

降水在凸—凹形坡上再分配规律初探

蒋定生 刘梅梅 黄国俊

(中国科学院西北水土保持研究所)

提 要

黄土高原地形破碎,地面倾斜度大,降水常在坡面上发生再分配。通过研究,已得到几点结论:1、坡面接收雨量与坡度的关系式为 $P_a = P \cos \alpha \sin \beta$ [见文中式(1)]; 2、坡面上降水不发生再分配的临界值, 7°坡面为7毫米, 15°坡面为4.3毫米, 27.5°坡面为3.2毫米, 30°坡面为2.8毫米; 3、土壤蓄水量沿坡的变化规律是, 旱季, 在坡的中部土壤湿度最大, 雨季末, 自山顶至坡脚, 土壤湿度逐渐变大。

一、问题的提出

所谓降水的再分配,是指由于地形影响,地面各处接收的降水量和发生的径流量不相等,从而导致了土壤湿度的地域差异现象。设若雨水降落在一无限宽广的理想平面上,这时各点接收的降雨量相等,地面也不产生径流,各处土壤湿润状况比较均一;相反,设若雨水是降落在起伏不平的坡面上,这时降水将在坡面上重新进行再分配,各部位的土壤湿度自山顶至坡脚概不相同。由于这种原因,生长在坡面上的农作物、树木、牧草的长势各部位差异甚大(表1)。

表 1 农作物、树木、牧草在坡面上不同部位的生长状况比较

坡形	坡向	测点	小 麦		洋槐胸径 (厘米)	核桃树地径 (厘米)	柠条株高 (厘米)	沙打旺株高 (厘米)
			株高(厘米)	穗长(厘米)				
凸凹形坡	南	坡顶	52.6	4.2	5.1	4.0		38.3
		坡中	76.6	5.8	5.6	6.7		65.2
		坡脚	86.0	6.1	6.0	9.3		83.9
凸凹形坡	东	坡顶	68.0	4.8	7.5		62.0	54.3
		坡中	69.3	5.0	8.1		94.5	92.0
		坡脚	86.5	5.2	8.3		10.7	107.8

国外很重视这一课题的研究。苏联И·А· Гольцберг 曾研究了不同坡形、坡向和坡长情况下坡面上不同地段的水分储量和作物产量变化; Г. И. Швец 从水量平衡观点出发,研究了坡面水量平衡方程式中各项分量的计算方法; Е. Н. Романова 在《基本气候要素的小

气候变化》专著中，阐述了关于考虑降水在坡顶和坡脚的再分配和关于计算在不同地形条件下的蒸发力和蒸发的计算方法，曾解决了确定苏联境内复杂地形条件下的土壤湿度这一难题，建立了土壤水分收支的逻辑模型，得到了不同地点的土壤贮水量的数值。

我国黄土高原丘陵沟壑区面积约23.6万平方公里，5°以上的坡地超过总土地面积的90%。干旱是本区农业生产的主要限制因子，降水是该地区极为宝贵的自然资源。因此，研究降水在坡面上的再分配规律，对于合理利用本区土地资源，农林牧业的布局，水土保持措施的优化配置，以及如何因地制宜提高本区降水资源的利用潜力，均有十分重要的意义。基于这一考虑，已在安塞县茶坊布置了坡面降水再分配观测试验场，取得部分资料和初步成果。

二、观测场的布置

观测场为一均匀的凸凹形西向坡面，自山顶至坡脚，分段布设四个径流小区，小区面积 0.5×1 米。小区近旁安置雨量筒。为了能和坡面实际接收的雨水量相一致，雨量筒垂直于坡面，即承雨口平面和坡面平行。整个试区为裸地，绝对休闲。

每月1日及15日定期观测土壤水分的取样深度为2米；每次雨后加测土壤水分，采样深度为1米。

试验区土壤为黄绵土。根据双圈法测定，土壤稳定入渗速率为1.2毫米/分。2米土层中的土壤容重介于1.27—1.37克/立方厘米之间。

三、观测结果讨论

1. 坡面接收雨量与坡度的关系。假若降水时无风，这时雨点垂直下落，安放在水平地面（坡度为 0° ）上的雨量筒接收的雨滴最多；随着地面倾斜，雨点着地轨迹线与地面斜交，平行坡面安置的雨量筒，接收雨滴的实际面积缩小，与水平地面条件相比减少 $\cos\alpha$ 倍，即

$$P_a = P \cos\alpha \quad (1)$$

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；

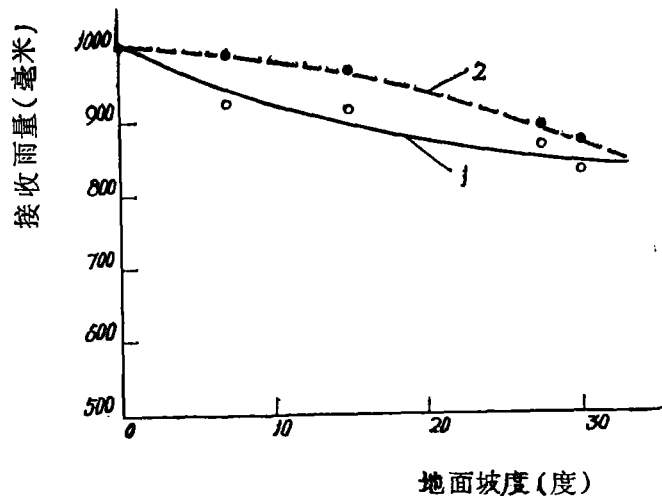
α —地面坡度。

但是，在绝大多数情况下，降雨时常伴随有风出现，雨滴飘拂，这时雨点降落轨迹线不是垂直的，而是倾斜的，因而坡面降水量不能直接采用式（1）计算。图1是根据两年的观测资料（1984年5—9月和1985年5—9月）点绘而成。经分析，图1中曲线可用如下公式来描述：

$$P_a = R \cos\alpha \sin\beta \quad (2)$$

$\sin\beta$ 为修正项，其值介于0.924—0.970之间（当地面坡度为 7° — 30° 时），平均值为0.9484。该项是由于受风的影响，雨点下落轨迹线偏斜，导致雨量筒接收雨点

数量减少。式中的 β 角可以看作是雨点运行轨迹线与水平面的夹角。不妨认为，本区西向坡面，雨



1——实测值曲线；2——理论值曲线。

图1 坡面接收雨量随地面坡度而变化的关系曲线

点着地倾角，其多年平均值介于 $67^{\circ}31'$ — $75^{\circ}57'$ 之间，平均值为 $71^{\circ}31'$ 。

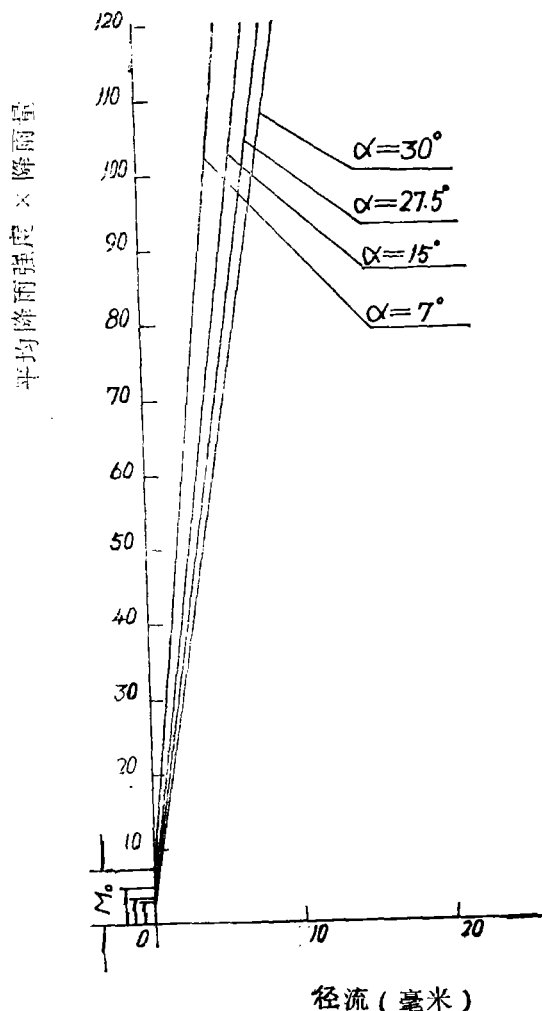


图2 坡面降水雨力与径流之关系

2、坡面上降水不发生再分配临界值范围的确定。通过对65次降水和径流资料的分析表明，坡面上降水的再分配与地面坡度和降雨强度有密切关系。地面坡度小，水体不易沿坡下流，就地入渗量多，径流系数小，降水不易发生再分配；另外，如果降雨强度大，地面容易产生结皮，封闭土壤过水孔道，土壤入渗速率锐减，小于降雨强度，地面产生径流，形成降水在坡面上的再分配。

观测资料表明（表2），地面愈陡峻，愈易发生径流，出现降水再分配。当地面坡度为 7° 时， ≤ 7 毫米的降水，一般能全部入渗土中，不发生再分配；当地面坡度增大至 30° 时，大于2.8毫米的降水量就会使坡面产生径流，出现再分配。与前者相比，不发生再分配的降水临界值减小了1.5倍。这一关系的数学表达式为：

$$P_0 = 8.413e^{-0.0388a} \quad (3)$$

$$(r = 0.9778)$$

式中： P_0 ——不发生再分配的坡面降水临界值，毫米、

降水在坡面上是否出现再分配，除了与每次降雨量的大小有关而外，亦与降雨强度关系甚大。假若用降雨量与平均降雨强度的乘积代表雨力 M ，即 $M = P_0 \cdot P$ （ P —平均降雨强度，毫米/小时）。由表2可以看出，随着坡度的增大，不发生再分配降

表2 坡面上不进行再分配降水的临界值

地面坡度	7°	15°	27.5°	30°
不发生再分配的降水临界值（毫米）	7	4.3	3.2	2.8
不发生再分配之临界雨力（降雨量×平均降雨强度，毫米·毫米/小时）	7.2	4.8	3.2	3.0

水的临界雨力越来越小。图 2 描绘了雨力与径流的大致关系（因图幅限制，纵座标仅绘出一部分）。从图中可以看出，随着地面坡度的增加：（1）曲线截距越来越短，亦即临界雨力 M 。越来越小；（2）地面愈易产生径流，发生降水再分配。

• 3、土壤蓄水量沿坡的变化规律。由于降水在坡面上再分配的影响，沿坡各部位土体内储蓄的水量有很大差异。图 3、图 4 绘制了 1984 年 5 月上旬和 9 月中旬试验区 2 米土层内的水分等湿线图

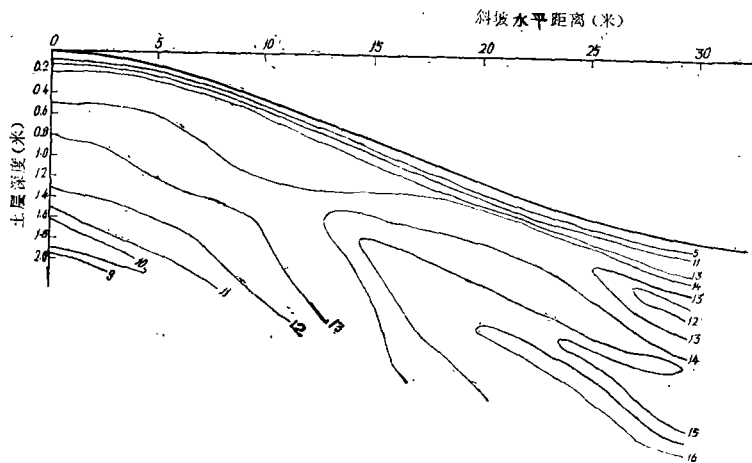


图 3 旱季坡面 2 米土层水分等湿线图（1984 年 5 月 1 日观测）

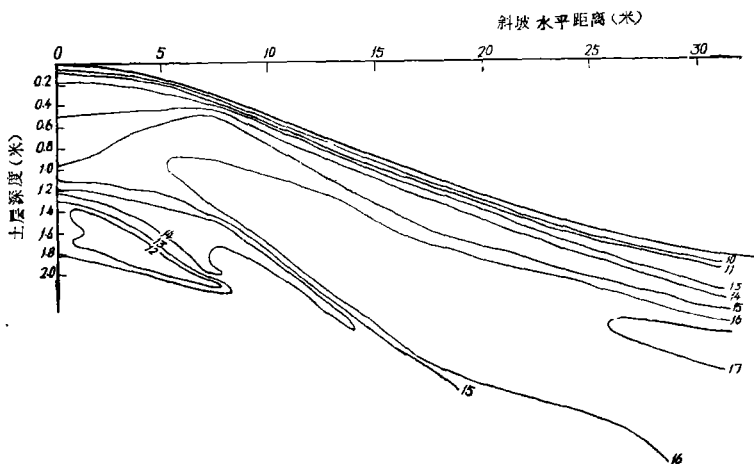


图 4 雨季末坡面 2 米土层水分等湿线图（1984 年 9 月 15 日观测）

图。从图中可以看出，旱季，在坡的中部，土壤湿度最大，2 米土层内的水分储量为 388.2 毫米，相当于田间持水量的 85.8%，有效水储量达 289.8 毫米；而在坡顶，土壤湿度最小，在 1.5—2 米深度处，有一干层，土壤水分含量为 9—12%，相当于田间持水量的 49—65.2%，2 米土层内的水分储量为 323.7 毫米，是田间持水量的 71.5%，有效水储量仅及 225.3 毫米；在坡脚，由于距离切沟较近（约 5 米左右），土体在旱季内侧向蒸发较大，2 米深度内的土壤水分储量为 372.5 毫米，是田间持水量的 82.3%，略少于坡的中部。

雨季末期，由于降水在坡面上再分配的影响，呈现出自山顶至坡脚，土壤湿度越来越大的规律。在坡脚，80—110厘米深度范围内，土壤水分含量为17%，接近田间持水量，2米土层内的水分储量达416.5毫米，相当于田间持水量的92%；在山顶，同样深度内的土壤水分储量为354.4毫米，比坡脚少62.1毫米，减少了17.5%，比坡中部少33.2毫米，减少了9.4%。

基于这一规律，从因地制宜，充分利用降水资源潜力的观点出发，坡中部或坡脚的土地利用价值无疑要优于山顶。因此，在坡脚种植那些需水较多的农作物，或者营造水土保持林，会收到较大的经济效益。过去，那种“山顶戴绿帽”（营造乔木）的造林配置方案，没有考虑土壤水分在坡面上分布的自然规律，导致“小老树”的产生，显然是不可取的。

4. 坡面土壤储水量的消长规律。坡面土壤储水量的消长无疑要遵守物质不灭定律，从水量平衡观点出发，可以认为坡面上土壤储水量的消长是下述水分交换作用的结果，即：外部垂直的水量交换（大气降水—蒸发—凝结），内部垂直的水量交换（渗透—毛管上升水—汽化水）和水平的水量交换（径流—土内径流等）。可以用简单的数学模型来表示这种关系，即：

$$W_0 + P_a + K = R + E + B + W \quad (4)$$

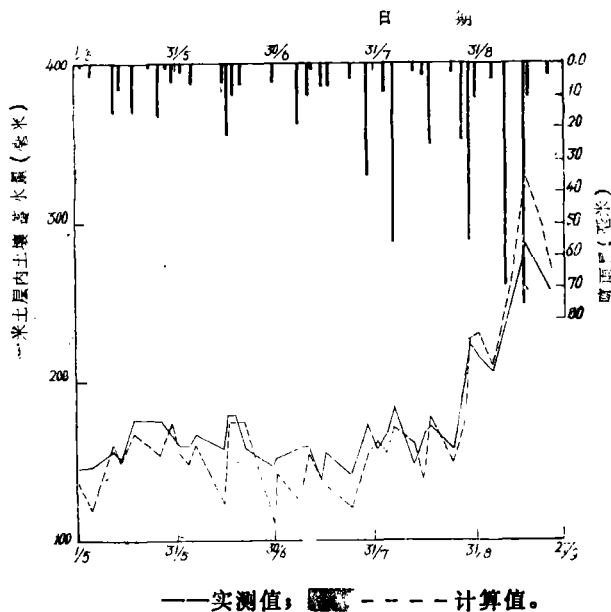
式中： W_0 —计算开始时期的土壤水分储量； K —凝结水； R —径流量；

E —土壤和植物蒸腾蒸发量； B —计算期内土内径流量；

W —计算期末的土壤水分储量。

由于本试验场为裸地，因而 E 项仅为土壤蒸发量，并以平地气象哨小型蒸发器测得的水面蒸发量的0.75倍作为山顶土壤蒸发量，同时不计凝结水的影响。计算期间土壤内的径流量 B 主要为顺坡向的土内径流，因未进行此项观测，暂设为零，因而式（4）可改写为如下形式：

$$W = W_0 + P_a - R - E \quad (5)$$



——实测值；-----计算值。

图5 坡面1米土层内储水量的消长状况

依式（5）已逐时段算出了试验区山顶剖面（地面坡度为7°）1985年5月19日至9月22日，1米土层内储水量的消长状况（图5）。总的说来，计算值均小于实测值，当计算时段过长时，二者的差异尤大，这可能是降雨入渗土中后顺坡侧向流动的结果。

结 语

进行坡面降水再分配的研究，有助于合理利用本区宝贵的降水资源。本试验从地面为裸地的简单情况出发，揭示了降水在坡面上再分配的部分规律。今后，拟扩大研究范围，观测不同坡形、坡向，不同水土保持措施对坡面降水再分配的影响。

AN INITIAL APPROACH TO THE REDISTRIBUTION LAWS OF PRECIPITATION ON CONVEX AND CONCAVE HILLSLOPES

Jiang Dingsheng Liu Meimei Huang Guojun

Northwest Institute of Soil and Water Conservation,

Academia Sinica

Abstract

In the Loess Plateau with broken topography and steep earth's surface, the rain redistribution always takes place on hillslopes. Based on field studies, some conclusions have been drawn by us:

1、 The relationship between received precipitation on slope and steep degree is expressed by equation $P_a = P \cos \alpha \sin \beta [f(1)]$,

2、 The critical value of the unredistribution of precipitation on hillslope is enumerated: 7° —7mm, 15° —4.3mm, 27.5° —3.2mm, 30° —2.8mm,

3、 Change law of soil-moisture storage from hilltop to the slope base: In the dry season, the most soil-moisture storage is situated in the central section of hillslope, after the rain season the soil-moisture storage is increasing little by little down the slope.