

我国南方地区降雨侵蚀力指标 R 的建立研究

——以江西鹰潭地区为例

张黎明^{1,2}, 林金石^{1,2}, 于东升², 史学正²

(1. 福建农林大学 资源与环境学院, 福州 350002;

2. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要:利用我国南方亚热带地区江西省鹰潭市农田生态系统国家实验站自建气象站 1997—2003 年的自然降雨观测资料,研究了不同雨强对计算我国南方地区降雨侵蚀力的影响。结果表明:试验区不同雨强计算的降雨侵蚀力差异达到显著水平,且各年降雨侵蚀力 R 值总趋势为: $I_{10} > I_{15} > I_{30} > I_{60}$,说明为了提高鹰潭地区水土流失预报精度,找出一个适合该地区降雨特征的雨强计算降雨侵蚀力是十分必要的。进一步通过对鹰潭地区 3 种典型类型土壤流失量与降雨侵蚀力密切相关的降雨动能 E 和雨强 I 相关分析得出 15 min 最大雨强是该地区计算降雨侵蚀力的最佳雨强。

关键词:降雨侵蚀力; R 值; 鹰潭地区; 雨强

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)05-0001-04

Establishment of Index R in Rainfall Erosivity in South China

—Taking the Area of Yingtan as an Example

ZHANG Li-ming^{1,2}, LIN Jin-shi^{1,2}, YU Dong-sheng², SHI Xue-zheng²

(1. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University,

Fuzhou 350002, China; 2. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture,

Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Through the obtained materials of 1997 to 2003 in the Ecological Experiment Station of Red Soil (EESRS), Yingtan, Jiangxi Province, the rainfall erosivity (R) and its characteristic under different rainfall intensity were significantly remarkable and the tendency of mean rainfall erosivity (R) was: $I_{10} > I_{15} > I_{30} > I_{60}$. They all demonstrated that it was critical to establish a suitable rainfall intensity calculating R to improve the precision of prediction model of soil erosion in the area of Yingtan. Through analysis of soil loss and index R of rainfall erosivity, I_{15} was the best in the rainfall erosivity in the area of Yingtan.

Key words: rainfall erosivity; index R ; area of Yingtan; rainfall intensity

土壤侵蚀是目前普遍受关注的自然灾害之一,它不仅破坏土地资源,还造成生态环境恶化,严重威胁人类的生存和发展。在引起土壤侵蚀的各种因素中,降雨是最主要的动力因子。计算由降雨引起的土壤侵蚀潜在能力,即降雨侵蚀力(Rainfall Erosivity),一直是定量预报土壤流失的重要环节。为了准确度量降雨侵蚀力,很多学者对降雨因子进行了深入研究。其中,最著名的是 Wischmeier 和 Smith 利用美国 35 个水土保持站 8 250 个小区的降雨、侵蚀实测资料,通过对降雨量(P)、降雨动能(E)、最大时段雨强(I)等各种单因子及它们复合因子与土壤流失量的

关系建立了 EI_{30} 为度量降雨侵蚀力的最佳指标,并且把该指标应用于世界广泛使用的通用土壤流失方程 USLE(Universal Soil Loss Equation)中^[1-2]。自从降雨侵蚀力表达式中引入 I_{30} 因子以后,雨强也成为了各国水土保持工作者计算降雨侵蚀力而进行研究的重要因子。目前,对于这方面工作做的比较多的是对雨强因子的修正。这主要是因为很多学者发现一些地区用 I_{30} 计算当地的降雨侵蚀力效果并不十分理想,于是他们根据本地区的实际情况对该表达式进行了修正。如斯坦内斯库和日本学者种田行男等人根据各地试验情况,以 EI_{10} 和 EI_{60} 为 R 指标^[3]。我国

的张宪奎提出适宜东北黑土地地区的 R 指标的表达式应该是 $E_{60} I_{30}$ [4]。王万忠、贾志军、江忠善研究发现适宜西北黄土地地区的 R 算法是 $E_{60} I_{10}$ 或 $\sum EI_{10}$ 、 PI_{30} [5-7]。李璐等通过江苏省 2001—2006 年 260 个站点的降雨资料研究表明,卜氏算法($R=0.1281P_f I_{30B}-0.1575I_{30B}$)在该地区具有较高的精度 [8]。

虽然目前雨强因子被作为土壤侵蚀的主导因素研究较多,但对同一地区不同雨强计算降雨侵蚀力的差异,以及筛选适合计算我国南方地区降雨侵蚀力雨强的研究比较少。为此,本文利用位于我国南方亚热带地区的江西省鹰潭市农田生态系统国家实验站自建气象站 1997—2003 年自然降雨观测资料,研究和分析以鹰潭市为中心地区的不同雨强下自然降雨侵蚀力特征,并筛选出适合计算该地区降雨侵蚀力指标 R 的雨强,以便为建立普遍适合于我国南方地区 R 指标表达式做一些前期工作。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

鹰潭地区地处赣东北山区向鄱阳湖平原区的过渡带,属中亚热带北缘湿润季风气候区。这里地势较平坦,以低丘岗地为主,海拔均在 100 m 以下,年均气温为 17.7℃,最高温度在 7 月,平均温度为

29.5℃,最低温度在 1 月,均温 5.1℃,≥10℃ 的积温为 5 627.6℃,年均日照时数为 1 852.4 h,年平均降水量 1 752 mm。而且一年间雨量分布极不平衡,干湿期非常明显,雨季是 3—6 月,降水量占全年总降水量的 60%,而旱季 9 月至翌年 1 月,降水量只占全年的 20%,这种现象极有利于土壤侵蚀的发展。该地区地表径流主要由降水补给,多年平均径流深度 850~1 010 mm,年平均径流量为 8.61 亿 m³,而且植被覆盖度较低,由于森林的严重砍伐,生态环境出现了明显的恶化。鹰潭农田生态系统国家实验站(简称红壤站),隶属于中国科学院南京土壤研究所,是科学院在南方红壤地区设置的一个长期、综合的试验研究基地。该站位于江西省鹰潭市余江县,东经 116°55′30″,北纬 28°15′20″,距南昌市 135 km,离鹰潭市 13 km [9]。

1.2 数据来源

自然降雨资料主要来源于 1997—2003 年鹰潭农田生态系统国家实验站自建的气象站,土壤流失量资料是生态实验站 11 号、20 号、22 号侵蚀小区 1997—2003 年间的实测数据,这 3 个小区土壤类型分别是鹰潭地区典型的第四纪红色黏土发育的黏淀湿润富铁土、千枚岩发育的铝质湿润淋溶土和紫红色砂页岩发育的紫色湿润雏形土,其基本情况见表 1 [9]。

表 1 侵蚀性小区基本情况

小区	成土母质	土壤名称	基本情况
11 号	第四纪红色黏土	黏淀湿润富铁土	约 40 多年前曾是原始林地,林木砍伐后成为稀疏马尾松草本植物混杂的荒地,土层深厚,土壤原来的 A 层已被侵蚀,是第四纪红色黏土区最典型的荒地土壤类型
20 号	千枚岩	铝质湿润淋溶土	旱耕地土壤,土壤土层深厚,厚度可达 3 m 以上。耕地上种植花生、油菜、甘薯等,种植年限已有 20 多年。该旱地土壤处在坡的下部,坡度约为 7°
22 号	紫红色砂页岩	紫色湿润雏形土	土壤为旱地土壤,土壤土层深厚,耕地上种植花生、油菜、甘薯等,种植年限至少已有 70~80 a。该旱地土壤处在坡的中部,坡度约为 7°,但在坡顶上母质层出露,局部发育成初骨土

1.3 不同雨强计算降雨侵蚀力 R 值的方法

降雨侵蚀力是降雨引起土壤流失的潜在能力,它是降雨物理性质的函数。 EI 是一个复合结构,它反映了雨滴撞击与地表径流的组合潜力,从一定意义上讲,它表示颗粒剥离和输移能力的组合。采用 EI 结构的基本形式与降雨侵蚀力的函数相符合。因此,本研究在计算试验区不同雨强下的降雨侵蚀力时仍采用 $\sum EI_i$, 表达式 [1-2,9] 为

$$R = \sum EI_i / 100 \quad (1)$$

式中: R ——某次降雨的侵蚀力值[(100 m·t·cm)/(hm²·h)],该 R 值米吨系统首先转为美制系统,然后乘以 17.02 可得焦耳系统[(MJ·mm)/(hm²·h·a)]; $\sum E$ ——某次降雨的总动能[(m·t)/hm²]; I_i ——某次降雨中最大 10,15,30,60 min 的降雨强度(cm/h)。

次降雨过程中的某时段雨量的动能为

$$E = eP \quad (2)$$

式中: P ——某时段降雨量(cm)。

$$e = 121.32 + 89.04 \lg i \quad (3)$$

式中: e ——单位降雨强度 i (mm/h)决定的单位降雨动能[(m·t)/(hm²·cm)]。由此,本研究对生态试验站 1997—2003 年间各次降雨过程进行分析,具体分析过程如下 [9]:(1)根据原始的降雨记录,确定各年度降雨的场次、时间。(2)对各场次的降雨过程进行分析。首先找出该次降雨过程中降雨量最多的 10,15,30,60 min 时段,读取该时段的降雨量,计算该时段的降雨强度 I_i ,以此作为该次降雨的最大 10,15,30,60 min 雨强。然后根据降雨强度的变化,将连续且降雨强度变化不大的,或几乎没有变化的降雨过程

划分为一个降雨时段,在降雨记录中表现为一条直线段,读取该时段的降雨量(P_i),确定该时段时间并计算该时段的雨强(i),这样该场次的降雨过程可划分为若干个时段,并得到相应时段的降雨量、降雨强度。(3)根据各时段雨强计算该时段单位雨量的动能 e_k ,然后再根据该时段的降雨量,计算该时段的雨量动能 E_k 。(4)将一场次降雨过程中各时段的雨量动能求和,得到该次降雨过程的雨量总动能 E 。由该次降雨的最大10,15,30,60 min 雨强 I_i ,运用 $E I_i/100$ 可计算出该次降雨的侵蚀力 R 。(5)将每月各场次的次降雨侵蚀力求和,得到该月的降雨侵蚀力 R ,将全年各场次的次降雨侵蚀力 R 求和,得到本年度的降雨侵蚀力 R 。

2 结果与分析

2.1 不同雨强计算鹰潭地区降雨侵蚀力的差异

根据鹰潭农田生态系统国家实验站土壤侵蚀试验区的观察结果发现,当某一次降雨的降雨量 $P < 12.7$ mm 时,该场次的降雨不会引起土壤流失,或者是不会产生地表径流,因而在计算 R 值时略去该次降雨过程^[9]。根据以上原则,本研究对鹰潭农田生态系统国家实验站各年的侵蚀性降雨进行分析,得出1997—2003年不同雨强下的降雨侵蚀力,结果见图1。

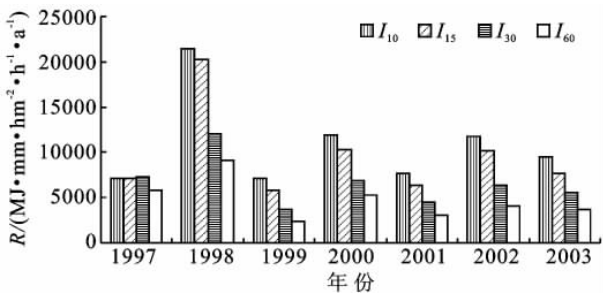


图1 不同雨强计算的降雨侵蚀力差异比较

通过1997—2003年不同雨强计算下的降雨侵蚀力结果看(图1),基本上各年不同雨强下降雨侵蚀力值总趋势为: $I_{10} > I_{15} > I_{30} > I_{60}$,且不同雨强下的降雨侵蚀力差异很大。其中,相差最大的是2000年, I_{10} 、 I_{15} 、 I_{30} 、 I_{60} 雨强下降雨侵蚀力数值依次都相差1 500 $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 以上;相差最不明显的是1997年,除 I_{60} 雨强下的降雨侵蚀力值明显比较小以外,其它3个雨强下的降雨侵蚀力值都相差不大。从图1还可以看出,各年 I_{15} 、 I_{30} 雨强下的降雨侵蚀力的差异程度也不尽相同,差异最大的是1998年, I_{15} 、 I_{30} 雨强下的降雨侵蚀力数值相差8 000 $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 多;其次是1999年、2000年、2002年和2003年,数值相差都2 000 $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 多。 I_{10} 、 I_{60} 雨强下的各侵蚀力相差也都比较大,一般

侵蚀力值都相差4 000 $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 以上,其中2000年相差最大, I_{10} 、 I_{60} 雨强下的侵蚀力值将近相差12 344 $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$;相比之下 I_{30} 、 I_{60} 和 I_{10} 、 I_{15} 雨强下各年的降雨侵蚀力值差异都较小,降雨侵蚀力数值一般相差1 500 $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 左右。

为更好地了解研究区不同雨强对降雨侵蚀力计算的影响,本研究对1997—2003年降雨在不同雨强下的次降雨侵蚀力用国际通用的SAS统计软件进行了方差分析,结果见表2。

由表2的方差分析可知, $F > F_{0.05}(3, 24)$,说明不同降雨强度计算的降雨侵蚀力值达到差异显著水平,这也说明在鹰潭地区使用不合适的雨强计算降雨侵蚀力可能对水土流失预报精度有很大影响。为进一步明确不同雨强计算的各侵蚀力之间的差异,本研究也对1997—2003年244次降雨在4个雨强下的侵蚀力用Duncan法进行多重比较,结果见表3。

表2 不同雨强下侵蚀力 R 的方差分析

变异来源	自由度	平方和	均方	F 值
雨强间	3	166871648.74	55623882.91	3.54
误差	24	3770932958.25	15712221.44	
总变异	27	544254632.20		

$F_{0.05}(3, 24) = 3.01$ 。

表3 不同雨强下侵蚀力 R 的Duncan法检验

雨强	R 均值/ $(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$
I_{10}	10946a
I_{15}	9684a
I_{30}	6611Ba
I_{60}	4776b

字母不同表示 $\alpha = 0.05$ 水平下显著。

由表3的Duncan法检验可知, I_{10} 雨强下的降雨侵蚀力显著高于 I_{60} 雨强下的降雨侵蚀力, I_{15} 雨强下的降雨侵蚀力显著高于 I_{60} 雨强下的降雨侵蚀力,但 I_{30} 、 I_{60} 和 I_{10} 、 I_{15} 雨强之间的降雨侵蚀力大小差异不显著,而且各年降雨侵蚀力 R 均值的分布规律都是 $I_{10} > I_{15} > I_{30} > I_{60}$ 。

通过以上分析可知,不同雨强计算的降雨侵蚀力差异已达到显著水平,这一方面说明在我国南方地区采用不同的雨强计算该地区的降雨侵蚀力会对水土流失预报精度产生显著影响;另一方面也说明为了加强我国南方地区的水土流失预报工作,找出一个适合该地区降雨特征雨强进行降雨侵蚀力计算是十分必要的。

2.2 鹰潭地区降雨侵蚀力指标 R 表达式的确定

根据前人和鹰潭农田生态站的试验结果^[1-2,9-10],与降雨侵蚀力指标关系最为密切的复合参数是降雨动能 E 和雨强 I ,这二者的交互影响是侵蚀力的最佳

量度。因此,本研究以每次降雨的总动能 $\sum E$,时段最大降雨强度 I_t 及二者的乘积 $\sum EI_t$ 作为回归计算的降雨侵蚀基本参数。有资料表明^[11],降雨侵蚀参数与土壤流失量的相关性多呈线性关系。从表 4 和表 5 可以看出,鹰潭地区降雨参数 I_t 、 E 和 $\sum EI_t$ 都与土壤流失量存在良好的线性关系,而且在 $P=0.01$ 水平下与土壤侵蚀量呈极显著正相关。

表 4 单因子降雨特征参数与土壤流失量相关分析

土壤类型	I_{10}	I_{15}	I_{30}	I_{60}	E
黏淀湿润富铁土	0.291**	0.344**	0.319**	0.317**	0.589**
铝质湿润淋溶土	0.168**	0.162**	0.219**	0.180**	0.243**
紫色湿润雏形土	0.271**	0.332**	0.310**	0.339**	0.699**

表 5 复合因子降雨特征参数与土壤流失量相关分析

土壤类型	$I_{10} \sum E$	$I_{15} \sum E$	$I_{30} \sum E$	$I_{60} \sum E$
黏淀湿润富铁土	0.620**	0.631**	0.623**	0.608**
铝质湿润淋溶土	0.247**	0.230**	0.254**	0.229**
紫色湿润雏形土	0.739**	0.754**	0.738**	0.736**

从表 4 可以看出,虽然单因子降雨特征参数与土壤流失量都有极显著的相关关系,但相关系数均较低。其中,黏淀湿润富铁土和紫色湿润雏形土与土壤流失量之间的相关系数在 0.3 左右,铝质湿润淋溶土与土壤流失量的相关系数在 0.2 左右,动能 E 虽然与土壤流失量有着比较好的相关关系,但与复合参数和土壤流失量的相关性相比,相关系数也是比较低。

从表 5 可以看出,复合参数 $\sum EI_t$ 与不同土壤流失量的相关性明显要比单因子降雨特征参数好。其中,紫色湿润雏形土的复合参数在 3 种土壤类型中与流失量的相关性最好,相关系数均在 0.7 以上,且以 $\sum EI_{15}$ 的相关系数最大,为 0.754;铝质湿润淋溶土的复合参数在这 3 种土壤中与流失量的相关性是最差的,相关系数大多在 0.2 左右,其中相关性最好的也是 $\sum EI_{15}$;黏淀湿润富铁土的复合参数与土壤流失量之间的相关性介于二者之间,但相关系数也都在 0.6 以上,其中也是以 $\sum EI_{15}$ 的相关系数最大,为 0.623。这说明在江西省鹰潭地区降雨侵蚀力 R 的指标计算中,用 15 min 最大雨强比用美国土壤流失方程 USLE 所使用的 30 min 最大雨强更为理想。

3 结论

从 1997—2003 年鹰潭农田生态系统国家实验站

不同雨强计算的降雨侵蚀力分析得出:不同雨强下的降雨侵蚀力差异达到显著水平,且各年降雨侵蚀力 R 值总趋势是: $I_{10} > I_{15} > I_{30} > I_{60}$;进一步对不同雨强下的降雨侵蚀力 Duncan 法多重比较表明, I_{10} 雨强下的降雨侵蚀力显著高于 I_{60} 雨强, I_{15} 雨强下的降雨侵蚀力显著高于 I_{60} 雨强,但 I_{30} 、 I_{60} 和 I_{10} 、 I_{15} 雨强之间的降雨侵蚀力差异不显著。

通过鹰潭地区 3 种典型类型土壤流失量与降雨侵蚀力密切相关的降雨动能 E 、雨强 I 和降雨量 P 之间的相关分析得出用 15 min 最大雨强比美国土壤流失方程 USLE 所使用的 30 min 最大雨强更为理想。因此,本研究建议以后鹰潭地区水土流失预报中计算降雨侵蚀力时采用 15 min 最大雨强。

参考文献:

- [1] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning[M]. USDA; Washington, Agriculture Handbook 537, 1978.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. American Geophysical Union Transactions, 1958, 39: 285-291.
- [3] 方华荣. 日本农田的土壤侵蚀预测[J]. 中国水土保持, 1982(4): 63-64.
- [4] 张宪奎. 黑龙江省土壤流失预报方程中指标的研究[M]//水土保持科学理论与实践. 北京: 林业出版社, 1992: 63-66.
- [5] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力指标的研究[J]. 中国水土保持, 1987(12): 34-38.
- [6] 贾志军. 晋西黄土丘陵降雨侵蚀力指标的确定[J]. 中国水土保持, 1986(6): 19-22.
- [7] 江忠善, 贾志伟. 降雨特征与水土流失关系的研究[J]. 西北水土保持研究所集刊, 1989, 12: 9-15.
- [8] 李璐, 姜小三, 王晓旭. 不同降雨侵蚀力模型在江苏省的比较研究[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(3): 13-19.
- [9] 于东升, 史学正. 红壤生态试验站的降雨侵蚀力及其特征[M]//红壤生态系统研究(第 5 集). 北京: 中国农业出版社, 1998: 57-62.
- [10] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力指标研究[J]. 中国水土保持, 1992(2): 32-33.
- [11] 刘文耀. 云南昭通坝区降雨侵蚀力 R 指标的初步研究[J]. 云南林业科技, 1999, 87(2): 24-26.