

基于USLE模型的重庆生态涵养发展区土壤侵蚀量估算

张超¹, 陈国建^{1,2}, 李春娟¹, 肖卓勇¹, 李春利¹, 李娟娟¹, 廖良宇¹

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 400047)

摘要: 利用USLE模型估算渝东北生态涵养发展区土壤侵蚀量, 并对研究区土壤侵蚀强度进行分级, 以此为基础进一步分析不同降雨侵蚀力、坡度、土壤类型下的土壤侵蚀强度分布特征。结果表明: 本研究区土壤侵蚀量大致呈东北向西南递减的趋势, 东部山地土壤受侵蚀最严重, 西部山间丘陵地带土壤侵蚀量相对较小, 研究区平均土壤侵蚀模数为 $30.15 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 土壤侵蚀量为 10 220.85 万 t/a 。研究区各区县土壤侵蚀分布情况可划分为三类: (1) 重点预防保护区。土壤侵蚀以微度和轻度侵蚀为主, 林草覆盖度较高, 但有水土流失加剧的危险, 代表区县是忠县、梁平、垫江; (2) 重点监督区。土壤侵蚀以中度和强度侵蚀为主, 土壤侵蚀相对严重, 代表区县为云阳、万州、巫山、奉节、丰都; (3) 重点治理区。土壤侵蚀以极强度和剧烈侵蚀为主, 土壤侵蚀最严重, 代表区县为巫溪、开县、城口。降雨侵蚀力为 $3\,000 \sim 4\,000 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/}(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, 坡度在 25° 以上, 土壤为石灰土、紫色土或黄褐土的地区, 土壤侵蚀以强度、极强度和剧烈侵蚀为主, 是水土流失治理的重点。

关键词: 土壤侵蚀量; USLE模型; 渝东北; 生态涵养发展区

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)03-0033-06

Estimate of Soil Erosion Amount of the Ecological Conservation Development Area in Chongqing Based on the USLE Model

ZHANG Chao¹, CHEN Guojian^{1,2}, LI Chunjuan¹, XIAO Zhuoyong¹,
LI Chunli¹, LI Juanjuan¹, LIAO Liangyu¹

(1. Geography and Tourism College, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Surface Processes and Environmental Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400047, China)

Abstract: USLE model was used to estimate soil erosion in the Ecological Conservation Development Area in Chongqing, and the soil erosion intensity of this area was classified according to criterion. The distribution characteristics of soil erosion intensity for different rainfall erosion forces, slope grades and soil types were analyzed. The results indicate that the amount of soil erosion in this research area roughly presents the trend of decreasing from the northeast to the southwest, the soil erosion was the most severe in the eastern highlands of the study area, and the soil erosion in the hilly region of the west was relatively slight, the average soil erosion modulus in this area was $30.15 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, the amount of soil erosion was 10 2.2085 million t/a . The distribution of soil erosion intensity in every district can be divided into three categories: (1) the key preventing and protecting area, the soil erosion of these areas is mainly micro and slight erosion, vegetation coverage is higher than others, but there is a danger of aggravating the soil erosion, representative districts such as Zhongxian, Liangping, and Dianjiang; (2) the key supervising area, the soil erosion of these areas is mainly middle intensity erosion and intensity erosion, soil erosion is relatively serious, representative districts: Yunyang, Wanzhou, Wushan, Fengjie and Fengdu; (3) the key controlling area, the soil erosion of these areas is mainly the extreme intensity erosion and the violent intensity erosion, soil erosion is the most serious, representative districts: Wuxi, Kaixian and Chengkou. The soil erosion of the areas that rainfall erosivity ranges between $3\,000 \sim 4\,000 \text{ (MJ} \cdot \text{mm)/}(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, the slope is above 25° , the soil is calcareous soil, purplish soil or yellow cinnamon soil, erosion is identified as the intensive level, the extreme intensity erosion and the violent intensity erosion, those areas are the focus of soil erosion control.

收稿日期: 2016-07-31

修回日期: 2016-09-04

资助项目: 国家自然科学基金(41471234); 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2015jcyjBX0141); 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC, 2010BB0326); 重庆市教委社科项目(08JWSK043); 重庆师范大学博士资助项目(05XLB)

第一作者: 张超(1992—), 男, 辽宁凌海人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化治理。E-mail: zhangchao199226@qq.com

通信作者: 陈国建(1975—), 男, 博士, 副教授, 从事水土保持, 生态修复研究。E-mail: 956228510@qq.com

Keywords: soil erosion amount; USLE model; northeast of Chongqing; ecological conservation development area

对土壤侵蚀的研究,最早开始于对“侵蚀小区”的观测和分析,得到大量土壤侵蚀的数据和资料^[1],随后土壤侵蚀模型 USLE 得以建立和发展,标志着土壤侵蚀进入量化研究阶段^[2],随着新技术的不断出现,如 3S 技术、放射性核素示踪技术等,为土壤侵蚀研究提供了新的技术手段^[3]。USLE 模型是目前世界上应用最广的土壤侵蚀量估算模型^[4],具有形式简单,计算便利的特点,适于快速估算土壤侵蚀量,实用性强。我国学者对模型各因子的计算方法进行了较多研究^[5-7],作为重庆市的生态涵养区,渝东北地区的水土保持生态建设是工作重点。为研究渝东北生态涵养发展区土壤侵蚀强度和分布状况,本文利用 USLE 模型,通过因子分析,对渝东北生态涵养发展区的土壤侵蚀量进行计算,为该地区的水土流失防治及生态环境建设提供理论基础和现实指导。

1 研究区概况

渝东北生态涵养发展区位于重庆市东北部,包括万州区、梁平县、城口县、丰都县、垫江县、忠县、开县、云阳县、奉节县、巫山县、巫溪县 11 个区县,面积约 3.39 万 km²。地处三峡库区核心区,人多地少,地质灾害频发,生态环境脆弱。渝东北生态涵养发展区属于亚热带季风性湿润气候,年降雨量 1 000~1 200 mm,降雨量大且集中,多暴雨,年均气温 17~19℃,土壤以紫色土和黄壤为主。地形崎岖,落差大,最高点位于巫溪县阴条岭,海拔 2 796.8 m,最低点位于巫山县巫峡江面,海拔 95 m。土地利用以林地为主,其次为旱地和水田,土壤侵蚀以重力侵蚀和水力侵蚀为主^[8]。社会经济并不发达,2014 年地区总产值为 24 660 500 万元,仅位列五大功能区的第四位^[9]。农作物以水稻为主,还种植玉米、马铃薯等。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

本研究采用的数据来源为:中国气象数据网获得的渝东北生态涵养发展区近 50 a 逐月气象数据,地理空间数据云下载的该地区 30 m 分辨率的 DEM 影像及 Landsat 8 卫星遥感影像,中国土壤数据库下载的 1:100 万重庆土壤图。

2.2 研究方法

本文采用 USLE 模型算法,该模型较好地模拟了影响土壤侵蚀的降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡长、坡度、植被覆盖度和管理、水土保持措施等因子,其基

本形式如下:

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

式中: A 为单位面积年平均水土流失量 $[\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$; R 为降雨侵蚀力因子 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; K 为土壤可蚀性因子 $[(\text{t} \cdot \text{h})/(\text{MJ} \cdot \text{mm})]$; L 为坡长因子; S 为坡度因子; C 为植被与管理因子; P 为水土保持措施因子。各因子数值计算分别如下:

2.2.1 降雨侵蚀力因子 R 值计算 目前对降雨侵蚀力的计算应用较多的是由美国学者 Wischmeier 提出的降雨侵蚀力指标: EI_{30} 指数。由于 EI_{30} 数据的获取难度较大,国内外学者不断探索利用常规降雨资料估算 R 值的方法。卜兆宏等^[10]提出了汛期雨量与 R 值的关系式。刘秉正^[11]提出了渭北地区 R 值的估算公式,该公式只采用了 6—9 月降雨数据,而本研究区的侵蚀性降雨发生时间可以延伸到 4—10 月,因此该方法不适用于本研究区。经过综合比较,本研究决定采用高克昌等^[12]提出的降雨侵蚀力估算模型:

$$R=0.685X^3-67.17X^2+2178.6X-21347$$

$$r^2=0.9708 \quad (2)$$

$$X=(0.94x_4+0.52x_5+3.9x_6+6.96x_7+6.42x_8+2.07x_9+0.46x_{10})/100 \quad (3)$$

式中: R 为估算的年降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; X 为年有效降雨量(mm); x_4, x_5, \dots, x_{10} 为当年 4—10 月的月降雨量(mm)。

将近 50 a 来的月降雨资料利用上式进行计算,得到本研究区年降雨侵蚀力数值,汇总见表 1,将数值导入到 ArcGIS 10.1 中,绘制降雨侵蚀力分布图。

表 1 渝东北生态涵养发展区降雨侵蚀力表

区县	降雨侵蚀力 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$
城口	4295
开县	4047
云阳	2879
巫溪	3054
奉节	2621
巫山	1916
垫江	2915
梁平	3980
万州	3256
忠县	2354
丰都	1589

由表 1 可知,本研究区各区县降雨侵蚀力差异较大,变化范围为 1 589~4 295 $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$,各区县按降雨侵蚀力大小可以分为 4 类:(1) $R < 2 000$ $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$:包括巫山、丰都 2 个区县;

(2) $2\,000\text{ (MJ} \cdot \text{mm)}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}) \leq R < 3\,000\text{ (MJ} \cdot \text{mm)}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$: 包括云阳、奉节、垫江、忠县 4 个区县; (3) $3\,000\text{ (MJ} \cdot \text{mm)}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}) \leq R < 4\,000\text{ (MJ} \cdot \text{mm)}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$: 包括巫溪、梁平、万州 3 个区县; (4) $R \geq 4\,000$: 包括城口、开县 2 个区县。大多数区县降雨侵蚀力为 $2\,000 \sim 3\,000\text{ (MJ} \cdot \text{mm)}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

由图 1A 可知,本研究区降雨侵蚀力空间分布不均匀,大致呈由西北向西南和东南递减的趋势,形成了以城口、开县、梁平三个区县为中心的高降雨侵蚀力区域和以巫山、丰都两个区县为中心的低降雨侵蚀力区域。本研究区降雨侵蚀力最高值出现在城口县,为 $4\,295\text{ (MJ} \cdot \text{mm)}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$,最低值出现在丰都县,为 $1\,589\text{ (MJ} \cdot \text{mm)}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$,降雨侵蚀力高低差异明显。

2.2.2 土壤可蚀性因子 K 值计算 吴昌广等^[13]通过建立三峡库区土壤理化性质数据库,对土壤质地标准进行转换,采用几何平均粒径模型修正公式进行计算,最后进行面积加权平均,得到三峡库区各土壤 K 值,计算结果比较科学合理,本研究决定采用该方法,经过一系列计算处理,最终制作出了渝东北生态涵养发展区土壤可蚀性 K 值分布图(图 1B)。

由图 1B 可知,本研究区 K 值空间分布大致呈由南向北,由西向东递减的趋势。本研究区 K 值最大值为黄褐土 $0.019\,5$,最小值为棕壤 $0.007\,5$ 。 K 值较高的西部南部地区土壤为紫色土($0.017\,4$)和水稻土($0.018\,2$); K 值较低的东部北部地区土壤为棕壤

($0.007\,5$)和黄壤($0.016\,6$)。

2.2.3 坡长坡度因子 LS 值计算 坡长、坡度因子是引发土壤侵蚀的地形要素,不同的坡度坡长组合在降雨时会造成不同程度的土壤侵蚀。关于地形因子的计算方法,不同地区存在差异。考虑到本研究区地形崎岖的独特地理条件,本文采用如下公式进行 L 因子计算^[14]:

$$L = (\lambda/22.13)^m \quad (4)$$

$$m = \beta/(1+\beta) \quad (5)$$

$$\beta = (\sin\theta/0.0896)/[3.0 \times (\sin\theta)^{0.8} + 0.56] \quad (6)$$

由于本研究区大多数地形大于 10° ,因此采用刘宝元等^[15]改进的 S 因子的计算方法:

$$S = \begin{cases} 10.8\sin\theta + 0.03 & \theta < 5^\circ \\ 16.8\sin\theta - 0.50 & 5 \leq \theta \leq 10^\circ \\ 21.91\sin\theta - 0.96 & \theta > 10^\circ \end{cases} \quad (7)$$

式中: L 为坡长因子; m 为可变坡长指数; 22.13 为标准小区坡长; S 为坡度因子; θ 为坡度。

将 DEM 导入到 ArcGIS 10.1 中,按照上述公式计算出研究区的 S 因子;在 S 因子计算结果的基础上,通过计算汇流累积量,间接求得 L 因子值,渝东北生态涵养发展区坡长坡度 LS 值分布图见图 1C。

由图 1C 可知,本研究区 LS 因子大致呈东北向西南递减的趋势,东部和北部由于有山地存在,因而地形陡峻,落差大, LS 因子数值大。西南部多为丘陵地区,地形落差相对较小, LS 因子数值小。

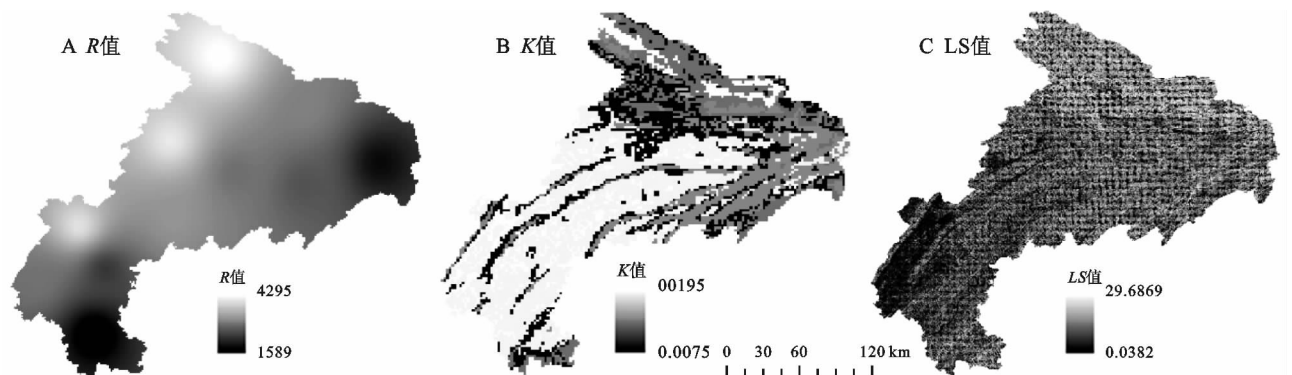


图 1 渝东北生态涵养发展区 R 值、 K 值、 LS 值分布

2.2.4 植被与管理因子 C 值计算 植被覆盖与管理因子反映的是地面植被覆盖情况对土壤侵蚀的影响。本文采取蔡崇法等^[16]的计算公式:

$$C = \begin{cases} 1 & f = 0 \\ 0.650\,8 \sim 0.3436 \lg f & 0 < f < 0.783 \\ 0 & f \geq 0.783 \end{cases} \quad (8)$$

$$f = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}) \quad (9)$$

式中: C 为植被覆盖与管理因子; f 为植被覆盖度, NDVI 为求得的归一化植被指数, NDVI_{\max} , NDVI_{\min} 分别为求得的 NDVI 的最大值和最小值。

将本研究区遥感影像用 ENVI 5.1 计算 NDVI , 进而计算 f 值,将图像导入 ArcGIS 10.1 中计算 C 因子,渝东北生态涵养发展区植被与管理因子 C 值分布图见图 2A。

由图 2A 可知,本研究区 C 值空间分布大致呈由中部向四周递减, C 值较高的区县有开县、云阳等地。 C 值较低的区县有城口、梁平、垫江等地。由于研究区森林覆盖率高,各区县 C 值差异并不显著。

2.2.5 水土保持措施 P 值计算 不同土地利用方

式下, P 因子取值不同。将本研究区遥感影像进行人工解译, 结合本研究区森林覆盖率高, 水田多为水平梯田, 旱地多为坡耕地的实际情况, 引用相关文献^[17], 对不同土地利用类型进行赋值, 最终得到各利用类型 P 值见表 2, 并制作成渝东北生态涵养发展区水土保持措施因子 P 值分布图(图 2B)。

表 2 渝东北生态涵养发展区水土保持措施 P 值

土地利用类型	水田	旱地	林地	水域	其他
P 值	0.01	0.35	0.2	0	1

由表 2 可知, 本研究区各土地利用类型 P 因子值大小顺序为: 其他>旱地>林地>水田>水域。旱地和林地 P 值较大, 水田 P 值较小, 水田可以有效减少土壤流失量, 水土保持效果优于旱地, 水域则视为不发生侵蚀。

由图 2B 可知, 本研究区土地利用类型中, 林地占较多比例, 其次为旱地和水田。 P 因子大致呈由西向东, 由南向北的趋势递减。 P 值较高的区县有垫江、云阳、奉节等地; P 值较低的区县有城口、梁平、巫溪等地。

3 结果与分析

3.1 渝东北生态涵养发展区土壤侵蚀量空间分布

将各因子图在 ArcGIS 10.1 中统一转换成空间分辨率为 30 m, 投影方式为 Albers 正轴等积割圆锥

投影的栅格影像进行叠加分析, 各因子连乘后得到土壤侵蚀量图, 结果见图 2C。

由图 2C 可知, 本研究区土壤侵蚀量大致呈东北向西南递减的趋势, 研究区东部山地土壤侵蚀最严重, 西部山间丘陵地带土壤侵蚀量相对较小。研究区平均土壤侵蚀模数为 30.15 t/(hm² · a), 土壤侵蚀量为 10 220.85 万 t/a。土壤侵蚀量较大的区县有城口、巫溪、开县、云阳、奉节等地, 土壤侵蚀量较小的区县有垫江、梁平等地。

3.2 渝东北生态涵养发展区土壤侵蚀强度空间分布

根据水利部颁布的土壤侵蚀分级标准^[18]对渝东北生态涵养发展区土壤侵蚀强度进行分级。结果表明, 本研究区微度侵蚀所占比例和面积分别为 22.08%, 7 484.03 km²; 轻度侵蚀为 15.45%, 5 239.19 km²; 中度侵蚀为 15.77%, 5 347.33 km²; 强度侵蚀为 18.28%, 6 197.54 km²; 极强度侵蚀为 21.76%, 7 375.89 km²; 剧烈侵蚀为 6.65%, 2 256.02 km²。微度侵蚀占比例最大, 极强度侵蚀占比例略小于微度侵蚀, 说明研究区土壤受侵蚀严重, 水土保持工作尤为必要; 本研究区各土壤侵蚀强度所占比例排序如下: 微度侵蚀>极强度侵蚀>强度侵蚀>中度侵蚀>轻度侵蚀>剧烈侵蚀。将各区县土壤侵蚀强度分布情况汇总结果见表 3。

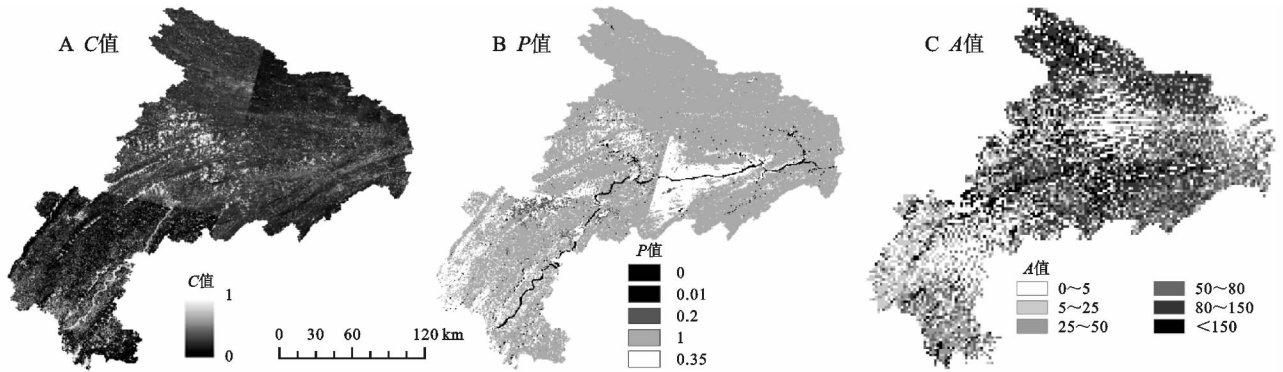


图 2 渝东北生态涵养发展区植被与管理因子 C 值、 P 值、 A 值分布

根据土壤侵蚀强度分布情况及水土流失防治区划分标准^[19]将本研究区各区县分为三类: (1) 重点预防保护区。土壤侵蚀以微度和轻度侵蚀为主, 林草覆盖度较高, 但有水土流失加剧的危险。代表区县有忠县、梁平、垫江; (2) 重点监督区。中度和强度侵蚀所占比例大, 地表受扰动程度大, 土壤侵蚀较严重。代表区县有云阳、万州、巫山、奉节、丰都; (3) 重点治理区。极强度和剧烈侵蚀所占比例较大, 土壤侵蚀最严重。代表区县有巫溪、开县、城口。

3.2.1 不同降雨侵蚀力下土壤侵蚀强度分布特征 将土壤侵蚀量分布图与降雨侵蚀力分布图进行叠加, 得到研究区不同降雨侵蚀力条件下土壤侵蚀强度分布

情况, 结果见表 4。

表 3 渝东北生态涵养发展区各区县土壤侵蚀强度表

区县	侵蚀强度/%					
	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
忠县	55.18	19.23	12.71	9.36	2.51	1.00
云阳	18.14	11.86	8.63	16.37	28.73	16.27
巫溪	20.84	14.47	15.83	16.20	31.12	1.55
巫山	27.75	15.52	24.04	24.86	7.55	0.27
万州	22.63	10.67	14.19	20.17	21.45	10.89
梁平	32.92	25.15	13.29	13.09	9.00	6.54
开县	16.99	18.19	13.48	18.47	24.65	8.22
奉节	10.02	9.11	18.21	30.87	29.42	2.37
丰都	19.95	19.69	28.96	20.33	6.18	4.89
垫江	27.14	45.23	17.34	6.78	1.76	1.76
城口	14.08	5.52	8.69	12.32	45.77	13.62

表 4 不同降雨侵蚀力下各级土壤侵蚀强度分布

$R/(MJ \cdot mm \cdot$ $hm^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1})$	侵蚀强度/%					
	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
1000~2000	3	6	12	5	1	3
2000~3000	48	47	48	49	35	30
3000~4000	45	46	39	43	56	52
>4000	3	1	1	3	8	15

由表 4 可知,1 000~2 000 (MJ · mm)/(hm² · h · a):中度侵蚀所占比例最大,达到 12%;2 000~3 000 (MJ · mm)/(hm² · h · a):微度、轻度、中度、强度侵蚀所占比例均较大,分别为 48%,47%,48%和 49%;3 000~4 000 (MJ · mm)/(hm² · h · a):极强度和剧烈侵蚀占有较大比例,分别占 56%和 52%; $R>4\,000$ (MJ · mm)/(hm² · h · a):剧烈侵蚀所占比例最大,达到 15%。总体来看,各级土壤侵蚀主要分布在 R 为 2 000~4 000 (MJ · mm)/(hm² · h · a)的地区。

3.2.2 不同坡度下土壤侵蚀强度分布特征 将土壤侵蚀量分布图与坡度图进行叠加,得到研究区不同坡度条件下土壤侵蚀强度分布情况,结果见表 5。

表 5 不同坡度中的各级土壤侵蚀强度分布

坡度/ (°)	侵蚀强度/%					
	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
0~8	31	36	27	24	19	18
8~15	15	18	16	14	10	14
15~25	20	19	24	22	20	26
25~35	16	15	18	21	21	22
>35	18	13	15	19	30	20

由表 5 可知:(1) 0°~8°,微度和轻度侵蚀所占比较大,分别为 31%和 36%;8°~15°,轻度和中度侵蚀所占比例较大,分别为 18%和 16%;15°~25°,中度和剧烈侵蚀所占比例较大,分别为 24%和 26%;25°~35°,强度、极强度和剧烈侵蚀所占比例较大,分别为 21%,21%和 22%;坡度>35°,极强度和剧烈侵蚀所占比例较大,分别为 30%和 20%。(2) 微度、轻度、中度和强度侵蚀集中分布在 0°~8°地区,极强度侵蚀集中分布在坡度>35°地区,剧烈侵蚀集中分布在 15°~25°地区。总体来看,土壤侵蚀强度呈现随着坡度的增大而加重的趋势。

3.2.3 不同土壤类型下土壤侵蚀强度分布特征 将土壤侵蚀量分布图与土壤类型图进行叠加,得到研究区不同土壤类型条件下的土壤侵蚀强度分布情况,结果见表 6。

由表 6 可知,棕壤、粗骨土和黄壤土壤侵蚀强度均以中度和强度侵蚀为主;新积土土壤侵蚀强度以微度侵蚀为主;黄棕壤和山地草甸土土壤侵蚀强度均以微度和极强度侵蚀为主;石灰土土壤侵蚀强度以强度和极强度侵蚀为主;紫色土土壤侵蚀强度以轻度和剧

烈侵蚀为主;水稻土土壤侵蚀强度以微度和轻度土壤侵蚀为主;黄褐土土壤侵蚀强度以极强度和剧烈侵蚀为主。总体来看,石灰土、紫色土和黄褐土土壤侵蚀强度较大,多为强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀;棕壤、粗骨土和新积土土壤侵蚀强度较小,多为微度侵蚀和轻度侵蚀。

表 6 不同土壤类型下各级土壤侵蚀强度分布

土壤类型	侵蚀强度/%					
	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
棕壤	3.04	3.42	6.42	4.27	0.00	0.00
粗骨土	0.10	0.21	0.35	0.24	0.05	0.00
新积土	0.20	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00
黄壤	16.79	20.00	23.57	23.41	17.44	18.84
黄棕壤	11.51	6.19	6.83	10.11	25.38	10.41
石灰土	13.00	13.02	15.76	20.70	19.97	14.05
山地草甸土	0.45	0.36	0.14	0.24	0.46	0.00
紫色土	41.60	42.70	37.17	32.91	26.95	41.65
水稻土	12.06	13.31	8.58	6.68	4.25	5.79
黄褐土	1.25	0.71	1.12	1.44	5.51	9.26

4 结 论

(1) 渝东北生态涵养发展区土壤侵蚀量大致呈东北向西南递减的趋势,平均土壤侵蚀模数为 30.15 t/(hm² · a),土壤侵蚀量为 10 220.85 万 t/a。城口、巫溪、开县、云阳、奉节等区县土壤侵蚀量较大,垫江、梁平等区县土壤侵蚀量相对较小。

(2) 本研究区微度侵蚀所占比例和面积分别为 22.08%,7 484.03 km²;轻度侵蚀为 15.45%,5 239.19 km²;中度侵蚀为 15.77%,5 347.33 km²;强度侵蚀为 18.28%,6 197.54 km²;极强度侵蚀为 21.76%,7 375.89 km²;剧烈侵蚀为 6.65%,2 256.02 km²。根据土壤侵蚀强度分布情况及水土流失防治区划分标准将本研究区各区县分为三类:(1)重点预防保护区。土壤侵蚀以微度和轻度侵蚀为主,林草覆盖度较高,但有水土流失加剧的危险。代表区县有忠县、梁平、垫江;(2)重点监督区。中度和强度侵蚀所占比例大,土壤侵蚀相对严重。代表区县有云阳、万州、巫山、奉节、丰都;(3)重点治理区。极强度和剧烈侵蚀所占比例较大,土壤侵蚀最严重。代表区县有巫溪、开县、城口。

(3) 不同降雨侵蚀力条件下,极强度和剧烈侵蚀集中分布在 3 000~4 000 (MJ · mm)/(hm² · h · a),土壤侵蚀强度大。不同坡度条件下土壤侵蚀强度呈现随着坡度的增大而加重的趋势,25°以上地区,土壤侵蚀以强度、极强度和剧烈侵蚀为主,坡耕地是水土保持工作的重点。不同土壤类型条件下,石灰土、紫色土和黄褐土土壤侵蚀多为强度、极强度和剧烈侵蚀,应加强土壤侵蚀治理力度。

参考文献:

- [1] Miller M F. Waste through soil erosion[J]. Journal Am. Soc. Agron., 1926(18):153-160.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning[M]. Agriculture Handbook, USDA, 1978:537.
- [3] 汪亚峰,傅伯杰,陈利顶,等. 黄土丘陵小流域土地利用变化的土壤侵蚀效应:基于¹³⁷Cs示踪的定量评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7):1571.
- [4] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. U. S. Dep. Agric., Handb. 1978.
- [5] 张坤,洪伟,吴承祯,等. 福建省降雨侵蚀力 R 值预测预报方法研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3):23-25, 48.
- [6] 曹佳云,杨勤科,王程,等. 县域 LS 因子提取与分析:以陕西长武县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2):7-10.
- [7] 赵辉,郝志敏,齐实,等. 南方丘陵紫色页岩地区土壤可蚀性因子 K 值的确定:以湖南衡阳为例[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6):41-43.
- [8] 陈升琪. 重庆地理[M]. 重庆:西南师范大学出版社, 2003.
- [9] 重庆统计局,国家统计局重庆调查总队. 重庆统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2015.
- [10] 卜兆宏,董勤瑞,周伏建,等. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(4):408-418.
- [11] 刘秉正. 渭北地区 R 的估算及分布[J]. 西北林学院学报, 1993, 8(2):21-29.
- [12] 高克昌,赵纯勇. 重庆市主城区降雨侵蚀力计算方法与特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6):13-16.
- [13] 吴昌广,曾毅,周志翔,等. 三峡库区土壤可蚀性 K 值研究[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(3):8-12.
- [14] 郭宏忠,才业锦,陈琳,等. 基于 USLE 模型的重庆仙鱼小流域土壤流失减少比例评价[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2011, 33(1):79-84.
- [15] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope Length Effect on Soil Loss for Steep Slopes [J]. Soil Sci., 2000, 64(5):1759-1763.
- [16] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 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.
- [17] 高凤杰,雷国平,宋戈,等. 牡丹江市退耕还林对区域土壤侵蚀的影响研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4):14-18.
- [18] 中华人民共和国水利部. SL190—2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2007.
- [19] 中华人民共和国水利部. 关于划分国家级水土流失重点防治区的公告[EB/OL]. http://zwgk.mwr.gov.cn/zfxgkml/201212/t20121217_335204.html, 2016-05-02.

(上接第 32 页)

参考文献:

- [1] 范昊明,武敏,周丽丽,等. 融雪侵蚀研究进展[J]. 水科学进展, 2013, 24(1):146-152.
- [2] 韩富伟,张柏,王宗明,等. 吉林省低山丘陵区水土保持措施减蚀效应研究[J]. 吉林农业大学学报, 2007, 29(6):668-672.
- [3] Henry H A L. Climate change and soil freezing dynamics: historical trends and projected changes[J]. Climatic Change, 2008, 87(3/4):421-434.
- [4] 陈雪,蔡强国,王学强. 典型黑土区坡耕地水土保持措施适宜性分析[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5):44-49.
- [5] 陈光,范海峰,陈浩生,等. 东北黑土区水土保持措施减沙效益监测[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(6):13-17.
- [6] 吕刚,班小峰,雷泽勇,等. 东北黑土区坡耕地治理过程中的水土保持效应[J]. 水土保持研究, 2009, 16(6):51-55.
- [7] 张少良,张兴义,刘晓冰,等. 典型黑土侵蚀区不同耕作措施的水土保持功效研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3):11-15.
- [8] 张玉斌,曹宁,苏晓光,许等. 吉林省低山丘陵区水土保持措施对土壤性质的影响[J]. 水土保持通报, 2009, 29(5):224-229.
- [9] 范建荣,王念忠,陈光,等. 东北地区水土保持措施因子研究[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(3):75-78.
- [10] 林燕,谢云,王晓岚. 土壤水蚀模型中的融雪侵蚀模拟研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3):16-20.
- [11] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An Empirical Soil Loss Equation: Proceedings of 12th ISCO conference [M] // Process of soil Erosion and Its Environment Effect. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [12] 周宏飞,王大庆. 新疆天池自然保护区春季融雪产流特征分析[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4):68-71.
- [13] 边锋,郑粉莉,徐锡蒙,等. 东北黑土区顺坡垄作和无垄作坡面侵蚀过程对比[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1):11-16.
- [14] 李京图,张宝林. 水平槽造林整地工程及效果[J]. 中国水土保持, 1994, 0(6):24-25.
- [15] 孟令钦,李勇. 东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1):7-11, 44.
- [16] 邱璧迎,范昊明,武敏,等. 上坡融雪径流对下坡融雪影响的模拟试验[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(5):72-76.