

缓坡耕地降雨、入渗对产流的影响分析

吴发启 赵晓光 刘秉正

(西北农林科技大学 陕西杨陵 712100)

摘要: 以彬县、永寿、西峰、黄龙和淳化径流场近30年的598组小区观测资料为样本,对缓坡耕地降雨、入渗与产流的关系进行了统计分析。得出:降雨量、降雨历时与径流模数呈幂函数关系,平均降雨强度与其呈对数函数关系; P_{60} 、 I_{60} 与产流关系密切,降雨组合参数则为 PI_{15} ;下渗是导致径流量随坡度增大而增加,随坡长加长呈波浪式变化的内在原因之一,并给出了产流预报模型。

关键词: 降雨 入渗 产流 缓坡耕地 黄土高原

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2000)01-0012-06

Analysis of the Effect of Rainfall and Infiltration on Runoff in Gently Sloping Farmland

WU Fa-qi ZHAO Xiao-guang LIU Bing-zheng

(Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry Yangling Shaanxi 712100)

Abstract Dealing with the effect of rainfall and infiltration on runoff in gently sloping farmland, on the basis of 598 groups data of runoff plots nearly 30 years from Bin county, Yongshou, Huanglong, Xifeng and Chunhua station. Some results are given out. It is that the relation between precipitation, rainfall duration and runoff is power function, mean rainfall density and runoff is logarithm function. P_{60} , I_{60} and rainfall comprehensive factor PI_{15} have good relation of runoff. Runoff amount increasement along with slope and runoff amount wave motion change result in rainfall infiltration. Finally, give out an equation of runoff prediction.

Key words rainfall infiltration runoff gently farmland Loess Plateau

径流是造成坡面水蚀的主要动力之一。一般情况下,径流量愈大,发生的土壤侵蚀也就愈烈,因此,径流的形成机理、过程及特征等的研究,受到人们的普遍重视^[1~8]。

黄土高原的产流属超渗产流。径流的形成与量的大小除与瞬时降雨强度、土壤入渗速率有关外,还受地形、作物植被和土地管理等因素的作用。本文以彬县、永寿、西峰、黄龙和淳化径流场1958~1997年近40年的3~15°坡长20~60m的598组小区资料为样本^[9],在土壤、管理水平相对一致的条件下,探讨降雨、入渗等与产流的关系,以便为缓坡耕地的

治理提供科学依据,并间接地服务于退耕(15°以上的土地)还林。

1 区域概况

研究区——黄土高原南部,属暖温带半湿润气候,多年平均降水量500~700mm,有70%以上的集中在5~9月,多以暴雨形式出现,造成严重的水土流失。经统计,5mm的降雨年均出现日数36.08d,10mm的为9.97d,25mm为2.75d,50mm为0.45d。年最大侵蚀降雨量(侵蚀模数 1 t/km^2 的降雨量之和)664.6mm(淳化,1998),

* 收稿日期:2000-01-01

国家“九五”重点科技攻关计划项目,编号为96-004-05-07。

最小值 26 5 mm (彬县, 1963), 年最大产流量 49 000 0 m³/km², 最小 150 m³/km²; 次最大降雨量 123 0 mm (淳化), 最小 4 8 mm (西峰), 次最大产流量 33 000 0 m³/km², 最小 5 0 m³/km², 相差悬殊。

缓坡耕地主要分布于沟间地, 据区内 28 个县市耕地资料统计, 缓坡耕地 2 780 hm², 约占总耕地面积的 20%^[10]。土壤以黄壤土为主, 黑垆土只存留在塬心较为平坦的地方。耕地种植以夏粮为主, 秋作物及复种面积不大。如渭北地区, 小麦、油菜夏田面积占总播种面积的 67%, 秋作物复种面积为 45%。因此, 在资料分析时, 视样本来自同一总体, 以反映产流的平均状况, 使其呈正态分布。

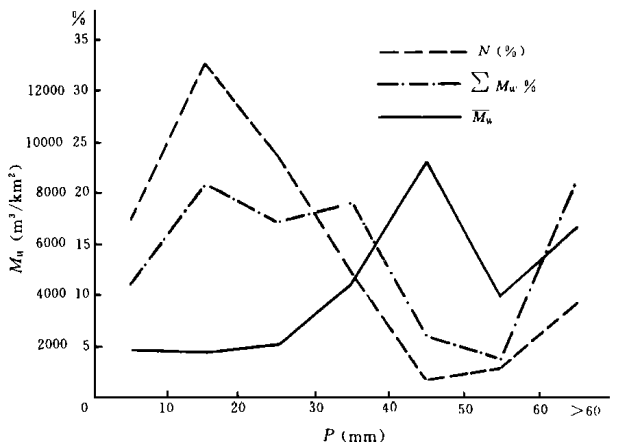


图 1 缓坡耕地降雨量分级与径流的关系变化曲线

2 侵蚀性降雨量与产流

2 1 不同量级侵蚀性降雨与产流的关系

将侵蚀降雨按雨量 < 10 mm、10~ 20 mm、20~ 30 mm、30~ 40 mm、40~ 50 mm、50~ 60 mm 和 > 60 mm 分级统计, 并计算径流出现率 $N(\%)$ 、平均径流模数 \overline{M}_w 和径流总量百分率 $\sum M_w(\%)$ ^[11], 结果见图 1。

从图 1 中可知, 就 $N(\%)$ 而言与雨量级的关系在 15 mm 以下、45 mm (分级中值, 下同) 以上呈正相关, 即, 随雨量增加, 出现侵蚀降雨次数增大。45 mm 以上出现次数最少, 15~ 45 mm 出现次数最多, 占总次数的 50% 以上; \overline{M}_w 在 45 mm 以下, 55 mm 以上与降雨量分级呈正相关, 45~ 55 mm 之间呈负相关, 表明该级降雨量愈大, \overline{M}_w 愈低; $\sum M_w(\%)$ 在 15~ 35 mm 之间占的比值最大, 占径流总量的 59.5%。因此, 15~ 45 mm 的降雨, 出现次数最多, 平均径流模数大, 占年径流总量高。应为缓坡耕地侵蚀的主要降雨。

2 2 侵蚀性降雨量与产流的关系

降雨量与侵蚀无明显的相关关系, 这似乎成了定论。但在我们的研究中, 通过对坡长 20 m, 坡度 3°、6°、8°、12°、15° 和坡度 6°、坡长 20 m、30 m、40 m、50 m 及 60 m 各径流小区降雨量与产流量的关系进行了统计分析, 证实次降雨量与对应的径流模数呈幂函数关系, 通式为:

$$M_w = ap^b \tag{1}$$

式中: M_w ——径流模数 (m³/km²); p ——降雨量 (mm); a 、 b ——待定系数。结果见表 1。

表 1 回归分析及系数 a 、 b 取值表

坡度	坡长/m	样本数	a	b	相关系数	适应区间/ mm, m ³ · km ⁻²
3°	20	25	2 419	2 008	0 737	$4.8 p^{2.008}$ 100 0 M_w 1400 0
6°	20	42	10 171	1 528	0 700	$4.9 p^{1.528}$ 10 0 M_w 1500 0
8°	20	83	36 515	1 318	0 617	$5.1 p^{1.318}$ 10 0 M_w 2100 0
12°	20	69	3 900	1 619	0 675	$5.1 p^{1.619}$ 100 0 M_w 27000 0
15°	20	25	126 463	1 103	0 642	$5.1 p^{1.103}$ 200 0 M_w 32000 0
6°	30	16	4 237	2 254	0 743	$5.1 p^{2.254}$ 200 0 M_w 10000 0
6°	40	33	1 140	1 859	0 653	$6.2 p^{1.859}$ 100 0 M_w 11000 0
6°	50	16	2 377	0 809	0 717	$5.3 p^{0.809}$ 150 0 M_w 6500 0
6°	60	33	0 989	2 371	0 747	$5.3 p^{2.371}$ 5 0 M_w 9900 0

从表 1 中可以看出, 无论坡度、坡长如何变化, 缓坡地侵蚀性降雨的雨量下限总是在 4 8~ 6 2 mm 之间摆动, 平均为 5 178 mm, 说明了人为土地管理的作用; 其次随坡度增大, 径流量增大, 而 60 m

坡长范围内径流量变化复杂。
2 3 5~ 10 月累积降雨量与产流的关系
同样按不同坡度、坡长进行统计分析, 结果见表 2。

表 2 5~ 10 月累积降雨量与径流模数的关系

坡度	坡长/m	样本数	模 型	相关系数	适应区间/ mm, m ³ · km ⁻²
4 °	20	9	$M_w = 1605.042p^{0.307}$	0.745	$300.0 \leq p \leq 1223.0$ $2000.0 \leq M_w \leq 14000.0$
6 °	20	10	$M_w = 245.611p^{0.832}$	0.733	$500.0 \leq p \leq 3000.0$ $1100.0 \leq M_w \leq 32000.0$
8 °	20	10	$M_w = 41.633p^{1.165}$	0.667	$300.0 \leq p \leq 3000.0$ $1300.0 \leq M_w \leq 34000.0$
12 °	20	13	$M_w = 325.067p^{0.8}$	0.665	$200.0 \leq p \leq 3100.0$ $1500.0 \leq M_w \leq 49000.0$
6 °	40	9	$M_w = 455.046p^{0.68}$	0.747	$300.0 \leq p \leq 3000.0$ $2300.0 \leq M_w \leq 21000.0$
6 °	60	9	$M_w = 74803.111p^{-0.59}$	0.744	$600.0 \leq p \leq 1300.0$ $1900.0 \leq M_w \leq 13000.0$

由表 2 可知, 不同坡度、坡长条件下, 降雨量与径流模数也呈幂函数关系符合通式(1)。
从上述分析可以看出, 在缓坡耕地范围内, 降雨量与产流量之间均呈幂函数关系。幂函数图像反映两种情况: 侵蚀降雨量小时径流增加稍慢, 随雨量增大, 径流量急剧增加; 侵蚀降雨量小时, 径流增加快, 而随雨量增大, 径流量增加缓慢。

3 降雨历时与产流

3.1 不同量级降雨历时与产流的关系

同降雨量分级方法一样, 将侵蚀降雨按历时 0.5 h、0.5~ 1 h、1~ 2 h、2~ 4 h、4~ 6 h、6~ 12 h、12~ 18 h、18~ 24 h 和 > 24 h 分为 9 级, 并计算三个指标值(径流出现率、平均径流模数和径流总量百分率), 结果见图 2。

从图 2 中可知, 产流主要出现在 1.5 h (分级中值, 下同) 以下和 5~ 7 h 以及 21 h 以上的时段内, 它分别占总次数的 34.11%、21.22% 和 5.12%; \overline{M}_w 在 0.75~ 1.5 h、3~ 21 h 时段, 与降雨历时成正相关, 且 \overline{M}_w 最大值出现在 21 h 左右; 径流总量以 0.75~ 9 h 时段占的比例最大, 为 58.23%。因此, 就径流而言, 0.75~ 9 h 的降雨是缓坡耕地的主要产流降雨。

3.2 降雨历时与产流的关系

经对 3°、6°、8°、10°、12° 和 15° 坡长为 20 m 小区, 6°、20 m、30 m、40 m、50 m 和 60 m 小区径流模数与降雨历时相关分析后, 得知它们也呈幂函数关系,

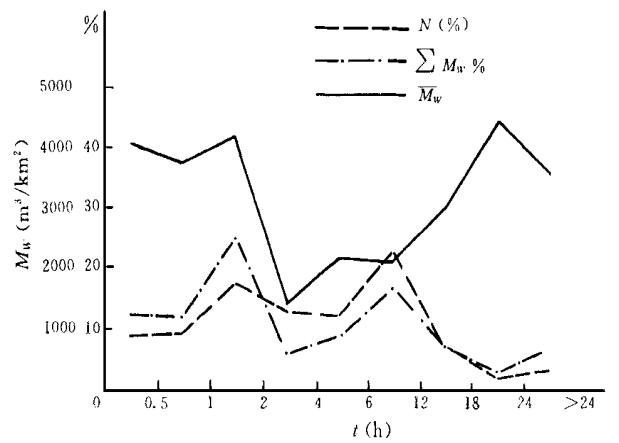


图 2 缓坡耕地降雨历时分级与径流的关系变化曲线
通式为:

$$M_w = at^b \tag{2}$$

式中: M_w ——径流模数 (m^3/km^2); t ——降雨历时 (h); a 、 b ——待定系数。见表 3。该式经检验, 虽具有相关性, 但相关指数值不高, 这除说明随降雨历时的延长, 土壤入渗能力增强, 径流量减少外, 降雨过程的变化, 影响产流的变化。

4 降雨强度与产流

4.1 不同量级降雨强度与产流的关系

将侵蚀降雨总样本按平均降雨强度 5 mm/h、5~ 10 mm/h、10~ 15 mm/h、15~ 20 mm/h、20~ 30 mm/h 和 > 30 mm/h 分级统计, 并计算三指标值, 结果见图 3。

从图 3 中可知, 产流在 7.5 mm/h (分级中值,

下同) 以下出现的次数最多, 占总次数的 53.8%, 其次是 7.5~12.5 mm/h 和大于 17.5 mm/h 的量级; 平均径流模数在 7.5 mm/h 以下和 25 mm/h 以上均与降雨强度成正相关, 而径流总量主要是由小于

7.5 mm/h 和大于 17.5 mm/h 的降雨产流所组成, 表明该区以低强度和高强度降水对产流影响极大, 它们可占总量的 71.12%。

表 3 回归分析及系数 a 、 b 取值表

坡度	坡长/m	样本数	a	b	相关指数	适应区间/ $\text{mm} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$
3°	20	46	1307.612	-0.524	0.578	$Q_{466} \quad t_{33} \quad 211$ $25.00 \quad M_w \quad 19010.00$
6°	20	42	2355.027	-0.231	0.587	$Q_{22} \quad t_{66} \quad 316$ $39.600 \quad M_w \quad 7660.00$
8°	20	49	2799.221	-0.323	0.447	$Q_{220} \quad t_{26} \quad 712$ $79.320 \quad M_w \quad 11720.750$
10°	20	32	3423.476	-0.327	0.569	$Q_{220} \quad t_{26} \quad 712$ $158.600 \quad M_w \quad 10575.000$
12°	20	78	4514.205	-0.213	0.329	$Q_{130} \quad t_{42} \quad 500$ $46.300 \quad M_w \quad 31180.000$
15°	20	28	5249.986	-0.328	0.422	$Q_{220} \quad t_{15} \quad 000$ $211.400 \quad M_w \quad 26340.000$
6°	30	17	3206.369	-0.234	0.529	$Q_{220} \quad t_{6} \quad 615$ $206.000 \quad M_w \quad 9813.000$
6°	40	37	4127.330	-0.427	0.489	$Q_{333} \quad t_{66} \quad 316$ $119.800 \quad M_w \quad 13879.500$
6°	50	21	2280.412	-0.329	0.641	$Q_{220} \quad t_{15} \quad 000$ $131.000 \quad M_w \quad 6494.000$
6°	60	42	3064.958	-0.368	0.448	$Q_{219} \quad t_{66} \quad 316$ $49.300 \quad M_w \quad 14097.500$

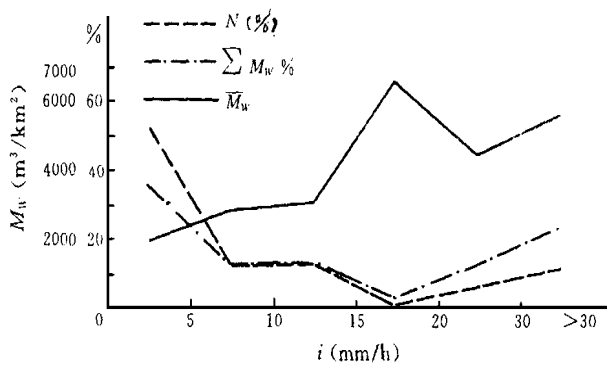


图 3 缓坡耕地降雨强度分级与径流关系变化曲线

4.2 降雨强度与产流的关系

在不同坡度、坡长条件下, 平均降雨强度与产流成对数函数关系, 通式为:

$$M_w = a + b \ln i \quad (b > 0) \quad (3)$$

式中: M_w ——径流模数 (m^3/km^2); i ——平均降雨强度 (mm/h); a 、 b ——待定系数。

但相关性同样也不高 (见表 4)。因此, 这仅说明缓坡耕地产流量具有随平均降雨强度增强而增加的趋势。

5 时段最大雨量、雨强及降雨组合数与产流的关系

取 6 组径流小区观测资料, 将侵蚀降雨历时按 5 min、10 min、15 min、20 min、30 min、45 min 和 60 min 进行分段, 在自记记录纸上分别摘录相应时段的最大降雨量 (P_{\max}), 并与历时相除得最大降雨强度 (I_{\max})。然后用 P_{\max} 、 I_{\max} 及 $P I_{\max}$ 分别与径流模数进行回归分析, 结果见表 5、6、7。

从表 5 中相关指数的平均值来看, 10 min、45 min 和 60 min 最大降雨量与产流关系均较高, 尤其随最大降雨量时段的增大, 相关指数值增加, 60 min 的最大降雨量与产流的关系更为密切, 平均相关指数值为 0.742。这一结论反映了黄土高原大部分降雨的实际情况, 因为在降雨过程中, 高强度降雨的前后, 总有一段时间微弱降水或间隙性降水, 降水量少, 土壤入渗量多, 产流微弱。我们统计的 63 场降雨中, 60 min 最大降雨量的平均值为 11.67 mm, 大于其它各时段最大降雨量平均值, 故 P_{60} 对产流作用更强一些。

表 4 回归分析及系数 a 、 b 取值表

坡度	坡长/m	样本数	a	b	相关数	适应区间/
						$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}, \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$
3 °	20	46	4785.964	-800.913	0.429	0.70 i 122.28 25.00 M_w 19010.00
6 °	20	41	921.489	451.488	0.654	0.34 i 122.28 39.60 M_w 48.50
8 °	20	47	568.771	659.915	0.560	0.34 i 112.80 79.32 M_w 8320.00
10 °	20	32	959.045	948.486	0.592	0.34 i 122.28 158.60 M_w 10575.00
12 °	20	75	2185.564	281.584	0.510	0.34 i 134.60 46.30 M_w 11890.00
15 °	20	28	817.136	1371.551	0.577	0.34 i 122.28 211.40 M_w 17730.00
6 °	30	17	905.663	886.672	0.570	1.30 i 122.28 206.00 M_w 9813.00
6 °	40	37	261.113	1339.784	0.552	0.34 i 122.28 119.80 M_w 13879.50
6 °	50	21	1274.497	350.083	0.608	0.34 i 122.28 131.00 M_w 6494.00
6 °	60	42	407.087	1022.036	0.510	0.34 i 122.28 49.30 M_w 14097.50

表 5 时段最大降雨量与径流模数相关指数表

地点	坡度	坡长/m	样本数	相 关 数						
				P_5	P_{10}	P_{15}	P_{20}	P_{30}	P_{45}	P_{60}
西峰	2 51	20	9		0.648	0.651	0.724	0.455	0.805	0.429
	12 34	20	10	0.645	0.712	0.709	0.715	0.756	0.743	0.760
淳化	6 °	20	25	0.538	0.760	0.769	0.768	0.779	0.779	0.861
	8 °	20	28	0.559	0.593	0.549	0.543	0.547	0.556	0.742
	12 °	20	14	0.562	0.680	0.540	0.504	0.475	0.479	0.788
	6 °	60	25	0.587	0.799	0.783	0.774	0.749	0.812	0.869
平均				0.578	0.699	0.667	0.671	0.623	0.696	0.742

表 6 时段最大降雨强度与径流模数相关数表

地点	坡度	坡长/m	样本数	相 关 指 数						
				<i>I</i> ₅	<i>I</i> ₁₀	<i>I</i> ₁₅	<i>I</i> ₂₀	<i>I</i> ₃₀	<i>I</i> ₄₅	<i>I</i> ₆₀
西峰	2 51	20	9		0.641	0.660	0.731	0.464	0.815	0.431
	12 34	20	10	0.645	0.731	0.724	0.734	0.780	0.730	0.788
淳化	6 °	20	25	0.846	0.817	0.853	0.849	0.850	0.870	0.905
	8 °	20	28	0.602	0.586	0.562	0.554	0.550	0.568	0.756
	12 °	20	14	0.742	0.707	0.597	0.518	0.493	0.474	0.777
	6 °	60	25	0.777	0.716	0.784	0.774	0.750	0.814	0.875
平均				0.7220	0.6997	0.6967	0.6933	0.6478	0.7118	0.7553

表 7 降雨组合参数与径流模数相关指数表

地点	坡度	坡长/m	样本数	相 关 指 数						
				PI_5	PI_{10}	PI_{15}	PI_{20}	PI_{30}	PI_{45}	PI_{60}
西峰	2 51	20	9	0.875	0.868	0.864	0.859	0.529	0.855	0.572
	12 34	20	10	0.736	0.764	0.772	0.779	0.782	0.755	0.760
淳化	6 °	20	25	0.656	0.578	0.819	0.818	0.792	0.733	0.619
	8 °	20	28	0.517	0.513	0.493	0.487	0.466	0.462	0.625
	12 °	20	14	0.568	0.667	0.541	0.501	0.463	0.509	0.715
	6 °	60	25	0.665	0.602	0.655	0.647	0.658	0.763	0.567
平均				0.6695	0.6653	0.6907	0.6818	0.6150	0.6795	0.6430

I_{60} 的平均相关指数值为 0.755 3, 高于其它时段的数值, 故 I_{60} 对产流作用更强。但在统计的资料中 I_{60} 的平均值为 0.194 mm/min, 为各时段平均值的最小值。那么, 为什么平均雨强小的降雨对产流作用反而大呢? 这是该区降雨特性与土壤特性共同决定的。说明黄土高原的产流主要是由长历时大雨量的降雨所产生的。如淳化 1987 年 8 月 11 日(以下简称“8·11”)和 1987 年 7 月 24 日(简称“7·24”)两场暴雨的产流情况就具有一定的代表性。“8·11”暴雨降雨从 22 时 15 分开始, 到 0 时 40 分结束, 降水 41.84 mm, 平均雨强为 17.3 mm/h, 最大瞬时雨强 1.9 mm/min; 而“7·24”暴雨第一次降雨从 23 日 23 时 56 分到翌日晨 4 时 31 分, 降水 49.7 mm, 平均雨强 10.84 mm/h, 最大瞬时雨强 0.46 mm/min, 第二次降水从 8 时 31 分至 12 时 32 分结束, 平均降水 89.04 mm, 降雨强度 22.25 mm/h, 最大瞬时雨强 1.1 mm/min。而“8·11”暴雨原面平均径流模数 6855.4 m³/km², “7·24”暴雨的径流模数为 12877.6 m³/km², 后者几乎是前者的 2 倍。

表 7 为 PI_{max} 各种组合得到的相关指数, 平均值大致相当。 PI_{15} 的平均值为 0.690 7, 略高于其它时段平均值, 可以为 PI_{15} 与产流的关系相对更密切一些。

6 降雨入渗与产流

在降雨过程中, 由于蒸发量非常微弱, 故可忽略不计。据此, 按照水量平衡原理, 用降雨量减去平均径流深, 即得下渗量。图 4、图 5 是据淳化径流场的计算资料绘制的。

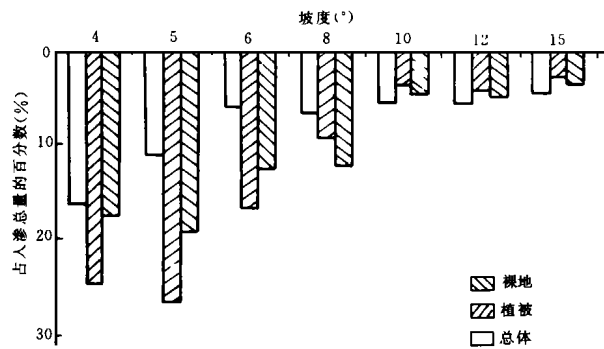


图 4 缓坡耕地降雨入渗与坡度变化关系图

从中可知, 随坡度增大, 降雨入渗量具有减少的趋势, 随坡长加长, 降雨入渗复杂, 呈波浪型。这正是径流随坡度增大而增加, 随坡长加长有增有减的主要原因之一。

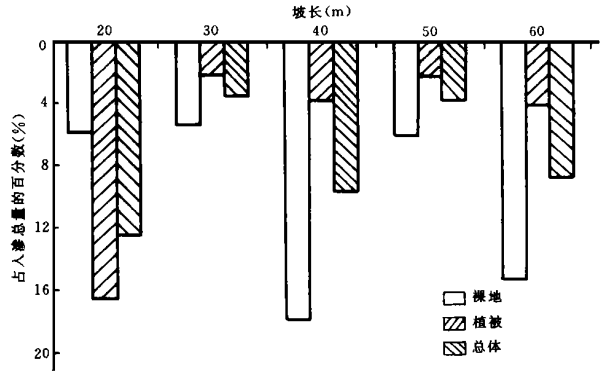


图 5 缓坡耕地降雨入渗与坡长变化关系图

7 缓坡耕地产流预报

在上述分析的基础上, 以 PI_{15} 地形因素(坡度 S 、坡长 L , 则另讨论)为自变量, 利用 252 组数据进行多元回归分析, 得如下统计模型:

$$M_w = 79.873 (PI_{15})^{0.508} S^{0.928} L^{0.187} \quad (4)$$
$$R = 0.756$$

经方差分析, 该式在 0.01 水平上极显著。

8 结 论

(1) 从降雨量看, 15~45 mm 的侵蚀降雨出现次数、径流模数大, 占年径流总量的分数高。通过对各种情况降雨量对产流量影响分析, 表明二者呈幂函数关系, 即 $M_w = ap^b$, 而且绝大部分降雨为中小量级的降雨, 这是缓坡耕地产沙少的降雨区域特征。侵蚀降雨历时以 0.75~9 h 的降雨为缓坡耕地侵蚀的主要降雨, 经对不同坡度、坡长小区资料的分析, 证明历时与产流呈 $M_w = at^b$ 关系。侵蚀降雨强度分析的结果说明, 侵蚀次数在 0.75 mm/h 以下出现最多, 产流总量除 < 0.75 mm/h 的降雨外, 还有 > 17.5 mm/h 的降雨, 它们合占径流总量的 78.8%, 对不同坡度、坡长降雨强度与产流的分析发现, $M_w = a + b \ln i_0$ 。

(2) 通过对影响产流量的降雨因素相关分析后得, P_{60} 、 I_{60} 与产流关系密切, 而组合参数为 PI_{150} 。

(3) 降雨入渗量随坡度增大而减小, 随坡加长呈波浪式变化的实际, 正是形成径流特征的内在原因之一。

(4) 缓坡耕地的产流可用 $M_w = 79.873 (PI_{15})^{0.508} S^{0.928} L^{0.187}$ 进行预报。

(下转第 37 页)

可看出随着土层腐殖质含量的增加, M 值减小, 土壤抗冲性提高。土层自上而下腐殖质含量降低, M 值自上而下提高, 抗冲性自上而下削弱。可见, 土壤抗冲性与土壤腐殖质含量关系密切。腐殖质含量增加表明土壤有着良好的团粒结构, 它是形成土壤水稳性团粒的胶结剂, 土壤水稳性团粒含量高, 团聚程度高, 固结土粒能力强, 因而抗冲刷能力增强, 抗冲性高。

3.4 土壤抗冲性与抗蚀性关系

由前面分析可以看出, 土壤抗冲性与抗蚀性关系密切, 土壤抗蚀性强, 抗冲性也强, 土壤抗冲性的变化规律与抗蚀性变化趋势基本吻合。

土壤冲刷模数与土壤腐殖质含量、水稳性团聚体含量、土壤毛根含量呈负相关关系。

设 M 为土壤冲刷模数, x_1 、 x_2 、 x_3 分别为土壤毛根含量 ($\text{g}/1\ 000\ \text{cm}^3$)、土壤腐殖质含量 (%)、土壤水稳性团聚体含量 (%)。

根据调查测定数据, 逐步回归配线性方程, 经计算机运算, 结果得出回归方程为:

$$M = -0.173x_1 - 0.2x_2 - 0.32x_3 + 11.316$$

$$\text{复相关系数 } R = 0.9476$$

从上述关系可看到, 毛根含量、腐殖质含量、水稳性团聚体含量增加, M 值减小, 土壤抗冲性增强, 由此说明, 土壤抗蚀性的强弱与土壤抗冲性的强弱是一致的。这是因为土壤抗蚀性越强, 标志着土壤结

构体的水稳性越强, 结构体不易崩解分散, 加之毛根的网络, 使之不易被水冲走, 故土壤抗冲性就越强。

4 结 论

(1) 地埂花椒林土壤抗蚀性能高于无林埂。土壤抗蚀指数、腐殖质含量、水稳性团聚体含量、团聚状况、团聚度及水稳性团聚体风干率均高于无林埂。土壤分散率、分散系数低于无林埂。土壤抗蚀指数、腐殖质含量、水稳性团聚体含量、土壤团聚状况、团聚度自下而上变化规律基本吻合。自上而下逐渐降低, 而分散率、分散系数自上而下逐渐增加。

(2) 地埂花椒林土壤抗冲性能高于无林埂。土壤冲刷模数小于无林埂。随树龄提高, 其抗冲性也随着增强, M 值愈小; 随冲刷水量增加, 冲刷模数 M 增加, 抗冲性降低, 不同冲刷水量下, 土壤 M 值均小于无林埂林。土壤毛根含量与土壤抗冲性呈正相关, 毛根含量愈多, 抗冲性也愈强。土壤腐殖质含量的增加, 土壤抗冲性也随之增强。

(3) 土壤抗冲性与抗蚀性关系密切。土壤抗冲性变化规律与抗蚀性吻合, 土壤抗蚀性强弱与抗冲性强弱趋于一致。土壤抗冲性与土壤 $< 1\ \text{mm}$ 毛根含量、土壤腐殖质含量、水稳性团聚体含量关系密切, 它们之间相关关系如下方程:

$$M = -0.173x_1 - 0.2x_2 - 0.32x_3 + 11.316$$

参考文献

- 1 孙立达, 朱金兆主编 水土保持林体系综合效益研究与评价[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1995 195~ 234
- 2 王忠林等 花椒地埂林土壤抗蚀性研究[J] 西北林学院学报, 1998(2): 30~ 33
- 3 王佑民, 刘秉正等著 黄土高原防护林生态特征[M] 北京: 中国林业出版社, 1994 187~ 219
- 4 吴钦孝, 杨文治主编 黄土高原植被建设与持续发展[M] 北京: 科学出版社

(上接第17页)

参考文献

- 1 黄河水利委员会 西北黄土地区坡地固体径流和液体径流形成过程的初步研究 黄河建设, 1957, (12): 17~ 29
- 2 郭继志 关于坡度与径流量和冲刷关系问题的探讨 黄河建设, 1958, (3): 47~ 48
- 3 中国科学院地理研究所水文研究室 黄土坡耕地水土流失计算方法的探讨 地理学报, 1966, 32(2): 140~ 155
- 4 孙阁 林地地表径流的研究 水土保持学报, 1989, 3(2): 52~ 55
- 5 贾绍凤, 梁季阳 黄土高原降雨、径流、产沙相互关系研究 水土保持学报, 1992, 6(3): 42~ 47
- 6 王贵平, 贾志军, 蔡强国, 陆兆熊 晋西黄土丘陵沟壑区坡面径流预报模型研究 中国水土保持, 1992, (3): 16~ 19
- 7 王百田, 王斌编 黄土坡面地表处理与产流过程研究 水土保持学报, 1994, 8(2): 18~ 24
- 8 张光辉, 梁一民 模拟降雨条件下人工草地产流产沙过程研究 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(3): 56~ 59
- 9 吴发启, 赵晓光, 刘秉正, 唐克丽 黄土高原南部缓坡耕地降雨与侵蚀的关系 水土保持研究, 1999, 6(2): 53~ 56
- 10 中国科学院黄土高原综合科学考察队 中国黄土高原地区坡度分级数据集 北京: 海洋出版社, 1990
- 11 王万忠 黄土高原降雨特征与土壤流失的研究 水土保持通报, 1983, (4): 7~ 13