

固原试验区径流观测及 综合治理减沙效益的研究

巨 仁 赵满礼 郭扶国

(中国科学院
水利部 西北水土保持研究所, 陕西杨陵)

摘 要

固原试区于“六五”期间建立一批径流小区,“七五”期间又建立一处综合治理与不治理的对比观测区。现获得起流降雨记录34次,径流泥沙数据3120个,对比观测区记录8次。本文发表的这批实测数据为黄土高原宁南丘陵区填补了空白;初步对数据的整理,得出坡度、坡长、不同植被、不同雨强与水土流失量的关系;又作了统计分析,得出土壤流失量与起流雨量及30min内最大雨强的两个单因子幂函数式,及分别适用于高强度起流雨和低强度起流雨的两个多元幂函数型多项式逐步回归式,经实测检验,精度在 $\pm 10\%$ 左右,据此估算目前全试区 15km^2 的综合治理减沙效益达60.0%以上。

关键词:坡面水土流失 起流降雨 水土保持减沙效益

前 言

固原试区于“六五”期间建立一批径流小区。在“七五”期间除对小区作了补充和完善外,还建立一处综合治理与不治理的对比观测区。建立这些设施当然是为了进行水土流失规律研究的需要,而更为直接的目的是为了对该试区综合治理的减沙效益作出定量的评价。建立这些设施以来,绝大部分小区已有5年的观测记录,少部分有4年的记录,对比观测区有2年的记录。

固原试区径流观测设施的特点,是针对观测坡面流失(包括片蚀、细沟侵蚀、浅沟侵蚀与切沟侵蚀)的。因为坡面是发生水土流失的源头,凡对坡面减沙有效的治理,则会对保持水土的全局起到重要作用,甚至是决定性作用。至于沟中(指冲沟、河沟、小河)的侵蚀,拟另作研究,本文未涉及。

固原试区设在宁南山区固原县东部黄土丘陵区,属泾河二级支流黄家河流域。经度 $106^{\circ}26' \sim 106^{\circ}30'$,纬度 $35^{\circ}59' \sim 36^{\circ}03'$ 。海拔1561~1795m。总面积 15.173km^2 (合22759.5亩)。地处我国暖温带与温带交错地带,植被与土壤均具有过渡特征。地带性土壤是从普通黑垆土向淡黑垆土过渡的类型。径流观测设施均设置在侵蚀土壤细黄土(相当于陕北的黄绵土)的坡面上。

水土流失是一复杂的自然过程,探索其规律需要长时期的坚持研究,综合治理的减沙效益亦非轻而易举可获得满意的答案,特别在以生物为主结合工程的治理情况下。能否有效地减沙?减沙的程度如何?时有不同的看法和困扰。本文以实际观测数据及其析分的结果供有关专家们参考。

1 径流观测设施的设计、设置及观测方法

1.1 径流小区及微区。径流小区和微区观测设施的设计、设置及方法,是参考美国和联合国粮农组织的有关资料,参考国内全允果、蒋德麒编的《水土保持综合措施效益的试验研究》方法,调查了黄河水利委员会天水站和西峰站的实际设施及有关经验,并在此基础上,结合当地的具体情况作了径流小区、微区的设计、设置和制定了观测方法。小区及微区具体的设计、设置及观测方法业已初报^[1]中阐述,不再赘述。

1.2 对比观测区。综合治理与不治理对比观测区在初报中简略,本文补详。该区设立在黄家河左侧的李包岔小流域上游,距冲沟土跌水100m以上部分。该小流域上游岔分为两个切沟,此两切沟各自具有坡面集流的水系网,总面积为0.1165 km²。选定南岔水系网为综合治理区,面积0.0691 km²(合104亩);北岔水系网为综合治理区,面积0.0474 km²(合71亩)。

设此观测区是为了取得综合治理与不治理之间水土流失量差别的实测值。这是试区所要求的,同时该数据又可与径流小区数据作比较分析,以期获得更加切合实际的关于土壤侵蚀和径流的规律性结果来。观测区进行了专门设计,设计分两部分:

1.2.1 综合治理区的规划设计,是按黄土丘陵区土地合理利用配置的镶嵌原则。坡上部为草(轮作草),中部为水平梯田,下部为乔灌林,陡坎处为灌木林。共计草地52亩,梯田42亩,林地10亩。不治理区(对比区)纯系坡地农田,田块之间夹有荒草坎埂,这是当地最普遍的情况。

1.2.2 观测坝的设计,是根据当地的水文、气象及上黄试验径流小区资料作出的。在李包岔小流域上游分岔处各建一“把口”坝,二坝相接,呈“一”字形。治理区坝高6.5m,库容1814.5m³;对比区(不治理区)坝高5.5m,库容1564.4m³。两坝库壁用水泥板砌面,并设水尺,可直接读取数据。测定土壤侵蚀量的取样、处理、计算方法与径流小区相同。两坝每年清淤一次,以恢复原设计库容,备下年观测。

2 观测结果分析

自1984年建立小区和微区以来,取得起流降雨记录34次,起流降雨状况数据204个,径流泥沙数据3120个。获得的一些最大值记录有:最大降雨量46.2mm/次,最大平均雨强0.9mm/min,30min内最大雨强1.44mm/min,30min内最大降雨量20.7mm,最大年土壤流失量10081t/km²,最大年径流量72700m³/km²。平均最大土壤侵蚀深3.2mm/a,平均最大径流深32.8mm/a。

2.1 流失量与诸因素观测值的直观性分析

2.1.1 坡度、坡长与流失量的关系。坡度和坡长是影响水土流失的两个重要因素,它们与水土流失的关系见表1和表2。

表1显示,0°~25°之间随着坡度增加土壤流失量增大,25°时达到最大值,30°时减小到接近10°时的水平,35°~40°之间略有增加,45°时又有减小。水的流失以25°时为最大值,5°次之,10°~20°之间变化不大,30°~45°之间较10°~20°之间要小。为什么会有坡度增加到一定程度,流失量反而减小的现象呢?原因很复杂。其中一个原因是,

随着坡度增加斜面面积亦增加,如 60° 坡斜面面积较 0° 时增加一倍,同样雨强下面积增加一倍,雨点打击密度相对减少50%。因此,流失量的减小是可以理解的。

表2显示,土壤流失从坡长10m到40m之间是递增的,40m时达最大值,50m时反而减小了。水的流失在坡长30m以内变化不大,30m时为最大值,40~50m之间反而减小。坡长增加,中途会有渗入和停淤发生,故流失量减小,也是可能的。

以上结果与“固原试区综合治理减沙效益观测初报”一文中的结果基本一致。

表1 不同坡度的年平均流失量

坡度($^\circ$)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
泥沙量(t/km^2)	113.6	559.9	1 146.9	1 137.6	1 274.9	3 846.4	1 129.5	1 874.4	2 472.5	1 211.9
径流量(m^3/km^2)	8 701	32 148	26 147	22 939	27 873	32 847	17 653	18 358	21 527	15 360

表2 不同坡长的年平均流失量

坡长(m)	10	20	30	40	50
泥沙量(t/km^2)	2 512.3	3 612.0	3 659.8	4 233.0	3 004.7
径流量(m^3/km^2)	23 628	20 101	26 207	13 254	12 503

2.1.2 不同土地利用方式与流失量的关系。不同的土地利用方式具有不同的保持水土的能力;同一利用方式、不同坡度条件下水土流失量亦不相同。这方面的观测数据整理为表3和表4。

表3 不同植被的年平均流失量(坡度 $19^\circ\sim 22^\circ$)

植被类型	刺槐	山桃	天然草(封禁)	人工草	农作物(对照)
泥沙量(t/km^2)	56.6	74.1	62.0	692.2	1 953.2
比农地减少(%)	97.1	96.2	96.8	64.6	0
径流量(m^3/km^2)	8 599	7 949	12 826	151 28	17 365
比农地减少(%)	50.5	54.2	26.1	12.9	0
备 注				受瞎犴破坏	

从表3看出,刺槐、山桃及封禁的天然草、人工草比农作物有显著的减沙效益,前三者的减沙效益均达95%以上。又从表2资料作更加全面的考察,可以认为草灌乔在不同坡度条件下均可减沙达90%以上。表3中人工草比天然草减沙较少的原因可能是人工草在种草时经耕翻及瞎犴破坏使表层土壤疏松所致。而天然草地表层本来很致密,形成结皮,又经封禁后覆盖度增大,从而减沙效益达到96.8%。在这里还启示我们,地表土层的紧密度(或相反的疏松度)也是影响流失的重要因子,值得进一步研究。水的流失与农地相比虽有减少,但没有象泥沙减少那样显著,减少的范围在12.9%~54.2%之间。

表4 农地不同坡度的年平均流失量

坡 度 (°)	5	15	19
泥沙量(t/km ²)	207.9	267.3	1 953.2
比对照减少(%)	89.4	86.3	0
径流量(m ³ /km ²)	5 294	6 359	17 365
比对照减少(%)	69.9	63.4	0

表4显示, 15°以下农耕地的土壤流失量相差不大, 15°以上的流失量则大增。这一点正可作为我们在当地提出15°以上坡耕地退耕种草或者修成水平梯田后, 才可作为永久农地的依据。水的流失量方面, 15°以下的比对照的也有明显减少。

2.1.3 降雨强度与流失量的关系。在我们的观测中, 雨强与流失量的关系十分密切。现以第1号小区(即标准小区)整理的数据为例, 列于表5。

表5 降雨强度与流失量的关系(坡度10°)

项目 日期	降雨量 (mm)	平均雨强 (mm/min)	30min内 最大雨强 (mm/min)	30min内最大 降雨历时 (min)	泥 沙 量 (t/km ²)	径流量 (m ³ /km ²)
7月19日	9.7	0.08	0.26	30	0.72	18
7月15日	13.9	0.19	0.30	30	19.54	329
8月31日	45.4	0.14	0.69	30	268.8	9 211
8月5日	25.3	0.52	0.81	24	1 606.8	21 825
7月21日	18.0	0.90	0.90	20	3 823.2	12 536

1988年观测资料

表5显示, 流失量与雨强, 特别是30min内最大雨强有着极密切的关系。7月21日的一次降雨属典型的暴雨型, 20min内降雨18mm, 所以平均雨强等于30min内最大雨强, 达0.9mm/min, 土壤流失量居表中数值之冠。而8月31日的降雨量是7月21日的2.5倍, 但30min内最大雨强较小, 平均雨强更小, 土壤流失量前者仅及后者的1/14。8月5日与8月31日降雨情况的比较结果, 也有类似趋势。从7月15日和19日的两次降雨量和平均雨强来看, 本属不起流降雨, 只因30min内最大雨强分别达到了0.3和0.26, 才有流失发生。

2.2 统计分析。探索一地区的水土流失规律, 就需要对观测值进行统计分析。现在就所获得小区的34次起流雨、3 120个径流泥沙数据及对比观测区的4次起流雨、8次径流泥沙记录进行初步的统计分析, 分析工作分单因子和复因子两个方面。

2.2.1 单因子方面。单因子方面作了土壤流失量 E 与坡度 S 、坡长 L 、起流降雨 R 、平均雨强 I 、30min内(含历时小于30min的实际雨强)最大雨强 I_{30} 、30min内最大降雨历时 T_{30} 等6个因子的相关分析。采用的是幂函数模型, 所得的较满意的结果有 E 与 I_{30} 、 E 与 R 二个关系式。其余的不是失之于相关不显著, 就是F-检验通不过, 还有待继续积累观测资料, 作进一步研究。初步获得两个幂函数式, 简述于下。

(1) 土壤流失量 E 与30min内最大雨强 I_{30} 的关系式。样本数 $N=20$, 是在同一坡度和

坡长下的20次起流降雨的小区记录数据。

$$E = 909.926I_{30}^{3.66} \quad (1)$$

$r = 0.837 > r_{18}^{0.01} = 0.561$, 显著;

$F = 41.96 > F_{1,18}^{0.01} = 8.29$, 极显著。

这个结果与直观性分析的结果一致。

(2) 土壤流失量 E 与起流雨量 R 的关系式。样本数 $N = 20$, 亦为同一坡度和坡长下的20次起流降雨的小区记录数据。

$$E = 0.74R^{1.81} \quad (2)$$

$r = 0.576 > r_{18}^{0.01} = 0.561$, 显著;

$F = 8.95 > F_{1,18}^{0.01} = 8.29$, 显著。

这一结果也与直观相符合。该关系式曲线的斜率较前一曲线的小一些, 这点也和前边的分析是一致的。

2.2.2 复因子方面。复因子统计分析是我们的初步尝试。此处首先需要说明两点: 第一, 在观测数据和直观性分析中, 我们未发现各类多年生植被, 草灌乔的减沙效益随地形因素(坡度、坡长)的变化而有明显的变化。因此, 我们姑且将多年生植被因素的减沙效益(90%以上)作常数对待, 即不引入复因子方程的变量结构中去; 第二, 观测数据还表明, 流失量随着起流雨状况的强弱有显著的不同。据此, 我们将起流雨划分为两个类型: 高强型与低强型。划分指标如下:

	起流降雨量 R	30min内最大雨强 I_{30}	30min内最大降雨历时 T_{30}
高强型	$> 16\text{mm}$	$> 0.7\text{mm/min}$	$> 15\text{min}$
低强型	$10 \sim 16\text{mm}$	$0.5 \sim 0.7\text{mm/min}$	$10 \sim 15\text{min}$

复因子分析中采用了两种数学模型, 即多元幂函数模型和多项式逐步回归模型。但在建立这两种模型中, 在多元幂函数模型方面没有获得满意结果, 而在多项式逐步回归模型方面获得了较为满意的结果(复相关系数和 F 检验在 0.01 水平显著)。这一模型是土壤流失量与起流降雨量、平均雨强、30min 内最大雨强、30min 内最大降雨历时、坡度、坡长 6 个因子的关系式, 又按起流降雨的强弱分为两种。

第一, 适用于高强型起流雨的:

$$\left. \begin{aligned} Eh = & -534.52 + 34.94R - 3292.19I - 2021.7I_{30} \\ & - 9.39T_{30} + 30.09L - 3.04R^2 - 3353.89I^2 \\ & - 3475.43I_{30}^2 - 0.29S^2 - 0.6L^2 - 279.51RI \\ & + 257.55RI_{30} + 0.62RT_{30} + 17312.88II_{30} \\ & + 11.78IS + 27.22I_{30}S + 0.12T_{30}S + 16.44I_{30}L \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中: R ——一次降雨量 (mm);

I ——平均雨强 (mm/min);

I_{30} ——30min内最大雨强 (mm/min);

T_{30} ——30min内最大降雨历时 (min);

S ——坡度 ($^{\circ}$);

L ——坡长 (m)。

第二, 适用于低强型起流雨的:

$$\left. \begin{aligned} E_1 = & -41.06 + 34.94R - 3292.19I - 2021.7I_{30} \\ & - 9.39T_{30} + 30.09L - 3.04R^2 - 3353.89I^2 \\ & - 3475.48I_{30}^2 - 0.29S^2 - 0.6L^2 - 279.51RI \\ & + 257.55RI_{30} + 0.62RT_{30} + 17312.88II_{30} \\ & + 11.78IS + 27.22I_{30}S + 0.12T_{30}S + 16.44I_{30}L \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中符号含义同式 (3)。另外, (3) 式与 (4) 式的不同点只是各具不同的常数项值, 高强型起流降雨的常数项为 -534.52 ; 低强型的为 -41.06 。其余各项皆相同。

就式 (3) 与式 (4) 进行的模拟计算表明: 对于地形因子 (坡度、坡长) 来说, 土壤流失量随着坡度与坡长的增加而增加, 但两者的变化速率不同。第一, 在高强型起流雨条件下, 坡度在 50° 以内时土壤流失量稳定递增, 以后递增速率减缓, 65° 时达最大值, 再以后递减。坡长 40m 以内时土壤流失量稳定递增, 40m 时达最大值, 以后递减。故可初步确定 (3) 式对地形因子的适用范围为: 坡度在 70° 以内, 坡长在 90m 以内。第二, 在低强型起流雨条件下, 坡度在 40° 时达最大值, 以后递减。坡长在 30m 时达最大值, 以后递减。故 (4) 式对地形因子的适用范围为: 坡度在 50° 以内, 坡长在 80m 以内。

应用式 (3) 式 (4) 二式结合水土保持措施减沙系数, 计算目前全试区 15km^2 的综合治理减沙效益达 61.0% 。

最后, 我们用综合治理与不治理的对比观测区的实测值, 对式 (3) 式 (4) 两式作了检验。由于对比观测区建立较晚, 所获资料有限, 这次检验只能是初步的检验。其结果列于表 6。

表6 式 (3) 式 (4) 计算检验表

不 治 理 区				治 理 区			
时 间	实 测 值 (t/km^2)	计 算 值 (t/km^2)	误 差 (%)	实 测 值 (t/km^2)	计 算 值 (t/km^2)	误 差 (%)	备 注
7月21日		3024.7			953.7		• 实测值中包括了谷坊拦蓄的泥沙 48.4m^3
8月5日		1430.9			491.8		
8月31日		616.7			261.0		
1988年总计	4554.1	5072.3	-11.4	1768.4*	1706.5	3.5	
1989年 7月16日	169.0	166.1	1.7	—	—	—	治理区坝中未发现有流失泥沙

从实测值看, 治理比不治理的减沙效益为 62.6% 。从计算值看, 治理比不治理的减沙效益为 67.4% 。

对于这次统计分析中所获得各公式, 特别是对多项式逐步回归模型的完善化、精确化和更多的实际检验, 均有待进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 巨仁等:“固原试区综合治理减沙效益初报”,《中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊》,1989年第10集,第144~148页

**A Research on Observing Runoff and Decreasing Silt in
Comprehensive Controlling, Experimental and Exemplary Area,
Guyuan County**

Ju Ren Zhao Manli Guo Fuguo

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation,
Under Academia Sinica and the Ministry of Water Conservancy)

Abstract

Since the runoff plots were established on Shanghuang Experimental and Exemplary Area, Guyuan County in 1984, there were 34 records of runoff-rain and 3 120 figures of runoff being obtained now. And a observing area of comprehensive controlling and no controlling on decreasing silt was also established in 1988, where there were 8 records being obtained too. Based on these data the relations among soil erosion and slope, length of slope, plant covers and rainfall intensities may be seen. By statistical analysis there are four empirical formulates, two of single correlation and two of multiple ones, being found. And the accuracies of the multiple are $\pm 10\%$.

Key words: Soil and water loss on the slope, Rainfall of started runoff, Benefit of decreasing silt for conservation