

黄土高原土壤流失预报方程中 降雨侵蚀力和地形因子的研究

江忠善 李秀英

提 要

通用土壤流失方程已在许多国家研究推广应用。本文根据黄土高原的以往径流小区实测资料,分析提出了适合于这一地区的土壤流失方程的降雨侵蚀力指标和地形因子的关系式,文中还就我国设立标准小区的选用规格提出了看法。

一、前 言

自从通用土壤流失方程(USLE)提出以来,引起了许多国家的重视。首先,美国农业部曾前后两次以农业手册形式颁布和推广应用该预报方程。随后,澳大利亚、日本和非洲的一些国家也都相继根据本国的气候、土壤及经营管理实际情况,研究在各种具体情况下该预报方程中的各因子数值和相互关系,进而建立了适合本国或地区性的土壤流失预报方程。近年来,我国也在这方面陆续开展了一些研究工作,积累了一些资料。本文根据黄土地区的现有径流小区观测资料,分析了降雨侵蚀力R指标和地形LS因子的关系式,并结合我国的具体情况,提出了标准小区选用的具体意见,以便为今后全面开展黄土地区降雨侵蚀土壤流失预报方程的研究提供依据。

二、标准小区的选定

通用土壤流失方程,即 $A = RKLSCP$ 数学表达式,是根据多年实测资料而建立的经验方程,通常它只能用来估算农地年平均土壤流失量。这个方程不仅概括了影响降雨侵蚀的一些主要因素,而且只要根据本地区条件的实测资料,确定出方程中各因子的数值和相应关系,就可在实际中应用。此外,它是以标准小区作为对比的观测资料的分析基础上得出的。因此,在研究建立土壤流失预报方程时,首先应确定适合我国具体情况的标准小区。在这方面,美国所以选择坡长22米、坡度9%(5.16°)的清耕连续休闲地作为标准小区的标准坡长和坡度,这是因为过去在美国所布设的径流小区观测多数是在这样的坡长和坡度下进行的。但在我国,尤其过去在黄土地区所布设的坡面径流小区观测,大多数是在陡坡农地条件下进行的。其中接近美国采用标准小区5.16°坡度观测资料很少。此外,考虑到今后围绕降雨侵蚀土壤流失预报方程的建立,需要补充开展以标准小区为基础的对比观测试验工作,尤其在水土流失严重的黄土丘陵沟壑区,仍采用9%坡度来布设标准小区是存在着实际困难的。因此,参照美国标准小区的定义,根据黄土地区的实际情况,以及基于全国采用统一标准的观点,在这次研究中选用坡长20

米、宽度5米、坡度 10° 的裸露休闲地作为标准小区。并建议就这一问题，通过大家共同研究和讨论，由水土保持主管部门尽快制订出我国统一标准小区规格开展观测试验，以便为今后各地区的资料能相互比较和参照引用。

三、降雨侵蚀力R因子的分析

降雨因子R是反映降雨侵蚀能力的一个重要指标，它是降雨能量E和雨强I的函数。美国学者W.H.维希迈耶(Wischmeier, 1958)^[1]通过休闲地上土壤流失量与各种不同时段最大雨强组合的EIt参数的相关性分析指出，降雨总能量E和该次降雨最大30分钟降雨强度 I_{30} 的乘积复合参数，是表征土壤流失量的最好降雨侵蚀力指标。但对它在黄土地区的适用性，就需要根据该地区的观测资料分析作为依据，使计算出的R值更为合适。由于我国过去缺少布设全年休闲地小区，为此，采用西峰水土保持站冬小麦收获后夏秋汛期处于休闲地状况的小区，代表休闲地作为分析依据。降雨能量采用下列黄土地区降雨动能经验公式计算^[2]：

$$E = \sum ep \quad (1)$$

$$e = 27.83 + 11.55 \log_{10} i \quad (2)$$

式中：E——一次降雨的总动能(焦耳/平方米)，等于 $\sum ep$ ；e——一次降雨过程中某时段的降雨动能(焦耳/平方米·毫米雨量)；p——相应某时段的降雨量(毫米)；i——相应某时段的降雨强度(毫米/分)。

应用上述公式计算得各次产流的降雨动能，并与该次降雨的5—60分钟各时段最大雨强组合不同EIt参数。按下列土壤流失量与各种组合参数的幂函数关系式进行相关分析，即：

$$M = a(EIt)^b \quad (3)$$

式中：M——土壤流失量(克/平方米)；E——同上； I_t ——5—60分钟不同时段的最大雨强(毫米/分)；a和b——系数。

表1 土壤流失量与降雨侵蚀力EIt参数的相关性

参 数	11° (n=29)			19° (n=30)		
	a	b	r	a	b	r
El ₅	0.017	1.37	0.78	0.0001	2.34	0.89
El ₁₀	0.018	1.41	0.79	0.0002	2.32	0.90
El ₁₅	0.016	1.46	0.80	0.0003	2.37	0.88
El ₂₀	0.014	1.52	0.81	0.0005	2.31	0.88
El ₃₀	0.019	1.52	0.80	0.0017	2.15	0.86
El ₄₀	0.023	1.53	0.75	0.0042	2.05	0.83
El ₆₀	0.035	1.54	0.70	0.0105	1.96	0.77

计算结果如表1。从中看出:

第一,不同组合复合参数 EIt 均与土壤流失量呈非线性大于1次方的关系。例如以 EI_{30} 场合来说,11°坡度下指数 b 为1.52,19°坡度为2.15,且随坡度增加而增大。此结果和国外的一些研究结果不同。最初维希迈耶(1958)^[1]根据缓坡(2—9°坡度)资料分析,得出了土壤流失量与 EI_{30} 参数为线性关系。最近G.R.福斯特(Foster, 1982)^[3]也同样得出缓坡指数 b 是在接近1的0.8—1.15之间变化。造成这一差异的原因,我们认为首先是坡度差别的原因。加之,黄土质地疏松,很容易受侵蚀。所以表现出降雨侵蚀力 EIt 指标对土壤侵蚀的影响,要比美国学者所得结果的作用大得多。

第二,从5—60分钟不同时段最大雨强组合的降雨侵蚀力指标 EIt 值与土壤流失量之间的相关系数 r 值变化规律可以看出,开始随着计算雨强的时段增大而稍有增加,随后又随着时段而降低。一般以30分钟内不同时段最大雨强的组合参数的相关性最好,而且不同组合的相关系数都相差甚小,亦即11°径流小区 $r = 0.78—0.81$,19°小区 $r = 0.86—0.90$ 。由此,考虑到即使按照最优相关性来选择10分钟最大雨强,或20分钟最大雨强计算,一方面既不能提高多少计算精度,另一方面却增加了从通常采用的自记雨量记录纸上(约2.5毫米一分格代表10分钟时间)摘录资料带来的人为任意误差,反而影响了使用计算精度。总之,由上述分析结果来看,在黄土地区采用 I_{30} 计算表征降雨侵蚀力的 EI_{30} 指标仍是目前适宜的指标。至于选用 I_{60} 计算,看来相关性则显著降低,因而不宜采用。

此外,降雨侵蚀的开始发生,除与雨强关系密切外,在一定程度上也与雨量的大小有关。因而究竟选用多大的次降雨量作为有效侵蚀性降雨标准,是计算年和年平均降雨侵蚀力指标 R 值的另一个重要问题。在这方面,根据子洲径流实验站团山沟4号径流小

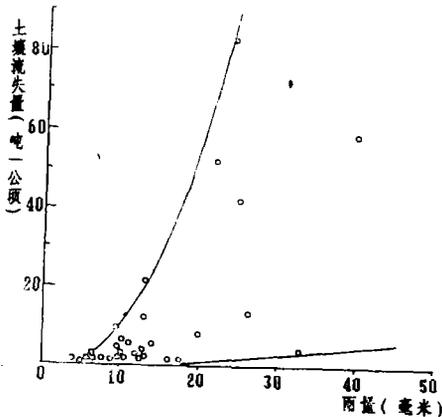


图1 雨量与土壤流失量的关系

区(22°, 20米坡长)1963—1967年的38次径流观测资料分析,由于受降雨强度的影响,使得单独的雨量与土壤流失量的关系点据分布相当散乱(图1)。当以外包线形式表示时,上限外包曲线表示雨强大的情况下雨量与土壤流失量的极限状态;反之,下限外包曲线则表示雨强小的极限情况。从图1的曲线形态变化可以看出,对研究土壤流失开始起作用的最低级雨量可以考虑为10毫米。因为在10毫米以下的次雨量一般不产生水土流失,或者即使有流失,但侵蚀流失量只占总土壤流失量的8.9%而不大。

如仍采用原通用土壤流失方程中美国规定的取次降雨量大于12.7毫米的降雨作为计算年和年平均降雨侵蚀力 R 的有效侵蚀性降雨标准,是有些偏高的。此时,土壤流失量便由10毫米以下雨量占总土壤流失量的8.9%增高到29.2%。此结果和天水水土保持站统计坡面发生产流与雨量关系的结果基本上是一致的。由此看来,黄土地区取10毫米的次降雨作为计算侵蚀力 R 指标的开始有效雨量比较适合。

四、地形LS因子的分析

坡度和坡长是影响降雨径流侵蚀强度的最主要地形因素，因为水流对地面的侵蚀力主要取决于水流的动能，而动能随着坡度和坡长增大而增强。尤其坡度的影响最为重要，除增大水流动能外，坡面侵蚀物质的稳定性也随着坡度的增加而降低。现将天水、绥德和子洲等试验站的有关农地小区观测资料统计列如表2和表3，分别对此两因子进行研究。

表2 坡度与土壤流失量的关系

测站	不同坡度土壤流失量					说明
	坡度(度)	5°	8°	14°	17°	
天水	侵蚀量(吨/平方公里)	621.1	1,482.1	1,917.6	2,849.2	1945—1957年的20米坡长小区平均值
	坡度(度)	8.6°	14.7°	21.8°*	28.7°	
绥德	侵蚀量(吨/平方公里)	580.0	2,192.5	2,812.3	4,271.3	1957—1960年平均值，*小区为10米坡长，其余为20米
	坡度(度)	8.6°	14.7°	21.8°*	28.7°	

表3 坡长与土壤流失量的关系

测站	不同坡长土壤流失量				说明
	坡长(米)	10	20	40	
天水	侵蚀量(吨/平方公里)	476.0	502.7	642.0	1954—1957年平均值，坡度为9.30°
	坡长(米)	10	40	60	
绥德	侵蚀量(吨/平方公里)	2,812.3	2,933.3	3,954.5	1957—1960年平均值，为22°小区资料
	坡长(米)	20	40	60	
子洲	侵蚀量(吨/平方公里)	9,815.4	16,909.3	16,766.3	1963—1967年平均值，为22°小区资料
	坡长(米)	20	40	60	

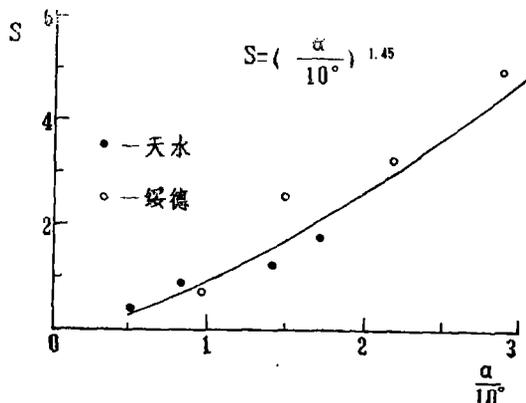


图2 坡度因子S与坡度比 $\alpha/10^\circ$ 的关系

坡度是反映地形因素影响的最主要参数。根据表2不同坡度对比观测资料，首先通过本站坡度与土壤流失量的关系式计算出相应于缺测标准坡度 10° 的年平均土壤流失量。

然后,点绘了实测任一坡度下的土壤流失量和标准坡度下的土壤流失量之比,即坡度因子 S ,与实测任一坡度和标准坡度之比的关系(见图2),并分别获得下列的经验关系式:

$$\text{天水站: } S = \left(\frac{\alpha}{10^\circ}\right)^{1.12} \quad (r=0.96) \quad (4)$$

$$\text{绥德站: } S = \left(\frac{\alpha}{10^\circ}\right)^{1.6} \quad (r=0.97) \quad (5)$$

$$\text{联站分析则得: } S = \left(\frac{\alpha}{10^\circ}\right)^{1.45} \quad (r=0.92) \quad (6)$$

式中: S ——坡度因子; α ——坡度(度)。

同样,采用本站的坡长与土壤流失量的关系式,获得绥德站缺测的标准水平坡长20米的土壤流失量后,点绘了任一实测坡长的土壤流失量和标准坡长上的土壤流失量之比的坡长因子 L ,与任一坡长 λ 和标准坡长的坡长比的关系(见图3),并分别获得了下列关系式:

$$\text{天水站: } L = 1.06 \left(\frac{\lambda}{20}\right)^{0.22} \quad (r=0.94) \quad (7)$$

$$\text{绥德站: } L = \left(\frac{\lambda}{20}\right)^{0.15} \quad (r=0.76) \quad (8)$$

$$\text{子洲站: } L = 1.05 \left(\frac{\lambda}{20}\right)^{0.62} \quad (r=0.93) \quad (9)$$

综合上述关系式,则得:

$$L = 1.07 \left(\frac{\lambda}{20}\right)^{0.28} \quad (r=0.75) \quad (10)$$

因此,根据上述坡度和坡长因子关系式(6)和(10)可得:

$$LS = 1.07 \left(\frac{\lambda}{20}\right)^{0.28} \left(\frac{\lambda}{10^\circ}\right)^{1.45} \quad (11)$$

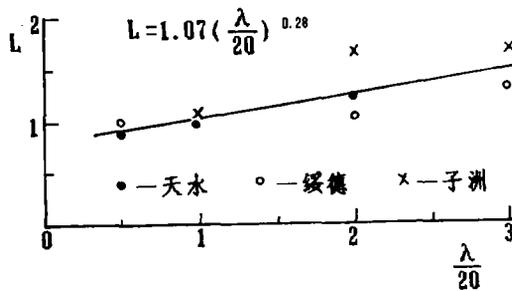


图3 坡长因子 L 与坡长比 $\lambda/20$ 的关系

显然,从黄土地区地形因子 LS 经验关系式和美国维希迈耶—史密斯所获得的适用于大于9%坡度的 LS 关系式^[4]:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22}\right)^{0.3} \left(\frac{\alpha}{5.16^\circ}\right)^{1.3} \quad (12)$$

的比较看出,在黄土地区坡度对土壤侵蚀作用的影响显得更大些,而坡长的影响则稍小些。

五、结 语

根据上述分析,可得出以下几点结论和看法:

1. 布设标准小区试验是建立土壤流失预报方程的分析资料基础。考虑到黄土地区以往径流小区设置和坡耕地分布坡陡的实际情况,我们的分析采用坡长20米、宽度5米、坡度 10° 的裸露休闲农地作为标准小区,并推荐它作为今后开展观测试验的统一标准小区规格。

2. 经用有关资料验证表明,原通用土壤流失方程中降雨侵蚀力 EI_{30} 指标,对黄土地区仍是目前表征降雨侵蚀力的一个适宜指标。但宜采用大于或等于10毫米的次雨量作为有效侵蚀性雨量来计算 EI_{30} 值比较适合。

3. 本文所建立的地形坡长——坡度LS因子经验关系式,与维氏公式相比较,显得坡度对土壤侵蚀的影响更大些,而坡长的影响则稍小。

参 考 文 献

- [1] Wischmeier, W. H. and D. D. Smith: Rainfall energy and its relationship to soil loss, Trans. of the Amer. Geophysical Union, Vol. 39, pp 285-291, 1958.
- [2] 江忠善等: 黄土地区天然降雨雨滴特性研究,《中国水土保持》, 1983年第3期, 第32—36页。
- [3] Foster, G. R, F. Lombardi and W. G. Moldenhauer, Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors for individual storms, Trans. of the ASAE, Vol. 25, pp124-129, 1982.
- [4] Wischmeier, W. H. and D. D. Smith: Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains, USDA, Agr. Handbook No. 282, 1965.

Study on the Rainfall Erosivity and the Topographic Factor of Predicting Soil Loss Equation in the Loess Plateau

Jiang Zhongshan Li Xiuying

Abstract

In this paper, the rainfall erosivity factor R and the relations of topographical factor LS in the loess region have been studied. This analytical results showed that the product EI_{30} of rainfall kinetic energy E and maximum 30-min rainfall intensity I_{30} is a good rainfall erosivity index which closely related with the soil loss on bare fallow land, but it is better to select all individual rainfalls that greater than or equal to ten millimetres as the estimates of rainfall erosivity factors for a year or average annual. The relation of topographical factor LS can be used to estimate the effects of topographical factors in the loess region.