

# 地面坡度对地表径流影响的实验研究

范世香 韩绍文

(中国科学院沈阳应用生态研究所·沈阳市)

## 提 要

本文通过模拟实验,研究了地面坡度对地表径流的影响。重点分析了坡度对径流量的影响;坡度对峰值流量的影响;坡度对汇流的影响。最后作者综合实验研究成果,提出了搞好流域综合治理的几点建议。

关键词:地面坡度 地表径流 径流量 峰值流量 汇流

## Testing Research on the Effects of Land Surface Slopes Upon Surface Runoff

*Fan Shixiang Han Shaowen*

*(The Applied Eco-research Institute, Academia Sinica, Shenyang  
Municipality)*

## Abstract

This paper deals with the affects of land surface slopes upon the surface runoff through simulation tests. Also, priority is given to the analysis of the effects of slopes upon the vulume of runoff, the flow of peak value and the confluence. Finally, the authors summarize the testing results and put forward some suggestions on doing a good job in watershed control.

**Key words:** land surface slope surface runoff volume of runoff flow of peak value confluence

地面坡度对径流有着重要的影响。为了探讨这一问题,我们在长白山森林生态系统定位站森林水文模拟实验室进行了一组地面坡度对地表径流影响的模拟实验。本文在该项实验基础上进行了初步探讨。

## 一、模拟实验概况

模拟实验是以半干旱地区内蒙东部赤峰市郊区的山坡地防护林带为模拟背景。该地区常年多风干旱,年降水量300多mm。且年内分配不均,主要集中在6~8月份<sup>[2]</sup>。降雨以产生地表径流为主,雨过天晴,河道很快干涸。为防止和减轻水土流失,该地区从70年代初以来,营造了大面积防护林带。本实验就是以该地典型油松林带的立地条件为模拟实体,实验研究地面坡度对地表径流的影响。

在室内用模型槽模拟下垫面,其形状为长方体,坡长4.99m,宽2.81m,深1.05,面积为14.03m<sup>2</sup>。模型槽内填充黄土,使其干容重与野外相近。在模型上模拟两个鱼鳞坑,坑上口直径

1.72m，深0.38m，围沿高度0.12m。本实验用2棵红松代替油松，树高均为3.50m左右，冠径2.0m左右，将树植于鱼鳞坑内。

模型槽可进行坡度调节，该实验取的一组坡度值为1°、3°、5°、7°、9°、11°、13°、15°、17°等9个坡度级。由于野外不产生壤中流和地下径流，可以近似认为各种坡度情况下渗入土壤的水分相同，所以实验时可以不考虑土壤入渗问题。作为特例，每次实验前使土壤含水量处于饱和状态，这样将使问题的分析大为简便，而且不会影响各种坡度情况下径流相对量的分析比较。本实验模拟雨强为1.5mm/min，降雨历时为20min，雨量为30mm。每次实验监测的水文要素有径流量及径流过程。

## 二、实验资料的处理

在调节坡面坡度时，下垫面模型槽发生旋转，那么坡面垂直投影面积随旋转角度的增大而缩小。因此输入模型槽的降雨量相应地减少，对径流量产生直接影响，给实验结果的分析带来麻烦，所以有必要对实验数据进行订正。例如在17°的情况下，按设计雨量30mm计算，坡面上输入雨量应为420.9L ( $14.03\text{m}^2 \times 0.03\text{m} = 0.4209\text{m}^3$ )，而实际输入雨量为402.5L ( $14.03\text{m}^2 \times \cos 17^\circ \times 0.03\text{m} = 0.4025\text{m}^3$ )，两者之差等于18.4L。根据下垫面的模拟情况分析，认为这部分水量几乎都形成了径流，所以径流量中应增加18.4L。峰值流量也近似地增加0.29L/min (18.4L除以降雨历时)。依次类推，对17°以下的情况作同样的处理，但坡度较小时订正量甚微，径流量的订正情况见表2。本文中径流量单位采用升(L)，流量单位采用升/分(L/min)，其它已在图表中注明。

## 三、实验结果分析

根据实际监测的径流量及径流过程，从以下三个方面进行分析。

(一) 坡度对径流量的影响 在地表面，由于鱼鳞坑的存在及地面高低不平等微地形的影响，显然会滞蓄部分水量，但随着坡度的增大，坡面变陡，地面的这种滞蓄能力下降，部分被积蓄在鱼鳞坑和洼地的水量随坡度的增加而形成径流。设坡度为1°时径流增加量为0，则坡度与径流增加量实验结果见表1。从表1看到，径流增加量随坡度的增大并非呈线性递增，1°~3°与11°~17°增加幅度较大(15°时数据异常，3°~11°增加幅度较小)。我们认为，径流增加量的大小完全取决于坡面上洼地分布状况及鱼鳞坑的形状。从1°~11°，以坡面洼地影响为主，这种影响在3°以下更为突出。11°以上时，鱼鳞坑随坡度倾斜，有水溢出，这时以鱼鳞坑的影响为主，洼地影响不大。另一方面，径流量的增加等于坡面积水量的减少。根据土壤含水量处于饱和情况下

表1 不同坡度径流量实验结果

坡度(°)	1	3	5	7	9	11	13	15	17
径流增量(L)	0	33.4	38.2	38.8	42.7	49.2	68.2	66.8	80.7

的水量平衡方程：

$$P - R - I = S \quad (1)$$

式中：P——降雨量；R——径流量；I——树冠截留量；S——坡面滞蓄水量。

据以往的林冠截留模拟实验结果可知，两棵树的树冠截留量约为19L，将各种坡度情况下的

径流量及坡面积水量计算结果列入表2。从表2看出,坡度越大,坡面积水量越少,对径流的贡献越多,说明坡面由于微地形的存在滞蓄水分的能力随坡面的陡峻而削弱。径流量与地面坡度的关系见图1。

表2 不同坡度径流量与坡面积水量比较

坡度(°)		1	3	5	7	9	11	13	15	17
径流量(L)	订正前	212.5	245.4	249.4	248.3	250.1	254.1	270.0	265.1	274.9
	订正后	212.6	246.0	250.8	251.4	255.3	261.8	280.8	279.4	293.3
坡面积水(L)		189.3	155.9	151.1	150.5	146.1	140.1	121.1	122.5	108.6

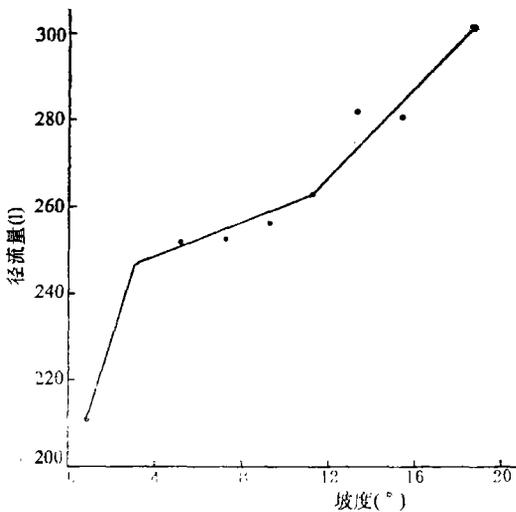


图1 径流量随坡度的变化

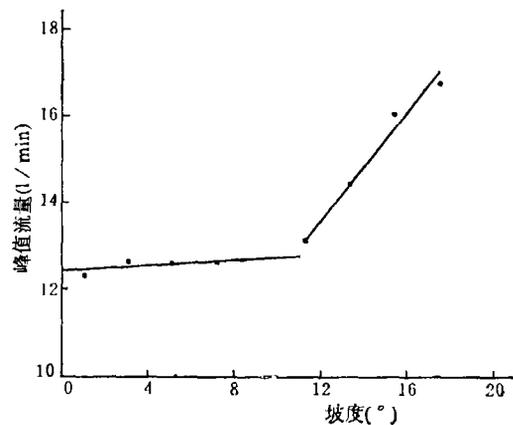


图2 峰量随坡度的变化

(二) 坡度对峰值流量的影响 地面坡度的变化影响到产流面积的大小,尤其是鱼鳞坑的作用更为明显。从模拟实验结果(表3)看出,当坡度在 $11^{\circ}$ 以下时,落入鱼鳞坑内的降雨全部保持在坑中,坡面洼地的影响不大,所以产流面积不变,峰值流量基本上是稳定的。当坡度在 $11^{\circ}$ 以上时,由于鱼鳞坑随坡面倾斜部分降雨随坑内水量的不断积累而从坑内溢出,这时形成全坡面产流。然而,随着坡度变化形成全坡面产流的时间有早有晚,所以水流汇集到出口时所形成的峰值流量是随坡度变化的。因此,超过 $11^{\circ}$ 时,在30mm的雨量下都有水量从鱼鳞坑淌出,而且坡度越大,淌出的时间越早,水量越多,形成的峰值流量越大。这时,坡面微地形的影响作用基本消失。根据表3实验数据绘成图2。图2中峰值流量与地面坡度的关系可用经验线性方程来表达。

表3 不同坡度峰值流量实验结果

坡度(°)	1	3	5	7	9	11	13	15	17
峰值流量(L/min)	12.3	12.6	12.6	12.6	12.7	13.1	14.4	16.0	16.7

$$Q_p = \begin{cases} 0.03D + 12.44 & D < 11^\circ \\ 0.64D + 6.11 & D \geq 11^\circ \end{cases} \quad (2)$$

式中： $Q_p$ 为峰值流量； $D$ 为地面坡度。

**(三) 坡度对汇流的影响** 水流在重力作用下产生流动，坡度越大，重力作用越强，水沿坡面向下流动的速度越快。分析坡度对汇流的影响，本文采用汇流历时和退水流量作为衡量指标。所谓汇流历时，就是水质点从流域最远点到达出口时所需要的时间，它反映了径流汇流的快慢。根据实测径流过程，以开始降雨到径流过程有显著增加时的起涨点作为汇流历时来近似表示。退水流量反映了雨停后径流消退的快慢，一般用退水段某时刻的流量大小来表示。根据模拟实验实测径流退水过程的变化特点，采用雨停后 2 min 时的流量来分析（实验发现，雨停后由于不存在河槽汇流的延迟，径流立即开始消退）。

坡度对地表汇流的影响，实验结果见表 4 及图 3，由此可知，坡度越大，汇流历时越短，退水流量越小，说明退水越快。当

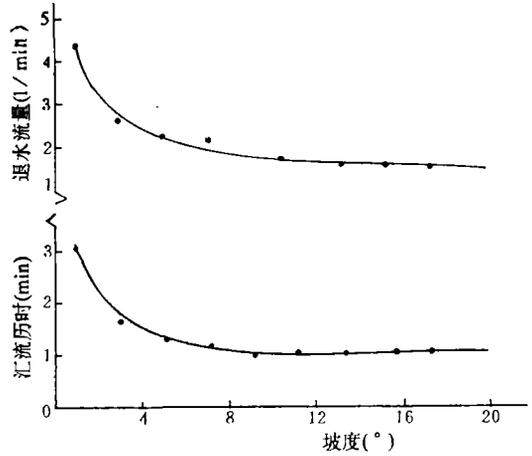


图 3 汇流历时与退水流量随地面坡度的变化

表 4 不同坡度汇流历时及径流消退比较

坡度 (°)	1	3	5	7	9	11	13	15	17
汇流历时 (min)	3'10"	1'40"	1'20"	1'10"	1'00"	1'00"	1'00"	1'00"	1'00"
退水流量 (L/min)	4.3	2.6	2.2	2.1	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4

坡度在 9° 以上时，汇流历时保持常数值，退水流量变化也不大，基本保持稳定。由此可见，地面坡度对地表汇流的影响是有限度的，9° 是一个影响值。在 9° 以下时，随着坡度的变化，汇流历时和退水流量变化剧烈，在坡度为 9° 以上时，坡度的变化对汇流速度的作用完全消失了，对退水流量的影响也不很明显了。不言而喻，随着坡度的变化，重力作用对坡地水流的影响主要体现在 9° 以下的坡面上，在 9° 以上，地表水汇流的快慢不受坡度变化的影响。对于 9° 这个影响值，是否也像坡度对径流总量及峰值流量影响的分析那样，是由于坡面上洼地及鱼鳞坑的存在造成的呢？笔者认为不能一概而论，有待做深入的探讨

根据图 3 关系曲线，可以用下面的函数关系表示：

$$\text{坡度与汇流历时 } T = \begin{cases} 3.0D^{-0.465} & D < 9^\circ \\ 1.0 & D \geq 9^\circ \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{坡度与退水流量 } Q_R = \begin{cases} 4.3D^{-0.42} & D < 9^\circ \\ 1.9 - 0.03D & D \geq 9^\circ \end{cases} \quad (4)$$

式中： $T$ 表示汇流历时； $Q_R$ 为退水流量； $D$ 为地面坡度。

## 四、讨 论

本模拟实验是在饱和土壤含水量的情况下进行的,没有考虑土壤入渗问题。实际上,在半干旱地区几乎不产生壤中流及地下径流,但是土壤长期处于缺水状态,土壤含水量很低是普遍现象,所以土壤对降雨量的储蓄是很可观的,尤其是在降雨强度较小的情况下。然而,在不同的坡度下,土壤水分的亏缺对降雨径流量的影响可近似认为是等同的。将土壤饱和含水量作为一种特殊情况,模拟实验研究地面坡度对径流的影响,并不妨碍对结果的分析比较。另外,即使饱和的土壤含水量下,实际上还是存在降雨入渗问题,即稳定土壤入渗率。但黄土的这种稳定入渗率很低,加之整个降雨径流实验过程很短,土壤的下渗量很少,而且在各种坡度情况下其量相当,所以在本文的分析中,将其近似考虑在坡面洼地积水量中了。

本实验旨在模拟研究坡度对一次降雨径流过程的影响,没有考虑过程中的蒸散量问题,因为一次降雨径流过程实验仅用30多min,而且又是在室内进行的,蒸散量也是微不足道的,不予考虑也是允许的。

根据以上对模拟实验结果的分析,不难推断,在野外面积较大的集水区,由于坡面上的自然状况更为复杂多变,洼地滞水及生物工程措施的保水作用更加突出。在其它自然条件相同的情况下,流域坡度越大,地面的积水、滞水作用越弱,径流量越多,洪量也就越集中,在流域下游由此而引起的水害则更严重,或者发生洪水灾害的可能性更大。因此,流域的坡度越大,治理的难度就更大。

通过实验结果分析,我们提出如下建议:(1)应重视和加强坡度较陡流域的综合治理,在流域面积较大的下游切实加强洪水防范措施,如兴修水利;(2)为拦蓄更多的水分,减少地表径流,在坡度陡的流域,进行生物工程治理时,要提高挖鱼鳞坑的标准,增加坑的深度,同时在坑的顺坡下方提高围沿高度。(3)高度重视流域内洼地的蓄水作用,多修筑一些围坝、池塘等。

### 参 考 文 献

- [1] 汤奇成. 中国干旱区径流的形成及转化. 《自然资源学报》, 1990年, 第1期
- [2] 孔繁智等. 乌兰敖都地区气候特征的分析. 《内蒙古东部地区风沙干旱综合治理研究》. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 第1集

---

(上接第32页)

显著水平,故可在涪江中游地区试用。

(二)土壤以黄红紫色土上生长的丝茅、黄茅生物量最大,其次是老冲积土,再次是棕紫色土。随着坡度的减小,丝茅、黄茅生物量逐渐增大。深、浅丘丝茅、黄茅生物量就部位而言,下部大于上部。

### 参 考 文 献

1. 许慕农等. 《林木研究方法》. 1983年
2. 张康健等. 森林立地定量评价与分类. 西安: 陕西省科学技术出版社, 1988年