

# 贵州省降雨侵蚀力时空变化特征研究

戴海伦<sup>1,2</sup>, 苑爽<sup>1,2</sup>, 张科利<sup>1,2</sup>, 朱青<sup>3</sup>

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 3. 贵州省农科院 土肥研究所, 贵阳 550006)

**摘 要:**降雨侵蚀力是区域土壤侵蚀状况量化的首要因子,反映了区域降雨对土壤侵蚀的潜在作用。贵州省地处喀斯特强烈发育地区,水土流失极为严重。利用罗甸小区降雨过程资料及相应的土壤流失量资料,得出贵州省降雨侵蚀力指标的最佳组合为  $EI_{30}$ ;采用回归分析得出降雨侵蚀力的简易算法为:  $R=2.0354P^{1.2159}+45.5649$ 。利用 264 个站点 1956—2000 年的月降雨量、多年平均降雨量资料得出各站点降雨侵蚀力,并采用 Kriging 方法进行插值,得到降雨侵蚀力的空间分布图。结果表明:贵州省降雨侵蚀力的空间变化表现为由南向北递减的趋势。按照月降雨侵蚀力的分布状况,将贵州省全年划分为干季和湿季两个阶段,其中湿季降雨侵蚀力约占多年平均降雨侵蚀力的 57%。总体而言,近年来贵州省的降雨侵蚀力变化不明显,但仍不能排除个别区域有增高的趋势。

**关键词:**降雨侵蚀力; 土壤侵蚀; 贵州省; 时空分布

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)01-0037-05

## Study on the Spatiotemporal Distribution of Rainfall Erosivity in Guizhou Province

DAI Hai-lun<sup>1,2</sup>, YUAN Shuang<sup>1,2</sup>, ZHANG Ke-li<sup>1,2</sup>, ZHU Qing<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing

Normal University, Beijing 100875, China; 2. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing

100875; 3. Soil and Fertilizer Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

**Abstract:** Rainfall erosivity is the top priority in terms of quantifying regional soil erosion compared with other factors. It represents the potential effects of rainfall on soil erosion. Karst develops widely and intensively in Guizhou Province where soil erosion is severe. Data of rainfall events and their soil loss of a plot in Luodian, Guizhou Province were used to select the most suitable rainfall erosivity factor. The simple calculation equation developed by regression analysis was  $R=2.0354P^{1.2159}+45.5649$ . This equation was adopted to calculate the rainfall erosivity in Guizhou Province by using the precipitation data of 264 stations from 1956 to 2000. The results indicated that there was a descending trend of rainfall erosivity from south to north. According to the temporal distribution of monthly rainfall erosivity, the whole year was divided into two periods which were dry season and wet season, and the latter occupied 57% of the annual rainfall erosivity. In general, the rainfall erosivity in Guizhou Province had little varied in recent years. However, there were still a few areas where rainfall erosivity was increasing.

**Key words:** rainfall erosivity; soil erosion; Guizhou Province; spatiotemporal distribution

降雨侵蚀力  $R$  是土壤侵蚀预报模型中的重要因子<sup>[1]</sup>,其值大小表征了降雨对于土壤的潜在侵蚀能力。研究降雨侵蚀力的空间分布对指导水土流失防治、水土保持区划具有重要的价值与意义。有关降雨侵蚀力的研究,基本都以 USLE<sup>[2]</sup>模型中的计算方法为前提,以小区实测资料为基础,验证不同地区的指

标组合形式、分析空间分布规律<sup>[3-12]</sup>。我国疆域辽阔,降雨特征的地域分异性明显,降雨侵蚀力研究既要考虑模型的统一性,又要充分体现地域差异性。因此,利用不同类型区径流小区实测资料来验证并计算降雨侵蚀力十分必要。

贵州省地处喀斯特地貌强烈发育地区,谷深坡

收稿日期: 2012-07-02

修回日期: 2012-08-14

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(41071184); 贵州省水利科技重点项目(KJZD200801)

作者简介: 戴海伦(1986—),女,上海人,博士研究生,主要从事土壤侵蚀研究。E-mail: daihailun@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 张科利(1962—),男,陕西宝鸡人,博士,教授,主要从事土壤与环境研究。E-mail: keli@bnu.edu.cn

陡,人多地少,陡坡垦殖十分普遍,水土流失极为严重。遥感调查数据显示,水土流失面积占全省总面积的 41.62%<sup>[13]</sup>。受石灰岩地区特殊的地球化学过程影响,贵州省土层厚度普遍较薄。在相同的侵蚀强度下,水土流失的危害远大于其他地区。日趋严重的石漠化过程已经严重威胁到该区域的水土资源状况与农业安全。因此,开展喀斯特地区土壤侵蚀定量估算及防治措施效益评价研究尤为重要。宁丽丹等<sup>[7]</sup>引用并修正了 Yu 和 Rosewell<sup>[14-15]</sup>的降雨侵蚀力计算公式,采用  $EI_{10}$  作为最佳组合指标计算了我国西南地区的降雨侵蚀力。杨子生<sup>[16]</sup>利用布设在滇东北的小区观测资料研究了坡耕地土壤流失方程,建议采用  $EI_{60}$  组合来计算降雨侵蚀力指标。许月卿等<sup>[17]</sup>利用宁丽丹等<sup>[7]</sup>修正的降雨侵蚀力计算方法,用贵州省 19 个站点的日降雨量资料计算并探讨了贵州省降雨侵蚀力的时空分布规律,指出贵州省降雨侵蚀力主要分布在夏季;近 50 a 来贵州省降雨侵蚀力呈增加趋势。尽管上述降雨侵蚀力的计算及分布研究对 USLE 在我国、特别是西南地区的推广应用做出了重要贡献,但在进行贵州省降雨侵蚀力的计算时仍存在以下问题:(1) 不同层次、不同区域尺度的水土流失估算需要不同精度的降雨侵蚀力分布图。然而,在目前的成果中,研究区域范围多集中于全国、西南地区,尚无法满足贵州地区降雨侵蚀力计算的精度要求;(2) 在进行西南喀斯特地区以及贵州省的降雨侵蚀力研究时,不同学者采用的计算指标不统一,且缺乏当地径流小区实测降雨过程及泥沙资料的支持。另一方面,已有研究中所采用的站点偏少、密度较低,难以满足局部区域精确计算的要求。针对以上问题,本文利用贵州省罗甸县径流小区的次降雨过程资料,进行贵州省降雨侵蚀力指标选定及计算方法确定,尝试利用常规雨量站观测资料计算降雨侵蚀力的简易方法,并绘制贵州省降雨侵蚀力分布图,旨在为区域水土流失预报与治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文利用贵州省罗甸县兴隆乡境内小区 1992—1997 年的 32 场实测降雨过程资料和土壤流失量资料,进行降雨侵蚀力指标的评价筛选,通过回归分析得出降雨侵蚀力的简易算法。再利用贵州省内分布的 264 个站点(图 1)1956—2000 年的实测数据,通过插值算法,绘制贵州省的降雨侵蚀力等值线图。罗甸小区为长 21 m、宽 5 m,坡度为 20°的裸露小区,土壤为黄红壤。各站点雨量资料来源于贵州省水利厅。

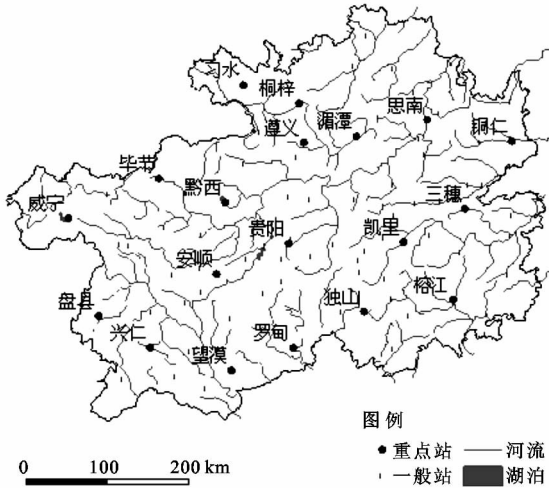


图 1 贵州雨量站分布图

1.2 指标选取方法

尽管 USLE 采用  $EI_{30}$  指标来表征降雨侵蚀力的大小,但由于降雨特性和土壤侵蚀特征的地区差异,应用于各地的指标不尽相同。如有学者建议在黄土高原地区宜采用  $EI_{10}$ <sup>[11]</sup>,而在东北黑土区和南方红壤地区分别采用  $E_{60}I_{30}$ ,  $EI_{60}$  更适合<sup>[18-19]</sup>。虽然表达降雨侵蚀力的最佳指标存在地区差异,但其基本表达形式都是降雨动能( $E$ )与某一时段最大降雨强度( $I$ )的乘积(公式 1)。本文利用罗甸小区的降雨过程资料和土壤流失量资料,分别计算每场降雨的总动能,再将每场降雨的总动能与该次降雨的 5 min 最大雨强、10 min 最大雨强、20 min 最大雨强、30 min 最大雨强和 60 min 最大雨强分别相乘,生成 5 个表征降雨侵蚀力的指标  $EI_5, EI_{10}, EI_{20}, EI_{30}, EI_{60}$ ,即  $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{30}, R_{60}$ 。再分别以每场降雨的  $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{30}, R_{60}$  为自变量,与该场降雨的土壤侵蚀量进行相关分析(表 1)。根据相关系数大小,确定贵州地区计算降雨侵蚀力的最佳指标组合。其中,单位降雨动能的计算采用 Brown 和 Foster<sup>[20]</sup>推荐的公式,见公式(2)。再由公式(3)得到次降雨总动能,最后利用公式(1)计算次降雨侵蚀力。

$$R=E \cdot I_m \tag{1}$$

$$e_r=0.29[1-0.72\exp(-0.05i_r)] \tag{2}$$

$$E=\sum_{r=1}^n(e_r \cdot P_r) \tag{3}$$

式中: $e_r$ ——每一时段的单位降雨动能 $[MJ/(hm^2 \cdot mm)]$ ;  $i_r$ ——时段雨强 $(mm/h)$ ;  $P_r$ ——对应时段降雨量 $(mm)$ ;  $E$ ——次降雨总动能 $(MJ/hm^2)$ ;  $I_m$ ——一定时长范围内的最大雨强 $(mm/h)$ ;  $R$ ——次降雨侵蚀力 $[(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)]$ 。

1.3 构建降雨侵蚀力简易算法

计算降雨侵蚀力需要降雨过程资料,而一般雨量

站只有降雨量记录。为了充分利用观测资料并保证地区降雨侵蚀力分布图的精度,需建立采用常规降雨记录值计算降雨侵蚀力的简易方法。以由公式(1)计算出的次降雨侵蚀力值为因变量,利用 SPSS 回归分析其与降雨量之间关系,建立根据降雨量计算降雨侵蚀力的方法。由此便可利用贵州省雨量站的月降雨量资料计算全省各站不同时段的降雨侵蚀力,并通过 Kriging 方法进行插值、绘制贵州省降雨侵蚀力等值线图。

表 1 不同降雨侵蚀力指标与土壤流失量的相关性

计算指标	相关系数
$R_5$	0.6062
$R_{10}$	0.6253
$R_{20}$	0.5978
$R_{30}$	0.6402
$R_{60}$	0.5646

## 2 结果与分析

### 2.1 指标筛选

相关分析结果(表 1)表明,虽然罗甸小区的土壤侵蚀量与不同计算指标的相关关系都不如黄土高原等地区高,但仍以  $EI_{30}$  的相关性最好(图 2),相关系数为 0.640 2。因此,建议在贵州地区计算降雨侵蚀力时仍采用  $EI_{30}$ 。

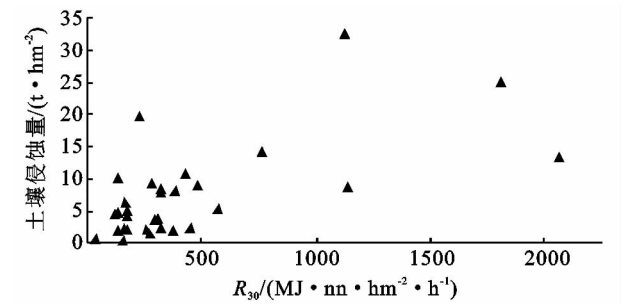


图 2 贵州省罗甸小区降雨侵蚀力与土壤流失量关系

### 2.2 降雨侵蚀力简易算法

参考其他地区的研究成果,分别尝试用  $R=a+bP$ ,  $R=a+b\ln P$ ,  $R=ab^P+c$  和  $R=aP^b+c$  共 4 种不同模型拟合降雨量与降雨侵蚀力之间的关系( $a, b, c$  分别为拟合参数),结果表明降雨量与降雨侵蚀力之间存在良好的幂函数关系(图 3),并得到最佳拟合方程,见式(4),决定系数  $R^2$  达到了 0.724。

$$R=2.0354P^{1.2159}+45.5649$$

(4)

式中: $R$ ——降雨侵蚀力  $R_{30}$  [(MJ · mm)/(hm<sup>2</sup> · h)]; $P$ ——降雨量(mm)。

用常规降雨量计算降雨侵蚀力,可大大增加数据获取的范围,使降雨侵蚀力估算结果更符合实际。但

需要说明的是,由于在方程拟合时使用的资料都是侵蚀性降雨,而不论是日降雨还是月降雨资料都会包含一定比例的非侵蚀性降雨。如果直接使用常规降雨量计算降雨侵蚀力,结果势必会高估。因此,在使用该公式估算前需要进行必要的修订。为此,从南到北分别选择有自记雨量计资料的罗甸、龙里、遵义和毕节四站的降雨资料,按年计算出侵蚀性降雨量占全年总雨量的比例系数(表 2),并以平均系数作为采用降雨量计算降雨侵蚀力的修订系数。结合上述简易公式,利用月降雨量资料计算月降雨侵蚀力,再通过将各月值累加计算,得到年降雨侵蚀力值。

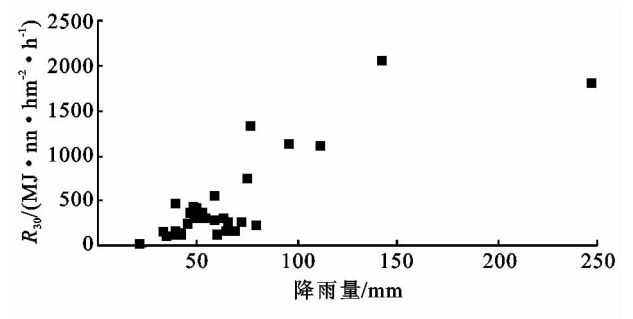


图 3 贵州省罗甸小区降雨量与降雨侵蚀力关系

表 2 不同地区侵蚀性降雨占年降雨量的比例系数

雨量站点	罗甸	龙里	遵义	毕节	平均
比例系数	0.727	0.713	0.680	0.696	0.704

### 2.3 贵州省降雨侵蚀力分布及变化特征

2.3.1 多年平均降雨侵蚀力的空间分布 采用公式(4)计算得到的贵州省 1956—2000 年多年平均降雨侵蚀力的空间分布如图 4 所示。由图 4 可见,贵州省多年平均降雨侵蚀力具有明显的区域差异性,总体表现为由南向北递减。全省范围内西南部和东南部降雨侵蚀力较大,东北部次之,中部和西北部相对较低。同时,贵州省降雨侵蚀力还存在若干个高值中心。贵州省降雨量变化范围为 730.8~1 708.5 mm,均值为 1 184.98 mm。多年平均降雨侵蚀力介于 3 051.0~8 801.6 (MJ · mm)/(hm<sup>2</sup> · h),均值为 5 299.8 (MJ · mm)/(hm<sup>2</sup> · h)。西南部的盘县、兴义形成高值中心,降雨侵蚀力在 6 300 (MJ · mm)/(hm<sup>2</sup> · h)左右;西部的织金、普定附近为另一高值中心,降雨侵蚀力在 6 650 (MJ · mm)/(hm<sup>2</sup> · h)左右;另外,东南部的荔波、榕江附近和位于东北部的松桃苗族自治县也形成了高值中心,降雨侵蚀力在 6 300 (MJ · mm)/(hm<sup>2</sup> · h)左右。

2.3.2 贵州省降雨侵蚀力的年内分布 通过计算多年平均月降雨侵蚀力并插值制图后发现,贵州省降雨侵蚀力的年内变化十分明显,表现出显著的干湿季变

化。每年 10 月至翌年 5 月间为干季,6—9 月为湿季。干季的降雨侵蚀力普遍偏低,8 个月之和变化于 1 501.1~4 632.7 (MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h)之间,空间分布上表现为从东部、东南部向西部、西北部逐渐递减的趋势(图 5),干季 8 个月的降雨侵蚀力占年均降雨侵蚀力的 42.6%。在东南部的宰便和东北部的松桃苗族自治县、铜仁形成高值中心,干季降雨侵蚀力都在 3 220 (MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h)以上;在北部的习水和西北部的赫章形成低值中心,干季降雨侵蚀力都在 1 540 (MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h)以下。全省湿季降雨侵蚀力普遍偏高,集中于 1 744.0~5 921.2 (MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h),在空间分布上表现出西部明显大于东部的特征(图 6)。湿季 4 个月的降雨侵蚀力占年均降雨侵蚀力的 57.4%。高值中心位于西南部的兴义市、盘县和西部的安顺市,湿季降雨侵蚀力在 4 200 MJ/(mm·hm<sup>2</sup>·h)左右;东部的锦屏、三穗等地区则为低值中心,低于 2 100 (MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h)。

降雨侵蚀力及其分布趋势在两个时段内未发生显著变化,高值中心和低值中心位置基本一致,但数值大小有一定变化。将 1956—1979 年与 1980—2000 年两时段的 *R* 值进行差值计算(后一段减前一段),再绘制变差等值线图,如图 9 所示。结果发现,相对于 1956—1979 年,1980—2000 年间降雨侵蚀力值多保持稳定或有所降低;但在个别地区,降雨侵蚀力明显增高。如盘县、锦屏、余庆等地降雨侵蚀力都有所增高,在荔波西部地区 *R* 值增大幅度在 280 (MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h)以上。

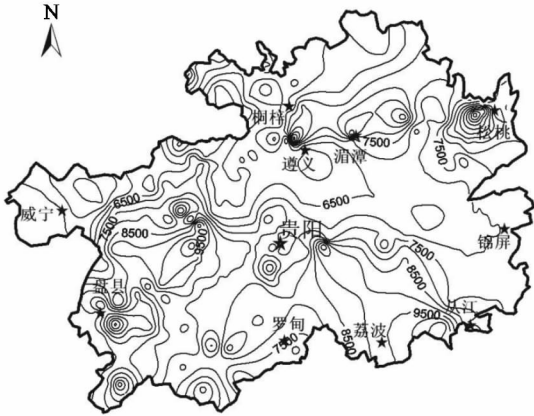


图 4 贵州省多年平均降雨侵蚀力空间分布



图 5 贵州省干季月份多年平均降雨侵蚀力等值线

2.3.3 贵州省降雨侵蚀力分布的年际变化 在计算各站点多年平均降雨侵蚀力的基础上,又分别计算了贵州省 1956—1979 年和 1980—2000 年两个时段的年均降雨侵蚀力,并进行插值,绘制出降雨侵蚀力等值线图(图 7—8)。对比图 7、图 8 可以看出,贵州省

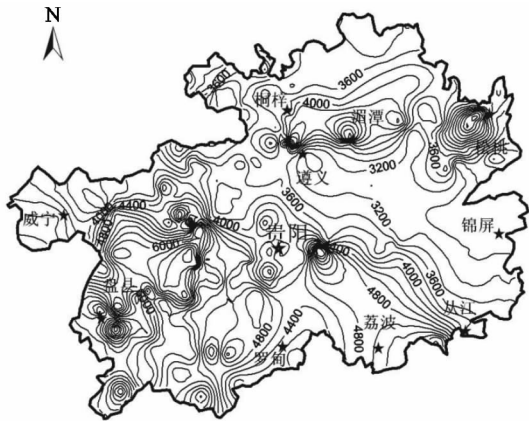


图 6 贵州省湿季月份多年平均降雨侵蚀力等值线



图 7 贵州省 1956—1979 年均降雨侵蚀力等值线



图 8 贵州省 1980—2000 年均降雨侵蚀力等值线

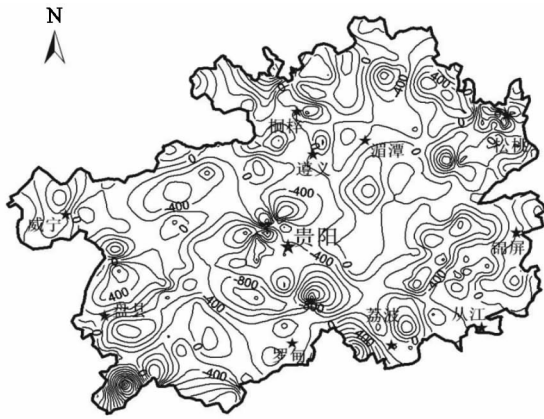


图 9 贵州省 1956—1979 年和 1980—2000 年两时段多年平均降雨侵蚀力变化

### 3 结论

本文基于贵州省罗甸小区的实测降雨过程资料、泥沙资料以及 264 个站点的雨量资料,计算了贵州省降雨侵蚀力并对其时空分布规律进行了分析,主要结论有:

(1) 通过对贵州省罗甸小区 1992—1997 年 32 场降雨过程资料进行统计分析,得出贵州省降雨侵蚀力的最佳指标组合为  $EI_{30}$ 。

(2) 得出贵州省降雨侵蚀力的简易算法为:  $R = 2.0354P^{1.2159} + 45.5649$ ,拟合方程决定系数达 0.724。

(3) 采用 264 个站点 1956—2000 年的雨量资料,代入拟合方程并修订后发现,贵州省降雨侵蚀力的空间变化呈现由南向北递减的趋势。其多年平均降雨侵蚀力变化范围为 3 051.0 ~ 8 801.6 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ,平均值范围为 5 299.8 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。说明该省区的降雨对土壤具有极强的潜在侵蚀作用。此外,降雨侵蚀力存在明显的年内变化,干湿季差异显著,湿季 4 个月的降雨侵蚀力约占全年降雨侵蚀力的 57%。

(4) 从全省来看,近 20 a 来贵州省的降雨侵蚀力变化不明显,但个别地区的降雨侵蚀力有较大幅度的增加,应注重水土流失监测工作的落实与充分开展。

#### 参考文献:

[1] 章文波,谢云,刘宝元.利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J].地理科学,2002,22(6):705-711.  
[2] Wischmeier W H. Predicting Rainfall-erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains[M]. USDA

Agricultural Handbook, No. 292, 1965.

[3] 吴素业.安徽大别山区降雨侵蚀力指标的研究[J].中国水土保持,1992(2):36-37.  
[4] 何锡君,吕振平,杨轩,等.浙江省降雨侵蚀力时空分布规律分析[J].水土保持研究,2010,17(6):31-34.  
[5] 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.  
[6] 马良,左长清,孙勐,等.山东省降雨侵蚀力空间分布特征及简易方程的研究[J].水土保持研究,2010,17(2):28-31.  
[7] 宁丽丹,石辉.利用日降雨量资料估算西南地区的降雨侵蚀力[J].水土保持研究,2003,10(4):183-186.  
[8] 范建容,严冬,郭祥.GIS支持下的长江上游降雨侵蚀力时空分布特征分析[J].水土保持研究,2010,17(1):92-96.  
[9] 刘正佳,刘占仁,王丝丝,等.基于日降雨的沂蒙山区降雨侵蚀力时空变化研究[J].水土保持研究,2012,19(2):34-38.  
[10] 张黎明,林金石,于东升,等.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[J].水土保持研究,2011,18(5):1-4.  
[11] 王万中,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):5-18.  
[12] 章文波,谢云,刘宝元.中国降雨侵蚀力空间变化特征[J].山地学报,2003,21(1):33-40.  
[13] 周忠发,安裕伦.贵州省水土流失遥感现状调查及空间变化分析[J].水土保持通报,2000,20(6):23-25,41.  
[14] Yu B. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics[J]. Australian Journal of Soil Research, 1998,36(1):143-165.  
[15] Yu B, Rosewell C J. A robust estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transactions of the ASAE,1996,39(2):559-561.  
[16] 杨子生.滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J].水土保持通报,1999,19(1):4-12.  
[17] 许月卿,周巧富,李双成.贵州省降雨侵蚀力时空分布规律分析[J].水土保持通报,2005,25(4):11-14.  
[18] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,等.黑龙江省土壤流失方程的研究[J].水土保持通报,1992,12(4):1-9,18.  
[19] 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.  
[20] Brown L C, Foster G R. Storm erosivity using idealized intensity distributions[J]. Transactions of the ASAE,1987,30(2):379-386.