
试验研究

不同施肥与耕作模式下紫色土坡地产流特征

田太强, 何丙辉, 闫建梅

(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: 为了明确施肥与耕作对坡地产流特征的影响, 以“冬小麦—夏玉米”种植模式为研究对象, 设置对照(T_0)、复合施用化肥与农家肥(T_1)、单施化肥(T_2)、单施化肥增加施肥量(T_3)、单施化肥横坡垄作(T_4)5种处理, 采用径流小区观测法, 对紫色土坡地 2008—2012 年产流特征进行了研究。结果表明, 紫色土区产流降雨主要集中在 5—9 月, 6 月是产流降雨的峰值期, 径流量与降雨量表现出相对一致的规律, 产流量变化范围为 9.57~100.36 mm, 径流系数变化范围为 0.05~0.19; 不同处理年均径流量和年均径流系数依次表现为: $T_0 > T_3 > T_2 > T_1 > T_4$, 施肥处理比对照处理径流量减少 25.90%~47.50%, T_4 比 T_2 减少 25.46%, 年降雨量与年径流量呈幂函数关系; 方差分析表明, 不同处理间年径流系数、年径流量差异达到显著水平, 施肥、耕作和降雨是影响产流的主要因素。

关键词: 紫色土; 施肥与耕作; 径流系数; 产流特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)03-0001-05

中图分类号: S157.4

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.001

Characteristics of Runoff Yielding on Purple Soil Slope Under Different Fertilization and Tillage Patterns

TIAN Tai-qiang, HE Bing-hui, YAN Jian-mei

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

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

Abstract: To investigate the effects of fertilizing and tillage on characteristics of runoff yielding, the plantation mode “winter wheat—summer maize” was taken as the research object. Five treatments were set up, which were CK(T_0), combined application of manure and fertilizer(T_1), chemical fertilizer(T_2), chemical fertilizer with increasing fertilization(T_3) and contour tillage with chemical fertilizer(T_4). The characteristics of runoff yielding were studied in runoff plots from 2008 to 2012. Results are as follows: Runoff induced rainfall occurred from May to September in the purple soil area, with the maximum runoff observed in June. Runoff was relatively consistent with rainfall. Runoff depths ranged from 9.57 to 100.36 mm and runoff coefficients, from 0.05 to 0.19. Both average annual runoff depths and average annual runoff coefficients were presented in the order of $T_0 > T_3 > T_2 > T_1 > T_4$. The fertilization treatments reduced runoff by 25.90% to 47.50% as compared with the CK and T_4 , by 25.46% as compared with T_2 . Annual rainfall in relation to annual runoff can be expressed by a power function. Differences in annual runoff and runoff coefficient between the treatments are significant according to variance analysis. Fertilization, tillage and rainfall are the main factors influencing runoff.

Keywords: purple soil; fertilization and tillage; runoff coefficient; runoff yield characteristics

近年来,由施肥而造成的面源污染问题越来越受到重视,径流和泥沙是面源污染的主要运输载体。降雨是产流的先决条件^[1],当降水强度大于林冠层、凋落物层的截流和土壤下渗强度时,便会形成地表径

流^[2]。广泛分布于中国川、黔、湘、赣、滇、浙、苏等省的紫色土发育时间短,空隙度大,入渗强,加之降雨丰富,使得该区土壤侵蚀极其严重^[3],是长江上游水土流失的主要发源地和江河水库泥沙的主要来源^[4-5]。

收稿日期: 2013-07-26

修回日期: 2013-07-31

资助项目: 农业部公益性行业科研项目“南方山地丘陵区面源污染监测与氮磷投入阈值研究”(201003014-6-3); 西南大学生态学重点学科“211工程”3期建设项目

作者简介: 田太强(1987—),男(侗族),贵州省铜仁市人,硕士,研究方向为城市水土保持。E-mail: tiantaiqiang@163.com。

通信作者: 何丙辉(1966—),男(汉族),湖南省汨罗县人,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。

目前,国内学者从耕作模式的角度对坡地产流机制及特性进行了大量的研究,郑海金等^[6]研究表明红壤坡地 3 种耕作措施的蓄水保土效应为:横坡间作>纵坡间作>果园清耕;邱野等^[7]在天然降雨条件下研究了不同耕作模式下的产流特征,认为顺坡传统耕作产流量大于横坡传统耕作径流量;林超文等^[8]认为与顺坡垄作相比,横坡垄作能减少地表径流、地下径流、土壤侵蚀量及氮、磷、钾素流失量;也有研究表明,少耕、免耕在增加土壤持水性能,改善土壤结构,增加土壤通透性等方面有显著的效果^[9-14]。

以上研究大多是基于单一坡面尺度或单一产流过程,系统研究坡面产流时间尺度的不多,尤其是野外长期观测试验的研究。因此,本文以重庆市最常见的种植模式(冬小麦—夏玉米轮作)为研究对象,在天然降雨的条件下,通过对紫色土坡地不同施肥与耕作模式下产流特性的研究,分析了不同处理年、月的径流量及径流系数的变化,旨在为紫色土坡地农业生产活动提供合理的施肥与耕作制度。本研究结果有助于认识坡地水文过程,对有效防治坡地水土流失和控制农业面源污染有着重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本研究试验地位于重庆市西南大学后山农场(106°24′20″ E, 29°48′42″ N)。丘陵地貌,位于正西方向,山腰部位的 15°坡耕地。试验点属亚热带季风气

候,年平均降雨量 1 100 mm,年平均气温 18.3℃,年日照 1 270 h。土壤为中等肥力水平的紫砂泥,质地为中壤。

1.2 试验设计

试验共设置 15 个小区,小区坡度为 15°,每个小区规格为 8 m×4 m,为防止各小区间发生水分和养分交换,小区之间用水泥墙的田埂隔开,埂宽 20~30 cm,墙体埋设在地下 30 cm,高出地面 20 cm,试验共布设 5 个处理:对照处理(T_0),常规处理(T_1),优化处理(T_2),增量处理(T_3),横坡耕作处理(T_4),对照处理为顺坡耕作不施用任何肥料,常规处理为顺坡耕作农家肥和化肥混合施用,优化处理为顺坡耕作单施化肥,增量处理为顺坡耕作单施化肥增加施肥量,横坡垄作处理为单施化肥横坡垄作,每个处理设置 3 次重复。供试作物为小麦和玉米,顺坡种植行窝距为 100 cm×50 cm,横坡种植行窝距为 100 cm×50 cm,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。各处理具体施肥量见表 1。冬小麦施肥方法为:氮肥 30% 作为底肥,60% 为拔节期追肥,10% 为小麦孕穗期追肥;磷肥为一次性底肥;钾肥 70% 为底肥,剩下 30% 为拔节期追肥。夏玉米施肥方法为:全部磷肥和钾肥,1/3 氮肥为底肥,剩下 2/3 氮肥为追肥。施用的氮、磷、钾肥分别为尿素(含 N≥46.4%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 ≥12%)、氯化钾(含 K_2O ≥60%)、有机肥(N, P_2O_5 , K_2O 约为 0.24%, 0.17%, 0.21%),施肥方式为撒施。

表 1 试验处理描述

试验处理	小麦地肥料施用量/(kg·hm ⁻²)				玉米地肥料施用量/(kg·hm ⁻²)			
	N	P_2O_5	K_2O	农家肥	N	P_2O_5	K_2O	农家肥
对照处理	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
常规处理	138.00	45.00	0.00	72.00	221.00	144.00	0.00	216.00
优化处理	225.00	75.00	150.00	0.00	188.00	90.00	150.00	0.00
增量处理	337.50	112.5	225.00	0.00	282.00	135.00	225.00	0.00
横坡耕作处理	225.00	75.00	150.00	0.00	188.00	90.00	150.00	0.00

1.3 径流观测及数据分析

每次降水后量测集水池径流的深度,径流深度与集水池底面积的乘积即为该次产生的径流量。每次量测完集水池的径流量之后,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。在试验点布设自计雨量计一个,以便记录每次降雨的雨量。径流系数采用如下公式计算:

$$\text{径流系数} = \text{总径流量} / \text{产流总降雨量}$$

本研究采用 SPSS 18.0 统计软件进行数据分析,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 降雨特征分析

对 2008—2012 年各月的产流降雨资料进行统计,试验区 2008—2012 年总产流降雨量分别为 538.20, 405.30, 436.70, 195.10, 631.89 mm, 其中 2008 年产流降雨主要发生在 4, 6, 7, 8, 9 月, 分别占全年产流降雨 24%, 20%, 6%, 8%, 10.20%; 2009 年产流降雨主要集中在 4—7 月, 分别占全年降雨的 17%, 14%, 59%, 10%; 2010 年产流降雨主要集中在

4—7 月,分别占全年的 26%,15%,29%,30%;2011 年产流降雨主要发生在 5—7 月,分别占全年的 23%,60%,17%;2012 年产流降雨主要发生在 5—7 月,分别占全年的 45%,28%,27%。

综上所述,试验区 5 a 平均产流降雨为 441.44 mm,产流降雨主要发生在 4—9 月,从各月产流降雨的平均值来看,6 月出现产流降雨的峰值,这与储小院在重庆缙云山观测的降雨分布保持一致^[15]。

2.2 不同处理年月径流量变化特征

对 2008—2012 年各处理月径流量求平均值,得到不同处理径流量月值变化过程(图 1)。可以看出,各处理年内径流分配均呈单峰型趋势变化,4 和 9 月径流量较少,6 月出现径流量峰值,径流量与降雨量表现出相对一致的变化趋势,即降雨量越大,径流量越大,这与本课题的前期研究成果保持一致^[16]。降水是影响土壤侵蚀的主要因素,而径流是影响土壤侵蚀的直接因素,随着降雨历时的延长,当土壤趋于饱和时便会形成地表径流,从而使坡面土壤颗粒产生移动和分离。紫色土区 6 月是产流的峰值期,也是土壤侵蚀的危险期,因而采取不同的农艺措施进行坡面水土流失的防治尤为重要。

表 2 反映了各处理年际径流量的变化情况,可以看出,施肥处理(T₁,T₂,T₃)与对照处理(T₀)、横坡垄

作单施化肥处理(T₄)与顺坡耕作单施化肥处理(T₂)之间差异性均达到显著性水平,说明施肥和耕作对径流量的发生有显著性的影响,这与前期郭甜等^[16]的研究结果保持一致。T₀,T₁,T₂,T₃,T₄ 处理 5 a 径流量平均值为 55.11,35.44,38.82,40.84,28.93 mm,依次为:T₀>T₃>T₂>T₁>T₄,对照处理产生径流量最多,横坡垄作单施化肥处理产生径流量最小,施肥处理(T₁,T₂,T₃)比对照处理(T₀)径流量减少 25.90%~47.50%,T₄ 处理比 T₂ 处理减少 25.46%。研究表明,在相同降雨条件及施肥水平下,横坡垄作能将降水最大限度的拦截,增加土壤入渗的时间,减少地表径流的发生,可见,横坡垄作对坡地地表径流的调控有重要作用。

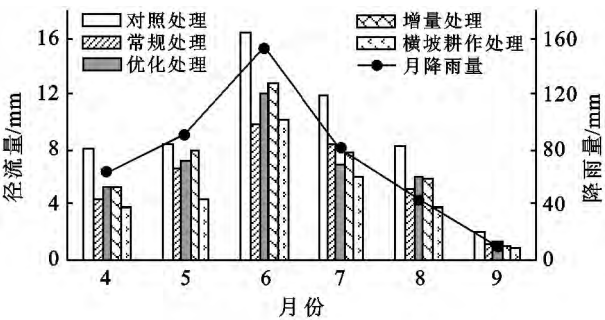


图 1 不同处理月径流量变化

表 2 不同处理年际径流量比较

年份	年产流 降雨量	地表径流量/mm				
		对照处理	常规处理	优化处理	增量处理	横坡耕作处理
2008	538.20	100.36±0.81aA	52.50±0.54bA	68.84±0.59cA	64.10±1.54dD	46.41±1.42eB
2009	405.30	40.35±1.21aB	25.96±0.61bB	30.68±1.18cB	38.81±1.18aBC	22.65±1.07dA
2010	436.70	49.12±2.37aC	46.67±0.57aC	29.46±0.66bB	40.78±2.08cC	21.98±2.87dA
2011	195.10	23.93±0.15aD	9.57±0.34bD	21.30±0.80cC	22.42±0.66dA	23.67±0.37aA
2012	631.89	61.78±3.10aE	42.51±2.71bE	43.82±3.84bD	38.06±1.23bB	29.95±1.42cC

注:小写英文字母表示不同处理在同一年份 0.05 水平上差异显著($p<0.05$);大写英文字母表示同一处理不同年份间在 0.05 水平上差异显著($p<0.05$)。下同。

从表 2 还可以看出,不同年份之间径流量差异也比较大,经方差分析表明,同一处理不同年份之间的径流产生量差异显著,分析认为可能与降雨量有关,为了弄清降雨量对径流量的影响,对年径流量与降雨量进行回归分析与相关分析,各处理回归模型为:

$T_0:y=0.11x^{1.02}, R^2=0.7500$ (1)

式中: y ——单位面积上的径流量(L/m²); x ——年降雨量(mm); R^2 ——决定系数。下同。

$T_1:y=0.0050x^{1.4450}, R^2=0.8700$ (2)

$T_2:y=0.3184x^{0.7842}, R^2=0.6280$ (3)

$T_3:y=0.7296x^{0.6597}, R^2=0.6396$ (4)

$T_4:y=3.5525x^{0.3414}, R^2=0.2432$ (5)

具体变化趋势为:径流量随降雨量的增大而增大,但 T₄ 处理模型相关性较差,其原因可能是横坡垄作处理改变了坡长和地面粗糙度,导致径流在地垄处大量淤积,降低了坡面径流能量,因而降雨量与径流量的相关性较弱。

2.3 不同处理年月径流系数变化特征

表 3 是不同年份各处理径流系数的变化情况,将 T₀,T₁,T₂,T₃,T₄ 处理 5 a 径流系数求平均值,分别为:0.120,0.080,0.092,0.096,0.070,依次表现为:T₀>T₃>T₂>T₁>T₄,且经方差分析发现,施肥处理(T₁,T₂,T₃)与不施肥处理(T₀)、横坡垄作单施化肥处理(T₄)与顺坡处理单施化肥处理(T₂)之间径流系

数差异均达到显著水平。从不同年份来看,同一处理不同年份间径流系数差异性也达到显著性水平,从同一处理不同年份来看, T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 处理径流系数总体呈减小的趋势,分析认为随着种植时间的延

长,施肥可能改变了土壤理化性状和作物生长状况,例如土壤容重、作物覆盖度、储水量^[17]、空隙度等因素^[18],导致土壤入渗能力增强,从而减少降雨转化为地表径流,导致径流系数减小。

表 3 不同处理年际径流系数比较

年份	径流系数				
	对照处理	常规处理	优化处理	增量处理	横坡耕作处理
2008	$0.19 \pm 0.001aB$	$0.10 \pm 0.001bA$	$0.13 \pm 0.001cA$	$0.12 \pm 0.002dC$	$0.09 \pm 0.002eC$
2009	$0.10 \pm 0.002aA$	$0.06 \pm 0.001bB$	$0.08 \pm 0.002cB$	$0.10 \pm 0.003aB$	$0.06 \pm 0.003dB$
2010	$0.11 \pm 0.005aC$	$0.11 \pm 0.001aC$	$0.07 \pm 0.002bA$	$0.09 \pm 0.005cB$	$0.05 \pm 0.006dAB$
2011	$0.12 \pm 0.001aD$	$0.05 \pm 0.001bD$	$0.11 \pm 0.004cC$	$0.11 \pm 0.003dC$	$0.12 \pm 0.002aD$
2012	$0.10 \pm 0.005aA$	$0.07 \pm 0.004bB$	$0.07 \pm 0.006bAB$	$0.06 \pm 0.002bA$	$0.05 \pm 0.002cA$

径流系数反映了一个地区有多少降雨形成了地表径流,它综合反映了一个地区的植被和土壤等地表状况对径流的影响^[19]。将 2008—2012 年各处理相同月份的径流系数求平均值,得到径流系数的月值变化过程。由图 2 可以看出, T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 处理径流系数总体均呈变大的趋势,分析认为跟降雨量分布与作物生长情况有关,4—8 月初是作物的生长期,8 月初玉米收割完后,地表裸露较大,土壤容易板结,即使在降雨量很小的情况下,产流也相对较多,6 月降雨量分布最多,但 6 月正值玉米抽雄开花期,作物生长旺盛,截流作用较强,所以在降雨量相差不大的情况下,6 月的径流系数相对较小,4 和 5 月因为降雨量分布较少,从而导致径流系数较小。

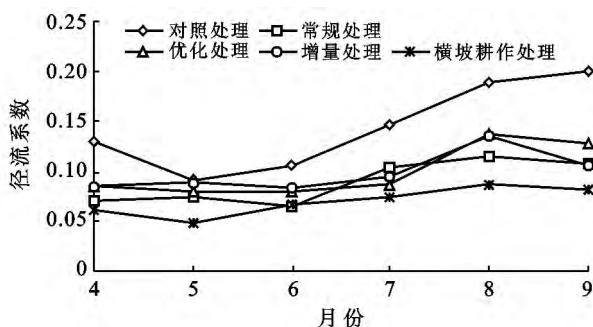


图 2 不同处理月径流系数变化

3 讨论

关于影响地表径流量的因素较多,有雨强^[20]、坡度^[21]、土地利用类型^[22]、土壤初始含水量^[23]等。本文主要研究施肥与耕作对地表径流的影响。施肥能够减少地表径流,表明施肥可能改变了作物的生长情况,避免了雨滴直接打击土壤,延缓和阻止径流在坡面的形成和传递,有效的防治了土壤结皮,增加了土壤水分的入渗量和蓄积量,从而减少了地表径流,这

与张兴昌等^[16]的研究结果保持一致。不施肥条件下,农作物缺乏生长的必要元素,长势较差,保持水土的效果相对较差。在相同施肥水平下,横坡垄作较顺坡耕作能有效减少地表径流量的发生,是因为垄作有利于农作物根系下扎,增加了土壤的入渗和保蓄,同时垄沟有效的拦截了径流,减小了汇水面积,从而降低了坡面径流的能量,减轻了径流对土壤的冲蚀,这与袁东海等^[24]研究结果保持一致,即同顺坡相比,等高土埂、水平草带、水平沟、等高农作有明显减轻水土流失的作用。

张洪江等^[19]采用灰色理论对重庆缙云山不同植被类型地表径流系数进行了研究,但对坡地农作物不同施肥与耕作下径流系数的研究还少见报道。本文研究结果表明施肥与耕作对径流系数有显著影响,其原因可能是施肥和耕作改变了土壤结构,导致各措施的保水保肥能力不一样,从而各处理将降雨转化为地表径流的能力也有所差异,另外降雨量的分布和作物生长情况也对径流系数有一定的影响,本研究表明,在地表裸露的情况下,即使降雨量较小,径流系数也相对较大。

4 结论

(1) 试验区产流时间主要集中在 4—9 月,6 月出现产流降雨的峰值,月径流量与月降雨量的变化规律相对一致,月径流量随时间呈单峰型趋势变化,4 和 9 月径流量较少,6 月出现径流量峰值,年均径流量依次为: $T_0(55.11 \text{ mm}) > T_3(40.84 \text{ mm}) > T_2(38.82 \text{ mm}) > T_1(35.44 \text{ mm}) > T_4(28.93 \text{ mm})$,施肥处理比对照处理径流量减少 25.90%~47.50%,横坡垄作单施肥处理比顺坡耕作单施肥处理减少 25.46%,年降雨量与年径流量呈幂函数关系。

(2) 年均径流系数依次表现为: $T_0(0.120) > T_3$

$(0.096) > T_2(0.092) > T_1(0.080) > T_4(0.070)$, 作物生长期月均径流系数总体呈增大的趋势, 其原因与降雨量及作物生长情况有关, 有待于进一步分析; 方差分析表明不同处理间年径流系数、年径流量差异性达到显著性水平。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 213-253.
- [3] 李仲明. 中国紫色土(上)[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1-11, 147-160.
- [4] 钟祥浩, 何毓蓉, 刘淑珍, 等. 长江上游环境特征与防护林体系建设: 川江部分[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 23-45.
- [5] 朱波, 王道杰, 孟兆鑫. 长江上游陡坡耕地退耕还林的思考[J]. 世界科技与发展, 2000, 22(S): 29-31.
- [6] 郑海金, 杨洁, 汤崇军, 等. 不同水土保持耕作措施对径流泥沙与土壤碳库的影响[J]. 水土保持通报, 2011, 31(6): 1-4.
- [7] 邱野, 王瑄, 李德利, 等. 不同耕作模式下坡耕地次降雨径流量及径流泥沙颗粒机械组成规律[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 62-65.
- [8] 林超文, 罗春燕, 庞良玉, 等. 不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6091-6101.
- [9] 张海林, 高旺盛, 陈阜, 等. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(1): 16-20.
- [10] 郭清毅, 黄高宝. 保护性耕作对旱地麦豆双序列轮作农田土壤水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 165-169.
- [11] 常旭虹, 赵广才, 张雯, 等. 作物残茬对农田土壤风蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 28-31.
- [12] 李琳, 李素娟, 张海林, 等. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 106-109.
- [13] 于爱忠, 黄高宝. 保护性耕作对内陆河灌区春季麦田不可蚀性颗粒的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 6-9.
- [14] 金轲, 蔡典雄, 吕军杰, 等. 耕作对坡耕地水土流失和冬小麦产量的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 1-5.
- [15] 储小院, 王玉杰, 王云琦, 等. 重庆缙云山典型林分3种时间尺度下产流特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(4): 103-108.
- [16] 张兴昌, 郑剑英, 吴瑞浚, 等. 氮磷配合对土壤氮素径流流失的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(3): 110-112.
- [17] 孙建, 刘苗, 李立军, 等. 不同施肥处理对土壤理化性质的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(4): 221-225.
- [18] 马宁宁, 李天来, 武春成, 等. 长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1766-1771.
- [19] 张洪江, 孙艳红, 程云, 等. 重庆缙云山不同植被类型对地表径流系数的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 11-13.
- [20] 孙飞达, 王立, 龙瑞军, 等. 黄土丘陵区不同降雨强度对农地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 16-18.
- [21] 陈洪松, 邵明安, 张兴昌, 等. 野外模拟降雨条件下坡面降雨入渗、产流试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 5-8.
- [22] 李广, 黄高宝. 雨强和土地利用对黄土丘陵区径流系数及蓄积系数的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(10): 2014-2019.
- [23] 陈洪松, 邵明安, 王克林. 土壤初始含水率对坡面降雨入渗及土壤水分再分布的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 45-47.
- [24] 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): 65-69.