

GIS 支持下的长江上游降雨侵蚀力时空分布特征分析^{*}

范建容^{1,2}, 严冬^{1,3}, 郭祥^{1,3}

(1. 中国科学院 山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041; 2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:降雨侵蚀力是土壤侵蚀评估模型中的一个基本因子,利用长江上游 361 个测站 1961 - 2004 年日雨量资料估算降雨侵蚀力 R 值,利用 GIS 空间分析功能,获得长江上游降雨侵蚀力分布图、降雨侵蚀力年际变化趋势图、各区域 R 值平均年内分配曲线,在此基础上分析长江上游降雨侵蚀力时空分布特征。研究表明长江上游降雨侵蚀力的地域差异十分显著,与降雨量空间分布近似,由东向西减少,且降雨侵蚀力大的区域与多雨中心和暴雨中心分布基本一致。降雨侵蚀力年际变化存在明显的空间差异性,在一些地区年降雨侵蚀力的变化与年降雨量的变化趋势不一致。各区域降雨侵蚀力年内分配曲线为尖峰状分布,降雨侵蚀力十分集中。

关键词:长江上游; 降雨侵蚀力; 分布特征

中图分类号: S157.1; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0092-05

Spatial and Temporal Distribution of Rainfall Erosivity Based on GIS in the Upper Yangtze River Basin

FAN Jian-rong^{1,2}, YAN Dong^{1,3}, GUO Xiang^{1,3}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Rainfall erosivity is one of the fundamental factors in soil erosion evaluation model. Daily rainfall data recorded by 361 meteorological stations in the Upper Yangtze River Basin from 1961 to 2004 was used to estimate rainfall erosivity R . Based on spatial analysis function in GIS, rainfall erosivity distribution map, inter-annual rainfall erosivity trend map as well as seasonal distribution curve of average annual rainfall erosivity in the Upper Yangtze River Basin were acquired to analyze the spatial and temporal characteristic of rainfall erosivity. Results show that there is significant spatial difference of rainfall erosivity in the Upper Yangtze River Basin. The spatial distribution of rainfall erosivity is close to that of rainfall which decrease from the east to the west. The spatial distribution of high rainfall erosivity is nearly the same as that of heavy and intensified rainfall. There is obvious spatial difference in the inter-annual rainfall erosivity variation. In some area, the annual variation of rainfall erosivity is not consistent with that of rainfall. The seasonal distribution of average annual rainfall erosivity is highly concentrated in certain time period of the year.

Key words: The Upper Yangtze River Basin; rainfall erosivity; distribution characteristic

水土流失目前仍是长江上游地区突出的生态与环境问题,根据长江上游土壤侵蚀遥感调查资料(2000 年),长江上游水土流失面积(轻度以上土壤

侵蚀面积) 43.83 万 km^2 , 约占长江上游流域总面积的 43.6%^[1]。降雨则为土壤侵蚀的主要动力,研究降雨引起土壤侵蚀的潜在能力即降雨侵蚀力,对定

^{*} 收稿日期: 2009-08-20

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目课题(2008BAD98B04); 中国科学院西部行动计划项目课题(KZCX2-XB2-07-04)

作者简介: 范建容(1969-),女,副研究员,博士,主要从事遥感与 GIS 技术应用、山地土壤侵蚀研究。E-mail: fjr@imde.ac.cn

量评估和预报土壤流失量具有重要意义。目前应用最广泛的土壤侵蚀模型为通用土壤流失方程 USLE^[2]和修订版 RUSLE^[3],降雨侵蚀力是模型中的一个基本因子。美国农业部颁发的各期农业手册都编制了降雨侵蚀力图表,以用于指导农业生产实践。我国自 20 世纪 80 年代以来,利用雨强、日雨量、月雨量、年雨量等资料估算区域或全国降雨侵蚀力,取得了较多有意义的成果^[4-11]。但由于计算方法不同,区域间缺乏可比性;对于全国降雨侵蚀力计算,由于采用的雨量站资料有限,应用到特定区域时数据精度偏低,难以应用于土壤侵蚀敏感性评估与土壤侵蚀量预测。

长江上游降雨的地域差异十分显著,除了受大气环流的控制外,受山地地形的影响而形成了多个暴雨中心,降雨侵蚀力也将在较小范围内存在明显差异。以气象站多年日雨量整编资料为基础计算降雨侵蚀力,并利用 GIS 空间分析功能,获得长江上游降雨侵蚀力分布图,为区域土壤侵蚀定量评估奠定基础;探讨长江上游降雨侵蚀力时空分布特征,以更好地了解长江上游土壤侵蚀环境背景,为水土流失治理提供决策依据。

1 计算方法

1.1 资料准备

对长江上游日雨量资料进行了广泛收集,其中涉及 117 个气象站(1961 - 2004 年)和 342 个水文站(建站至 1987 年)。为了确保数据的精度,选取观测年限在 20 a 以上的测站资料。但由于西部地区测站相对较少,且建站一般较晚,考虑到测站的代表性,对部分资料积累在 10 a 以上的测站进行了补充选取。最后选取 361 个有效测站,并整理形成了完整的日雨量资料序列。

1.2 降雨侵蚀力计算

降雨侵蚀力指由降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,自 Wischmeier^[12-13]提出以次降雨总动能 E 与 30 min 最大雨强 I_{30} 的乘积 EI_{30} 作为降雨侵蚀力指标,并应用于通用土壤流失方程 USLE^[2]以来,随着 USLE 在世界各国的推广,降雨侵蚀力的研究受到越来越多的重视。以次降雨指标 EI_{30} 计算降雨侵蚀力的方法以次降雨过程资料为基础,但由于一般很难获得长时间序列的降雨过程资料,且资料的摘录整理十分繁琐,因此一般建立降雨侵蚀力的简易算法,即利用气象站常规降雨统计资料来评估计算

降雨侵蚀力。已有研究表明,不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力的精度不同,通过对 5 种代表性雨量资料计算侵蚀力的效果进行对比分析,以日雨量模型计算侵蚀力的精度明显最高,其余依次为逐月雨量、逐年雨量、年平均雨量和月平均雨量模型,且后 4 种模型之间差别不明显。在降雨量较丰富的南方地区,计算降雨侵蚀力的相对误差变化范围相对较小,模型表现更稳定,精度较高^[14]。其简易算法模型如下:

$$M_i = \sum_{j=1}^k (D_j) \quad (1)$$

式中: M_i ——第 i 个半月时段的侵蚀力值 [$\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$],为了与通用土壤流失方程单位统一,计算结果汇总后再将单位统一为 [$\text{MJ} \cdot \text{cm}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$]; k ——该半月时段内的天数; D_j ——半月时段内第 j 天的侵蚀性日雨量,要求日雨量 $\geq 10 \text{ mm}$,否则以 0 计算; α 和 β 为模型待定参数,利用日雨量参数估计模型参数 α 和 β 的公式:

$$\alpha = 0.8363 + 18.144 P_{d10}^{-1} + 24.455 P_{y10}^{-1} \quad (2)$$

$$\beta = 21.586 - 7.1891 \quad (3)$$

式中: P_{d10} ——日雨量 $\geq 10 \text{ mm}$ 的日平均雨量 (mm); P_{y10} ——日雨量 $\geq 10 \text{ mm}$ 的年平均雨量 (mm)。

1.3 插值与分析方法

由于降雨侵蚀力的分布存在空间自相关性,所以 ArcGIS 为平台利用克里格方法对计算所得的降雨侵蚀力数据进行空间内插。首先对插值数据进行探索性数据分析,利用直方图检验数据分布并进行正态变换,结合 Voronoi 图和 QQPlot 分布图区分出离群值,判断这些离群值是否为异常点,如果是合理离群值则保留,若不合理则删除。然后把所得的符合克里格插值条件的训练数据进行插值,并设置一定数量的检验数据以验证插值结果的准确性,从而得到空间连续的降雨侵蚀力分布图,采用空间剖面工具获得降雨侵蚀力沿程分布图。利用降雨侵蚀力分布图、年降雨量分布图、暴雨分布图,应用图像分析工具分析降雨侵蚀力与年降雨、暴雨分布的关系。

2 结果与分析

2.1 降雨侵蚀力空间分布

从降雨侵蚀力分布图(图 1)可见长江上游降雨侵蚀力的地域差异十分显著,由东向西减少,源头的五道梁一带最小,小于 $25 \text{ MJ} \cdot \text{cm}/(\text{km}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$,四川盆地较大,一般在 $800 \text{ MJ} \cdot \text{cm}/(\text{km}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$

以上。降雨侵蚀力大的区域与多雨中心、暴雨中心分布基本一致,主要出现于四川盆地西部雅安、峨嵋多雨中心,四川盆地西部北川、安县多雨中心,四川盆地东北部的万源多雨中心,黔西高原的普定、织金多雨中心。其中降雨侵蚀力最大的出现在四川盆地东北部的南江县关坝,达到 $2\,527\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 。

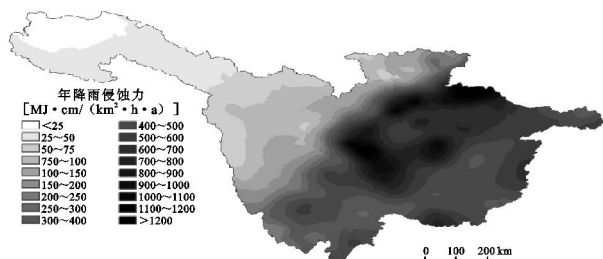


图 1 长江上游降雨侵蚀力分布图

降雨侵蚀力沿长江干流从源头而下总体呈现双峰波动增强的变化特征。如图 2 所示,直门达以上最小,均小于 $50\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$;直门达至石鼓段略有增强,但仍小于 $100\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$;石鼓至宜宾段呈先增强后减弱的波形,峰值接近 $600\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$;宜宾至宜昌段呈先急剧增强后逐渐减弱的偏峰波形,峰值出现在宜宾与泸州段中间,其值近 $1\,000\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$,重庆至宜昌的三峡库区段均值约 $500\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 。

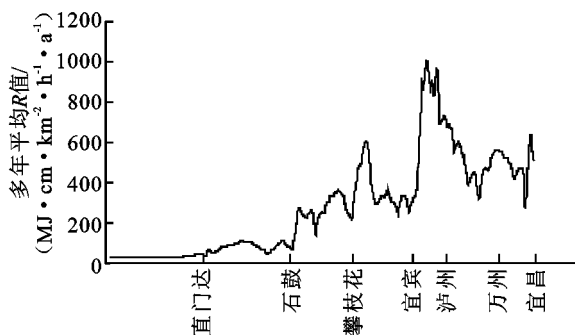


图 2 长江上游干流沿线的降雨侵蚀力沿程变化

2.2 降雨侵蚀力年际变化的空间特征

由 1961 - 2000 年的 40 幅年降雨侵蚀力 R 值图统计得到长江上游地区平均年降雨侵蚀力值,其年际变化见图 3,其中 1997 年最小,低于 $250\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$,1998 年最大,超过 $400\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$,但 40 a 间总体呈无明显变化趋势。

在 ArcGIS 中,利用 1961 - 2000 年的 40 幅年降雨侵蚀力 R 值图计算生成长江上游 40 a 的降雨侵蚀力变化趋势图,从图 4 中,可以看出降雨侵蚀力年际变化存在明显的空间差异性,长江源头地区、四

川盆地及盆北山地区年降雨侵蚀力呈下降趋势,西部山地、云贵高原区、三峡库区降雨侵蚀力呈增加趋势。降雨侵蚀力下降显著区域集中在四川盆地丘陵区,平均 10 a 下降达 $20\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h})$ 以上;降雨侵蚀力增加趋势显著的区域较分散,主要为四川的西昌、普格、宁南、万源,贵州的安顺、贵阳、余庆、思南,重庆的涪陵、奉节等地,平均 10 a 增加 $20\sim 50\text{ MJ}\cdot\text{cm}/(\text{km}^2\cdot\text{h})$ 。

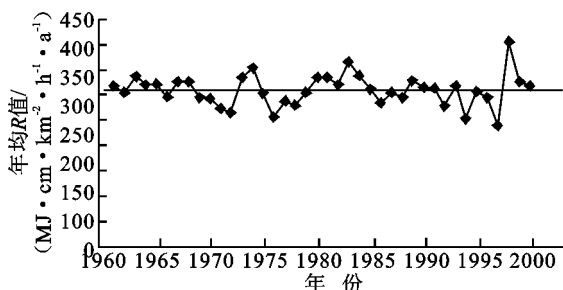


图 3 长江上游地区平均 R 值年际变化

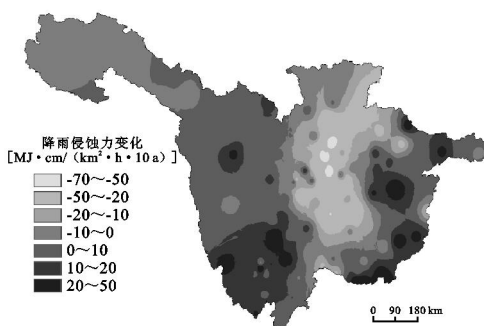


图 4 长江上游 1961 - 2000 年降雨侵蚀力变化趋势的空间分布

年降雨侵蚀力与年降雨量多存在一致的变化趋势,如金沙江中下游的西昌年降雨侵蚀力 R 值随年降雨量的增加而增强,四川盆地的成都年降雨侵蚀力 R 值随年降雨量的减少而降低。但在一些地区年降雨侵蚀力的变化与年降雨量的变化趋势不完全一致,见图 5,贵阳、奉节,年降雨量无明显变化趋势,而这两地的年降雨侵蚀力 R 值却存在明显的增强趋势,是由于这些地区暴雨增多的原因。

2.3 降雨侵蚀力年内分配特征

长江上游各区域降雨侵蚀力年内分配曲线见图 6,由曲线图可以看出,除西部高山峡谷暖温带 R 值年内分配曲线呈钝峰外,其余区域均为尖峰状分布,降雨侵蚀力十分集中,多集中在 6 - 8 月三个月,占全年 R 值的 $60\%\sim 76\%$,5 - 9 月 5 个月的 R 值则占全年 R 值的 $80\%\sim 97\%$;降雨侵蚀力的峰值多出现在 7 月,而盆西边缘山地亚热带出现在 8 月,盆南边缘山地亚热带出现在 6 月,尖峰单月 R 值占全年 R 值的 $25\%\sim 37\%$ 。

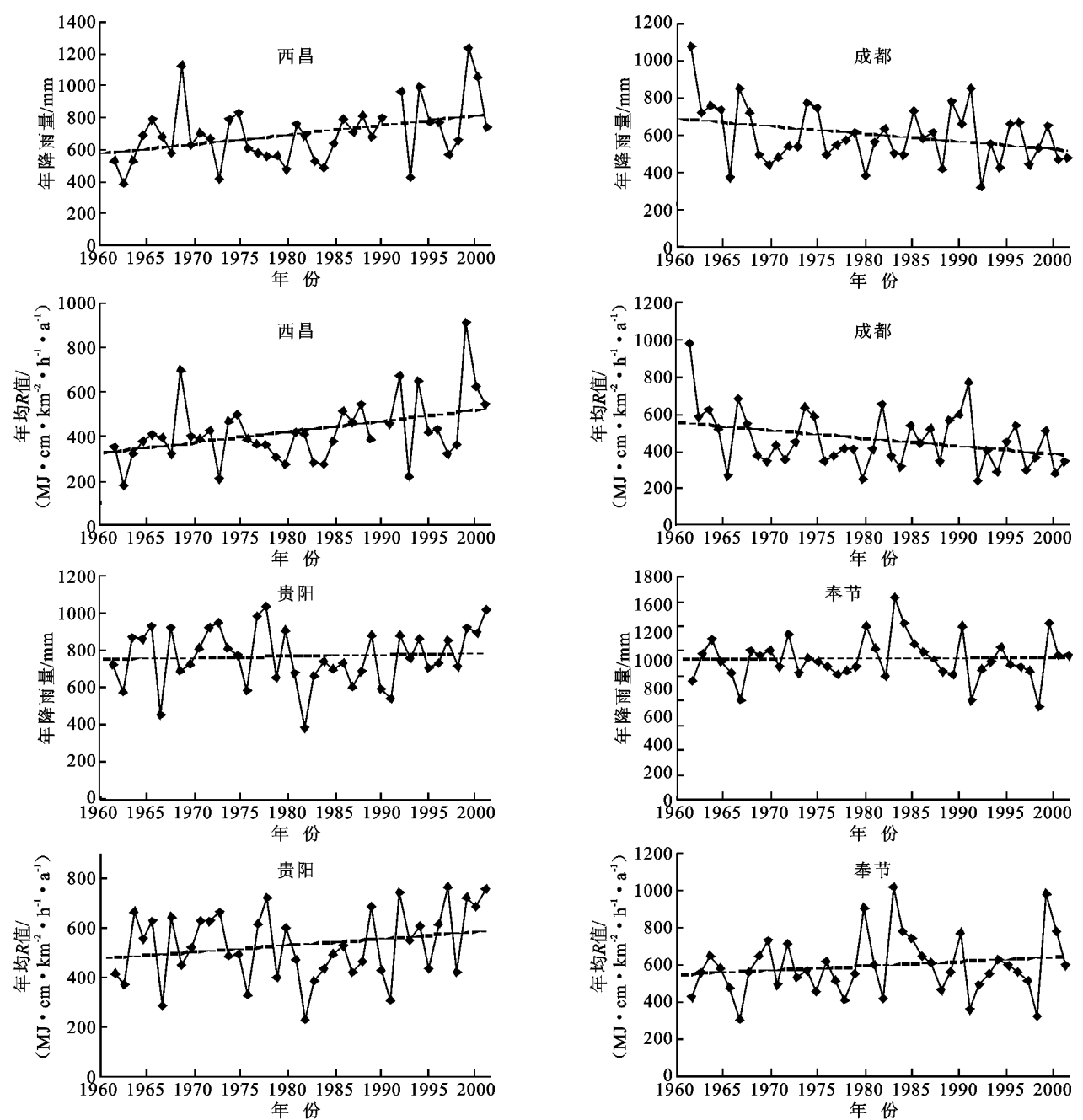


图 5 年降雨侵蚀力与年降雨量变化的特征

3 结论

长江上游降雨侵蚀力的地域差异十分显著,由东向西减少,江源区一带最小,且降雨侵蚀力大的区域与多雨中心和暴雨中心分布基本一致。长江上游地区平均年降雨侵蚀力值 40 a 间总体呈无明显变化趋势,但降雨侵蚀力年际变化存在明显的空间差异性,长江源头地区、四川盆地区及盆北山地区年降雨侵蚀力呈下降趋势,其余地区呈增加趋势。年降雨侵蚀力与年降雨量多存在一致的变化趋势,但由于降雨侵蚀力还取决于雨强,在一些地区年降雨侵蚀力的变化与年降雨量的变化趋势不一致。长江上游各区域降雨侵蚀力年内分配曲线为尖峰状分布,

降雨侵蚀力十分集中,在短期内即可能产生较强的土壤侵蚀。

参考文献:

[1] 崔鹏,张小林. 中国水土流失防治与生态安全:长江上游及西南诸河区卷[M]. 北京:科学出版社,2009.

[2] Wischmeier W H , Smit h D D. Predicting rainfall erosion losses:A guide to conservation planning[M]. Agriculture Handbook , USDA ,1978.

[3] Renard K G , Foster G R , Weesies G A ,et al. Predicting soil Erosion By Walter: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE) [M]. National Technical Information Service ,USDA ,1997.

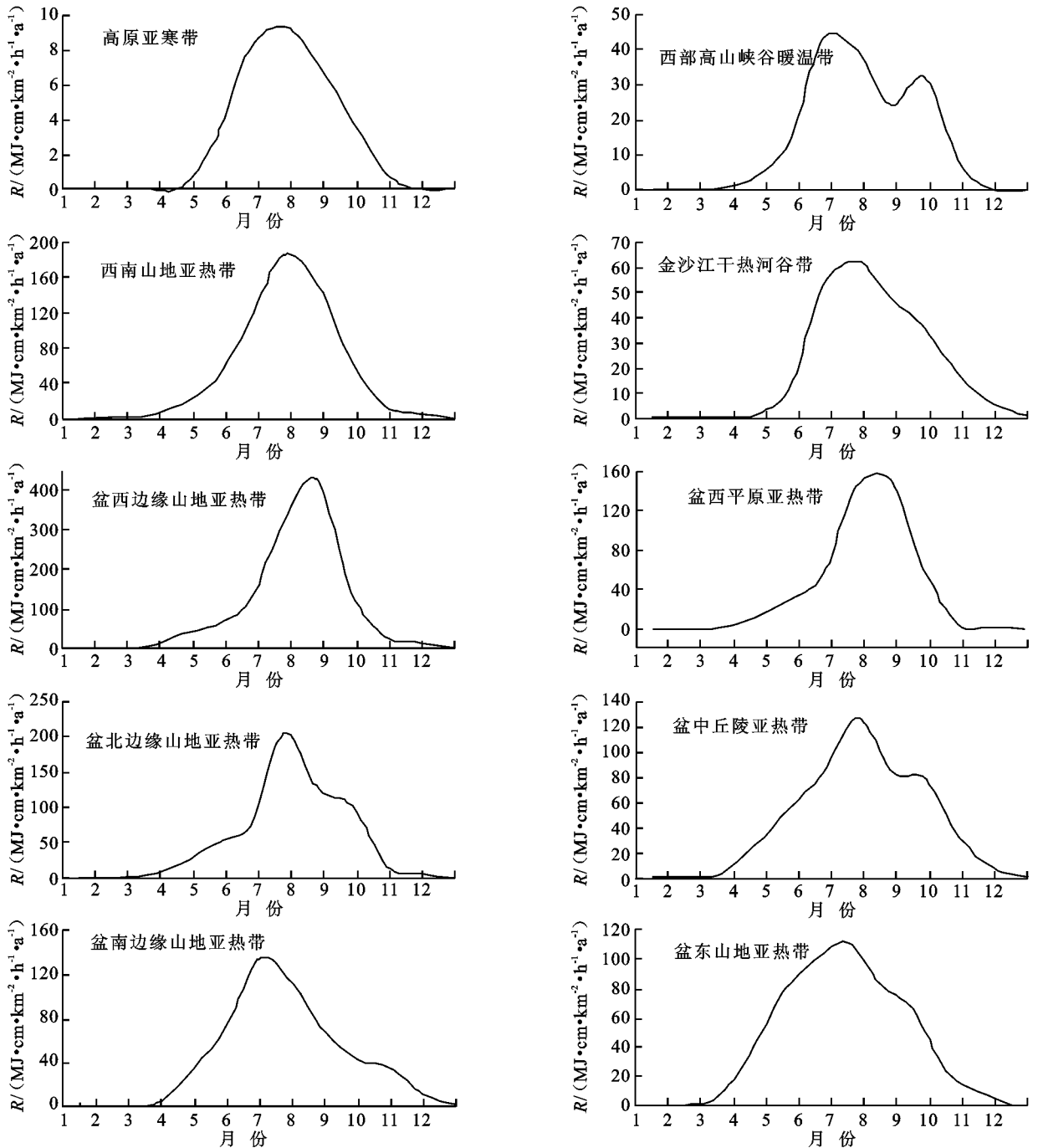


图 6 长江上游主要气候区多年平均降雨侵蚀力的年内分配特征

- [4] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力 R 指标的研究[J]. 中国水土保持, 1987(12): 34-40.
- [5] 黄炎和, 卢程隆, 郑添发, 等. 闽东南降雨侵蚀力指标 R 值的研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(4): 1-5.
- [6] 卜兆宏, 董勤瑞, 周伏建, 等. 降雨侵蚀力因子算法的初步研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(4): 408-417.
- [7] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律研究[J]. 中国水土保持, 1994(4): 12-13.
- [8] 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.
- [9] 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): 5-18.
- [10] 王万忠, 焦菊英, 郝小品. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布 (II) [J]. 水土保持学报, 1996, 2(1): 29-39.
- [11] 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.
- [12] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions of American Geophysical Union, 1958, 39(3): 285-291.
- [13] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation[J]. Soil Science Society Proceedings, 1959, 23(3): 246-249.
- [14] 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.