。刘斌涛<sup>[9]</sup>基于西南土石山区典型区域的径流小区资料,提出了  $10^\circ \sim 25^\circ$  范围和大于  $25^\circ$  范围的  $S$  因子修正公式,本研究基于其研究成果,建立凉山州坡度因子  $S$  的计算公式(图 3)。

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.3 & (\theta \leq 5^\circ) \\ 16.8 \sin \theta - 0.5 & (5^\circ < \theta \leq 10^\circ) \\ 20.204 \sin \theta - 1.2404 & (10^\circ < \theta \leq 25^\circ) \\ 29.585 \sin \theta - 5.6079 & (\theta > 25^\circ) \end{cases} \quad (13)$$

式中:  $S$ ——坡度因子;  $\theta$ ——坡度。

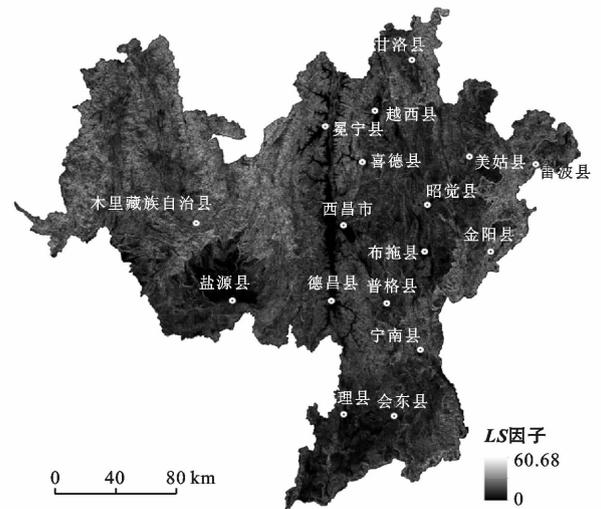


图3 凉山彝族自治州坡长坡度因子分布

2.2.4 地表覆盖因子  $C$  与水土保持措施因子  $P$  本研究基于区域相似性,根据四川、重庆、云南地区已有的基础种植植被类型  $C$  值的研究<sup>[17-19]</sup>结合野外调查单元水土保持措施资料(包括种植制度,植被盖度、作物种类、土地利用),确定凉山州各地表覆盖类型  $C$  值经验值(表 1)。参考刘斌涛等<sup>[8]</sup>西南土石山区不同利用方式水平梯田  $P$  值研究成果,西南土石山区水田的  $P$  值为 0.01,水旱轮作田的  $P$  值为 0.0528,凉山州水旱轮作比例较高,因此区水田  $P$  值为 0.0528,旱地水土保持措施因子  $P$  为 0.1362,园地  $P$  值为 0.1035。林地、草地、人工堆掘地、荒漠与裸露地表、水面无水土保持措施,  $P$  值取 1,硬化地表房屋建筑用地和构筑物  $P$  值取 0,部分硬化地表交通设施用地  $P$  值取 0.2(图 4)。

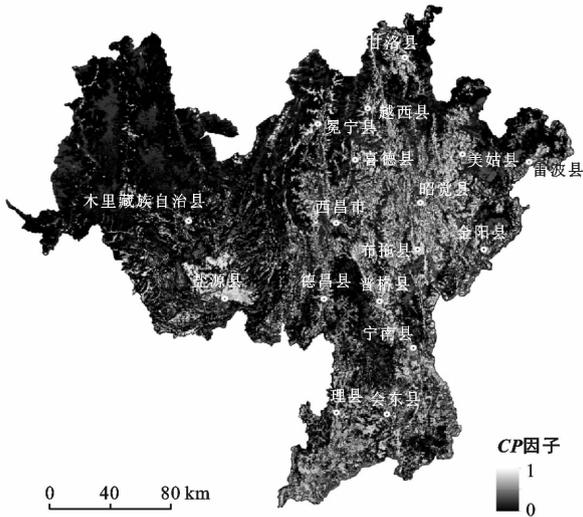


图 4 凉山彝族自治州地表覆盖和水土保持措施因子分布

表 1 不同地表覆盖类型的 C 值和 P 值

编码	地表覆盖类型	C	P
0110	水田	0.1	0.052 8
0120	旱地	0.45	0.136 2
0200	园地	0.45	0.103 5
0310	乔木林	0.02	1.00
0320	灌木林	0.05	1.00
0330	其他林地	0.10	1.00
0420	沼泽草甸	0.08	1.00
0430	人工草地	0.08	1.00
0440	其他草地	0.08	1.00
0500	房屋建筑用地	0.10	0.00
0600	交通设施用地	0.20	0.20
0700	构筑物	0.20	0.00
0800	人工堆掘地	1.00	1.00
0900	荒漠与裸露地表	1.00	1.00
1010	水面	0.00	1.00

2.2.5 土壤侵蚀评价分级 研究参照《土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)》将研究区土壤侵蚀进行分级:<math>500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})</math>为微度侵蚀;<math>500 \sim 2\,500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})</math>为轻度侵蚀;<math>2\,500 \sim 5\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})</math>为中度侵蚀;<math>5\,000 \sim 8\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})</math>为强度侵蚀;<math>8\,000 \sim 15\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})</math>为极强度侵蚀;<math>\geq 15\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})</math>为剧烈侵蚀。

### 3 结果与分析

#### 3.1 凉山彝族自治州水土流失强度

调查结果表明,凉山彝族自治州平均土壤侵蚀模数为  $1\,207.67 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,平均已达到轻度侵蚀级别;在复杂地形条件下,凉山彝族自治州土壤侵蚀的潜在可能性很高,是土壤侵蚀的极度敏感区。凉山彝族自治州土壤侵蚀面积为  $15\,221.15 \text{ km}^2$ ,占土地总面积的  $25.19\%$ ,其中轻度侵蚀、中度侵蚀、强烈侵

蚀、极强烈侵蚀和剧烈侵蚀的面积分别为:  $5\,537, 4\,997, 2\,336, 1\,614$  和  $737 \text{ km}^2$ ,分别占土地总面积的  $9.16\%, 8.27\%, 3.87\%, 2.67\%, 1.22\%$ 。当前凉山州水土流失面积较大,水土流失治理的形势依然严峻。

#### 3.2 凉山彝族自治州土壤侵蚀空间分布

表 2 列出了凉山彝族自治州各县(市)的土壤侵蚀强度等级面积数据。从表中可以看出,凉山彝族自治州各县(市)中金阳县的土壤侵蚀情况最为严重,其土壤侵蚀面积比例  $46.53\%$ ;其次为普格县、美姑县、布拖县、甘洛县、昭觉县,土壤侵蚀面积占全县国土面积的比例都在  $35\%$  以上。水土流失面积最大的地区是盐源县,其次依次是会理县、美姑县和昭觉县,水土流失面积都在  $1\,000 \text{ km}^2$  以上。

图 5 为凉山彝族自治州土壤侵蚀强度的空间分布格局。从图 5 可以看出,金沙江沿岸(雷波、金阳、布拖、宁南、会东、会理)是凉山彝族自治州土壤侵蚀较为强烈的地区。同时,由于该地区也是金沙江下游重力侵蚀最为严重的地区之一[6],在未来的治理过程中,应结合地质灾害防治特点,推广相应的坡面治理工程、沟道治理工程和泥石流滩地综合利用等治理工程,有效防治水土流失。安宁河流域(喜德、冕宁、西昌、德昌)和黑水河流域(普格、宁南),土壤侵蚀强度基本在轻度以上,地势相对较缓,但农业生产发达,坡耕地广泛分布,在未来治理过程中,应重视坡面防护及坡耕地水土保持。安宁河谷和盐源盆地虽然耕地面积大,但由于地势平坦,农业生产条件好,土壤侵蚀强度较低。凉山彝族自治州西部的木里和冕宁县西部由于森林覆盖度高,土壤侵蚀强度较低,该地区水土流失治理应以生态环境保护为主,尽量减少人类活动对地表的扰动。

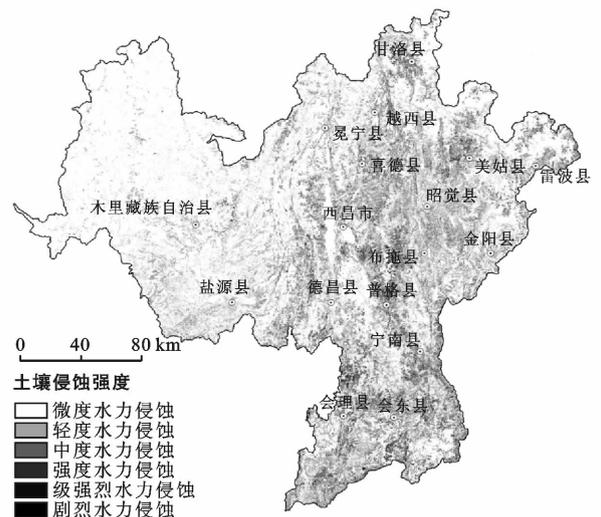


图 5 凉山彝族自治州土壤侵蚀现状图

表2 凉山彝族自治州各县(市)土壤侵蚀面积

行政区划	行政面积/ km <sup>2</sup>	水蚀面积/ km <sup>2</sup>	水蚀面积 比例/%	各级土壤侵蚀面积/km <sup>2</sup>				
				轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
西昌市	2 655	903	33.99	291	276	173	106	57
木里县	13 253	932	7.03	303	344	89	95	101
盐源县	8 407	1 693	20.13	728	524	253	123	64
德昌县	2 284	537	23.50	137	204	76	56	64
会理县	4 522	1 616	35.73	456	457	357	303	43
会东县	3 224	890	27.59	289	283	200	96	21
宁南县	1 667	557	33.40	217	177	108	47	8
普格县	1 905	836	43.89	240	214	213	132	37
布拖县	1 685	643	38.18	284	213	94	44	8
金阳县	1 586	738	46.53	257	271	36	118	57
昭觉县	2 699	1 022	37.87	280	352	185	127	78
喜德县	2 205	732	33.21	172	271	128	96	65
冕宁县	4 422	857	19.39	518	222	85	26	6
越西县	2 257	716	31.72	268	304	78	45	21
甘洛县	2 156	820	38.06	329	301	89	65	37
美姑县	2 573	1 088	42.27	442	334	133	114	64
雷波县	2 932	642	21.89	326	250	38	19	8
合计	60 432	15 221	25.19	5 537	4 997	2 336	1 614	737

## [参 考 文 献]

- [1] 刘永碧,赵建民.凉山州水土流失治理现状及对策[J].西昌学院学报:自然科学版,2004,18(3):4-5.
- [2] 王维平.凉山州干热河谷困难地带生态恢复与重建对策和建议[J].四川林业科技,2012,33(1):77-79.
- [3] 黄凤琴,第宝锋,黄成敏,等.基于日降雨量的年均降雨侵蚀力估算模型及其应用:以四川省凉山州为例[J].山地学报,2013,31(1):55-64.
- [4] 赵建民,沈其明.凉山水土保持生态环境监测体系的构建[J].中国水土保持,2009(4):37-38.
- [5] 刘永碧,赵建民.凉山州高寒山区水土保持措施研究[J].防护林科技,2006(1):37-38.
- [6] 柴宗新,范建容.金沙江下游侵蚀强烈原因探讨[J].水土保持学报,2001,15(5):14-17.
- [7] 王万忠,焦菊英.中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J].水土保持通报,1996,16(5):1-20.
- [8] 蔡强国,刘纪根.关于我国土壤侵蚀模型研究进展[J].地理科学进展,2003,22(3):242-250.
- [9] 刘斌涛,宋春风,史展,等.西南土石山区水平梯田的水土保持措施因子[J].中国水土保持,2015(4):36-39.
- [10] 刘斌涛,宋春风,史展,等.西南土石山区土壤流失方程坡度因子修正算法研究[J].中国水土保持,2010(8):49-51.
- [11] 宋春风,陶和平,刘斌涛,等.长江上游地区土壤可蚀性空间分异特征[J].长江流域资源与环境,2012,21(9):1123-1130.
- [12] 章文波,谢云,刘宝元.中国降雨侵蚀力空间变化特征[J].山地学报,2003,21(1):33-40.
- [14] 张科利,彭文英,杨红丽.中国土壤可蚀性值及其估算[J].土壤学报,2007,44(1):7-13.
- [15] 杨子生.云南省金沙江流域土壤流失方程研究[J].山地学报,2002,20(S):1-9.
- [16] 刘宝元,毕小刚.北京土壤流失方程[M].北京:科学出版社,2010.
- [17] 唐寅,代数,蒋光毅,等.重庆市坡耕地植被覆盖与管理因子C值计算与分析[J].水土保持学报,2010,24(6):53-59.
- [18] 吕甚悟,陈谦,袁绍良,等.紫色土坡耕地水土流失试验分析[J].山地学报,2000,18(6):520-525.
- [19] 牛俊,张平仓,邢明星.长江上游紫色土坡耕地水土流失特征及其防治对策[J].中国水土保持科学,2010,8(6):64-68.