

# 江西丘陵红壤区坡面径流及其与降雨关系的影响因素

尹忠东<sup>1</sup>, 丛晓红<sup>2</sup>, 李永慈<sup>3</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;

2. 北京市水利规划设计研究院, 北京 100044; 3. 北京林业大学 理学院, 北京 100083)

**摘要:** 通过径流小区方法, 对比观测了采取提高植被盖度, 改顺坡耕作为横坡耕作, 改直坡为梯田, 地表覆盖死地被物 4 类治理措施 9 个不同小区地表径流量和同期降雨特征。在比较不同小区地表径流量的基础上, 分别建立降雨量、降雨强度、降雨历时与地表径流量回归方程, 分析了各种措施对于降雨径流相关性的影响。(1) 采取 4 类措施后, 地表径流量显著减少; (2) 4 种措施对于地表径流与降雨关系的影响存在相同趋势, 即措施在降低地表径流量的同时, 提高降雨量、降雨历时与地表径流量的相关性, 降低降雨强度与地表径流的相关性。在耕作方式对比试验中, 横坡耕作与顺坡耕作相比, 在减少地表径流的同时, 降雨强度与径流量相关性略有提高。地表覆盖和耕作措施在降低地表径流量的同时, 也降低了降雨历时与地表径流相关性。

**关键词:** 丘陵红壤区; 地表径流; 降雨径流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)04-0007-04

中图分类号: S157

## Factors Affecting Runoff and Its Relationship with Rainfall Factors in Red Earth Hilly Regions in Jiangxi Province

YIN Zhong-dong<sup>1</sup>, CONG Xiaohong<sup>2</sup>, LI Yong-ci<sup>3</sup>

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

2. Beijing Municipal Institute of Hydraulic Engineering Planning, Design & Research, Beijing 100044, China; 3. College of Sciences, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Runoff and its relationship with rainfall factors are impacted by factors such as vegetation and tillage. Understanding the impact is the base of soil and water conservation and erosion models. 4 types of soil and water conservation measures were investigated in 9 runoff plots, and rainfall was recorded synchronously. Runoff from different plots is compared and regression equations are constructed between runoff and precipitation, rainfall intensity, and rainfall duration, respectively. Results show that the 4 measures can reduce runoff significantly. Rainfall runoff relationship is affected by the four measures in the same way, which increases the correlation level between runoff and precipitation and rainfall duration and decreases the correlation level between runoff and rainfall intensity with two exceptions. Contour cultivation increases correlation level between runoff and rainfall intensity, and ground cover and contour cultivation decrease the correlation level between runoff and rainfall duration.

**Keywords:** red earth hilly region; runoff; rainfall runoff relationship

坡面径流与降雨、植被、坡长坡度等多种因子相关。不同措施条件下径流的特征及其与其它因子的关系是水土流失规律和模型研究的重要内容之一, 其中措施包括提高植被盖度、改变耕作方式、覆盖死地被物、工程措施等各种类型。

在不同试验条件下, 地表植被对径流的影响有较大差异。有研究认为森林植被减少地表径流<sup>[1]</sup>, 而另有一些研究表明森林与径流之间无明显关系<sup>[2]</sup>。除措施对径流的影响外, 不同条件下降雨径流关系也是

研究的重点。在降雨量与地表径流相关关系研究中, 因试验条件不同而出现相关<sup>[3-4]</sup>或者不相关的结论, 而在降雨强度及降雨历时与地表径流关系研究中, 同样出现类似分歧<sup>[5-6]</sup>。有学者将其归结为受下垫面的影响<sup>[7]</sup>, 以饱和地面径流为主导机制的产流地区, 降雨与地表径流相关关系精度较高, 而对超渗产流的类型, 精度较低。因此可见影响地表径流的因子很多, 并且关系十分复杂。针对具体情况进行研究, 才能提出对实践具有指导意义的理论。

## 1 研究区概况

试验地设在江西省北部德安县燕沟小流域内 (115°23′—115°56′ E, 29°10′—29°35′ N)。流域面积 12.3 km<sup>2</sup>, 属于亚热带湿润季风气候, 多年平均降雨量 1 350.9 mm, 无霜期 249 d, 平均海拔 30~90 m。土壤为第四纪红壤土, 土层平均深 600~1 000 mm, 植被属于亚热带常绿阔叶林, 地带性植被类型主要有针叶林、山地针叶林、常绿阔叶林等, 主要植物种有湿地松、杉木、油茶、杜鹃、继木、金樱子、芒草等。

## 2 研究方法

### 2.1 地表径流

选择其它条件相同, 仅有措施差别的 9 个径流小区, 观测不同措施条件下的地表径流量。其中 7 个小区长 20 m, 宽 5 m, 水平投影面积 100 m<sup>2</sup>, 地表坡度 15°, 地表死地被物试验小区长 15 m, 宽 5 m, 水平投影面积 75 m<sup>2</sup>, 地表坡度 18°, 按规范观测小区径流量。观测期从 2001 年 1 月 1 日—2002 年 7 月 22 日, 各小区产流次数 56~60 次不等。

(1) 不同植被盖度试验。第 1 小区: 裸地小区 (对照小区), 植被覆盖度为 0%; 第 2 小区: 均匀种植柑橘, 植被覆盖度 20%; 第 3 小区: 均匀种植柑橘, 盖度

20%, 地表种植百喜草, 盖度 100%。

(2) 不同耕作方式试验。第 4 小区 (横坡耕作小区): 均匀种植柑橘, 植被覆盖度 20%, 柑橘树下横坡间种黄豆、萝卜, 每年 4 月 12 日至 8 月 10 日种黄豆, 8 月 12 日至 3 月 12 日种萝卜; 第 5 小区 (顺坡耕作小区): 均匀种植柑橘, 植被覆盖度 20%, 柑橘树下顺坡间种黄豆、萝卜, 每年 4 月 12 日至 8 月 10 日种黄豆, 8 月 12 日至 3 月 12 日种萝卜。

(3) 梯田试验。第 6 小区 (直坡小区): 均匀种植柑橘, 植被覆盖度 20%; 第 7 小区 (梯田小区): 水平梯田, 均匀种植柑橘, 植被覆盖度 20%。

(4) 地表死地被物试验。第 8 小区 (裸地小区): 植被覆盖度为 0; 第 9 小区 (死地被物覆盖小区): 植被覆盖度为 0, 地表覆盖死地被物, 覆盖厚度 20 cm。

### 2.2 气象条件

气象站建在距试验小区 100 m 的空旷坡顶, 标准气象观测场面积为 16 m × 12 m, 按国家正规气象台站要求的常规气象要素观测方法进行观测。2001 年 1 月 1 日至 2002 年 7 月 22 日期间降雨总场次 209 次, 降雨量为 2 292 mm, 降雨历时 106 014 min。场均降雨量 11.0 mm, 平均降雨历时 507 min, 其中降雨历时小于 6 h 的降雨量占总雨量的 75.6%, 平均雨强 1.29 mm/h, 各类强度的降雨量较为平均 (见表 1)。

表 1 试验期降雨特征

降雨量分级/mm	≤10	10~25	25~50	50~100	100~200
降雨量/mm	446.4	645.9	735.7	332.7	131.3
占总雨量%	19.5	28.2	32.1	14.5	5.7
降雨场次	139	41	22	6	1
占总降雨场次%	66.5	19.6	10.5	2.9	0.5
降雨历时/min	≤60	≤720	≤1 440	≤3 720	
降雨量/mm	38.0	1081.6	1860.0	2292.0	
占总雨量%	1.7	47.2	81.1	100.00	
降雨场次	13	158	197	209	
占总降雨场次%	6.2	75.6	94.3	100.0	
降雨强度/(mm·h <sup>-1</sup> )	≤0.5	0.5~1	1~2	≥2	
降雨量/mm	143.0	321.0	705.6	1122.4	
占总雨量%	6.2	14.0	30.8	49.0	
降雨场次	61	52	51	45	
占总降雨场次%	29.2	24.9	24.4	21.5	

## 3 结果分析

### 3.1 不同植被盖度对地表径流的影响

对 3 个不同植被盖度小区地表径流量观测结果表明 (表 2), 当植被盖度为 0%, 20%, 100% 时, 试验期间地表径流总量有显著差异, 分别为 72.28, 48.95 和 7.81 m<sup>3</sup>, 径流系数分别为 33%, 22% 和 3.6%。不同

植被盖度导致地表径流量差异的原因是, 植被截留了一定的降雨, 消减了降雨动能, 改善了土壤性状, 提高了土壤入渗特性, 增加了地下径流量。关于在该试验条件下植被覆盖对于壤中流的增加作用已有研究。

植被盖度除影响地表径流总量以外, 还影响降雨—径流关系。这 3 个降雨因子与地表径流相关性排序为降雨量、雨强、降雨历时, 在低植被盖度条件下

(植被盖度为 0% 和 20%), 地表径流量与降雨历时相关性不显著, 其它方程相关性均达显著水平。从降雨量与径流量回归方程可见, 在不同植被盖度条件下, 降雨量与径流量均显著相关(表 3), 且随着植被盖度的增加, 相关性水平提高。从雨强、降雨历时与地表径流回归方程可见(表 4—5), 在植被盖度较小时, 雨强与地表径流相关性更高, 而植被盖度较大时(植被盖度为 100%) 时, 降雨历时与地表径流量相关性更高。可见, 低植被盖度的地表对降雨变化的调节能力较差, 而高植被盖度的地表对降雨变化的调节能力较好。由于植被的缓冲作用, 植被盖度较高时, 因降雨量、雨强的变化所导致的地表径流变化得以减小。

表 2 不同措施对地表径流的影响

措施类型	措施内容	地表径流/ $m^3$	径流系数
植被盖度	植被盖度 0%	72.28	33.00
	植被盖度 20%	48.95	22.00
	植被盖度 100%	7.81	3.60
耕作方式	横坡耕作	23.52	10.80
	顺坡耕作	34.89	16.02
工程措施	对照(植被盖度 20%)	48.95	22.48
	水平梯田	25.46	11.69
地表覆盖	对照(植被盖度 0%)	49.07	30.10
	死地被物覆盖, 厚度 20 cm	5.00	3.06

表 3 不同措施对地表径流(Y)与降雨量(X)关系的影响

措施类型	措施内容	方程形式	相关系数	显著性
植被盖度	植被盖度 0%	$Y = b_0 + b_1 X$	0.770 0	0.000
	植被盖度 20%	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.790 0	0.000
	植被盖度 100%	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.855 0	0.000
耕作方式	横坡耕作	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.821 0	0.000
	顺坡耕作	$Y = b_0 b_1 X_1$	0.816 0	0.000
工程措施	对照(植被盖度 20%)	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.790 0	0.000
	水平梯田	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.861 0	0.000
地表覆盖	对照(植被盖度 0%)	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.771 4	0.000
	地被物覆盖, 厚度 20 cm	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.863 1	0.000

表 4 不同措施对地表径流(Y)与降雨强度(X)关系的影响

措施类型	措施内容	方程形式	相关系数	显著性
植被盖度	植被盖度 0	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.510 0	0.000
	植被盖度 20%	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.600 0	0.000
	植被盖度 100%	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.401 0	0.000
耕作方式	横坡耕作	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.437 0	0.000
	顺坡耕作	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.397 0	0.002
工程措施	对照(植被盖度 20%)	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.600 0	0.000
	水平梯田	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.477 0	0.000
地表覆盖	对照(植被盖度 0%)	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.568 3	0.000
	地被物覆盖, 厚度 20 cm	$Y = e^{(b_0 + b_1/X)}$	0.532 0	0.000

### 3.2 不同耕作方式对地表径流的影响

试验期横坡耕作和顺坡耕作两种方式的地表径流量差异显著, 分别为 23.52, 34.89  $m^3$ , 径流系数分别为 10.80%, 16.02%。两种耕作方式的地表粗糙度相同, 植被盖度相同, 对降雨的截留和缓冲作用相同, 对水分的蒸发也没有差异, 区别在于对地表径流流速的缓冲作用。横坡耕作降低地表径流流速, 从而增加降雨入渗量。耕作方式对降雨径流关系也产生影响。2 种耕作方式 3 个降雨因子(降雨量、降雨强度、降雨历时)条件下所构建的 6 个回归方程中, 顺坡耕作条件下降雨历时与径流量在 0.01 水平上相关性不显著外, 其它方程均达显著相关水平。对两种耕作

方式降雨径流相关性分析结果表明, 横坡耕作条件下降雨量与径流、降雨强度与径流量、降雨历时与径流量相关性均高于顺坡耕作。由前面分析中可见, 当措施导致地表径流量大时, 该种措施条件下, 降雨强度与地表径流相关性也较高。而在此处研究结果则相反。出现该结果的原因可能与措施降低地表径流量的机理不同。植被盖度差异导致地表径流量差异的机理在于植被可以降低雨滴动能和减缓地表径流流速, 而不同耕作措施条件下, 雨滴动能相同, 横坡耕作可降低径流流速从而减少地表径流。针对减少地表径流机理的不同, 具有很多类别的措施, 而这些不同类别的措施对于降雨径流关系的影响有待进一步研究。

### 3.3 梯田对地表径流的影响

对植被盖度为 20% 的直坡小区和盖度同样为 20% 的梯田小区地表径流量进行对比分析, 从而研究梯田对地表径流的影响。结果表明, 直坡小区地表径流总量是梯田小区的 1.92 倍, 其径流量分别为  $48.95 \text{ m}^3$  和  $25.46 \text{ m}^3$ , 径流系数分别为 22.48% 和 11.69%。导致梯田径流量减小的原因是, 梯田改变了坡面形态, 在局部地段减缓了坡度和坡长, 增加了地表入渗, 在小雨量时, 还有可能出现直坡有地表径流, 而梯田小区无径流的情况发生。梯田同样影响降雨径流关系。在梯田条件下, 降雨量、降雨历时与地

表径流量相关性高于直坡条件, 而降雨强度与地表径流量相关性低于直坡条件。也存在地表径流量大时, 降雨强度与地表径流量相关性增大的规律, 与植被对降雨径流关系影响趋势相同。

### 3.4 死地被物对地表径流的影响

对地表完全覆盖死地被物小区和裸露小区地表径流量进行对比分析, 以研究死地被物对地表径流的影响。结果表明, 死地被物覆盖小区地表径流量是裸地小区的 1/10, 两者径流量分别为  $5.0 \text{ m}^3$  和  $49.07 \text{ m}^3$ , 径流系数分别为 3.06%, 30.1%。表明死地被物具有减少地表径流量的作用。

表 5 不同措施对地表径流( $Y$ )与降雨历时( $X$ )关系的影响

措施类型	措施内容	方程形式	相关系数	显著性
植被盖度	植被盖度 0	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.160 0	0.230
	植被盖度 20%	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.140 0	0.270
	植被盖度 100%	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.416 0	0.000
耕作方式	横坡耕作	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.336 0	0.009
	顺坡耕作	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.310 0	0.017
工程措施	对照(植被盖度 20%)	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.140 0	0.270
	水平梯田	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.276 0	0.036
地表覆盖	对照(植被盖度 0%)	$Y = b_0 X^{b_1}$	0.212 1	0.131
	地被物覆盖, 厚度 20 cm	$Y = b_0 b_1^X$	0.109 5	0.417

死地被物对降雨径流的关系产生影响与植被盖度所产生的影响相似, 即死地被物覆盖在降低地表径流总量的同时, 提高了降雨量、降雨历时与地表径流相关性, 降低了降雨强度与地表径流的相关性。死地被物降低地表径流的机理包含了缓冲降雨动能、减缓地表径流流速两个方面, 从该角度来说, 死地被物与植被对地表径流的作用相似, 死地被物与地表植被的区别是, 植被具有蒸腾作用, 而死地被物则限制了水分蒸散, 从而导致土壤水分含量差异, 进而导致水分下渗差异, 最终导致地表径流量差异。

## 4 结论

(1) 在采取提高植被盖度, 改顺坡耕作为横坡耕作, 改直坡为梯田, 地表覆盖死地被物等措施后, 地表径流量显著减少。

(2) 上述 4 种措施对于地表径流与降雨关系的影响存在相同趋势, 即措施提高降雨量、降雨历时与地表径流的相关性, 降低降雨强度与地表径流的相关性。换言之, 大多数情况下, 在受到其它因素影响时, 地表径流与降雨量、降雨强度、降雨历时的相关性水平不会同时提高或者降低, 但有两处例外。在耕作方式对比试验中, 横坡耕作与顺坡耕作相比, 在减少地表径流的同时, 降雨强度与径流量相关性略有提高。植被与工程措施降低地表径流量的同时, 提高了降雨历时与

地表径流相关性, 地表覆盖和耕作措施在降低地表径流量的同时, 也降低了降雨历时与地表径流相关性。

降雨—径流关系在受以上因子影响的同时, 还受到如坡度、坡长等因子的影响, 本研究所得规律仅适宜于研究条件下的坡度坡长, 在其它条件下的规律仍有待研究。此外, 在水土流失治理过程中, 常会采用综合措施进行治理, 综合措施对于降雨径流关系的影响也有待研究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王礼先. 植被建设与保护对水资源保护利用的作用[C]//香山会议论文, 2000.
- [2] 李文华, 何永涛, 杨丽韞. 森林对径流影响研究的回顾与展望[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 399—406.
- [3] 中野秀章. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1983: 156—160.
- [4] 郭庆荣, 张秉刚, 钟继洪, 等. 丘陵赤红壤降雨入渗产流模型及其变化特征[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 62—65.
- [5] 贺康宁, 张建军, 朱金兆. 晋西黄土残塬沟壑区水土保持林坡面径流规律研究[J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(4): 1—6.
- [6] 黎四龙, 蔡强国, 吴淑安, 等. 坡长对径流及侵蚀的影响[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(1): 29—35.
- [7] 梁学田. 水文学原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992: 137—145.