

黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究

II —— 降雨侵蚀力指标R值的探讨

王 万 忠

(中国科学院西北水土保持研究所)

自从通用土壤流失方程式提出以来,引起了许多国家的重视。各国的水土保持工作者都在根据本国的实际情况,研究土壤流失方程式中各系数在本地区的适用性,进而建立各自国家或地区性的流失方程式。

通用土壤流失方程式的数学表达式是 $A = RKLSCP$ 。式中R是降雨侵蚀力指标,它是降雨侵蚀潜力的一个度量。

美国学者威斯奇迈尔(Wischmeier)通过各种因数在不同的算术排列组合中的复回归试验,发现复合参数——暴雨动能与30分钟最大降雨强度的乘积是判断土壤流失量的最好指标,数学表达式为: $R = \Sigma E \cdot I_{30}$ 。这里有一个问题需要讨论, $R = \Sigma E \cdot I_{30}$ 是根据美国的试验资料求得的,在我国这个公式的适用性如何?特别是我国黄土地区,无论是暴雨特征、地面坡度和土质状况,都与美国的这些条件有很大差异。这种差异会不会影响到R值的应用效果,也就是说,在黄土地区R指标能否象威斯奇迈尔在美国研究时所预期的那样适用?这就需要用我们自己的观测资料对R指标进行检验,评价它在黄土地区的适用性,探求适合于这一地区侵蚀力指标R值的最佳复合参数,为黄土地区土壤侵蚀定量研究和预报工作提供有关指标。

一、方 法

确定侵蚀力指标R值复合参数结构的标准,主要看其与土壤流失量的相关程度如何。基本方法是对各种组合参数与土壤流失量的相关性进行回归分析,求出不同组合形式的相关系数r值,依据r值大小进行评价选取。具体步骤是:

(一) 确定分析样本

分析样本的质量很重要,特别是资料系列的长短、观测试验的方法、下垫面条件的一致程度,都对回归分析的结果影响很大。我们对黄土地区近30年来的径流观测资料进行了分析,发现理想的资料很有限。最后经过挑选,确定用团山沟3号径流场和9号径流场的资料作为分析样本。这两个径流场位于黄土丘陵第一副区,是黄土地区水土流失最为严重的地区,土壤为黄绵土,自然坡度在 20° 左右。资料观测年限为1963—1969年,有自记降雨观测。选用的分析样本3号径流场33个、9号径流场29个。样本的选取是按每次降雨所产生的土壤流失量大于100吨/平方公里统计的。

(二) 降雨侵蚀参数的选取和计算

降雨侵蚀力是降雨物理性质的函数。一些实验证实,降雨的侵蚀力与由几种物理性

状构成的复合参数有关。其中与降雨侵蚀力关系最为密切的是暴雨的动能 (E) 和暴雨的强度 (I)；这二者的交互影响是侵蚀力的最好量度。所以，我们确定以动能 E 和强度 I 及二者的乘积 E·I 作为进行回归计算的降雨侵蚀基本参数。但在具体参数的选择上，根据黄土地区的暴雨特征，选择 60 分钟以内的各时段的最大降雨强度作为降雨强度参数 (用 I_t 表示)；选择 60 分钟以内各时段最大降雨动能和一次降雨的总动能作为降雨动能参数 (分别用 E_t 和 ΣE 表示)。各参数计算是：

1、 I_t (毫米/小时)

$$I_t = \frac{P_t}{t} \times 60 \quad (1)$$

式中： I_t — t 时段的最大降雨强度 (毫米/小时)；

t —选取的最大降雨时段 (分钟)。本文 t 共分为 5、10、15、20、30、45、60 分钟 7 个时段；

P_t — t 时段的最大降雨量 (毫米)。

2、 E_t 和 ΣE (焦耳/平方米)

E_t 表示某一最大降雨时段 (t) 的降雨动能 (本文分为 E_5 、 E_{10} 、 E_{15} 、 E_{20} 、 E_{30} 、 E_{45} 、 E_{60} 共 7 个量级)。 ΣE 表示一次降雨的总动能。 E_t 和 ΣE 的计算方法是：先根据此次降雨过程的曲线变化按近似降雨量划分若干段落，求这些段落的降雨动能 E ，把各段落的 E 值累加便可得到 E_t 和 ΣE 。各段落降雨动能的计算公式是：

$$E = E_k \cdot P \quad (2)$$

$$E_k = 210.3 + 89 \log_{10} I \quad (3)$$

式中： E —此次降雨过程中某段落降雨量所产生的动能 (焦耳/平方米)；

E_k —此次降雨过程中某段落单位面积上每厘米降雨所产生的动能 (焦耳/平方米·厘米)；

P —某段落的降雨量 (厘米)；

I —某段落的降雨强度 (厘米/小时)。

(三) 回归分析方法

采用两种形式的回归分析：一是把 I_t 、 E_t 、 ΣE 各参数与土壤流失量进行单因子分析，二是把 $\Sigma E \cdot I_t$ 和 $E_{60} \cdot I_t$ 两种参数进行复合因子分析。这种分析方法主要是根据黄土地区的暴雨特征，为求取降雨侵蚀力 R 值的最佳复合指标进行的。

二、结果

(一) 降雨侵蚀参数单因子与土壤流失量的相关分析结果

从表 1 的分析结果可以看出，降雨侵蚀单因子与土壤流失量的相关性有以下几个特征：

1、降雨参数 I_t 、 E_t 、 ΣE 与土壤流失量 M 的关系为一较规则的线性关系。在 $M = -a + bI_t$ 的关系式中，系数 a 和 b 均与历时 t 呈幂函数递增；在 $M = -a + bE_t$ 的关系式中，系数 a 与历时 t 呈不规则的幂函数递增，系数 b 与历时 t 呈幂函数递减。

2、参数 E_t 的平均相关系数 $r = 0.877$ ，参数 I_t 的平均相关系数 $r = 0.862$ 。由此可

见, 不同时段最大降雨强度与土壤流失量的相关性和不同时段最大降雨动能与土壤流失量的相关性基本相同, E_t 较 I_t 的 r 值略高一点。

3、降雨动能参数 E_t 的 r 值较 ΣE 的 r 值要高一些, 其中 $E_{1.0}$ 的相关系数 $r = 0.907$, 较 ΣE ($r = 0.700$) 高 29.6%。由此可以认为, 黄土地区降雨总动能与土壤流失量的关系并不好, 不及最大降雨时段的动能。

表 1 团山沟 3 号径流场降雨侵蚀参数单因子与土壤流失量的回归分析结果

参数 (I_t)	回 归 方 程 式	相关系数 (r)	参数 (E_t 或 ΣE)	回 归 方 程 式	相关系数 (r)
$I_{.5}$	$M = 120.9I_{.5} - 4957.6$	0.824	$E_{.5}$	$M = 45.2E_{.5} - 3962.8$	0.828
$I_{1.0}$	$M = 158.7I_{1.0} - 5095.0$	0.893	$E_{1.0}$	$M = 30.4E_{1.0} - 4107.3$	0.895
$I_{1.5}$	$M = 192.9I_{1.5} - 5303.6$	0.914	$E_{1.5}$	$M = 23.7E_{1.5} - 3912.9$	0.907
$I_{2.0}$	$M = 211.6I_{2.0} - 4734.1$	0.896	$E_{2.0}$	$M = 21.2E_{2.0} - 3932.0$	0.906
$I_{3.0}$	$M = 257.1I_{3.0} - 4025.1$	0.868	$E_{3.0}$	$M = 17.8E_{3.0} - 3374.0$	0.889
$I_{4.5}$	$M = 325.3I_{4.5} - 3451.1$	0.881	$E_{4.5}$	$M = 15.7E_{4.5} - 3012.8$	0.861
$I_{6.0}$	$M = 392.1I_{6.0} - 3169.0$	0.813	$E_{6.0}$	$M = 14.7E_{6.0} - 2903.0$	0.852
			ΣE	$M = 9.1\Sigma E - 1252.2$	0.700

注: M —土壤流失量 (吨/平方公里)

样本 $n = 33$

(二) 降雨侵蚀参数复合因子的相关分析

从表 2 (将在本文第 III 部分刊出) 的计算结果可以看出, $E_{6.0} \cdot I_t$ 和 $\Sigma E \cdot I_t$ 与土壤流失量的相关性有以下几点:

1、复合参数 $E_{6.0} \cdot I_t$ 和 $\Sigma E \cdot I_t$ 均与土壤流失量呈线性关系, 其系数 a 、 b 的变化均与历时 t 成正相关;

2、复合参数 $E_{6.0} \cdot I_t$ 的相关系数 r 平均为 0.908, 其中 3 号场为 0.887, 9 号场为 0.929; 复合参数 $\Sigma E \cdot I_t$ 的相关系数平均为 0.869, 其中 3 号场为 0.840, 9 号场为 0.892。这说明降雨总动能与降雨强度乘积 ($\Sigma E \cdot I_t$) 与土壤流失量的相关性不如用 60 分钟最大动能与降雨强度的乘积 ($E_{6.0} \cdot I_t$) 好;

3、无论是最大 60 分钟动能还是一次降雨的总动能, 它们与降雨强度所组合的复合参数中, 以 10 分钟最大降雨强度的乘积 ($E_{6.0} \cdot I_{1.0}$ 、 $\Sigma E \cdot I_{1.0}$) 与土壤流失量的相关程度为最密切, 前者 $r = 0.938$, 后者 $r = 0.911$;

4、复合参数 $\Sigma E \cdot I_{3.0}$ 与土壤流失量的相关性明显不如 $\Sigma E \cdot I_{1.0}$ 和 $E_{6.0} \cdot I_{1.0}$ 好。 $\Sigma E \cdot I_{3.0}$ 的 r 值为 0.858; $\Sigma E \cdot I_{1.0}$ 的 r 值为 0.911; $E_{6.0} \cdot I_{1.0}$ 的 r 值为 0.938。由此来看, 原通用土壤流失方程式中降雨系数 $R = \Sigma E \cdot I_{3.0}$ 在我国黄土地区的应用, 并不十分理想。

(三) 降雨侵蚀力指标 R 值的确定

从上述分析结果来看, 降雨侵蚀力指标 $R = \Sigma E \cdot I_{3.0}$ 在我国黄土地区并不象威斯奇迈尔在美国研究时预期的那样适用。也就是说, 经过资料验证, $\Sigma E \cdot I_{3.0}$ 在黄土地区并不是决定侵蚀力的最为理想的复合参数。本文根据计算结果, 并考虑到计算中应用样本的精度和误差, 确定适用于黄土地区农田土壤流失预测中的降雨侵蚀力指标为:

$$R = E_{6.0} \cdot I_{1.0} \quad \text{或} \quad R = \Sigma E \cdot I_{1.0} \quad (4) \quad (\text{下转第 26 页})$$

当然镇压只有在干旱的情况下进行。根据晋东南地区经验，干土层厚达4—6厘米和0—10厘米土壤含水量不足12%时，必须实行镇压，否则不能保证全苗。镇压可降低干土层2—3厘米，如果土壤过湿是不能镇压的。镇压不仅能提墒，保证全苗出土，更重要的是镇压能促进苗期根系的生长。只要种子根和次生根从茎基部大量长出来，达到10厘米以后，在山西的具体条件下，就是再早些也不怕了。调节水份的方法，除了镇压以外，就是合理的耕锄。原长治农业科学研究所平顺县西沟大队实测，玉米、马铃薯连堆锄、蜂窝地的方法，一次降雨30毫米，每亩多存4.9立方米水。临猗县耽子公社农业科学试验站试验：1979年11月麦田深锄3寸，深锄比对照地返青早，拔节快，大小蘖分化提前，成穗整齐，有效穗多，千粒重增加，每亩多收25斤。

减少蒸发，保持土壤含水量

减少蒸发，也是贮存自然降雨提高利用率的重要一环。除了用耕作、耙耱等方法，保存水份减少蒸发之外，用覆膜覆盖地表的方法减少蒸发，效果非常显著。



(上接第64页)

三、讨 论

1、为什么 $R = \Sigma E \cdot I_{30}$ 在黄土地区的适用性不那么理想？这主要是由这一地区引起土壤流失的暴雨性质决定的。我们知道，降雨能量是雨点速度和降雨量具体组合的一个函数。30分钟最大强度是产生径流的过度降雨的一个指标。而在黄土地区，土壤流失大都为强度大、历时短的雷暴雨所引起，加之地面坡度大，所以瞬时雨率与土壤流失量的关系要比美国学者所得结果密切一些。产生径流的过度降雨指标不再是30分钟最大降雨强度，而是10分钟最大降雨强度。再看，黄土地区雷暴雨雨型变化过程的一个显著特点是，在短历时的高强度降雨后期，有一段时间较长的低强度降雨，这一段降雨强度小，一般不引起土壤流失。但有一定雨量，按动能计算结果会增加一部分动能，这就使得总动能与土壤流失量的关系并不如60分钟最大降雨动能与土壤流失量的关系密切。所以 $\Sigma E \cdot I_{30}$ 的复合结构并不如 $E_{60} \cdot I_{10}$ 的复合结构好；

2、由于黄土地区土壤流失量与瞬时雨率的关系本来就密切，所以在应用动能参数及其与雨强的复合参数以后，其相关性提高的并不很明显。例如3号径流场最大降雨强度(I_1)与土壤流失量的相关系数 $r = 0.862$ 。最大降雨动能(E_1)的相关系数 $r = 0.877$ ；复合参数 $E_{60} \cdot I_{10}$ 的相关系数 $r = 0.887$ ，复合参数 $\Sigma E \cdot I_{10}$ 的相关系数 $r = 0.840$ 。两相比较， r 值变化不大，所以降雨侵蚀力的近似计算可以用瞬时雨率代替。

黄土地区是我国土壤流失最严重的地区，进行降雨侵蚀力的研究，建立适合于这一地区的土壤流失预报方程式，是一项艰巨的工作。我们对降雨侵蚀力指标 R 值所作的探讨仅是初步的，尚需进一步验证研究。