

# 贵州省降雨侵蚀力时空分布规律分析

许月卿, 周巧富, 李双成

(北京大学 环境学院资源环境地理系 地表过程分析与模拟重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 降水是导致土壤侵蚀的主要动力因素, 降雨侵蚀力反映了降雨对土壤侵蚀的潜在能力。贵州省是我国典型的生态环境脆弱区之一, 水土流失十分严重。以全省 19 个气象台站 1951—2001 年逐日降雨资料, 利用日降雨侵蚀力模型, 估算了贵州省降雨侵蚀力, 分析了其时空分异规律。结果显示近 50 a 来贵州省降雨侵蚀力呈增加趋势, 即由降雨引起的土壤水蚀潜在能力增加。降雨侵蚀力年内分配主要集中在夏季, 占年均降雨侵蚀力的 68.48%。在空间分布上, 降雨侵蚀力由南向北递减, 并且在西南部和东南边缘形成侵蚀力高值中心, 在西北部形成低值中心。根据年降雨侵蚀力的季节分配特征, 可以将贵州省划分为 3 个类型区。

**关键词:** 降水侵蚀力; 空间变化; 季节变化; 日雨量

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2005)04—0011—04

中图分类号: S157.1

## An Analysis on Spatial—Temporal Distribution of Rainfall Erosivity in Guizhou Province

XU Yue-qing, ZHOU Qiao-fu, LI Shuang-cheng

(Department of Resources and Environmental Geosciences, Peking University;

Key Laboratory for Earth Surface Processes, the Ministry of Education, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Rainfall is the main dynamic factor that causes soil loss and rainfall erosivity, it shows the potential ability of the soil loss caused by rainfall. Estimating the rainfall erosivity accurately is significant to predict soil loss quantitatively and make soil and water conservation program. Guizhou Province, with serious soil erosion, is one of the typical regions whose ecological environment is very fragile. In order to estimate rainfall erosivity accurately and analyze the spatial distribution and temporal change of rainfall erosivity, a daily rainfall erosivity model was adopted to calculate the rainfall erosivity of Guizhou Province using daily rainfall data during 1951—2001 from 19 weather stations. The results indicate that rainfall erosivity show increasing trend during the last 50 years which indicates that the potential ability of the soil loss caused by rainfall increase in Guizhou Province. The seasonal distribution of annual average rainfall erosivity is centralized and the percentage of rainfall erosivity in summer is 68.48%. The spatial distribution of rainfall erosivity shows decreasing trend from the south to the north. The center with the largest rainfall erosivity is located in the southwest and southeast regions in Guizhou Province, while the center with the smallest rainfall erosivity is located in the northwest regions. However, rainfall erosivity is influenced by rainfall amount and intensity, there are a lot of differences between the distribution of rainfall and rainfall erosivity. According to the seasonal changing character of rainfall erosivity of whether stations, three regions are classified in Guizhou Province. With the increase of longitude from the west to the east regions, the centralization degree in seasonal distribution of annual rainfall erosivity decreases.

**Keywords:** rainfall erosivity; spatial distribution; seasonal change; daily rainfall

贵州省处于世界喀斯特最复杂、类型最齐全、分布面积最大的东亚岩溶区域中心, 岩溶面积占全省土地面积的 73%, 山地丘陵占全省总面积的 92.5%, 山高坡陡, 水土流失十分严重。据统计, 20 世纪 50 年

代贵州全省水土流失面积为  $2.50 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 60 年代扩大到  $3.50 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 70 年代末为  $5.00 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 1995 年则高达  $7.67 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占全省总面积的 43.50%, 而目前已达 50%<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2004-10-29

资助项目: 国家自然科学基金重点项目“西南喀斯特山区土地利用/土地覆被变化及其对土地资源利用可持续性的影响”(40335046)

作者简介: 许月卿(1972—), 女(汉族), 河北定州市人, 博士, 主要从事土地利用及其环境效应等方面的研究。E-mail: xuyq@pku.edu.cn; xmoonq@sina.com。

降雨是导致土壤侵蚀的主要动力因素,降雨侵蚀力反映了降雨对土壤侵蚀的潜在能力,是通用土壤流失方程 USLE 或 RUSLE 中一个最基本因子<sup>[2]</sup>。因此,准确评估降雨对土壤侵蚀的潜在作用,对定量预报土壤流失、制定水土保持规划等具有重要意义。由于次降雨量和雨强等过程资料难以获得,一般利用气象站常规统计降雨资料如日雨量、月雨量、年雨量或其它雨量参数来估算降雨侵蚀力<sup>[3]</sup>。而在不同类型统计降雨资料估算的降雨侵蚀力中,以日雨量计算多年平均侵蚀力的精度最高<sup>[4]</sup>。针对上述研究和贵州省的实际情况,本文采用逐日雨量资料计算贵州省近 50 a 来的降雨侵蚀力,评估降雨对土壤侵蚀的潜在作用能力,分析降雨侵蚀力的时空变化规律,为贵州省的水土流失治理和水土保持规划提供科学依据。

## 1 资料和方法

日雨量资料是目前气象站公开发布的最详细雨量整编资料,与月雨量和年雨量资料相比能提供更详细的降雨特征信息<sup>[4]</sup>。整理搜集贵州省气象台建站以来历年逐日降雨资料,最早年份为 1951 年,最近为 2001 年。对于个别缺测站点,利用临近台站空间插值,并用同一台站资料建立自回归模型<sup>[5]</sup>,将降雨序列补齐,最后获得 19 个有效测站,得到完整的逐日降雨资料序列。

降雨侵蚀力通常用降雨动能和某一时段(通常为 30 min)最大降雨强度的乘积表示,如  $EI_{30}$  等。但这种算法需要长期的且连续的自记雨量资料,使应用范围受到很大限制,许多学者提出了降雨侵蚀力的替代算法<sup>[6-8]</sup>。通过对各种算法性能比较以及气候资料状况,本文选择基于日降雨的月降雨侵蚀力计算模型<sup>[9-11]</sup>:

$$E_j = \left[ 1 + \cos(2f_j + \dots) \right] \prod_{d=1}^N R_d \quad (1)$$

$$R_d > R_0$$

式中:  $E_j$  ——月降雨侵蚀力 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$ );  $R_d$  ——日降雨量;  $R_0$  ——产生侵蚀的日降雨强度阈值,一般取值为 12.7 mm;  $N$  ——某月中日降雨量超过  $R_0$  的天数;  $f$  ——频率,  $f = 1/12$ ,  $\dots = 5/6$ ;  $\dots$ , ——模型参数,通过以下经验公式获得。研究表明<sup>[10]</sup>,在年降雨量大于 1050 mm 的地方,  $\dots$  的关系为(2)式,在年雨量 500 ~ 1050 mm 的地方,  $\dots$  关系为(3)式,  $\dots$  和年均降雨量的关系为(4)式。

$$\log \dots = 2.11 - 1.57 \quad (2)$$

$$= 0.395 \{ 1 + 0.098^{[3.26(S/P)]} \} \quad (3)$$

$$= 0.58 + 0.25 P/1000 \quad (4)$$

上式中  $\dots$  取值范围在 1.2 ~ 1.8 之间,  $S$  为夏半年降雨量,  $P$  为年均降雨量。根据以往研究结果并结合贵州省实际情况,本文取  $\dots$  为 1.5,利用(1),(2),(4)式计算各气象台站 1951—2001 年逐月降雨侵蚀力,经汇总后得到各气象台站的年降雨侵蚀力、多年平均降雨侵蚀力等。

## 2 结果与分析

### 2.1 降雨侵蚀力空间分布

在计算出各站点的多年平均降雨侵蚀力后,采用 Kriging 内插方法进行空间内插,得到贵州省多年平均降雨侵蚀力空间分布图(见附图 4)。可见,贵州省多年平均降雨侵蚀力由南向北递减,在贵州省西南部、东南部边缘和东北部边缘较大,在中部和西北部较低。由于降雨侵蚀力取决于降雨量和降雨强度 2 个方面,所以降雨侵蚀力和降雨量在空间分布上有许多不同(见附图 5),主要表现在:降雨侵蚀力从南向北递减的速度明显比雨量快,在相同区域内降雨量从 1220 mm 减少到 1060 mm,而降雨侵蚀力从 4770  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  减小到 3700  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

贵州省多年平均降雨侵蚀力变化范围在 1865.15 ~ 7238.53  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  之间,平均为 4383.34  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。降雨量变化范围在 705.76 ~ 1592.47 mm 之间,平均为 1143.37 mm。在东南边缘的从江、荔波、三江、融水等县、自治区以及西南部的南丹、盘县、关岭、普安、兴仁、晴龙等县、自治区形成降雨侵蚀力的高值中心,侵蚀力值一般在 5000  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  以上,降雨量在 1300 mm 以上。在西北部的昭通、鲁甸、威信、赫章、会泽等县、自治区形成降雨侵蚀力的低值中心,侵蚀力值一般在 3000  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  以下,降雨量在 800 mm 以下。东北部边缘的囚阳、松桃、秀山等自治县降雨侵蚀力也较大,侵蚀力范围在 4500 ~ 5000  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  之间,降雨量在 1250 ~ 1300 mm 之间。贵州省中部和北部降雨侵蚀力在 3000 ~ 4500  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$  之间,降雨量在 800 ~ 1250 mm 之间,如息烽、开阳、金沙、桐梓、赤水等县、自治区。

### 2.2 降雨侵蚀力的季节变化

贵州省降雨季节变化十分明显,夏季(6—8月)降雨占年降雨的 47.68%。冬季降雨最少,仅占全年降雨的 5.42%(图 1)。降雨侵蚀力是由侵蚀性降雨标准以上的降雨引起的<sup>[12]</sup>。所以,降雨侵蚀力主要集中在夏季 6—8 月份,这 3 个月的降雨侵蚀力占年均降雨侵蚀力的 68.48%。春季(3—5月)降雨侵蚀力占年均侵蚀力的 18.67%,秋季(9—11月)占

12.71%。冬季(12—翌年 2 月)降雨侵蚀力最小,仅占年均侵蚀力的 0.14%。由于降雨侵蚀力取决于雨量和雨强 2 方面因素,所以研究区降雨侵蚀力的季节变化与降雨量的季节变化并不完全一致,降雨侵蚀力在各月间的差异明显大于降雨量的差异。降雨侵蚀力的分布为明显的单峰型,高峰值出现在 6 月,该月

降雨侵蚀力占年均侵蚀力的 27.06%。全年降雨侵蚀力集中分布在 4—10 月,其降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力的累计百分比为 98.6%。降雨量的季节分布也以 6 月份最大,该月降雨量占年内降雨量的 18.64%,4—10 月的降雨量占年降雨量的 87.14%,均低于同期降雨侵蚀力的百分比。

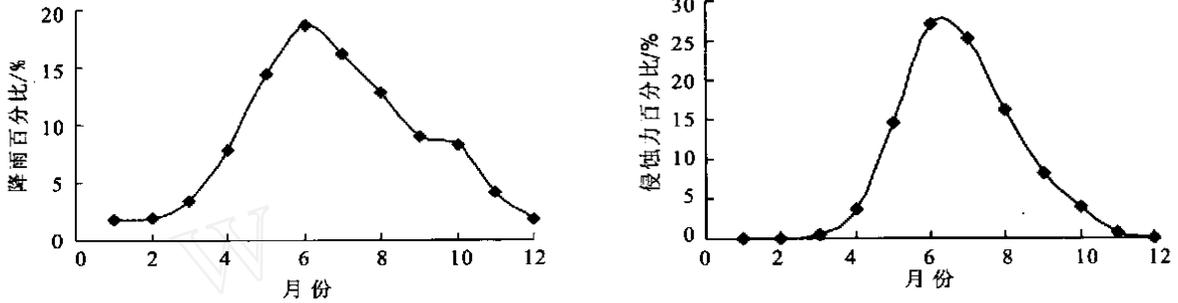


图 1 多年平均各月降雨及降雨侵蚀力百分比

根据各台站多年平均降雨侵蚀力的季节变化特征,将贵州省各台站分为 3 种类型(表 1)。表 1 中降雨侵蚀力标识是针对气象台站的降雨侵蚀力季节的变化特征给出的一种定量化标度,将其作为气象台站的第三维属性,从而把降雨侵蚀力变化与其对应的空间分布联系起来。以各台站侵蚀力标识为原数据,采用 Kriging 插值方法,得到侵蚀力季节变化的空间格局,并与侵蚀力标识相对应把贵州省划分为 3 个类型区(附图 6)。附图 6 表现出贵州降雨侵蚀力沿经度分布的变化格局。从西到东随着经度的升高,降雨侵

蚀力集中程度逐渐降低。第 1 类型区主要分布在贵州省东南边缘,包括从江、锦平、独山、黎平、天柱等县,占贵州省总面积的 10.67%,夏季降雨侵蚀力占到年降雨侵蚀力的 60%~65%。第 2 类型区主要分布在中部,其中包括思南、都允、湄潭等县、自治区,占贵州省面积的 39.01%,夏季降雨侵蚀力占到年降雨侵蚀力的 65%~70%。第 3 类型区分布在贵州省西部,包括威宁、盘县、普安、毕节等县、自治区,占贵州省面积的 50.32%,夏季降雨侵蚀力占到年降雨侵蚀力的 70%~76%。

表 1 贵州省气象台站分类

侵蚀力标识	气象台站	侵蚀力季节变化特征
1	三穗、罗甸、独山、铜仁、榕江	降雨侵蚀力季节分配集中度较低,夏季占全年 60%~65%,最大降雨侵蚀力发生在 6 月和 7 月,占年降雨侵蚀力 22%左右。
2	思南、凯里、湄潭、贵阳、桐梓、遵义、黔西	降雨侵蚀力季节分布较集中,夏季降雨侵蚀力占年 65%~70%,最大降雨侵蚀力发生在 6 月和 7 月,占年降雨侵蚀力的 25%左右。
3	望谟、兴义、习水、安顺、威宁、盘县、毕节	降雨侵蚀力季节分布集中,夏季降雨侵蚀力占全年 70%~76%,最大降雨侵蚀力发生在 6 月,占年降雨侵蚀力的 30%左右。

2.3 降雨侵蚀力年际变化

气候要素的线性变化趋势常用倾向率表示,即该气候要素平均每 10 a 的线性变化绝对量<sup>[13]</sup>。降雨量及其侵蚀力的年际变化也以倾向率表示。贵州省多年平均降雨侵蚀力的倾向率为 120.16 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)(图 2)。各气象台站的降雨侵蚀力倾向率变化范围在 -106~520 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)之间,平均值 207 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)。绝大多数台站的降雨侵蚀力倾向率为正,占总台站数的 89.47%。这表明近 50 a 来贵州降雨侵蚀力呈增加趋势,降雨引起的土壤侵蚀潜在在增加。贵州省降雨侵蚀力的变差系数 C<sub>v</sub> 为

0.18,降雨的变差系数 C<sub>v</sub> 为 0.21,可见,降雨侵蚀力的年际变化较小。

在空间分布上,西北部的赫章、毕节和北部的赤水等县、自治区降雨侵蚀力的倾向率为负值,说明该区域近 50 a 降雨侵蚀力是在减小的,其余地区降雨侵蚀力倾向率均呈正值,表明贵州省绝大部分地区近 50 a 降雨侵蚀力呈增加趋势。其中西南部的关岭、镇宁、贞丰等县、自治区和东南边缘的从江、黎平、融水等县、自治区形成降雨侵蚀力倾向率的正值中心,降雨侵蚀力倾向率范围在 300~500 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)之间(附图 7)。

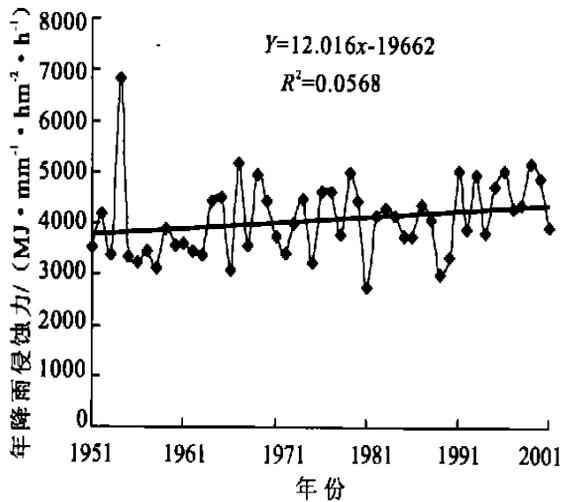


图 2 降雨侵蚀力年际变化趋势

### 3 结 论

降雨是引起土壤侵蚀的主要动力因素,降雨侵蚀力反映了降雨对土壤侵蚀的潜在能力。贵州省多年平均降雨侵蚀力在 1 865.15 ~ 7 238.53 MJ · mm/(hm<sup>2</sup> · h · a) 之间,平均为 4 383.34 MJ · mm/(hm<sup>2</sup> · h · a),其分布由南向北递减,在贵州省西南部、东南部边缘和东北部边缘较大,在中部和西北部较低,这和降雨空间分布特征类似。但是降雨侵蚀力取决于雨量和雨强两方面,因此降雨侵蚀力和降雨量的空间分布也有许多不同点。贵州省降雨侵蚀力季节分配集中度较高,最大月份降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力的 27.06%,夏季降雨侵蚀力占年均降雨侵蚀力的 68.48%,降雨侵蚀力在各月间的差异明显大于降雨量的差异。根据降雨侵蚀力的季节变化特征,采用 Kriging 插值方法,将贵州省划分 3 个类型区,从西到东随着经度的升高,

降雨侵蚀力集中程度逐渐降低。近 50 a 来,多数台站降雨侵蚀力倾向率为正,贵州省降雨侵蚀力呈增加趋势,降雨引起的土壤侵蚀潜在在增加。

#### [参 考 文 献]

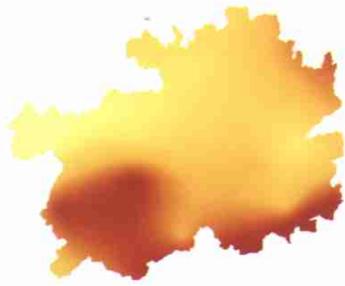
- [1] 万军. 贵州省喀斯特地区土地退化与生态重建研究进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18(3): 447—453.
- [2] 章文波, 谢云, 刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 33—40.
- [3] Renard, K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE[J]. Journal of Hydrology, 1994, 157: 287—306.
- [4] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估计估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 35—41.
- [5] 黄嘉佑. 北京地面气温可预报性及缺测资料恢复研究[J]. 气象学报, 1995, 53(2): 211—216.
- [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] 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.
- [8] 吴素业. 安徽大别山降雨侵蚀力简易算法与时空分布规律研究[J]. 中国水土保持, 1994, (4): 12—13.
- [9] Yu B. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics[J]. Australian Journal of Soil Research, 1998, 36: 143—165.
- [10] Yu B, Rosewell C J. A robust estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transaction Society of Agriculture Engineers, 1996, 39: 559—561.
- [11] 宁丽丹, 石辉. 利用日降雨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.
- [12] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6—11.
- [13] 林振耀, 赵昕奕. 青藏高原气温降水变化的空间特征[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(4): 354—358.

(上接第 10 页)

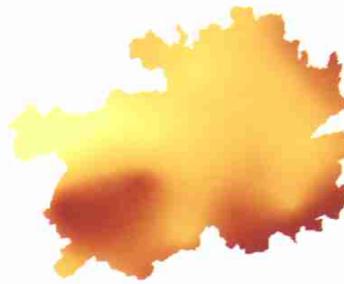
- [3] 杨存建, 刘纪远, 张增祥. 重庆市土壤侵蚀及其背景的空间分析[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 84—87.
- [4] 王占礼, 彭珂珊. 我国土壤侵蚀状况与主要影响因素研究[J]. 生态经济, 1999(5): 48—51.
- [5] 史德明, 韦启藩, 梁音, 等. 中国南方侵蚀土壤退化指标体系研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 1—9.
- [6] 肖寒, 欧阳志云, 王效科, 等. GIS 支持下的海南岛土壤

侵蚀空间分布特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 75—80.

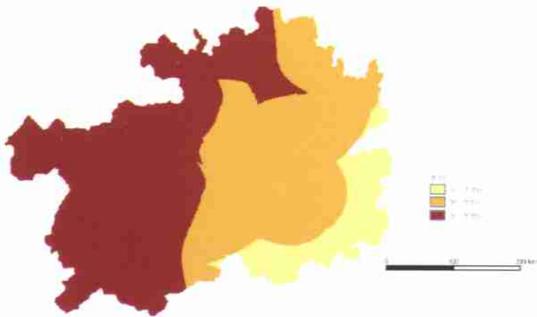
- [7] 冯琰, 华珞, 傅桦. 地理信息系统(GIS)在土壤侵蚀研究中的应用[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2003, 24(4): 68—75.
- [8] 杨武德, 王兆骞, 睦国平, 等. 红壤坡地不同土地利用方式土壤侵蚀的时空分布规律研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(2): 155—158.



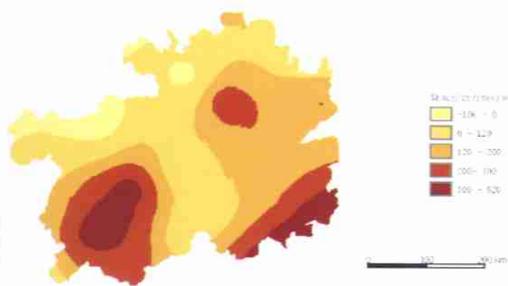
附图4 贵州省多年平均降雨侵蚀力空间分布



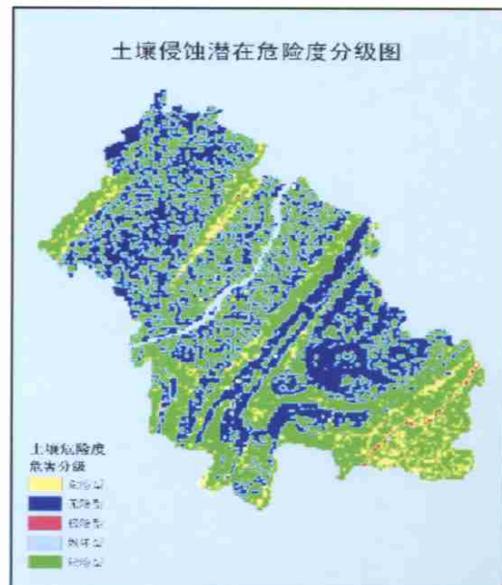
附图5 贵州省多年平均降雨空间分布



附图6 降雨侵蚀力季节变化类型分区



附图7 降雨侵蚀力倾向率空间分布



附图8 土壤侵蚀潜在危险度分级