

喀斯特山区土地利用变化与土壤侵蚀耦合关系研究 ——以毕节试验区为例

谢颖颖¹, 邵争², 兰小机¹, 李付伟², 曾凡华²

(1. 江西理工大学 建筑与测绘工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 毕节市防震减灾局, 贵州 毕节 551700)

摘要:利用RS与GIS技术,提取地类、坡度和植被等3个因子的数据信息,模拟1990—2010年毕节试验区的土地利用过程和土壤侵蚀变化过程,并运用叠置分析和转移矩阵分析的方法,分析了土地利用变化过程中土壤侵蚀的响应特征,揭示土地利用变化及土壤侵蚀变化的关系。结果表明:毕节试验区土地以林地、耕地、草地为主,耕地面积不断减少,林地和建设用地面积不断增加;土壤侵蚀以轻度、中度侵蚀为主,整体呈现改善的趋势,尤其是退耕还林后,土壤侵蚀的面积与强度均不断降低;土地利用变化与土壤侵蚀具有密切的联系,耕地是土壤侵蚀发生的主要土地类型,耕地的减少与土壤侵蚀呈正相关关系,林地面积变化与土壤侵蚀具有较好的相关性,但在退耕还林的初期,土壤侵蚀的强度略有增加,草地增加与土壤侵蚀负相关,增加草地有利于土壤抗侵蚀能力的增强。研究喀斯特山区土地利用与土壤侵蚀的耦合关系,有利于有限的土地资源的合理配置和喀斯特地区的生态保护,为区域土地规划及水土保持等宏观决策部门提供理论支撑。

关键词:土地利用变化; 土壤侵蚀; 叠置分析; 转移矩阵; 毕节试验区

中图分类号: S157; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)06-0001-05

Relationship Between Land Use and Soil Erosion in Karst Area —A Case Study of Bijie Experimental Area

XIE Yingying¹, SHAO Zheng², LAN Xiaoji¹, LI Fuwei², ZENG Fanhua²

(1. School of Architectural and Survey Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China; 2. Bijie Seismological Bureau, Bijie, Guizhou 551700, China)

Abstract: The process of land use/cover change and soil erosion change in Bijie experimental area from 1990 to 2010 was simulated by analyzing the data of land use type, gradient and vegetation index based on RS and GIS. Then, through overlay analysis and transfer matrix analysis, the response characteristic of soil erosion during changing process of land utilization was analyzed. The relationship between land use change and soil erosion change was revealed finally. The results showed that: (1) the areas of forestland, cultivated land and grassland in Bijie experimental area were the largest, the area of cultivated land was decreasing gradually, the areas of forestland and building land were increasing gradually; (2) the main types of soil erosion were mild and moderate erosion, the degree of soil erosion was controlled to a better level over the past twenty years, especially after the implementation of Grain for Green Project; (3) the land use change process was closely associated with soil erosion; cultivated land was main land type for the occurrence of soil erosion, the decreased area of cultivated land was positively associated with soil erosion area; the change in area of forestland was interrelated to the soil erosion, while at the beginning of the Grain for Green Project, the intensity of soil erosion slightly increased; the increased area of grassland was negatively correlated to the soil erosion area; increase in grassland area is favorable for strengthening anti-erosion ability of the soil. The results of this research are helpful for rational configuration of land resources and ecological protection in karst area and also provide the decision-making support for organization such as land use planning bureau or water resources bureau.

Keywords: land use/cover change; soil erosion; overlay analysis; transfer matrix; Bijie experimental area

西南喀斯特山区具有山高坡陡、雨热同期、大面积碳酸盐岩发育、成土过程缓慢而复杂的特点,加之人多地少,人地矛盾突出,不合理的土地利用结构和生产生活方式造成了生态环境和土地资源破坏,植被破坏和土壤保肥性能减弱,使西南喀斯特山区土壤侵蚀更加严重^[1-2]。土地利用与土壤侵蚀具有密切的相互关系,在土壤侵蚀监测方面,应用广泛的美国修正的通用土壤流失方程(RUSLE),将植被、管理措施、水土保持措施等参数作为土壤侵蚀测定的重要指标^[3-4];国内的中国水土流失方程(CSLE),也将生物、工程、耕作等土地利用因子作为土壤侵蚀测定的重要指标^[5]。运用RS和GIS结合研究两者的关系主要有两种方式:一种是计算不同土地利用类型的面积与土壤侵蚀分布面积的相关性,探讨土地利用结构与土壤侵蚀的关系,如喻权刚研究黄土丘陵区发现坡耕地占比越大,年土壤侵蚀量越大^[6];另一种方式是土地利用现状图与土壤侵蚀图在GIS空间分析模块下叠置而发现不同地类的土壤侵蚀程度,如邹亚荣等以广东惠东区为例得出土壤侵蚀分布与地类类型分布是相关联的^[7]。然而,以往的研究多以某一年份探讨土地利用类型与土壤侵蚀之间的耦合关系,长时间序列的土地利用类型变化与土壤侵蚀变化之间相互关系的研究还较为薄弱。研究喀斯特山区土地利用类型变化与土壤侵蚀变化的耦合关系,丰富了喀斯特山区土地利用与土壤侵蚀关系研究的理论,有利于有限的土地资源的合理配置和喀斯特地区的生态保护,为区域土地规划及水土保持等宏观决策提供理论支撑。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况及数据来源

毕节试验区是国务院于1988年6月批准建立的全中国唯一用“扶贫开发、生态建设、人口控制”为主题的试

验区。位于东经103°36′—106°44′到北纬26°21′—27°47′之间,地处中国贵州省西北部即乌蒙山的中心位置,靠近川、滇、黔三省交汇处,管辖1区7县,总面积为26 853 km²,占贵州省总面积的15.25%^[8]。本研究所用的遥感影像来源于地理空间数据云(www.gscloud.com),包含1990年8月和9月Landsat5 TM影像5景及1989年9月的Landsat5 TM影像1景,2000年5月和6月的Landsat 7 ETM+影像6景,2010年8月的Landsat5 TM影像6景,成像时间尽量选择各年份相同时间,以便于植被覆盖度及土地利用类型解译。除此之外,还收集了毕节试验区DEM数据以便于坡度专题图制作;矢量格式的行政区划范围数据用来裁剪遥感影像图。

1.2 研究方法

1.2.1 土地利用信息提取 结合《全国土地利用动态遥感监测规程》土地利用分类,参考中科院资源环境数据库的划分系统,结合遥感影像纹理色彩及毕节试验区实际土地利用情况,将毕节试验区土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民、未利用地6个一级地类,水田、旱地、灌木林地等9个二级地类^[9]。根据遥感影像的纹理、色彩、形状,结合相关专业图件和地理图件及毕节试验区土地利用分类系统建立毕节试验区遥感影像解译标志后根据解译标志采用人机交互解译方法分别对3期的遥感影像进行解译获得三期相应的土地利用类型和结构分布图(图1)及面积(表1)。

在ENVI中参考地面资料建立感兴趣区对地类解译结果进行精度评价,得到总体分类精度(Overall Accuracy),制图精度(Producer's Accuracy),用户精度(User's Accuracy) Kappa系数(Kappa Coefficient),分类混淆矩阵(confusion matrix),错分和漏分误差等,最终得到Overall Accuracy>80%,Kappa Coefficient 高于最低精度0.7即符合要求。

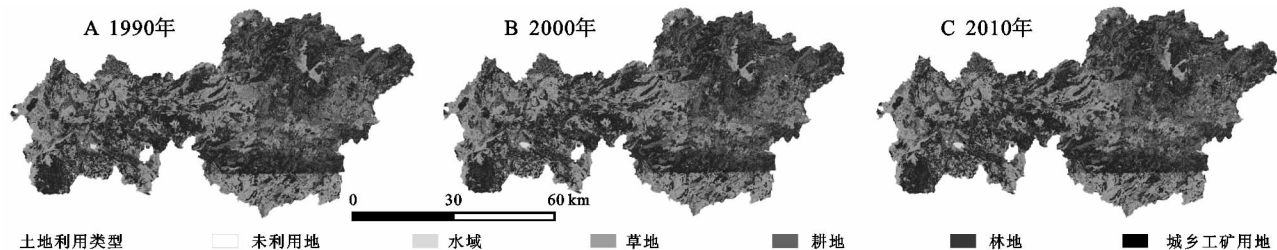


图1 毕节试验区土地利用类型分布

1.2.2 土壤侵蚀信息提取 (1) 植被覆盖度提取。选用李苗苗改进后的像元二分模型^[10],结合归一化植被指数(NDVI),对毕节试验区植被覆盖度进行提取。首先,在ENVI软件中分别对毕节试验区1990年、2000年、2010年计算得到的影像像元的NDVI,然后提取 $NDVI_{soil}$, $NDVI_{veg}$ 来计算各年份的植被覆

盖度。同时,参照《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007)^[11],在ArcGIS中按 $\leq 30\%$, $30\% \sim 45\%$, $45\% \sim 60\%$, $60\% \sim 75\%$, $> 75\%$ 的标准,将植被覆盖度分为低、中低、中、中高、高度植被覆盖5大类,对应属性编码为1,2,3,4,5,最后,得到1990—2010年3个时间点的毕节试验区植被覆盖图。

考虑到植被覆盖度的现实意义,本研究以收集到的已进行数据验证的 1:10 万土地利用数据为基础做精度验证。验证结果表明:1990 年、2000 年、2010 年植被覆盖度空间分布数据的总体精度为 74.7%,61.9%,65.5%,所得植被覆盖度与用于精度验证的植被覆盖数据间有一定的差距。究其原因,一方面对影像阴影处理方式不同对结果产生影响;另一方面,2000 年获取 ETM+数据与 1990 年和 2010 年的 TM 数据不同,由于云层原因,遥感影像季相上的选择有所差别,这在一定程度上影响到最终结果。不过由于本研究中所用的人机交互解译,只要总体精度大于 60%即满足要求。

(2) 高程及坡度信息提取。DEM 是数字高程模型(Digital Terrain Model)的简称,按 $\leq 5^\circ$, $5^\circ\sim 8^\circ$, $8^\circ\sim 15^\circ$, $15^\circ\sim 25^\circ$, $25^\circ\sim 35^\circ$, $>35^\circ$ 的标准,将坡度分为平缓坡、中等坡、斜坡、陡坡、急坡、急陡坡等 6 大类,对应属性编码为 1,2,3,4,5,6,在 ArcGIS 空间分

析模块(Spatial Analyst)的支持下,对各 DEM 进行坡度提取及重分类等操作,生成高程及坡度专题图。

(3) 土壤侵蚀专题图制作。参考时新玲等的水蚀强度分级指标^[12]和水利行业《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007)中水力侵蚀强度判别模型而建立毕节试验区土壤侵蚀强度的分级模型,根据该指标采用地类、植被覆盖度、坡度 3 个因子综合判读法制定土壤侵蚀专题图^[13-14],将毕节试验区的土壤侵蚀强度分为微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀、剧烈侵蚀等 6 个等级。分别将提取出各年份的土地利用图、植被覆盖度图、坡度图做叠置分析,在其属性表中进行逻辑判断,确定各斑块的土壤侵蚀强度等级,之后将同一属性的斑块间进行合并而最终得到研究区土壤侵蚀强度等级图(图 2),并对土壤侵蚀面积进行统计(表 2)后结合土地利用统计出不同地类中土壤侵蚀强度指数(表 3)。

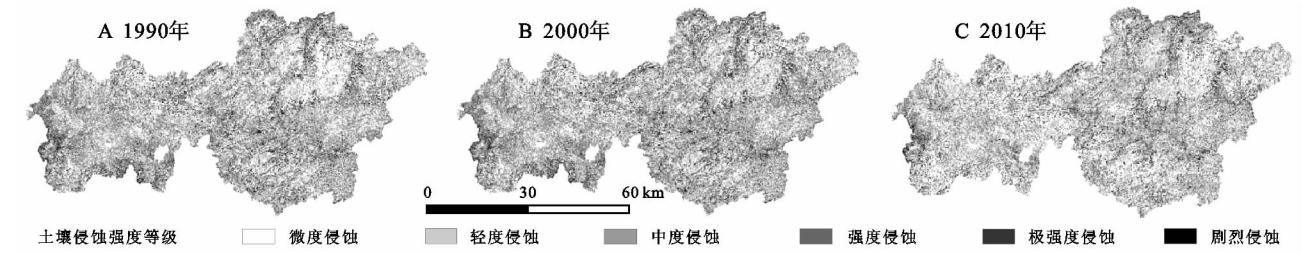


图 2 毕节试验区土壤侵蚀强度等级分布

2 结果与分析

2.1 土地利用类型变化状况分析

从土地利用类型分布来看,毕节试验区土地利用类型以林地、耕地和草地为主,总面积达到研究区的 99%以上,耕地面积达到了 33%以上。从土地利用类型变化过程来看,1990—2010 年,毕节试验区土地利用变化较为强烈,其中耕地面积持续减少,由 1990 年的 9 445.48 km² 减少为 2010 年的 9 119.76 km²,年均减少 32.57 km²,侧面反映了试验区产业结构调整

成效,种植业在产业结构中的比重正在不断减少;林地与城乡工矿居民用地面积持续增加,其中林地面积由 1990 年的 11 296.28 km² 增加为 2010 年的 11 521.22 km²,年均增加 22.49 km²,说明生态环境水平不断提升,尤其是退耕还林工程实施后,林地面积增加显著;草地和水域面积先减少后增加,说明人们对生态环境的重视程度正在不断提升;城乡工矿居民用地面积持续增加,由 1990 年的 36.20 km² 增加为 2010 年的 93.56 km²,年均增加 22.49 km²,20 a 间增加了近 2 倍,说明试验区城镇化进程不断加快。

表 1 1990—2010 年毕节试验区土地利用类型变化情况

地类	1990 年		2000 年		2010 年		1990—2000 年		2000—2010 年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积增减/km ²	变化率/%	面积增减/km ²	变化率/%
耕地	9445.48	35.19	9406.46	35.04	9119.76	33.97	-39.02	-0.41	-286.70	-3.05
林地	11296.28	42.08	11350.57	42.28	11521.22	42.92	54.29	0.48	170.65	1.50
草地	5991.72	22.32	5964.34	22.22	6009.18	22.39	-27.38	-0.46	44.84	0.75
水域	65.61	0.24	56.75	0.21	68.56	0.26	-8.87	-13.52	11.81	20.81
城镇工矿	36.20	0.13	57.18	0.21	93.56	0.35	20.98	57.97	36.38	63.62
未利用地	8.59	0.03	8.59	0.03	31.61	0.12	0	0	23.02	267.99

2.2 土壤侵蚀变化状况分析

1990—2010 年,毕节试验区的土壤侵蚀强度以轻度和中度侵蚀为主,发生土壤侵蚀的面积比例分别为 70.22%,71.79%,64.49%,年平均侵蚀模数为 221.51 t/(km²·a),228.83 t/(km²·a),190.75 t/

(km²·a),土壤侵蚀强度总体呈现先恶化后改善的趋势。不同强度等级的水土流失面积来看,轻度侵蚀变化呈现先减少后增加趋势,其他侵蚀等级则相反,均为先增加后减少趋势。对 3 期土壤侵蚀分布图进行不同强度土壤侵蚀面积转移矩阵换算发现:1990—

2000 年,土壤侵蚀变化过程较为平缓,土壤侵蚀状况恶化的总面积(即低等级土壤侵蚀强度转变为高等级土壤侵蚀强度,如轻度土壤侵蚀强度转化为中度土壤侵蚀强度)为 2 932. 97 km²,土壤侵蚀状况改善的总面积(即高等级土壤侵蚀强度转变为低等级土壤侵蚀强度,如中度土壤侵蚀强度转化为轻度土壤侵蚀强度)为 2 055. 65 km²,总体侵蚀强度状况略有恶化;

表 2 1990—2010 年毕节试验区各土壤侵蚀强度分布面积

土壤侵蚀 强度等级	1990 年		2000 年		2010 年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
微度	7995. 01	29. 78	7573. 04	28. 21	9533. 00	35. 51
轻度	5934. 71	22. 11	5652. 84	21. 06	6818. 21	25. 40
中度	7977. 15	29. 72	8438. 29	31. 43	6549. 11	24. 40
强度	3491. 39	13. 01	3682. 23	13. 72	2841. 27	10. 58
极强度	1109. 20	4. 13	1152. 39	4. 29	844. 07	3. 14
剧烈	336. 43	1. 25	345. 10	1. 29	258. 24	0. 96
侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)	221. 51		228. 83		190. 75	

2.3 毕节试验区土地利用变化与土壤侵蚀耦合关系

2.3.1 不同地类的土壤侵蚀强度综合指数 土壤侵蚀率反映侵蚀程度但无法反映出侵蚀强烈度,为此引入土壤侵蚀强度综合指数(无量纲,为计算方便放大 100 倍),对不同地类不同侵蚀情况定量分析,该指标大小反映出不同地类中土壤侵蚀的侵蚀强度^[15],由于篇幅影响,计算过程略。由于水域、城乡工矿居民用地、未利用地在土壤侵蚀判读时定微度侵蚀即不发生侵蚀,故仅列出耕地、林地、草地土地动态区与土壤侵蚀强度变化关系(见表 3)。结果显示:一级地类中耕地侵蚀最显著,土壤侵蚀强度综合指数最大,其次是草地,再次是林地。二级地类土壤侵蚀强度综合指数由大到小是:旱地>中覆盖草地>灌木林>疏林>有林地>水田>高覆盖草地>低覆盖草地>其他林地。旱地不论是侵蚀程度或者是强度,其土壤侵蚀发生率都最大;中覆盖草地的侵蚀强度大于灌木林地,但是灌木林地的土壤侵蚀程度大于中覆盖草地,因此要加强水土流失防治,应该更注重坡改梯、减少坡地耕种而多增加林草地等生态措施的实行,以防林草地衰退,应提升植被覆盖度。

2.3.2 土地利用变化与土壤侵蚀变化关系分析 利用转移矩阵分析的方法,能够较好的模拟土地利用类型变化过程中土壤侵蚀的响应特征,揭示土地利用变化及土壤侵蚀变化的关系。首先,将 1990—2010 年 3 期土地利用类型分布图进行叠置分析,分别获得 1990—2000 年土地利用类型变化图和 2000—2010 年土地利用类型变化图,同理,获得 1990—2000 年土壤侵蚀强度变化图和 2000—2010 年土壤侵蚀强度变化图;然后,将同期的土地利用类型变化图与同期土壤侵蚀变化图进行叠置分析后统计出具体转移数据(土地利用动态区)及土壤侵蚀转移数据,并根据此数

2000—2010 年,土壤侵蚀变化过程较为剧烈,土壤侵蚀状况恶化的总面积为 6 866. 89 km²,土壤侵蚀状况改善的总面积为 10 772. 25 km²,土壤侵蚀强度在此阶段出现减弱趋向,土壤侵蚀状况得到改善。土壤侵蚀强度在 2000—2010 年有所减轻,得益于 2000 年后毕节试验区进行退耕还林、封山育林等生态工程措施的开展。

据计算出各土地利用转移方向下土壤侵蚀强度综合指数,从而反映相应土壤侵蚀的增减情况;最后,分别获得 1990—2000 年的不同土地利用转移过程中土壤侵蚀增减情况(图 3),2000—2010 年的不同土地利用转移过程中土壤侵蚀增减情况(图 4)。

表 3 毕节试验区土壤侵蚀强度指数

地类		1990 年	2000 年	2010 年
耕地	小计	654. 40	498. 84	426. 69
	水田	31. 28	29. 13	34. 61
	旱地	623. 12	469. 71	392. 08
林地	小计	287. 33	414. 18	331. 98
	有林地	33. 86	60. 34	37. 03
	灌木林地	203. 52	265. 19	243. 65
	疏林地	49. 54	88. 27	51. 06
	其他林地	0. 41	0. 37	0. 24
	小计	410. 33	482. 33	416. 89
草地	高覆盖度草地	22. 21	30. 00	42. 76
	中覆盖度草地	377. 38	428. 94	348. 81
	低覆盖度草地	10. 73	23. 89	25. 32

耕地是土壤侵蚀发生的主要地类,坡地开垦和坡地耕作是引起土壤侵蚀的主要原因。在耕地动态区,耕地面积持续下降,过度开垦状况有所好转,土壤侵蚀强度综合指数显著变小,表明耕地减少与土壤侵蚀呈正相关关系。在其林地动态区,林地持续增加,土壤侵蚀强度综合指数先增后降,林地增加与土壤侵蚀强度负相关,但由于退耕还林的初期,地表扰动大,林木的覆盖度还很低,土壤侵蚀略有增强,但随着林木覆盖度的增加,土壤侵蚀强度不断降低,应加强坡改梯、植树造林、减少坡耕地增加林草地等生态工程措施实施。在草地动态区,草地主要向林地转移,在退耕还草工程下,部分草地来自于耕地,有部分林地退化为草地,面积先减后增,土壤侵蚀强度综合指数先

变大再变小,表明草地增加与土壤侵蚀负相关。增加草地有利于土壤抗蚀力的增强,但存在林地向草地退化现象会加重侵蚀程度,应加强草地的保护。

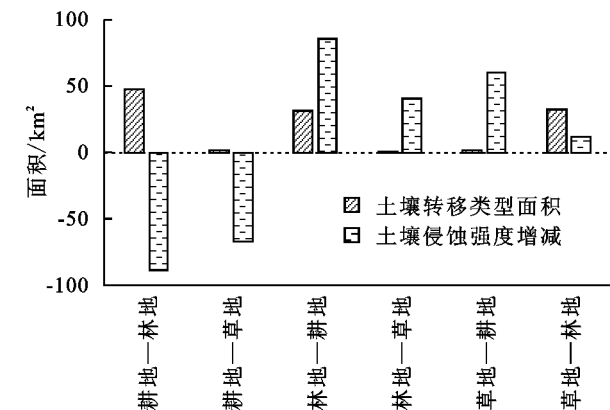


图 3 1990—2000 年毕节试验区土地利用动态区土壤侵蚀强度增减情况

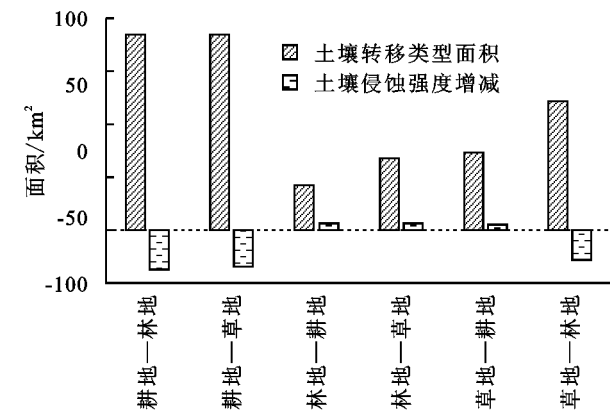


图 4 2000—2010 年毕节试验区土地利用动态区土壤侵蚀强度增减情况

3 结论

(1) 毕节试验区主要土地利用类型为林地、耕地、草地。1990—2010 年,毕节试验区土地利用变化较为强烈,林地面积持续增加,生态环境水平不断提升,尤其是退耕还林工程实施后,林地面积增加显著;耕地面积持续减少,反映了试验区产业结构调整的功效,种植业在产业结构中的比重正在不断减少;草地和水域面积先减少后增加,呈现了前期破坏后期整治的过程;城乡工矿居民用地面积持续增加,20 a 间增加了近 2 倍,尤其是近 10 a 城镇化进程不断加快。

(2) 土壤侵蚀以轻度侵蚀与中度侵蚀为主,总体呈现先恶化后改善的趋势,尤其是退耕还林工程实施后,土壤侵蚀的面积和强度均不断降低,应该继续实施退耕还林工程,实施天然林保护,强化封山育林,充分发挥喀斯特山区生态环境的自然修复能力。毕节试验区不同地类的侵蚀大小为:旱地>灌木林地>中覆盖度草地>疏林地>有林地>水田>高覆盖度草地>低覆盖度草地>其他林地。

(3) 耕地是土壤侵蚀发生的主要土地类型,耕地面积持续下降,过度开垦状况有所好转,土壤侵蚀强度指数显著变小,侵蚀程度减弱,表明耕地的减少与土壤侵蚀呈正相关关系;在林地动态区,林地持续增加,土壤侵蚀强度综合指数先增后降,主要原因是退耕还林的初期,地表扰动大,林木的覆盖度还很低,土壤侵蚀略有增强,但随着林木覆盖度的增加,土壤侵蚀强度不断降低;在草地动态区,草地面积先减后增,土壤侵蚀强度综合指数先变大再变小,表明草地增加与土壤侵蚀负相关,增加草地有利于土壤抗侵蚀能力的增强,但存在林地向草地退化现象会加重土壤侵蚀,应加强草地的保护。

参考文献:

[1] 张鲁,周跃,张丽彤.国内外土地利用与土壤侵蚀关系的研究现状与展望[J].水土保持研究,2008,15(3):43-48.

[2] 凡非得,王克林,熊鹰,等.西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征[J].生态学报,2011,31(21):6353-6362.

[3] 崔晓临,雷刚,王涛,等.退耕还林还草工程实施对洛河流域土壤侵蚀的影响[J].水土保持研究,2016,23(5):69-73.

[4] 孙德亮,赵卫权,李威,等.基于 GIS 与 RUSLE 模型的喀斯特地区土壤侵蚀研究[J].水土保持通报,2016,36(3):271-276.

[5] 俱战省,文安邦,严冬春,等.基于¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb 和 CSLE 的三峡库区小流域土壤侵蚀评估[J].水土保持学报,2015,29(3):75-80.

[6] 喻权刚.遥感信息研究黄土丘陵土地利用与水土流失[M].郑州:黄河水利出版社,1998.

[7] 邹亚荣,张增祥,周全斌,等.基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系分析[J].水土保持研究,2002,9(1):67-69.

[8] 张凤太,苏维词,赵卫权,等.基于生态足迹模型的喀斯特高原山地生态系统健康评价研究[J].水土保持通报,2011,31(1):256-261.

[9] 许月卿,蔡运龙,彭建.土地利用变化的土壤侵蚀效应评价[M].北京:科学出版社,2008.

[10] 李苗苗.植被覆盖度的遥感估算方法研究[D].北京:中国科学院遥感应用研究所,2003.

[11] SL190-2007.土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,2008.

[12] 时新玲,李智广.基于矢量和栅格数据结构的土壤侵蚀强度判别方法研究[J].水土保持通报,2002,22(1):34-38.

[13] 王志刚,涂人猛,孙佳佳,等.基于地类、坡度与植被的小流域土壤侵蚀量估算方法:以毕节市毛家湾小流域为例[J].长江科学院院报,2013,30(5):22-26.

[14] 蒋忠诚,杨德生,曹建华,等.中国水土流失防治与生态安全、西南岩溶卷[M].北京:科学出版社,2010.

[15] 甘彩红,赵岩洁,李阳兵.三峡库区腹地流域类型与土壤侵蚀的关系[J].水土保持通报,2015,35(6):291-295.