

贵州省乌江流域土地利用与土壤侵蚀关系研究

王 尧^{1,3}, 蔡运龙², 潘 懋¹

(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 北京大学 城市与环境学院
土地科学中心, 北京 100871; 3. 国土资源部 资源环境承载力评价重点实验室, 北京 101149)

摘 要:根据贵州省乌江流域 20 世纪 80 年代初和 2000 年左右的 15 幅 Landsat MSS/ETM 遥感影像数据、2000 年土壤侵蚀调查数据和 GIMMS/AVHRR NDVI 数据,利用遥感、GIS 技术和数理统计方法,系统分析了 1980—2000 年贵州省乌江流域土地利用/覆被变化的时空特征,探讨了不同土地利用方式对土壤侵蚀的影响。研究表明:乌江流域土地利用类型以林地、耕地和草地为主。1980—2000 年的 20 a 间,流域内土地利用/土地覆被数量结构变化明显,呈好转趋势。不同土地利用类型下的土壤侵蚀强度大小为:裸岩石砾地<其他林地<建设用地<有林地<水域<水田<低覆盖度草地<灌木林地<高覆盖度草地<疏林地<中覆盖度草地<旱地。旱地、中覆盖度草地和疏林地是流域内土壤侵蚀发生的主要土地利用类型。从不同侵蚀等级的发生区域来看,各强度类型侵蚀都集中分布在植被覆盖度为 50%~60%的地区,侵蚀存在 50%~60%的植被覆盖度临界值,这与非喀斯特地区随着植被盖度降低,侵蚀强度逐渐增大的规律不同。

关键词:土壤侵蚀强度;土地利用格局;植被覆盖度;喀斯特;乌江流域

中图分类号:S157.1;F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0011-08

Analysis on the Relationship between Soil Erosion and Land Use in Wujiang River Basin in Guizhou Province

WANG Yao^{1,3}, CAI Yun-long², PAN Mao¹

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871,
China; 2. Center for Land Study, College of Urban and Environmental Sciences,
Peking University, Beijing 100871, China; 3. Key Laboratory of Carrying Capacity
Assessment for Resource and Environment, Ministry of Land & Resources, Beijing 101149, China)

Abstract:Based on 15 remote sensing images and relevant image processing techniques, and statistic methods, the spatial-temporal characteristics of land use change in Wujiang River Basin, Guizhou Province during the period of 1980—2000 was analyzed. The images involved the Multispectral Scanner (MSS) data acquired around 1980, Landsat-ETM data around 2000, soil erosion data acquired in 2000, GIMMS/AVHRR NDVI data acquired in 2000. The results show that forest land, farm land and grassland were the main land use types in WRB. There was an obvious good change in land use in the study area during 1980—2000. Analysis on the relationship between soil erosion and land use suggests that different land use types had different degrees of soil erosion, i. e. barren land<other land<onstruction land<forest land<water area<paddy field<grassland with low coverage<shrub land<grassland with high coverage<open forest land<grassland with medium coverage<dry land. Among these land use types, dry land, grassland with medium coverage and open forest land were mostly frequently accompanied with soil erosion. All types of soil erosion concentrate on areas with vegetation coverage of 50%~60%. When the vegetation coverage fell to 50%~60%, the most serious soil erosion happened, which was different with the situation in non-karst areas where soil erosion in-

收稿日期:2012-09-27

修回日期:2012-12-06

资助项目:国家科技支撑计划子课题(2011BAC09B08-04);国家地质调查计划项目(1212011220090)

作者简介:王尧(1979—),女,山东威海人,助理研究员,博士,主要从事土地科学研究。E-mail:wangyaopku@pku.edu.cn

通信作者:蔡运龙(1948—),男,贵州贵阳人,教授,博士,主要从事自然地理学、土地变化、地理学理论与方法等方面的研究。E-mail:caiyl@urban.pku.edu.cn

tensified along with the degradation of vegetation.

Key words: soil erosion intensity; land use pattern; vegetation coverage; karst; Wujiang River Basin

土壤侵蚀作为土地利用/土地覆被变化引起的主要环境效应之一,是自然因素和人为因素叠加的结果,是全世界瞩目的环境问题。土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究已逐渐成为 LUCC 和土壤侵蚀研究的一项重要的新课题^[1-13]。我国西南喀斯特地区地形破碎,土层瘠薄,生态环境非常脆弱。在人口和经济发展的双重压力下,粗放式土地利用强度过大,导致严重的土地退化乃至“石漠化”,以土壤侵蚀为特征的土地退化成为喀斯特地区的主要环境问题^[14]。研究表明,土地利用是人类作用于喀斯特环境的最主要的表现方式,不合理的土地利用方式是造成喀斯特山区土壤侵蚀和环境退化的主要人为因素^[15-16],但此类因素的作用过程和机理尚未明确。因此,迫切需要将侧重格局的宏观研究与侧重过程的微观研究结合起来,了解喀斯特这类特殊地域内土地利用变化的动态过程及其环境效应,从而制定合乎自然生态规律并有益于人类发展的生态建设和管理措施,为这一区域脆弱生态系统的综合整治和可持续发展提供决策依据。许月卿等^[17]采用“3S”技术和 RU-SLE 模型,分析了近 30 a 来乌江流域的子流域猫跳河流域的土地利用/覆被变化时空特征,模拟了不同土地利用空间格局下的土壤侵蚀状况,探讨了土地利用变化对土壤侵蚀的影响。但还缺乏以大尺度乌江流域为研究对象进行土地利用及其变化的土壤侵蚀效应研究,因此,本文以乌江流域为研究对象,分析其土地利用变化,探讨土地利用与土壤侵蚀之间的关系,旨在为乌江流域的合理开发利用和水土保持规划提供科学依据,为贵州喀斯特高原土地系统变化研究提供中尺度研究案例^[18]。

1 研究区概况

本文以贵州中部的乌江流域为研究区。乌江属长江水系,发源于贵州西部乌蒙山东麓威宁县境的香炉山,其干流在贵州省境内流经威宁、水城、纳雍等 23 个县市,在东北部出境进入四川,主要支流有六冲河、三岔河、猫跳河、鸭池河、湘江、偏岩河、清水江、石阡河和余庆河等。乌江流域在贵州省境内面积 51 817 km²,其地势西高东低,呈现明显的三级阶梯。流域内 75.6% 的地区为碳酸质岩发育的岩喀斯特地貌。上游威宁、赫章一带溯源侵蚀尚未波及,高原地面保存较好;中下游地区大多河谷深切,山高谷深,地表起伏度最高可达 300 m。乌江流域土壤侵蚀均属

于水力侵蚀,包括微度、轻度、中度、强度和极强度侵蚀 5 种类型,以微度和轻度侵蚀为主。全流域自然土壤共分为黄壤、灌淤土、水稻土、山地草甸土、粗骨土、石质土、紫色土、石灰土、棕壤和黄棕壤等,其中以黄壤所占比重为最大,石灰土和水稻土次之。乌江流域的大部分植被具有亚热带植被的性质,根据植被发育的基质条件可分为:酸性土植被,包括针叶林、阔叶林、竹林、灌丛及草丛等类型;钙质土植被,也称石灰岩植被类型,包括针叶林、阔叶林、灌丛及草丛等类型;水生植被与沼泽植被面积不大,分布较局限。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

土地利用数据主要来源于美国地质调查局 (USGS) 共享的 80 年代初和 2000 年左右的覆盖乌江流域的不同时相的共 15 幅 Landsat MSS/ETM 遥感影像数据,80 年代初的 MSS 影像的分辨率为 80 m,2000 年左右的 ETM 影像分辨率是 30 m。乌江流域土壤侵蚀强度等级分布图来自 2000 年贵州省土壤侵蚀遥感调查成果。2000 年的 GIMMS/AVHRR NDVI 数据(时间分辨率为 15 d,空间分辨率为 8 km × 8 km)来源于 NASA 全球监测与模型研究组 (Global Inventor Modeling and Mapping Studies, GIMMS)发布的 GIMMS/AVHRR NDVI 数据集。

2.2 研究方法

2.2.1 多时相 Landsat MSS/ETM 土地覆被分类

土地覆被分类采用中科院资源环境信息数据库的土地利用/覆被六大类分类法,结合乌江流域的地面特征、Landsat MSS/ETM 影像分辨率和乌江流域生态重建工程的实施状况,将研究区的土地覆被分为水田、旱地、有林地、疏林地、灌木林地、其他林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、水域、建设用地和裸岩石砾地共 12 种。基于 ERDAS IMAGINE 平台,参照流域 1:10 000 地形图,结合野外实地考察,对 15 幅遥感影像数据进行人工目视解译,得到乌江流域 1980 年和 2000 年两期土地覆被类型图,两期解译结果的 Kappa 指数分别为 0.81 和 0.78,解译精度符合要求,最终完成研究区 1980 年和 2000 年土地利用数据解译与数据库的构建。

2.2.2 土壤侵蚀强度指数

用土壤侵蚀强度指数来更好地反映不同土地利用类型上的土壤侵蚀强度,其计算公式为:

$$E_j=100\times\sum_{i=1}^nC_i\times A_i/S_j\tag{1}$$

式中: E_j ——第 j 种土地利用方式的土壤侵蚀强度指数; C_i ——第 j 种土地利用方式第 i 类土壤侵蚀强度分级值; A_i ——第 j 种土地利用方式第 i 类土壤侵蚀所占的面积; S_j ——第 j 种土地利用方式所占的土地面积; n ——第 j 种土地利用方式土壤侵蚀的类型总数,为了便于统计分析,将其扩大 100 倍。乌江流域土壤侵蚀强度分为五级:微度、轻度、中度、强度和极强度,分级值分别为 1,2,3,4,5。据此可定量分析土壤侵蚀对土地利用方式的响应关系。

2.2.3 植被覆盖度 影像的植被覆盖度值通过式(2)计算得到,然后采用蔡崇法等^[19]建立的 C 因子值与植被覆盖度之间的回归方程计算 C 值。

$$V_n=(NDVI-NDVI_{min})/(NDVI_{max}-NDVI_{min})\tag{2}$$

式中: V_n ——像元植被覆盖度; $NDVI_{min}$ ——裸土或无植被覆盖区域的 $NDVI$ 值,即无植被像元的 $NDVI$ 值; $NDVI_{max}$ ——完全被植被所覆盖的像元的 $NDVI$ 值,即纯植被像元的 $NDVI$ 值。

3 结果与分析

3.1 土地利用动态变化分析

3.1.1 土地利用数量变化 通过多时相 Landsat MSS/ETM 土地覆被分类,得到乌江流域 1980 年和 2000 年土地利用格局(附图 1)。

运用 GIS 的空间叠置分析功能,同时结合流域实测资料,统计流域 1980—2000 年 20 a 间土地类型变化情况。从表 1、附图 1 中可以看出:流域土地利用类型以耕地、林地和草地为主,其中林地约占总面积的 50%左右,是流域最主要的土地覆被类型。旱

地主要分布在流域上游,中游林地分布面积最大,草地集中分布在流域上游和下游。水田在猫跳河流域分布较广。1980—2000 年,水田、旱地均在减少,其中减少幅度最大的是旱地,达 1.34%(664 km²)。裸岩地和未利用地基本维持不变。林地、草地和城镇用地均有不同程度的增加,其中林地增加幅度最大,增加了 625 km²。1980—2000 年的 20 a 间,流域内土地利用/土地覆被总体变化明显。这主要是由于 1980s 初期由于大规模的农业开发及经济发展,加之政府及民众环保意识薄弱引起的环境保护措施不力,水土流失情况最为严重,土地覆被状况极差。上游六冲河流域的七星关水文站 1980s 初期侵蚀模数达到 1 050 t/(km²·a),土壤侵蚀厚度达到 78 mm/a。1990s 由于生态保护意识的加强及各试验区的建设,相继实施多项重点农业综合开发以及天然林保护等水土保持工程和措施,如“长治”工程、“坡改梯”工程、“世防林”以及引水渠堤、拦沙坝等配套蓄水工程,流域 20 a 间年均输沙模数呈下降趋势(图 1),流域总体土壤侵蚀得到控制。因此,2000 年流域土地类型和 1980 年相比耕地面积减少了 820 km²,草地增加了 179 km²,林地增加了 625 km²(图 2)。总体来看,1980—2000 年,流域土地覆被状况呈好转趋势。

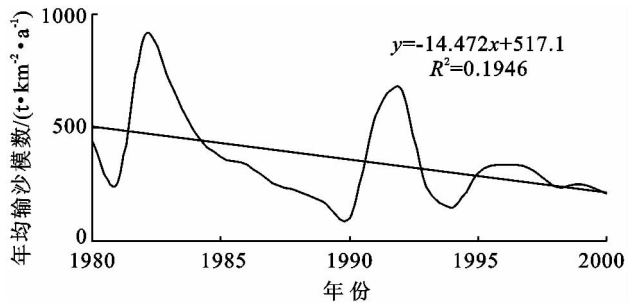


图 1 乌江流域 20 a 间年均输沙模数变化

表 1 乌江流域 1980—2000 年土地利用类型及其变化

地类	1980 年		2000 年		1980—2000 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
水田	3904	5.88	3748	5.56	—156	—0.32
旱地	12202	24.63	11538	23.29	—664	—1.34
有林地	5198	10.49	5274	10.64	76	0.15
灌木林	15167	30.61	15600	31.49	433	0.88
疏林地	3720	5.51	3832	5.73	112	0.22
其他林地	139	0.28	143	0.29	4	0.01
高覆盖度草地	455	0.92	463	0.93	8	0.01
中覆盖度草地	7702	15.54	7859	15.86	157	0.32
低覆盖度草地	544	1.10	558	1.13	14	0.03
水域	223	0.45	223	0.45	0	0
建设用地	283	0.57	303	0.61	20	0.04
裸岩石砾地	10	0.02	4	0.01	—6	—0.01

3.1.2 土地利用变化的空间转移 由解译的 1980 年和 2000 年两期矢量土地利用现状图生成的土地利

用转移矩阵(表 2)可知,在研究时段内,流域内发生转化的地类面积占流域总面积的 46%。各地类转化

面积在 0~53.9%之间,其中裸岩石砾地转化为灌木林地的比例最大,为 53.9%;其次有 26.8%的旱地转化为灌木林地;还有 24.8%的其他林地转化为水田。(1) 旱地主要转化为灌木林地和中覆盖度草地;(2) 林地主要转出为旱地,或在林地内部发生转化;(3) 46.15%的草地未发生变化,有 6.3%的高覆盖度草地转化为有林地、5.9%的中覆盖度草地和15.7%的低覆盖度草地转化为水田;(4) 水域向旱地和灌木林地转化的面积相当,还有 12%的水域转化为中覆盖度草地;(5) 建设用地向水田、灌木林地和旱地转化的面积分别约占建设用地总面积的 15%;(6) 53.9%的裸岩石砾地转为中覆盖度草地,少量转化为旱地和

灌木林地。

从各土地利用类型的新增面积的转化来源看:(1) 新增的旱地由灌木林地、中覆盖度草地和有林地转换而来;新增的水田主要来自灌木林地、中覆盖度草地以及旱地;(2) 林地主要由旱地转化而来;(3) 新增的草地主要由旱地和灌木林地转化而来;(4) 新增的水域主要由灌木林地转化而来;(5) 绝大多数的新增建设用地由灌木林地和耕地转化而来;(6) 新增的裸岩石砾地由中覆盖度草地、旱地和灌木林地转换而来。

以上结果表明,从 20 世纪 80 年代初到 2000 年初,耕地、林地和草地间相互转化较频繁,乌江流域的水土保持工作已见成效,土地覆被状况好转。

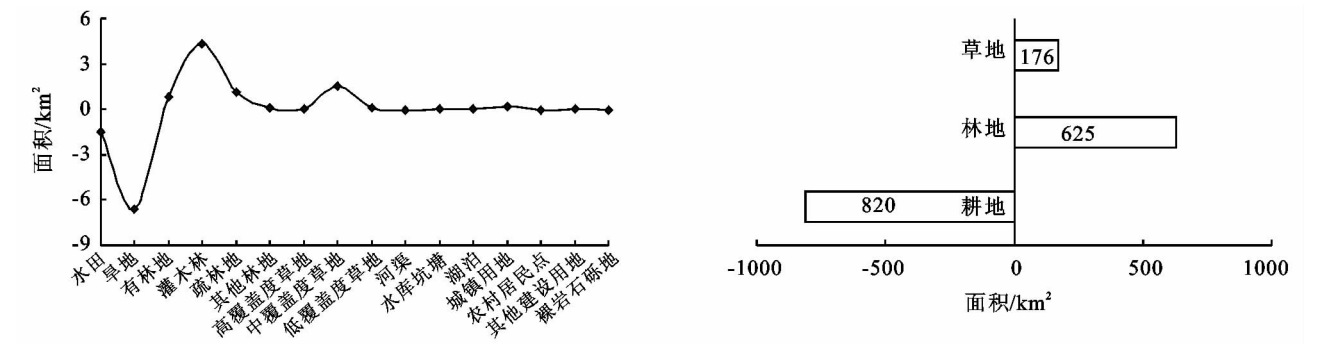


图 2 1980—2000 年间各土地类型面积变化

表 2 1980—2000 年乌江流域土地利用/覆被变化面积和概率转移矩阵

土地利用类型	项目	水田	旱地	有林地	灌木林地	疏林地	其他林地	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	水域	建设用地	裸岩石砾地	1980 年合计
有林地	面积/km ²	269	758.00	2545.00	908.00	372	6.00	19.00	267.00	14.00	15.00	25.00	0.00	5198
	概率/%	5.18	14.58	48.96	17.47	7.16	0.12	0.37	5.14	0.27	0.29	0.48	0.00	100
灌木林地	面积/km ²	752	2918	898.00	8615.00	361	5.00	88.00	1352.00	73.00	52.00	51.00	0.00	15167
	概率/%	4.96	19.24	5.92	56.80	2.38	0.03	0.58	8.91	0.48	0.34	0.34	0.00	100
疏林地	面积/km ²	321.00	709.00	402	361.00	1567	7.00	14.00	300.00	20.00	9.00	9.00	0.00	3720
	概率/%	8.63	19.06	10.81	9.70	42.12	0.19	0.38	8.06	0.54	0.24	0.24	0.00	100
其他林地	面积/km ²	34.00	16.00	2.00	10.00	6.00	48.00	0.00	5.00	2.00	11.00	6.00	0.00	139
	概率/%	24.46	11.51	1.44	7.19	4.32	34.53	0.00	3.60	1.44	7.91	4.32	0.00	100
高覆盖度草地	面积/km ²	16.00	53.00	29.00	95.00	13.00	0.00	189.00	54.00	5.00	1.00	1.00	0.00	455
	概率/%	3.52	11.65	6.37	20.88	2.86	0.00	41.54	11.87	1.10	0.22	0.22	0.00	100
中覆盖度草地	面积/km ²	452	1556	261.00	1381	325	7.00	52.00	3566.00	54.00	19.00	26.00	2.00	7702
	概率/%	5.87	20.20	3.39	17.93	4.22	0.09	0.68	46.30	0.70	0.25	0.34	0.03	100
低覆盖度草地	面积/km ²	85.00	123.00	17.00	66	28	4.00	3.00	46.00	154.00	5.00	13.00	0.00	544
	概率/%	15.63	22.61	3.13	12.13	5.15	0.74	0.55	8.46	28.31	0.92	2.39	0.00	100
水域	面积/km ²	21.00	42.00	14.00	46	11	6.00	1.00	27.00	5.00	48.00	3.00	0.00	223
	概率/%	9.42	18.83	6.28	20.63	4.93	2.69	0.45	12.11	2.24	21.52	1.35	0.00	100
建设用地	面积/km ²	48.00	40.00	12.00	43	9	4.00	1.00	24.00	14.00	1.00	87.00	0.00	283
	概率/%	16.96	14.13	4.24	15.19	3.18	1.41	0.35	8.48	4.95	0.35	30.74	0.00	100
裸岩石砾地	面积/km ²	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	5.00	1.00	0.00	0.00	1.00	10
	概率/%	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	50.00	10.00	0.00	0.00	10.00	100
水田	面积/km ²	1154	597.00	303.00	808.00	340	33.00	23.00	494.00	93.00	19.00	39.00	0.00	3904
	概率/%	29.56	15.29	7.76	20.70	8.71	0.85	0.59	12.65	2.38	0.49	1.00	0.00	100
旱地	面积/km ²	594.00	4723	793.00	3265	800	25	71.00	1719.00	124.00	42.00	45.00	0.00	12202
	概率/%	4.87	38.71	6.50	26.76	6.56	0.2	0.58	14.09	1.02	0.34	0.37	0.00	100
2000 年合计	面积/km ²	3748	11538	5274	15600	3832	143	463	7859	558	223	303	4.00	49546

3.2 土壤侵蚀强度与土地利用方式之间的耦合关系

利用乌江流域 2000 年土地利用数据和土壤侵蚀数据,在 GIS 技术的支持下,研究了该地区土壤侵蚀强度与土地利用类型之间的耦合关系。

3.2.1 土壤侵蚀与土地利用格局分析 附图 1 和图 3 分别表示乌江流域 2000 年土地利用和土壤侵蚀空间分布图。由附图 1 可知,乌江流域土地利用以林地、耕地和草地为主,分别占流域总面积的 50%,31%,18%。林地以灌木林地为主,在研究区广泛分布,占林地总面积的 31.49%,主要分布在乌江中游,上游六冲河右岸也有大面积分布。有林地占 10.66%,主要分布在中游地区,集中在湘江流域和余庆河流域。耕地以旱地为主,占总面积的 23.24%,集中分布在上游毕节地区六冲河流域和下游思南、德江、沿河等石质低山区。草地主要分布在乌江流域右岸三岔河流域、清水江流域和石阡河流域,以中覆盖度草地为主,占流域总面积的 15.86%。

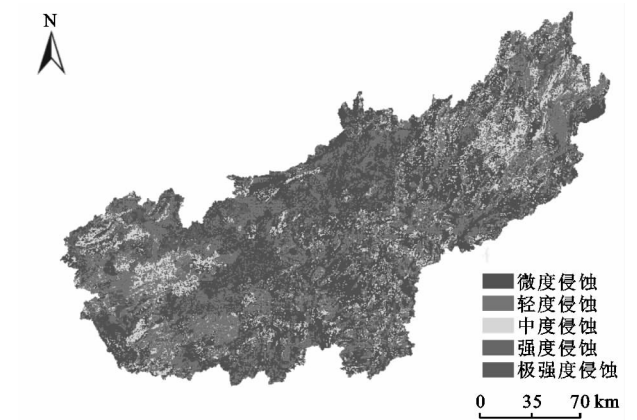


图 3 乌江流域 2000 年土壤侵蚀分布

由图 3 可知,由于位处高温多雨的高原亚热带湿润气候区,贵州的土壤侵蚀全属于水蚀类型。按照国家水利部发布的《土壤侵蚀分类分级标准》^[20],乌江流域土壤侵蚀包括微度、轻度、中度、强度和极强度 5 种类型,其面积分别占流域总面积的 55%,26.19%,13.21%,4.82%,0.78%。水土流失强度高,分布面积广的区域在乌江流域上游的赫章、镇雄、纳雍和下游的思南、德江、印江土家族苗族自治县和沿河土家族自治县,其共同特点是地形切割强烈、平均坡度大,侵蚀强度等级高的类型多发生在土质山地的坡耕地和植被稀疏区。流域内碳酸盐岩分布广泛,这些岩层大多具有石质坚硬、成土过程缓慢、土层浅薄的特点,在现代加速侵蚀条件下,很多山丘土壤侵蚀殆尽,岩石裸露,成为广大无土可流区域,水土资源不断流失后呈现的“石漠化”现象严重。乌江流域的思南、德江、沿河等县裸岩石山到处可见,约有 20% 的面积石漠化。在中度和强度石漠化地区,土壤侵蚀表现为侵蚀

总量小,但局部地段侵蚀大,土壤侵蚀强度小但有植被覆盖区侵蚀强度大的特点。因此虽然流域土壤侵蚀以微度和轻度侵蚀为主,但从控制水土流失的角度来看,轻度和中度土壤侵蚀地区也是重点治理地区。

3.2.2 不同土地利用类型下的土壤侵蚀强度分布 将乌江流域 2000 年土地利用图和土壤侵蚀图在 ArcGIS 中进行叠加、统计等空间分析,获得不同土地利用类型上不同土壤侵蚀强度的面积、比重和土壤侵蚀强度指数(表 3)。

表 3 不同土地利用类型土壤侵蚀强度分布

土地利用类型	侵蚀面积/ km ²	比重/%	土壤侵蚀 强度指数
低覆盖度草地	511	1.04	161
高覆盖度草地	450	0.92	176
灌木林地	15402	31.34	166
旱地	11490	23.38	182
建设用地	290	0.59	142
裸岩石砾地	6	0.01	133
其他林地	132	0.27	140
水田	3731	5.59	158
水域	248	0.50	155
疏林地	3800	5.73	179
有林地	5279	10.74	152
中覆盖度草地	7800	15.87	181

表 3 表明,不同土地利用类型下的土壤侵蚀强度大小为:裸岩石砾地<其他林地<建设用地<有林地<水域<水田<低覆盖度草地<灌木林地<高覆盖度草地<疏林地<中覆盖度草地<旱地。旱地、中覆盖度草地和疏林地上土壤侵蚀严重。林地、草地和旱地土壤侵蚀强度指数分别为 162,180,182。旱地引发的土壤侵蚀强度最大,草地次之,林地最小,这与非喀斯特地区的侵蚀规律相同。

由表 4 可以看出,林地侵蚀以微度侵蚀为主,其面积占林地总面积 58%,其中轻度、中度、强度和极强度侵蚀分别占林地总面积的 25%,12%,4%,1%。根据土壤和气候的不同,林地又可分为有林地、灌木林地、疏林地和其他林地等,土壤侵蚀强度也不相同。有林地、灌木林地和其他林地都以微度侵蚀为主,分别占各自总面积的 64%,58%,67%。疏林地发生的中度以上侵蚀和微度侵蚀面积相当,均占其总面积的 50%。从土壤侵蚀强度指数来看,侵蚀强度大小依次为:其他林地<有林地<灌木林地<疏林地。

草地中高盖度草地以微度侵蚀为主,占其总面积的 55%。中盖度草地微度侵蚀和轻度以上侵蚀面积相当,各占 50%。低覆盖度草地以微度侵蚀为主,轻度以上侵蚀面积占其总面积的 43%。从土壤侵蚀强度指数来看,侵蚀强度大小依次为:低覆盖度草地<

高覆盖度草地<中覆盖度草地,这与非喀斯特地区随着植被盖度降低,侵蚀强度逐渐增大的规律不同。喀斯特地区土壤是侵蚀物质的直接来源,土层厚度是决定土壤侵蚀发生及强弱的关键^[21-22],植被覆盖度低的

地方,岩层大多石质坚硬、成土过程缓慢、土层浅薄,所以土壤侵蚀强度反而小。因此草地植被覆盖度存在一个临界值,低于此临界值,土壤侵蚀的发生和土壤侵蚀强度皆因侵蚀源的影响而降低。

表 4 不同土地利用类型的土壤侵蚀等级面积和比例

土地利用类型	项目	微度	轻度	中度	强度	极强度	合计
低覆盖度草地	面积/km ²	293	134	75	7	2	511
	比例/%	57	26	15	1	0	100
高覆盖度草地	面积/km ²	248	113	45	39	5	450
	比例/%	55	25	10	9	1	100
灌木林地	面积/km ²	8879	3845	1838	681	159	15402
	比例/%	58	25	12	4	58	100
旱地	面积/km ²	5591	3308	1797	668	126	11490
	比例/%	49	29	16	6	1	100
建设用地	面积/km ²	196	70	21	3	0	290
	比例/%	68	24	7	1	0	100
裸岩石砾地	面积/km ²	5	0	1	0	0	6
	比例/%	83	0	17	0	0	100
其他林地	面积/km ²	89	35	6	2	0	132
	比例/%	67	27	5	2	67	100
水田	面积/km ²	2212	965	462	82	10	3731
	比例/%	59	26	12	2	0	100
水域	面积/km ²	153	61	27	7	0	248
	比例/%	62	25	11	3	0	100
疏林地	面积/km ²	1898	1066	584	242	10	3800
	比例/%	50	28	15	6	0	100
有林地	面积/km ²	3399	1191	528	147	14	5279
	比例/%	64	23	10	3	0	100
中覆盖度草地	面积/km ²	3839	2214	1172	513	62	7800
	比例/%	49	28	15	7	1	100

乌江流域耕地土壤侵蚀中水田由于地形地貌条件影响较少,侵蚀也以微度侵蚀为主,占总侵蚀面积的 59.3%;旱地则以轻度水蚀以上为主,轻度以上侵蚀面积占其总面积 51.34%。主要原因是流域内相当一部分旱地未采取水保措施,且分布在陡坡上,垦殖活动频繁,土壤结构被破坏,易造成水土流失。从土壤侵蚀强度指数也可以看出,旱地侵蚀是各种土地利用类型中最高的。减小陡坡旱地面积,是进行水土流失治理的有效措施。

建设用地虽然所占面积比重小,但由于人类活动剧烈,也造成了水土流失。裸岩石砾地由于缺乏土壤,土壤侵蚀强度指数最小,侵蚀程度最低。

以上分析说明,不同土地利用类型对土壤侵蚀的发育的影响不同,不合理的土地利用方式对土壤侵蚀的影响表现为破坏土壤生态系统的平衡、降低土壤渗透性、增加地表径流、减少植被覆盖,最终导致严重的水土流失。同时也应注意到,地表覆盖度大的地区土

壤侵蚀低于疏密地区,因此,应加强对林地、草地和旱地的管理与调控。

3.2.3 土壤侵蚀空间分布的植被覆盖度特征分析
由上分析可知,在高覆盖度、中覆盖度和低覆盖度三种类型草地中,中覆盖度草地的土壤侵蚀强度最大,草地植被覆盖度存在一个临界值,低于此临界值,土壤侵蚀的发生和土壤侵蚀强度皆因侵蚀源的影响而降低。为明确临界植被覆盖度的范围,进一步分析了喀斯特地区土壤侵蚀与植被覆盖度之间的关系。按照 10%的植被覆盖度间距,将乌江流域 2000 年植被覆盖度划分成 9 个等级(图 4)。将植被覆盖度等级专题图与土壤侵蚀空间分布图进行叠加计算与统计分析,得到乌江河流域土壤侵蚀空间分布的植被覆盖度谱图,对其分异性进行分析。

乌江河流域土壤侵蚀空间分布的植被覆盖度谱图及各侵蚀类型内部不同植被覆盖度等级所占面积比例的统计结果见图 5。

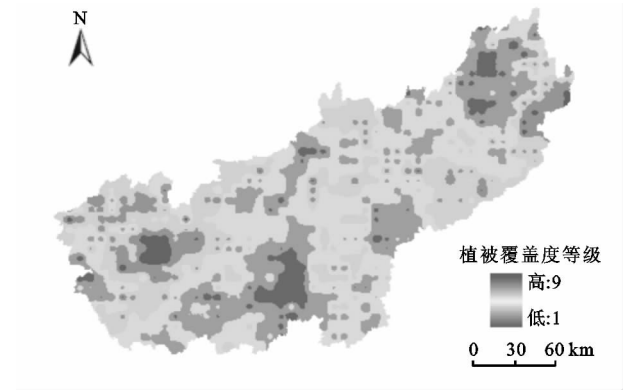


图 4 乌江植被覆盖度等级

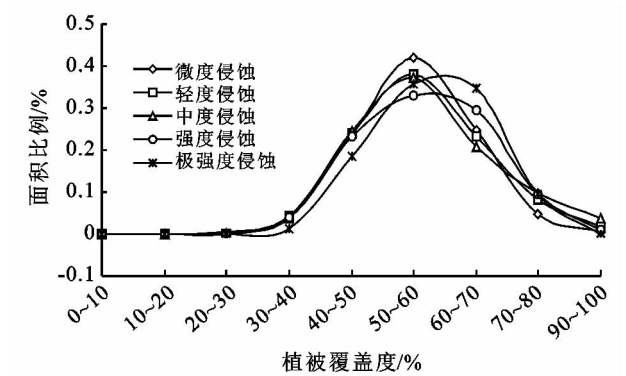


图 5 乌江流域土壤侵蚀空间分布的植被覆盖度特征

表 5 研究区各侵蚀类型内部不同植被覆盖度等级所占的比例

植被覆盖度/%	微度侵蚀		轻度侵蚀		中度侵蚀		强度侵蚀		极强度侵蚀	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
0~10	8	0.03	3	0.02	1	0.01	0	0	0	0
10~20	13	0.05	5	0.04	4	0.06	0	0	0	0
20~30	159	0.59	40	0.31	16	0.24	0	0.02	0	0
30~40	990	3.68	541	4.16	247	3.75	93	3.89	5	1.34
40~50	6393	23.76	3129	24.07	1608	24.44	555	23.25	69	18.51
50~60	11309	42.03	4930	37.92	2454	37.29	789	33.08	134	35.74
60~70	6657	24.74	3037	23.36	1367	20.78	703	29.45	131	34.87
70~80	1262	4.69	1083	8.33	644	9.78	225	9.41	36	9.5
90~100	110	0.41	233	1.79	240	3.65	21	0.9	0	0.03
合计	26907	100	13001	100	6580	100	2386	100	375	100

从图 5 和表 5 可知,各强度类型侵蚀都集中分布在植被覆盖度 50%~60% 的地区,侵蚀存在 50%~60% 的植被覆盖度临界值,形成岩溶地区独特的土壤侵蚀强度小但有植被覆盖区侵蚀强度大的特点。

3.2.4 不同土壤侵蚀强度下的土地利用类型分布
乌江流域不同土壤侵蚀强度下土地利用类型的空间分布面积比例见表 6。

表 6 乌江流域不同土壤侵蚀强度下土地利用类型分布

土地利用类型	微度侵蚀区	轻度侵蚀区	中度侵蚀区	强度侵蚀区	极强度侵蚀区
低覆盖度草地	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
高覆盖度草地	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
灌木林地	0.33	0.3	0.28	0.28	0.41
旱地	0.21	0.25	0.27	0.28	0.32
建设用地	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
裸岩石砾地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
其他林地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
水田	0.08	0.07	0.07	0.03	0.03
水域	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
疏林地	0.07	0.08	0.09	0.10	0.03
有林地	0.13	0.09	0.08	0.06	0.04
中覆盖度草地	0.14	0.17	0.18	0.21	0.16
合计	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

由表 6 可知,各类型侵蚀区均以灌木林地、旱地和中覆盖度草地为主,灌木林地所占比例均最大,旱地次之。灌木林地在极强度侵蚀区的分布面积占到

41%,旱地达到 32%。中覆盖度草地在各类型区所占面积比例仅次于灌木林地和旱地,最高在强度侵蚀区占 21%。随着侵蚀强度的增大,旱地侵蚀所占面积比重呈上升趋势,中覆盖度草地先增加后降低,而灌木林地则先减小后增大。

3.2.5 土壤侵蚀与土地利用方式的耦合关系分析
从上述分析得知,土壤侵蚀与土地利用存在很大的相关性,土地利用直接影响土壤侵蚀的强度。总体上,乌江流域土壤侵蚀以微度为主,轻度和中强度次之。耕地中旱地土壤侵蚀强度最大,中覆盖度草地次之,疏林地位居第三。林地在流域中游丘陵盆地区广泛分布,为轻度侵蚀。林地随着植被覆盖度的降低,侵蚀强度逐渐增大,依次为:其他林地<有林地<灌木林地<疏林地。草地侵蚀存在植被覆盖度临界值,由高覆盖度草地到中覆盖度草地,土壤侵蚀强度上升,而植被覆盖度低于临界值后由中覆盖度草地到低覆盖度草地土壤侵蚀强度反而降低。在三类主要土地覆被类型中,发生的土壤侵蚀强度大小为林地<草地<旱地。从土壤侵蚀区域分布来看,各强度土壤侵蚀区对应的土地利用类型均以灌木林地、旱地和中覆盖度草地为主。随着侵蚀强度的增加,中覆盖度草地所占比例递增,而灌木林地先下降后上升,旱地则先上升后下降,强度侵蚀区是拐点。综合上述分析得出,土地利用类型与土壤侵蚀的发育有着极强的关联,深

刻揭示了不合理的开发利用土地资源和经营管理制度会给水土保持工作带来严重后果的客观规律。

4 结论

本文采用不同时期的遥感影像数据、“3S”技术、基于 ERDAS IMAGINE 和 ArcGIS 平台,分析了 1980—2000 年间乌江流域土地利用/覆被变化的时空特征,探讨了土地利用方式对土壤侵蚀的影响,研究表明:

(1) 乌江流域土地利用类型以林地为主,耕地次之。1980—2000 年的 20 a 间,流域土地利用/覆被的数量结构变化特征是林地和草地呈增长趋势,耕地面积相应减少。流域内发生转化的地类面积占流域总面积的 46%。其中裸岩石砾地转化为灌木林地的比例最大,为 53.9%;其次有 26.8%的旱地转化为灌木林地;24.8%的其他林地转化为水田。

(2) 从土壤侵蚀强度指数可看出,土壤侵蚀程度大小为:裸岩石砾地<其他林地<建设用地<有林地<水域<水田<低覆盖度草地<灌木林地<高覆盖度草地<疏林地<中覆盖度草地<旱地。旱地、中覆盖度草地和疏林地是流域土壤侵蚀发生的主要土地利用类型。

(3) 各强度类型侵蚀都集中分布在植被覆盖度为 50%~60%的地区,侵蚀存在 50%~60%的植被覆盖度临界值,这与非喀斯特地区随着植被盖度降低,侵蚀强度逐渐增大的规律不同。

(4) 各强度类型侵蚀区均以灌木林地、旱地和中覆盖度草地为主,灌木林地所占比例均最大,旱地次之。随着侵蚀强度的增大,旱地侵蚀所占面积比重呈上升趋势,中覆盖度草地先增加后降低,而灌木林地则先减小后增大。

参考文献:

- [1] 吴秀芹,蔡运龙.土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展[J].地理科学进展,2003,22(6):576-584.
- [2] 万军,蔡运龙,张惠远,等.贵州省关岭县土地利用—土地覆被变化及土壤侵蚀效应研究[J].地理科学,2004,24(5):573-579.
- [3] 傅伯杰,邱扬,王军,等.黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J].地理学报,2002,57(6):717-722.
- [4] 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):1571-1576.
- [5] 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):24-31.
- [6] 穆天龙,谢婧,吴健生,等.深圳市土地利用对土壤侵蚀的影响研究[J].水土保持研究,2010,17(3):53-58.
- [7] 张船红,何政伟,仇文侠,等.拉萨市城关区土地利用与土壤侵蚀变化分析[J].水土保持研究,2010,17(3):74-78.
- [8] 周平,蒙古军.鄂尔多斯市 1988—2000 年土壤水力侵蚀与土地利用时空变化关系[J].自然资源学报,2009,24(10):1706-1714.
- [9] 许月卿,罗鼎,冯艳,等.西南喀斯特山区土地利用—覆被变化研究:以贵州省猫跳河流域为例[J].资源科学,2010,32(9):1752-1760.
- [10] 赵洋毅,周运超,段旭.黔中石灰岩喀斯特表层土壤结构性与土壤抗蚀抗冲性[J].水土保持研究,2008,15(2):18-21.
- [11] 陈洪松,杨静,傅伟,等.桂西北喀斯特峰丛不同土地利用方式坡面产流产沙特征[J].农业工程学报,2012,28(16):121-126.
- [12] ZHANG Xiaoming, CAO Wenhong, GUO Qingchao, et al. Effects of landuse change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau[J]. International Journal of Sediment Research,2010,25(3):283-293.
- [13] Zokaib S, Nasef Gh. Impacts of land uses on runoff and soil erosion a case study in Hilkot watershed Pakistan[J]. International Journal of Sediment Research, 2011,26(3):343-352.
- [14] 蔡运龙.中国西南喀斯特山区的生态重建与农林牧业发展:研究现状与趋势[J].资源科学,1999,21(5):37-41.
- [15] 苏维词.贵州喀斯特山区的土壤侵蚀性退化及其防治[J].中国岩溶,2001,20(3):217-223.
- [16] 李阳兵,高明,魏朝富,等.土地利用对岩溶山地土壤质量性状的影响[J].山地学报,2003,21(1):41-49.
- [17] 许月卿,彭建.贵州猫跳河流域土地利用变化及其对土壤侵蚀的影响[J].资源科学,2008,30(8):1218-1225.
- [18] 蔡运龙.贵州喀斯特高原土地系统变化空间尺度综合的一个研究方案[J].地球科学进展,2009,24(12):1301-1306.
- [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].水土保持学报,2000,14(2):19-24.
- [20] 万军,蔡运龙,路云阁,等.喀斯特地区土壤侵蚀风险评估:以贵州省关岭布依族苗族自治县为例[J].水土保持研究,2003,10(3):149-153.
- [21] 吕明辉,王红亚,蔡运龙.西南喀斯特地区土壤侵蚀研究综述[J].地理科学进展,2007,26(2):87-94.
- [22] 熊康宁,李晋,龙明忠.典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J].地理学报,2012,67(7):878-887.