

基于土地利用变化的三峡库区(湖北段) 土壤侵蚀消长研究

黄凯旋¹, 刘扬¹, 董晓健¹, 高超³, 张必辉¹, 褚琳^{1,2}, 丁树文^{1,2}

(1.华中农业大学 资源与环境学院, 武汉 430070; 2.华中农业大学
农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070; 3.湖北省水土保持监测中心站, 武汉 430071)

摘要:为了探索三峡库区蓄水前后土地利用变化与土壤侵蚀消长之间的关系,以三峡库区湖北段为研究对象,基于 RS 和 GIS 空间分析等技术,通过获取和计算 CSLE 方程中各土壤侵蚀因子,依据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007),对 2005 年、2010 年、2015 年研究区土壤侵蚀强度进行分级;运用叠置分析,生成 2005—2010 年、2010—2015 年土壤侵蚀和土地利用转移矩阵,并将土地利用变化与土壤侵蚀强度变化图层叠加。结果表明:研究区域土地利用方式以林地和耕地为主,其中耕地和林地的面积在不断减少,园地和建设用地的面积在不断增加,研究区城镇化速率加快。微度和轻度侵蚀面积占比最大并逐年提升,轻度、中度和强烈侵蚀有向更低强度侵蚀迁移的趋势,三峡库区水土流失治理成效初显。草地转为耕地对土壤侵蚀模数的增加最为明显;耕地转为林地、园地和草地以及园地转为林地对土壤侵蚀的发生具有抑制作用。

关键词:三峡库区湖北段; 土壤侵蚀; CSLE 模型; 土地利用变化; 土壤侵蚀强度

中图分类号: S157.1; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2020)01-0001-06

Variation of Soil Erosion in Hubei Section of Three Gorges Reservoir Area Based on Land Use Change

HUANG Kaixuan¹, LIU Yang¹, DONG Xiaojian¹, GAO Chao³,
ZHANG Bihui¹, CHU Lin^{1,2}, DING Shuwen^{1,2}

(1.College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2.Key Laboratory of Arable Land Conversation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3.Hubei Center Station of Soil and Water Conservation Monitoring, Wuhan 430071, China)

Abstract: To explore the relationship between land use change and soil erosion before and after water storage in the Three Gorges Reservoir area, we calculated soil erosion in Hubei section of the Three Gorges Reservoir area through Chinese Soil Loss Equation (CSLE), RS and GIS spatial analysis technology. Soil erosion intensities of the three studied periods were classified according to the Classification and Classification Standard of Soil Erosion (SL 190—2007). Soil erosion and land use transfer matrices of 2005—2010 and 2010—2015 were generated through overlay analysis, and the land use changes with the soil erosion intensity change layers were overlapped. The results concluded that forest and farmland were the mainly land use patterns in the study area, in which the area of farmland and forest were decreasing, while the area of orchard land and construction land were increasing, and the urbanization rate was accelerating; micro-degree and mild erosion areas accounted for the largest proportion and increased year by year, while mild, moderate and strong erosion tended to migrate to lower intensity erosion. The impact of the conversion of grassland to farmland on enhancement of soil erosion modulus was the most obvious. The conversion of farmland to forestland, garden

收稿日期: 2019-01-23

修回日期: 2019-07-22

资助项目: 国家自然科学基金“作物垂直结构演变对坡面侵蚀过程的影响机制”(41907052); 国家自然科学基金“三峡库区周边生态环境演变以及面源污染规律”(2017YFC0505302); 国家级大学生创新创业训练计划项目“秭归县土壤侵蚀消长研究”(201810504034)

第一作者: 黄凯旋(1998—), 男, 湖北天门人, 本科生, 主要从事非点源污染与生态环境保护方面研究。E-mail: kaixuan@webmail.hzau.edu.cn
通信作者: 褚琳(1988—), 女, 湖北武汉人, 博士, 主要从事资源环境遥感、GIS 和土壤侵蚀方面研究。E-mail: chulin@mail.hzau.edu.cn

land and grassland and the conversion of garden land to forestland could weaken the intensity of soil erosion.

Keywords: Hubei Section of the Gorges Reservoir Area; soil erosion; CSLE model; land use change; soil erosion intensity

土壤是人类生存所必须的物质基础。土壤侵蚀会造成土地退化、土壤肥力流失、河流淤积等现象,还会污染水体以及造成面源污染等一系列的生态环境问题,危害十分严重。土壤侵蚀模型是定量评价土壤侵蚀的重要工具之一^[1]。1978 年美国农业部根据大量径流小区的水土保持监测数据提出了通用土壤流失方程(USLE),该方程综合了降雨、土壤、地形、植被覆盖与水土保持措施等坡面土壤流失的主要因素,并进行了推广。随着土壤侵蚀模型研究的不断深入,在 20 世纪 90 年代后期有关人员提出了修正通用土壤流失方程(RUSLE)。21 世纪初,刘宝元等^[2]以 RUSLE 方程为原型,考虑我国独特的土壤侵蚀特征以及长期形成的水土流失防治措施,建立了中国土壤流失模型(CSLE)。该模型的计算结果更符合我国土壤侵蚀的实际状况。

土壤侵蚀是土地利用变化所引起的环境问题之一^[3]。土地利用变化与土壤侵蚀的耦合关系一直是中外学者研究的热点之一。赵辉等^[4]采用遥感监测与土壤侵蚀模型(CSLE)定量评价相结合的方法,探讨县域尺度土地利用变化与水土流失消长评价方式;姜琳等^[5]基于 RS 和 GIS 技术,采用 RUSLE 模型,计算岷江上游三年的土壤侵蚀量,对其时空格局动态变化进行分析;Zare 等^[6]利用 RUSLE 模型探究了伊朗北部地区不同土地利用的变化情况对土壤侵蚀的影响。

本文以三峡库区湖北段为研究对象,基于中国土壤流失模型(CSLE),运用 RS 和 GIS 空间分析方法,定量评价三峡库区湖北段土壤侵蚀,分析不同土地利用类型间的转化对土壤侵蚀消长的影响,为三峡库区湖北段进行合理的土地利用规划和防治水土流失提供科学的依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

三峡库区(湖北段)位于湖北省西南部,地处长江中游,由宜昌市夷陵区、秭归县、兴山县以及恩施土家族苗族自治州巴东县共 4 个区县组成,总面积约 11 694.5 km²,位于 110°04′—111°39′E,31°04′—31°34′N。著名的三峡大坝位于夷陵区三斗坪镇境内。研究区域属于高山地形,两岸多为悬崖峭壁,地势陡峭。该地区成土母质复杂,主要的土壤类型有石灰土、紫色土、山地黄棕壤、黄壤等。植被资源比较丰富,自然植被以亚热带常

绿阔叶林为主。研究区年均温度 18~20℃,多年平均降雨量为 1 000~1 400 mm。

1.2 数据来源

(1) 气象数据:来源于国家气象局气象中心和湖北省气象局,从中筛选出三峡库区(湖北段)及其周边 2006—2017 年月降雨量监测数据。

(2) 土壤数据:来源于湖北省农业科学院植保土肥研究所 1:20 万湖北省土壤图。经扫描后在 ArcGIS 10.2 中进行数字化和地理配准处理。

(3) DEM 数据:来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率为 30 m。

(4) 遥感影像数据:来源于美国地质调查局(USGS,<http://glovis.usgs.gov/>),共 3 期(2005 年、2010 年、2015 年)。影像选用夏季,且基本无云覆盖。空间分辨率为 30 m。

(5) 土地利用数据:来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)提供的土地覆盖解译数据,共 3 期(2005 年、2010 年、2015 年),空间分辨率为 30 m。

2 研究方法

本研究采用中国土壤流失方程(CSLE),并结合 RS 和 GIS 技术,完成研究区域土壤侵蚀量的计算。CSLE 方程形式如下:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot B \cdot E \cdot T \quad (1)$$

式中:A 为年均单位面积的土壤侵蚀模数[t/(hm²·a)];R 为降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm²·h·a)];K 为土壤可蚀性因子[(t·h)/(MJ·mm)];L 为坡长因子(无量纲);S 为坡度因子(无量纲);B 为生物措施因子(无量纲);E 为工程措施因子(无量纲);T 为耕作措施因子(无量纲)。

2.1 降雨侵蚀力因子(R)

本文采用 Arnoldus^[7]提出的利用月降水和年降水资料修正 Fournier 指数,然后利用一个普遍适用的 R 因子方程来计算 R 值。其计算公式如下:

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

$$R = \alpha \cdot F + \beta \quad (3)$$

式中:P_i为多年平均月降雨量(mm);P 为多年平均年降雨量(mm);α,β 为模型参数。参考大量相同或相近的研究区域文献^[8-13],取 α=1.22,β=3.24。式中 R 单位是

100 (ft · t · in)/(ac · h · a),该单位需乘以转换系数 17.02,转化成国际单位(MJ · mm)/(hm² · h · a)。

根据公式(1)–(3)可计算得到三峡库区及其周边各雨量站点的降雨侵蚀力因子值。在此基础上,在 ArcGIS 10.2 中利用克里格插值生成 30 m 栅格图层。

2.2 土壤可蚀性因子(K)

本文运用 Williams 等^[14]在 EPIC 模型中提出的估算方法计算土壤可蚀性因子值。其计算公式如下:

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \cdot \exp \left[0.0256 \cdot \text{SAN} \cdot \left(1 - \frac{\text{SIL}}{100} \right) \right] \right\} \times \left(\frac{\text{SIL}}{\text{CLA} + \text{SIL}} \right)^{0.3} \times \left\{ 1.0 - \frac{0.25 \cdot C}{C + \exp(3.72 - 2.95 \cdot C)} \right\} \times \left\{ 1.0 - \frac{0.7 \cdot \text{SN}_1}{\text{SN}_1 + \exp(-5.51 + 22.9 \cdot \text{SN}_1)} \right\} \quad (4)$$

式中:SAN 为沙粒含量(%);SIL 为粉粒含量(%);CLA 为黏粒含量(%);C 为有机质含量(%),其中 $\text{SN}_1 = 1 - \text{SAN}/100$ 。

根据式(4)计算所得的 K 因子值应除以 7.593 后转化为国际制单位^[15]。再将转换后的 K 因子值对研究区域内不同的土壤类型进行赋值,生成土壤可蚀性因子 30 m 栅格图层。

2.3 坡长坡度因子(LS)

本文在计算坡度因子 S 时,当坡度 $\theta < 5^\circ$ 时,采用 McCool 等^[16]提出的计算公式;当坡度 $\theta \geq 5^\circ$ 时,采用 Liu 等^[17]在黄土高原地区建立的计算公式;计算坡长 L 因子时,采用 Wischmeier 等^[18]提出的计算公式。综合以上计算公式如下:

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & \theta < 5^\circ \\ 16.8 \sin \theta - 0.50 & 5^\circ \leq \theta < 10^\circ \\ 21.9 \sin \theta - 0.96 & \theta \geq 10^\circ \end{cases} \quad (5)$$

$$L = (\lambda/20)^m \quad (6)$$

$$m = \begin{cases} 0.2 & \theta \leq 1^\circ \\ 0.3 & 1^\circ < \theta \leq 3^\circ \\ 0.4 & 3^\circ < \theta \leq 5^\circ \\ 0.5 & \theta > 5^\circ \end{cases} \quad (7)$$

式中: S 为坡度因子; θ 为坡度($^\circ$); L 为坡长因子; λ 为坡长(m),20 为标准小区坡长(m); m 为坡长指数。

在 ArcGIS 10.2 中以 DEM 图为底图提取得到坡度坡长图,再根据公式(5)–(7)分别计算出坡度因子 S 和坡长因子 L ,并运用栅格计算器计算得到研究区 LS 因子栅格图层。

2.4 生物措施因子(B)

首先在 ENVI 5.3 软件中对遥感影像进行辐射校正与几何校正,再根据 NDVI 的计算公式(8),利用 ETM 的第四波段和第三波段计算植被指数。

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R} \quad (8)$$

式中:NIR 对应红外波段,即第四波段; R 对应红光波段,即第三波段。再对植被覆盖度进行提取,其计算公式如下:

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

式中: f 为植被覆盖度; NDVI_{\max} 与 NDVI_{\min} 分别为 NDVI 的最大值与最小值。

不同植被覆盖度下的 B 值根据蔡崇法等^[19]的研究计算,其公式如下:

$$B = \begin{cases} 1 & f = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \lg f & 0 < f \leq 78.3\% \\ 0 & f > 78.3\% \end{cases} \quad (10)$$

2.5 工程措施因子(E)和耕作措施因子(T)

汇总多年三峡库区及其周边各水土保持监测站的监测数据,根据坡度、土地利用类型、工程措施、耕作措施等,得出三峡库区的工程措施和耕作措施的分布规律,进而得到 ET 因子值及其对应的坡度、土地利用类型等条件。

E 值为工程措施因子,无量纲,指通过改变小地形(如坡改梯、引水等)来改善农业生产条件,以减少或防止土壤侵蚀而采取的措施。考虑到研究范围大,工程措施多且难以准确定位的问题,可以尝试通过以某一小流域为单位收集研究区工程措施数据,尝试提出把各工程措施减少水土流失的效果平摊到整个流域内进行估算,然后进行赋值(0~1 之间)。即将某一坡度下无工程措施的小区裸地 E 值定为 1,并记录土壤侵蚀量,然后同时观测同等坡度、立地条件下不同工程措施小区的土壤侵蚀量,计算其比值,从而得到 E 值。

T 值为耕作措施因子,无量纲,指以犁、锄、耙等为耕(整)地农具所采取的措施,以达到保水保土保肥的目的。根据调查的当地耕作习惯和参考前人已有的耕作措施研究结果,可考虑等高耕作等措施,然后进行赋值(0~1 之间)估算。即将某一坡度下无耕作措施的小区裸地 T 值定为 1,并记录土壤侵蚀量,然后同时观测同等坡度、立地条件下不同耕作措施小区的土壤侵蚀量,计算其比值,得出最后 T 值。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化

在 ArcGIS 10.2 中,通过叠置分析生成 2005—2010 年和 2010—2015 年两个时段的土地利用变化图,在 Excel 2010 中统计得出两时期的土地利用类型面积转移矩阵表(表 1)。通过分析,可得到以下结论:

研究区这 3 个时期均以林地分布面积最广,占总面积的 76.37%~76.67%。其次为耕地和草地。总体来说,2005—2010 年土地利用变化不显著,2010—2015 年变化较大。林地面积在持续减少,从 2005 年的 8 965.82 km²减少到 2015 年的 8 931.16 km²,共减少了 34.66 km²。其次是耕地面积,在这 10 a 里共减少 17.24 km²。与之对应的是建设用地面积的增加,10 a 共增加 35.79 km²,增加幅度达到了 63.43%。总体来说,三峡库区湖北段 2005—2015 年转出林地面积和转入建设用地面积较大,其他的土地利用类型面积变化幅度较小。

2005—2010 年时段三峡库区湖北段各土地利用类型转移面积占总面积的 0.11%。林地面积减少最多,共减少了 5.17 km²,主要转移至水域和建设用地。

表 1 2005—2015 年研究区土地利用类型面积转移矩阵

土地利用类型	耕地	林地	园地	草地	水域	建设用地	2005 年合计
耕地	1470.07	0.27	0.03	0.00	0.51	0.70	1471.58
林地	0.27	8959.82	1.56	0.04	2.41	1.72	8965.82
园地	0.00	0.02	241.16	0.00	0.12	0.11	241.41
草地	0.00	0.04	0.01	811.68	0.12	0.00	811.85
水域	0.01	0.47	0.01	0.00	146.92	0.01	147.42
建设用地	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	56.33	56.42
2010 年合计	1470.35	8960.65	242.77	811.72	150.14	58.87	11694.50
消长面积	-1.23	-5.17	1.36	-0.13	2.72	2.45	
土地利用类型	耕地	林地	园地	草地	水域	建设用地	2010 年合计
耕地	1452.37	1.86	2.62	0.04	0.04	13.42	1470.35
林地	1.79	8928.90	10.98	0.21	0.07	18.70	8960.65
园地	0.07	0.04	241.91	0.00	0.00	0.75	242.77
草地	0.03	0.21	0.86	810.19	0.00	0.43	811.72
水域	0.01	0.05	0.01	0.00	149.82	0.25	150.14
建设用地	0.07	0.10	0.04	0.00	0.00	58.66	58.87
2015 年合计	1454.34	8931.16	256.42	810.44	149.93	92.21	11694.50
消长面积	-16.01	-29.49	13.65	-1.28	-0.21	33.34	

3.2 土壤侵蚀消长情况

根据上述各因子研究方法 with 计算结果,分别绘制出三峡库区湖北段各因子值的栅格图。利用各因子图和 CSLE 模型,运用 ArcGIS 栅格计算器得到三峡库区湖北段 2005 年、2010 年、2015 年土壤侵蚀图。

根据水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007)^[20],得到研究区土壤侵蚀强度模数分级表(表 2),并根据其分类标准得到 2005 年、2010 年、2015 年的土壤侵蚀分级图(图 1)。

从 2005—2015 年来看,土壤侵蚀类型主要以微度侵蚀(83.65%~89.32%)和轻度侵蚀(6.77%~4.93%)为主。其中微度侵蚀占比的增幅较大,达 6.78%,其他 5 个侵蚀强度等级占比均呈减小趋势(图 2)。总体来说,研究区的土壤侵蚀强度等级有向微度侵蚀迁移的趋势,说明研究区的土壤侵蚀治理有一定的成效。

地。而水域面积增加最多,达到 2.72 km²,主要是由林地转入,这是由于三峡水库的蓄水造成的。

2010—2015 年期间研究区各土地利用类型转移面积占总面积的 0.80%,较 2005—2010 年的显著提高。该时段土地利用变化主要体现在耕地和林地向建设用地转移,其他土地利用类型变化幅度较小。2010—2015 年中,有 0.91%的耕地和 0.21%的林地转变为建设用地。建设用地面积显著增加,其增加幅度达 56.63%。这说明 2010—2015 年研究区开发土地的力度较大,城镇化速率较 2005—2010 年明显加快。园地面积增加了 13.65 km²,说明当地为大力发展经济,不断引进适合当地种植的果树(如橘树),以提高农民的收入。

表 2 三峡库区土壤侵蚀分类分级标准

级别	平均侵蚀模数/ (t · km ⁻² · a ⁻¹)	平均流失厚度/ (mm · a ⁻¹)
微度	<500	<0.37
轻度	500~2500	0.37~1.9
中度	2500~5000	1.9~3.7
强烈	5000~8000	3.7~5.9
极强烈	8000~15000	5.9~11.1
剧烈	>15000	>11.1

注:表中平均流失厚度按土的干密度 1.35 g/cm³折算。

为进一步探讨不同土壤侵蚀强度等级面积的动态变化情况,运用转移矩阵法对 2005—2010 年、2010—2015 年两个时期不同土壤侵蚀强度面积转移变化进行分析(表 3)。结果表明:总体来看,2005—2010 年不同等级土壤侵蚀面积转移量较 2010—2015 年大。其中 2005—2010 年高强度的土壤侵蚀向微度侵蚀等级转化明显,其中轻度侵蚀中有 43.21%转化为

微度侵蚀, 中度侵蚀有 39.86% 转化为微度侵蚀, 强烈侵蚀有 37.03% 转化为微度侵蚀。同时, 也有 3.75% 的中度侵蚀区域转为了轻度侵蚀; 强烈侵蚀区域分别有 0.66% 和 6.96% 转为了轻度侵蚀和中度侵蚀。2010—2015 年土壤侵蚀的转换率不如 2005—2010 年, 但是趋

势和 2005—2010 年相同。分别有 33.33%, 37.45%, 40.04%, 40.67% 和 34.55% 的轻度, 中度, 强烈, 极强烈和剧烈侵蚀转化为了微度侵蚀, 中度侵蚀中有 2.62% 转化为了轻度侵蚀。总体来说, 2010—2015 年土壤侵蚀变化程度相对较小, 比较稳定。

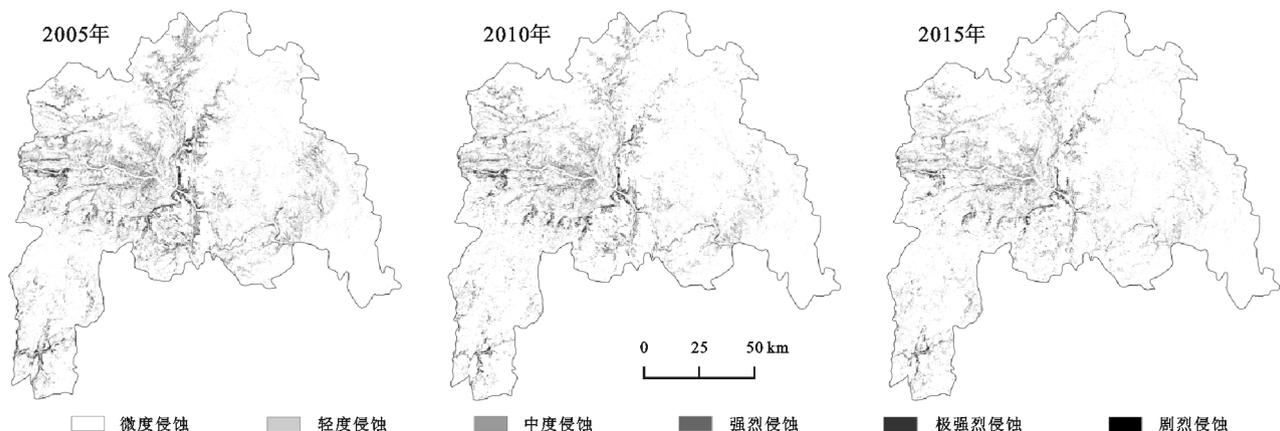


图 1 2005—2015 年三峡库区湖北段土壤侵蚀分级

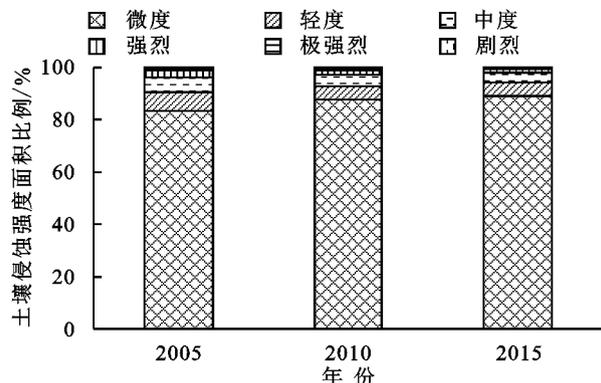


图 2 2005—2015 年三峡库区湖北段土壤侵蚀强度面积比例

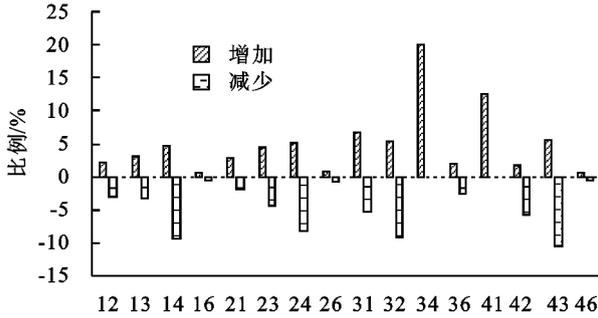
2006 年 5 月, 三峡大坝全线建成。在此之后至 2010 年, 三峡水库的水位逐年提升, 淹没了大片土地, 从而导致土壤侵蚀强度等级降低较为明显。而 2011 年 5 月, 国务院已经认识到了三峡水库蓄水对长江中下游带来的不利影响, 并采取相应的措施改善当地的生态状况, 如封山育林、退耕还林还草以及禁止乱砍滥伐等, 使得 2010—2015 年当地生态状况稳定, 并有向好发展的态势。总体来说, 2005—2015 年三峡库区土壤侵蚀情况得到了比较明显的改善, 当地政府治理水土流失的成效已经有所显现。

表 3 2005—2015 年研究区不同等级土壤侵蚀面积转移矩阵

土壤侵蚀强度		2010 年					2005 年合计
		微度	轻度	中度	强烈	极强烈	
2005 年	微度	9481.10	143.58	106.54	42.21	14.62	9788.61
	轻度	340.81	432.55	13.45	1.61	0.31	788.73
	中度	278.10	26.16	382.66	10.20	0.62	697.76
	强烈	113.82	2.03	21.39	165.79	4.34	307.39
	极强烈	38.13	0.44	0.79	8.70	59.12	107.41
	剧烈	1.43	0.00	0.03	0.03	0.65	4.60
2010 年合计		10253.39	604.76	524.86	228.54	79.66	11694.50
消长面积(2010—2005 年)		464.78	-183.97	-172.90	-78.85	-27.75	-1.31
土壤侵蚀强度		2015 年					2010 年合计
		微度	轻度	中度	强烈	极强烈	
2010 年	微度	9926.26	166.61	107.89	40.74	11.55	10253.38
	轻度	201.56	393.83	8.63	0.64	0.11	604.77
	中度	196.55	13.75	307.74	6.58	0.21	524.84
	强烈	91.51	0.49	12.78	121.48	2.28	228.55
	极强烈	32.40	0.14	0.28	5.81	40.87	79.66
	剧烈	1.14	0.00	0.01	0.02	0.41	3.30
2015 年合计		10449.42	574.82	437.33	175.27	55.43	11694.50
消长面积(2015—2010 年)		196.04	-29.95	-87.51	-53.28	-24.23	-1.07

3.3 土地利用变化与土壤侵蚀消长关系分析

通过对 2005—2010 年和 2010—2015 年土地利用变化图和土壤侵蚀强度变化图的叠加,统计分析不同土地利用类型之间的转化对土壤侵蚀消长的影响。结果表明:从大体趋势上看,2005—2010 年和 2010—2015 年不同土地利用方式下的土壤侵蚀强度面积变化情况相似。园地、草地转为耕地,林地转为耕地、园地,



注:土地利用变化方式编号如下:12 表示耕地转为林地;13 表示耕地转为园地;14 表示耕地转为草地;16 表示耕地转为建设用地;21 表示林地转为耕地;23 表示林地转为园地;24 表示林地转为草地;26 表示林地转为建设用地;31 表示园地转为耕地;32 表示园地转为林地;34 表示园地转为草地;36 表示园地转为建设用地;41 表示草地转为耕地;42 表示草地转为林地;43 表示草地转为园地;46 表示草地转为建设用地。本研究不考虑水域变化。

图 3 2005—2010 年研究区土地利用变化区域土壤侵蚀强度面积消长情况

以及耕地、林地、园地、草地转为建设用地会导致土壤侵蚀强度的增大,其中草地转为耕地的增强作用更加明显。耕地转为林地、园地和草地以及园地转为林地对土壤侵蚀强度具有减弱作用,说明在研究区实行退耕还林政策具有良好的水土保持效应。园地转为草地有时会有增强作用,有时减弱作用较明显,这和草地的植被覆盖度密切相关。

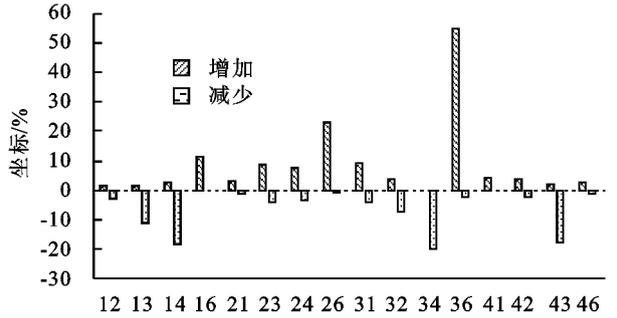


图 4 2010—2015 年研究区土地利用变化区域土壤侵蚀强度面积消长情况

4 结论

(1) 研究区的主要土地利用类型为林地和耕地,分别占总面积的 76% 和 12% 左右。总体来看,2010—2015 年研究区土地利用变化程度比 2005—2010 年大。2005—2010 年由于三峡水库蓄水,导致研究区水域面积有所增加;而 2010—2015 年有较多的耕地和林地向建设用地转移,建设用地的面积增加幅度达到 56.63%。这说明 2010—2015 年研究区的城镇化速率较 2005—2010 年明显加快。同时,为提高当地的经济水平,不断引进果树,使得园地面积增加 5.62%。

(2) 研究区的土壤微度和轻度侵蚀面积占比最大。受到三峡水库水位不断上升的影响,2005 年研究区土壤侵蚀强度变化较大。其中微度侵蚀面积增加较多,占 2005 年微度侵蚀面积的 4.75%;增加的微度侵蚀区域大部分来源于轻度侵蚀区域和中度侵蚀区域。而 2010—2015 年随着一系列生态保护措施的实施,如退耕还林还草,以及坡耕地的治理等,植被覆盖度有所增加,模型中 B , E , T 值均有所减小,土壤侵蚀总量得到了有效地控制,并继续呈现出逐年递减的趋势;当地土壤侵蚀强度变化幅度减小,生态状况趋于稳定向好发展。总体来说,土壤侵蚀的轻度、中度和强烈侵蚀有向微度侵蚀迁移的趋势,当地水土流失治理成效已初步显现。

参考文献:

- [1] 何维灿,赵尚民,王睿博,等.基于 GIS 和 CSLE 的山西省土壤侵蚀风险研究[J].水土保持研究,2016,23(3):58-64.
- [2] 刘宝元,谢云,张科利.土壤侵蚀预报模型[M].北京:中国科学技术出版社,2001.
- [3] 赵文武,傅伯杰,吕一河,等.多尺度土地利用与土壤侵蚀[J].地理科学进展,2006(1):24-33.
- [4] 赵辉,符素华,章文波,等.基于土地利用变化的县域水土流失消长评价方法探讨[J].水土保持学报,2018,32(4):67-72.
- [5] 姜琳,边金虎,李爱农,等.岷江上游 2000—2010 年土壤侵蚀时空格局动态变化[J].水土保持学报,2014,28(1):18-25,35.
- [6] Zare M, Samanil A A N, Mohammady M, et al. Investigating effects of land use change scenarios on soil erosion using CLUE-s and RUSLE models[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2017,14(9):1905-1918.
- [7] Arnoldus H M J. Methodology used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in morocco[J]. Fao Soil Bulletin, 1977,34:39-51.
- [8] 于泳,高强,高华斌.湖北省降雨侵蚀力时空分布特征初步研究[J].长江科学院院报,2008(3):18-22.
- [9] 张照录,薛重生.湖北三峡库区降雨侵蚀力的计算及其特征分析[J].中国水土保持,2005(8):10-12.

- [12] 耿晓东. 主要水蚀区坡面土壤侵蚀过程与机理对比研究[D]. 陕西杨凌: 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 2010.
- [13] 傅伟, 陈洪松, 王克林. 喀斯特坡地不同土地利用类型土壤水分差异性研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 59-62.
- [14] 王恒松, 熊康宁, 张芳美. 地形因子对喀斯特坡面水土流失影响的机理研究[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4): 1-7.
- [15] 陈美淇, 魏欣, 张科利, 等. 基于 CSLE 模型的贵州省水土流失规律分析[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 16-21.
- [16] 周晓晴, 马芊红, 张科利. 基于样带的陕西省水土流失规律研究[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 47-53.
- [17] 何永彬, 张信宝, 文安邦. 西南喀斯特山地的土壤侵蚀研究探讨[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2393-2398.
- [18] 赵文武, 傅伯杰, 吕一河, 等. 多尺度土地利用与土壤侵蚀[J]. 地理科学进展, 2006, 25(1): 24-33.
- [19] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [20] 蔡卓杰, 卢远, 谢坤坚. 广西人类活动对土壤侵蚀的影响[J]. 中国水土保持, 2017(2): 51-53.

(上接第 6 页)

- [10] 吴昌广, 林德生, 肖文发, 等. 三峡库区降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 151-158.
- [11] 王明晓. 三峡库区降雨侵蚀力研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [12] 卢喜平. 紫色土丘陵区降雨侵蚀力模拟研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [13] 史东梅, 江东, 卢喜平, 蒋光毅. 重庆涪陵区降雨侵蚀力时间分布特征[J]. 农业工程学报, 2008(09): 16-21.
- [14] United States Department of Agriculture. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator 1. Model Documentation. Technical Bulletin Number 1768[R]. Washington D C: Usda-Ars, 1990: 56-72.
- [15] 李树利. USLE 模型在川中紫色土区应用研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [16] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30: 1389-1396.
- [17] 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.
- [18] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning [M]. Washington D C: United States Department of Agriculture, 1978: 537.
- [19] 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]. 水土保持报, 2000, 14(2): 19-24.
- [20] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准 (SL190-2007)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

(上接第 14 页)

- [18] 郑海金, 方少文, 杨洁, 等. 近 40 年赣江年径流泥沙变化及影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 28-32.
- [19] 肖洋, 张汶海, 张颖. 赣江中下游近 60 年水沙时空分布特征[J]. 水文, 2014, 34(6): 86-92.
- [20] Yu B, Rosewell. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales [J]. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34(1): 139-152.
- [21] Yu B. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics [J]. Australian Journal of Soil Research, 1998, 36(1): 143-165.
- [22] 宁丽丹, 石辉. 利用日降雨量资料估算西南地区的降雨侵蚀力[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 183-186.
- [23] 胡续礼, 潘剑君, 杨树江, 等. 几种降雨侵蚀力模型的比较研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(1): 68-70.
- [24] 林璐, 刘金涛, 甘升伟, 等. 基于 TFPW-MK 法的太湖流域湖西区降水时空变化分析[J]. 水电能源科学, 2018, 36(4): 1-5.
- [25] 刘卫林, 刘丽娜. 修河流域洪水变化特征及其对气候变化的响应[J]. 水土保持研究, 2018, 130(5): 316-322.
- [26] 孟庆香, 刘国彬, 杨勤科. 基于 GIS 的黄土高原气象要素空间插值方法[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 10-14.
- [27] 汪青静, 许崇育, 陈华. 克里金日降水插值的不同变异函数比较分析[J]. 水资源研究, 2016, 5(5): 469-477.
- [28] 马良, 姜广辉, 左长清, 等. 江西省 50 余年来降雨侵蚀力变化的时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 61-68.