

# 三峡库区坡耕地不同施肥水平与耕作模式 径流泥沙流失规律

田太强, 何丙辉, 黄巍

(西南大学 资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘 要:**为有效防治坡地水土流失,减轻农业面源污染,以原位径流小区长期(2010—2012 年)观测试验为基础,以“冬小麦—夏玉米”种植模式为研究对象,设置对照(T0)、常规(T1)、优化(T2)、增量(T3)、横坡垄作(T4)5 个处理,分析了三峡库区紫色土坡耕地不同施肥水平与耕作模式下径流泥沙流失规律及其对降雨的响应。研究发现:(1)各处理 5 月份的径流量占观测时段内总径流量的 16.39%~21.96%,侵蚀量占观测时段内总侵蚀量的 12.53%~25.56%,产生侵蚀性降雨的最小降雨量为 20.5 mm。(2)不同施肥与耕作模式降雨量与径流量、侵蚀量均呈  $y=ax+b(a>0)$  的线性关系;通径分析表明,侵蚀量的变化是径流量直接作用的结果,施肥对土壤侵蚀及产流的影响是通过改变土壤理化性质和作物地面覆盖度而实现的。(3)不同施肥水平与耕作模式下径流总量与侵蚀总量的变化趋势一致,在不同施肥水平下径流总量与侵蚀总量均表现出:  $T_0>T_1>T_3>T_2$ ,不同耕作模式下径流总量与侵蚀总量均表现出:  $T_2>T_4$ 。横坡耕作和优化施肥模式能够更有效地减少地表径流,降低土壤侵蚀量,是三峡库区防治坡耕地水土流失的有效途径。

**关键词:**三峡库区; 不同施肥水平; 泥沙; 径流

**中图分类号:**S157.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)01-0061-05

## Characteristics of Runoff and Sediment Production under Different Fertilization and Tillage Patterns in Three Gorges Reservoir Area

TIAN Tai-qiang, HE Bing-hui, HUANG Wei

(Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region,

College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:**In order to reduce soil and water loss in sloping fields and reduce agricultural non-point source pollution, based on the long term(2010—2012) in site runoff plots observation experiment with the treatments of CK(T0), combined application of manure and fertilizer(T1), chemical fertilizer(T2), chemical fertilizer with increasing fertilization(T3), and contour plowing with chemical fertilizer(T4) in the cropping of winter wheat-summer maize, the characteristic of runoff and eroded sediment under different fertilization and tillage patterns were studied. Result were as follows: (1) the runoff in May accounted for 16.39%~21.96%, and the erosion amount accounted for 12.53%~25.56% of the entire observation time, the minimum erosive rainfall is 20.5mm; (2) under different fertilization and tillage patterns, the rainfall, runoff volume and erosion rate showed a linear relationship( $y=ax+b, a>0$ ), the erosion of changes was driven by runoff, fertilization affected soil erosion and runoff by changing the physical and chemical properties of and crop ground cover; (3) changes of the total runoff and erosion had the same trend in different fertilization and tillage patterns, total amount of runoff and erosion showed in different fertilization levels as the order of  $T_0>T_1>T_3>T_2$ , total amount of runoff and erosion amount showed different tillage modes as the sequence of  $T_2>T_4$ . The result suggested that contour plowing and chemical fertilizer could significantly reduce runoff and soil erosion,

收稿日期:2013-05-07

修回日期:2013-06-07

资助项目:农业部公益性行业科研项目(201003014-6-3);国家自然科学基金项目(40971166);重庆市重大科技专项(CSTC2009AB1115);西南大学生态学重点学科“211 工程”三期建设项目

作者简介:田太强(1987—),男,贵州铜仁人,硕士,主要从事城市水土保持研究。E-mail:tiantaiqiang@163.com

通信作者:何丙辉(1966—),男,湖南汨罗人,博士,教授,主要从事土壤侵蚀与小流域综合治理研究。E-mail:hebinghui@swu.edu.cn

which is an effective way to control soil erosion in Three Gorges Reservoir Area.

**Key words:** Three Gorges Reservoir Area; different fertilization; sediment; runoff

近年来,农业面源污染已成为水体污染的主要来源<sup>[1]</sup>。三峡库区地处亚热带,水热资源丰富,降雨充足,水土流失严重,库区主要监测断面多年监测结果表明,库区干流水体 TN、TP 长期偏高,TP 浓度为 0.15~0.25 mg/L,TN 浓度为 1.5~2.8 mg/L<sup>[2]</sup>,超过国际上确定的暴发水华的临界值<sup>[3]</sup>。三峡库区农业面源污染的主要来源是化肥流失和水土流失<sup>[4]</sup>。化肥的流失主要是由于农民氮磷肥施用量过高或肥料配比不合理而造成的,李崇明等<sup>[5]</sup>的研究表明,三峡库区排入长江的 TP 有 81% 来源于农田径流。孟庆华等<sup>[6]</sup>的研究表明,侵蚀泥沙是土壤氮磷流失的主要载体,通过泥沙带走的氮磷占 60% 以上。

降雨径流和泥沙是研究农业面源污染的基础<sup>[7]</sup>,降雨是产生径流和水蚀的前提条件,侵蚀量和径流量的大小取决于降雨强度和降雨量<sup>[8]</sup>。几十年来许多学者做了大量的工作,王万忠<sup>[9]</sup>设置农、林、草三种土地利用类型研究了黄土高原地区降雨特性与土壤流失的关系;候喜禄等<sup>[10]</sup>对黄土丘陵沟壑区植被减沙效益以及森林保持水土效益及其机理做了具体的研究;彭文英<sup>[11]</sup>通过对陕西省安塞县降雨侵蚀资料的分析,研究了不同土地利用方式下产流产沙随降雨量、降雨强度和降雨侵蚀力变化的规律;王海斌<sup>[12]</sup>在冀北山区开展了不同水土保持措施下的径流小区降雨与产流产沙关系的研究;唐佐芯等<sup>[13]</sup>采用室内模拟人工降雨方法对不同施肥水平下坡地植草措施对径流氮流失的控制效应进行了研究,发现地表径流随降雨量的增大而增大,径流氮素浓度与施肥水平关系密切。宋玥等<sup>[14]</sup>通过野外人工模拟降雨实验研究了不同降雨强度、不同耕作措施下降雨产沙产流特征和过程;贾莲莲等<sup>[15]</sup>对黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙试验进行了研究;王晓东等<sup>[16]</sup>对三峡库区森林植被坡面产流特性进行了研究。

以上研究大多都是基于不同土地利用类型或者

不同水土保持措施下展开的降雨、径流及产沙关系的研究,对于不同施肥水平及耕作模式下的产流产沙规律研究甚少。因此本文以三峡库区紫色土为研究对象,设置不同的施肥水平和耕作模式,通过野外实地观测降雨实验,研究该模式下降雨径流的土壤侵蚀特征,以期设计出一种合理的施肥与耕作模式,为该区水土流失的治理和面源污染的防治提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于西南大学后山农场(106°24′20″E, 29°48′42″N),位于正西方向,山腰部位的 15°坡耕地。试验点为丘陵地貌,属亚热带季风气候,年平均降雨量 1 100 mm,年平均气温 18.3 ℃,年日照时数 1 270 h。土壤为中等肥力水平的紫砂泥,质地为中壤,地方土名为沙溪庙组紫色土。

### 1.2 试验设计

在试验点选择一个土壤质地、肥力具有代表性,坡度为 15°的地块,设置 15 个小区。每个小区规格为 32 m<sup>2</sup>(8 m×4 m),为防止各小区间发生水分和养分交换,小区之间用水泥墙隔开,埂宽 20~30 cm,墙体埋设于地下 30 cm 处,高出地面 20 cm。试验共布设 5 个处理:对照处理(T0)、常规处理(T1)、优化处理(T2)、增量处理(T3)、横坡垄作处理(T4)。5 个处理中,T0、T1、T2、T3 为 4 个不同施肥水平处理,T2、T4 为不同耕作模式处理,5 个处理中 T2 处理为共用处理。每个处理设置 3 次重复,每年 4 月种植玉米,11 月种植小麦,当年 8 月收获玉米,第二年 5 月收获小麦。各处理具体施肥量如表 1 所示。施用的氮、磷、钾肥分别为尿素(含 N≥46.4%)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>≥12%)、氯化钾(含 K<sub>2</sub>O≥60%)、农家肥(N≈0.24%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>≈0.17%,K<sub>2</sub>O≈0.21%),施肥方式为撒施。

表 1 试验处理描述

试验 处理	小麦肥料施用量/(kg·hm <sup>-2</sup> )				玉米肥料施用量/(kg·hm <sup>-2</sup> )				耕作方式
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	农家肥	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	农家肥	
T0 对照处理	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	顺坡耕作
T1 常规处理	138.00	45	0.00	72.00	221.00	144.00	0.00	216.00	顺坡耕作
T2 优化处理	225.00	75.00	150.00	0.00	188.00	90.00	150.00	0.00	顺坡耕作
T3 增量处理	337.50	112.5	225.00	0.00	282.00	135.00	225.00	0.00	顺坡耕作
T4 横坡垄作	225.00	75.00	150.00	0.00	188.00	90.00	150.00	0.00	横坡垄作

1.3 样品采集、测定与数据分析

每次降雨后,先测定径流小区集水池里的径流总量,然后用清洁竹竿充分搅匀径流水样,进行不同部位、不同深度多点采样,并将各水样转入干净的矿泉水瓶中,贴上标签。取完水样后,将集水池里的径流水样放掉,用清水清洗干净,以备下一次采样。水样采集后静置过滤,烘干称重,测定泥沙含量,径流水样的体积与泥沙含量的乘积即为产沙量。在试验点布设自计雨量计一个,以便记录每次的降雨量。

数据分析采用 SPSS 18.0 统计软件进行,基础运算和一般统计分析采用 Excel 2010 进行。

2 结果与分析

2.1 不同施肥水平与耕作模式下产流、产沙量

2.1.1 不同施肥水平与耕作模式下径流量分析 从表 2 可以看出,2010—2012 年水土流失观察时段内,共产生 28 次侵蚀性降雨,产生侵蚀性降雨的最小降雨量为 20.5 mm,最大降雨量为 117.5 mm。不同处

理下径流量的变化与降雨量的变化呈现出相对一致的规律,2010—2012 年径流量总体呈增加的趋势。在观测时段内 5 月份发生径流次数最多,占总观测次数的 35.71%,这主要是因为 5 月份小麦收获完,玉米刚种植,农作物地面物覆盖度较低,对雨滴的拦截效果较差,所以产流次数相对其他月份较多。在 2012 年观测时段内 T0、T1、T2、T3、T4 处理 5 月份的径流量分别占观测时段内总径流量的 16.39%,21.94%,21.96%,17.36%,16.99%。对各处理下降雨量与径流量进行回归分析,发现各处理下径流量与降雨量均呈  $y=ax+b(a>0)$  的线性关系,径流量随降雨量的增大而增大,由回归方程的斜率可知,T0 处理径流量增加的速率大于其他处理,其原因可能与农作物的地面覆盖度有关。回归关系式为,T0:  $y=0.1487x-1.8977(R^2=0.6919)$ ; T1:  $y=0.0868x-0.3912(R^2=0.4019)$ ; T2:  $y=0.1113x-1.6533(R^2=0.6661)$ ; T3:  $y=0.1171x-1.6673(R^2=0.6805)$ ; T4:  $y=0.1082x-2.1835(R^2=0.6591)$ 。

表 2 不同施肥与耕作模式下产流产沙量

降雨时间 (年-月-日)	降雨量/ mm	T0		T1		T2		T3		T4	
		产流量/ mm	产沙量/ $(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2})$	产流量/ mm	产沙量/ $(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2})$	产流量/ mm	产沙量/ $(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2})$	产流量/ mm	产沙量/ $(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2})$	产流量/ mm	产沙量/ $(10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2})$
10-04-08	28.40	1.24	0.06	1.27	0.09	0.71	0.04	0.93	0.08	0.57	0.05
10-04-11	24.70	2.13	0.25	2.19	0.23	1.19	0.08	1.98	0.10	1.04	0.09
10-04-21	59.70	1.60	0.33	1.65	0.85	0.90	0.09	1.46	0.08	0.78	0.05
10-05-10	44.80	7.73	2.26	4.14	1.07	6.57	1.25	6.04	0.97	2.17	0.64
10-05-29	22.80	1.56	0.82	1.60	0.45	0.83	0.10	1.47	0.74	0.76	0.12
10-06-09	35.80	2.16	0.09	2.22	0.14	1.22	0.24	2.02	0.18	1.06	0.08
10-06-14	19.80	2.22	0.62	2.28	0.23	1.23	0.06	2.01	0.14	1.09	0.05
10-06-20	20.60	3.26	0.17	3.34	0.20	1.76	0.08	3.01	0.23	1.60	0.11
10-06-29	50.10	9.15	0.34	9.42	0.71	5.16	0.81	6.75	0.17	4.08	0.10
10-07-09	101.20	15.10	6.95	15.52	4.71	8.16	1.12	12.41	0.63	7.38	0.91
10-07-19	28.80	2.97	2.39	3.05	2.10	1.73	0.26	2.72	0.80	1.44	0.40
11-05-23	44.60	2.25	0.32	1.13	0.06	1.43	0.03	1.91	0.06	1.27	0.04
11-06-17	117.50	15.66	9.30	4.40	3.01	15.55	5.30	15.79	8.40	17.40	4.66
11-07-22	33.00	6.03	2.64	4.04	1.40	4.32	1.34	4.72	1.32	5.00	1.22
12-05-01	24.13	0.69	0.84	0.86	1.51	1.03	0.71	1.25	1.01	0.71	0.29
12-05-12	33.56	3.19	0.52	2.05	0.28	2.70	0.23	2.67	0.26	1.41	0.15
12-05-14	28.97	0.72	0.07	0.47	0.02	0.43	0.01	0.30	0.01	0.61	0.02
12-05-22	64.70	8.27	2.22	9.74	2.89	8.90	2.16	6.89	1.64	4.80	0.57
12-05-23	20.50	0.53	0.02	0.41	0.01	0.46	0.05	0.28	0.01	0.36	0.00
12-05-25	38.50	1.81	0.13	1.05	0.82	1.57	0.08	1.36	0.08	1.12	0.06
12-05-29	75.20	6.89	1.06	7.10	1.50	5.63	0.73	4.83	0.70	3.84	0.23
12-06-03	26.26	4.76	0.48	3.38	0.45	3.21	0.28	2.37	0.27	2.42	0.05
12-06-10	27.11	1.11	0.12	0.45	0.07	1.02	0.28	0.61	0.02	0.74	0.08
12-06-26	84.58	8.05	0.44	5.35	0.21	5.31	0.24	5.23	0.47	4.46	0.51
12-06-29	37.85	1.11	0.10	0.53	0.16	1.00	0.15	0.98	0.13	0.92	0.04
12-07-05	45.97	0.89	0.07	0.49	0.03	0.75	0.02	0.69	0.06	0.60	0.03
12-07-13	49.28	9.81	2.89	6.42	2.14	6.91	2.52	6.42	1.93	3.73	0.51
12-07-20	75.28	13.96	3.31	4.22	2.22	4.69	0.84	4.17	0.27	4.22	0.77

2.1.2 不同施肥水平与耕作模式下产沙量分析 降雨对土壤侵蚀的影响主要表现为对溅蚀和坡面产流产沙的影响,影响土壤侵蚀的主要降雨因素包括雨强、雨滴动能、次降雨量和降雨持续时间等<sup>[17]</sup>。研究发现:水土流失观测时段内,降雨量的变化引起土壤侵蚀量的波动,两者表现出相对一致的关系,故 2010—2012 年 3 a 间侵蚀量均表现出随降雨量的增加而增大的趋势。在观测时段内 5 月份发生侵蚀的次数最多,在 2012 年观测时段内 T0,T1,T2,T3,T4 处理 5 月份的侵蚀量分别占观测时段内总侵蚀量的 12.53%,25.56%,20.83%,17.87%,11.18%。在历次降雨中,各处理下单位面积泥沙流失量以 2011 年第二次降雨最大,在  $(4.66\sim15.66)\times10^{-3}\text{ kg/m}^2$  之间,同时该次降雨为 117.5 mm(大于 50 mm 为暴雨)也最大,说明降雨对坡面水土流失有重要影响。对不同处理下降雨量与泥沙量进行回归分析,降雨量与泥沙量均呈  $y=ax+b(a>0)$  线性关系,降雨量越大,泥沙量也就越大,因为降雨可以直接引起土壤溅蚀,破坏土壤表层结构,降雨量越大,对土壤表层的溅蚀力也就越强,土壤流失量也就越多。不同施肥与耕作模式处理降雨量与泥沙量的回归关系式为, T0:  $y=0.0637x-1.49(R^2=0.5608)$ ; T1:  $y=0.0315x-0.437(R^2=0.4742)$ ; T2:  $y=0.0284x-0.6011(R^2=0.4226)$ ; T3:  $y=0.0366x-0.9077(R^2=0.3447)$ ; T4:  $y=0.0234x-0.6326(R^2=0.4512)$ 。

2.2 不同施肥水平与耕作模式下产流产沙关系分析 图 1 为不同施肥水平与耕作模式下产流与产沙关系。由图 1 可知,不同处理下产沙量与产流量均呈  $y=ax+b,a>0$  线性关系,产沙量均随着产流量的增加而增加,由线性模型的斜率可知,  $T0>T3>T2>T1>T4$ ,对照处理土壤侵蚀增加的速率最快,横坡垄作处理土壤侵蚀增加的速率最小。比较 T0,T1,T2,T3 处理,T0 处理下土壤侵蚀增加速率最快(斜率为 12.62),表明对照处理在没有施用任何肥料的情况下,农作物生长较其它处理差,导致地面覆盖度较小,拦截雨滴打击土壤的效果较差,所以 T0 处理土壤侵蚀强度较其它处理更强;T1,T2,T3 处理由于施用了有机和无机肥料,一方面施用的有机无机肥料改善了土壤的理化性状,另一方面又促进了农作物的生长,所以土壤侵蚀发生的程度较对照处理轻。比较 T2,T4 处理,T4 处理的斜率小于 T2 处理,表明在相同施肥水平下,横坡垄作处理土壤侵蚀发生量小于顺坡处理,其原因是横坡垄作处理改变了坡面局部地形地貌,减小了坡面径流的汇水面积,且径流容易在地垄处淤积,所以减少了坡面产流的发生。

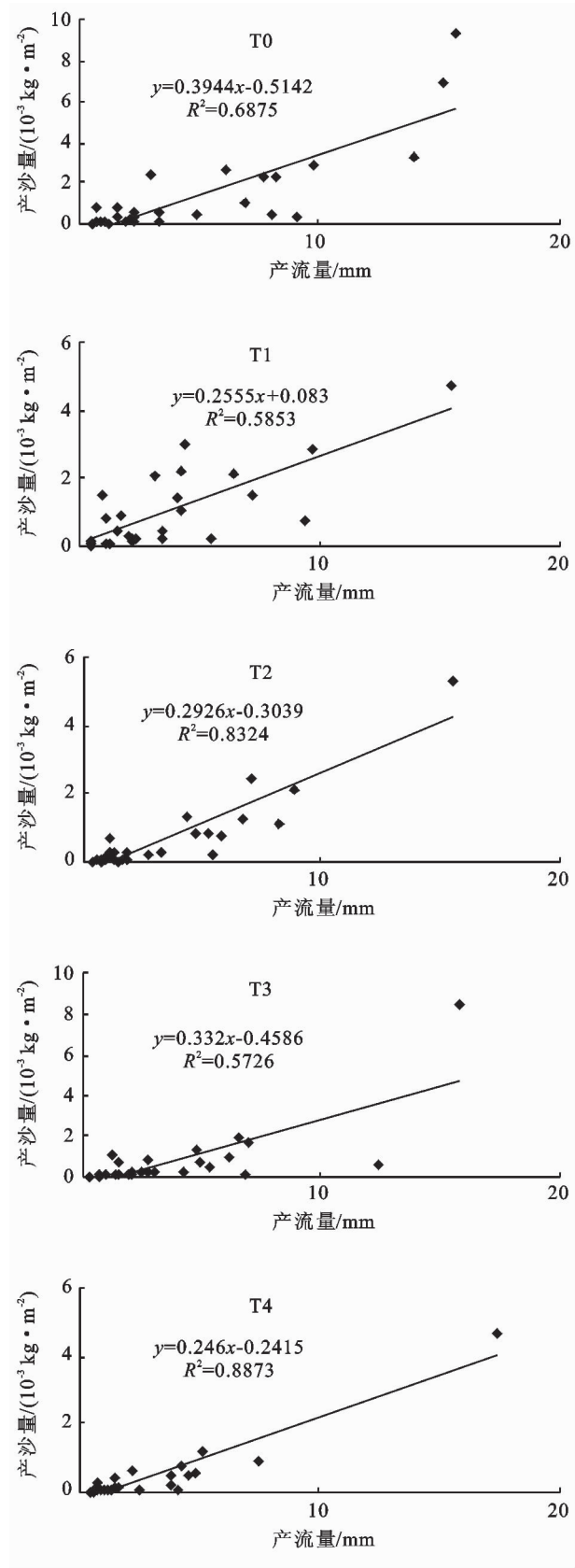


图 1 不同施肥水平与耕作模式下产流产沙关系

为弄清侵蚀量的变化是降雨量直接作用的结果还是径流量直接作用的结果,对不同施肥水平与耕作模式下的降雨量、径流量与侵蚀量进行通径分析和相关分析,结果见表 3。降雨量、径流量与侵蚀量呈极显

著相关关系，T0、T1、T2、T3、T4 处理下降雨量与侵蚀量的相关系数较径流量与侵蚀量的相关系数小，由此可见，径流量对侵蚀量的贡献大于降雨量。不同处理侵蚀量的变化是由径流量直接作用的结果，降雨量对侵蚀量的影响是通过径流的变化来实现的。坡面泥沙流失主要是坡面径流将其能量向坡面土壤传递的过程，当能量大于土壤颗粒间的结合力时，便引起土壤颗粒移动，由坡面径流能量公式： $E=\rho g \sin \theta \times Q \times L$  可以看出，坡面径流能量的大小受坡面单位面积径流量的影响，因此，坡面单位面积径流量对坡面泥沙流失量作用有着显著的影响。

表 3 不同处理降雨、径流与侵蚀量相互关系分析

处理	因子	相关系数	直接作用	间接作用	
				降雨量	径流量
T0	降雨量	0.749**	0.192		0.556
	径流量	0.829**	0.669**	0.159	
T1	降雨量	0.688**	0.34*		0.348
	径流量	0.765**	0.549**	0.215	
T2	降雨量	0.65**	-0.284*		0.933
	径流量	0.912**	1.144**	-0.231	
T3	降雨量	0.587**	-0.116		0.702
	径流量	0.756**	0.852**	-0.095	
T4	降雨量	0.672**	-0.273*		0.945
	径流量	0.942**	1.164**	-0.221	

注：\* \* 表示极显著相关，\* 表示显著相关。

2.3 不同施肥水平与耕作模式下径流总量与泥沙总量比较分析

不同施肥水平与耕作模式都对坡面水土流失有显著影响，这种影响是通过地表径流总量和坡面土壤侵蚀总量来体现的。由图 2 可以看出，径流量与侵蚀量的变化趋势基本是一致的，表现出：T0>T1>T3>T2>T4。T0 处理的总径流量与总侵蚀量最大，分别是 134.84 mm 和 0.39 t/hm<sup>2</sup>，T4 处理总径流量与总侵蚀量最小，分别是 75.59 mm 和 0.12 t/hm<sup>2</sup>。在不同耕作模式下 T4 处理比 T2 处理总径流量与泥沙量分别减小了 19.89% 和 38.05%。在不同施肥水平下，T1、T2、T3 处理分别比 T0 处理总径流量减小了 26.76%，30.01%，24.90%，总侵蚀量减小了 28.96%，50.74%，46.43%，以 T2 处理减小的幅度最大，总径流量分别为 T1 和 T3 处理的 1.12 和 1.20 倍，总侵蚀量分别是 T1 和 T3 处理的 1.75 和 1.09 倍。

对不同施肥与耕作模式下的减沙效益进行分析，减沙效益的基本计算式为：(对照的产沙量—不同施肥与耕作模式的产沙量)/对照的产沙量×100%。坡面侵蚀产沙随不同施肥与耕作方式的不同而有所变化(图 3)。用一定量的肥料后，农作物生长比不施肥处理要旺盛，农作物可通过增加地表覆盖度来阻挡和

减缓径流来有效拦截坡面产生的泥沙，同时，不施肥处理坡面产沙将会大大增加。而当肥料施用量与当地农作物需求相适应时，防治水土流失的作用也达到一个相对稳定的最大值。本研究的 5 种处理中，施肥处理以优化施肥水土保持效益最为明显，不同耕作处理以横坡垄作最为明显，因此，横坡垄作和优化施肥能更有效地减少地表径流的发生，降低土壤侵蚀量，对防治紫色土坡耕地水土流失效果更好。

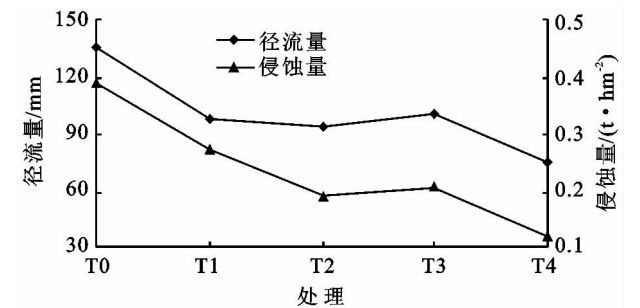


图 2 不同施肥与耕作模式下径流、产沙总量

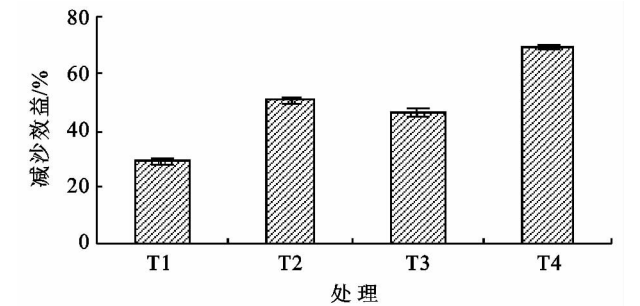


图 3 不同施肥与耕作模式下坡面减沙效益

3 结论

(1) 三峡库区坡耕地水土流失集中发生在 5—7 月，以 5 月最为严重。各处理 5 月份的径流量分别占观测时段内总径流量的 16.39%~21.96%，侵蚀量分别占观测时段内总侵蚀量的 12.53%~25.56%。产生侵蚀性降雨的最小降雨量为 20.5 mm。

(2) 降雨量与径流量、产沙量均呈  $y=ax+b, a>0$  的线性关系，径流量和产沙量均随降雨量的增大而增大，侵蚀量的变化是径流量直接作用的结果。施肥对土壤侵蚀及产流的影响主要是通过改变土壤理化性质和增加作物覆盖度来实现的。

(3) 不同施肥水平与耕作模式下径流总量与侵蚀总量的变化趋势相一致，在不同施肥水平下径流总量与侵蚀总量均表现出：T0>T1>T3>T2，不同耕作模式下径流总量与侵蚀总量均表现出：T2>T4。横坡垄作和优化施肥是减少地表径流和降低土壤侵蚀量的有效途径，对防治坡地水土流失和减轻面源污染具有重要意义。

(1) 地形因子(高程、坡度、坡向)作为重要的自然因素,对区域土地利用变化具有重要的影响,高程、坡度、坡向的等级不同,土地利用变化程度不同,土地利用类型之间的转换不同。地形因子对土地利用变化的影响符合当地的自然规律和社会经济规律。

(2) 该时期本区域地形因子对土地利用变化的影响规律为土地利用变化随着高程的增加、坡度的增大而减缓,阳坡大于阴坡,并主要集中在高程 300~600 m,坡度 $<25^\circ$ 的半阳坡地;土地利用类型之间的转化以耕地与林地在地地上(海拔 300~600 m)的转化最为剧烈,在 0~300 m 则表现为城乡建设、交通建设占用耕地的现象。

(3) 本文根据遥感和 DEM 数据,分析了土地利用变化与地形因子之间的关系,可以为土地利用结构的优化提供一定的科学依据,但本文未对各地形因子对土地利用变化的影响程度以及因子之间的相互关系进行探讨,进一步研究各地形因子与土地利用变化之间的定量关系将是下一步研究的方向。

#### 参考文献:

- [1] 乔青,高吉喜,王维.川滇农牧交错区地形特征对土地利用空间格局的影响[J].长江流域资源与环境,2009,18(9):812-818.
- [2] 葛翠萍,赵军,尹升,等.典型黑土区地形因子对土地利用变化的影响[J].农业系统科学与综合研究,2009,25(1):69-73.
- [3] 刘德林,李壁成.黄土高原上黄小流域土地利用类型的坡度分析[J].水土保持研究,2010,17(5):199-201.
- [4] 崔卫国,文倩,刘艳艳,等.基于 DEM 的醴陵市土地利用

(上接第 65 页)

#### 参考文献:

- [1] 蒋协新,秦富,利明,等.英国农业支出政策及其经验(上)[J].世界农业,2002,282(10):13-15.
- [2] 张代钧,许丹宇,任宏洋,等.长江三峡水库水污染控制若干问题[J].长江流域资源与环境,2005,14(5):605-610.
- [3] 孟春红,赵冰.三峡水库蓄水后的富营养养分化趋势分析[J].农业环境科学学报,2007,26(3):863-867.
- [4] 曹彦龙,李崇明,阚平.重庆三峡库区面源污染评价与聚类分析[J].农业环境科学学报,2007,26(3):857-862.
- [5] 李崇明,黄真理,张晟,等.三峡水库藻类“水华”预测[J].长江流域资源与环境,2007,16(1):1-6.
- [6] 孟庆华,杨林章.三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究[J].生态学报,2000,20(6):1028-1033.
- [7] 曾繁富,张军,赵同谦,等.嵩坪河小流域降雨径流特征研究[J].水土保持学报,2010,24(2):40-43.
- [8] 黄茹,黄林,何丙辉,等.三峡库区坡地林草植被阻止降雨径流侵蚀[J].农业工程学报,2012,28(9):70-75.
- [9] 王万忠.黄土高原降雨特性与土壤流失关系的研究:关

空间格局分析[J].资源科学,2008,30(2):228-234.

- [5] 黄海洋,杨庆媛,王成.基于 DEM 的土地利用类型与地形因子关系研究:以重庆市酉阳县麻旺镇为例[J].西南大学学报:自然科学版,2009,31(4):159-164.
- [6] 刘艳艳,吴大放,董玉祥,等.珠海市土地利用空间格局与地形的相关性研究[J].地理与地理信息科学,2010,26(3):68-72.
- [7] 胡光印,董治宝,王文丽,等.近 30 a 玛曲县土地利用/覆盖变化监测[J].中国沙漠,2009,29(3):457-462.
- [8] 赵玲,吴良林,莫建飞.基于 DEM 的桂西北土地利用与地形关系特征分析[J].地理空间信息,2011,9(1):103-105.
- [9] 黎景良,后斌,危双峰,等.基于 DEM 的广东省山区土地利用变化分析[J].测绘通报,2007(6):53-57.
- [10] 张少伟,杨勤科,任宗萍,等.江西省赣南地区土地利用动态分析[J].水土保持研究,2011,18(2):53-65.
- [11] 孟晓云,于兴修,刘前进.基于 RS&GIS 的临沂市北部山区土地利用变化研究[J].临沂师范学院学报,2008,30(3):97-101.
- [12] 郑瑜.基于 DEM 和交通条件的土地利用时空变化分析[D].长沙:中南林业科技大学,2001.
- [13] 唐娜,廖和平,杜军,等.土地利用总体规划环境影响评价研究:以重庆市忠县为例[J].中国农学通报,2011,27(3):417-420.
- [14] 张静,马彩虹,王启名,等.汉中市土地利用变化的动态变化研究[J].水土保持研究,2012,19(1):112-116.
- [15] 马松增,史明昌,杨贵森,等.基于 GIS 的土地利用时空动态变化分析:以塔里木盆地农垦区为例[J].水土保持研究,2013,20(1):177-181.
- [16] 李鹏杰,何政伟,李璇琼.基于 RS 和 GIS 的土地利用/覆被动态变化监测:以九龙县为例[J].水土保持研究,2012,19(2):38-42.

于侵蚀性降雨的标准问题[J].水土保持通报,1984,4(4):58-63.

- [10] 侯喜禄,曹清玉.陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J].水土保持通报,1990,10(4):33-40.
- [11] 彭文英,张科利.不同土地利用产流产沙与降雨特征的关系[J].水土保持通报,2001,21(4):25-29.
- [12] 王海斌.不同水土保持措施下径流小区降雨与产流产沙关系研究[J].水土保持研究,2011,18(5):63-66.
- [13] 唐佐忠,王建文,王克勤.不同施肥水平下植草对坡地径流氮素流失的调控作用[J].水土保持学报,2012,26(1):12-16.
- [14] 宋玥,张忠学.不同耕作措施对黑土坡耕地土壤侵蚀的影响[J].水土保持研究,2011,18(2):14-18.
- [15] 贾莲莲,李占斌,李鹏,等.黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙实验研究[J].水土保持研究,2010,17(1):1-4.
- [16] 王晓东,张洪江,程金花,等.三峡库区森林植被坡面产流特性[J].水土保持研究,2008,15(1):1-3.
- [17] 李朝霞.降雨过程中红壤表土结构变化与侵蚀特点[D].武汉:华中农业大学,2004.