

# 红壤坡地侵蚀性降雨及降雨动能分析<sup>\*</sup>

郑海金<sup>1</sup>, 杨洁<sup>1</sup>, 左长清<sup>2</sup>, 喻荣岗<sup>1</sup>, 张华明<sup>1</sup>, 张龙<sup>1</sup>

(1. 江西省水土保持科学研究所, 南昌 330029; 2. 水利部水土保持生态工程技术研究中心, 北京 100044)

**摘要:** 侵蚀性降雨标准的确定、降雨动能的科学测算以及侵蚀性降雨和降雨动能特征的分析, 是开展降雨侵蚀力研究和土壤侵蚀预测预报的基础, 而目前针对红壤坡地的系统研究还较为鲜见。通过气象观测站与标准径流小区连续 5 a 的实测资料, 采用 80% 经验频率法确定了江西红壤坡地侵蚀性降雨标准, 其中雨量标准为 9.97 mm, 雨强标准为 0.756 mm/h; 在此基础上计算了侵蚀性降雨和侵蚀性降雨动能, 并分析了侵蚀性降雨及其动能的时间变异规律。结果表明: 侵蚀性降雨场次不多, 仅占总降雨场次的 25.85%, 但雨量大强度高; 侵蚀性降雨及其动能时间分配不均, 主要集中在 4—9 月, 分别占全年的 74.51% 和 75.37%。最后建立了降雨动能简易估算方法, 这对探讨江西红壤坡地降雨侵蚀力和土壤侵蚀预报模型具有积极的意义。

**关键词:** 红壤坡地; 侵蚀性降雨; 降雨动能

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0030-04

## Analysis of the Erosive Rainfall and Rainfall Erosion Energy on Red-soil Slopeland

ZHENG Hai-jin<sup>1</sup>, YANG Jie<sup>1</sup>, ZUO Chang-qing<sup>2</sup>,

YU Rong-gang<sup>1</sup>, ZHANG Hua-ming<sup>1</sup>, ZHANG Long<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China; 2. Research Center on Soil and Water Conservation of the Ministry of Water Resources, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Establishing rainfall standard of soil erosion, calculating rainfall erosion energy and analyzing their characteristics are important to the studies on rainfall erosivity and erosion prediction. However, these studies on red-soil slopeland are comparable less. By analyzing experiment data through the climate observation station and the bareness runoff plot during 5 years, the erosive rainfall standard on red-soil slopeland in Jiangxi province is established, and that is 9.97 mm and 0.756 mm/h. Then, the erosive rainfall and its energy are calculated and their distribution regulars in time are studied. It is shown that the number of erosive rainfall is only 25.82 percent during experimental period, but precipitation and rainfall intensity are higher. The erosive rainfall and rainfall erosion energy are variety in yearly, seasonal and monthly distribution, and all mainly distributes between April and September, accounting for 74.51% and 75.37% respectively among one year. Last, the equation of rainfall erosion energy and precipitation was induced for estimating evaluates. This study is important to research the rainfall erosivity and establish soil loss equation in this region.

**Key words:** red-soil slopeland; erosive rainfall; rainfall erosion energy

降雨是引起土壤侵蚀的重要影响因子<sup>[1-5]</sup>, 但并不是所有的降雨事件都能够引起土壤侵蚀, 能够导致土壤侵蚀的那部分降雨事件被称为侵蚀性降雨。将发生侵蚀和不发生侵蚀的降雨区分开来的临界降雨参数值, 称为侵蚀性降雨标准。侵蚀性降雨标准

的确定及侵蚀性降雨特征分析对降雨侵蚀力的研究和土壤侵蚀预测预报具有重要意义。降雨动能( $E$ )是衡量雨滴击溅作用的最好指标<sup>[6]</sup>, 通常降雨动能计算是由动能与雨强的统计关系间接计算, 这也是计算降雨动能的基本方法。由于  $E$  值的计算需要

\* 收稿日期: 2008-11-17

基金项目: 江西省科技支撑项目“红壤坡地生态农业减灾技术研究”

作者简介: 郑海金(1978-), 女, 江西临川人, 硕士, 主要从事水土保持与土壤污染调控研究。E-mail: haijinzheng@163.com

完整的降雨过程资料, 并且计算极其繁琐复杂, 因此对降雨动能的简便算法进行研究亟为迫切。然而, 目前针对红壤坡地, 对侵蚀性降雨标准、侵蚀性降雨和降雨动能特征以及降雨动能简易估算进行系统研究的报道还较为鲜见。

本文利用红壤中心区域——江西省水土保持生态科技园 2001–2005 年的降雨和泥沙观测数据, 探讨红壤坡地侵蚀性降雨标准, 分析侵蚀性降雨和降雨动能的时间变异特征, 并探讨基于降雨量的降雨动能简易算法, 为进一步研究降雨侵蚀力和土壤侵蚀预测预报奠定基础。

## 1 研究区概况

试验布设在江西省水土保持生态科技园 ( $115^{\circ}23' - 115^{\circ}53' \text{ E}$ ,  $29^{\circ}10' - 29^{\circ}35' \text{ N}$ ) 内, 地处鄱阳湖水系博阳河西岸, 属亚热带季风区, 成土母质为第四纪红壤, 地貌类型为浅丘岗地, 海拔为 30~100 m, 坡度  $< 25^{\circ}$ , 是我国红壤的中心区域, 具有典型的代表意义<sup>[7]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设施

在坡度为  $12^{\circ}$  的红壤坡地布设一标准径流小区, 其水平投影面积  $100 \text{ m}^2$ , 即  $5 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ , 小区处理为全园裸露。另外, 按照气象观测要求, 建立标准气象站 1 个, 内有 2 套虹吸式自记雨量计, 用于观测各种与试验有关的降雨等气象因素。

### 2.2 研究方法

小区管理方法按《水土保持试验规范 SD239–87》部颁标准进行, 其观测内容包括降雨量、降雨历时、降雨场次和产沙量等项目, 观测期为 2001 年 1 月–2005 年 12 月。

计算侵蚀性降雨的临界雨量和临界雨强采用的是目前较为成熟的 80% 经验频率统计分析方法<sup>[5,8]</sup>。以裸露小区发生轻微及其以上等级侵蚀的降雨(雨前至少 24 h 没有降雨)作为统计样本, 5 a 观测期总计得到 43 个样本。采用 80% 经验频率法, 从点绘的雨量、平均雨强  $P$ –II 型频率曲线上查取。

计算降雨动能采用降雨动能公式:

当  $i_m \leq 76 \text{ mm/h}$  时,  $e_m = 0.119 + 0.0873 \lg(i_m)$ ; 当  $i_m > 76 \text{ mm/h}$  时,  $e_m = 0.283$ ;  $E = \sum e_m \cdot P_m$ <sup>[9]</sup>

式中:  $e_m$ ——一次降雨过程中, 某一时段的单位降雨动能 [ $\text{MJ}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ];  $i_m$ ——相应于某一时段的雨强 ( $\text{mm/h}$ );  $P_m$ ——对应时段降雨量 ( $\text{mm}$ );  $m$ ——按雨强划分的降雨时段;  $E$ ——一次降雨总动能 ( $\text{MJ}/\text{hm}^2$ )。

摘录降雨过程资料时, 降雨间歇时间在 2 h 以内的算作一次降雨, 否则按两次降雨对待。

## 3 结果与讨论

### 3.1 侵蚀性降雨标准及其特征

3.1.1 侵蚀性降雨标准 使用 80% 经验频率的分析方法求得红壤坡地侵蚀性降雨的基本雨量标准值为  $9.97 \text{ mm}$ , 基本雨强标准是  $0.756 \text{ mm/h}$  ( $n=43$ )。随后进行检验, 以引起土壤流失的所有降雨为统计分析样本, 按雨量(雨强)大小降序排列, 并将大于某一雨量( $P$ )或雨强( $I$ )产生的土壤侵蚀量逐个累加, 得到  $N$  个土壤侵蚀量( $Q$ )和总侵蚀量( $q$ ), 然后求出大于某一雨量( $P$ )或雨强( $I$ )的侵蚀累计百分比( $P_Q$ ), 点绘  $P - P_Q$  及  $I - P_Q$  关系曲线。令  $P = 9.97 \text{ mm}$ ,  $I = 0.756 \text{ mm/h}$ , 分别在  $P - P_Q$  及  $I - P_Q$  关系曲线查得  $P_Q$  值均为 99.9%。这说明雨量  $\geq 9.97 \text{ mm}$ 、雨强  $\geq 0.756 \text{ mm/h}$  的降雨所引起的土壤流失量占总流失量的 99.9%。因此, 本文中所采用的侵蚀性降雨指标为雨量  $9.97 \text{ mm}$ 、雨强  $0.756 \text{ mm/h}$ 。

3.1.2 侵蚀性降雨分布特征 根据上述确定的侵蚀性降雨标准, 分析试验区 2001–2005 年的侵蚀性降雨特征。由表 1 可知, 试验区共发生侵蚀性降雨 190 场, 历时 2 360.2 h, 降雨总量 5 699.7 mm, 平均雨强  $2.415 \text{ mm/h}$ 。这 5 a 的侵蚀性降雨量依次为 830.7 mm、1 485.1 mm、1 151.9 mm、988.8 mm、1 243.2 mm。2002 年全年侵蚀性降雨量最多, 占 5 a 总量的 26.06%; 2001 年降雨最少, 占总量的 14.57%; 其余 3 a 降雨颇为接近, 占总量的 20% 左右。从 5 a 的统计结果看, 试验区雨水资源丰富, 年际侵蚀性降雨量分配不甚均匀, 也说明年际间有丰水和枯水之分。

另外, 将降雨和侵蚀性降雨数据进行比较分析可知, 试验区发生侵蚀性降雨的场次并不多, 共计 190 场, 仅占总降雨场次(735 场)的 25.85%, 说明 3/4 的降雨并没有产生土壤侵蚀。但侵蚀性降雨雨量大, 为 5 699.7 mm, 占观测期总降雨量(7 259.1 mm)的 78.52%; 且强度高, 是总降雨平均雨强 ( $1.486 \text{ mm/h}$ ) 的 1.63 倍。

从 2001–2005 年侵蚀性降雨统计资料的年内季节分布来看(表 2), 年内侵蚀性降雨的突出特点是季节性分配不均。秋、冬季节的侵蚀性降雨场次、降雨历时、降雨量和降雨强度均明显低于春、夏季节。在春、夏两季的降雨特征值中, 侵蚀性降雨场次、降雨量、降雨历时以春季为高, 夏季次之, 但降雨强度则相反, 夏季大于春季, 说明春季多以淅淅沥

沥、绵绵细雨为主,而夏季多现疾风暴雨,其原因主要是夏季受亚热带季风影响,多见强度大、历时短的雷雨和暴雨。所以,春、夏季是洪涝灾害多发季节,也是水土流失发生的主要季节。

表 1 试验区侵蚀性降雨年度分布情况

指 标	2001	2002	2003	2004	2005	观测期
侵蚀性降雨场次/次	33	49	37	32	39	190
占总降雨场次/%	17.37	25.79	19.47	16.84	20.53	100.00
侵蚀性降雨量/mm	830.7	1485.1	1151.9	988.8	1243.2	5699.7
占总降雨量/%	14.57	26.06	20.21	17.35	21.81	100.00
侵蚀性降雨历时/h	416.9	637.5	443.5	363.9	498.4	2360.2
占总降雨历时/%	17.66	27.01	18.79	15.42	21.12	100.00
侵蚀性降雨平均雨强/(mm·h <sup>-1</sup> )	1.993	2.330	2.597	2.717	2.494	2.415

表 2 试验区侵蚀性降雨季节分配

指 标	春	夏	秋	冬	观测期
场次/次	75	66	23	26	190
占总场次/%	39.47	34.74	12.11	13.68	100.00
雨量/mm	2189.6	1997.2	926.5	586.4	5699.7
占总雨量/%	38.42	35.04	16.26	10.29	100.00
历时/h	862.1	635.15	442.12	420.85	2360.2
占总历时/%	36.53	26.91	18.73	17.83	100.00
平均雨强/(mm·h <sup>-1</sup> )	2.540	3.144	2.096	1.393	2.415

进一步分析侵蚀性降雨月分布动态规律,侵蚀

表 3 试验区侵蚀性降雨月际分配

指 标	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	观测期
侵蚀性降雨场次/场	8	13	15	31	29	27	19	20	5	9	9	5	190
占总降雨场次/%	4.21	6.84	7.89	16.32	15.26	14.21	10.00	10.53	2.63	4.74	4.74	2.63	100.00
侵蚀性降雨量/mm	168	305.6	295.6	956	938	747.8	555.7	693.7	355.8	208.7	362	112.8	5699.7
占总降雨量/%	2.95	5.36	5.19	16.77	16.46	13.12	9.75	12.17	6.24	3.66	6.35	1.98	100.00
侵蚀性降雨历时/h	117.2	223.5	163	345.4	353.8	295.5	157	182.7	87.8	134.5	219.8	80.2	2360.2
占总降雨历时/%	4.97	9.47	6.91	14.63	14.99	12.52	6.65	7.74	3.72	5.70	9.31	3.40	100.00
平均雨强/(mm·h <sup>-1</sup> )	1.433	1.367	1.813	2.768	2.651	2.531	3.539	3.797	4.052	1.552	1.647	1.406	2.415

3.2 降雨动能特征及其简易估算

3.2.1 降雨动能特征 从试验区降雨侵蚀动能的年度分布来看(图 1),除 2002 年达到 273.97 MJ/hm<sup>2</sup>,2001 年达到 149.10 MJ/hm<sup>2</sup> 两个极端外,其它各年的降雨侵蚀动能都相差不大,基本为 185.48~236.84 MJ/hm<sup>2</sup>。与侵蚀性降雨一样,试验区降雨侵蚀动能季节分配不均,春、夏两季降雨侵蚀动能为 774.09 MJ/hm<sup>2</sup>,占全期总侵蚀动能的 73.04%,而秋、冬两季降雨侵蚀动能仅占总量的 26.96%。从 5 a 的降雨侵蚀动能月际变化看出(图 2),试验区降雨侵蚀动能的产生主要集中在 4—9 月,这 6 个月的总降雨侵蚀动能分别为 176.55 MJ/hm<sup>2</sup>,174.44 MJ/hm<sup>2</sup>,137.69 MJ/hm<sup>2</sup>,101.16 MJ/hm<sup>2</sup>,132.66

性降雨年内月分布不均(表 3),特征曲线呈双峰型,侵蚀性降雨量第一峰值在 5 月份,第二峰值在 8 月份,10 月、12 月及次年 1 月侵蚀性降雨量显著减小。试验区侵蚀性降雨过程主要集中在汛期 4—9 月,这 6 个月的雨量依次为 956 mm、938 mm、747.8 mm、555.7 mm、693.7 mm 和 355.8 mm,占全期总雨量的 16.77%,16.46%,13.12%,9.75%,12.17%,6.24%。总之,研究区年内有雨季和旱季之分。

以上分析是 5 a 观测数据的总量分布情况,仅表示总体趋势。就某一年度的动态分布情况,则根据当年的降雨略有不同。

MJ/hm<sup>2</sup> 和 76.27 MJ/hm<sup>2</sup>,分别占总降雨侵蚀动能的 16.66%,16.46%,12.99%,9.54%,12.52%,7.20%,这也和侵蚀性降雨分布的规律相一致。

另外,观测中发现,降雨动能受降雨强度的影响较大。一次长历时、小强度降雨的总动能几乎可以与另一次短历时、大雨强降雨的总动能相同。如 2004 年 5 月 14 日至 16 日一场历时 1 573 min、雨强 2.31 mm/h 的降雨总动能为 1 112.75 J/m<sup>2</sup>,而 2002 年 4 月 5 日一场历时 320 min、雨强 8.93 mm/h 的降雨总动能为 1 131.43 J/m<sup>2</sup>,前次降雨的历时是后次降雨的近 5 倍,但由于后次降雨的雨强为前次降雨的近 4 倍,从而导致两次降雨的总动能几乎相同,两次总动能仅相差 18.68 J/m<sup>2</sup>。

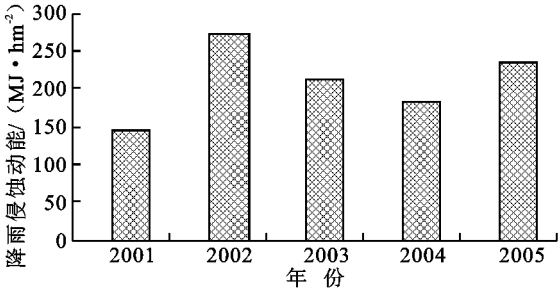


图 1 试验区观测期内降雨侵蚀动能年度分配图

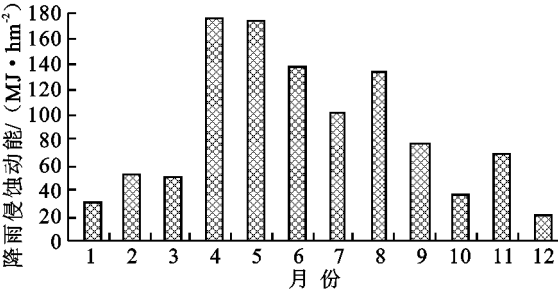


图 2 试验区观测期内降雨侵蚀动能月际分配图

3.2.2 降雨动能简易估算 由于  $E$  值的计算需要降雨过程, 而降雨过程要从自记雨量纸上查得, 分析自记雨量纸是一件极费时间的事, 因此需建立  $E$  值简易算法。将次降雨动能与该次降雨的雨量( $P$ )进行相关分析, 确定次降雨动能与次降雨量相关性极为显著(相关系数为 0.972), 并对次降雨动能和次降雨量进行回归分析, 得出:

$$E=11.26398P^{1.14111}$$

式中:  $E$ ——次侵蚀性降雨总动能( $J/m^2$ );  $P$ ——次侵蚀性降雨量( $mm$ )。

该方程的判定系数(即拟合优度)为 0.945,  $F=1147.7$ ,  $\text{sig. } F<0.01$ , 表明从统计意义上讲, 该式可作为本试验区次降雨动能  $E$  值的简便算式。对于缺乏降雨过程记录的地方, 可采取上述简易公式计算  $E$  值。

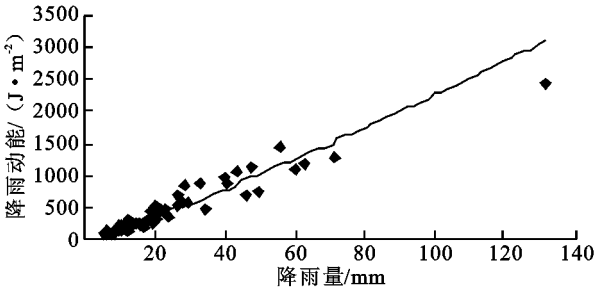


图 3 降雨动能与降雨量回归曲线

4 结论与建议

(1) 采用 80% 经验频率法, 根据长期定位观测资料得出红壤坡地侵蚀性降雨的临界雨量和临界雨

强, 分别是 9.97 mm, 0.756 mm/h。  
(2) 试验区在 5 a 的观测期内, 侵蚀性降雨场次仅占总降雨场次的 25.85%, 但侵蚀性降雨雨量大, 占观测期总降雨量(7 259.1 mm) 的 78.52%; 且强度高, 是总降雨平均雨强(2.415 mm/h) 的 1.63 倍。试验区年际侵蚀性降雨量分配不甚均匀, 季节分配也不均, 其年内分布主要集中在汛期(4–9 月), 占全年的 74.51%。

(3) 与侵蚀性降雨一样, 降雨侵蚀动能季节分配不均, 春、夏两季降雨侵蚀动能占全期总侵蚀动能的 73.04%, 而秋、冬两季降雨侵蚀动能仅占总量的 26.96%; 降雨侵蚀动能的产生主要集中在 4–9 月, 占全年的 75.37%; 受降雨强度的影响较大, 一次长历时、小强度降雨的总动能几乎可以与另一次短历时、大雨强降雨的总动能相同。

(4) 对次降雨动能和次降雨量进行回归分析, 得出  $E=11.26398P^{1.14111}$  关系式, 可作为试验区降雨动能的简易估算式。

参考文献:

[1] 田光进, 张增祥. 中国耕地土壤侵蚀的空间分布特征及生态背景研究[J]. 中国水土保持, 2002(7): 28-29.  
[2] 王占礼, 邵明安. 黄土高原典型地区土壤侵蚀共性与特点[J]. 山地学报, 2001(1): 4-8.  
[3] 陆宝宏, 汤有光, 陆晓明, 等. 识别合适的降雨强度-历时-频率模型的方法[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2001, 29(4): 109-115.  
[4] 常福宣, 丁晶, 姚健. 降雨随历时变化标度性质的探讨[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 79-83.  
[5] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.  
[6] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions, American Geophysical Union, 1958, 39: 285-291.  
[7] Zuo Changqing, Zhang Xianming, Wu Chiachun. Preliminary Report on Technical Research for Soil and Water Conservation, Flood Control and Natural Disaster Reduction on Red soil Hilly and Sloping Lands [C]// Proceedings of 12th International Soil Conservation Organization Conference. Beijing: Tsinghua University Press, 2002: 160-165.  
[8] 江忠善, 宋文经, 李秀英. 黄土地区天然降雨雨滴特性研究[J]. 中国水土保持, 1983(3): 32-36.  
[9] Foster G R, McCool D K, Renard K G, et al. Conservation of the universal soil loss equation to SI metric units[J]. J. Soil Water Conserv., 1981, 36: 355-359.