

南方花岗岩红壤区不同土地利用类型坡地 产流与侵蚀产沙研究

赵辉¹, 郭索彦², 解明曙¹, 陈国玉³

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;

2. 水利部 水土保持监测中心, 北京 100053; 3. 湖南省水土保持监测总站, 湖南 长沙 410007)

摘要: 基于自然坡面径流小区, 分析了南方花岗岩红壤区 5 种典型土地利用下坡面地表径流与侵蚀产沙规律。结果表明, 不同地类地表径流与侵蚀产沙分异规律明显。裸露荒地、坡耕地、旱地和疏林地的地表径流分别是典型林分林地的 1 354.9%, 1 099.9%, 712.3% 和 285.4%; 不同地类土壤侵蚀强度排序为裸露荒地 > 坡耕地 > 旱地 > 疏林地 > 典型林分林地, 说明植被能较好地调蓄地表径流和减少侵蚀产沙。在不同降雨强度和雨型条件下, 不同土地利用的坡面产流与侵蚀产沙也表现出显著的差异。裸露荒地、坡耕地、旱地、疏林地是研究区主要的侵蚀产沙地类。基于径流小区次降雨条件下径流和侵蚀产沙观测资料, 建立了不同地类坡面径流与侵蚀产沙的回归方程。

关键词: 地表径流; 侵蚀产沙; 土地利用类型; 花岗岩红壤

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0006-05

中图分类号: X171.4

Runoff, Soil Erosion and Sediment Yield on Sloping Land of Red Soils Derived from Granite on Slopes with Different Landuses in South China

ZHAO Hui¹, GUO Shuo-yan², XIE Ming-shu¹, CHENG Guo-yu³

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Soil and Water Conservation Monitoring Center of the Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China;

3. Soil and Water Conservation Monitoring Station of Hu 'nan Province, Changsha, Hu 'nan 410007, China)

Abstract: Processes of runoff, soil erosion, and sediment are studied on five runoff plots with different landuse types. Results indicate that the differentiation of the processes is distinct. Runoff on bare wasteland, sloping farmland, dry land, and sparse forest is 13.55, 10.99, 7.12, and 2.85 times of those on woodland, respectively. In terms of soil erosion modulus, landuse types rank in the descendant order of bare wasteland (7 744.2 t/km²), sloping farmland (3 826 t/km²), dry land (942.2 t/km²), sparse forest (336.5 t/km²), and woodland (10.2 t/km²). Runoff can be stored up and soil erosion can be decreased effectively with the cover of vegetation. Results also show that surface runoff and soil erosion under different landuse types are obviously different for different grades and types of rainfall intensity. Bare wasteland, sloping farmland, dry land, and sparse forest are the main landuse types contributing to soil and water loss. Lastly, based on the single rainfall, regressive models for runoff, soil erosion, and sediment are constructed, their multi-correlation coefficients are found to be significant, and the models can be used for prediction.

Keywords: surface runoff; soil erosion and sediment; landuse type; red soil derived form granite

水土流失是中国头号环境问题^[1]。不同土地利用类型产流与侵蚀产沙规律研究, 一直是受到普遍关注的热点问题。而在土壤侵蚀定量评价研究领域, 国

内外研究者多采用基本侵蚀单元法, 结合以尺度空间理论为基础的多尺度空间单元法进行研究, 并取得了大量研究成果^[2-4]。在坡面尺度, 坡面径流小区仍是

收稿日期: 2007-10-21

修回日期: 2008-04-03

资助项目: 湖南省重大水利科研项目“南方花岗岩地区流域侵蚀与径流输沙规律研究”; 国家自然科学基金项目(30571486)

作者简介: 赵辉(1971—), 男(汉族), 北京林业大学水土保持学院博士研究生, 高级工程师, 研究方向为山地灾害防治。E-mail: 7166zhao@163.com。

实验研究的主要方法与手段^[5-7]。湖南省是长江以南水土流失较为严重的地区之一,花岗岩红壤区水土流失严重,治理难度大,研究其水土流失规律,对定量评价区域生态环境状况,指导生态建设都具有十分重要的现实意义。本文以武水流域为代表,基于5种典型土地利用类型自然坡面径流小区,分析南方花岗岩红壤区坡地产流与侵蚀产沙规律。

研究区武水流域位于湖南中部偏南,湘江二级支流,流域面积315.5 km²,地理位置东经111°59'35"—112°10'45",北纬26°52'30"—27°01'15",呈扇贝形盆地,地势由盆地中心向四周逐级升高,中间多为丘岗地,四周多中低山,海拔最高处990.4 m,最低处100.0 m,相对高差890.4 m。属中亚热带季风湿润气候区,年均气温17.9℃,无霜期289 d,年降雨量

1270.1 mm,年际、年内分配不均。母岩主要为花岗岩(占84.7%)和变质岩(占13.3%),土壤主要有红壤(占73.87%)、黄红壤、水稻土等。属中亚热带常绿阔叶林区,以马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、湿地松(*Pinus elliotii*)人工林为主,仅在流域周边山区分布有少量天然次生林。

1 研究方法 with 数据采集

1.1 自然坡面径流小区

布设坡耕地、旱地、裸露荒地、疏林地和典型林分林地(对照)等土地利用类型自然坡面径流小区5个,进行地表径流与泥沙测验。同时,利用井头江水文站气象观测场,观察降雨等气象指标(表1)。

表1 自然坡面径流小区基本特征

小区编号	土地利用类型	投影面积/ m ²	海拔/ m	平均坡度/ (°)	坡向	地表植被状况
1	典型林地	153.81	145	26	SE06°	杉木,泡桐,郁闭度0.80
2	疏林地	131.20	145	25	SE60°	杉木,冬茅,郁闭度0.25
3	裸露荒地	102.87	163	19	SE15°	人工除草处理
4	坡耕地	102.87	163	19	SE15°	种植花生,全垦顺坡
5	旱地	102.87	163	17	SE15°	种植花生,隔坡梯地,田面宽1.7 m,高0.95 m

1.2 数据采集与实验方法

(1) 径流量测定。以次降雨过程为单位,观测集流池、分水池水位,推算径流量。

(2) 侵蚀量测定。以次降雨过程为单位,将集流池、分水池搅拌均匀,按不同深度分层取5~10 kg径流液,静置,烘干称重,根据泥沙浓度和径流量,推算沙量;同时,收集集流槽中泥沙,用烘干法测定,推算沙量,二者相加即为次侵蚀量。

(3) 降雨量测定。用ST型自记虹吸式雨量计测定,根据记录求算降雨特征指标。

(4) 土壤含水量的测定。烘干法测定,以次降雨过程为单位,雨前1 h分区取上层(0—30 cm),下层(30—60 cm)土样,用烘干法测定雨前含水量。

2 结果与分析

2.1 降雨特征分析

据实测19场有效降雨分析,研究区降雨以中雨、大雨为主,占到总降雨场次78.9%,中到暴雨降雨量占总降雨量98.4%。选择短历时中雨、长历时中雨、短历时大雨、长历时大雨、短历时暴雨和长历时暴雨(依次编号1—6),分析雨型对地表径流与侵蚀产沙的影响(表2)。

表2 典型雨型降雨特征

编号	降雨量/ mm	降雨历时/ h	$I_{10}/$ (mm·min ⁻¹)	$I_{30}/$ (mm·min ⁻¹)
1	15.0	1.85	0.85	0.44
2	13.9	25.75	0.17	0.06
3	40.1	3.00	0.98	0.61
4	28.3	28.00	0.14	0.11
5	68.9	6.00	1.3	0.95
6	75.8	28.00	0.4	0.28

2.2 不同土地利用类型地表产流分异规律

2.2.1 地表径流特征及其分异规律 不同土地利用类型地表产流差异显著。实测总径流深排序为:裸露荒地194.71 mm>坡耕地158.06 mm>旱地102.36 mm>疏林地41.01 mm>典型林分林地14.37 mm;以典型林分林地为参照(100%),裸露荒地、坡耕地、旱地、疏林地分别为1354.9%,1099.9%,712.3%,285.4%。典型林分林地产流明显低于其它地类,其次是疏林地,旱地和坡耕地产流在作物生长期明显降低,而在垦殖期间明显提高,说明植被或地表覆被对地表径流有较强的调蓄作用。分析可知,土地利用方式对坡面小区产流影响显著。

降雨及其过程影响地表径流,不同降雨条件下,各地类径流系数变化为典型林分林地 0.009 ~ 0.061,疏林地 0.016 ~ 0.186,旱地为 0.025 ~ 0.484,裸露荒地 0.062 ~ 0.655,坡耕地为 0.023 ~ 0.715。按雨型分,各地类短历时降雨地表产流均大于长历时降雨。按地类分,短历时中雨,地表产流坡耕地 > 旱地 > 裸露荒地;短历时大雨,坡耕地 > 旱地 > 裸露荒地,短历时暴雨,裸露荒地 > 坡耕地 > 旱地。长历时降雨条件下,各地类产流也呈现出相似的规律如图 1 所示。

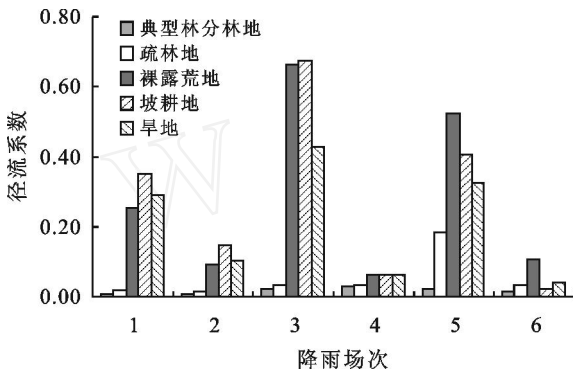


图 1 不同雨型地表径流系数

2.2.2 不同土地利用类型坡面小区地表径流模型
坡面产流实质上是降雨在各种下垫面因素综合作用下的发展结果,是下垫面对降雨的再分配过程。其影响因素包括降雨、土壤特性、土地利用/地表覆被、地形或微地形特征(如坡度、坡长、地表坑洼)等。但对某一地类坡面小区而言,下垫面特征可视为同等条件,降雨则是影响地表产流的主要因素。

由表 3 可见,典型林分林地坡面地表径流深与降

雨量 P 、降雨历时 T 、降雨量与时段最大雨强之积 PI_{10} 及 PI_{30} 相关性较好,相关系数分别为 0.772, 0.424, 0.497, 0.528。

根据实测资料,建立各地类坡面小区次降雨条件下次径流深的多元回归方程。

(1) 典型林分林地

$$H = 0.0735 (PI_{30})^{0.498} T^{0.536} P_a^{-0.079},$$

$$R^2 = 0.674, n = 19$$

($F = 5.529, \text{Sig. } F = 0.024$)

(2) 疏林地

$$H = 0.1614 (PI_{30})^{0.791} T^{0.188} P_a^{0.105},$$

$$R^2 = 0.85, n = 19$$

($F = 15.224, \text{Sig. } F = 0.001$)

(3) 裸露荒地

$$H = 1.1526 (PI_{30})^{0.704} T^{-0.179} P_a^{0.265},$$

$$R^2 = 0.893, n = 19$$

($F = 22.367, \text{Sig. } F = 0.000$)

(4) 坡耕地

$$H = 2.0158 (PI_{30})^{0.417} T^{-0.358} P_a^{0.249},$$

$$R^2 = 0.445, n = 19$$

($F = 2.14, \text{Sig. } F = 0.173$)

(5) 旱地

$$H = 0.1888 (PI_{30})^{0.646} T^{0.359} P_a^{0.123},$$

$$R^2 = 0.686, n = 19$$

($F = 5.817, \text{Sig. } F = 0.021$)

式中: H ——次径流深 (mm); P ——次降雨量 (mm); I_{30} ——最大 30 分钟雨强 (mm/min); P_a ——前期影响雨量 (mm, 取前 3 d 降雨量总和); T ——次降雨历时 (h)。除坡耕地外,其它地类回归方程确定系数均 0.6 ~ 0.8 以上,并通过 F 检验。

表 3 典型林分林地地表径流深与降雨特征值相关关系矩阵

项目	H	P	T	I	I_{10}	P_a	PI_{10}	PI_{30}
H	1.000	0.772	0.424	-0.117	0.076	0.174	0.497	0.528
P		1.000	0.482	0.010	0.152	0.285	0.654	0.668
T			1.000	-0.701	-0.449	0.446	-0.034	-0.060
I				1.000	0.476	-0.290	0.296	0.308
I_{10}					1.000	-0.025	0.784	0.722
P_a						1.000	0.264	0.154
PI_{10}							1.000	0.978
PI_{30}								1.000

2.3 不同土地利用类型侵蚀产沙分异规律

2.3.1 侵蚀产沙特征及其分异规律

(1) 侵蚀产沙特性。次降雨条件下,不同地类坡面小区侵蚀产沙差异显著。实测各地类土壤侵蚀模

数排序为:裸露荒地 7 744.2 t/km² > 坡耕地 3 826 t/km² > 旱地 942.2 t/km² > 疏林地 336.5 t/km² > 典型林分林地 10.2 t/km²,典型林分林地、疏林地侵蚀模数明显低于其它地类,说明植被具有较好的保土抗

蚀作用,裸露荒地、坡耕地、旱地、疏林地为研究区主要的流失地类(图 2)。

(2) 侵蚀产沙对降雨的响应。各地类形成侵蚀产沙的降雨均以中雨、大雨为主,其中裸露荒地大、中

雨侵蚀产沙占总量的 80.55%,坡耕地为 79.63%,旱地为 66.79%,疏林地为 79.14%。对于不同的雨型,各地类短历时降雨次侵蚀模数均大于长历时降雨(图 3)。

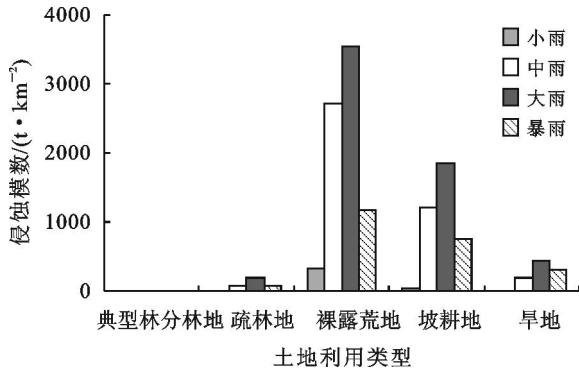


图 2 不同土地利用类型不同降雨强度侵蚀模数图

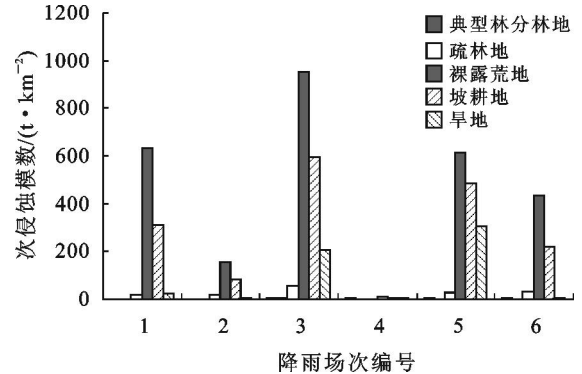


图 3 不同雨型次侵蚀模数

(3) 侵蚀产沙对次径流的响应。根据实测资料,建立不同地类次侵蚀模数 ($M, t/km^2$) 与次地表径流深 (H, mm) 的回归方程。

典型林分林地

$$M = 0.263 + 0.366 H \quad (R = 0.147, n = 19)$$

疏林地

$$M = 14.568 + 1.456 H \quad (R = 0.249, n = 19)$$

裸露荒地

$$M = 158.206 + 24.335 H \quad (R = 0.765, n = 19)$$

坡耕地

$$M = 29.645 + 20.642 H \quad (R = 0.888, n = 19)$$

旱地

$$M = -13.639 + 11.736 H \quad (R = 0.907, n = 19)$$

分析可知,裸露荒地、坡耕地、旱地次侵蚀模数与次径流深相关性较好,而典型林分林地与疏林地次侵蚀模数与地表径流深相关性较差,说明各林分林地坡面小区侵蚀产沙不仅受到地表径流影响,还与其它因素有关。

2.3.2 不同土地利用类型坡面小区侵蚀产沙模型
土壤侵蚀是土壤自身与环境相互作用的结果,尤其是其抗蚀抗冲性能与环境侵蚀动力作用的彼此消长,影响因素众多。研究区属水蚀区,其影响因素主要包括降雨及其侵蚀力、土壤抗蚀抗冲性、坡度、坡长、地表覆盖和土地利用方式等。由表 4 可知,坡耕地次侵蚀模数与时段最大雨强 I_{10} , I_{30} , 径流深 H 相关性较好,相关系数分别为 0.687, 0.824 和 0.888。

表 4 坡耕地次侵蚀模数与径流及降雨特征值相关关系矩阵

项目	M	P	T	I_{10}	I_{30}	P_a	S	H
M	1.000	0.290	-0.264	0.687	0.824	-0.121	0.092	0.888
P		1.000	0.482	0.152	0.280	0.0285	0.094	0.431
T			1.000	-0.449	-0.391	0.446	0.086	-0.234
I_{10}				1.000	0.935	-0.025	-0.033	0.707
I_{30}					1.000	-0.122	-0.043	0.843
P_a						1.000	0.449	-0.096
S							1.000	0.205
H								1.000

根据实测资料,建立各地类坡面小区次降雨条件下次侵蚀模数的多元回归方程:

(1) 典型林分林地

$$M = 1530.04 P^{-2.386} I_{30}^{1.101} T^{1.527} P_a^{0.421} S^{-1.452} H^{1.952},$$

$$R^2 = 0.882, n = 19 (F = 2.506, \text{Sig. } F =$$

0.312) (2a)

(2) 疏林地

$$M = 0.000151 P^{0.180} I_{30}^{3.519} T^{0.853} P_a^{-0.383} S^{4.505} H^{-1.952},$$

$$R^2 = 0.910, n = 19 (F = 6.825, \text{Sig. } F = 0.042) \quad (2b)$$

(3) 裸露荒地

$$M = 266754.36 P^{-1.143} I_{30}^{0.181} T^{0.0001} P_a^{0.154} S^{0.154} H^{0.999},$$

$$R^2 = 0.738, n = 19 \quad (2c)$$

($F = 2.344, \text{Sig. } F = 0.184$)

(4) 坡耕地

$$M = 6.396 \times 10^{11} P^{-1.813} I_{30}^{-0.390} T^{-0.197} P_a^{0.924} S^{-7.908} H^{1.824},$$

$$R^2 = 0.912, n = 19 \quad (2d)$$

($F = 8.559, \text{Sig. } F = 0.016$)

(5) 旱地

$$M = 1.7143 P^{-1.655} I_{30}^{0.458} T^{0.215} P_a^{0.218} S^{1.694} H^{1.919},$$

$$R^2 = 0.897, n = 19 \quad (2e)$$

($F = 5.814, \text{Sig. } F = 0.055$)

式中: M ——次侵蚀模数 (t/km^2); H ——次径流深 (mm); P ——次降雨量 (mm); I_{30} ——最大 30 min 雨强 (mm/min); P_a ——前期影响雨量 (mm, 取前 3 d 降雨量总和); T ——次降雨历时 (h); S ——土壤前期含水量 (% , 取上层与下层土壤前期含水量平均值)。回归方程确定系数均 0.7~0.9 以上, 并通过 F 检验。

3 结论

(1) 次降雨条件下, 不同土地利用类型间坡面小区产流差异明显, 以典型林分林地为参照 (100%), 裸露荒地、坡耕地、旱地和疏林地总径流深分别为 1354.9%, 1099.9%, 712.3% 和 285.4%, 典型林分林地产流明显低于其它地类, 其次是疏林地, 说明植被能调蓄地表径流; 不同降雨强度、雨型条件下, 不同土地利用类型产流差异显著。

(2) 基于实测资料, 建立不同土地利用类型坡面小区次降雨条件下地表径流深的多元回归统计方程, $H = a(P I_{30})^b T^c P_a^d$ 。除坡耕地外, 其它地类方程确定系数均在 0.6~0.8 以上。

(3) 次降雨条件下, 不同土地利用类型间坡面小区侵蚀产沙差异显著。土壤侵蚀模数排序为: 裸露荒地 > 坡耕地 > 旱地 > 疏林地 > 典型林分林地; 各地类侵蚀产沙以中雨、大雨为主, 短历时降雨次侵蚀模数均大于长历时降雨。分析可知, 植被具有较强的保土减蚀作用, 裸露荒地、坡耕地、旱地、疏林地为研究区主要的流失地类。

(4) 基于实测资料, 建立不同土地利用类型坡面小区场降雨条件下次侵蚀模数的多元回归统计方程: $M = aP^b I_{30}^c T^d P_a^e S^f H^g$, 方程确定系数均在 0.7~0.9 以上。

致谢: 在实验研究过程中得到衡阳市水文水资源局井头江水文站邓昆山、段花英、李小立、陈洪珍和唐小辉等同志的帮助和支持, 谨致谢意。

[参 考 文 献]

- [1] 曲格平. 保护水土资源, 改善生态环境, 造福子孙后代 [J]. 中国水土保持, 1996(8): 4—5.
- [2] 倪九派, 魏朝富, 谢德体. 土壤侵蚀定量评价的空间尺度效应 [J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2061—2067.
- [3] 唐政洪, 蔡强国, 陈宁, 等. 黄土丘陵沟壑区小流域不同地类的侵蚀产沙模型 [J]. 山地学报, 2001, 19(2): 120—124.
- [4] 张丽萍, 张登荣, 张锐波, 等. 小流域土壤侵蚀预测预报基本生态单元生成和模型设计 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 101—104.
- [5] 阮伏水, 周伏健. 花岗岩不同土地利用类型坡地产流和入渗特征 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(3): 1—7.
- [6] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 不同农作措施红壤坡耕地水土流失特征的研究 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 66—69.
- [7] 左长清, 胡根华, 张华明. 红壤坡地水土流失规律研究. 水土保持学报, 2003, 17(6): 89—91.