

# 黄土高原降雨因素对土壤侵蚀的影响

王占礼<sup>1</sup> 邵明安<sup>1</sup> 常庆瑞<sup>2</sup>

(1 中国科学院、水利部水土保持研究所, 2 西北农业大学资环系, 陕西杨凌 712100)

**摘 要** 根据调查和模拟降雨试验资料分析, 黄土高原地区降雨是影响土壤侵蚀的最重要因素之一。水土流失主要是由少数几次大雨或暴雨所引起, 大多数的降雨一般不产生地表径流; 能够引起水土流失的土壤侵蚀暴雨标准随雨强和历时而异;  $EI_{30}$  是较适用的降雨侵蚀力指标, 各种降雨特征值具有明显的空间分布规律。

**关键词** 黄土高原, 土壤侵蚀, 降雨特征

**分类号** S157.1

降雨是引起黄土高原土壤侵蚀的主要动力, 也是影响该区土壤侵蚀过程的最重要因素之一<sup>[1~18]</sup>。与水土流失关系比较密切的降雨特征参数有降雨量、降雨强度及降雨侵蚀力等<sup>[15~19]</sup>, 本文主要论述黄土高原这些降雨特征对土壤侵蚀的影响。

## 1 年降雨量

从全球宏观角度看, 年降雨量较少的地区, 由于地面径流和降雨直接引起的侵蚀都较少, 土壤侵蚀(主要指水蚀)比较轻微; 年降雨量大于 1 000 mm 的地区, 一般又有茂密的森林植被, 土壤侵蚀也不严重。只有在年降雨量中等的地区, 不但降雨的侵蚀能力较强, 且植被覆盖又达不到抵御侵蚀作用的程度, 所以最严重的土壤侵蚀通常出现在这些地区。黄土高原年降雨量 200~700 mm, 非常有利于土壤侵蚀的发生发展<sup>[1, 2, 4, 7~10]</sup>。黄土高原土壤侵蚀严重的地区(年输沙模数  $10\ 000\ t \cdot km^{-2}$  以上)大致呈东北-西南走向的条带, 斜穿黄土高原中部, 主要分布在年降雨量 400~500 mm 的地区。年降雨量大于 500 mm 的南部和小于 400 mm 的西北部, 土壤侵蚀强度都较上述中部地区小<sup>[2, 7, 8]</sup>。

年降雨量的多少, 不仅影响土壤侵蚀的强度和特征, 并且是水土保持治理措施设计的主要参考数据, 特别是林草措施的配置, 树种草种的选择, 主要决定于年降雨量。黄土高原的年降雨量由东南向西北逐渐减少<sup>[20, 21]</sup>, 同时受地形的影响, 突兀于高原面上的土石山地与其周围相比, 降雨量明显增高, 一般高出周围平地 100~300 mm(见表 1)。

根据年降雨量和土壤侵蚀的强弱, 可分为三个区: ①多雨量区。本区位于黄土高原东南部, 年降雨量 500~700 mm, 植被覆盖较好, 生产条件较为优越, 土壤侵蚀相对轻微, 一般年输沙模数在  $500\ t \cdot km^{-2}$  以下。但是该区植被一旦遭受破坏, 在地形起伏地区土壤侵蚀急剧增强。因此, 这一地区要特别强调现有植被保护, 防止人为破坏活动发生。②中雨

收稿日期 1997-05-22; 修改稿收到日期 1998-03-05

课题来源 中国科学院资源与生态环境研究重大项目, KZ951-B1-211; 黄委会水土保持科研基金项目, 95-04-01; 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金资助项目, 96W016

作者简介 王占礼, 男, 1960年生, 副研究员

量区。本区位于多雨量区之西北,年降雨量 300~500 mm,大部分为砂黄土所覆盖的黄土丘陵,地面破碎,坡度较大,且夏季多暴雨,是黄土高原土壤侵蚀最严重的地区。由于受年降雨量的限制,本区大片造林存在一系列问题,只能营造防护林,实行封沟育草,并配合人工播种牧草等,加速恢复自然植被,减轻土壤侵蚀。③少雨量区。少雨量区位于黄土高原西北部,年降雨量 300 mm 以下,由于地形较为平缓,地表径流缺乏,土壤侵蚀中的水蚀较弱,受干旱多风气候的影响,土壤风蚀比较严重。防风固沙是水土保持的中心工作。

表 1 山地与平原降水量对照

mm

山 地	降 水 量	平 原	降 水 量	山 地	降 水 量	平 原	降 水 量
乌鞘岭	416.6	景泰	184.8	贺兰山	429.8	贺兰	193.1
华家岭	514.7	静远	239.8	六盘山	6876.9	平凉	511.2
华山	902.6	华县	586.1	五台山	966.3	繁峙	415.1

## 2 汛期雨量

黄土高原是典型的大陆性季风气候,降雨的年内分配很不均匀,各地汛期(全为单汛,多数在 6~9 月)雨量均超过年雨量的 50%,绝大部分地区在 65% 以上,有的高达 80%,形成明显的干湿季节<sup>[19-21]</sup>。再加上汛期降雨往往以高强度的暴雨形式降落,所以引起严重的土壤侵蚀。根据对天水水土保持试验站 1945~1993 年的径流小区资料的统计分析,汛期 4 个月的雨量占年雨量的 64.8%,而同期的径流量占年径流量的 80.2%,侵蚀量占年侵蚀量的 83.8%。有时一次降雨所引起的土壤侵蚀,可以占到年侵蚀量的 50% 以上。可见黄土高原的土壤侵蚀主要集中在汛期。

黄土高原汛期降雨量的地区分布,与年降雨量的分布基本相似,也具有由东南向西北减少的规律,从东南的 400 mm 向西北减至 150 mm。而汛期雨量占年降雨量百分比的地区分布,则具有从南向北增大的趋势。根据汛期雨量占年雨量的百分比分为三个区:①低值区。分布在黄土高原的最南部,包括关中盆地及其周围的部分地区。该区汛期雨量占年雨量的 50%~60%。②中值区。主要包括陇中南部、陇东大部、陕北南部、晋南和豫西北。该区汛期雨量占年雨量的 60%~70%。③高值区。包括中值区以北的广大地区,一般汛期降雨量占年降雨量的 70%~80%。其中以内蒙的伊金霍洛旗最高,达 94%。

汛期雨量占年降雨量的百分数反映了降雨的不均匀性,在某种程度上可表明该地区相对降雨强度,因此也是影响土壤侵蚀强弱的一个重要因素。根据不同地区土壤侵蚀方面的资料分析,随着汛期雨量占年百分数的增大,土壤侵蚀强度也有增大的趋势。

## 3 土壤侵蚀暴雨

在黄土高原,严重的土壤侵蚀往往是由少数几次大雨或暴雨所引起,大多数的降雨不发生地表径流。根据对天水径流小区观测资料统计,13 年共降雨 1226 次,其中发生径流的降雨只有 82 次,占总降雨次数的 6.7%,平均每年仅 6.3 次。由于黄土疏松,一旦有地表径流发生,就会引起严重的土壤侵蚀。什么样的降雨能引起土壤侵蚀或严重的土壤侵蚀? 研究认为<sup>[13,15,16,22-25]</sup>在一定下垫面情况下,降雨能否产生径流,决定于降雨强度和降

雨历时两个因素;对于不同强度的降雨,开始发生地面径流的时间是不同的,所以,能引起地面径流的降雨强度标准是一个随降雨历时不同而变化的变量。1985年以来作者进行了一系列模拟降雨试验,经过对试验结果的统计分析,得到黄土高原能引起地面径流的降雨(土壤侵蚀暴雨)标准<sup>[23]</sup>如表 2。该标准实际上是一组在裸露农耕地上能引起土壤侵蚀的降雨临界值。

表 2 黄土高原土壤侵蚀暴雨标准

历时 /min	降雨强度 /mm·min <sup>-1</sup>	雨量 /mm	历时 /min	降雨强度 /mm·min <sup>-1</sup>	雨量 /mm
5	0.880	4.40	50	0.198	9.90
10	0.562	5.62	60	0.176	10.56
15	0.432	6.48	90	0.135	12.15
20	0.358	7.16	120	0.112	13.44
25	0.310	7.75	180	0.086	15.78
30	0.276	8.28	240	0.072	17.28
40	0.229	9.16	> 240	0.072	~

根据黄土高原有代表性的 16 个台站 30 年的自记雨量资料按表 2 标准统计分析得出:各地多年平均每次土壤侵蚀暴雨强度比较一致,略显出东部及中北部大,西南部较小的趋势。多年平均年总土壤侵蚀暴雨次数,由东南向西北减少。但年际分布很不均匀,各地无土壤侵蚀暴雨年数占统计年数的百分比平均为 2.58%,最多的占 23.33%。各地年最多土壤侵蚀暴雨次数平均为 10.56 次,最多的 15 次。年内分配则集中在 6~9 个月,最早为 4 月,最迟为 10 月,尤其高度集中于 7、8 两个月,约占总数的 70%。

根据各地年土壤侵蚀暴雨总动能的差异,可将黄土高原分为三个区域:①高能量区。位于黄土高原东南部,年土壤侵蚀暴雨总动能  $1500 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  以上,最大为  $2363 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 。年平均土壤侵蚀暴雨次数 6.3 次,在统计年中每年都有土壤侵蚀暴雨发生。②中能量区。位于高能量区西北,年土壤侵蚀暴雨总动能达  $1000 \sim 1500 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ,年平均土壤侵蚀暴雨次数 4.53 次。无土壤侵蚀暴雨的年份占 1.58%。③低能量区。位于黄土高原西北缘,年土壤侵蚀暴雨总动能小于  $1000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ,平均为  $534 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ,年平均土壤侵蚀暴雨次数 1.83 次。无土壤侵蚀暴雨年数平均占 10.86%,最多的地方为 23.33%。本区短历时土壤侵蚀暴雨所占比例与其他两区相比显著减少,而大于 4 h 的长历时土壤侵蚀暴雨所占比例明显增多。

通过对延安、绥德、子洲等地引起土壤侵蚀的 210 场暴雨资料,根据雨量大小分为 9 个量级,统计结果显示,较严重的土壤侵蚀,一般都是由 40~60 mm 的降雨所引起<sup>[15,16]</sup>。因此,可初步认定,在黄土高原日雨量  $\geq 50 \text{ mm}$  的降雨一般都能引起较严重的土壤侵蚀。

## 4 大暴雨

黄土高原是发生大暴雨频率较高的地区之一。大暴雨雨区常呈东西带状分布,笼罩面积 5~15 万  $\text{km}^2$ ,日降雨量 100~150 mm,最大达年均降雨量的 0.5~4.0 倍。表 3 为黄土高原几次有代表性的大暴雨,由于这种大暴雨的雨量和雨强都很大,所造成的土壤侵蚀极为严重,并使黄河干支流输沙量大幅度增加。

表 3 黄土高原 60 年大暴雨统计

暴雨中心	时间	雨量 /mm	暴雨中心	时间	雨量 /mm
内蒙乌审旗	1977-08-01	1 400	山西霍县	1970-08-10	600
陕西神木	1971-07-24	408.7	山西夏县	1969-08-21	400
山西平遥	1977-08-04~ 5	365	山西静东	1977-06-17	300
宁夏泾源	1977-06-17	300	甘肃环县	1933-08-06~ 10	300
陕西清涧	1933-08-06~ 10	244	陕西旬邑	1960-07-04	298
陕西清涧	1977-08-04~ 5	280	山西朔县	1962-07-05	250
甘肃西峰	1988-07-23	240	陕西安塞	1977-07-04~ 5	229
陕西彬县	1954-09-02	215	陕西子洲	1971-07-23	212.6
青海湟中	1977-08-01	200			

1960年 7月 4,5日,陕西旬邑县以职田镇为中心的暴雨,历时 8 h,中心降雨量 298 mm,雨区覆盖泾河支流三水河流域,7月 5日刘家河水文站实测输沙量 797.5万 t,占当年输沙量的 9% 以上。1933年 8月 6~ 10日,黄土高原出现特大暴雨,笼罩范围南起秦岭,北至无定河,西抵渭河上游,东达汾河流域;暴雨中心雨量 300 mm 以上。由于本次暴雨覆盖面积大,持续时间长,使黄土高原发生强烈土壤侵蚀,1933年陕县水文站年输沙量高达 39.1亿 t,为该站多年平均输沙量的 2.44倍。

## 5 降雨侵蚀力

降雨侵蚀力是引起土壤侵蚀的潜在能力,它是降雨物理特征值的函数,直接决定土壤侵蚀的程度。在土壤侵蚀过程中,首先是雨滴直接打击土体,引起溅蚀,分散土粒;其次是超渗径流引起的冲刷,坡面产生径流以后,雨滴仍继续打击坡面水流,增加径流的紊动性。同时,径流强度和径流量又决定于降雨强度和土壤渗透速度。所以,土壤侵蚀是一个很复杂的过程,通过某些降雨特征值也只能近似地计算出降雨侵蚀力的数值。

大量试验研究资料表明,降雨侵蚀力与雨滴动能和降雨强度二者的乘积呈明显的正相关<sup>[26-30]</sup>。经过相互比较认为,在黄土高原,雨滴动能与 30 min 最大降雨强度的乘积(即  $EI_{30}$ )是较适用的降雨侵蚀力指标。

## 参 考 文 献

- 1 朱显谟.黄土高原水蚀的主要类型及其相关因素.水土保持通报,1981,1(3): 1~ 9
- 2 唐克丽.黄土高原水土流失与土壤退化的研究.水土保持通报,1987,7(6): 12~ 18
- 3 唐克丽.土壤侵蚀的研究及其展望.水土保持通报,1984,4(5): 1~ 5
- 4 唐克丽.杏子河流域的土壤侵蚀方式及其分布规律.水土保持通报,1984,4(5): 10~ 19
- 5 贾绍凤,梁季阳.黄土高原降雨、径流、产沙相互关系的研究.水土保持学报,1992,6(3): 42~ 48
- 6 赵鸿雁,李 靖.影响水土流失主要因子的研究.水土保持研究,1995,2(1): 99~ 104
- 7 杨文治,余存祖主编.黄土高原区域治理与评价.北京:科学出版社,1992: 298~ 346
- 8 西北水土保持研究所主编.黄土高原综合治理试验示范区专题地图集.北京:测绘出版社,1991: 236~ 255
- 9 陕西省土壤普查办公室.陕西土壤.北京:科学出版社,1992: 583~ 628
- 10 李佩成主编.黄土高原的治理与开发.陕西:陕西人民出版社,1993: 59~ 81
- 11 王万忠,焦菊英.黄土高原降雨侵蚀产沙数据图集.西安:西安地图出版社,1998: 1~ 8

- 12 刘 志,江忠善.降雨因素和坡度对片蚀影响的研究.水土保持通报,1994,14(6): 19~ 22
- 13 王万忠,焦菊英.中国的土壤侵蚀因子定量评价研究.水土保持通报,1996,16(5): 1~ 20
- 14 孙保平.USLE在西吉县黄土丘陵沟谷区的应用.西北水土保持研究所集刊,1990,(12): 50~ 58
- 15 王万忠.关于黄土高原降雨—侵蚀产沙关系研究的几个问题.土壤侵蚀环境调控与农业持续发展.西安:陕西人民出版社,1995. 35~ 39
- 16 王万忠.黄土高原侵蚀产沙强度、面积、数量间相互关系的统计分析.土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1): 54~ 60
- 17 贾志伟,江忠善.降雨特征与水土流失关系的研究.西北水土保持研究所集刊,1990,(12): 9~ 15
- 18 马延庆.邢家沟流域降雨特征与土壤侵蚀关系的分析.水土保持通报,1996,16(4): 19~ 22
- 19 张汉雄.黄土高原的暴雨特性及其分布规律.地理学报,1983,(4): 17~ 23
- 20 宋桂琴主编.黄土高原土地资源研究的理论与实践.北京:中国水利水电出版社,1996. 16~ 34
- 21 王玉宽,王占礼.黄土高原坡面降雨产流过程的试验分析.水土保持学报,1991,5(2): 25~ 31
- 22 周佩华,王占礼.黄土高原土壤侵蚀暴雨的研究.水土保持学报,1992,6(3): 1~ 5
- 23 周佩华,王占礼.黄土高原土壤侵蚀暴雨标准.水土保持通报,1987,7(1): 38~ 44
- 24 薛汉文.乾县枣子沟流域暴雨侵蚀研究.干旱地区农业研究,1995,3(2): 126~ 131
- 25 梁季阳.黄土高原暴雨径流及产沙的分析与模拟.水土保持学报,1992,6(2): 12~ 16
- 26 郑粉莉,白红英.子午岭林区不同地形部位开垦裸露地降雨侵蚀力的研究.水土保持学报,1994,8(1): 26~ 32
- 27 王占礼,焦菊英.黄土高原长历时土壤侵蚀暴雨标准初探.水土保持通报,1992,12(3): 26~ 28
- 28 王万忠.黄土地区降雨侵蚀力 R 指标的研究.中国水土保持,1987(12): 34~ 38
- 29 贾志军.晋西黄土丘陵降雨侵蚀力 R 指标的确定.中国水土保持,1991(1): 43~ 36; 1991(2): 19~ 22
- 30 杨开宝,郭培才.陕北丘陵沟谷区降雨侵蚀力指标研究.水土保持通报,1994,14(5): 31~ 35

## Effects of Rainfall Factors on Soil Erosion in Loess Plateau

Wang Zhanli<sup>1</sup> Shao Ming'an<sup>1</sup> Chang Qingrui<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

2 North western Agricultural University, YangLing, Shaanxi 712100)

**Abstract** Based on field investigation and analyses on the data obtained from simulated rainfall experiments, soil erosion is heavily affected by rainfall and are mainly caused by a few of heavy rain in Loess Plateau. There is no surface runoff in most cases when rained. The standard of soil erosion rainstorm was drew up preliminarily. Discussion is made on spatial distribution of various rainfall features.

**Key Words** Loess Plateau, soil erosion, rainfall feature