

# 中国降雨侵蚀力的时空分布及重现期研究

殷水清<sup>1</sup>, 薛筱婵<sup>1</sup>, 岳天雨<sup>1</sup>, 谢云<sup>1</sup>, 高歌<sup>2</sup>

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

2. 国家气候中心, 中国气象局, 北京 100081)

**摘要:** 降雨侵蚀力是土壤侵蚀模型 USLE 的一个重要因子。基于中国中东部水蚀区 18 个气象站 1961 (1971) —2000 年逐分钟降水数据和全国范围内 774 个气象站 1961—2016 年逐日降水数据, 采用克里金插值方法, 得到全国多年平均年、多年平均 24 个半月、不同重现期年和次侵蚀力空间分布特征, 可满足 USLE 模型对侵蚀力因子相关参数输入的要求。交叉验证结果表明: 以上所有指标的空间插值模型精度较好, 模型有效系数 NSE 不低于 0.74, 偏差百分比 PBIAS 低于 1%, 均方根误差与观测值标准差的比值 RSR 小于等于 0.51。侵蚀力年内变化曲线具有较好的区域相似性, 使用 K 均值聚类分析方法将中国侵蚀力年内变化特征划分为 4 个区域, 每个区域概化出一条侵蚀力年内变化曲线。

**关键词:** 侵蚀; 降雨; 插值; 时空分布; 重现期

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.09.013

中图分类号: S157.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-09-0105-09

殷水清, 薛筱婵, 岳天雨, 谢云, 高歌. 中国降雨侵蚀力的时空分布及重现期研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(9): 105—113. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.09.013 http://www.tcsae.org

Yin Shuiqing, Xue Xiaochan, Yue Tianyu, Xie Yun, Gao Ge. Spatiotemporal distribution and return period of rainfall erosivity in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(9): 105—113. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.09.013 http://www.tcsae.org

## 0 引言

降雨是引起土壤侵蚀的动力因子之一, 其主要通过雨滴击溅和径流冲刷对土壤颗粒进行分离和搬运。降雨侵蚀力是衡量降雨导致土壤侵蚀的潜在能力的指标, 是土壤侵蚀模型的重要输入参数, 可通过降雨观测资料计算获得, 如目前已被广泛应用的通用土壤流失方程<sup>[1]</sup> (USLE, universal soil erosion equation) 及修订版通用土壤流失方程<sup>[2]</sup> (RUSLE, revised universal soil erosion equation) 采用一次降雨的总动能  $E$  和该次降雨的最大 30 分钟雨强  $I_{30}$  的乘积  $EI_{30}$  作为该次降雨的侵蚀力指标。USLE (RUSLE) 中降雨侵蚀力因子的计算包括 3 个方面: 1) 次降雨侵蚀力, 反映一次降雨的潜在能力。在量化等高耕作对径流量的影响以及水洼对雨滴击溅的削减作用时, 需要提供 10 年一遇次降雨侵蚀力值。一般使用极值分布函数, 如对数正态分布<sup>[1]</sup> 或广义极值分布<sup>[3]</sup>, 拟合年最大次降雨侵蚀力序列, 进一步计算重现期次降雨侵蚀力值。为了保证足够的样本量拟合极值分布函数, 至少需要 20 至 25 a 的序列长度。2) 时段降雨侵蚀力, 反映降雨侵蚀力的季节变化, 为计算植被覆盖与管理  $C$  因子提供降雨侵蚀力季节分配的权重系数, 一般采用月<sup>[4]</sup> 或者半月<sup>[1-2]</sup> 时段。3) 多年平均年降雨侵蚀力, 即 USLE (RUSLE)

中的  $R$  因子, 反映年降雨侵蚀力的多年平均状况。计算时, 一般要求降雨数据的时间序列达到至少 20a 以上, 覆盖丰水、平水和枯水年份。

对于有降雨观测资料的地区, 降雨侵蚀力指标需要使用断点雨强资料 (虹吸式雨量计观测) 或者观测时间间隔小于等于 5 min 的等间隔降雨过程资料 (翻斗式雨量计观测) 计算。但是由于此类资料难以获取, 自  $EI_{30}$  指标提出以来, 开展了很多基于常规降雨资料, 比如日雨量、月雨量、年雨量资料, 估算降雨侵蚀力指标的工作<sup>[5-6]</sup>。基本方法是: 首先利用有限的断点雨强或者等间隔降雨过程资料计算  $EI_{30}$ , 然后以其为因变量, 建立基于常规降雨资料估算侵蚀力的公式, 并将该公式推广延伸至只有常规降雨资料的地区和年份。

对于缺乏降雨观测资料的地区, 需要利用已获得降雨资料的站点计算  $R$  值, 通过分析站点间降雨侵蚀力随距离衰变的相关关系, 进行空间插值, 绘制降雨侵蚀力空间分布图, 从而获得该地区的降雨侵蚀力指标。多年平均降雨侵蚀力因子的空间分布特征研究非常丰富, 多利用逐日降雨量资料, 采用章文波等<sup>[7]</sup> 的日雨量公式, 计算站点多年平均年降雨侵蚀力, 再进行空间插值。大部分研究采用的降雨资料序列超过 20 a, 插值的空间范围多为区域<sup>[8-10]</sup>、省域<sup>[11-13]</sup> 和流域<sup>[14-16]</sup>, 全国范围的研究较少, 主要包括王万中等<sup>[17]</sup>、章文波等<sup>[18]</sup>、刘斌涛等<sup>[19]</sup> 和殷水清等<sup>[20]</sup> 的研究。其中, 王万中等<sup>[17]</sup> 基于 125 个气象站 1956—1984 年多年平均年降雨资料; 章文波等<sup>[18]</sup> 和刘斌涛等<sup>[19]</sup> 分别基于 500 多个站逐日降水资料, 采用章文波等<sup>[7]</sup> 发展的日雨量公式, 估算站点侵蚀力。较之于王万中等的研

收稿日期: 2018-11-07 修订日期: 2019-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41877068), 国家重点研发计划 (2016YFC0402405)

作者简介: 殷水清, 副教授, 主要研究降水及其对土壤侵蚀的影响评价。

Email: yinshuiqing@bnu.edu.cn

究,章文波等<sup>[18]</sup>和刘斌涛等<sup>[19]</sup>所用资料的时间精度更细,站点空间密度更高。但是,Xie等<sup>[21]</sup>的研究表明,章文波等<sup>[7]</sup>的日雨量公式对站点侵蚀力真值存在一定高估,尤其对于侵蚀力较高的站点。原因是在回归过程中,使用了 $0.184P_d I_{10d}$ (日雨量 $P_d$ 和日最大10min雨强 $I_{10d}$ 的乘积再乘以0.184)代替 $EI_{30}$ 作为真值。尽管研究表明 $P_d I_{10d}$ 和 $EI_{30}$ 高度相关<sup>[22]</sup>,但是使用 $0.184P_d I_{10d}$ 代替 $EI_{30}$ 作为真值,有可能会产生偏差。殷水清等<sup>[20]</sup>基于更高站网密度的2678个气象站1980—2009年逐日降雨量资料,采用Xie等<sup>[21]</sup>发展的冷暖季日雨量公式,估算站点侵蚀力,分析侵蚀力的时空分布特征。Yin等<sup>[23]</sup>综述了降雨侵蚀力因子的历史,发展,方法和应用,并提出降雨侵蚀力空间分布图的精度与站点密度密切相关,亟需定量研究空间分布图的不确定性问题;同时指出由于降水长期变化趋势的存在,需要定期更新降雨侵蚀力的空间分布图。此外,以上降雨侵蚀力等值线图反映的是多年平均降雨侵蚀力的空间分布,年内最大次降雨侵蚀力或不同年份的年降雨侵蚀力都存在年际变率,一般用重现期次降雨侵蚀力或重现期年降雨侵蚀力反映这种变率,服务于极端暴雨事件或极端降雨年份土壤流失量的评估。Wischmeier等<sup>[1]</sup>列出典型站点多年一遇次降雨侵蚀力和年降雨侵蚀力值;王万中等<sup>[17]</sup>给出全国不同地区年最大次降雨侵蚀力与次平均降雨侵蚀力的比值,以及最大年降雨侵蚀力与多年平均年降雨侵蚀力的比值;Sadeghi等<sup>[24]</sup>给出多年一遇月、季和年降雨侵蚀力值。目前已有很多学者在省或区域尺度上对降雨侵蚀力的季节变化进行了研究<sup>[8-9,14-15]</sup>,少有在全国尺度上对降雨侵蚀力年内变化进行分区研究<sup>[17-18]</sup>。

综上所述,关于中国多年平均年降雨侵蚀力和月降雨侵蚀力的空间分布特征,大部分仅给出空间分布图的结果,很少有对插值精度进行深入分析;尚未见报道关于全国范围内重现期年或者次降雨侵蚀力空间分布图的研究。故本研究采用较新的逐日降雨资料(1961—2016),利用交叉验证方法评估克里金空间插值方法的精度,得到全国多年平均年(1幅)、多年平均24个半月(24幅)和不同重现期(2年一遇、5年一遇、10年一遇、20年一遇、50年一遇和100年一遇)年和次(共12幅)1km网格精度降雨侵蚀力等值线图并分析其空间分布特征。同时,考虑到各地侵蚀力季节变化曲线具有一定的区域相似性,为简化应用,使用K均值聚类分析方法,对侵蚀力年内变化曲线进行了分类和分区,每个区概化出一条季节变化曲线,以便为各地区土壤侵蚀调查与评价服务。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据

本研究共收集了全国819个气象站1961—2016年逐日降水数据,该数据来自中国气象局国家气象信息中心。通过严格数据质量控制,选取了774个有效站点,有效年份长度均在50a以上。逐日降水资料用于计算日降雨侵蚀力,累加可以得到半月,月及年降雨侵蚀力。

由于日降雨与次降雨并非一一对应,本研究收集集中

东部水蚀区1961(1971)—2000年18个站逐分钟降水数据,用于建立不同重现期日降雨侵蚀力和次降雨侵蚀力的转化关系。18个站分别为黑龙江省嫩江和通河,山西省五寨和阳城,陕西省延安和绥德,北京市密云和观象台,四川省成都、西昌、遂宁和内江,云南省腾冲和昆明,湖北省房县和黄石,福建省福州和长汀。资料具体情况参见王文婷等<sup>[25]</sup>。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 使用日降雨资料计算日降雨侵蚀力

基于744个站点逐日降雨数据,参考殷水清等<sup>[20]</sup>的方法,选取大于等于10mm以上的侵蚀性日降雨<sup>[21]</sup>,利用公式(1),计算日降雨侵蚀力

$$R_{\text{day}} = \alpha P_d^{1.7265} \quad (1)$$

式中 $P_d$ 是侵蚀性日降雨量(日雨量大于等于10mm),mm;暖季(5—9月) $\alpha$ 为0.3937,冷季(10—4月) $\alpha$ 为0.3101。

每月的第1至15天为第一个半月,剩余的天数为第二个半月,半月内日降雨侵蚀力累加和得到半月侵蚀力,年内累加和得到年侵蚀力。

#### 1.2.2 广义极值分布和对数正态分布拟合次侵蚀力和年侵蚀力重现期

1) 次降雨侵蚀力重现期和日降雨侵蚀力重现期关系的建立

本研究基于18个站逐分钟降水数据,采用基于单元极大值法的广义极值分布方法<sup>[26-27]</sup>,分别计算各站次降雨侵蚀力重现期和日降雨侵蚀力重现期,并建立日侵蚀力重现期转化为次侵蚀力重现期的关系。

根据式(2),(3)和(5)计算次降雨侵蚀力,并挑选逐年最大次降雨侵蚀力

$$R_{\text{次}} = E \cdot I_{30} \quad (2)$$

式中 $R_{\text{次}}$ 是次 $EI_{30}$ ,MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)。I<sub>30</sub>是一次降雨的最大30min雨强,mm/h。E是一次降雨总动能,MJ/hm<sup>2</sup>,计算公式为

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

式中E是一次降雨总动能,MJ/hm<sup>2</sup>。r=1,2,...,q表示一次降雨过程按雨强分为q段,每一段内的雨强相同,段间雨强不同。P<sub>r</sub>是每一段的雨量,mm。e<sub>r</sub>是每一段的单位降雨动能,MJ/(hm<sup>2</sup>·mm),可以采用式(4)计算<sup>[28]</sup>。目前,数字式自动雨量器越来越普及,如果记录的时间间隔小于5min,可视为降雨过程资料,将式(4)变为式(5),计算单位降雨动能

$$e_r = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.082i_r)] \quad (4)$$

$$e_r = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.082 \cdot P_r / \Delta t \cdot 60)] \quad (5)$$

式中P<sub>r</sub>是某种记录时间间隔 $\Delta t$ (min)对应的雨量,mm。60表示一小时60min,将雨量转换为雨强。将18个站分钟降雨资料整理为日降雨资料,用式(1)计算逐日降雨侵蚀力,挑选逐年最大日降雨侵蚀力。将得到的逐年最大次(日)降雨侵蚀力序列,拟合GEV分布<sup>[27]</sup>,得到不

同重现期，包括 2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇和 100 年一遇次降雨侵蚀力与对应水平重现期的日降雨侵蚀力分别建立过原点的线性转换关系。

2) 次降雨侵蚀力重现期

对 774 个站逐日降雨资料，用式 (1) 计算逐日降雨侵蚀力，挑选逐年最大日降雨侵蚀力，拟合 GEV 分布<sup>[27]</sup>，得到不同重现期日降雨侵蚀力，乘以第 (1) 部分建立的转换系数，得到 774 个站不同重现期次降雨侵蚀力。

3) 年降雨侵蚀力重现期

对 774 个站逐日降雨资料，分别用式 (1) 计算逐日降雨侵蚀力，累加为逐年降雨侵蚀力，拟合对数正态分布 (log-normal distribution)，估算各站 2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇和 100 年一遇年降雨侵蚀力。

1.2.3 克里金插值方法分析侵蚀力空间分布特征

采用克里金插值方法分析多年平均年降雨侵蚀力，多年平均 24 个半月降雨侵蚀力和重现期次降雨侵蚀力和年降雨侵蚀力空间分布特征。侵蚀力栅格图和等值线图的生成步骤同殷水清等<sup>[20]</sup>，统一采用双标准纬线等积圆锥投影。空间插值精度采用留一法交叉验证方法 (leave-one-out cross validation) 进行评估。即每次只留下一个样本做测试集，其他所有样本归为训练集。由于站点个数为 774 个，所以训练和测试分别为 774 次，得到 774 个侵蚀力模拟值，与站点侵蚀力真值进行对比，计算 Nash-Sutcliffe 模型有效系数 (NSE)，偏差百分比 (PBIAS)，均方根误差 (RMSE)，RMSE 与观测值标准差的比值 (RSR) 等指标，从而综合评估空间模型的模拟效果。交叉验证过程可以在 Arcmap 中 Geostatistical Analyst 模块下的 Cross Validation 中批处理实现。交叉验证评估指标的定义如下：

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100\% \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (8)$$

$$RSR = \frac{RMSE}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (9)$$

式中  $O_i$  为观测值， $P_i$  为预测值。NSE 最大值为 1，值越大表明模型模拟效果越好。PBIAS 值越小表明模型模拟效果越好，PBIAS 为负值，表明模型高估观测值；反之，PBIAS 为正值表明模型低估观测值。RMSE 和 RSR 最小值为 0，值越小表明模型模拟效果越好。

1.2.4 K 均值聚类方法对侵蚀力年内变化曲线进行聚类分区分析

各站点降雨侵蚀力年内分配按地区相似性合并为几种类型，采用动态 K 均值聚类方法<sup>[29-30]</sup>，将 774 个站点的多年平均 24 个半月时段侵蚀力分为  $k$  类。本研究发现当  $k=4$  时，各类侵蚀力年内变化曲线之间的差别明显且分类简单，故将 744 个站点聚为 4 类，将属于相同类型的站点所对应的 24 个半月侵蚀力值分别进行平均，除以 24 个半月值之和，得到每类站点 24 个半月的侵蚀力比例值，由此实现将每类站点年内变化特征概化为一条年内分配曲线。

2 降雨侵蚀力空间分布与年内变化

2.1 空间分布

2.1.1 空间插值精度验证

由表 1 可知，年均侵蚀力和 24 个半月侵蚀力的空间插值模型，NSE 均达到 0.80 以上；偏差有正有负，但是均不到 1%；RSR 均在 0.45 以下，表明模型较好。且冷季插值效果较暖季效果稍好。图 1 为空间插值交叉验证降雨侵蚀力模拟值与观测值散点图。由  $R$  因子模拟值与真值散点图可以看出，散点基本围绕在 1:1 线附近，表明模拟值与观测值接近。其中，广西东兴观测值为 22 976 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)，模拟值为 11 087 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)；广东阳江观测值为 19 184 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)，模拟值为 11 989 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)，这两个站点低估得比较严重。分析原因表明：阳江地处广东西南沿海，东兴地处广西东南沿海，南边面临广阔海洋，降水局地性强；另一方面，空间插值时，南边没有站点提供信息，导致插值精度偏低。

表 1 R 因子值和 24 个半月侵蚀力值交叉验证结果  
Table 1 Cross-validation results for R factor values and 24 half-month erosivity values

指标 Index	纳什有效 系数 NSE	偏差百分比 PBIAS/(%)	均方根误差 RMSE/ (MJ·mm·hm <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )	均方根误差与标 准差之比 RSR
R 因子值	0.90	0.01	1017.4	0.32
1 月上半月	0.93	-0.14	6.0	0.26
1 月下半月	0.93	0.31	7.4	0.27
2 月上半月	0.96	-0.15	7.0	0.21
2 月下半月	0.95	0.13	10.7	0.23
3 月上半月	0.96	0.15	12.0	0.20
3 月下半月	0.96	0.02	20.1	0.20
4 月上半月	0.95	-0.23	30.2	0.22
4 月下半月	0.93	0.51	40.6	0.27
5 月上半月	0.89	0.12	90.8	0.34
5 月下半月	0.89	0.04	102.2	0.33
6 月上半月	0.89	0.25	119.7	0.34
6 月下半月	0.87	0.13	135.5	0.36
7 月上半月	0.80	-0.09	129.0	0.45
7 月下半月	0.82	0.11	138.6	0.42
8 月上半月	0.80	0.00	127.1	0.45
8 月下半月	0.83	-0.26	112.0	0.41
9 月上半月	0.85	-0.10	83.9	0.39
9 月下半月	0.88	-0.50	70.2	0.34
10 月上半月	0.85	-0.45	51.8	0.39
10 月下半月	0.81	-0.70	48.3	0.44
11 月上半月	0.82	0.14	26.0	0.43
11 月下半月	0.90	-0.65	13.5	0.32
12 月上半月	0.87	0.70	8.0	0.36
12 月下半月	0.92	-0.14	6.1	0.28

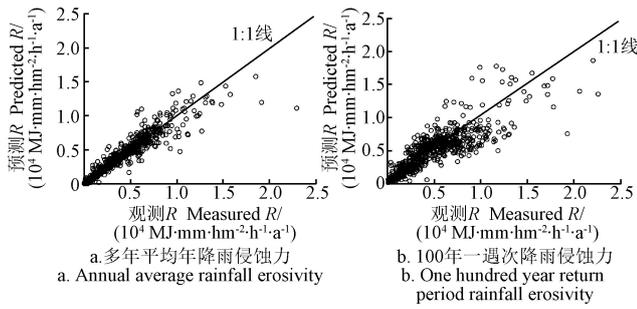


图1 空间插值交叉验证降雨侵蚀力模拟值与观测值散点图  
Fig.1 Scatter plots of observations and simulations for cross-validation of spatial interpolation

2.1.2 空间分布特征

所分析的站点中,最低值出现在青海小灶火,  $R$  因子值为  $3 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ , 最高值出现在广西东兴, 为  $22\,976 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 。全国  $R$  值的空间分布表现出大致从东南向西北方向逐渐递减的趋势(图2), 大部分地区变化于  $25\sim 12\,000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 之间, 华南南部局部地区达到  $12\,000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 以上。其中: 华南大部、江南大部、云南南部局部地区及重庆东部局部地区变化于  $5\,000\sim 12\,000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 之间, 江淮、江汉、黄淮、东北、华北大部、西南大部、内蒙古东南部、陕西大部、宁夏东南部局部地区、甘肃东南部局部地区及西藏东南部局部地区变化于  $1\,000\sim 5\,000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 之间, 内蒙古中东部、宁夏大部、甘肃中部、青海东南部、四川西北部局部地区、西藏中东部变化于  $400\sim 1\,000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 之间, 内蒙古西部局部地区、甘肃西部局部地区、青海西北部局部地区 and 新疆南部等地不足  $50 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ , 其余地区在  $50\sim 400 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 之间。

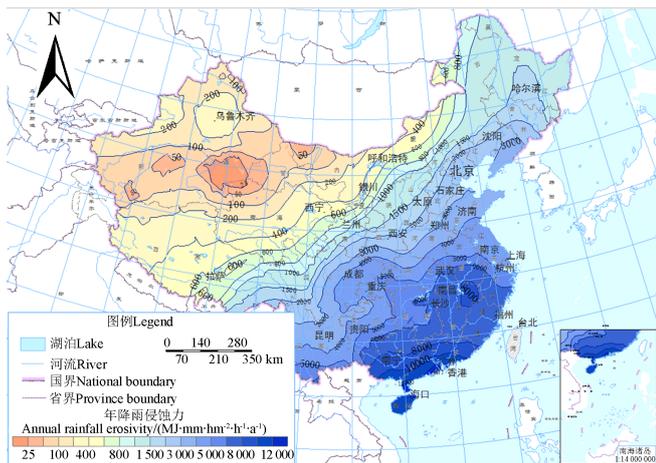


图2 全国多年平均年降雨侵蚀力等值线图  
Fig.2 Contour map of average annual rainfall erosivity in China

2.2 年内变化

全国降雨侵蚀力年内分配曲线分为4类(图3, 4)。受季风气候降雨集中特点的影响, 4种类型均为夏秋季降雨侵蚀力比例大, 冬春季比例小, 各种类型的峰值位置

和高度稍有差别。类型I曲线“矮胖”且有两个峰值, 表明降雨侵蚀力年内分配相对比较分散, 第一个峰值位于6月下半月, 半月侵蚀力比例约为8.6%; 第二个峰值位于7月下半月至8月份, 半月侵蚀力比例约为10.1%; 类型I主要分布在华南南部。类型II降雨侵蚀力峰值出现在6月份, 6月之后降雨侵蚀力迅速减少, 6月份半月侵蚀力比例约为11.9%, 7月份半月侵蚀力比例降至6.8%; 类型II主要分布在华南北部和江南地区。类型III降雨侵蚀力峰值出现在7月份, 半月侵蚀力比例约为12.5%, 6月下旬, 8月上旬和下旬半月侵蚀力比例也较高, 分别达到10.5%, 10.5%和9.7%; 类型III主要分布在西南地区南部和东部、陕西南部、江汉、江淮、黄淮、华北东部及东北南部地区。类型IV曲线“瘦高”, 表明降雨侵蚀力的集中程度高, 7月下旬达到显著峰值, 该半月降雨侵蚀力比例高达17.0%; 该类型分布广泛, 包括西北地区、华北西部、东北中部和北部、内蒙古、西藏地区及西南地区北部。

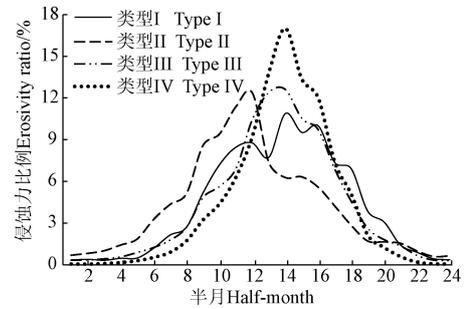


图3 4种类型降雨侵蚀力年内分配曲线  
Fig.3 Four types of intra-annual distribution curves for rainfall erosivity

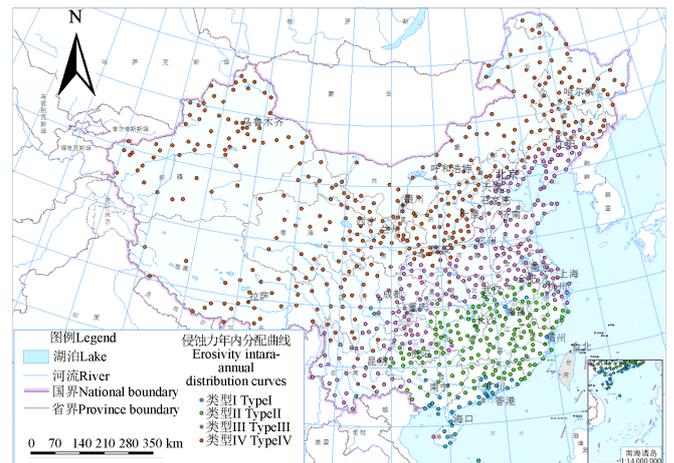


图4 降雨侵蚀力年内分配曲线分类结果空间分布  
Fig.4 Spatial distribution for rainfall erosivity intra-annual distribution curves

4种类型的年降雨侵蚀力均值和24个半月时段侵蚀力占年  $R$  值比例查算表如表2。可以根据图4查到所属分区, 再根据表2查到各种类型24个半月降雨侵蚀力比例值, 反映降雨侵蚀力的年内变化特征。

表 2 4 种类型 24 个半月时段段侵蚀力占年 R 值比例  
Table 2 Ratio of 24 half-months erosivity to annual R value

指标 Index	类型 I Type I/%	类型 II Type II/%	类型 III Type III/%	类型 IV Type IV/%
1 月上半月	0.33	0.69	0.34	0.06
1 月下半月	0.39	0.82	0.35	0.05
2 月上半月	0.32	1.01	0.43	0.09
2 月下半月	0.46	1.42	0.57	0.16
3 月上半月	0.48	1.85	0.88	0.29
3 月下半月	1.18	3.26	1.24	0.53
4 月上半月	2.13	4.34	1.77	0.90
4 月下半月	2.70	5.12	2.69	1.73
5 月上半月	5.16	8.58	4.84	3.23
5 月下半月	7.19	9.41	5.64	4.39
6 月上半月	8.46	11.38	6.92	6.31
6 月下半月	8.76	12.37	10.46	9.27
7 月上半月	7.73	7.36	12.41	13.84
7 月下半月	10.88	6.28	12.62	17.01
8 月上半月	9.53	6.33	10.54	13.36
8 月下半月	10.00	5.58	9.72	12.00
9 月上半月	7.36	4.23	6.90	7.39
9 月下半月	6.91	2.84	4.57	5.08
10 月上半月	3.86	1.71	2.63	2.14
10 月下半月	3.07	1.65	1.81	1.24
11 月上半月	1.41	1.54	1.36	0.59
11 月下半月	0.89	0.99	0.67	0.19
12 月上半月	0.43	0.60	0.34	0.07
12 月下半月	0.36	0.64	0.30	0.06

注：类型 I, II, III 和 IV 年降雨侵蚀力均值分别为 12 500.9、6 729.6、3 852.8、878.1 MJ-mm-hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>。  
Note: Annual rainfall erosivity for type I, II, III and IV are 12 500.9, 6 729.6, 3 852.8, 878.1 MJ-mm-hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>, respectively.

### 3 重现期降雨侵蚀力

#### 3.1 重现期次降雨侵蚀力与日降雨侵蚀力转换关系

图 5 显示日降雨侵蚀力重现期与次降雨侵蚀力重现期存在一定差别：相同重现期的次降雨侵蚀力均大于日降雨侵蚀力，二者存在较好的线性关系：2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇和 100 年一遇日降雨侵蚀力转换为次降雨侵蚀力的系数分别为 1.12、1.15、1.17、1.19、1.22 和 1.24，其对应的决定系数均大于等于 0.96。该系数可在重现期估算中应用：在缺乏高分辨率的降雨过程资料时，可对日降雨资料计算所得的重现期结果，乘以对应的转化系数，以订正计算结果，得到不同重现期次降雨侵蚀力。

#### 3.2 重现期次降雨侵蚀力空间分布

基于 774 个站点逐日降雨数据，计算不同重现期次降雨侵蚀力，采用克里金插值方法，生成上述重现期次降雨侵蚀力空间分布图。将基于 GEV 分布拟合得到的 774 个站点不同重现期日降雨侵蚀力，分别乘以图 5 中的转化系数，得到对应重现期的次降雨侵蚀力，再采用克里金插值方法进行插值，得到空间分布图。由交叉验证结果可知，重现期次降雨侵蚀力值的空间插值模型，较年降雨侵蚀力插值模型精度稍差；且重现期越长，精度越低。NSE 大于等于 0.74；偏差均为正值，表明不同重现期的次降雨侵蚀力插值结果低估，但是均不到 1%；模型 RSR 小于等于 0.51，表明模型较好（图 1b，表 3）。

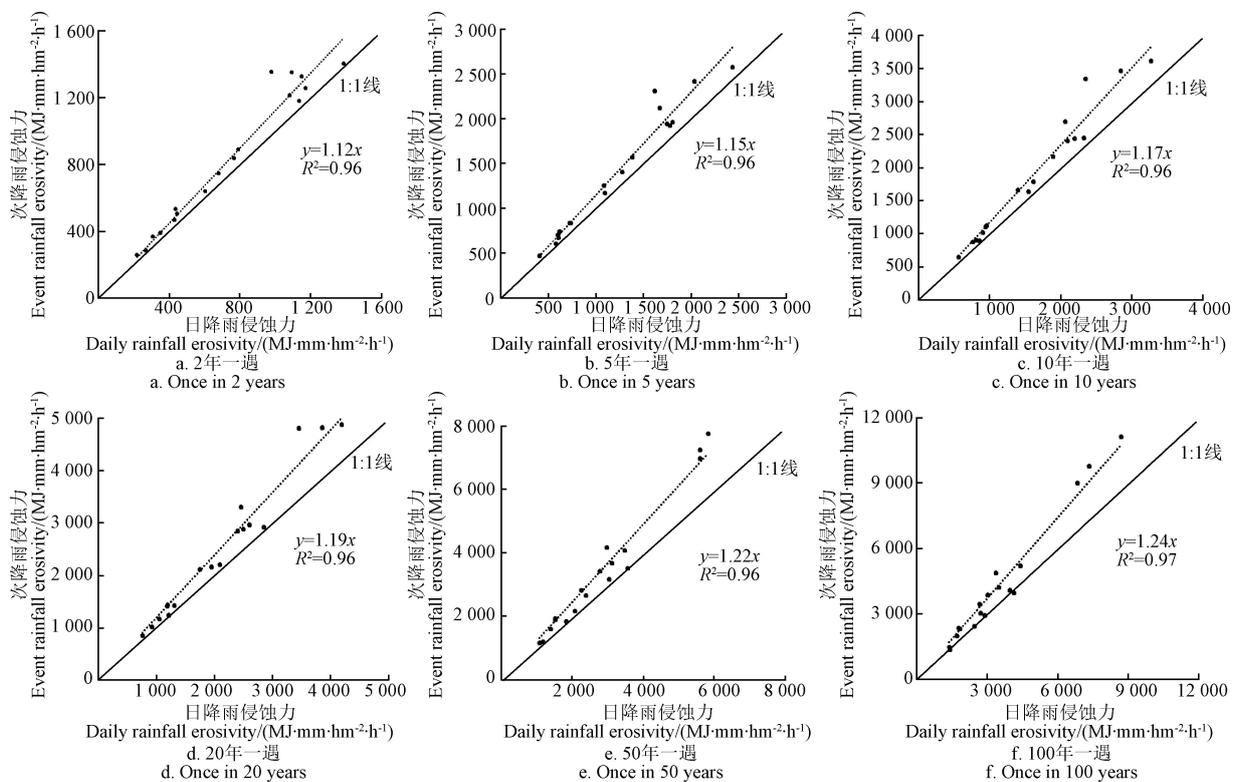


图 5 不同重现期次降雨侵蚀力与日降雨侵蚀力对比

Fig.5 Comparison of return periods rainfall erosivity for event and daily scales

表3 不同重现期次降雨侵蚀力值交叉验证结果

Table 3 Cross-validation results of event rainfall erosivity values for different return periods

重现期 Return periods	纳什有效系数 NSE	偏差百分比 PBIAS/%	均方根误差 RMSE/ (MJ·mm·hm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )	均方根误差与标 准差之比 RSR
2年一遇	0.91	0.04	192.7	0.30
5年一遇	0.89	0.16	361.6	0.33
10年一遇	0.87	0.17	541.7	0.36
20年一遇	0.84	0.23	809.5	0.39
50年一遇	0.79	0.40	1 372.3	0.46
100年一遇	0.74	0.56	2 037.2	0.51

USLE<sup>[1]</sup>和RUSLE<sup>[2]</sup>在量化等高耕作对径流量的影响以及水洼对雨滴击溅的削减作用时,需要提供10年一遇次降雨侵蚀力值。由于篇幅所限,此处重点分析10年一遇次降雨侵蚀力的空间分布特征(图6)。所分析的站点中,最低值出现在青海小灶火,10年一遇次降雨侵蚀力为5.1 MJ·mm/hm<sup>2</sup>·h,最高值出现在广西阳江,为11 897.5 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)。10年一遇次降雨侵蚀力的空间分布与多年平均年降雨侵蚀力的分布类似,均表现出大致从东南向西北方向逐渐递减的趋势,不同的是,10年一遇次降雨侵蚀力空间分布的局地性较强,存在较多等值线快速变化的区域。大部分地区10年一遇次降雨侵蚀力变化于50~8 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)之间。华南南部局部地区,如广西南部和广东南部局部地区达到4 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)以上。华南大部、江南、西南地区南部及东部地区、江淮、江汉、黄淮、华北东部、东北地区东南部变化于1 000~4 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)之间。西藏东南部局地地区、四川中部、甘肃东南部、陕西、宁夏大部、华北西部、内蒙古东部、东北地区西北部变化于400~1 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)之间。西藏地区大部、西北地区西部、西南地区北部以及内蒙古中西部地区在50~400 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)之间,仅青海西北部和新疆中部小部分地区在50 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)以下。其余重现期次降雨侵蚀力空间分布特征与10年一遇类似,均表现为从东南向西北方向逐渐递减的趋势;重现期值越大,局地性相对更强。2、5、20、50和100年一遇次降雨侵蚀力的最小值分别为0.5、2.3、9.9、22.6和40.8 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h),最大值分别为5 197.8、8 245.5、16 572.2、25 368.9和38 031.4 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)。

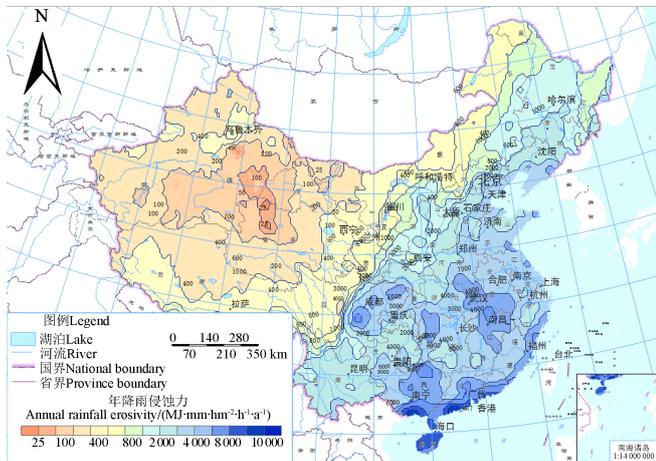


图6 全国10年一遇次降雨侵蚀力等值线图  
Fig.6 Contour map of once-in-a-decade event rainfall erosivity in China

### 3.3 重现期年降雨侵蚀力空间分布

将基于log-normal分布拟合得到的774个站点2年一遇,5年一遇,10年一遇,20年一遇,50年一遇和100年一遇重现期年降雨侵蚀力分别采用克里金插值方法进行插值,得到空间分布图。由表4可知,重现期年降雨侵蚀力值的空间插值模型,NSE大于等于0.89;偏差有正有负,2年一遇和5年一遇的插值结果高估,其余几类模型值低估,但是均不到1%;RSR均在0.33及以下,表明模型较好。

表4 不同重现期年降雨侵蚀力值交叉验证结果

Table 4 Cross-validation results of annual rainfall erosivity for different return periods

重现期 Return periods	纳什有效系数 NSE	偏差百分比 PBIAS/%	均方根误差 RMSE/ (MJ·mm·hm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )	均方根误差与标 准差之比 RSR
2年一遇	0.91	-0.25	891.5	0.30
5年一遇	0.91	-0.11	1 214.2	0.30
10年一遇	0.91	0.03	1 462.5	0.30
20年一遇	0.90	0.11	1 730.7	0.31
50年一遇	0.90	0.22	2 125.2	0.32
100年一遇	0.89	0.23	2 453.4	0.33

由于篇幅所限,为了与10年一遇次降雨侵蚀力进行对比,此处重点分析10年一遇年降雨侵蚀力重现期空间分布特征(图7)。

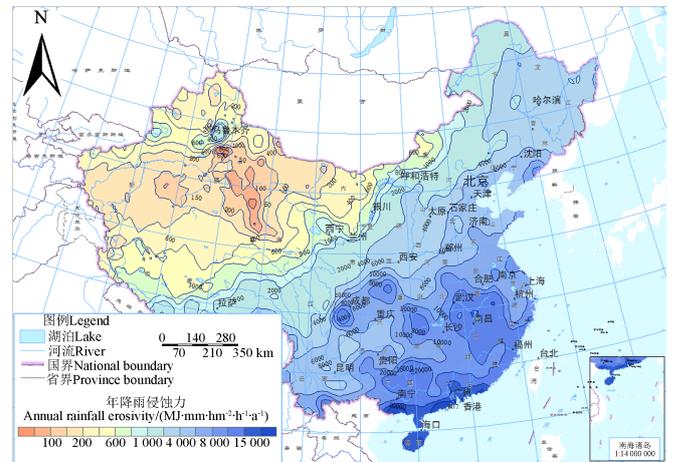


图7 全国10年一遇年降雨侵蚀力等值线图  
Fig.7 Contour map of once-in-a-decade annual rainfall erosivity in China

所分析的站点中,最低值出现在青海小灶火,10年一遇年降雨侵蚀力为34.6 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a),最高值出现在广西东兴,为33 062.9 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)。10年一遇年降雨侵蚀力的空间分布表现出大致从东南向西北方向逐渐递减的趋势,大部分地区变化于50~20 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)之间。广西和广东南部沿海地区在15 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)以上,华南大部、江南中东部、江南西部局部地区、四川西部局部地区变化于10 000~15 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)之间。西南地区东南部、江淮、江汉、黄淮、华北东部、东北南部局部地区变化于4 000~10 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)之间,其中四川东部和南部各有

一个高值中心, 10年一遇年降雨侵蚀力高达8 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)以上。西藏南部、西北中部、内蒙古中东部、四川西部、新疆西北部局部地区变化于1 000~4 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)之间。西藏中部、内蒙古中部地区、新疆西北部局部地区变化于400~1 000 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)之间, 乌鲁木齐地区出现一个800 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)以上的高值中心。西藏西北部和新疆大部地区变化于200~400 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)之间。其余地区在200 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)以下。其余重现期年降雨侵蚀力空间分布特征与10年一遇类似。2、5、20、50和100年一遇年降雨侵蚀力的最小值分别为24.4、32.3、36.6、38.9和40.6 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a), 最大值分别为21 790.8、28 653.9、39 045.1、47 989.2和55 063.4 MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)。

#### 4 结 论

本研究基于中国中东部水蚀区18个气象站1961(1971)–2000年逐分钟降水数据和全国范围内774个气象站1961–2016年逐日降水数据, 分析了中国降雨侵蚀力的时空分布及重现期特征。主要结论如下:

1) 不同重现期次和日降雨侵蚀力有较好的线性关系, 其对应的决定系数均大于等于0.96; 2年一遇、5年一遇、10年一遇、20年一遇、50年一遇和100年一遇日降雨侵蚀力转换为次降雨侵蚀力的系数分别为1.12, 1.15, 1.17, 1.19, 1.22和1.24。

2) 交叉验证方法表明克里金插值方法建立的侵蚀力空间分布模型精度较高。其中, 年均侵蚀力、24个半月侵蚀力、不同重现期年侵蚀力的空间插值模型较不同重现期次侵蚀力更好, 纳什系数NSE大于等于0.80, 偏差有正有负, 绝对值低于1%, 均方根误差与标准差之比RSR均在0.45及以下; 不同重现期次降雨侵蚀力值的空间插值模型, NSE大于等于0.74, 偏差均为正, 低于1%, RSR均在0.51及以下。

3) 侵蚀力年内变化特征表现为夏秋季比例大, 冬春季比例小。各地侵蚀力年内变化曲线具有较好的区域相似性, K均值聚类分析方法将中国侵蚀力年内变化特征划分为4个区域, 每个区域概化出一条侵蚀力年内变化曲线, 便于土壤侵蚀调查和评价。

#### [参 考 文 献]

- [1] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning[M]. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Agricultural Handbook No. 537, 1978.
- [2] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)[M]. Washington, D. C: U.S. Department of Agriculture Agriculture Handbook, 1997.
- [3] Hollinger S E, Angel J R, Palecki M A. Spatial distribution, variation, and trends in storm precipitation characteristics [Z]. State Water Survey Contract Rep, 2002: 36.
- [4] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion

Losses from Cropland East of the Rocky Mountains[M]. Washington, D.C: U.S. Department of Agriculture Agricultural Handbook No. 282, 1965.

- [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.  
Zhang Wenbo, Fu Jinsheng. Rainfall erosivity estimation under different rainfall amount[J]. Resources Science, 2003, 25(1): 35–41. (in Chinese with English abstract)
- [6] Yin S Q, Xie Y, Liu B Y, et al. Rainfall erosivity estimation based on rainfall data collected over a range of temporal resolutions[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2015, 19: 4113–4126.
- [7] 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.  
Zhang Wenbo, Xie Yun, Liu Baoyuan. Rainfall erosivity estimation using daily rainfall amounts[J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(6): 705–711. (in Chinese with English abstract)
- [8] 章文波. 北方农牧交错带降雨侵蚀力的时空分布[J]. 自然科学进展, 2003, 13(6): 93–96.  
Zhang Wenbo. Temporal and spatial distributions of rainfall erosivity in farming-pastoral ecotone of northern China[J]. Progress in Natural Science, 2003, 13(6): 93–96. (in Chinese with English abstract)
- [9] 殷水清, 谢云. 黄土高原降雨侵蚀力时空分布[J]. 水土保持通报, 2005, 25(4): 29–33.  
Yin Shuiqing, Xie Yun. Spatial variations and seasonal distributions of rainfall erosivity on Loess Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(4): 29–33. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘斌涛, 陶和平, 宋春风, 等. 我国西南山区降雨侵蚀力时空变化趋势研究[J]. 地球科学进展, 2012, 27(5): 499–509.  
Liu Bintao, Tao Heping, Song Chunfeng, et al. Temporal and spatial variations of rainfall erosivity in southwest China from 1960 to 2009[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(5): 499–509. (in Chinese with English abstract)
- [11] 叶芝菡, 刘宝元, 章文波, 等. 北京市降雨侵蚀力及其空间分布[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(1): 16–20.  
Ye Zhihan, Liu Baoyuan, Zhang Wenbo, et al. Study on rainfall erosivity and its spatial distribution in Beijing[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2003, 1(1): 16–20. (in Chinese with English abstract)
- [12] 马良, 左长清, 孙勳, 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.  
Ma Liang, Zuo Changqing, Sun Meng, et al. Spatial characteristics and simplified empirical models of annual rainfall erosivity in Shandong Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(2): 28–31. (in Chinese with English abstract)

- [13] 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.  
He Xijun, Lü Zhenping, Yang Xuan, et al. An analysis on spatial-temporal distribution of rainfall erosivity in Zhejiang Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(6): 31—34. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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.  
Fan Jianrong, Yan Dong, Guo Xiang. Spatial and temporal distribution of rainfall erosivity based on GIS in the upper Yangtze River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(1): 92—96. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘春利, 杨勤科, 谢红霞. 延河流域降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 环境科学, 2010, 31(4): 850—857.  
Liu Chunli, Yang Qinke, Xie Hongxia. Spatial and temporal distributions of rainfall erosivity in the Yanhe River Basin[J]. Environmental Science, 2010, 31(4): 850—857. (in Chinese with English abstract)
- [16] 钟科元, 郑粉莉. 1960—2014年松花江流域降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(2): 278—291.  
Zhong Keyuan, Zheng Fenli. Spatial and temporal variation characteristics of rainfall erosivity in the Songhua River Basin from 1960 to 2014[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(2): 278—291. (in Chinese with English abstract)
- [17] 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(II)[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 29—39.  
Wang Wanzhong, Jiao Juying, Hao Xiaopin, et al. Distribution of rainfall erosivity  $R$  value in China[J]. Journal of Soil Erosion and Soil Conservation, 1996, 2(1): 29—39. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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.  
Zhang Wenbo, Xie Yun, Liu Baoyuan. Spatial distribution of rainfall erosivity in China[J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(1): 33—40. (in Chinese with English abstract)
- [19] 刘斌涛, 陶和平, 宋春风, 等. 1960—2009年中国降雨侵蚀力的时空变化趋势[J]. 地理研究, 2013, 32(2): 245—256.  
Liu Bintao, Tao Heping, Song Chunfeng, et al. Temporal and spatial variations of rainfall erosivity in China during 1960 to 2009[J]. Geographical Research, 2013, 32(2): 245—256. (in Chinese with English abstract)
- [20] 殷水清, 章文波, 谢云, 等. 基于高密度站网的中国降雨侵蚀力空间分布[J]. 中国水土保持, 2013(10): 45—51.  
Yin Shuiqing, Zhang Wenbo, Xie Yun, et al. Spatial distributions of rainfall erosivity in China based on high density stations data[J]. Soil and Water Conservation in China, 2013(10): 45—51. (in Chinese with English abstract)
- [21] Xie Y, Yin S Q, Liu B Y, et al. Models for estimating daily rainfall erosivity in China[J]. Journal of Hydrology, 2016, 535: 547—558.
- [22] 谢云, 章文波, 刘宝元. 用日雨量和雨强计算降雨侵蚀力[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 53—56.  
Xie Yun, Zhang Wenbo, Liu Baoyuan. Rainfall erosivity estimation using daily rainfall amount and intensity[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(6): 53—56. (in Chinese with English abstract)
- [23] Yin S Q, Nearing M A, Borrelli P, et al. Rainfall erosivity: An overview of methodologies and applications[J]. Vadose Zone Journal, 2017, 16(12). DOI: 10.2136/vzj2017.06.0131
- [24] Sadeghi S H, Zabihi M, Vafakhah M, et al. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran[J]. Natural Hazards, 2017, 87(1): 35—56.
- [25] 王文婷, 殷水清, 袁莹莹. 场次降水与日降水差异对比[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2018, 54(2): 224—231.  
Wang Wenting, Yin Shuiqing, Yuan Yingying. Comparison of event and daily precipitations[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2018, 54(2): 224—231. (in Chinese with English abstract)
- [26] Hosking J R M. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series B-methodological, 1990, 52(1): 105—124.
- [27] 陈子燊, 刘曾美, 路剑飞. 广义极值分布参数估计方法的对比分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2010, 49(6): 105—109.  
Chen Zishen, Liu Zengmei, Lu Jianfei. Comparative analysis of parameter estimation methods of generalized extreme value distribution[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni: Natural Science, 2010, 49(6): 105—109. (in Chinese with English abstract)
- [28] Foster G R. Science Documentation, Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2)[M]. Washington, D.C: USDA-Agricultural Research Service, 2013.
- [29] 章基嘉, 孙照渤, 陈松军. 应用K均值聚类法对东亚各自然天气季节500毫巴候平均环流的分型试验[J]. 气象学报, 1984, 42(3): 55—63.  
Zhang Jijia, Sun Zhaobo, Chen Songjun. A pattern classification of the mean pentad circulations at 500 mb level over east Asia for each NSS by the method of K-Mean cluster analysis[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1984, 42(3): 55—63. (in Chinese with English abstract)
- [30] 殷水清, 王杨, 谢云, 等. 中国降雨过程时程分型特征[J]. 水科学进展, 2014, 25(5): 617—624.  
Yin Shuiqing, Wang Yang, Xieyun, et al. Characteristics of intra-storm temporal pattern over China[J]. Advances in Water Science, 2014, 25(5): 617—624. (in Chinese with English abstract)

## Spatiotemporal distribution and return period of rainfall erosivity in China

Yin Shuiqing<sup>1</sup>, Xue Xiaochan<sup>1</sup>, Yue Tianyu<sup>1</sup>, Xie Yun<sup>1</sup>, Gao Ge<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Rainfall erosivity is an indicator of the potential capacity of rainfall to cause soil erosion and one of the most important factors in the soil erosion model USLE and its revised versions. Based on the precipitation data with one-minute interval collected from 18 meteorological stations in the middle eastern water erosion areas of China from 1961(1971) to 2000, relationships between daily rainfall erosivity and event rainfall erosivity for different return periods were explored. Based on the daily precipitation data from 774 meteorological stations nationwide from 1961 to 2016, average annual, half-month, annual and event erosivity for the 2-year, 5-year, 10-year, 20-year, 50-year and 100-year return periods were calculated for the stations with observations. The Kriging interpolation method was used to estimate the rainfall erosivity for sites without observations and the spatial distribution maps of rainfall erosivity obtained could meet the requirements of the USLE models for the input of erosive force related parameters. The results showed that: 1) there was a good linear relationship between event and daily rainfall erosivity for corresponding return periods, and coefficients of determination were all greater than or equal to 0.96. The coefficients for converting daily rainfall erosivity into event rainfall erosivity were 1.12, 1.15, 1.17, 1.19, 1.22, and 1.24, respectively for the 2-year, 5-year, 10-year, 20-year, 50-year and 100-year return periods, which could be useful when event precipitation data was not available. 2) The leave-one-out cross-validation results showed that spatial interpolation models for all the above indices had good precision. Spatial interpolation models for the average annual, half-month, and annual erosivity of different return periods performed better than those for the event erosivity of different return periods. For the average annual, half-month, and annual erosivity of return periods, Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE) was greater than or equal to 0.80, deviation percentage (PBIAS) was less than 1%, and the ratio of root mean square error to the observed standard deviation (RSR) was less than 0.45; for the event erosivity of different return periods, NSE was not less than 0.74, PBIAS was less than 1%, and RSR was less than and equal to 0.51. 3) The seasonal variation curve of erosivity had good regional similarity. The K-means clustering analysis method was used to cluster seasonal variation curves of rainfall erosivity into four categories. One curve of seasonal variation for each category was obtained by averaging values for all stations in the same category. Similar with the seasonal variation of precipitation caused by monsoon climate, four categories were all with predominant peak in summer and autumn. The type I curve was characteristic of “short” with the erosivity more dispersed during the year and d two peaks; the type II reached a peak in June and decreased rapidly after June; the type III had a peak in July; and the type IV was characteristic of “slim and high” with a high degree of concentration and a significant peak appearing in the late July.

**Keywords:** erosion; rain; interpolation; spatiotemporal distribution; return period