

黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究

王 万 忠

(中国科学院西北水土保持研究所)

提 要

本文对黄土地区5种降雨参数与土壤流失量的相关性进行了研究。结果表明：10—30分钟最大降雨量的瞬时雨率，是与土壤流失量的相关性较为密切的一个降雨参数，其中15分钟的最大降雨量与土壤流失量的关系最为密切，其相关系数达0.90。

I ——降雨参数与土壤流失量的相关性

降雨是引起黄土地区水土流失的一个最重要的因素。降雨特性与土壤流失的程度、分布规律、发生频率等特征都存在着极为密切的关系。所以，研究黄土地区降雨特性与土壤流失的关系，是水土保持科学研究工作中的一个主要课题。特别对于人工降雨模拟实验、降雨侵蚀力研究和土壤侵蚀定量分析预报工作来说，这一分析就更为重要。

与土壤流失量有关的降雨特性指标，主要包括基本降雨参数、降雨动能、降雨类型、降雨雨型结构等。本文主要分析降雨量(P)、降雨历时(T)、降雨强度(I)，降雨瞬时雨率(I_{max})、降雨次数(n)这5种参数与土壤流失量之间的相关关系。

关于上述5种参数与土壤流失量相关性的分析，过去虽有不少同志作了一定的工作，但多见于典型个例的分析，系统地、定量地研究还很少。特别是在不少同志的报告中常见到“雨量愈多、历时愈长、强度愈大，侵蚀量亦愈大”的概念式结论。应当指出，这一结论是在人为地限制一个参数，而评价另一个参数与土壤流失量相关关系的前提下得出的。但对于天然降雨的实际情况来看，各参数与土壤流失量的关系并非都呈正相关关系。例如，引起土壤最大流失量的并非是历时最长、雨量最多、强度最大(这里是指平均强度)的降雨。本文按照天然降雨各参数的实际变化过程，采用分级统计和回归计算相结合的分析方法，研究各降雨参数与土壤流失量的相关关系特征。

一、降雨量与土壤流失量的关系

(一) 可蚀性降雨量与年雨量、汛期雨量的关系

可蚀性降雨量是指能够引起土壤流失的雨量。在一年总雨量中，究竟有多少雨量可以引起土壤流失？表1是根据94个站年的观测资料计算的结果。从表1的结果中可以看出，黄土地区每年能够引起土壤流失的雨量平均为163.0毫米，其中坡面为128.1毫

米、沟道小流域为197.5毫米,小流域较坡面多54.2%。它们分别占年雨量的30.6%、25.4%、35.9%,占汛期雨量的44.4%、36.8%、52.0%。上述结果有两点需指出:一是能够引起土壤流失的雨量是按凡能产生侵蚀模数1吨/平方公里以上的流失量所需降雨量计算的,这就包括了相当一部分弱度侵蚀的降雨,从而使得所求得的可蚀性降雨量偏大。如果按照能够引起轻度侵蚀(侵蚀模数 ≥ 100 吨/平方公里)的雨量计算,黄土地区每年用以产生土壤流失的雨量在120毫米左右,占年雨量的23%,汛期雨量的33%。二是表1的结果都是每个站年的平均值,实际上可蚀性雨量与年雨量的比值年际变化差异很大,有时可蚀性雨量可占年雨量的70%,有时仅占年雨量的5%左右。

表1 可蚀性降雨量与年雨量、汛期雨量的关系

测地	地点	资料年数	降雨量(毫米)			雨量比值关系(%)	
			年雨量	汛期	可蚀性	可/年	可/汛
坡面	团山沟3场	7	505.4	340.5	129.0	25.5	37.9
	团山沟9场	6	508.7	335.3	128.6	25.3	38.3
	辛店沟11场	7	479.4	370.4	151.5	31.6	40.9
	梁家坪7—9场	13	534.7	345.6	103.4	19.3	29.9
	平均	8	507.0	348.0	128.1	25.4	36.8
沟道小流域	团山沟	9	512.1	356.6	212.2	41.4	59.5
	黑矾沟	8	499.1	341.9	132.8	26.6	38.8
	小砭沟	7	635.3	436.2	248.4	39.1	57.0
	董庄沟	10	559.3	361.1	207.2	37.1	57.4
	吕二沟	10	621.9	414.4	204.0	32.8	49.2
	韭园沟	10	475.9	349.1	198.5	41.7	56.8
	团圆沟	7	546.9	397.9	179.2	32.8	45.0
	平均	9	550.0	379.6	197.5	35.9	52.0

(二) 不同量级降雨量与土壤流失量的关系

除回归分析外,研究降雨量变化与土壤流失量关系特征的较好方法是采用量级统计法。我们根据延安、绥德、子洲等地引起土壤流失的210场暴雨的雨量大小,分为9个量级。然后统计每一级雨量的土壤流失次数(n)、土壤流失总量(ΣM)、平均土壤流失量(M)。在分析雨量量级变化与土壤流失量变化的关系时,采用以下三种指标综合评价:

- 1.土壤流失次数n(%)——表示某一级雨量土壤流失次数占整个量级总土壤流失次数的百分率;
- 2.平均土壤流失量M(T/km²)——表示某一级雨量每次降雨所产生的平均土壤流失量;
- 3.土壤流失总量 ΣM (%)——表示某一级雨量总土壤流失量占整个量级总土壤流失量的百分率。

图1是计算结果。由图1的各指标曲线变化形态可以看出:1.土壤流失次数与雨量

量级的关系在15毫米以下呈正相关，在15毫米以上基本呈负相关，10—30毫米降雨的土壤流失次数最多，可占整个量级土壤流失次数的55%左右；2.平均土壤流失量与雨量量级的大小基本呈正相关，极其严重的土壤流失现象一般都是由40—60毫米的暴雨所引起；3.土壤流失总量以20—30毫米和40—50毫米这两级雨量占的比值最大，前者可占整个量级总流失量的28.2%，后者可占20.5%。

(三) 降雨量与土壤流失量相关性的回归统计分析

从表2中降雨量与土壤流失量的回归计算结果来看，降雨量与土壤流失量的相关特征有以下几点：

1.从函数形态来看，多数呈不规则的幂函数分布，基本关系式为：

$$M = ap^b \dots \dots \dots (1)$$

式中：M——土壤流失量（吨/平方公里）；

p——一次降雨的总雨量（毫米）；

a、b——系数， $b > 1$ 。

2.从回归统计结果来看，降雨量与土壤流失量的相关性不好。根据7个观测站的平均结果来看，相关系数r值平均为0.556，最大为0.660，最小为0.261。若同其它降雨参数与土壤流失量相关系数大小相比较，降雨量优于降雨强度和降雨历时，劣于瞬时雨率。

3.影响降雨量与土壤流失量相关性不好的主要原因是降雨的性质。引起黄土地区土壤流失的主要暴雨是短历时雷暴雨，其次是长历时锋面雨。前一类暴雨强度大，降雨量一般；后一类暴雨强度小，降雨量偏大，但所产生的土壤流失量一般又较雷暴雨少。所以，当把这两类暴雨综合一起作为分析样本时，往往降低了降雨量与土壤流失量的相关性。我们对团山沟9号径流场的资料作了比较计算：原样本数为34，相关系数为0.634；当从样本数中取掉5场降雨量大而侵蚀量较小的样本时，这时样本数为29，而相关系数一下提高到0.897。

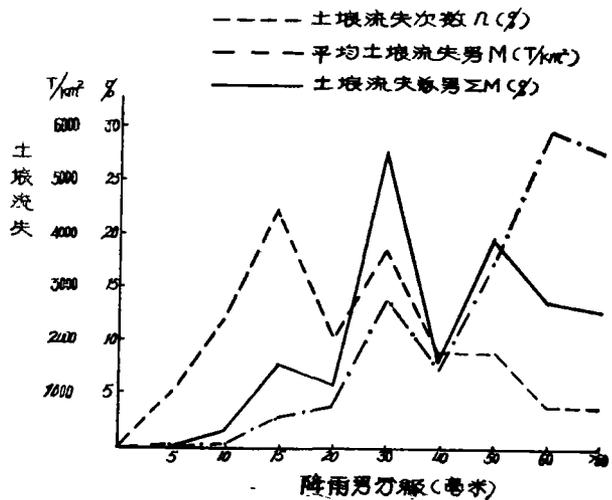


图1 黄土地区雨量分级与土壤流失量的关系变化曲线。

所以，当把这两类暴雨综合一起作为分析样本时，往往降低了降雨量与土壤流失量的相关性。我们对团山沟9号径流场的资料作了比较计算：原样本数为34，相关系数为0.634；当从样本数中取掉5场降雨量大而侵蚀量较小的样本时，这时样本数为29，而相关系数一下提高到0.897。

二、降雨历时与土壤流失量的关系

(一) 不同量级降雨历时与土壤流失量的关系

按照降雨量分级的同样方法，我们把210场降雨按历时长短分为9个量级，并计算各级降雨历时土壤流失量的三个指标值(见图2)。从图2的各指标曲线变化形态可以看出：1.土壤流失次数主要集中在1—12小时的降雨中，其次数可占整个历时量级总次

表2 降雨参数与土壤流失量的相关性回归分析结果

地点	资料 样本数	降雨量 (P)	降雨 强度 (I)	降雨 历时 (T)	相 关 系 数 (r)							
					瞬时雨率(I _{max})							
					5	10	15	20	30	45	60	
坡 面	团3	33	0.660	0.478	-0.144	0.844	0.905	0.910	0.898	0.870	0.859	0.849
	团9	32	0.636	0.406	0.108	0.765	0.844	0.891	0.880	0.862	0.861	0.855
	辛11	26	0.261	0.347	-0.101	0.699	0.850	0.876	0.854	0.848	0.845	0.768
	平均	29	0.519	0.410		0.769	0.866	0.892	0.877	0.860	0.855	0.824
沟 道 小 流 域	团山沟	42	0.663	0.600	-0.026	0.769	0.870	0.896	0.900	0.894	0.892	0.878
	黑矾沟	21	0.581	0.253	-0.021	0.608	0.675	0.703	0.731	0.771	0.783	0.834
	小砭沟	33	0.493	0.257	-0.120	0.505	0.561	0.589	0.608	0.620	0.601	0.528
	团圆沟	26	0.601	0.495	-0.146							
	平均	30	0.584	0.401		0.627	0.702	0.729	0.746	0.762	0.759	0.750

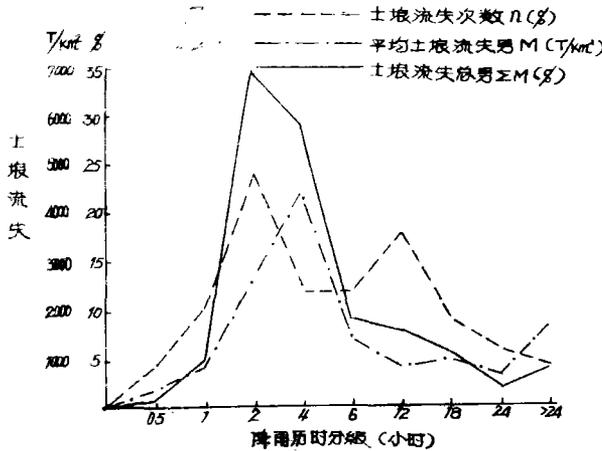


图2 黄土地区降雨历时分级与土壤流失量的关系变化曲线

数的66.2%，其中1—2小时降雨产生的土壤流失次数最多，可占总次数的28.4%；2.平均土壤流失量与降雨历时的长短在4小时以前，基本呈正相关，在4小时以后，基本呈负相关，比较严重的土壤流失现象一般都是由1—6小时的高强度降雨所引起；3.土壤流失总量与降雨历时的关系变化在2小时以前，呈正相关，在2小时以后呈负相关，1—4小时降雨产生的土壤流失量最多，可占整个历时总土壤流失量的64.4%，其中1—2小时降雨的土壤流失量就可占总量的35.1%；4.从图2中三条曲线的总变化形态来看，无论是土壤流失次数还是平均土壤流失量，或总土壤流失量，都以1—4小时的降雨为最多。所以我们认为，黄土地区的土壤流失主要是由1—4小时的暴雨所引起。

(二) 降雨历时与土壤流失量相关性的回归统计分析

从表2的结果看，降雨历时与土壤流失量的相关性特差。从我们点绘的大多数降雨历时与土壤流失量的关系点子来看，降雨历时与土壤流失量的关系为一不规则的二次曲线。所以，用一元回归的方法是无法表示它们之间的函数关系的。

三、降雨强度与土壤流失量的关系

(一) 不同量级降雨强度与土壤流失量的关系

按照210场降雨的强度特征把降雨强度分为7个量级，并计算各级降雨强度的土壤流失量三个指标值（见图3）。从图3的土壤流失各指标曲线变化形态可以看出：1.土壤流失次数基本与降雨强度呈负相关，即降雨强度愈大，发生频率愈低，土壤流失次数愈少。降雨强度 ≤ 15 毫米/小时的降雨，土壤流失次数最多，可占到总数的87.6%；2.平均土壤流失量与降雨强度大小变化基本呈正相关，严重的土壤流失现象主要由20毫米/小时的降雨所引起；3.土壤流失总量主要是由20毫米/小时以下的降雨所引起，可占总土壤流失量的73.6%，重点是10—20毫米/小时的降雨，它所产生的土壤流失量可占到总流失量的40.0%。

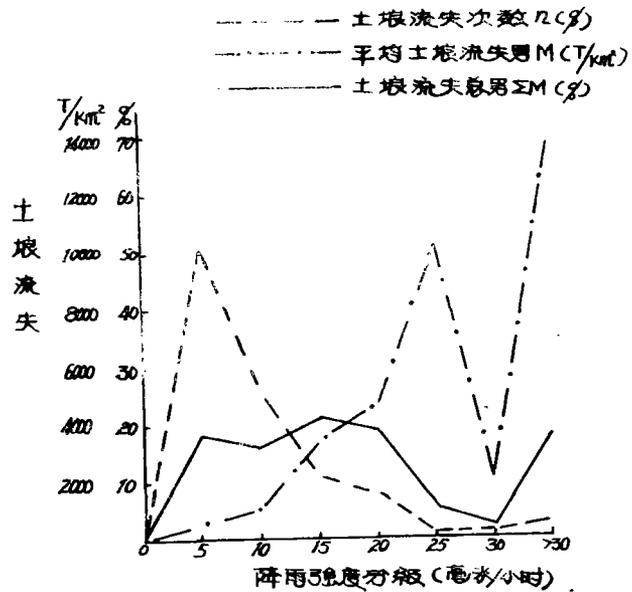


图3 黄土地区降雨强度分级与土壤流失量的关系变化曲线

(二) 降雨强度与土壤流失量相关性的回归统计分析

从表2的回归计算结果来看，降雨强度与土壤流失量的相关性很不好。根据7个站的平均结果看，相关系数r值平均为0.405，最大为0.600，最小为0.253。若同其它降雨参数与土壤流失量的相关系数相比较，降雨强度的相关性明显低于瞬时雨率和降雨量。

为什么黄土地区降雨强度与土壤流失量的相关性明显的低于降雨量与土壤流失量的相关性呢？其主要原因是降雨过程的雨型变化。黄土地区有一部分暴雨，瞬时降雨强度很大，产生的土壤流失量也很大。但是它的平均降雨强度很小，因为这类暴雨在高强度的降雨之后，往往会有一段长历时的低强度降水。这段时间的降雨量很小，但历时却很长，这样在计算降雨强度时，降低了降雨强度，出现了降雨强度小而土壤流失量大的反相关现象，影响了降雨强度与土壤流失量之间的相关程度。

四、瞬时雨率与土壤流失量的关系

从表2的回归计算结果中可以明显看出，瞬时雨率与土壤流失量的相关性较好。关于瞬时雨率与土壤流失量的相关性特征有以下几点：

1.瞬时雨率（表2是按60分钟以内不同时段最大降雨量表示）与土壤流失量的关系为一比较规则的线性关系（见图4），其基本方程式为：

$$M = a + bp_t \dots \dots \dots (2)$$

式中：M——土壤流失量（吨/平方公里）；

p_t ——t时段的最大降雨量（毫米）；

t——最大降雨时段（分钟）。本文分作5、10、15、20、30、45、60分钟7个

时段进行计算。

a——系数，与历时t呈正相关。

b——系数，与历时t呈负相关。

2. 回归计算结果表明，在坡面上，10—30分钟最大降雨量与土壤流失量的相关性很密切，其r值为0.874。与土壤流失量关系最为密切的瞬时雨率指标是15分钟最大降雨量，其r值为0.892（其中团山沟3号场达0.910）。5分钟最大降雨量与土壤流失量的相关程度最差， $r = 0.769$ 。在沟道小流域，20—45分钟最大降雨量与土壤流失量的相关性较密切，其r值为0.755；与土壤流失量关系最为密切的瞬时雨率指标是30分钟最大降雨量，其r值为0.762（其中团山沟达0.900）。

3. 受暴雨空间分布不均匀性的影响，瞬时雨率与土壤流失量的相关程度受下垫面面积影响很大，面积愈大，雨量分布愈不均匀，相关性亦愈差。

表3 团山沟3号径流场不同时段最大降雨量的回归计算结果

时段 (分)	回归方程式	相关系数 (r)	时段 (分)	回归方程式	相关系数 (r)
5	$M = 1374 \times P_5 - 4304$	0.844	30	$M = 442 \times P_{30} - 2988$	0.870
10	$M = 890 \times P_{10} - 4322$	0.905	45	$M = 395 \times P_{45} - 2855$	0.859
15	$M = 660 \times P_{15} - 3895$	0.910	60	$M = 372 \times P_{60} - 2784$	0.849
20	$M = 510 \times P_{20} - 3453$	0.898			

注：样本数n = 33 径流场面积900平方米

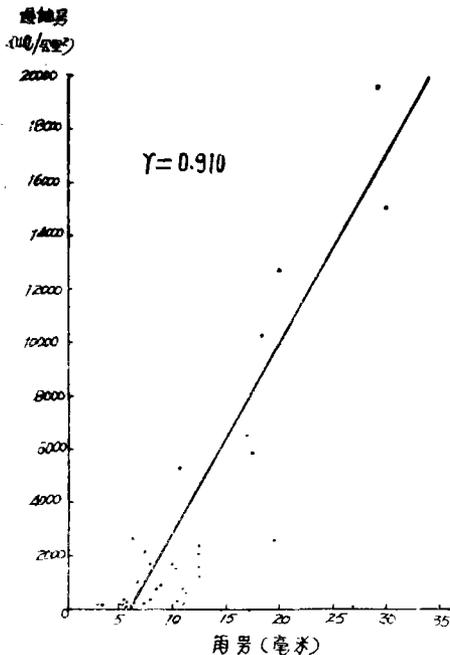


图4 团山沟3号径流场15分钟最大降雨量与土壤流失量的相关图

五、降雨次数与土壤流失量的关系

(一) 可蚀性降雨次数与年降雨次数、汛期降雨次数的关系

可蚀性降雨次数是指能够引起土壤流失的降雨次数。表4的结果说明，黄土地区每年引起土壤流失的降雨次数平均为7次，在小流域平均为8次，在坡面上平均为6次；它们分别占年总降雨次数的8.1%、9.5%、6.7%，占汛期降雨次数的15.8%、18.5%、13%。上述结果是按能够引起1吨/平方公里的降雨次数统计的。若取掉小于100吨/平方公里的弱度侵蚀的降雨次数，那么黄土地区每年能够引起土壤流失的降雨次数平均为5次左右，仅占年降雨次数的6%。

表4 可蚀性降雨次数与年降雨次数、汛期降雨次数的关系

地 点	资料年数	降 雨 次 数			降雨次数比值(%)	
		年	汛 期	可 蚀 性	可/年	可/汛
董 庄 沟	10	82	43	7	8.5	16.3
吕 二 沟	10	87	43	8	9.2	18.6
团 圆 沟	7	72	44	8	11.1	18.2
韭 园 沟	10	73	41	7	8.4	17.1
小 砭 沟	7	96	45	10	10.4	22.2
辛店沟11号场	7	75	42	6	8.0	14.3
梁家坪7—9场	13	95	43	5	5.3	11.6
沟道平均	9	82	43	8	9.5	18.5
坡面平均	10	85	43	6	6.7	13.0

(二) 降雨次数与土壤流失强度的关系

我们对210次可蚀性降雨次数与土壤流失强度的关系进行了统计, 结果是弱度土壤流失(侵蚀模数为1—100吨/平方公里)的是56.5%, 占总次数的26.7%; 强度土壤流失(侵蚀模数为1,001—5,000吨/平方公里)的是96次, 占总次数的45.7%; 轻度至中度土壤流失(侵蚀模数为101—1,000吨/平方公里)的是39次, 占总数的18.6%; 高强度土壤流失(侵蚀模数>5,000吨/平方公里)的是19次, 占总次数的9.0%。

(三) 降雨次数与土壤流失量相关性的回归统计分析

降雨次数与土壤流失量相关性的回归统计分析采用两种方法: 一是用每年的年总降雨次数、汛期降雨次数、引起土壤流失的降雨次数三种因子分别对年土壤流失量作回归计算。结果表明, 这三个因子的相关性都不好, 年降雨次数与年土壤流失量基本不存在相关关系, 汛期降雨次数与年土壤流失量的相关性也很差(当 $n=10$ 时, r 为0.5左右)。每年引起土壤流失的降雨次数与年土壤流失量的相关性也不好(当 $n=10$ 时, r 为0.65左右)。只有在用每年引起中度侵蚀(侵蚀模数>500吨/平方公里)的降雨次数与年土壤流失量作回归分析时, 相关性比较好, 其相关系数 r 值一般在0.8以上。二是把每次降雨所产生的土壤流失量按大小顺序排列, 进行降雨次数累积变化与土壤流失量累积变化的回归分析, 结果这二者的关系为一规则的双曲线, 相关性很密切。

结 语

1. 黄土地区每年引起土壤流失的降雨次数平均为6次, 占年总降雨次数的7%, 占汛期降雨次数的14%。每年引起土壤流失的降雨量平均为140毫米, 占年总降雨量的26.4%, 占汛期雨量的38.6%;

2. 造成黄土地区土壤流失的主要是短历时(1—4小时)、中雨量(20—50毫米)、高强度(平均雨强为5—20毫米/小时, 5分钟最大降雨量超过7毫米)的暴雨;

(下转封三)

有人管起来,其意义更是非常深远的。

八、如何加强技术指导问题

目前,广大承包户迫切要求给予技术指导,在现有技术力量不能满足要求的情况下,可采取以下措施:

1、**建立服务中心**。要搞好小流域的综合治理,取得最佳的治理效果,就需各部门多学科协调一致,联合作战,改变过去各部门之间各行其是,互不配合,甚至相互扯皮的现象。目前正值机构改革之际,如何使机构适应以户承包治理小流域的需要,也是值得研究的一个问题。我们认为,很有必要把农、林、牧、水土保持、水利等有关部门的专业技术人员,统一组成一个整体,建立服务中心,对以户承包治理小流域进行技术指导。这不仅是解决技术力量不足问题,实质上也是精减上层,使技术人员面向群众,为农业生产直接服务的一种最好形式。

2、**要下决心,费大力气培训农民技术人员**。可以采取层层培训的办法,比如县上培训公社一级的,公社再培训大队一级的,以滚雪球的办法越培训越多,争取使所有重点承包户都受到一次培训,达到明确治理方针,学会具体规划治理方法的目的。这就要求教材简明易懂,一看就会。

3、**各级领导都要培养一两个样板点,做到以点带面,推动全盘。**

~~~~~

(上接第13页)

3 黄土地区各种降雨参数与土壤流失量相关性的密切程度以瞬时雨率最为密切,其次是降雨量,再就是降雨强度,最差的是降雨历时;

4.黄土地区10—30分钟最大降雨量是侵蚀力的一个非常重要的潜在参数,其中15分钟最大降雨量与土壤流失量的关系尤为密切,其相关系数在0.90左右。

## STUDY ON THE RELATIONS BETWEEN RAINFALL CHARACTERISTICS AND LOSS OF SOIL IN LOESS REGION

*Wang Wanzhong*

Northwestern Institute of Soil and  
Water Conservation, Academia Sinica

### Abstract

In this paper, a relation on 5 rainfall parameters with loss of soil in loess region has been studied. The results showed that the rate of the maximum rainfall within 10 to 30 minutes is a rainfall parameter more closely related with loss of soil. Among them the maximum rainfall of 15 minutes is the most related with loss of soil, and its correlative coefficient comes to 0.9.