

# 基于日降雨的沂蒙山区降雨侵蚀力时空变化研究

刘正佳<sup>1,2</sup>, 刘占仁<sup>2</sup>, 王丝丝<sup>3</sup>, 于兴修<sup>2</sup>

(1. 山东师范大学 人口·资源与环境学院, 济南 250014; 2. 临沂大学 山东省水土保持与环境保育重点实验室/水土保持与环境保育研究所, 山东 临沂 276005; 3. 香港中文大学 地理与资源管理学系, 香港)

**摘要:**降雨侵蚀力是水土流失最为重要的外部驱动力,是土壤侵蚀相关领域的研究重点。以沂蒙山区及周边 38 个气象站 1971—2008 年逐日降雨量资料为数据源,利用基于日降雨信息的月降雨侵蚀力模型,估算了研究区多年月、年降雨侵蚀力,并初步分析了降雨侵蚀力的时空分布规律。结果表明:沂蒙山区降雨侵蚀力总体趋势为西北、中南高,北部低,泗水县、曲阜市东部一带是研究区降雨侵蚀力的高值中心; $R$  值与年降雨量和年侵蚀性降雨量的年际变化趋势基本一致,但也有部分异常年份;沂蒙山区降雨侵蚀力年内主要集中分布在 6—9 月份,占全年的 97.07%,其中最大月降雨侵蚀力出现在 7 月份,占年降雨侵蚀力的 51%。研究结果可为该区域水土流失预报、农业面源污染状况预报等提供理论依据。

**关键词:**日降雨;降雨侵蚀力;沂蒙山区;时空变化

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0034-04

## Spatiotemporal Variation of Rainfall Erosivity in Yimeng Mountainous Area Based on Daily Rainfall

LIU Zheng-jia<sup>1,2,3</sup>, LIU Zhan-ren<sup>2</sup>, WANG Si-si<sup>4</sup>, YU Xing-xiu<sup>2</sup>

(1. College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan 250014, China;

2. Shandong Province Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Environment Protection/Institute of Soil & Water Conservation and Environment Protection, Linyi University, Linyi, Shandong 276005, China;

3. Department of Geography and Resources Management, the Chinese University of Hong Kong, Hongkong, China)

**Abstract:** Rainfall erosivity is the most important external driving force of soil and water loss, and it is the key field of the soil erosion. In order to estimate rainfall erosivity accurately and analyze the spatial distribution and temporal change of rainfall erosivity, a monthly rainfall erosivity model was adopted to calculate the rainfall erosivity in Yimeng mountainous area by using daily rainfall data from 38 stations during 1971—2008. The results show that the spatial distribution of  $R$  value in Yimeng mountainous area is higher in the northwest and south central, but lower in north. Sishui County and east area of Qufu City is the high value in the study area. The interannual variability trend of  $R$  value is the same as the trend annual rainfall and aggressive rainfall, but there are also some abnormal years. Rainfall erosivity in Yimeng mountain area is distributed mainly from June to September, accounting for 97.07% of all year. The highest  $R$  value appears in July, accounting for 51% of the annual rainfall erosivity. The result could provide theoretical basis for forecast of the soil and water loss and agricultural non-point source pollution condition.

**Key words:** daily rainfall; rainfall erosivity; Yimeng mountainous area; spatiotemporal variation

降雨对水土流失的作用可由降雨量、降雨强度、降雨时间、雨滴动能等指标表征,单项指标的研究对认知水土流失发生规律及建立防御体系具有重要作

用<sup>[1]</sup>。降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,是导致水土流失最为重要的外部驱动力,是通用土壤流失方程(USLE)及其修正形式(RUSLE)中一个最

收稿日期:2011-08-26

修回日期:2011-09-09

资助项目:山东省科技攻关项目(2009GG10006015);临沂市重大科技创新项目(201011019);水利部淮委科技项目(SBJ2010003)

作者简介:刘正佳(1986—),男(回族),山东青州人,在读硕士生,主要从事水土流失过程和机理研究。E-mail:ljz7sdjn@126.com

通信作者:刘占仁(1965—),男,山东乳山人,副教授,主要从事水土保持研究工作。E-mail:Liuzhanren@lyu.edu.cn

基本的因子。因此,分析降雨侵蚀力的时空变化特征,准确评估降雨对水土流失的潜在作用,对定量预报区域水土流失现状、农业面源污染状况及制定相应的控制措施、优化区域生态环境等具有重大意义。

Wischmeier 等在 1958 年根据美国 8 000 多个小区——年降雨径流资料的分析,提出以降雨总动能  $E$  与最大 30 min 雨强  $I_{30}$  的乘积  $EI_{30}$  作为降雨侵蚀力指标,定量表征次降雨可能引起土壤侵蚀的能力。降雨侵蚀力的计算是以次降雨资料为基础的,而 Wischmeier 等认为计算多年平均降雨侵蚀力一般要求至少 20 a 以上的降雨过程资料。而在许多国家和地区很难获得这种资料且资料的整理计算十分繁琐,即资料可获得性极大地限制了降雨侵蚀力指标的推广使用。目前国内外学者通过各种数学方法,建立多种年、月等降雨侵蚀力的经验估算模型<sup>[2-5]</sup>。相关研究证明以日降雨量计算的多年平均降雨侵蚀力精度最高<sup>[6]</sup>。日降雨量与月、年降雨量相比,能够提供更多的降雨特征信息,且我国的气象部门会定期发布台站逐日降雨等资料,资料的可获取性为利用日降雨信息估算降雨侵蚀力奠定了基础。

沂蒙山区是北方土石山区的典型代表,具有土壤表层疏松、夹杂石砾、土层浅薄、土壤涵蓄水能力低、人口密度大的特点,中度及以上的土壤侵蚀强度面积达到 50%,土壤侵蚀严重<sup>[7-8]</sup>。我国政府已将沂蒙山区列为国家水土保持重点工程建设区,而目前对于该区域与土壤流失预报模型紧密相关的降雨侵蚀力的相关研究甚少。本研究基于日降雨资料,利用日降雨

量计算月降雨侵蚀力的复合因子模型,估算沂蒙山区月降雨侵蚀力,并转化为相应的年降雨侵蚀力,对该区域降雨和降雨侵蚀力的空间分布、年际变化和年内变化特征进行了较为系统的分析,以期为该区域水土流失预报、农业面源污染状况预报等提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

沂蒙山区(34°23'14"—36°18'38" N, 116°40'41"—119°11'36" E)位于山东省中南部。研究区面积为 28 804.5 km<sup>2</sup>,海拔 20~1 156 m,丘陵山地面积占 70%左右。土壤以棕壤和褐土为主,属暖温带大陆性气候,四季分明,气候温暖,年平均降雨量 488~1 161 mm。

### 1.2 数据来源

本研究所用的基础数据包括沂蒙山区及周边地区的气象数据,数据来源于山东省气象局和国家气象局,时间为 1971—2008 年,其中 8 个国家级台站,30 个省级台站。数据包括台站经度、纬度、海拔、日降雨量、温度等。

### 1.3 研究方法

本研究采用文献<sup>[9]</sup>中建立的利用日降雨量计算月降雨侵蚀力的复合因子模型。该模型提出了侵蚀性降雨量( $P_{mer}$ )、侵蚀性降雨日数( $D_{mer}$ )和极端降雨量( $Z_m, Z_{3m}$ )等新的指标,很好地将降雨强度信息反映在模型当中<sup>[10]</sup>。其表达式如下:

$$R_m = \begin{cases} 40.36 P_{mer}^{1.521} \left(\frac{P_{mer}}{D_{mer}}\right)^{1.726} \left(\frac{P_m}{D_m}\right)^{0.162} Z_{3m}^{-1.445} & (P_{dmax} \geq 12 \text{ mm}) \\ 0.084 P_m^{2.23} D_m^{0.566} Z_m^{-0.565} & (0.6 \text{ mm} \leq P_{dmax} < 12 \text{ mm}) \\ 0 & (P_{dmax} < 0.6 \text{ mm}) \end{cases}$$

式中: $R_m$ ——月降雨侵蚀力 $[(J \cdot mm)/(m^2 \cdot h)]$ ;  $P_{mer}$ ——月侵蚀性雨量(mm),即某月内日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ <sup>[11]</sup>的降雨量总和; $D_{mer}$ ——月侵蚀性降雨日数(d),即某月日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的降雨天数; $P_m$ ——月降雨量(mm); $D_m$ ——月降雨日数,即某月内日降雨量在 0.6 mm 以上的天数; $Z_{3m}$ ——某月日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 时,该月内降雨量最大的 3 日的日降雨量之和(mm); $Z_m$ ——某月内降雨量最大的 1 日日降雨量(mm); $P_{dmax}$ ——某月内最大日降雨量(mm)。

在此基础上,利用地统计学方法分析降雨侵蚀力的空间分布。地统计学是利用原始数据和变异函数的结构性,对未采样点的区域化变量进行无偏估值的一种方法,是研究空间变异的有效方法之一,是实现参数的离散化与空间化的有效工具,已经广泛用于地

理学、生态学等诸多领域的研究中<sup>[12]</sup>。相关研究提出<sup>[13]</sup>,2 阶趋势条件下,半方差模型采用高斯模型、插值方法为析取克里格(Disjunctive Kriging)方法拟合台站多年平均降雨侵蚀力的结果要优于其他插值方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 降雨量与降雨侵蚀力空间分布

从附图 4 可以看出,沂蒙山区多年年均降雨量变化范围为 622.46~827.38 mm,平均值为 723.55 mm,降雨量呈现从东南向西北递减的趋势;而多年降雨侵蚀力变化范围在 670.18~4 077.34 (MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h·a),平均值为 1 777.50 (MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h·a)。R 值总体呈现西北、中南高,而

北部低的趋势。西北部的泗水县、曲阜市东部一带形成了降雨侵蚀力的高值中心,该地区降雨侵蚀力  $R$  值在  $3\,000\text{ (MJ}\cdot\text{mm)/ (hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a)}$  以上,而降雨量在  $650\text{ mm}$  左右。这可能与该地区雨季多大雨或暴雨,次降雨的雨强高,雨滴动能大有关。而在沂水县的中东部、平邑县的东北部及邹城县的中西部等地区形成了降雨侵蚀力的低值中心,降雨侵蚀力  $R$  值在  $1\,000\text{ (MJ}\cdot\text{mm)/ (hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a)}$  以下,虽然同属低值中心,但多年平均降雨量沂水县要比邹城县高  $50\text{ mm}$ 。 $750\text{ mm}$  降雨带附近是研究区降雨侵蚀力  $R$  值  $2\,000\sim3\,000\text{ (MJ}\cdot\text{mm)/ (hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a)}$  分布较为集中的区域。

2.2 降雨量与降雨侵蚀力年际变化

从沂蒙山区降雨侵蚀力  $R$  值的年际变化来看(图 1), $R$  值与年降雨量和年侵蚀性降雨量的年际变化趋势基本一致,但也有部分年份出现年降雨量和年侵蚀性降雨量是相对低值而降雨侵蚀力  $R$  值却是相对高值的情况,如 1973 年、1975 年、1988 年及 1992 年;或年降雨量和年侵蚀性降雨量是相对高值而降雨侵蚀力  $R$  值却是相对低值的情况,如 1974 年及 1976 年。在计算各月降雨侵蚀力时,公式中以分布的形式计算的;侵蚀降雨月份  $R$  值的计算是以最大的 3 日侵蚀性降雨量之和参与运算,这就使得同等侵蚀性降雨量的情况下,最大的 3 日侵蚀性降雨量之和较大月份的降雨侵蚀力相对较小。另外,侵蚀性降雨  $12\text{ mm}$  的标准,是黄土高原坡面侵蚀的侵蚀性降雨雨量标准<sup>[11]</sup>,在沂蒙山区是否同样适用有待于进一步研究。

除以上的异常年份外,其余年份基本遵循年降雨量和年侵蚀性降雨量大,则年降雨侵蚀力  $R$  值大的规律。2003 年  $R$  值最大,为  $10\,307.45\text{ (MJ}\cdot\text{mm)/ (hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a)}$ ;分列二、三位的是 2005 年和 2004 年, $R$  值分别为  $7\,831.03,7\,741.10\text{ (MJ}\cdot\text{mm)/ (hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a)}$ 。

$\text{h}\cdot\text{a})$ ,这也是研究时段内降雨侵蚀力最大的三年。1986 年  $R$  值最小,仅为  $118.17\text{ (MJ}\cdot\text{mm)/ (hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a)}$ 。年降雨量最大值和年侵蚀性降雨量最大值出现在 2003 年,分别为  $1\,161.17,765.85\text{ mm}$ ,其降雨侵蚀力也最大,年侵蚀性降雨天数达到了  $29\text{ d}$ (多年平均为  $15\text{ d}$ ),为研究时段内年侵蚀性降雨天数最多的一年。而年降雨量最小值和年侵蚀性降雨量最小值出现在 1988 年,该年属异常年份,其降雨侵蚀力并非为研究时段里最小。

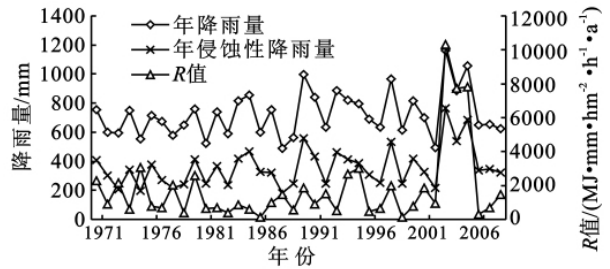


图 1 1971—2008 年沂蒙山区侵蚀性降雨量、降雨量和降雨侵蚀力年际变化

表 1 为沂蒙山区侵蚀性降雨量、降雨量和降雨侵蚀力年代际变化表。研究时段内,年代际间侵蚀性降雨不断增多,且侵蚀性降雨天数不断增多。降雨侵蚀力最低的 10 a 出现在 20 世纪 80 年代,其值为  $822.84\text{ (MJ}\cdot\text{mm)/ (hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a)}$ ,而最高则出现在本世纪初,且较常年偏高,其值为  $3\,900.78\text{ (MJ}\cdot\text{mm)/ (hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a)}$ ,这可能与近年来极端天气事件频繁发生、侵蚀性降雨强度增大且侵蚀性降雨天数增加有很密切的关系。70 年代的降雨量、侵蚀性降雨量及侵蚀性降雨量天数等较 90 年代有很大差异,但降雨侵蚀力却具有相反的特性,造成这种现象的原因可能是 70 年代次降雨的雨强、雨滴动能大有关。研究发现,70 年代是整个研究时段内平均日侵蚀性降雨量(代际间侵蚀性降雨量与代际间侵蚀性降雨天数之比)最大的一个时间段,达到  $24.97\text{ mm}$ ,90 年代次之,为  $24.45\text{ mm}$ 。

表 1 沂蒙山区侵蚀性降雨量、降雨量和降雨侵蚀力年代际变化

时间	降雨侵蚀力/ (MJ · mm · hm <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> )	降雨量/mm	侵蚀性降雨量/ mm	侵蚀性降雨 天数/d
1971—1979	1543.18	663.41	297.18	11.90
1980—1989	822.84	693.15	337.41	14.80
1990—1999	1267.85	770.11	369.13	15.10
2000—2008	3900.78	778.54	442.52	24.22

2.3 降雨侵蚀力年内变化

降雨动能是雨滴击溅侵蚀的动力因子。降雨动能愈大,降雨潜在侵蚀力愈强。沂蒙山区降雨侵蚀力年内主要集中分布在 6—9 月份,占全年的  $97.07\%$ ,

其中最大月降雨侵蚀力出现在 7 月份,占年降雨侵蚀力的  $51\%$ (图 2),且最大降雨量也出现在该月份,多年的平均值为  $201.42\text{ mm}$ 。研究结果表明:沂蒙山区降雨侵蚀力的年内分布与该研究区降雨量的分布规

律基本一致,但降雨侵蚀力各月之间的差异较降雨量的差异更大。6—9月份降雨侵蚀力 $R$ 值均明显高于相应降雨量;而其余月份降雨侵蚀力 $R$ 值均低于相应降雨量。产生这种差异的原因是由于不同时期降雨特征引起的,1—5月及10—12月日降雨量小,且降雨雨强小、雨滴动能小;而6—9月份多暴雨,次降雨雨强高,雨滴动能大。有研究指出,同样的降雨量,小雨强的降雨侵蚀力较小,大雨强的降雨侵蚀力较大<sup>[14-15]</sup>;月侵蚀性降雨雨量愈大,月降雨侵蚀力愈大<sup>[16]</sup>。因此,由于各月内日侵蚀性降雨量及各日雨强的不同,造成了不同月份降雨侵蚀力差异较大,且与降雨量之间的差异不一致。

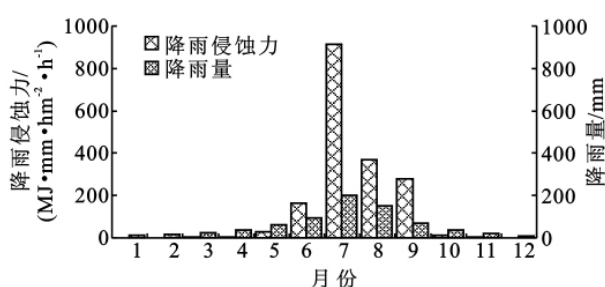


图2 多年平均月降雨量及降雨侵蚀力

### 3 结论

以沂蒙山区及周边38个气象台站38年的逐日降雨量资料,估算了多年月、年降雨侵蚀力,并初步分析了该研究区内降雨侵蚀力的时空分布状况。

(1)沂蒙山区多年年均降雨量变化范围为622.46~827.38 mm,平均值为723.55 mm;而多年降雨侵蚀力变化范围为670.18~4 077.34 (MJ·mm)/(hm²·h·a),平均值为1 777.50 (MJ·mm)/(hm²·h·a)。 $R$ 值总体呈现西北、中南高,而北部低的趋势。泗水县、曲阜市东部一带是研究区降雨侵蚀力的高值中心,该区域降雨侵蚀力 $R$ 值在3 000 (MJ·mm)/(hm²·h·a)以上。

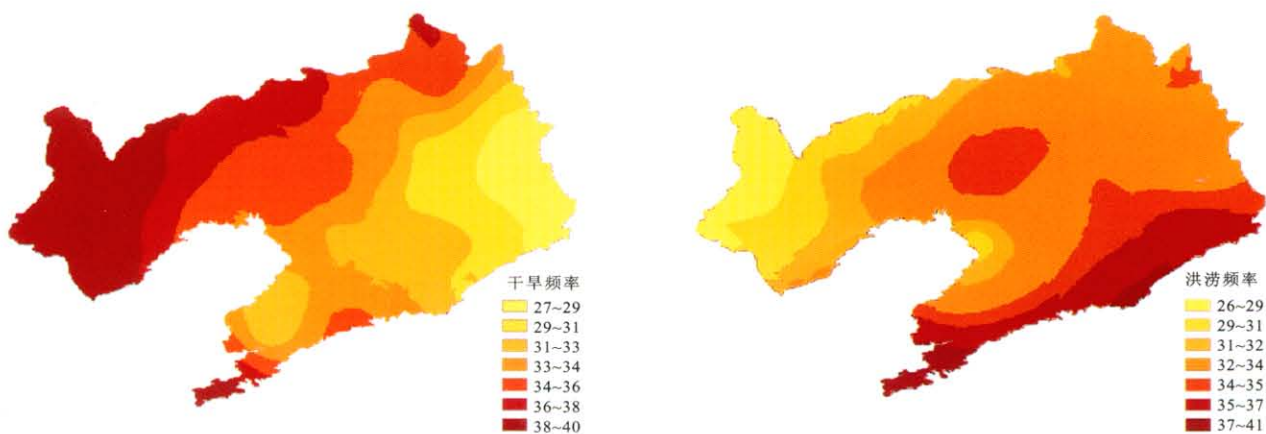
(2) $R$ 值与年降雨量和年侵蚀性降雨量的年际变化趋势基本一致,但也有部分异常年份。研究表明,2003年 $R$ 值最大,为10 307.45 (MJ·mm)/(hm²·h·a);1986年 $R$ 值最小,仅为118.17 (MJ·mm)/(hm²·h·a)。降雨侵蚀力最低的10 a出现在20世纪80年代,其值为822.84 (MJ·mm)/(hm²·h·a),而最高则出现在20世纪初,且较常年偏高,其值为3 900.78 (MJ·mm)/(hm²·h·a)。

(3)沂蒙山区降雨侵蚀力年内主要集中分布在6—9月份,占全年的97.07%,其中最大月降雨侵蚀

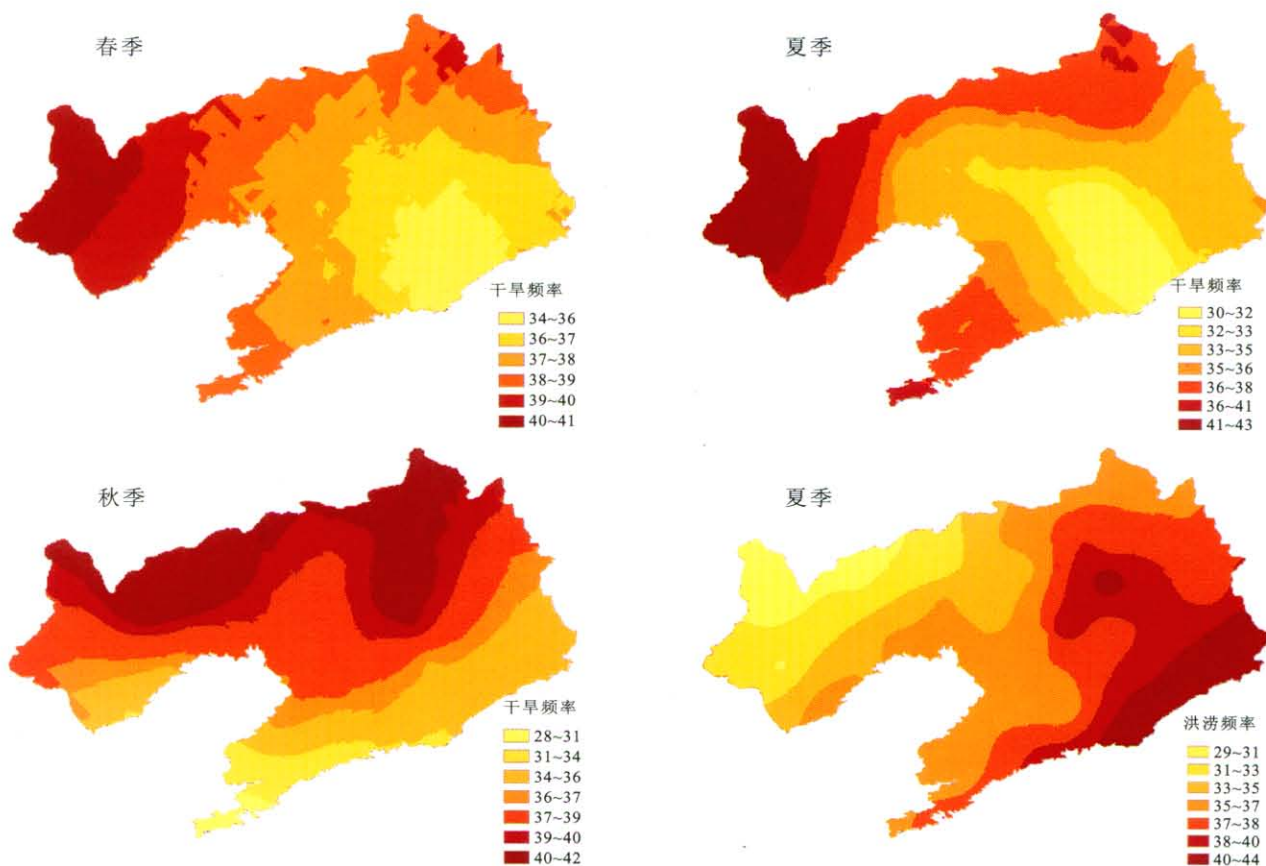
力出现在7月,占年降雨侵蚀力的51%,且最大降雨量也出现在该月份,多年的平均值为201.42 mm。

#### 参考文献:

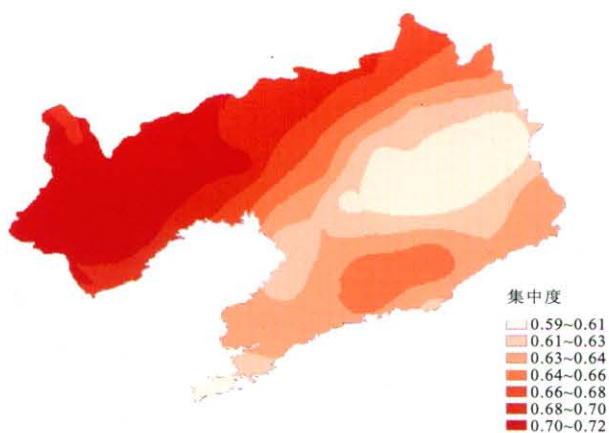
- [1] 穆兴民,戴海伦,高鹏,等. 陕北黄土高原降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(3):37-43.
- [2] Yu B, Rosewell C J. A robust estimator of the  $R$ -factor for the universal soil loss equation[J]. Transactions of the ASAE, 1996,39(2):559-561.
- [3] Richardson C W, Roster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount[J]. Transactions of the ASAE, 1983,26(1):153-156.
- [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):408-418.
- [5] 章文波,谢云,刘宝元,等. 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.
- [6] 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.
- [7] 刘前进,于兴修. 北方土石山区土壤侵蚀强度垂直景观格局:以沂蒙山区为例[J]. 地理研究,2010,29(8):1471-1483.
- [8] 刘正佳,于兴修,李蕾,等. 基于SRP概念模型的沂蒙山区生态环境脆弱性评价[J]. 应用生态学报,2011,22(8):2084-2090.
- [9] 杨轩,梁音,方继青,等. 基于日降雨信息的月降雨侵蚀力模型[J]. 土壤学报,2010,47(2):216-222.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 张坤,洪伟,吴承祯,等. 基于地统计学的福建省降雨侵蚀力空间格局[J]. 山地学报,2009,27(5):538-544.
- [13] 门明新,宇振荣,许峰. 基于地统计学的河北省降雨侵蚀力空间格局研究[J]. 中国农业科学,2006,39(11):2270-2277.
- [14] Wang G X, Gertner G, Singh V, et al. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity  $R$  factor[J]. Ecological Modelling,2002,153(1):143-155.
- [15] Xin Z B, Yu X X, Li Q Y, et al. Spatiotemporal variation in rainfall erosivity on the Chinese Loess Plateau during the period 1956—2008[J]. Regional Environmental Change,2011,11(1):149-159.
- [16] 吴光艳,成婧,吴发启,等. 杨凌天然降雨侵蚀力初步研究[J]. 中国农村水利水电,2011(4):6-13.



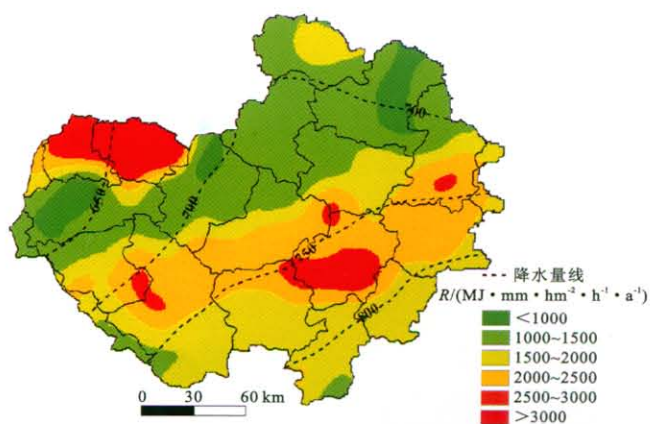
附图1 1960—2009年辽宁省年度干旱和洪涝频率的空间分布



附图2 1960—2009年辽宁省季节性干旱和洪涝频率的空间分布



附图3 1960—2009年辽宁省降水集中度的空间分布



附图4 沂蒙山区降雨量与R值空间分布