

黄土高原土壤侵蚀暴雨标准

周佩华 王占礼

(中国科学院西北水土保持研究所)

摘 要

暴雨是引起黄土高原土壤侵蚀的一个关键的、起动力作用的因子。黄土高原严重的土壤侵蚀往往是由少数几次暴雨引起,因此,研究黄土高原的暴雨标准,进而制定暴雨分区,对黄土高原水土保持规划工作具有重大意义。黄土高原的暴雨标准,过去虽曾有人拟定过几种,但主要是针对防洪等工作拟定的,从土壤侵蚀的角度考虑的不够,所以不能完全适应水土保持工作的需要。本试验通过人工模拟降雨的方法,拟定了黄土高原针对土壤侵蚀的暴雨标准,即土壤侵蚀暴雨标准。初步确定,能使坡面上开始产生径流的降雨为暴雨,其中又以能使坡面上开始产生细沟侵蚀为标准,划分出普通暴雨及大暴雨。

试验在 20° 无植被覆盖的均一黄土母质小区(面积为 $5 \times 1.5 = 7.5$ 平方米)上,用侧喷式人工模拟降雨装置进行。通过对试验结果的统计分析和能量换算,拟定出黄土高原天然降雨的土壤侵蚀暴雨标准(表4)。

一、前 言

黄河以其多沙闻名于世,黄河中游地区的黄土高原,由于严重的土壤侵蚀而成为泥沙的主要来源地。引起黄土高原严重土壤侵蚀的主要原因是地势陡峻、土质疏松、植被破坏及暴雨频繁这四大因素,其中最关键的,也是起动力作用的就是暴雨。因而研究这个地区的暴雨及其分布规律,进而制定暴雨分区,对于该地区土壤侵蚀预报和各项水土保持措施配置具有十分重要的意义。

研究暴雨,首先必须确定暴雨标准。目前,我国气象部门把日降水量达到或超过50毫米就称为暴雨。方正三、徐在庸、刘尔铭、张汉雄、王万忠等同志也都先后拟定过黄土高原的暴雨标准,但是这些标准有的是根据黄土高原的暴雨特性并参考国外的暴雨标准而定的,有的是考虑了黄土高原的暴雨特性及我国的具体情况后又参考了已有的标准而定的,有的在拟定过程中除考虑这个地区的暴雨特点等因素外,还同时参考气象部门的标准及国外的标准。总之,人为的因素较多,而且大都应用于水利、气象等部门,对暴雨与土壤侵蚀的关系考虑的不多。当然有的也以暴雨与土壤侵蚀间的基本关系特征为依据拟定,但是由于认为直接给定暴雨一个具体定量的侵蚀量指标很难,在给定一个相对的侵蚀比值时总还没有摆脱人为的因素。为了正确地、客观地从土壤侵蚀的角度反映黄土高原的暴雨标准,我们进行了人工模拟降雨试验,并且根据试验的结果,初步确定了黄土高原的土壤侵蚀暴雨标准。

二、确定土壤侵蚀暴雨标准的原则

根据天水水土保持试验站1945—1957年的观测资料，12年共降雨1,226次，其中发生径流的降雨只有82次，占6.7%；12年共降雨6,950.9毫米，发生径流的降雨只有2,067.7毫米，占29.7%。这说明一般的降雨不会发生径流，能产生径流的都是较高强度降雨。由于黄土质地疏松，一旦有径流发生，必将引起土壤侵蚀，所以把能使坡面上开始产生径流的降雨作为确定暴雨标准的原则是合理的。试验结果表明，当坡面上开始发生细沟侵蚀时，侵蚀量也开始有明显的增加，因此，我们还可以把能使坡面上开始产生细沟侵蚀的降雨作为划分普通暴雨及大暴雨的标准。按照上述标准所确定的暴雨，都称为土壤侵蚀暴雨。

当降雨强度及下垫面情况不同时，开始发生径流的时间是完全不一样的，所以必须通过大量试验资料的统计分析，才能确定暴雨标准。为此，我们进行了一系列模拟降雨试验。

三、试验对下垫面条件的选择

黄土高原地区梁峁坡的坡度一般在 14° — 28° 之间，约占沟间地的75%以上。沟间地主要是农地，沟谷地中也有相当一部分农地，土壤侵蚀的危害也以农地最为严重。所以以 14° — 28° 的农地作为确定土壤侵蚀暴雨标准的下垫面条件，是有代表性的。从另一方面来说，为了保持土壤免遭最低限度的侵蚀，应把最容易受到侵蚀的情况作为下垫面条件。据曹银真等人研究， 26° 左右的坡度是降雨侵蚀的侵蚀量随坡度发生变化的极值点，在此坡度条件下试验后所获得的标准，应是最低土壤侵蚀暴雨标准。考虑到我们以前所做试验，在这个坡度上进行的很少，多数资料（我们要用到由这些资料得出的结果）都是在 20° 条件下获得。另外， 26° 比 20° 只增加了 6° ，且侵蚀量随坡度在这个范围内没有突变（ 15° 左右发生突变），因此，不论采用哪种坡度条件，所得标准差别不大，故选择 20° 的坡度进行试验。

从植被方面来说，农地上大面积种植的农作物，即使在生长最茂盛的季节，覆盖度也只不过是20—30%，对防止土壤侵蚀的作用不很显著。再考虑到最低土壤侵蚀暴雨标准，所以完全可以在裸露农地上进行试验。

由于黄土高原土壤侵蚀速度远远大于成土速度，土壤剖面层次都已被侵蚀殆尽，大部分为与黄土母质极其相似的幼年土。这种土壤的结构很差，极易遭受侵蚀，所以在这种土壤条件下所确定的标准，从土壤方面来说本身就是最低标准。黄土母质主要是由风搬运来的，不是原生的，也可以说是一种扰动土，加之农地常被翻耕，因此采用扰动的黄土母质做试验，这与黄土高原农地表层土壤非常近似。鉴于此，我们选择了 20° 的无覆盖的垫有均一黄土母质的小区，作为下垫面条件进行模拟降雨试验。

四、试验方法及结果

试验共设面积为 $5 \times 1.5 = 7.5$ 平方米的三个小区，轮流进行，每次降雨之前将小区表层土壤翻松（约30厘米深）。试验是用侧喷式模拟降雨设备进行的，降雨支架高5米，雨滴上喷高1.5米，雨滴落到地面的高度为6.5米。降雨在无风的情况下进行，每次降雨之前都要率定降雨强度（具体方法略），正式开始试验后只记录降雨开始时间和开始产流的时间（以下将此时段称为起流历时），当坡面上一开始产生径流即停止降雨，则预先率定好的降雨强度，就是此起流历时的模拟降雨的土壤侵蚀暴雨标准。这样，通过改变不同的孔板直径和压力（即有不同的降雨强度），

就有不同的起流历时，试验结果如表 1。

五、暴雨标准的确定

(一) 试验结果的回归分析。将试验所得数据点绘在方格坐标纸上(图 1)。根据散点图的分布趋势按幂函数曲线进行分析，得出回归方程为：

$$i = 3.550t^{-0.527} \quad (1)$$

式中：i 为降雨强度(毫米/分)；

t 为起流历时(分)；

相关系数 $r = -0.945$

以式(1)中的计算结果为纵坐标，以相应的实际观测值 i 为横坐标，将表 1 数据点绘成图 2。从图 2 可以看出，计算结果与实际观测结果比较接近，说明式(1)能反映出降雨强度与起流历时之间的关系。

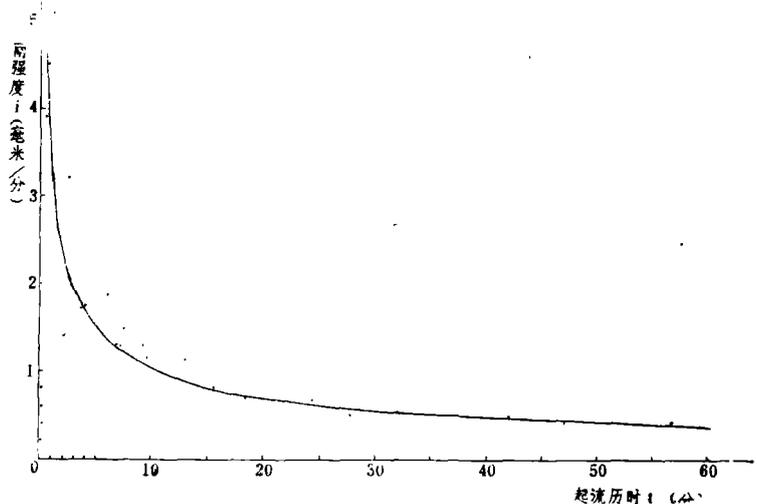


图 1 模拟降雨试验结果散点图

表 1 模拟降雨试验结果及雨强观测值与计算值比较

起流历时 t (分)	雨强 i (毫米/分)	雨量 h (毫米)	i (计算值)	起流历时 t (分)	雨强 h (毫米/分)	雨量 (毫米)	i (计算值)
0.61	4.519	2.76	4.606	7.1	1.320	9.46	1.257
0.63	3.971	4.55	4.529	7.77	1.496	11.62	1.205
1.00	5.510	5.51	3.550	9.00	1.600	11.70	1.115
1.95	1.548	3.02	7	9.50	1.130	10.74	1.084
2.50	3.200	8.00	2.190	10.13	0.807	8.17	1.048
2.91	1.418	4.13	2.022	10.14	0.783	7.94	1.047
3.50	2.090	7.32	1.834	13.00	1.120	14.56	0.919
3.56	1.628	5.80	1.818	15.86	0.807	12.80	0.827
3.59	1.695	6.09	1.810	18.49	0.704	13.02	0.763
3.90	1.486	5.80	1.733	19.42	0.965	18.74	0.744
4.00	1.762	7.05	1.710	24.52	0.682	16.72	0.658
4.50	1.590	7.16	1.607	27.57	0.527	14.53	0.618
5.00	1.890	9.45	1.520	42.76	0.481	20.57	0.491
6.85	1.319	9.04	1.288	56.65	0.418	23.68	0.423

(二) 暴雨标准历时区间上限的确定。暴雨一定要反映出不同时段降雨量，对于土壤侵蚀暴雨标准来说，究竟最长历时定为多少才符合实际，这也是需要研究的。对野外观测及统计表明，引起黄土高原严重土壤侵蚀的暴雨，主要是历时在 30 分钟以内的短历时暴雨。我们从确定土壤侵蚀

最低暴雨标准出发，把历时定为60分钟。在各地观测资料中所遇到的长历时暴雨，往往是一些降雨强度不同的短历时暴雨的组合，通过对短历时暴雨的统计，即可将所有暴雨包括在内。当然也有强度很小（60分钟以内达不到标准），历时很长的降雨，并能在坡面上产生径流，引起侵蚀（按照我们对暴雨标准的确定原则，也应属于暴雨），但侵蚀很微弱，后果不严重，所以我们不把这种降雨作为土壤侵蚀暴雨考虑。

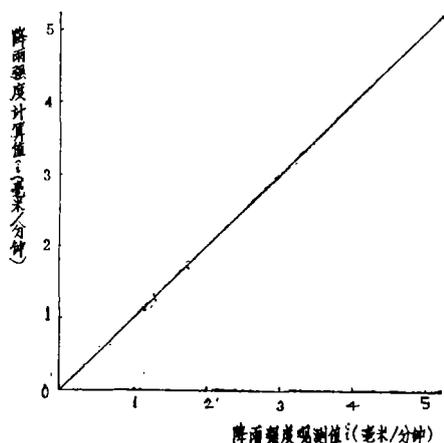


图2 降雨强度观测值与计算值比较

这样，按照式(1)计算，即可得到历时在60分钟以内不同时间段的模拟降雨的暴雨标准(表2)。

(三)模拟降雨的暴雨标准转化为天然降雨的暴雨标准。直径大小不同的雨滴，为要达到相应的终点速度，需要不同的降落高度，雨滴愈大，所需的降落高度也愈大。如果使所有的雨滴都接近于终点速度，必须的最小高度为10米。在我们的试验条件下，一些雨滴达不到终点速度，雨滴动能偏小，因此，不能将模拟降雨所得的标准直接作为天然降雨的暴雨标准。

最小高度为10米。在我们的试验条件下，一些雨滴达不到终点速度，雨滴动能偏小，因此，不能将模拟降雨所得的标准直接作为天然降雨的暴雨标准。

表2 模拟降雨的暴雨标准

历时t (分)	雨强i (毫米/分)	雨量h (毫米)	历时t (分)	雨强i (毫米/分)	雨量h (毫米)
0.5	5.115	2.56	15.0	0.852	12.78
1.0	3.550	3.55	20.0	0.732	14.64
2.0	2.464	4.93	25.0	0.651	16.28
3.0	1.990	5.97	30.0	0.591	17.73
4.0	1.710	6.84	40.0	0.508	20.32
5.0	1.520	7.60	50.0	0.452	22.60
10.0	1.055	10.55	60.0	0.410	24.60

按照我们这次试验后得出的起流历时与降雨强度关系式(1)计算出不同起流历时的降雨强度及降雨量，并按式(4)计算出相应历时的降雨总动能(见表3)。从表3可以看出，起流历时与该历时的降雨总动能成正相关关系，也即起流历时愈长，所需的降雨总动能愈大。那么，相同的历时起流，则所需的降雨总动能就必然要相同，这样，我们只要令某一起流历时的模拟降雨总动能等于该历时的天然降雨的总动能，就可以求出相应于该起流历时的天然降雨强度，计算如下：

$$\text{已知 } E_1 = 10.375i_1^{0.662} \quad (2)$$

$$E_2 = 23.49i_2^{0.27} \quad (3)$$

式中： E_1 为模拟降雨的雨滴动能(焦耳/平方米/毫米降雨)

E_2 为天然降雨的雨滴动能(焦耳/平方米/毫米降雨)

此二式是在大量试验、观测及资料整理的基础上得出的经验公式。

$$\text{又知 } E_3 = E_1 \cdot h_1 - 10.375i_1^{0.662}h_1 \quad (4)$$

$$E_4 = E_2 \cdot h_2 - 23.49i_2^{0.27} \cdot h_2 \quad (5)$$

表 4

黄土高原土壤侵蚀暴雨标准

历时t (分)	雨强i (毫米/分)	雨量 h (毫米)	历时t (分)	雨强i (毫米/分)	雨量 h(毫米)
0.5	3.914	1.96	15.0	0.431	6.47
1.0	2.496	2.50	20.0	0.358	7.16
2.0	1.694	3.39	25.0	0.310	7.75
3.0	1.225	3.68	30.0	0.275	8.25
4.0	1.016	4.06	40.0	0.228	9.12
5.0	0.879	4.40	50.0	0.198	9.90
10.0	0.561	5.61	60.0	0.175	10.50

式中： E_3 为起流历时 t 的模拟降雨总动能（焦耳/平方米）；

E_4 为起流历时 t 的天然降雨总动能（焦耳/平方米）；

i_1 为起流历时 t 的模拟降雨强度（毫米/分）；

i_2 为起流历时 t 的天然降雨强度（毫米/分）；

h_1 为起流历时 t 的模拟降雨量（毫米）；

h_2 为起流历时 t 的天然降雨量（毫米）。

$$\begin{aligned} \text{令 } E_3 = E_4 = 23.49i_2^{0.27} \cdot h_2 = 23.49i_2^{0.27} \cdot i_2 t \\ = 23.49i_2^{1.27} \cdot t \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{整理后得: } i_2 = 10^{\frac{\lg E_3 - \lg 23.49 - \lg t}{1.27}} \quad (7)$$

其计算结果见表 3，其中 1、5、6 栏之组合就是天然降雨的土壤侵蚀暴雨标准，整理为表 4。

六、结束语

我们把黄土高原地区的几种暴雨标准，与我们拟定的标准进行对比（表 5），可以看出，我们的标准与其他各种暴雨标准大体接近；特别是与王万忠的标准相比，虽然各历时的雨量稍微小一点，但变化趋势非常一致（各个历时的雨量差值都是约 1.5 毫米）。王万忠拟定的标准，是从土壤侵蚀的角度出发，在收集天然降雨资料并进行统计分析的基础上得出的（但人为地认为暴雨引起的土壤侵蚀量应占这一地区土壤流失总量的 90%）。我们的标准也是从土壤侵蚀的角度出发，但是在模拟降雨试验的基础上得出的，二者变化趋势非常一致。这说明我们试验的结果是可靠的。

确定暴雨标准是一项很复杂的工作，这只是我们的初次尝试，很不完善，而且由于时间仓促，未能确定出划分普通暴雨与大暴雨的标准。另外，尽管我们对试验的下垫面条件进行了论证，但毕竟跟野外有别。我们正在进行野外人工模拟降雨试验，今后我们将根据野外试验的结果对暴雨标准进行校正。

表 3

模拟降雨标准转化天然降雨标准计算表

起流历时 t (分)	历时 t 的模拟降雨强度 i_1 (毫米/分)	历时 t 的模拟降雨量 n_1 (毫米)	历时 t 的模拟降雨总动能 E_1 (焦耳/平方米)	历时 t 的天然降雨强度 i_2 (毫米/分)	历时 t 的天然降雨量 h_2 (毫米)
0.5	5.115	2.56	66.465	3.914	1.96
1.0	3.550	3.55	75.065	2.496	2.50
1.5	2.867	4.30	80.638	1.919	2.88
2.0	2.464	4.93	84.904	1.694	3.39
2.5	2.190	5.48	88.327	1.379	3.45
3.0	1.900	5.97	91.186	1.225	3.68
3.5	1.834	6.42	93.661	1.108	3.88
4.0	1.710	6.84	95.938	1.016	4.06
4.5	1.607	7.23	97.930	0.941	4.23
5.0	1.520	7.60	99.773	0.879	4.40
6.0	1.381	8.29	103.119	0.782	4.69
7.0	1.273	8.91	105.869	0.707	4.95
8.0	1.187	9.50	108.528	0.649	5.19
9.0	1.115	10.04	110.741	0.601	5.41
10.0	1.055	10.55	112.801	0.561	5.61
15.0	0.852	12.78	121.180	0.431	6.47
20.0	0.732	14.64	127.456	1.358	7.16
25.0	0.651	16.28	132.700	0.310	7.75
30.0	0.591	17.73	136.876	0.275	8.25
35.0	0.545	19.08	140.734	0.249	8.72
40.0	0.508	20.32	144.089	0.228	9.12
45.0	0.478	21.51	147.387	0.212	9.54
50.0	0.452	22.60	150.064	0.198	9.90
55.0	0.430	23.65	152.708	0.186	10.23
60.0	0.410	24.60	154.488	0.175	10.50

表 5

黄土高原暴雨标准的比较

标 准	历 时 (分钟)								
	5	10	15	20	25	30	40	50	60
方正三	2.5	3.80	4.95	6.00	7.25	8.10	9.60	11.00	12.0
刘尔铭	2.3	3.40	4.40	5.40	6.50	7.50	8.80	9.80	10.8
张汉雄	3.9	5.50	6.70	7.70		9.50			13.4
徐在庸	3.0	4.00				6.50			7.5
王万忠	5.8	7.10	8.00			9.70			11.9
本 文	4.4	5.61	6.47	7.16	7.75	8.25	9.12	9.90	10.5

参 考 文 献

- [1] 周佩华等：“降雨能量的试验研究初报”，《水土保持通报》，1981年第1期。
- [2] 刘尔铭：“黄河中游降水特性初步分析”，《水土保持通报》，1982年第1期。
- [3] 曹银真：“黄土地区梁峁坡的坡地特征与土壤侵蚀”，《地理研究》，1983年第3期。
- [4] 方正三等：《黄河中游黄土高原梯田的调查研究（二、暴雨）》，科学出版社，1958年。
- [5] 张汉雄：“黄土高原的暴雨特性及其分布规律”，《地理学报》1983年第4期。
- [6] 么枕生：《气候统计（§ 8暴雨）》，科学出版社，1963年。
- [7] 王万忠：“黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究”，《水土保持通报》，1983年第4期和1982年第2期。
- [8] 中国科学院数学研究所数理统计组：《回归分析》，科学出版社，1957年。

SOIL EROSION STORM RAINFALL STANDARD IN THE LOESS PLATEAU

Zhou Peihua Wang Zhanli

(Northwest Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica)

Abstract

Storm rainfall is a key and dynamic factor to erode soil in the Loess Plateau. Usually, serious soil erosion on the Loess Plateau is caused by a few storm rainfall. Hence, studying storm rainfall standard and further making storm rainfall division in the Loess Plateau are of great significance for soil and water conservation planning in the Loess Plateau. Though several storm rainfall standards in the Loess Plateau were made before, it cannot utterly meet the needs of soil and water conservation works fully because they mainly paid attention to flood prevention and scarcely to soil erosion. In this paper, we develop the storm rainfall standard in the consideration of soil erosion, that is, soil erosion storm rainfall standard in the Loess Plateau by simulated rainfall. Here, storm rainfall is defined as the rainfall because of which runoff appears on the slopes, and storm rainfall is subdivided into common storm rainfall which cannot cause rills on the slopes and heavy storm rainfall which can cause rills.

Experiments were made on the plot ($5 \times 1.5 = 7.5\text{m}^2$) which uniform loess parent material, 20 degree of slope and no vegetation by lateral sprinkling rainmaker. Based on statistic analysis and energy conversion of experimental result, soil erosion storm rainfall standard for the natural rainfall in the Loess Plateau is made (tab.4).