
* 试 验 研 究 *

2000—2012 年三峡库区土壤侵蚀动态变化 ——以重庆市万州区为例

陆传豪^{1,2}, 代富强³, 刘刚才¹

(1. 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;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067)

摘 要: [目的] 研究重庆市万州区土壤侵蚀在三峡成库前后的动态变化特征, 为区域防治水土流失和改善土地利用提供科学依据。[方法] 运用修正通用土壤流失方程(RUSLE)和 GIS 工具, 基于各期基础数据, 分析万州区 2000—2012 年土壤侵蚀的动态变化过程。[结果] (1) 2000—2012 年万州区年均土壤侵蚀模数经历了先下降后小幅回升的变化过程, 最小值出现在 2007 年, 2012 年较之 2000 年剧烈侵蚀区面积下降了 34.24%, 微度侵蚀区面积上升了 7.66%; (2) 研究期内, 万州区侵蚀等级转化的空间分布与侵蚀分布具有较高的相似性, 侵蚀等级转化活跃斑块集中于铁峰山与方斗山之间的丘陵低山地区, 东南侧山地区域转化活跃度较低; (3) 土壤侵蚀强度等级转移矩阵表明 2000—2012 年侵蚀强度整体向低等转化; 其中 2000—2007 年土壤侵蚀强度不变地区占 76.56%, 22.78% 的区域向低级转化, 转变幅度较大; 2007—2012 年侵蚀呈现相反的转变态势, 稳定比例较高, 仅有 9.77% 的区域向高级转化。[结论] 2000—2012 年万州地区地表的侵蚀状况在逐步减轻, 土壤侵蚀强度下降明显, 但 2007 年之后侵蚀状况有所反弹, 部分区域的侵蚀形势仍较为严峻, 应进一步制定有效的侵蚀防治方案, 推进合理的土地利用措施, 降低侵蚀量, 提高土壤保持能力。

关键词: 土壤侵蚀; 时间变化; 空间动态变化; 重庆市万州区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0001-08

中图分类号: P964

文献参数: 陆传豪, 代富强, 刘刚才. 2000—2012 年三峡库区土壤侵蚀动态变化[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6):1-8. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.001; Lu Chuanhao, Dai Fuqiang, Liu Gangcai. Dynamic changes of soil erosion in Three Gorges reservoir area from 2000 to 2012[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6):1-8. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.001

Dynamic Changes of Soil Erosion in Three Gorges Reservoir Area from 2000 to 2012 —A Case Study at Wanzhou District of Chongqing City

LU Chuanhao^{1,2}, DAI Fuqiang³, LIU Gangcai¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences,

Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. College of Tourism and Land Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: [Objective] The study analyzed soil erosion in different stages during the construction of Three Gorges Project in order to give support to decrease soil erosion and to improve land-use plan. [Methods] Wanzhou District of Chongqing City was taken as research region, the original observed data, revised universal soil loss equation (RUSLE) and GIS method were applied to investigate the dynamic changes of soil erosion. [Results] The result showed that from year 2000 to 2012, soil erosion intensity decline first and reached the lowest in 2007, then rose slightly. Severe erosive area decreased by 34.24%, and mild erosive area increased by 7.66%. The spatial distribution of soil erosion grade variation was similar to that of actual soil erosion during the study period. Soil erosion grade variation also had the same distribution characteristics in different period. The most active change of erosive grade concentrated in the area between Tiefeng

收稿日期: 2017-06-04

修回日期: 2017-06-19

资助项目: 国家自然科学基金项目“气候变化对紫色土容许土壤流失量的影响”(41471232); 重庆市教委科技项目“三峡水库屏障区生态系统服务功能非线性耦合机理与调控模拟研究”(KJ1600611)

第一作者: 陆传豪(1988—), 男(汉族), 浙江省诸暨市人, 博士研究生, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: luchh@foxmail.com。

通讯作者: 代富强(1980—), 男(汉族), 四川省都江堰市人, 博士, 副教授, 主要从事生态评价与可持续发展研究。E-mail: daifq@ctbu.edu.cn。

mountain and Fangdou mountain. The southeast part of the research area had low activity in grade change. Transfer matrix of soil erosion intensity showed that soil erosion intensity declined from 2000 to 2012. From 2000 to 2007, about 76.56% of the research area stayed at its original level; 22.78% of the area downgraded gradually. The second stage, from 2007 to 2012, trend of change in erosion intensity was stable, merely 9.77% of the area transformed to higher level. [Conclusion] In 2000—2012, the soil erosion of the surface at Wanzhou District was gradually, and the soil erosion decreased obviously, but after 2007, the erosion situation rebounded, and the erosion situation in some areas was still serious. There is still a strong need for adopting soil erosion control measures, for improving land use measures, and reducing erosion and raising the level of soil conservation.

Keywords: soil erosion; temporal variation; dynamic spatial change; Wanzhou District of Chongqing City

土壤侵蚀是人类面临的主要环境问题之一,当前全球侵蚀面积占到了陆地总面积的 10.95%,形势极为严峻。中国是土壤侵蚀较为严重的国家,目前侵蚀面积达到 $4.83 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占国土面积的 50.78%, 土壤侵蚀已成为威胁我国社会经济发展的主要环境问题^[1]。土壤侵蚀研究始于 19 世纪后期;1965 年 Wischmeier 等^[2] 提出著名的通用土壤流失方程 (USLE);1997 年美国农业部对 USLE 方程进行改进得到修正通用土壤流失方程 (RUSLE)^[3]。20 世纪 90 年代开始 RUSLE 方程与 GIS 等技术相结合的研究方法逐步成为热门^[4]。国内土壤侵蚀研究开展略晚于国外,20 世纪 40 年代黄瑞采^[5] 对降雨坡度等影响因子与土壤侵蚀之间的关系进行了初步探索;50 年代黄秉维^[6] 通过考察对黄土高原土壤侵蚀进行了分类分区。90 年代之后,部分学者基于大量研究先后提出了符合我国实际的侵蚀模型,如刘宝元等^[7] 建立了适用于全国的土壤侵蚀预测方程 (CSLE);江忠善等^[8] 通过研究沟蚀,提出了将沟谷和沟间地进行区分的预测模型等。自 20 世纪 90 年代开始,物理过程模型也得到了快速发展,最著名的如美国提出的水蚀预测模型 (WEPP)^[9],但物理模型的适用条件较为苛刻,限制了大范围的推广,当前仍以 RUSLE 模型应用最为广泛。

2000—2012 年,三峡工程的兴建运行使得长江水位逐步上升,一定程度上影响了其土壤侵蚀的条件。重庆市万州区是三峡库区的社会经济中心,也是三峡建设过程中移民最多的地区,受三峡工程影响极为深远。本次研究通过分析重庆市万州区土壤侵蚀在三峡蓄水前后的动态变化过程,探讨其变化特征和趋势,以期对三峡库区水土保持和环境保护工作提供决策依据。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

万州区位于四川盆地东缘,三峡库区腹心地带,是

渝东北及整个三峡库区的社会经济中心与交通枢纽,坐标东经 $107^{\circ}55'22''$ — $108^{\circ}53'25''$,北纬 $30^{\circ}24'00''$ — $31^{\circ}14'58''$,总面积 $3\,457 \text{ km}^2$ 。属亚热带季风湿润气候,四季分明,雨量充沛,日照充足,年平均气温 17.7°C ,多年平均降雨量 $1\,243 \text{ mm}$ 左右。万州位于川东地质构造地带,长江自西南东北走向贯穿全境,区内地形较为破碎,低山丘陵、中低山及各类平坝山地占到全区面积的 1/2 以上。土壤类型有紫色土、水稻土、黄壤、石灰土等^[10]。林地和旱地是全区最为主要的土地利用类型,河谷及各类地势平坦区域分布有一定量水田。由于地势起伏大、耕作活动集中等特点,侵蚀产沙风险较高。2000—2012 年三峡工程的兴建和运行使得长江水位快速上升,水域面积扩大,沿江地貌和区域气候发生一定变迁,加之社会经济快速发展,土地利用方式大幅改变。

1.2 数据来源

研究区 2000—2012 年降雨数据来源于中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn>)。土壤数据基于第二次全国土壤普查结果,结合中国土壤数据库万州区 1:330000 土壤类型分布图。万州区 2000—2012 年 DEM (30 m 分辨率) 和遥感影像来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站 (<http://datamirror.csdb.cn>)。土地利用类型数据采用万州区 2000—2012 年历年的土地利用调查结果、区规划项目以及万州 2000—2012 年的政府统计公报等。侵蚀强度划分标准依照《土壤侵蚀分类分级标准 (SL190-2007)》;土地利用分类标准采用《全国遥感监测土地利用/覆盖分类体系》。

2 研究方法

2.1 土壤侵蚀评价模型

本次研究以 GIS 为平台,基于研究区基础数据,运用修正通用土壤流失方程 (RUSLE),选取合理的侵蚀因子计算公式,处理获得万州区历年土壤侵蚀状况。RUSLE 模型在三峡库区已有较长时间应用,其

适用性已得到有效验证。模型基本形式如下^[11]:

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

式中: A ——年平均土壤侵蚀量 $[t/(hm^2 \cdot a)]$;
 R ——降雨侵蚀力因子 $[MJ \cdot mm/(hm \cdot h \cdot a)]$;
 K ——土壤可蚀性因子 $[t \cdot h \cdot hm^2/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)]$;
 LS ——地形因子(无量纲),由坡长因子 L 和坡度因子 S 构成;
 C ——植被覆盖和管理因子(无量纲);
 P ——水土保持措施因子(无量纲)。迄今为止,已有很多对 R, K, LS, C, P 等因子进行计算的方法,但不同方法适用的自然条件存在一定差异,故 Kinnell 等^[12]认为根据实际情况选择算法并修正参数具有重要意义。在完成历年侵蚀量核算后,再利用 GIS 的空间分析等功能对结果进行深入处理和分析。

2.2 评价因子的确定

2.2.1 降雨侵蚀力因子 R 的计算

R 因子是评价降雨侵蚀力的指标,是导致土壤侵蚀的动力因子,多

$$\{1-0.7(1-S_d/100)\}/[1-S_d/100+e^{[-5.51+22.9(1-S_d/100)]}] \quad (4)$$

$$K=(-0.01383+0.51575 \times K_{EPIC}) \times 0.1317 \quad (5)$$

式中: S_d ——砂粒含量(%); S_i ——粉粒含量(%);
 C_i ——黏粒含量(%); C ——有机碳含量(%)。

运用公式(4)计算得到各土壤类型的原始 K 值,后利用公式(5)进行转换修正^[16],再通过 GIS 的转化工具得到 K 值空间分布图。

2.2.3 地形因子 LS 的计算

LS 因子影响了地表物质和能量的再分配,是影响土壤侵蚀的基本要素。本次研究从数字高程模型(DEM)提取和处理获得坡长和坡度,进而计算获得地形因子 LS 。本研究 LS 因子的计算采用 Desmet 和 Govers^[17]提出的适用于复杂景观单元的 LS 计算公式,该公式经过多次修正和改进已具备很高的精度,适合万州区实际地表特征。

坡长因子 L 的计算公式:

$$L=(\lambda/22.13)^m \quad (6)$$

式中: L ——坡长因子; λ ——坡长(m); 22.13 m 是标准小区的坡长;参数 m 的取值为:坡度(%)大于 5%时为 0.5,坡度介于 3%和 5%之间时为 0.4,坡度小于 3%为 0.3。利用 GIS 空间分析工具中水文模块功能,首先从 DEM 中提取流向,再计算累积流向,后结合栅格大小获得原始坡长,并对原始坡长计算结果进行截取获得所需要的最终坡长 λ ,后利用公式(6)计算得到最终坡长因子 L 。

坡度因子 S 的计算公式:

$$\begin{aligned} S &= 10.8 \sin \theta + 0.03 & (\theta < 5^\circ) \\ S &= 16.8 \sin \theta - 0.50 & (5^\circ \leq \theta < 14^\circ) \\ S &= 21.91 \sin \theta - 0.96 & (\theta \geq 14^\circ) \end{aligned} \quad (7)$$

用雨量、雨强等降雨特征指标来估算^[13]。本次研究选择在三峡库区中段涪陵区径流小区观测获得的降雨侵蚀力模型^[14]来推求 R 值:

$$F = \sum_{i=1}^{12} (P_i^2 / P) \quad (2)$$

$$R = 5.249 \times F^{1.205} \quad (3)$$

式中: P_i ——月降雨量(mm); P ——年降雨量(mm)。以万州区多年降雨数据为基础,利用公式(2)和(3)计算研究区历年的 R 值,并运用 ArcGIS 平台对 R 值进行空间化处理转化为栅格数据。

2.2.2 土壤可蚀性因子 K 的计算

K 因子反映在其他条件相同情况下,土壤因自身性质不同产生的侵蚀量差异。本次研究结合吴昌广等^[15]在三峡库区土壤可蚀性 K 值研究中获得的结果,确定 K 值的计算公式:

$$K_{EPIC} = \{0.2 + 0.3e^{[-0.0256S_d(1-S_i/100)]}\} \times [S_i / (C_i + S_i)]^{0.3} \times \{1 - 0.25C / [C + e^{(3.72 - 2.95C)}]\} \times$$

式中: S ——坡度因子; θ ——坡度($^\circ$)。

在坡度小于 14° 区域采用 McCool 等^[18]提出的缓坡坡度计算公式,在大于 14° 的区域采用刘宝元等^[19]在陡坡侵蚀研究中提出的修正计算公式。利用 GIS 的表面分析功能从 DEM 模型中提取坡度,后利用公式(7)获得坡度因子 S 。在得出坡长因子 L 和坡度因子 S 之后再二者结合确定最终的地形因子 LS 分布图。

2.2.4 植被覆盖和管理因子 C 和水土保持措施因子 P 的确定

C 因子是土壤侵蚀的抑制因子,指在某一地表植被覆盖或田间管理措施下,与同等状况下实施清耕的连续休闲土地土壤流失量的比值,反映植被及管理措施对土壤侵蚀的影响。 P 因子指的是特定水土保持措施作用下与未实施水土保持措施下顺坡种植时的土壤流失之比,反映水保措施对水土流失的影响。 C 因子的设置基于重庆市地表覆盖与水土保持因子的实地观测结果^[20],并参考了蔡崇法等^[21]在三峡库区做的 C 因子观测研究。根据观测和研究结果,库区旱地覆盖度低、保水保土能力弱,其 C 值位于 0.31 左右,而水田的状况相对较好约为 0.18;水域和建设用地由于其特殊的表面特性,分别设置为 0 和 0.2;林地草地侵蚀风险低水土保持能力强,根据相关测算数据林地取 0.006,草地取 0.014;未利用土地多为沼泽地和洼地,侵蚀风险较低, C 值为 0.06。 P 因子的设置基于川中丘陵区水土保持措施因子的研究结论^[22]并结合三峡库区相关研究及实地观测的结果。根据当前的 P 值研究成果,对于未采取水土保持措施的土地利用类型的 P 值均设置为 1,这其中

包括自然植被和未利用地;而水域和建设用地由于其特殊的表面特征,均设置为 0;根据相关观测结果,库区坡面旱地的 P 值观测结果介于 0.4~0.8 之间,结合研究区坡地的实际状况设置为 0.7;水田 P 值取库

区较为通用的 0.15。在确定 C 因子和 P 因子值之后,再基于 GIS 平台将 C 因子和 P 因子赋予各土地利用类型,后通过栅格转化得到 C 因子和 P 因子的空间分布图。

表 1 万州区不同土地利用类型的 C 因子值和 P 因子值

| 土地利用类型 | 旱地 | 水田 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 | 未利用地 |
|--------|------|------|-------|-------|----|------|------|
| C 因子 | 0.31 | 0.18 | 0.006 | 0.014 | 0 | 0.2 | 0.06 |
| P 因子 | 0.7 | 0.15 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

3 结果与分析

3.1 结果验证

基于本次研究所选择的模型和获取的数据,计算得到万州区 2000—2012 年的土壤侵蚀状况,本次研究结果与野外实地调查结果相符;与重庆市 2005 年以来各期水土流失普查数据的比值均达到 90% 以上;同时,与其他同类研究如 2009 年刘爱霞等^[23] 运用遥感技术分析三峡库区土壤侵蚀特征所获得的结果基本一致。以上结论可说明本次研究所获得的土壤侵蚀数据可用于进一步分析。

3.2 土壤侵蚀的时间动态变化

基于各期数据计算获得 2000—2012 各年份的降雨侵蚀 R 因子图、土壤可蚀性 K 因子图、地形 LS 因子图、植被覆盖和管理 C 因子图、水土保持措施 P 因子图。其中 R 因子受降雨差异的影响,年际间存在一定程度波动;植被覆盖和管理 C 因子、水土保持措施 P 因子的分布受土地利用类型逐年转变的影响,亦处于动态变化过程;而土壤可蚀性 K 因子和地形 LS 因子在短时期内视作未发生改变。利用前述获得的因子,运用模型计算获得 2000—2012 年的侵蚀状况并选择 2000, 2002, 2004, 2007, 2010 和 2012 年这 6 期数据进行分析。结果表明,2000—2007 年万州土壤侵蚀呈现显著下降态势,2007—2012 年侵蚀状况有小幅回升。研究期内侵蚀模数最大值出现于 2000 年,其年平均侵蚀模数达到了 $41.10 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,侵蚀量为 $1.41 \times 10^7 \text{ t/a}$;2007 年侵蚀程度最轻,侵蚀模数仅为 $28.59 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,侵蚀量为 $9.82 \times 10^6 \text{ t/a}$,较之 2000 年降低了 29.20%;期末 2012 年侵蚀模数为 $33.09 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,侵蚀量为 $1.14 \times 10^7 \text{ t/a}$,与期初相比下降了 $2.76 \times 10^6 \text{ t/a}$,降幅为 19.49%。2012 年侵蚀量低于 2000 年,但高于 2007 年的最低值。研究期内,万州地区土壤侵蚀经历了先下降后小幅回升的变化过程,期末 2012 年侵蚀量较之 2000 年显著降低,但是后期受降雨变化影响土壤侵蚀呈现小幅反弹。

根据水利部颁布的 SL190-2007 土壤侵蚀分类分

级标准,将研究区分为微度、轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈 6 类侵蚀强度区,进而获得研究区各年份土壤侵蚀强度区的分布图(图 1)及统计数据(表 2)。微度侵蚀方面,2000 年微度侵蚀区面积 $1\,938.56 \text{ km}^2$ 占总面积的 56.42%,后逐步上升,到 2007 年达到 $2\,130.97 \text{ km}^2$ 占总面积的 62.02%,之后小幅回落,期末 2012 年较之期初 2000 年增加了 148.44 km^2 ,增幅为 7.66%。剧烈侵蚀区是研究区侵蚀泥沙的主要来源地,2000 年剧烈侵蚀区面积 328.58 km^2 占全区面积的 9.56%,到 2007 年下降到 144.24 km^2 ,期末 2012 年面积比期初减小了 112.50 km^2 ,降幅为 34.24%。此外,2000—2012 年除轻度侵蚀区下降了 16.98% 之外,其余侵蚀强度区面积均有小幅上升,但变化幅度较小。在整个研究时段内,尽管侵蚀状况在后期有小幅反弹,但总体而言微度侵蚀区面积上升,剧烈侵蚀区面积下降,土壤侵蚀状况趋于好转。

表 2 万州区各年份侵蚀强度区面积比例变化

| 侵蚀强度 | 面积比例/% | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2000 年 | 2002 年 | 2004 年 | 2007 年 | 2010 年 | 2012 年 |
| 微度 | 56.42 | 57.92 | 59.32 | 62.02 | 61.33 | 60.74 |
| 轻度 | 13.33 | 12.38 | 11.62 | 10.63 | 10.82 | 11.07 |
| 中度 | 5.36 | 5.61 | 5.87 | 6.63 | 6.07 | 5.84 |
| 强烈 | 5.40 | 5.71 | 6.00 | 6.73 | 6.26 | 6.04 |
| 极强烈 | 9.91 | 10.10 | 10.18 | 9.79 | 9.99 | 10.02 |
| 剧烈 | 9.56 | 8.28 | 7.02 | 4.20 | 5.54 | 6.29 |

3.3 土壤侵蚀的空间动态变化

从历年土壤侵蚀分布图可知,该区土壤侵蚀分布大致以方斗山为界线,西北部侵蚀状况显著高于东南部。剧烈和极强烈侵蚀区主要分布于由郭村镇、襄渡镇、万州城区南侧、长滩镇一线与铁峰山之间的大片区域,其中尤其以大兴乡到响水镇、襄渡镇到万州城区、长滩镇周边这 3 个区域最为集中。微度和轻度侵蚀区以长江东南侧的山地区域最为典型,如长坪乡周边、茨竹乡到罗田镇、龙驹镇到普子乡一带等。运用

GIS 分析工具中的叠加功能,分别绘制 2000—2007 和 2007—2012 年土壤侵蚀强度转化的空间分布图(图 2)并进行分析。结果表明,2000—2007 年,土壤侵蚀强度等级不变的区域占 76.56%,该类区域分布较广,主要集中于沿方斗山到区东南部恒合一普子—白土一带;土壤侵蚀降低一级的区域占 21.71%,主要分布于铁峰山方斗山之间的大片丘陵低山地区;降低 2 级及以上的区域面积占 1.07%,主要分布于万州城区周边及长江沿岸。2007—2012 年,侵蚀强度等

级不变的区域占 89.04%,分布范围与前一时期等级不变区域基本一致;等级升高一级的区域占 9.26%,多分布于铁峰山与方斗山之间;侵蚀等级降低的区域占 1.20%,分布于万州城北到长坪乡的沿江一线。研究发现,侵蚀等级转化分布与侵蚀分布具有较高的相似度,且两个时期侵蚀等级转化的分布特征也基本一致,转化最活跃斑块集中于铁峰山与方斗山之间侵蚀严重的丘陵低山地区,东南侧山地区域转化活跃度较低。

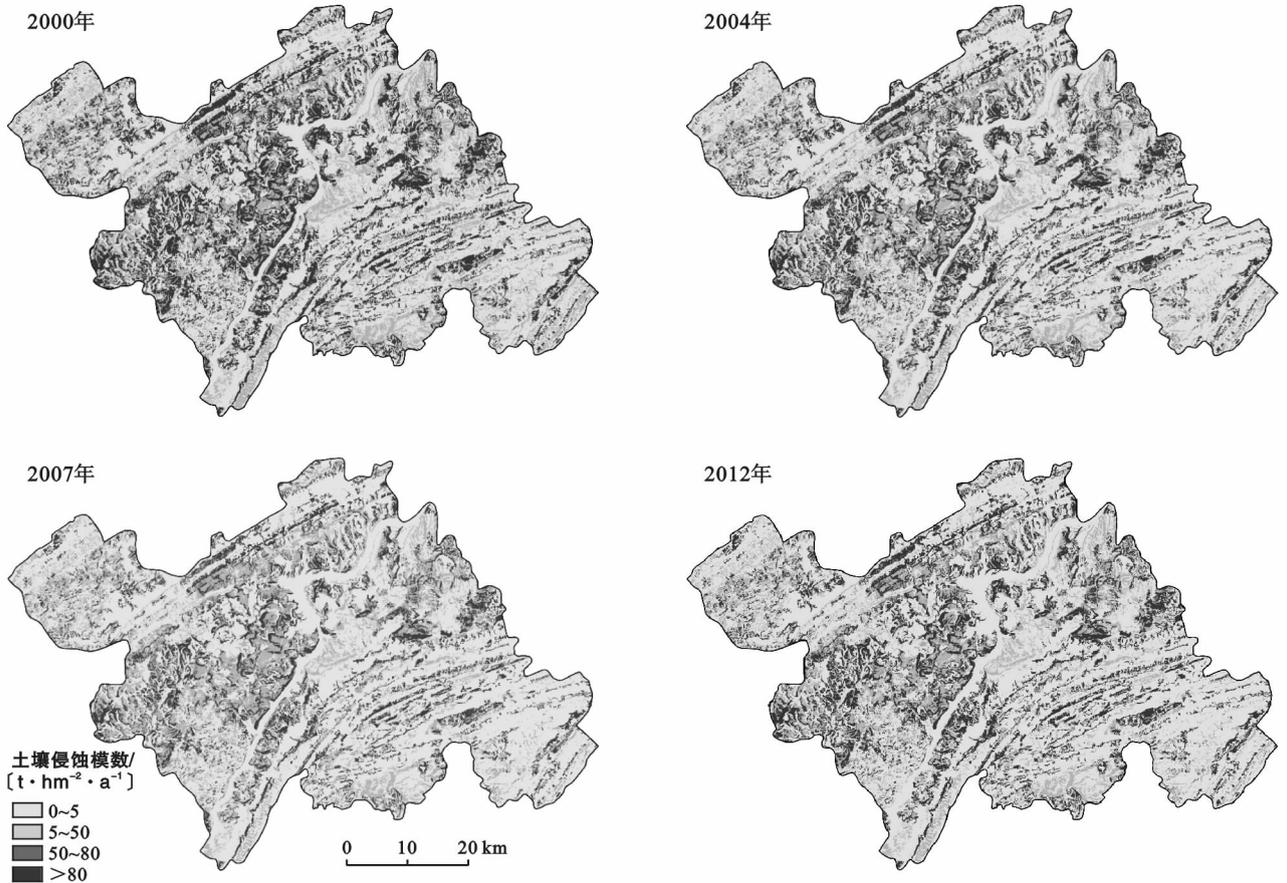


图 1 重庆市万州区各年份土壤侵蚀分布

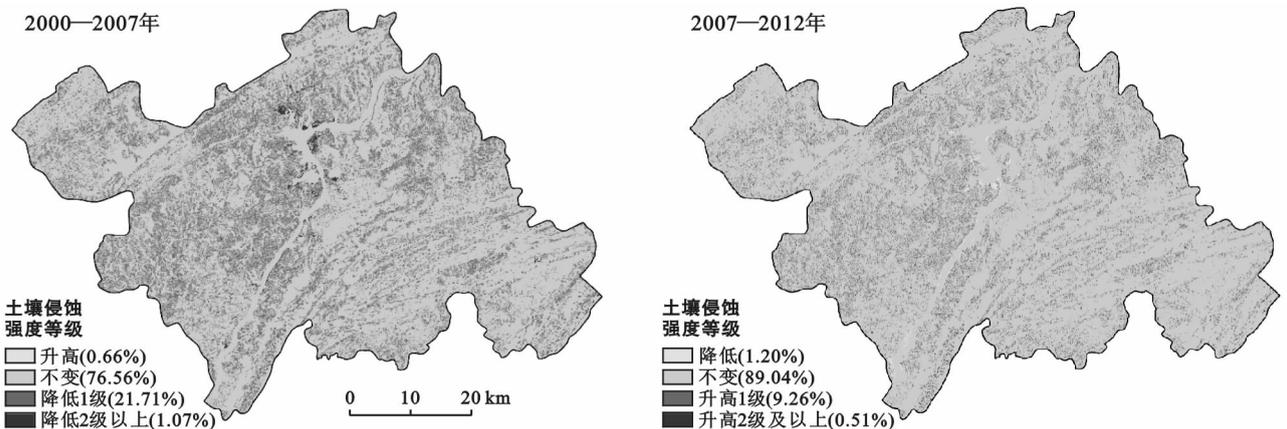


图 2 重庆市万州区各阶段土壤侵蚀强度等级转化

利用 ArcGIS 分析工具下的叠置等功能,根据 2000—2012 年侵蚀分布图和侵蚀模数的时间变化特征,分别制成 2000—2007 年和 2007—2012 年两个时段的土壤侵蚀强度转移矩阵(表 3—4)。2000—2007 年万州区侵蚀等级不变的区域占 76.56%,微度、轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈侵蚀区面积稳定比例分别为 99.00%,59.74%,50.13%,26.67%,44.28%,42.75%。土壤侵蚀强度向低级转化的面积占到了总面积的 22.78%,其中降低一级区域占总面积的 21.71%,轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈侵蚀强度分别向低一等级转变了 39.64%,45.74%,69.78%,51.63%,54.37%。由中度及以上侵蚀转向微度和轻度侵蚀的面积别达到了 31.29 和 85.77 km²,而强烈及以上侵蚀区转向中度侵蚀的面积更是达到了 131.53 km²。2000—2007 年,侵蚀强度呈现大面积由强转弱的变化态势,微度、中度、强烈侵蚀区面积扩大,成为主要的流入区域,剧烈侵蚀区面积大幅缩小,说明侵蚀状况在快速好转。

2007—2012 年侵蚀等级不变的区域占到了 89.04%,9.77% 的区域的侵蚀等级出现了一定程度上升,其中升高一级区域占总面积的 9.26%。微度、轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈侵蚀区面积稳定比例分别为 96.38%,85.96%,68.52%,60.18%,75.76%,97.22%,稳定比例高于 2000—2007 年。微度、轻度、中度、强烈、极强烈侵蚀区分别向高一等级侵蚀强度区转变了 2.89%,0.93%,27.55%,36.25%,21.15%。中度及以下强度区转向强烈、极强烈和剧烈侵蚀的面积分别为 65.92,6.50,4.52 km²。这一时期剧烈侵蚀区成为主要的流入区域,而微度侵蚀区面积缩小,说明侵蚀状况在逐步回升。由分析结果可知,2000—2007 年土壤侵蚀强度显著向低等级转化,而 2007—2012 年呈现相反的转化趋势,但转变幅度要低于 2000—2007 年。从 2000—2012 年整个研究时段看,侵蚀强度不变的区域占 85.08%,减小的区域为 14.13%,侵蚀等级转化方向整体以向下为主。

表 3 2000—2007 万州区土壤侵蚀强度转移矩阵

km²

| 项目 | 2007 年 | | | | | | 2000 年总计 |
|-----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| | 微度 | 轻度 | 中度 | 强烈 | 极强烈 | 剧烈 | |
| 2000 年 微度 | 1 927.34 | 5.30 | 3.03 | 3.08 | 6.44 | 1.60 | 1 946.79 |
| 轻度 | 179.62 | 270.71 | 0.57 | 0.58 | 0.94 | 0.71 | 453.14 |
| 中度 | 7.19 | 83.95 | 92.01 | 0.27 | 0.06 | 0.08 | 183.55 |
| 强烈 | 5.83 | 0.55 | 128.05 | 48.93 | 0.13 | 0.00 | 183.50 |
| 极强烈 | 9.91 | 0.56 | 3.45 | 176.17 | 151.07 | 0.03 | 341.21 |
| 剧烈 | 8.36 | 0.71 | 0.03 | 0.32 | 177.84 | 139.85 | 327.10 |
| 2007 年总计 | 2 138.25 | 361.78 | 227.14 | 229.35 | 336.49 | 142.27 | — |

表 4 2007—2012 万州区土壤侵蚀强度转移矩阵

km²

| 项目 | 2012 年 | | | | | | 2007 年总计 |
|-----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| | 微度 | 轻度 | 中度 | 强烈 | 极强烈 | 剧烈 | |
| 2007 年 微度 | 2 060.86 | 61.78 | 2.90 | 3.24 | 5.53 | 3.97 | 2 138.28 |
| 轻度 | 9.99 | 311.00 | 39.54 | 0.11 | 0.63 | 0.52 | 361.80 |
| 中度 | 6.57 | 2.00 | 155.64 | 62.57 | 0.34 | 0.03 | 227.15 |
| 强烈 | 5.87 | 0.40 | 1.90 | 138.03 | 83.14 | 0.01 | 229.35 |
| 极强烈 | 8.33 | 0.75 | 0.00 | 1.33 | 254.92 | 71.16 | 336.50 |
| 剧烈 | 3.17 | 0.34 | 0.03 | 0.00 | 0.42 | 138.31 | 142.27 |
| 2012 年总计 | 2 094.79 | 376.28 | 200.00 | 205.28 | 344.98 | 214.01 | — |

4 讨论

(1) 2000 年开始万州区土壤侵蚀状况经历先下降后小幅上升的变化过程,2012 年侵蚀状况好于 2000 年,总体来看,库区蓄水和社会经济发展暂未对区内土壤侵蚀产生质的影响,侵蚀状况未出现剧烈的变化。这主要得益于土地利用类型的有序转变和降

雨的平稳波动。土地利用角度,2000 年以来旱地、水田等大量转化为建设用地和水域,侵蚀严重的基面大幅减少;同时随着退耕还林及各类水土保持措施的实施,大量陡坡旱地转变为林草地,区域水土保持能力逐年提升。降雨方面,三峡工程和地区发展对环境造成的扰动暂未导致降雨发生极端转变,研究期内降雨在正常范围内平稳波动,降雨侵蚀力未出现剧烈变

化。在下一步工作中应当继续加强对降雨状况的监测和分析,探究降雨侵蚀力的变化趋势;同时持续推进各类水土保持措施,引导土地利用方式合理转变,不断提高区域的土壤保持能力。

(2) 侵蚀等级变化的空间分布与侵蚀状况分布在空间上具有较高的相似性,等级变化活跃的区域均位于铁峰山与方斗山之间侵蚀较为严重的丘陵低山区,而东南侧林地覆盖度高人口较少区域侵蚀等级转变活跃度较低。这一差异主要是植被覆盖和人为活动不同所致,通过增加植被覆盖、减少人为干扰既可以有效的将侵蚀强度控制在较低水平,并限制其向上转化。在今后工作中,需以铁峰山与方斗山之间的地区为重点,合理实施封禁治理、坡改梯、退耕还林等工程,转变不合理的土地利用方式,降低人类活动干预,提高植被覆盖率,以达到降低侵蚀转化活跃度和减少侵蚀量的目的。

(3) 从侵蚀强度转移矩阵看,微度、轻度、中度侵蚀的稳定比例普遍高于强烈、极强烈、剧烈侵蚀,如2000—2007年中度及以下侵蚀区稳定比例均大于50%,强烈及以上稳定比例均小于45%;同等状况下,强烈及以上侵蚀发生转变的相对比例和绝对面积均更高。在侵蚀量占比超过总量80%的强烈及以上强度区,可制定实施针对性的治理方案,有效降低该类地区的侵蚀强度,使其向低等级转化,从而达到削减全区侵蚀产沙量的目的。

(4) 结合RUSLE模型和GIS技术来测算土壤侵蚀的研究方法在三峡库区早已有了大量的实证应用,其有效性也已得到广泛的验证。但研究仍存在一些不足之处,如地表覆盖因子和水土保持措施因子取值过程中对坡度等影响因素的考虑可能不够全面;另一方面,运用不同因子计算模型获得的结果往往存在一定差异,如何选择模型并进行有效修正也有待进一步探讨。

5 结论

万州区是受三峡工程影响最为深远的地区之一,2000—2012年三峡工程的建设 and 蓄水运行使地区环境发生了巨大变化,一定程度上也改变了土壤侵蚀的条件。本次研究利用RUSLE模型和GIS工具计算获得2000—2012年万州区的土壤侵蚀数据,并选择6个典型年份进行分析探讨。

(1) 时间上,2000—2007年侵蚀状况处于下降过程,2007年之后有小幅回升,期末2012年侵蚀模数 $33.09 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 低于2000年的 $41.10 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,但高于2007年的最低值 $28.59 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。2000—

2012年,占比最高的微度侵蚀区面积升高了7.66%,剧烈侵蚀区面积下降了34.24%,全区土壤侵蚀总体上趋于好转。

(2) 空间上,研究期内,万州区侵蚀等级转化空间分布与侵蚀状况分布具有较高的相似性。侵蚀等级转化活跃的斑块多位于铁峰山与方斗山之间侵蚀强烈的丘陵低山地区,东南部山地区域转化活跃度较低。

(3) 通过侵蚀强度转移矩阵可知,2000—2012年全区土壤侵蚀强度转化整体向下,侵蚀状况趋于好转。2000—2007年76.56%的区域土壤侵蚀强度不变,22.78%的区域显著向低等级转化,微度、中度侵蚀区面积上升,剧烈侵蚀区面积下降;2007—2012年呈现相反的转化趋势,侵蚀强度不变的区域占89.04%,9.77%的侵蚀区向上转化,但转化幅度小于2000—2007年。

万州区是三峡库区的重要节点,也是受三峡工程影响最为深远的地区之一。本次研究所获得的结果可为万州区以及整个三峡库区水土流失的防治、环境质量的改善提供科学依据,推动三峡库区社会、经济、环境协调发展。

[参 考 文 献]

- [1] 周璟,张旭东,何丹,等.基于GIS和RUSLE的武陵山区小流域土壤侵蚀评价研究[J].长江流域资源与环境,2011,20(4):468-474.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning [M]. Washington D C: U. S. Department of Agriculture, 1978.
- [3] 李天宏,政丽娜.基于RUSLE模型的延河流域2001—2010年土壤侵蚀动态变化[J].自然资源学报,2012,27(7):1164-1175.
- [4] 怡凯,王诗阳,王雪,等.基于RUSLE模型的土壤侵蚀时空分异特征分析:以辽宁省朝阳市为例[J].地理科学,2015,35(3):365-372.
- [5] 黄瑞采.雨量坡度及作物对于四川紫棕土冲蚀之影响[J].土壤学报,1948(1):9-20.
- [6] 黄秉维.陕甘黄土区域土壤侵蚀的因素和方式[J].地理学报,1953,19(2):163-186.
- [7] 刘宝元.中国土壤侵蚀预报模型研究[C].北京:第十二届国际水土保持大会,2002.
- [8] 江忠善,王志强,刘志.黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(1):1-9.
- [9] Laflen T M, Lwopard T L, Foster G R. WEPP: A new of erosion generation prediction technology[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991,46(1):34-38.

- [10] 左太安,苏维词,马景娜,等. 三峡重庆库区针对水土流失的土地资源生态安全评价[J]. 水土保持学报,2010,24(2):74-78.
- [11] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. RUSLE: Revised universal soil loss equation [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991,46(1):30-33.
- [12] Kinnell P L A, Slope length factor for applying the USLE-M to erosion ingrids cells[J], Soil Tillage Research, 2001,58(2):11-17.
- [13] 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.
- [14] 史东梅,江东,卢喜平,等. 重庆涪陵区降雨侵蚀力时间分布特征[J]. 农业工程学报,2008,24(9):16-21.
- [15] 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.
- [16] 张科利,彭文英,杨红丽. 中国土壤可蚀性及其估算[J]. 土壤通报,2007,44(1):7-13.
- [17] Desmet P J J, Govers G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996,51(5): 427-433.
- [18] Mccool D, Brown L, Foster G, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation [J]. Transactions of the Asae, 1987, 30 (5): 1387-1396.
- [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] 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.
- [21] 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.
- [22] 赵燮京,刘定辉. 四川紫色丘陵区旱作农业的土壤管理与水土保持[J]. 水土保持学报,2002,16(5):6-10, 16.
- [23] 刘爱霞,王静,刘正军. 三峡库区土壤侵蚀遥感定量监测;基于 GIS 和修正通用土壤流失方程的研究[J]. 自然灾害学报,2009,18(4):25-30.

2017 年《水土保持通报》引证及审读报告

(1) 根据万方数据库 2017 年版《中国科技期刊引证报告(核心版)》,《水土保持通报》(以下简称《通报》)2016 年核心总被引频次 2 392,在农业工程类期刊中排名第 7/21 位,在数据库中总排名第 272/2 008 位;核心影响因子 0.628,学科排名第 15/21 位,总排名第 747/2 008 位;综合评价指标综合评价指标 45.7,学科排名第 10/21 位,总排名第 666/2 008 位。

(2) 根据中国科学引文数据库(CSCD)2017 年统计数据,《通报》2016 年影响因子为 0.537 1,在农业基础学科排名第 16/18 位,在数据库来源期刊中排名第 362/1 196 位,位置由 Q_3 区上升为 Q_2 区。总被引频次为 1 962 次,总被引频次在学科排名第 9/18 位,在数据库中排名第 158/1 196 位;自引率 4.7%,自被引率 17.8%。总被引频次在数据库统计期刊中总排名第 162/6 533 位;总他引频次为 1 619 次,在数据库统计期刊中总排名第 151/6 533 位。

(3) 根据中国知网(CNKI)《中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术·2017 版)》资料,《通报》2016 年综合统计源统计的复合总被引频次为 6 245 次;复合影响因子 1.084(他引影响因子 0.956),在农业基础学科排序为第 15/21 位;期刊综合影响因子 0.740,学科排序为 15/21 位;技术研究类影响因子 0.703,同类期刊中的排序为第 3/8 位。影响力指数 CI 值 275.8,学科排序第 13/21 位。基金论文比 0.98,它引总引比 0.90。

(4) 根据 2017 年中国科学院科学传播局科普出版处科技期刊审读结果,《通报》2016 年政治质量合格,学术质量优秀,编辑和出版质量良好。整体评价等级为良好。

《水土保持通报》编辑部
二零一七年十二月二十六日