

基于CSLE模型的贵州省水土流失规律分析

陈美淇¹, 魏欣¹, 张科利¹, 陈月红²

(1. 北京师范大学地理科学学部地理学院, 北京 100875; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100048)

摘要: 应用第一次全国水利普查水土保持专项数据, 分析了喀斯特地区实际土地利用单元地块空间统计特征及相应侵蚀规律。结果表明: 喀斯特地区土地利用类型以林地、耕地为主, 共占调查总面积的 86.2%。由于地形破碎, 地势陡峭, 土地表现出破碎化特征, 地块面积、坡长、坡度均值分别为 3.45 hm², 45.3 m, 21.7°。坡度对土壤侵蚀的影响大于坡长, 陡坡耕作是导致耕地土壤侵蚀严重的主要原因, 68.6% 的耕地位于陡坡, 其侵蚀量占总侵蚀量的 65.6%。贵州省土壤侵蚀程度由西向东递减, 以黔西南地区侵蚀最为严重。工程措施能够有效防治土壤侵蚀, 减沙效益在 75% 以上, 但随坡度增大而减小, 林草地减沙效益优于工程措施。在区域水土保持规划时, 应重点考虑土壤侵蚀强烈地区, 减少陡坡耕作, 推广还林还草。

关键词: 喀斯特; 土地利用; 水土流失; CSLE

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0016-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.03.003

Analysis of the Characteristics of Soil and Water Loss in Guizhou Province Based on CSLE

CHEN Meiqi¹, WEI Xin¹, ZHANG Keli¹, CHEN Yuehong²

(1. School of Geography, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048)

Abstract: To explore the characteristics of soil and water loss in the Karst region, we analyzed the spatial statistic features and soil erosion characteristics of blocks. According to the First National Water Census, field surveys were carried out using blocks as the minimum survey units. A block is an area in which land use, soil and water conservation measures and coverage are identical. Soil erosion modulus was calculated using the CSLE (Chinese Soil Loss Equation) model. The results showed that farmland and forest were dominated in the Karst region, accounting for 86.2% of the total area. Because of cracked terrain and steep slopes, the landscape showed fragmentation characteristics. The average area, slope length, slope gradient of blocks were 3.45 hm², 45.3 m, and 21.7°, respectively. Analysis of the erosion modulus showed that 68.6% of farmland blocks had steep gradients and accounted for 65.6% of the total sediment yield. About 50% of farmland suffered severe erosion. The effects of slope gradient on soil erosion were significantly greater than that of slope length. Engineering measures reduced soil erosion by 75%. With the increase of slope gradient, the efficiency of engineering measures in reducing soil erosion decreased and became smaller than that of the forest and grassland. The most serious soil erosion occurred in southwest of Guizhou Province, and the degree of soil erosion decreased from west to east. When planning for regional soil and water conservation, the most seriously eroded area should be given the primary consideration, and reducing cultivation on steep slopes and returning farmland to forest should become the first choice.

Keywords: Karst; land utilization; soil and water loss; CSLE

中国西南喀斯特地区是世界上喀斯特地貌连续分布面积最大、最典型的地区之一^[1]。脆弱的自然环境与不合理的人类活动, 导致该地区水土流失状况特

别严重, 成为我国生态环境问题最为严重的地区之一。剧烈的水土流失不仅造成表土大量流失, 土层变薄, 土壤质量下降, 还导致严重的石漠化问题^[2]。石

收稿日期: 2016-11-22

资助项目: 水利部公益性行业科研专项“水土保持生态效应监测与评价技术研究”(201501045); 国家重点研发计划项目“近年来国家重大生态工程关键技术评估”(2016YFC0503704)

第一作者: 陈美淇(1992—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤资源利用与保护研究。E-mail: mqchen@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 张科利(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀方面研究。E-mail: keli@bnu.edu.cn

漠化的发生将极大降低土地生产力,阻碍区域生态环境恢复。为防治石漠化,必须明确喀斯特区域水土流失规律。目前对喀斯特地区水土流失的研究主要包括区域水土流失特殊性^[3-4],水土流失强度分级^[5],水土流失与石漠化关系^[6]以及敏感性评价^[7]。在喀斯特地区水土流失定量研究方面,袁应飞等^[8]借助人工模拟降雨试验研究土壤侵蚀响应与空间分布特征;郭继成等^[9]通过水槽冲刷试验研究了土壤侵蚀分离过程;张明阳等^[10]利用RS、GIS估算水土流失强度;陈洪松等^[11]通过布设径流小区研究喀斯特地区不同土地利用类型的坡面降雨与产流产沙关系。然而,现有成果中缺乏对喀斯特地区实际土地利用单元空间统计特征,以及相应水土流失成因空间分布规律的分析。本文收集了第一次全国水利普查水土保持专项数据,以实际土地利用单元地块为基础,结合野外实地考察,分析了贵州省实际土地利用单元空间特征与水土流失规律,为该地区水土保持规划与生态效益评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

贵州省位于我国西南部云贵高原向四川盆地及湖南、广西低山丘陵过渡的内陆斜坡地带,地处东经 $103^{\circ}36'—109^{\circ}35'$,北纬 $24^{\circ}37'—20^{\circ}13'$,东西相距595 km,南北长约510 km,土地面积 $176\,167\text{ km}^2$,石漠化比重居全国首位,对其研究、治理具有很强的代表性^[12]。全省西高东低,自西北向东、南、北3面倾斜,最大高差约2 763 m,中部平均海拔约1 100 m,以山地为主,少有丘陵盆地,是我国唯一没有平原的省份,属于典型高原山地地貌。东临湖南,南接广西,西接云南,北靠四川,辖区内6个地级市,3个自治州,共88个区县。全区地处低纬带,年平均气温 $15\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$,1月平均气温最低,7月最高,降水主要集中在4—9月,年均降水量 $1\,100\sim 1\,300\text{ mm}$,属亚热带湿润季风气候。受地形等影响,降水空间分布差异明显。植被以常绿阔叶林为主,土壤类型主要为水稻土、石灰土、黄壤等。区域内水土流失、石漠化严重,是我国水土流失问题最严重的省份之一。

1.2 野外调查单元设计与布设

在全国依据高斯克吕格投影分带进行统一网格布局,根据网格大小划分为4层,以第4层网格($1\text{ km}\times 1\text{ km}$)为基础,按4%密度抽样,在每个控制区($5\text{ km}\times 5\text{ km}$)中心抽取一个 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 网格,即为野外调查单元,山丘区的水蚀调查选择与控制区中心网格相连的面积约为 $0.2\sim 3\text{ km}^2$ 的小流域。本次水蚀野外调查单元以1%密度布设。

1.3 野外调查

地块是指土地利用类型相同,水土保持措施类型相同、郁闭度/盖度相同的空间连续范围^[13]。利用 $1:10\,000$ 地形图制作野外调查底图,填写调查单元基本信息。野外调查时根据实地情况在底图上依次勾绘地块边界,填写水蚀野外调查表,包括行政名称、调查单元基本信息、地块标号、土地利用、生物措施和耕作措施等^[13]。贵州省布设调查单元1 306个,共调查16 636个地块。

1.4 数据处理

利用各县1981—2010年逐日降水量资料,剔除日降雨量小于12 mm的非侵蚀性降雨后,计算降雨侵蚀力 R ,得到全国多年降雨侵蚀力等值线图。根据第二次全国土壤普查资料及更新,计算不同土种典型土壤剖面的土壤可蚀性 K 值,利用土壤发生分类系统中土属与土种的对应关系,将土属 K 值分级后链接到全国土壤类型图上,得到全国土壤可蚀性 K 值空间分布图。基于 $1:10\,000$ 地形图插值生成野外调查单元DEM,提取坡长坡度并计算 LS 因子值。以植被盖度图、降雨侵蚀力图和土地利用图为基础,计算生物措施 B 因子。水蚀野外调查结合土地利用,按照比例平均分配,计算工程措施 E 因子与耕作措施 T 因子^[13]。采用CSLE^[14]模型计算地块及调查单元多年平均土壤水蚀模数。各因子具体计算过程详见文献^[13]。

1.5 数据分析

利用SPSS 18.0软件做描述统计分析,得到各指标最小值、最大值、平均值、标准差、偏度及峰度,并计算其变异系数,进一步分级分析喀斯特地区水土流失规律。利用Origin 8.5与ArcGIS 10.1软件制图。

2 结果与分析

2.1 喀斯特地区土地利用现状

经野外调查16 636个地块,1 306个单元,调查总面积 $57\,365\text{ hm}^2$,分析研究区域土地利用现状(表1)。喀斯特地区土地利用类型以林地为主,占调查总面积的56.2%,其次为耕地,占调查总面积的30.0%。该地区地形破碎,平均地块面积仅为 3.45 hm^2 ,其中62.5%的地块面积小于 2 hm^2 。不同土地利用类型中,林地平均地块面积最大,为 4.51 hm^2 ,耕地次之,为 3.13 hm^2 。地块面积变异系数均大于1,呈右偏态,说明相同土地利用类型中地块间面积差异较大,且以小于均值面积占多数。除交通运输用地外,其余土地利用类型地块面积分布为尖峰分布,受极值影响明显。

2.2 喀斯特地区地块坡长坡度统计分析

坡长通过影响坡面径流、泥沙的运移规律以及侵蚀形态的演化过程来影响侵蚀产沙,决定着坡面水流能量的沿程变化及水流泥沙的运移规律,是影响坡面

侵蚀的重要因子^[15]。统计调查单元各地块坡长(表 2),制作频率分布图(图 1)。喀斯特地区地块平均坡长 45.29 m,集中分布在 20~70 m 之间,占总体的 96.3%,其中 30~60 m 坡长地块 72.4%。不同土地

利用类型中,居民点及工矿用地地块平均坡长最长,水域及水利设施用地地块平均坡长最短。所有土地利用类型坡长变异系数较小,为右偏态尖峰分布,小于均值坡长的地块占多数。

表 1 不同土地利用类型地块统计特征

土地利用 类型	总面积/ hm ²	面积 百分比/%	地块 数/个	地块面积					
				最小值/hm ²	最大值/hm ²	均值/hm ²	变异系数	偏度	峰度
林地	32250	56.22	7157	0.04	104.83	4.51	1.75	4.59	31.09
耕地	17182	29.95	5484	0.01	60.57	3.13	1.72	4.48	28.51
草地	4195	7.31	1626	0.02	41.86	2.58	1.81	4.4	24.78
居民点及工矿用地	1812	3.16	1524	0.02	59.63	1.19	2.78	10.8	154.98
园地	1368	2.39	493	0.07	82.46	2.78	2.12	7.00	74.28
其他土地	343	0.60	207	0.07	18.86	1.66	1.45	3.67	18.23
交通运输用地	126	0.22	47	0.10	12.34	2.68	1.17	1.61	1.88
水域及水利设施用地	89	0.15	98	0.01	9.57	0.91	1.63	3.29	13.30
总体	57365	100	16636	0.006	104.83	3.45	1.87	5.12	39.73

表 2 不同土地利用类型地块坡长统计特征

土地利用 类型	地块 数/个	极小 值/m	极大 值/m	均值/ m	变异 系数	偏度	峰度
林地	7157	0.00	155.22	43.57	0.37	1.07	2.39
耕地	5484	0.00	197.23	46.66	0.38	1.31	4.62
草地	1626	0.00	176.46	46.22	0.41	1.28	4.39
居民点及工矿用地	1524	0.00	199.51	47.86	0.46	1.13	3.00
园地	493	7.05	175.66	46.72	0.45	1.89	5.82
其他土地	207	8.42	145.86	44.41	0.44	1.56	4.27
水域及水利设施用地	98	0.00	100.09	33.61	0.58	0.92	1.22
交通运输用地	47	29.69	81.12	47.32	0.24	0.85	0.82
总体	16636	0.00	199.51	45.29	0.39	1.27	4.02

地块最多。4 种土地利用类型坡长集中分布于 20~70 m,占总体 85%,以上 30~60 m 坡长地块占 60%。林地坡长分布最为集中,极差最小;耕地坡长虽极差最大,但分布较草地、园地集中。

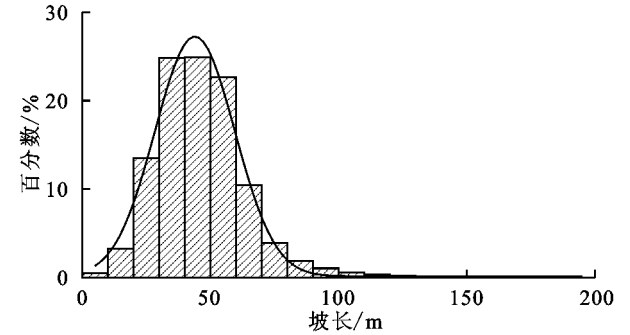


图 1 喀斯特地区地块坡长频率分布

绘制林地、耕地、草地以及园地 4 种主要土地利用类型坡长频率分布(图 2)。地块平均坡长大小为园地>耕地>草地>林地。耕地坡长在 40~50 m 的地块最多,其余 3 种土地利用类型坡长 30~40 m

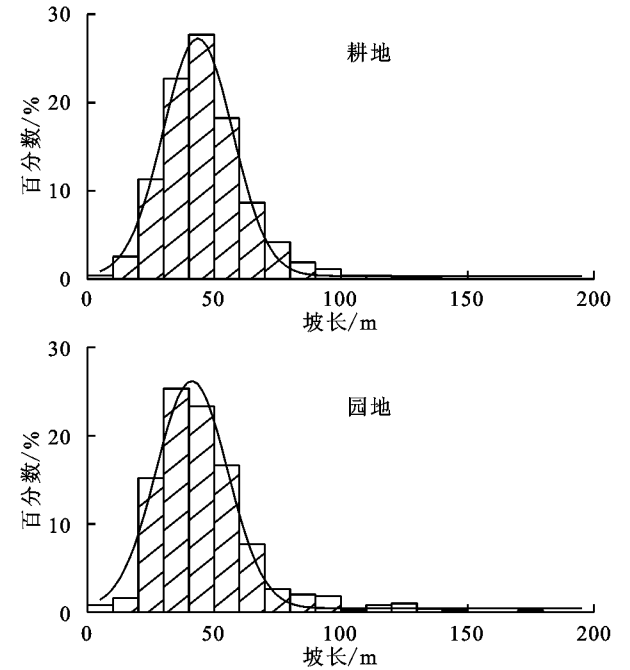
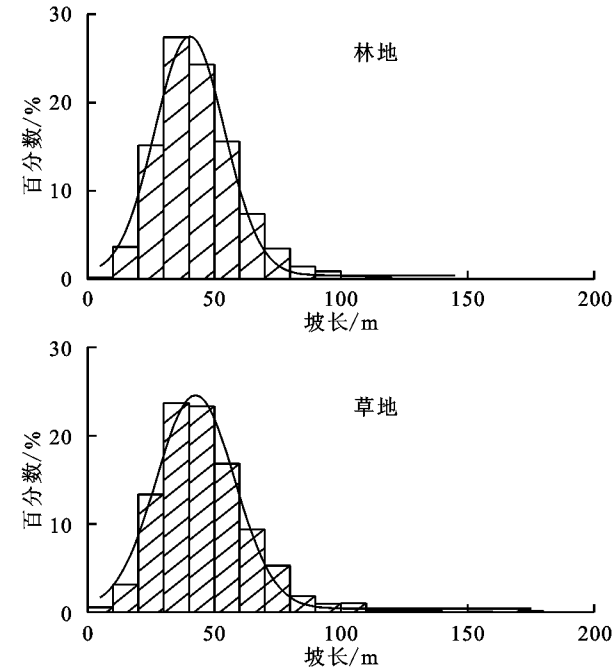


图 2 不同土地利用类型地块坡长频率分布

坡度是地貌形态的重要因子之一,同时也是影响土壤侵蚀的重要因素,其在自然界中变化极大,历来是土

壤侵蚀研究的重要内容^[16]。统计调查单元各地块坡度(表 3), 绘制频率分布图(图 3)。喀斯特地区地块平均坡度 21.72°, 林地平均坡度最大, 耕地平均坡度达 19.06°。根据变异系数可知, 林地坡度分布最为集中, 水域及水利设施用地坡度分布最为离散; 所有土地利用类型坡度呈右偏态分布, 以小于平均坡度的地块居多; 草地及交通运输用地坡度分布峰度为负数, 呈扁平分布, 其余土地利用类型为尖峰分布。依据国际地理学会地貌调查与制图委员会坡度分级: 平原至微倾斜平原(<2°), 缓斜坡(2°~5°), 斜坡(5°~15°), 陡坡(15°~25°), 急坡(25°~35°), 急陡坡(35°~55°), 垂直坡(>55°)^[17]。喀斯特地区陡坡居多, 占总体 42.28%, 急坡和斜坡占 26.9% 和 21.86%, 平原至缓斜坡仅占 1.66%, 大于 15° 地块高达 76.48%。喀斯特地区以可溶性碳酸盐岩为主, 强烈的地质构造运动破坏了原有岩层完整性, 形成一系列裂隙, 为地下水提供通道, 进一步促进岩溶作用, 从而形成起伏明显, 坡度陡峭的破碎地形。

作林地、耕地、草地以及园地 4 种主要土地利用类型坡度频率分布图(图 4), 平均坡度为林地>草地>园地>耕地。林地、草地多分布在陡坡、急坡上, 分别占各自总体的 76.6%, 69.7%, 79.3% 的园地位于陡坡以下, 而 68.6% 耕地位于陡坡以上, 其中 25° 以

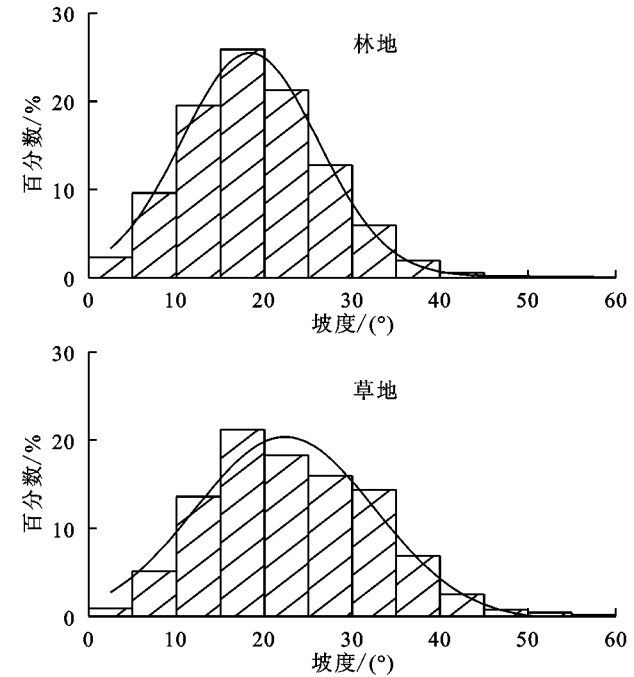


图 4 不同土地利用类型地块坡度频率分布

2.3 喀斯特地区土壤侵蚀现状分析

通过野外实际调查, 利用 CSLE 模型, 计算并统计分析各地块多年平均土壤侵蚀模数(表 4)。不同土地利用类型中, 耕地侵蚀模数是园地侵蚀模数的 2.5 倍, 是林地、草地侵蚀模数的 4 倍, 且耕地偏度、峰度系数均最小, 说明耕地地块整体侵蚀模数大, 且分布均匀, 受极值影响小, 是喀斯特地区土壤侵蚀最

上坡耕地达 21.4%。由此可见, 喀斯特地区存在严重的陡坡耕作现象, 这极大地加剧了土壤侵蚀, 造成强烈水土流失, 进一步加速石漠化的形成。

表 3 不同土地利用类型地块坡度统计特征

土地利用类型	地块数/个	极小值/(°)	极大值/(°)	均值/(°)	变异系数	偏度	峰度
林地	7157	0.31	74.20	25.00	0.34	0.16	0.13
耕地	5484	0.72	59.47	19.06	0.40	0.36	0.11
草地	1626	1.57	55.83	23.28	0.40	0.34	-0.21
居民点及工矿用地	1524	0.85	60.70	15.73	0.44	0.85	2.44
园地	493	1.06	47.44	18.95	0.41	0.39	0.05
其他土地	207	0.71	80.64	24.10	0.49	1.20	2.71
水域及水利设施用地	98	0.88	30.12	9.52	0.66	1.40	2.34
交通运输用地	47	2.89	35.94	17.01	0.48	0.16	-0.33
总体	16636	0.31	80.64	21.72	0.41	0.35	0.14

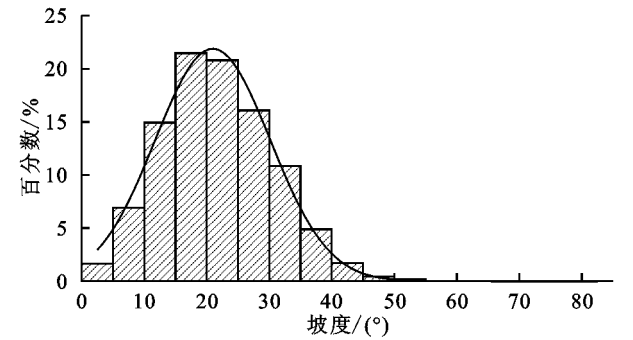
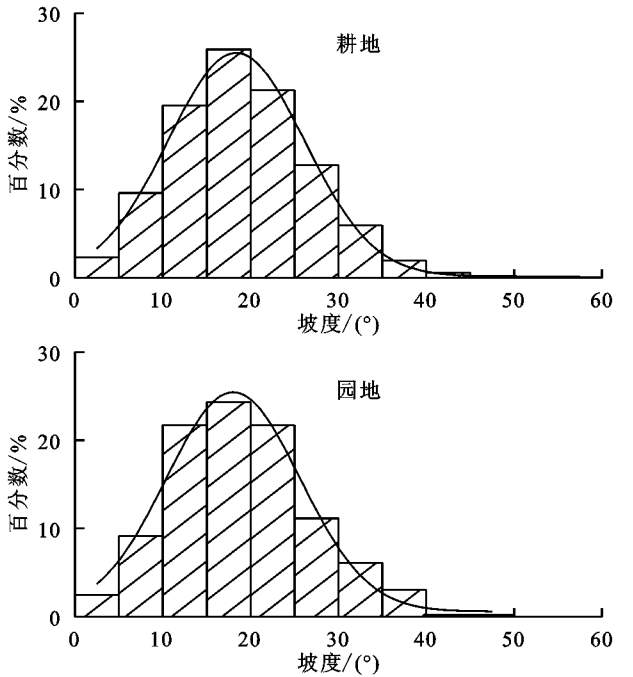


图 3 喀斯特地区地块坡度频率分布



严重的土地利用类型。对侵蚀模数进行强度等级划分(表 5)。林地、草地、耕地与园地以轻度侵蚀为主, 居民点及工矿用地、其他用地与交通运输用地以微度侵蚀为主。65% 以上的林地、草地及园地属微度及轻度侵蚀, 50% 耕地为中度至剧烈侵蚀, 其中极强度与剧烈侵蚀达 26.8%。耕地侵蚀强度明显大于其他土地利用类型,

陡坡以上耕地更为严重,其产沙量占全省总产沙量的 65.6%。陡坡耕作是喀斯特地区土壤侵蚀的主要原因,喀斯特地区土层薄,容许土壤侵蚀量少,即使轻度

以下侵蚀也会造成巨大的损失。因此,防治水土流失,特别是控制坡耕地土壤侵蚀是喀斯特地区亟待解决的问题。

表 4 不同土地利用类型地块侵蚀模数统计分析

土地利用类型	地块数/个	极小值/(t·km ⁻²)	极大值/(t·km ⁻²)	均值/(t·km ⁻²)	变异系数	偏度	峰度
林地	7157	0.0	14412.0	559.4	1.51	4.7	38.0
耕地	5484	0.0	44131.0	3536.8	1.53	2.4	6.7
草地	1626	0.0	7195.9	522.9	1.40	3.4	17.4
居民点及工矿用地	1524	0.0	58977.8	372.8	5.44	19.7	498.3
园地	493	0.0	19260.5	1362.4	1.81	3.9	19.0
其他用地	207	0.0	58202.8	4168.4	2.58	3.0	9.2
交通运输用地	47	0.0	774.3	44.6	2.51	6.3	42.0
总体	16636	0.0	58977.8	1584.2	2.36	4.9	33.5

表 5 不同土地利用类型土壤侵蚀强度所占面积比例

单位:%

土壤侵蚀模数/ (t·km ⁻²)	土壤侵蚀 强度	土地利用类型						
		林地	耕地	草地	居民点及工矿用地	园地	其他用地	交通运输用地
<200	微度	40.31	18.54	42.99	81.76	30.22	79.23	97.87
200~1000	轻度	44.92	29.47	42.74	11.35	35.90	0.48	2.13
1000~2000	中度	9.65	16.79	9.90	3.48	15.21	0.00	0.00
2000~4000	强度	3.98	8.39	3.51	2.23	10.14	1.45	0.00
4000~8000	极强度	1.03	11.43	0.86	0.72	5.68	4.83	0.00
>8000	剧烈	0.00	15.37	0.00	0.46	2.84	9.18	0.00

根据野外调查与计算结果,绘制贵州省土壤侵蚀强度分布图(图 5)。贵州省土壤侵蚀强度空间分布格局明显,大致从西向东递减。土壤侵蚀程度为剧烈及极强烈的区域主要分布在黔西北盘江流域册亨、贞丰一带,侵蚀程度为强烈的区域主要分布在西北部的毕节地区以及西南部的六盘水地区;上述区域地势高,水系发达,加之过度开垦,导致了极为严重的水土流失。贵州北部及西南部分区域为中度或轻度侵蚀,东南大部分地区属微度侵蚀。在进行区域水土流失防治规划时,侵蚀严重地区应重点布设水土保持措施,尤其是北盘江、乌江流域,同时兼顾中轻度侵蚀地区治理。

波动,但整体模数较小,未有明显趋势。同一地形下,耕地侵蚀模数明显大于林地和草地。坡长 60 m 以下耕地侵蚀模数随坡度增大而增大,当坡度大于 30°后,侵蚀模数趋于稳定甚至减小。这是由于存在临界坡度,坡度大于临界坡度后,入渗面积增大,坡面径流减少,从而侵蚀模数减少。坡长 60 m 以上耕地侵蚀模数却随坡度增大而持续增大,增幅逐渐减小,这可能是因为坡长较长,随着坡度增大,径流速度增大快,引起的土壤侵蚀增大量大于因入渗量增多和径流量减小而导致的侵蚀减少量,从而坡面土壤侵蚀量持续增大。同一坡度下,坡长大于 20 m 后,耕地侵蚀模数随坡长未有明显变化。对坡长、坡度以及土壤侵蚀模数做回归分析,标准化回归系数坡度大于坡长。喀斯特地区整体地形破碎,坡长短坡度大,因此土壤侵蚀受坡度影响更为显著。

梯田是喀斯特地区防治水土流失最主要的工程措施,计算林草地与工程措施减少耕地产沙效益(表 7)。布设有梯田时,耕地土壤侵蚀模数明显减少,减沙效益在 75%以上;林草地较工程措施减沙效益更大,多在 90%以上;坡度小于 20°时,两者减沙效益相近。随坡度增大,工程措施减沙效益由 90%左右降至 75%,而林草地减沙效益不降反增,且坡度越大减沙效益越明显,坡度大于 35°时,林草减沙效益高达 95%。因此,考虑建设成本与减沙效益,建议陡坡以上不再修建工程措施,以退耕还林还草为主要水土流失防治方法。

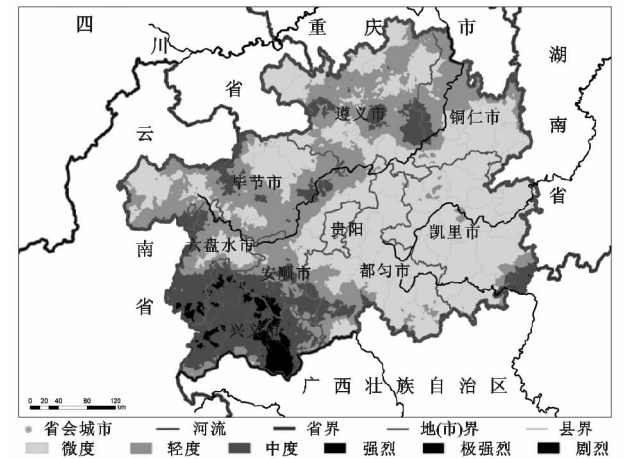


图 5 贵州省土壤侵蚀强度分区

2.4 措施减沙效益评价

统计不同坡长坡度各土地利用类型地块侵蚀模数(表 6)。林地、草地侵蚀模数随坡长坡度变化略有

表 6 不同坡长坡度下各土地利用类型地块侵蚀模数 单位:t/km²

土地利用 类型	坡度/ (°)	坡长/m						
		<20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	>70
耕地	<10	1540.9	2497.9	3408.1	3605.9	3508.0	3694.0	3482.3
	10~15	2971.3	5430.8	6177.3	7100.3	7099.3	8061.6	5890.0
	15~20	4399.0	8121.3	8338.2	8867.9	9348.3	8929.4	8534.1
	20~25	3627.9	10092.6	10680.1	12298.6	12689.2	11323.8	14930.2
	25~30	6434.4	11294.7	13905.2	13974.7	16559.4	15129.4	16892.1
	30~35	10426.6	13270.0	14449.7	16195.4	18784.8	16664.2	18369.1
	>35	3417.8	9410.9	14674.8	16959.1	13413.7	19142.8	20449.1
林地	<10	133.9	211.1	264.0	308.1	273.2	493.0	184.2
	10~15	235.5	280.1	333.9	375.6	361.2	475.3	466.6
	15~20	317.5	431.1	481.3	480.0	560.8	397.0	564.1
	20~25	297.9	487.4	575.7	604.7	636.5	590.6	850.7
	25~30	281.5	444.4	578.8	650.8	611.8	759.1	997.7
	30~35	207.8	461.5	527.0	623.7	689.4	855.7	1015.4
	>35	388.0	487.8	570.9	530.2	711.3	754.6	820.6
草地	<10	87.8	167.2	139.7	207.1	199.7	205.3	1802.4
	10~15	268.8	333.6	251.7	469.0	325.9	245.2	174.1
	15~20	360.7	363.7	388.4	457.1	499.4	365.0	383.1
	20~25	328.3	412.3	553.3	566.9	346.8	565.0	454.2
	25~30	509.9	317.2	590.7	602.3	488.8	882.3	512.4
	30~35	57.1	500.7	599.6	577.2	759.6	836.0	1016.9
	>35		307.4	623.7	1001.8	980.8	960.6	955.8

表 7 林草地与工程措施减沙效益 单位:%

措施	坡度/(°)	坡长/m						
		<20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	>70
梯田	<10	91.8	93.6	93.3	91.7	88.2	88.1	93.7
	10~15	87.8	89.9	90.3	88.0	88.6	89.5	89.9
	15~20	90.2	90.2	89.6	88.5	87.1	87.4	86.2
	20~25	88.1	87.4	87.0	85.5	84.3	83.6	86.2
	25~30	81.7	87.3	84.9	85.5	84.4	83.9	86.8
	30~35	94.3	90.6	90.4	86.1	87.5	84.5	82.1
	>35		73.7	75.7	76.6	81.3	85.9	80.2
林地	<10	91.3	91.6	92.3	91.5	92.2	86.7	94.7
	10~15	92.1	94.8	94.6	94.7	94.9	94.1	92.1
	15~20	92.8	94.7	94.2	94.6	94.0	95.6	93.4
	20~25	91.8	95.2	94.6	95.1	95.0	94.8	94.3
	25~30	95.6	96.1	95.8	95.3	96.3	95.0	94.1
	30~35	98.0	96.5	96.4	96.1	96.3	94.9	94.5
	>35	88.6	94.8	96.1	96.9	94.7	96.1	96.0
草地	<10	94.3	93.3	95.9	94.3	94.3	94.4	48.2
	10~15	91.0	93.9	95.9	93.4	95.4	97.0	97.0
	15~20	91.8	95.5	95.3	94.8	94.7	95.9	95.5
	20~25	90.9	95.9	94.8	95.4	97.3	95.0	97.0
	25~30	92.1	97.2	95.8	95.7	97.0	94.2	97.0
	30~35	99.5	96.2	95.9	96.4	96.0	95.0	94.5
	>35		96.7	95.7	94.1	92.7	95.0	95.3

3 结 论

(1)林地与耕地是喀斯特地区主要土地利用类型,由于地形破碎,地势陡峭,土地呈破碎化特征,地块平均面积为 3.45 hm²,平均坡长仅为 45.6 m,平均坡度高达 21.7°。

(2)贵州省土壤侵蚀强度由西向东递减,以黔西南地区北盘江流域最为严重;在区域水土保持规划时,应在侵蚀强烈地区重点布设水土保持措施。

(3)陡坡耕作是导致耕地土壤侵蚀最为严重的原

因,工程措施虽能有效减少耕地侵蚀,但减沙效益随坡度增大而减小;林草地减沙效益优于工程措施且不随坡度变化而变,建议在陡坡以上不再布设工程措施,以退耕还林还草为最佳水土保持措施。

参考文献:

[1] 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):87-96.

[2] 顾礼彬,张兴奇,杨光徽,等.黔西高原坡面次降雨产流产沙特征[J].中国水土保持科学,2015,13(1):23-28.

(下转第 26 页)