

# 不同坡面位置土壤水分差异规律分析

刘梅 蒋定生 黄国俊

范兴科 畅彩娥

(中国科学院西北水土保持研究所  
水利部)

## 提 要

不同坡向土壤湿度差异大。试区内,土壤储水量以北坡为最高,次之是西向坡与南向坡。从坡顶到坡脚,3 m土层平均土壤湿度由小到大;在垂直方向上,各坡面湿度可分成浅层和深层两个层次。在浅层内,湿度值从坡顶到坡脚逐渐减小或差别不大;在深层内,从坡顶到坡脚逐渐增大,水土保持工程措施和生物措施可缓解降水的再分配。

## 一、导 言

当发生降雨时,由于地形影响,地面各处接收的降水量和发生的径流量各不相同,从而导致了土壤湿度的地域差异。在一个坡面上,因为各坡段的坡度不同、接收的雨量不同,所以产生径流后坡面上各处的径流量也不同。在生产实践中我们不难发现,在各种被覆的坡面上,无论是农作物的长势,还是树木的粗细或者是牧草的繁茂程度,总的趋势是从坡顶到坡脚逐渐变好。<sup>[1]</sup>

黄土高原丘陵沟壑区地面破碎,地形复杂,5°以上的坡地超过总土地面积的90%。干旱是本区农业的主要限制因子,降雨是该地区极为宝贵的自然资源。因此,研究由于降水的再分配,致使土壤湿度在不同坡面位置上产生差异的规律,对于合理利用本区土地资源,农林牧业的优化布局,水土保持措施的合理配置,以及如何因地制宜提高本区降水资源的利用率,均有十分重要的意义。

## 二、试验布设与方法

试验布设在陕北安塞县茶坊水土保持试验站。试验的目的在于定量评价降水在坡面上的再分配规律,摸清不同坡面上土壤湿度差异状况,为该区土地的合理利用提供科学依据。由于随着地面坡度的变化及坡向、被覆度、耕作措施的不同,降水的再分配将受到不同影响。对于降水的再分配,从土壤的蒸发强度(或农地、草地、林地蒸发强度)入渗水量、径流量沿坡面的变化等几个要素着手进行研究。并考虑到试区实际观测的可行性,试验的测定项目包括降雨量、径流量、泥沙量、土壤湿度等。土壤湿度采用烘干法测定,每月1日定期在各小区打钻取土(深度为3 m),雨后翌日加测一次。

该试验布设的特点,是从坡顶到坡脚,垂直于坡面,分段安装三到四组径流小区和雨量筒进行观测研究。从1984年起,在西向坡上4个1 m × 0.5 m<sup>2</sup>小区从坡顶到坡脚安装布设了试验,布设情况见图1。从1986年起又在北向坡和南向坡上布设了试验。北向坡从坡顶开始相间布设3个

小区，小区面积分别为  $1\text{ m} \times 5.14\text{ m}$ 、 $1\text{ m} \times 20.02\text{ m}$ 、 $1\text{ m} \times 29.88\text{ m}$ ，南坡布设与北坡基本相同。

各试验区均为绝对休闲裸地。试区土壤水分稳定速率为  $1.2\text{ mm}/\text{min}$ 。3 m 土层中的土壤容重介于  $1.27 \sim 1.37\text{ g}/\text{cm}^3$  之间。

### 三、试验结果及分析

(一) 不同坡向土壤湿度之差异 1986 到 1988 年 4 ~ 9 月三个坡向上不同坡段，3 m 深各土层储水量平均值整理如表 1。以代表性较好的坡中段为例，进行比较，南坡向坡中段为  $24^\circ$ ，西向坡为  $30^\circ$ ，北向坡为  $24^\circ$ ，其 1986 ~ 1988 年 4 ~ 9 月 3 m 深土层平均储水量值分别为  $429.56\text{ mm}$ 、 $451.56\text{ mm}$ 、 $551.04\text{ mm}$ 。北坡大于西坡  $22.0\%$ 、大于南坡  $28.1\%$ ，西坡大于南坡  $5.1\%$ 。这一比较表明，不同坡向导致其土壤湿度产生较大差别，有时会超过植被类型间造成的差别。这点在生产实践中具有重要的指导意义。

表 1 不同坡向土壤储水量值 (单位: mm) (1986 年 ~ 1988 年 4 月 ~ 9 月资料)

坡位 坡度 取土深度 (cm)	南向坡			西向坡				北向坡		
	顶	中	脚	顶	中	底	脚	顶	中	脚
	$14^\circ$	$24^\circ$	$16^\circ$	$7^\circ$	$27.5^\circ$	$30^\circ$	$15^\circ$	$9^\circ$	$24^\circ$	$22^\circ$
0—20	29.96	28.86	27.58	30.52	30.78	29.58	28.12	34.96	32.68	29.30
20—40	31.90	29.18	26.64	30.34	31.74	31.80	26.32	37.88	34.98	30.16
40—60	32.82	27.84	25.98	29.66	32.52	32.32	27.56	37.89	36.56	29.92
60—80	33.78	29.66	26.66	28.79	32.66	32.88	29.86	39.64	37.98	31.88
80—100	32.46	29.78	26.92	32.70	30.88	33.30	30.70	36.34	37.26	31.98
100—120	34.06	30.10	28.44	32.88	31.74	33.80	34.12	37.32	39.70	35.14
120—140	32.78	30.00	27.72	28.38	30.94	34.88	34.48	35.64	38.52	35.02
140—160	30.74	28.04	28.10	25.98	28.38	34.14	33.96	35.74	36.40	36.30
160—180	27.72	25.86	28.58	24.42	27.76	34.94	34.52	35.76	36.74	38.16
180—200	27.14	26.88	29.70	24.36	27.48	34.88	35.52	37.34	36.28	35.82
200—220	28.78	27.44	31.18	23.14	26.08	35.00	33.48	37.24	37.84	40.56
220—240	30.04	28.40	31.98	25.44	27.66	34.56	34.02	38.52	38.32	40.54
240—260	33.28	27.44	30.12	20.62	28.30	32.86	31.42	32.78	33.74	35.82
260—280	35.28	28.86	29.90	19.48	30.48	32.24	32.96	32.76	34.36	35.82
280—300	34.02	31.22	33.28	20.92	33.96	35.60	36.82	34.90	38.62	37.90
合计	474.62	429.56	432.78	397.62	451.56	503.80	483.22	537.52	551.04	524.80

分析影响降水再分配的诸因素在不同坡向上的表现，使人们对不同坡向土壤湿度差异的原因，形成以下认识。通过 1986 ~ 1988 年 68 次降雨资料统计发现，试区内，降雨量分布西向坡大于南向坡和北向坡，南向坡与北向坡基本相等，详见表 2。

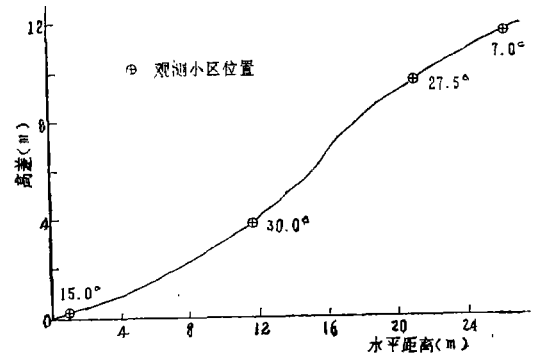


图 1 西向坡纵剖面图 (水准测量)

表2 不同坡向各坡位接收雨量值 (单位: mm) (1986~1988年4~10月资料)

年度	南向坡			西向坡				北向坡		
	坡顶	坡中	坡脚	坡顶	坡中	坡底	坡脚	坡顶	坡中	坡脚
1986	277.2	266.0	297.2	328.1	324.8	311.5	316.5	285.9	277.6	276.7
1987	243.3	258.6	281.9	260.9	256.6	253.9	277.7	264.4	255.2	265.0
1988	244.8	231.7	262.2	247.3	235.6	245.5	265.1	241.4	242.4	256.9
3年平均	255.1	252.1	280.4	278.3	272.3	270.3	286.4	263.9	258.4	266.2

在坡面上影响接收降雨量的主要因素是坡度。根据前面的分析<sup>[1]</sup>, 各坡面接收雨量值与有关要素的关系式为:

$$P_a = P \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

式中:  $p$ ——降落在水平地面上的雨量;  $p_a$ ——降落在倾斜地面上的雨量;  $\alpha$ ——地面坡度;  $\beta$ ——可以看成是受风的影响雨点运行轨迹线与水平面的夹角。 $\cos \alpha \sin \beta$ 本身表示修正系数, 这种修正一方面受坡向的制约, 另一方面又受实际坡度的影响。由表2知, 西向坡各坡段接收的雨量一般均大于南向坡和北向坡的同一坡位。一个坡面上坡脚处坡度通常较小, 其接收的雨量较大, 西向坡为286.4mm, 南向坡为280.4mm, 北向坡为266.2mm。就整个坡面而言, 尽管北向坡所接收的雨量与南向坡相近, 但因其蒸发力较南向坡小<sup>[2]</sup>, 实际蒸发量少, 因此其土壤储水量大。虽然西向坡上所接收的雨量在三者中最多, 但西向坡坡中、坡底的坡度较另两坡大, 易形成径流, 所以其土壤储水量降低, 且小于北坡。

(二) 土壤湿度在坡面上的垂直分布状况 如果不考虑垂直方向上的土壤湿度变化, 一个坡面上通层土壤水分含量从坡顶到坡脚是逐渐增大的, 这一点是易于理解的。如果要顾及土壤水分的垂直差异, 问题就显得复杂一些。在4年的试验中, 作者通过大量点绘土壤湿度随深度的变化

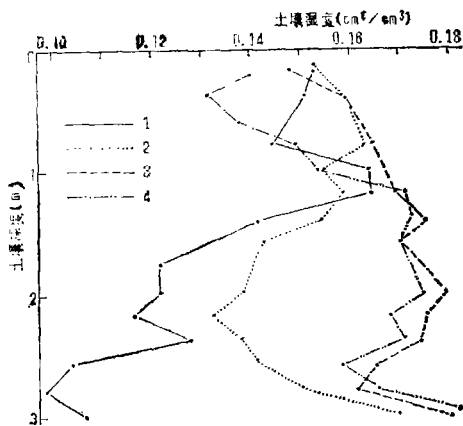


图2 a、不同深度土壤湿度的变化状况

曲线(雨季4~9月资料), 发现多数类似图2的点绘结果。现以西向坡为例分析, 如图2中曲线所示。在土壤表层, 坡上段土壤湿度较坡下段为大, 并随着深度加大坡顶处土壤湿度降低, 坡脚处土壤湿度增大。到接近了3m深处, 土壤湿度从大到小的顺序依次是坡脚、坡底、坡中、坡顶。这种次序的倒置大致发生在1m土层处。在1m深处几条线基本上相互重叠, 表明土壤湿度在该深度上各坡段相近或相同。分析北向坡与南向坡也有类似情况见图2 b、图2 c。由此, 可以将坡地土壤湿度分为三层, 即根据不同坡位土壤湿度随深度变化而变

分界层。西向坡大致在1m左右, 南向坡和北向坡在1.5~2.0m左右。在该层以上, 坡面上下各处的土壤湿度值大致相近或相同, 为浅层, 该层以下即为深层。在浅层内湿度值从坡顶到坡脚大体依次变小, 或差异不大; 在深层从坡顶到坡脚增大。就西向坡而言, 从坡顶、坡中到坡脚, 在

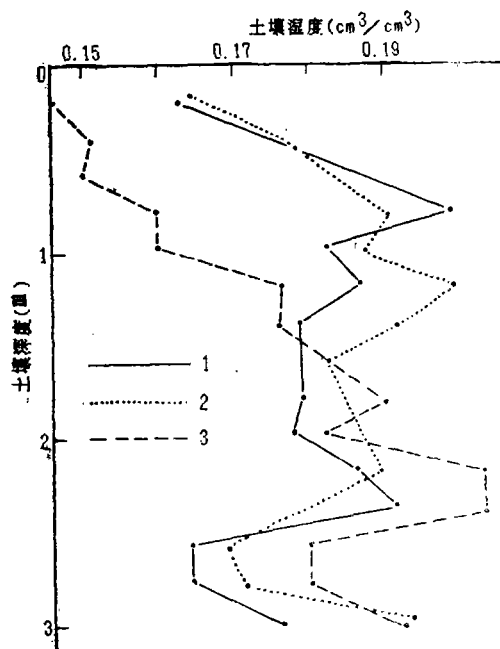


图 2 b、土壤湿度随深度的变化状况

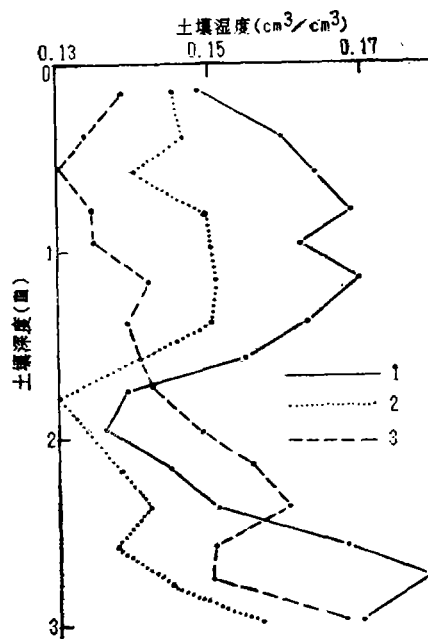


图 2 c、土壤湿度随深度的变化状况

浅层 (0~1 m) 内土壤湿度 (1986~1988年 4~9月资料、单位 $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) 依次为15.26%、15.86%、14.26%；在深层内 (1~3 m) 依次为12.28%、14.65%、17.03%。但分析南向坡与北向坡，发现其深层土壤湿度深度变化，由于南向坡和北向坡坡脚处离沟壁较近，打钻取土处距沟缘线约 2 m，沟壁高 5~10 m，沟壁加大了坡脚处的蒸发，使坡脚处湿度值偏低。故不如西向坡的规律性那样明显。1986年6月6日我们曾对梯田的外缘和内侧打钻测定过土壤水分的差别，2 m深处水分平均值，外缘为9.9%，内侧为11.8%，内侧比外缘大1.9%。在黄土丘陵沟壑区，坡脚处常有切沟或冲沟存在，由于沟壁面的蒸发，在2~3 m宽的土壤低湿度带，生产中也能看到沟畔上作物长势次于距沟壁远的坡段。

综上所述，土壤水分在坡面上的分布如果没有坡脚切沟或沟壁蒸发的影响，一般是通层土壤湿度从坡顶到坡脚依次最大。浅层从顶到坡脚依次减小或差异不明显，深层则是逐渐变大。对于坡面土壤水分的这种立体分布规律，生产实践中应予以综合考虑。若要种植那些需水量较大的农作物或营造水土保持林，应注意到坡下部不仅深层水分条件较好，且通层水分条件亦较其它部位好，故以选坡下部为佳；对于需水量一般的农作物，由于坡上部浅层土壤水分条件与坡下部差无几，且坡上部通风，光照条件好，故选在坡上部种植为好。

(三) 水土保持工程措施和生物措施的影响。在坡面上布设水土保持工程措施和生物措施可缓解降水的再分配，缩减不同坡位土壤湿度差异的程度。1987年我们在北坡径流小区的东侧，从坡顶到坡脚修了宽 3 m的隔坡梯田 (种谷子) 和水平沟 (种沙打旺)。根据1987年7月2日至1988年11月6日5次水分测定资料 (3 m平均) 比较，坡顶为13.07%，坡脚为13.27%，相差甚微。隔坡梯田和水平沟拦蓄了下泻径流，使径流就地入渗，从而缓解了降水在坡面上的再分配。另据卢宗凡等人的研究，在坡面上布设草灌结合或草粮间作对保土蓄水可收到显著的效果。在表3的17种处理中，侵蚀量、径流量大体上一次增大。不同处理阻滞径流的效果不同，其中以1~5处理效果最好，其次为单纯种草、草粮间作，普通种植最差。虽然1~5处理中的径流量

### 3 坡面上不同生物措施拦蓄径流对比

处 理	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	径流量 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	2 米深储水量 (mm)
1. 柠条	855.5	10 600.3	316.9
2. 柠条+沙打旺	501.1	11.082.0	314.9
3. 柠条+苜蓿	842.4	14 544.0	338.5
4. 柠条+草木樨	1 078.5	14 132.0	347.5
5. 柠条+红豆草	867.2	15 657.0	325.4
6. 沙打旺	869.2	16 970.0	283.9
7. 紫花苜蓿	876.3	17 763.0	350.1
8. 草木樨	1 411.9	19 428.0	365.1
9. 红豆草	926.9	17 949.0	333.9
10. 沙打旺+谷子	3 649.0	31 260.0	350.6
11. 苜蓿+谷子	3 685.2	34 633.3	327.6
12. 苜蓿+马铃薯	3 976.4	30 226.7	379.6
13. 草木樨+谷子	4 254.8	29 926.7	378.2
14. 水平沟谷子	4 627.9	26 678.7	384.3
15. 普种谷子	5 016.4	29 030.0	396.3
16. 普种马铃薯	5 649.0	27 756.6	382.3
17. 对照	14 205.0	36 833.0	387.3

最小,但由于草灌结合其蒸散量很大,故2m深土壤储水量并不比其它处理高。

#### 四、结 语

本文通过对不同坡位土壤湿度的变异规律、不同深度土壤湿度的空间变化的分析研究。初步揭示了坡地土壤湿度差异存在的规律,可为合理利用坡地土壤水分资源,科学地安排生产,提供理论依据。

#### An analysis to the differences of soil water in varied places of hillslopes

*Liu Mei Jiang Dingsheng Huang Guojun Fan Xingke Chang Cai'e*  
(Northwest Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and  
Ministry of Water Resources)

#### Abstract

There are big differences of soil water among hillslopes with varied aspects. In the research field, the soil water is the largest in the north slope, the least in the south slope and the soil water in west slope lies between them. The average moisture in 3 meters soil layer varies from large to little as the site moves from the hilltop to the foot. The soil of each hillslope consists of two layers, that is, upper and lower layer. Soil moisture gradually decreases or remains steady from the hilltop to the foot in upper layer, but in lower layer, it usually increases. Soil and water conservation including both engineering and biological control can weaken the red istribution of the precipitation.