

# 影响水土流失主要因子间相互关系研究\*

赵鸿雁 吴钦孝 韩 冰 吴瑞雯

(中国科学院 西北水土保持研究所 陕西杨陵 712100)  
(水 利 部)

李 靖

(黄河上中游管理局 西安 710043)

**摘 要** 利用物质和能量之间的分析式研究了影响水土流失主要因子之间的相互关系,结果表明:降水量和系统容量之间是一种线性关系;降水总量和坡长、坡面宽度仍是一种线性关系且降水增量与坡长坡面宽度的增量是同步的,降水总量和坡度的关系是一种余弦关系;降水量和能量之间的关系是线性关系;水土流失系统容量和径流势能之间是一种线性关系。

**关键词** 水土流失 因子 关系 降水量 坡长 坡度 径流势能 物质能量 容量

## Study on the Relation among Factors Affecting of Soil and Water Loss

Zhao Hongyan Wu Qinxiao Han Bing Wu Ruiwen

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy  
Sciences and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract** The relation among the factors affecting of soil and water loss have been studied using mathematical function of substance and energy. The results shows: the relation between precipitation and systemical capacity is linear and also linear relation between the whole amount of precipitation and slope width, the increase of rainfall is as synchronism as the increase of slope length and slope width, there is COS-function, existed between precipitation and slope grade. Linear is the relation between precipitation and energy, and also the relation between systemical capacity of soil and water loss and runoff potential energy.

**Key words** soil and water loss factors relation precipitation slope length slope grade runoff potential energy substance and energy capacity

水土流失受一类主要因子的影响,该类因子之间相互关系的研究是构成研究水土流失机理的基础。有一类因子的相互组合对水土流失的量起增加作用;有些因子的组合则对水土流失的量起到减小作用。水土流失正是这两类因子之间综合作用的总结在数量上的体现。本文定量分析影响水土流失的主要因子之间的函数关系,期望能够在联结诸因子的分析式中,寻求偶然组合中的必然关

系,以达到揭示此类主要因子对水土流失机理影响的目的,从理论上阐明水土流失的机理,给根治水土流失提供科学依据,为根治黄土高原的水土流失指明对策和途径。

## 1 影响水土流失的能量和物质之间的分析式

文献<sup>[1]</sup>中给出了影响水土流失的主要因子和能量之间量纲和谐的关系式,此关系式是以水土流失系统物质能量平衡为基础的,它的整个核心内容是水土流失系统容量。由水土流失系统容量的大小,确定水土流失系统在给定条件下,能量物质是否过剩及其过剩的多少;在开放性水土流失系统中,过剩的物质和能量必然与外界系统交换,从而产生水土流失的必然结果。用函数式表示如下:

$$e_m + e_p = 1/2(p - V_m) \cdot b \cdot g \cdot l \cdot h + e_m \dots \dots (1)$$

$$\text{令 } e_p = E \dots \dots (2)$$

$H = l \cdot \sin \alpha \cdot e_m$  降雨总动能  $J$ ;  $e_p$  降雨的势能  $J$ ;  $P$  降水量 mm;  $V_m$  系统容量 mm;  $b$  坡面宽度 m;  $g$  重力加速度  $m/s^2$ ;  $l$  坡面长度 m;  $H$  坡长的重直投影 m;  $\alpha$  坡度; 上式三式经过合并后可以变为:

$$(p - v_m) \cdot b \cdot l \cdot g \cdot H / 2E = 1, \text{ 或者 } [It - (V_c + V_l + V_s)] \cdot b \cdot l^2 \sin \alpha / E = 2/g$$

$I$  平均降雨强度 mm/min;  $t$  降雨历时 min;  $V_c$  林冠层容量 mm;  $V_l$  枯枝落叶层容量 mm,  $V_s$  土壤层容量 mm。其中  $V_m = V_s + V_l + V_c$ 。此式中引入森林生态系统容量的各个子项,以最复杂的森林生态系统为例。

## 2 影响水土流失因子间相互关系分析

### 2.1 降雨量和系统容量的关系

降水量是决定发生水土流失的必要因子,也受其它因子的制约。系统容量的大小决定了该次降水物质能量过剩与否;系统容量仍受降水量和降水时间的影响;降水量是否能够完全被系统容纳,取决于降水历时和系统本身的性质。在此以人工油松林地径流资料为依据进行分析。

前面已经讨论过,人工油松林按其重直结均可分为林冠层、枯枝落叶层和根系层三个部分。各层次之间的关系式比较复杂(关于系统各部分容量动态表达式的研究目前未能充分的阐明,有待于以后深入研究)。因此利用上式的关系式:  $p - V_m = r$  计算系统的总容量即:  $V_m = P - r$  见表1,并对系统容量和降水量之间的关系进行了分析,拟合方程和参数见表2。由表1、2不难看出:在人工油松林

表1 不同水土流失系统的容量(mm)

降 水 量	自然油松林	去掉林地枯枝落叶	采伐上层林木	辟为荒地
32.8	32.319	30.702	32.390	31.188
55.4	54.863	53.522	54.953	53.449
23.7	23.539	23.313	23.512	22.032
40.2	40.008	40.094	40.068	39.914
25.8	25.517	25.503	25.595	25.503
33.9	33.440	32.950	33.640	32.290
26.2	25.910	25.585	25.920	24.570
27.3	26.030	26.040	25.980	25.750
24.4	24.261	24.349	24.234	23.320
29.4	27.992	23.943	28.395	21.006
48.2	46.843	41.386	47.571	37.993
34.4	33.822	31.759	33.885	33.797
32.0	31.165	25.441	31.173	28.805
38.8	38.189	34.588	38.297	28.141
20.0	19.871	19.880	19.874	18.945
15.1	14.859	14.934	14.934	13.601
54.0	53.198	52.078	53.522	52.157
28.5	28.450	28.367	28.435	28.325
34.4	33.910	28.110	33.965	29.169
42.8	42.264	39.274	42.423	35.262

表2 不同系统的系统容量和降水量的回归方程

系统类型	拟合方程 $V_m = ap + b$	相关系数	样平数	F 值	S 值
自然油松林	$V_m = 0.9855p - 0.0591$	0.9994	20	13935.508	0.389
去取枯枝落叶	$V_m = 0.9111p + 0.6938$	0.9759	20	360.056	2.237
采伐上层林木	$V_m = 0.9944p - 0.2397$	0.9996	20	20486.843	0.324
辟为农地	$V_m = 0.8894p + 0.5876$	0.9492	20	163.906	3.238

水土流失系统中,无论组成系统的性质和结构特征变化如何;也无论组成系统的层次在数量上如何增减,其系统的总容量和降水量之间的关系式是线性的,且呈极显著相关。由于系统容量和降水量的单位皆为 mm,因此,它们之间的量纲无疑是和谐的。

## 2.2 降水总量和坡长的关系

坡度一定时,随坡长的增加,单位面积上的降水总量增加,但坡长对降水的特征影响不明显。设坡面宽度为  $b$ ,降水量为  $p$ ,坡度为  $\alpha$ ;当坡长从  $l_0 \rightarrow l$  时,坡长增量为  $\Delta l = l - l_0$ 。

坡长增加以前的降水量是  $m_0 = p \cdot b \cdot l_0 \cdot \cos \alpha$ ;坡长增加后降水量为  $M = p \cdot b \cdot l \cdot \cos \alpha$ ,增加的降水量  $\Delta m = M - m_0 = p \cdot b \cdot \cos \alpha (l - l_0) = p \cdot b \cdot \Delta l \cos \alpha$ 。

由此关系式不难看出:当坡长增加  $\Delta l$  时;单位面积上降水总量的增量与坡长的增量是同步的。同理不难论证,坡面宽度增加  $\Delta b$  时,单位面积上降水总量的增量与坡面宽度的增量  $\Delta b$  也是同步的。

## 2.3 降水总量与坡度的关系

设坡长  $L$ 、坡面宽度为  $b$  一定。坡度从  $\alpha \rightarrow \alpha_0$  即坡度  $\Delta \alpha = \alpha - \alpha_0$ ;增加初期:降水量为  $M_0 = p \cdot b \cdot l \cdot \cos \alpha_0$ 。坡度  $\alpha$  增加后;降水总量  $M = p \cdot b \cdot l \cos \alpha$ ;降水总量的增量为  $M - M_0 = \Delta m = p \cdot b \cdot l (\cos \alpha - \cos \alpha_0)$ 。由此不难看出,随坡度增加,单位面积上降水总量的增量呈余弦函数增加。又因余弦函数是减函数。因此,随坡度增加降水总量减小。

## 2.4 水土流失系统容量和坡长坡度的关系

系统容量取决于系统大小的限制。随坡长、坡度的变化,系统形状大小亦受影响。以人工油松林系统为例。当系统变化时,油松林株数、枯枝落叶层蓄积、土壤层的容量均发生变化。因此,坡度、坡长的变化肯定使系统容量变化。对于它们之间定量关系的研究有待于进一步深入。

## 2.5 降雨量和能量的关系

降雨的能量有两部分:降雨的动能;降雨落到坡面上后由于坡度存在所引起的潜在的降雨势能,在此项中又分为两部分:降雨的潜在势能和径流势能。对于水土流失的影响又取决于径流势能。

关于降雨动能的研究文献<sup>[2,3,4]</sup>中已经讨论,在此再不作分析。

降水量和径流势能有直接的关系:降水量多,雨强大,则径流量大,径流势能大;反之径流势能减小。但也有降水量小,雨强大,径流势能大的情况。当然亦受系统容量的限制。由径流势能的计算式可以看出径流势能和降水量之间的关系,  $E_r = 1/2(p - V_m) \cdot g \cdot s \cdot h$ ,其它参数不变时,  $P - V_m$  的大小直接影响着径流势能的大小。将表2中人工油松林自然林地  $P$  和  $V_m$  的关系代入并化简后则有:  $E_r = 1/2 \cdot g \cdot s \cdot h (0.0145P + 0.0591)$ 。此式表明:径流势能和降水量仍然为一种线性关系。因为当水土流失系统一定时,  $g \cdot s \cdot h$  均为一定值;而  $V_m$  又不变时,则降水量越大,径流的势能越大;反之,径流势能小。

## 2.6 水土流失系统容量和能量的关系

系统容量的大小决定了径流量的多少,直接影响着径流的能量;系统容量的大小也影响着整个侵蚀过程的总的能量。如果系统能量的容量大,则用于侵蚀的能量变小,反之,用于侵蚀的能量变

大。从上式径流势能的计算式不难推出(仍以人工自然油松林为例)。

$$Er = 1/2(0.015V_m + 0.060) \cdot g \cdot s \cdot h$$

此式是水土流失系统容量和径流势能之间的函数关系,不难看出,它仍是一种线性关系。

应该明确的是:上式径流势能的计算式是一种静态计算式。因为对于一次降水来说,降水的总量和径流的总量是指此过程的最后积累量。因此它是一种静态过程。故而易见:只要能够将任一系统容量的动态过程了解清楚,则径流的过程便可以计算出,也就明确了产流的机理。解决了此问题也就掌握了水土流失的机理,对于了解水土流失有十分重要的意义。诚然,水土流失系统容量的研究便是迫切需要进行的项目。

## 2.7 系统容量和坡长、坡度之间的关系式

水土流失系统的容量取决于组成系统的性质和系统的大小。坡长、坡度的变化必然引起系统容量的变化,对于它们之间的定量研究有待于进一步深入。

# 3 结果和讨论

降水量和水土流失系统容量是一种线性关系,无论水土流失系统的性质如何变化,则此关系一直呈极显著相关。

降水总量和坡长、坡面宽度的关系仍为一线性关系,则降水总量的增量和坡长、坡面宽度的增量是同步的。

降水总量及其增量和坡度是一种余弦函数。

降水总量和水土流失的径流势能的关系是一种线性关系。

水土流失系统容量和水土流失的径流势能的关系是一种线性关系。总之,径流的势能受降水量和水土流失系统容量两者的综合制约。

水土流失系统容量的表达式有广泛而深刻的意义,它对于了解水土流失的机理及其动态过程有着不可脱离的关系。两者的深入解决为水土流失的研究开辟了一片广阔的领域。

## 参考文献

- 1 赵鸿雁等. 水土流失系统物质和能量交换规律的研讨. 水土保持学报, 1993(1)
- 2 周佩华等. 降雨能量的初步试验研究. 水土保持通报, 1981(1)
- 3 雷瑞德等. 华山松林层对降雨动能的影响. 水土保持学报, 1988(2), 31~38
- 4 余新晓等. 森林植被减弱降雨侵蚀能量的数理分析(续). 水土保持学报, 1988(3)90~96