

我国南方地区降雨侵蚀力特征及简易算法研究 ——以江西省鹰潭地区为例

林金石^{1,2}, 张黎明^{1,2}, 于东升², 史学正²

(1. 福建农林大学 资源与环境学院, 福建 福州 350002;

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

摘 要: 以我国南方亚热带地区的江西省鹰潭市红壤生态试验站自建气象站 1997—2003 年度观测资料和该站不同类型径流小区的实测数据为例, 研究了我国南方地区自然降雨侵蚀力(R)特征及其初步的简易算法。结果表明, 研究区 1997—2003 年每年降雨过程和降雨侵蚀力的产生主要发生在 3—8 月。根据 R 值的“ EI_{30} ”方法计算出 1997—2003 年的降雨侵蚀力分别为: 7 231.8, 12 051.9, 3 722.3, 6 864.2, 4 520.5, 6 299.1 和 5 580.9 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$; 降雨侵蚀力呈现出年际变化大, 且月分布极不均衡的特点。通过分析 7 a 中 244 次侵蚀性降雨的雨量与侵蚀力的关系以及土壤流失量资料, 初步建立了研究区降雨侵蚀力的简易算法。通过检验表明新简易算法在研究区面积分布较广的紫色湿润雏形土上要优于“ EI_{30} ”经典算法, 在黏淀湿润富铁土和铝质湿润淋溶土上与“ EI_{30} ”经典算法预测精度相差不大, 说明该算法可以作为一个通式在研究区推广。

关键词: 降雨侵蚀力; 土壤流失量; 南方地区; 简易算法

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2011)02-0112-05

中图分类号: S157.1

Characteristics of Rainfall Erosivity and Simple Algorithm in South China

— Taken Yingtan Area of Jiangxi Province as a Case

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

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

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

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

Abstract: Rainfall erosivity and its characteristics were studied by analyzing rainfalls and soil erosion data recorded within the period of 1997—2003 at the ecological experiment station of red soil (EESRS), which is located in Yingtan area, Jiangxi Province. The results indicate that for the studying area, the events of rainfalls and erosive rainfalls occurred from March to August in each year. According to the method of R “ EI_{30} ” value, the rainfall erosivity was 7 231.8, 12 051.9, 3 722.3, 6 864.2, 4 520.5, 6 299.1 and 5 580.9 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ for the years from 1997 to 2003, respectively. The rainfall erosivity varied considerably not only in years, but also in months. Finally, the simple and easy algorithm for rainfall erosivity calculation was proposed based on the analysis of the relationship between the rainfall volume and sediment yield during the 244 events of erosive rainfall within the seven years. Based on the validation, the simple algorithm performed better than the traditional algorithm of EI_{30} , particularly for the widespread purpli-udic cambosols. However, the accuracy of the simple algorithm remained almost the same as the traditional algorithm in the soils of ali-udic argosols and typic argi-udic ferrosols. The results indicate that the new simple algorithm might be suitable for wide use in the study area.

Keywords: rainfall erosivity; amount of soil loss; the South China; simple algorithm

通用土壤流失方程式(USLE)^[1-2]问世后,在许 80 年代初也已经开始应用通用土壤流失方程,对我
多国家和地区得到了很好地应用。我国从 20 世纪 国土壤侵蚀预报模型的研究和发展起到了积极的推

收稿日期: 2010-10-10

修回日期: 2010-12-02

资助项目: 国家自然科学基金项目“组合指纹法分析花岗岩区崩岗侵蚀产沙及其运移规律”(41001169); 福建省自然科学基金(2010J05090); 教育部博士点基金(20103515120014)

作者简介: 林金石(1980—),男(汉族),福建省武夷山市人,博士,讲师,研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: linjs18@163.com。

通信作者: 张黎明(1979—),男(汉族),甘肃省临夏县人,博士,讲师,研究方向为土壤资源与 GIS 应用。E-mail: fjaulmzhang@163.com。

动作用。应用 USLE,核心问题在于式中各因子如何定量取值,其中 R 因子取值是首先必须要解决的问题。降雨侵蚀力 R 因子与降雨强度、降雨量、雨滴动能等诸多降雨特征因子都有着密切的关系,且许多地区包含这些特征数据的连续性降雨记录缺乏,因而在实际工作中求取 R 值显得比较重要。为解决这个问题,很多学者利用比较容易获得的降雨指标来代替需要降雨过程的动能指标,提出了各种计算降雨侵蚀力的简易算式^[3]。根据资料的来源,简易算式一般可分为两种:一是通过年雨量特征因子(年雨量、大于一定临界值的年雨量或汛期雨量)与年特征雨强(最大 30 min 或 60 min 雨强)的乘积形式估算年 R 值,如卜兆宏等^[4]和王万忠等^[5]提出的年降雨侵蚀力算式;二是采用月雨量与年雨量的模比系数估算年 R 值,如吴素业^[6]、周伏建^[7]提出的算式。这些算式都有它们的依据,并也在实际的水土流失预报中有一定的指导意义,但是第一种算法只能算出年 R 值,而不能反映降雨侵蚀力的季节分布和次降雨侵蚀力的情况,第二种算法又包含有雨强因子,而雨强因子的获得需要有详细的降雨资料^[8]。因而建立一种全新 R 值简易算法,使它既能省去获取雨强因子的烦琐,又能反映次降雨侵蚀力特征和季节分布特征,已显得十分必要了。

以江西省鹰潭地区为例,利用该地区中国科学院红壤生态国家试验站自建气象台站 1997—2003 年的自然降雨观测资料和该站侵蚀性小区的土壤流失量实测数据,研究和分析以鹰潭市为中心地区的自然降雨侵蚀力特征,建立该地区降雨侵蚀力 R 值的简易算法,并利用土壤流失量实测数据来验证,为进一步建立适合我国整个南方地区的降雨侵蚀力简易算法提供参考依据。

1 材料与方法

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℃,最高温在 7 月份,平均温为 29.5℃,最低温在 1 月份,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—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,多年平均径流深度在 850~1 010 mm 之间,年平均径流量为 $8.61\times 10^8\text{ m}^3$,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。红壤生态国家开放试验站(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^[3]。

1.2 数据来源

自然降雨资料主要来源于 1997—2003 年中国科学院红壤生态国家试验站自建的气象台站,土壤流失量资料是红壤生态试验站 11,20,22 号径流小区 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,其基本情况详见表 1^[9]。

表 1 试验小区基本情况

小区编号	成土母质	土壤类型	小区基本情况
11	第四纪红色黏土	黏淀湿润富铁土	约 40 a 前曾是原始林地,林木砍伐后成为稀疏马尾松与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	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、红薯等,种植年限约 20 a。该旱地土壤处在坡的下部,坡度约为 7°。
22	紫红色砂页岩	紫色湿润雏形土	土壤为旱地土壤,土层深厚,耕地上种植花生、油菜、红薯等,种植年限至少已有 70~80 a。该旱地处在坡的中部,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 降雨侵蚀力的计算

对于试验小区,∑EI₃₀ 一直是首选方法。因此,本研究计算红壤生态试验站土壤侵蚀试验区的 R 值

时,以“经典”算法作为标准方法^[1-2]。

$$R=\sum EI_{30}/100$$

(1)

式中: R ——某次降雨的侵蚀力值[100 m·t/(hm²·

h)],该米吨系统计算结果转换为美制系统后乘以 17.02,即为焦耳系统 $[MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h \cdot a)]$; $\sum E$ ——某次降雨的总动能 $[J/(m^2 \cdot mm)]$; I_{30} ——某次降雨中最大 30 min 的降雨强度 (cm/h) 。

次降雨过程中的某时段雨量的动能:

$$E=e \cdot P \quad (2)$$

$$e=11.897+8.731 \lg i \quad (3)$$

式中: P ——某时段降雨量 (cm) ; e ——单位降雨强度 i (mm/h) 决定的单位降雨动能 $[J/(m^2 \cdot mm)]$ 。

通过以上公式算出每次侵蚀性降雨侵蚀力,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 。

1.4 土壤流失量的计算

一场侵蚀性降雨过后,立即测量小区的径流量 (R_i) 、采集径流样品、收集网袋中所有的泥沙样品,待泥沙样风干后测定其重量 (G_i) 。在室内用烘干法测定径流中的泥沙含量 (C_s) 和泥沙样中的土壤含水量 (C_w) 。则每次土壤流失量 (S_i) 为: $S_i=R_i \times C_s + G_i/(1+C_w)$;年土壤流失量为 $\sum S_i$ 。

2 结果与分析

2.1 试验区降雨和土壤流失量特征

根据对自建气象台站自然降雨数据的统计分析可以得出,试验区 1997—2003 年降雨量依次为 1 830,2 414,1 274,1 732,1 653,1 711 和 1 327 mm,这与当地多年平均降水量 1 752 mm 相比,除 1998 年气候出现异常,降雨量急剧增加以外,其它年份基本属于偏旱年。并且各年降雨日大多在 100~150 d 左右,其中 >10 mm 降水日一般在 40~60 d 之间,而 0~10 mm 的降水日一般在 70~100 d 之间。而且各年侵蚀性降雨的次数差别也不大,除 2002 年达到 46

次外,其它基本上在 35 次左右。但相比之下各年的降雨历时差异比较大,降雨历时最长的 1997 年达到 1 582 h,而最短的 2003 年只有 570.9 h,这主要是由雨强不同造成的,虽然有些年份降雨历时长,但平均雨强小;反之,有些年份降雨历时短,但平均雨强大,最终使得各年降雨量差别不大。

从 1997—2003 年降雨量分布来看,试验区降雨的总趋势呈现出月分布极不均衡的特点。降雨过程主要集中在 3—8 月,1997—2003 年这几个月总降雨量依次为 1 324,1 879,1 005,1 125,1 056,1 089 和 1 075 mm,占各年总降雨量的 72.4%,77.8%,78.9%,65.0%,63.9%,63.7%和 81.0%。由于降雨是引起土壤侵蚀的主要动力因素^[10],因此,降雨量极大的 3—8 月份是该地区土壤侵蚀发生最严重的时期,此阶段应该重点加强该地区水土保持工作和灾害性天气的预报精度,最大限度的减少该地区的水土流失灾害。

从试验区不同土壤流失量变化来看(表 2),黏淀湿润富铁土、铝质湿润淋溶土和紫色湿润雏形土的次降雨土壤流失量变幅分别在 0.010~1 878.3 t/km²,0.009~3 410.2 t/km² 和 0.096~3 763.2 t/km² 之间,而变异系数竟达到了 186.8%,318.7%和 227.3%,说明不同土壤的侵蚀量差异很大。这主要是该地区的次侵蚀性降雨量的分配不均造成的。因为降雨是引起土壤侵蚀的主要动力因素,而降雨量的严重分配不均必然会导致土壤侵蚀量的差异。

从各土壤的平均流失量来看,最大的是紫色湿润雏形土,最小的是铝质湿润淋溶土,而黏淀湿润富铁土介于二者之间,说明紫色湿润雏形土在这 3 种土壤中相对来说是最易产流的,铝质湿润淋溶土最不易产流,而黏淀湿润富铁土的产流能力也是介于二者之间的。

表 2 1997—2003 年试验小区不同土壤流失量差异

小区编号	样本数/次	最大值/ (t · km ⁻²)	最小值/ (t · km ⁻²)	平均值/ (t · km ⁻²)	标准差	变异系数 $C_v/\%$
11	196	1 878.3	0.010	119.5	223.2	186.8
20	221	3 410.2	0.009	84.4	269.1	318.7
22	228	3 763.2	0.096	148.8	338.3	227.3

从 1997—2003 年不同土壤流失总量的月分布来看(图 1),试验区不同土类小区的流失量也呈现出月分布极为不均的特点。各土壤的产流过程主要集中在 3—8 月,在这 6 个月中,黏淀湿润富铁土、铝质湿润淋溶土和紫色湿润雏形土 7 年的侵蚀量依次为

23 946.4,19 382.3 和 35 157.5 t/km²,分别占总侵蚀量的 89.4%,92.2%和 91.8%。这也说明鹰潭地区的土壤侵蚀分布具有明显的季节性,夏季和秋季是该地区土壤侵蚀过程发生最严重的时期,而春季和冬季基本不发生土壤侵蚀。

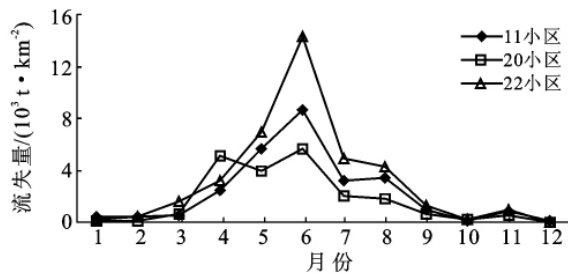


图 1 试验区不同土壤的月流失总量分布

表 3 1997—2003 年试验区降雨侵蚀力 R 的计算结果

MJ · mm/(hm² · h · a)

年份	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
R	7 231.8	12 051.9	3 722.3	6 864.2	4 520.5	6 299.1	5 580.9

从表 3 可以看出,试验区的降雨侵蚀力整体呈现出年分布极不均衡,且年际变化大的规律。降雨侵蚀力值最大的 1998 年达到 12 051.9 MJ · mm/(hm² · h · a),而最小的 1999 年只有 3 722.3 MJ · mm/(hm² · h · a)。一般情况下,作为土壤侵蚀动力的 R ,其作用于土壤的最直接结果就是造成土壤流失,且在下垫面一致的情况下 R 值越大,土壤流失量也就越大,这就要求当地政府部门在制定鹰潭地区的土壤侵蚀工作计划时,应根据每年的实际情况,采取相应的保护措施来防止水土流失^[3]。从降雨侵蚀力的月分布来看(图 2),侵蚀力的产生主要集中在 3—8 月份,这 6 个月的降雨侵蚀力依次占各年总降雨侵蚀力的 86.8%,95.2%,89.5%,87.1%,78.8%,75.6%和 96.3%;此外,从以上分析也可以看出,这几个月降雨侵蚀力所占全年侵蚀力比例要比月降雨量所占全年降雨量的比例高的多,这说明该地区 3—8 月份的降雨具有强度高、雨滴动能大的特点,故使得降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力的百分率大于同时间内降雨占全年降雨的百分率^[6]。

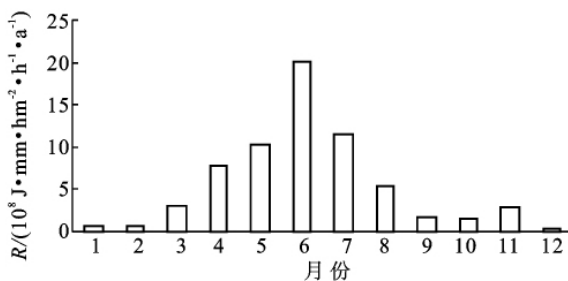


图 2 1997—2003 年试验区月平均侵蚀力分布

本研究对次降雨侵蚀力 R 值与次侵蚀性降雨量 P 进行分析发现,试验区的侵蚀性降雨和降雨侵蚀力的产生都主要集中在 3—8 月份,而且从试验区 1997—2003 年度的月平均侵蚀性降雨量和月平均降雨侵蚀力分布来看(图 3),降雨侵蚀力和降雨量的分

2.2 降雨侵蚀力 R 分布特征和简易算法建立

根据试验区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^[3]。

根据以上原则,本研究对试验区各年的侵蚀性降雨进行了分析,得出了试验区 1997—2003 年的降雨侵蚀力(表 3)。

布规律基本相一致。降雨量最高的是年度的 6 月中旬,相应的侵蚀力值也达到最高峰,而 1,2,9 月份的降雨量相对较小,而此时降雨侵蚀力也达到最低谷;其它各月的情况也是如此,都是随着降雨量的起伏降雨侵蚀力也发生相应的变化,说明降雨量与侵蚀力有很好的相关性。因此,本研究选择用次侵蚀性降雨量这个常规资料就可以得到的参数来建立鹰潭地区降雨侵蚀力的简易算法。根据自建气象台站自然降雨记录的统计来看,试验区 1997—2003 年度参与计算 R 值的次侵蚀性降雨共有 244 次,以此为样本,对各次侵蚀性降雨量 P 和侵蚀力 R 值进行线性回归分析,以便建立适合计算该地区降雨侵蚀力 R 值的简易算法。

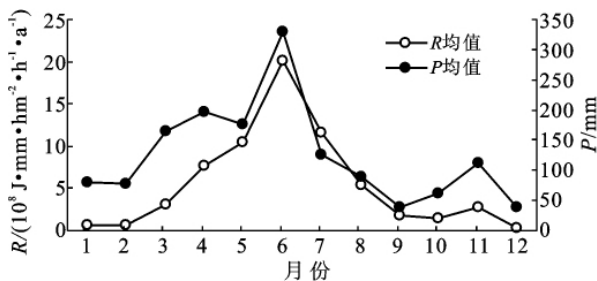


图 3 月侵蚀性降雨量与月降雨侵蚀力的关系

回归分析结果表明,次降雨侵蚀力 R 值与次侵蚀性降雨量 P 呈线性关系。并在 $p=0.01$ 水平上达到极显著相关,相关系数为 0.90,并得出线性回归方程的截矩为 9.732 3, P 的二次项回归系数 $x_1=0.015 8$,一次项系数为 $x_2=2.540 6$ 。由此,计算鹰潭地区的降雨侵蚀力 R 值的简易算法可建立为:

$$R_i = 0.015 8 P^2 + 2.540 6 P + 9.732 3$$

式中: R_i ——次降雨侵蚀力 [MJ · mm/(hm² · h · a)];
 R_m ——月降雨侵蚀力 [MJ · mm/(hm² · h · a)];
 R_y ——年降雨侵蚀力 [MJ · mm/(hm² · h · a)];
 P ——次降雨量 (mm),且 $P > 12.7$ mm。

虽然本研究根据次侵蚀性降雨量和次降雨侵蚀力的相关关系,建立了计算鹰潭地区降雨侵蚀力 R 值的简易算法;但此简易算法能否作为一个通式在鹰潭地区进行推广,而且与降雨侵蚀力的“ EI_{30} ”算法相比,此算法有没有优势以及精度相差多少,最终还要根据它与土壤流失量的相关性来评价。因此,本研究对此简易算法和“ EI_{30} ”算法所得次降雨侵蚀力与鹰潭地区不同典型土壤 1997—2003 年度侵蚀性降雨的土壤流失量用 SPSS 地统计学分析软件进行了相关性分析,结果见表 4。

表 4 简易算法和“ EI_{30} ”算法所得降雨侵蚀力与土壤流失量的相关系数比较

小 区	样本数	简易算法	“ EI_{30} ”算法
11	196	0.606**	0.618**
20	221	0.222**	0.248**
22	228	0.763**	0.738**

注: ** 表示在 0.01 水平差异极显著。

由表 4 得出,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的流失量与简易算法所得降雨侵蚀力的相关系数分别为 0.606, 0.222 和 0.763; 并都在 $p=0.01$ 水平上呈极显著性直线正相关。“ EI_{30} ”算法所得的降雨侵蚀力与这几种鹰潭地区典型土壤的流失量也在 $p=0.01$ 水平上呈极显著性直线正相关,相关系数分别 0.618, 0.248 和 0.738。但从两种算法所得降雨侵蚀力与土壤流失量的相关性来说,在黏淀湿润富铁土和铝质湿润淋溶土上“ EI_{30} ”算法的相关系数比简易算法高,相关性较强一些;而在紫色湿润雏形土上简易算法所得相关系数比“ EI_{30} ”算法高,说明在这种土壤上简易算法所得降雨侵蚀力与土壤流失量的相关性更好。总体来说,简易算法所得的降雨侵蚀力与江西鹰潭地区的不同典型土壤流失量都有极显著的相关性,而且与“ EI_{30} ”算法所得土壤流失量的相关系数差距也不大,尤其在紫色湿润雏形土上相关性更好。因此,在鹰潭地区此简易算法可以作为一个通式来推广,而且与“ EI_{30} ”算法相比,此算法对该地区降雨侵蚀力的计算更简便;与其它简易算法相比,此算法不仅能计算年降雨侵蚀力和季节性降雨侵蚀力,而且也能计算次降雨侵蚀力。这样在鹰潭地区当一场降雨来临时,当地政府可根据气象部门的预报,在初步掌握了该次降雨可能的降雨量 P 后,通过此简易算法可迅速计算出该次降雨的侵蚀

力,再根据该次降雨侵蚀力预报的大小状况,采取相应的保护措施防止该地区的水土流失^[3,11-12]。

3 结 论

从试验区自建气象台站 1997—2003 年自然降雨资料的统计分析表明,试验区降雨过程主要发生在 3—8 月,这也跟该地区的降雨侵蚀力和不同土壤流失量的分布规律相一致。通过分析次侵蚀性降雨量和次降雨侵蚀力的关系,建立了计算鹰潭地区降雨侵蚀力 R 值的简易算法。根据试验区土壤流失量实测数据进行适宜性评价表明,此简易算法可以作为一个通式在鹰潭地区进行推广。但此算法是否广泛适用于我国南方地区还有待于进一步采用多点长系列观测数据进行验证和修正。

[参 考 文 献]

- [1] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning [M]. USDA, Washington D. C.; Agriculture Handbook 537, 1978:58.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relation ship to soil loss [J]. Transactions, American Geophysical Union, 1958, 39: 285-291.
- [3] 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:第五集. 北京:中国农业出版社,1998:57-62.
- [4] 卜兆宏,董勤瑞,周伏建,等. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究[J]. 土壤学报,1992,29(4): 408-417.
- [5] 王万忠,焦菊英,郝小品,等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(Ⅰ) [J]. 水土保持学报,1995,9(4): 5-16.
- [6] 吴素业. 安徽大别山降雨侵蚀力简化算法和时空分布规律[J]. 中国水土保持,1994,(4): 12-13.
- [7] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报,1995,9(1): 13-18.
- [8] 郭新波,王兆骞,张如良. 浙江红壤区降雨侵蚀力季节分布与日雨量模型研究[J]. 水土保持学报,2001,15(3): 35-42.
- [9] 史学正,于东升,吕喜玺. 用人工模拟降雨仪研究我国亚热带土壤的可蚀性[J]. 水土保持学报,1995,9(3): 38-42.
- [10] 章文波,付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力 [J]. 资源科学,2003,25(1): 35-41.
- [11] 刘振波,史学正,于东升,等. 模拟降雨下土壤前期含水量对土壤可蚀性的影响[J]. 生态环境,2008,17(1): 397-402.
- [12] 卢爱刚. 半个世纪以来黄土高原降水的时空变化[J]. 生态环境学报,2009,18(3): 957-959.