

1960–2009年中国降雨侵蚀力的时空变化趋势

刘斌涛¹, 陶和平¹, 宋春风^{1,2}, 郭 兵^{1,2}, 史 展^{1,2},
张 超^{1,2}, 孔 博¹, 何 兵¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 降雨侵蚀力反映了降雨对土壤侵蚀的潜在能力, 因此降雨侵蚀力已经成为土壤侵蚀、产沙和水环境建模的主要参数之一。利用中国590个气象站1960–2009年逐日降雨量资料估算了中国每个气象站的降雨侵蚀力, 并使用趋势系数、气候倾向率和Kriging空间插值方法分析了中国降雨侵蚀力的时空变化趋势。结果表明: 我国年均降雨侵蚀力从东南沿海向西北内陆逐渐递减, 与年均降水量空间分布基本一致; 近50年来我国大部分地区年降雨侵蚀力呈现不显著的上升趋势, 存在四个明显的上升区域和两个明显的下降区域; 59个气象站年降雨侵蚀力变化趋势通过了0.05显著水平的置信度检验, 年降雨侵蚀力显著增加的气象站主要分布在青藏高原中东部、东缘、天山山脉以及东南沿海区域。青海省的诺木洪-都兰-曲麻莱-伍道梁一带近50年来年降雨侵蚀力增加趋势最为显著, 有可能加剧长江、黄河源头土壤侵蚀的风险。

关键词: 降雨侵蚀力; 时空变化; 趋势系数; 气候倾向率; 中国

1 引言

降雨是导致土壤侵蚀的主要动力因素之一, 在USLE、RUSLE模型中土壤侵蚀的降雨因素用降雨侵蚀力(rainfall erosivity)表示^[1]。降雨侵蚀力是指降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 准确评估降雨侵蚀力, 认识其时空分布规律, 对于土壤侵蚀评估与预报具有重要意义, 因此降雨侵蚀力研究受到广泛重视。

对降雨侵蚀力 R 值的研究, 国外开展较早。Wischmeier等首次提出以次降雨总动能 E 与30分钟最大雨强 I_{30} 的乘积 EI_{30} 作为降雨侵蚀能力指标^[2]。王万忠等^[3]通过验证, 证实以 EI_{30} 作为降雨侵蚀力指标在中国同样适宜。由于计算 EI_{30} 指标需要连续记录的降雨过程资料, 而我国常规气象观测尚不具备这种条件, 因此一般根据径流小区实测资料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估算降雨侵蚀力^[4]。目前, 常用的降雨侵蚀力简易算法有基于年降雨量的简易算法^[4–6]、基于月降雨量的简易算法^[7]、基于日降雨量的简易算法^[8–11]和基于小时雨量的简易算法^[12]四种。研究表明, 年、月雨量信息属相对粗略的降雨资料, R 值估算精度相对不高^[13]。由于小时雨量数据获取难度较大, 因此应用较少。与月或年雨量相比, 日雨量能够提供更丰富的降雨特征信息, 降雨侵蚀力估算精度可靠, 因而得到广泛的应用^[8–11]。Richardson等^[8]首先建立了幂函数结构形式的日雨量侵蚀力模型, 并在其它地区得到了分析验证^[14–16]。由于Richardson等建立的模型不能反映降雨侵蚀力年内的变化特征, Yu等^[16–18]对其模型进行了修正, 采用余弦函数反映降雨侵蚀力的季

收稿日期: 2012-07-13; 修订日期: 2012-11-15

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-08); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-333)

作者简介: 刘斌涛(1984-), 男, 山东德州人, 助理研究员, 硕士, 主要从事山地生态环境遥感与数字山地研究。

E-mail: lbt609@163.com

节变化。章文波等^[9]利用全国 71 个代表性气象站资料,建立了基于日雨量的降雨侵蚀力简易算法模型,可以估算多年平均降雨侵蚀力及其季节变化,因而得到广泛应用。大量研究表明,降雨侵蚀力具有明显年际变化、年内分配不均性和空间异质性等几大特征^[19,20]。王万忠等^[3]、章文波等^[21]分析了中国降雨侵蚀力的空间分布特征,显示降雨侵蚀力的空间分布与降雨量相似,并且 1971-1998 年中国大部分地区降雨侵蚀力年际变化表现出增加趋势。李静等^[22]分析了黄土高原降雨侵蚀力的时空分布特征,证明黄土高原降雨侵蚀力年内分布主要集中于 7、8 两月,年际变化上存在一个 2.7a 的波动周期,波动范围在多年平均值的 1 倍以上。范建容等^[23]分析了长江上游的降雨侵蚀力时空分布特征,研究表明长江上游地区降雨侵蚀力地域差异非常显著,与降雨量空间分布相似,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。罗健等^[24]分析了 48 年来广东省降雨侵蚀力的变化趋势,指出广东省降雨侵蚀力呈现不明显的上升趋势,且存在较明显的年代际和年际变化,降雨侵蚀力的年内分布特征和降雨量分布类似。于泳等^[25]对湖北省的降雨侵蚀力进行了分析,同样证明了降雨侵蚀力的时空分布与降雨量的时空分布基本一致,且年内变化十分显著。目前已有研究说明降雨侵蚀力在年内分配不均匀,主要集中在汛期;降雨侵蚀力的空间分布趋势与降雨量的空间分布趋势基本一致,且具有相同的中心;降雨侵蚀力年际波动明显,存在年际波动的周期;中国大多数地区降雨侵蚀力呈上升趋势。但是,关于中国近 50a 来降雨侵蚀力的总体变化特征的研究还比较少,降雨侵蚀力变化的地域差异特征还不清晰,需要开展相应的研究。

土壤侵蚀是中国最严重的生态环境问题之一。根据全国第二次土壤侵蚀遥感调查^[26],20 世纪 90 年代末全国水土流失总面积达 356 万 km²,其中水力侵蚀面积为 165 万 km²,水力侵蚀面积占土壤侵蚀总面积的 46.35%,占我国国土总面积的 17.19%。另据《中国河流泥沙公报 2009》显示,中国 11 条主要河流代表水文站多年平均年输沙量(建站-2005 年)高达 16.9 亿 t^[27],中国水土保持工作形势十分严峻。本文通过对中国近 50 年来降雨侵蚀力时空变化趋势的研究,旨在提高对中国土壤侵蚀影响因素和时空分布特征的认识,为我国土壤侵蚀研究和水土保持工作提供参考。

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源与处理

从中国气象科学数据共享服务网收集了中国 746 个气象站逐日降雨量资料,选择其中满足 1960-2009 年 50 年长度的气象站,最终选取了 590 个气象站进行降雨侵蚀力气候趋势分析,气象站分布见图 1。利用自行开发的降雨侵蚀力计算程序,完成逐月、逐年降雨侵蚀力的计算以及降雨侵蚀力变化参数的计算分析工作。

2.2 降雨侵蚀力计算

本研究采用第一次全国水

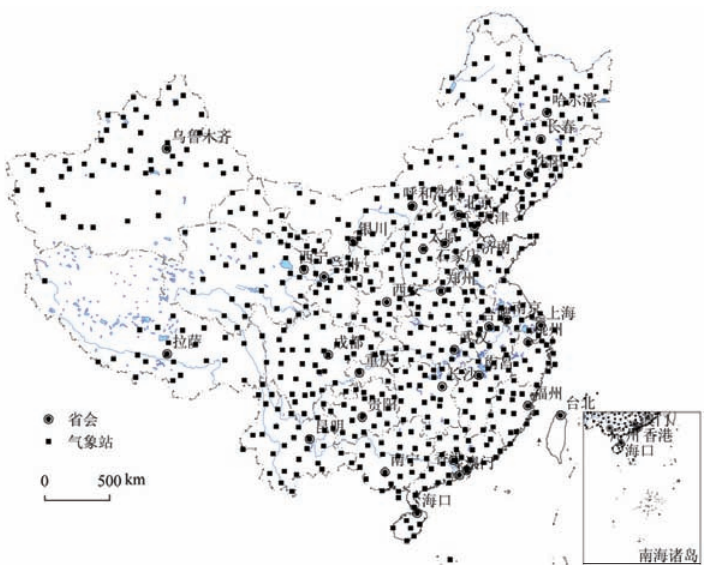


图 1 气象站点分布示意图

Fig. 1 Spatial distribution of meteorological stations in China

利普查水土保持专项普查使用的降雨侵蚀力算法, 该算法由章文波等^[9,21,28]提出降雨侵蚀力估算模型改进而来, 其公式如下:

$$\overline{R}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\alpha \sum_{j=1}^M P_{d_{ij}}^\beta \right) \quad (1)$$

$$\alpha = 21.239\beta^{-7.3967} \quad (2)$$

$$\beta = 0.6243 + \frac{27.346}{\overline{P}_{d_0}} \quad (3)$$

$$\overline{P}_{d_0} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{12} \sum_{j=1}^M P_{d_{ij}} \quad (4)$$

$$\overline{R} = \sum_{k=1}^{12} \overline{R}_k \quad (5)$$

式中: \overline{R}_k 为第 k 个月的降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$); N 为计算数据序列长度, 本文中为 50 年; M 为第 i 年第 k 个月侵蚀性降雨的次数; $P_{d_{ij}}$ 为第 i 年第 k 个月第 j 次侵蚀性降雨量 (mm), 取日降雨量 $\geq 12\text{mm}$ 作为侵蚀性降雨; α 、 β 为模型参数, 通过式 (2)、式 (3) 和式 (4) 估算; \overline{P}_{d_0} 为侵蚀性降雨的多年平均值 (mm); \overline{R} 为多年平均降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}$)。

2.3 趋势系数与气候倾向率

趋势系数表示气候要素长期趋势变化的方向和程度, 本文用趋势系数表示降雨侵蚀力的年际变化趋势, 其计算公式为^[29,30]:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (6)$$

式中: n 为年份序号; x_i 是第 i 年的降雨侵蚀力; \bar{x} 为其样本均值; $\bar{t} = (n+1)/2$ 。趋势系数 r_{xt} 为正时, 表示降雨侵蚀力有线性增加趋势, 反之则为线性减少。

气象要素的趋势变化一般用一次线性方程表示^[29,30], 即:

$$\hat{p}_t = a_0 + a_1 t \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\frac{d\hat{x}_t}{dt} = a_1 \quad (8)$$

式中: $a_1 \times 10$ 成为气候倾向率^[29,30], 单位为某要素单位/10a。

根据线性回归理论得:

$$a_1 = r_{xt} \frac{\sigma_x}{\sigma_t} \quad (9)$$

式中: σ_x 是要素 x 的均方差; σ_t 为数列 1, 2, \dots , n 的均方差, 这样就可以从趋势系数 r_{xt} 计算出气候倾向率。

3 结果分析

3.1 降雨侵蚀力的空间分布特征

图 2 为中国 1960-2009 年多年平均降雨侵蚀力分布图, 使用 Kriging 空间插着方法在 ArcGIS 9.2 软件中制作完成。由图 2, 中国年均降雨侵蚀力呈现出从东南沿海向西北内陆逐渐递减的趋势, 年均降雨侵蚀力的空间分布特征与年均降水量的空间分布特征 (图 3)

基本一致。大致以大兴安岭—燕山—陕西西北部—六盘山—秦岭西段—龙门山—喜马拉雅山东段一线为界，此线的东南处降雨侵蚀力高于 $1000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ ，西北一侧降雨侵蚀力较低，逐渐从 $1000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 递减到 $50 \text{ MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 以下。中国

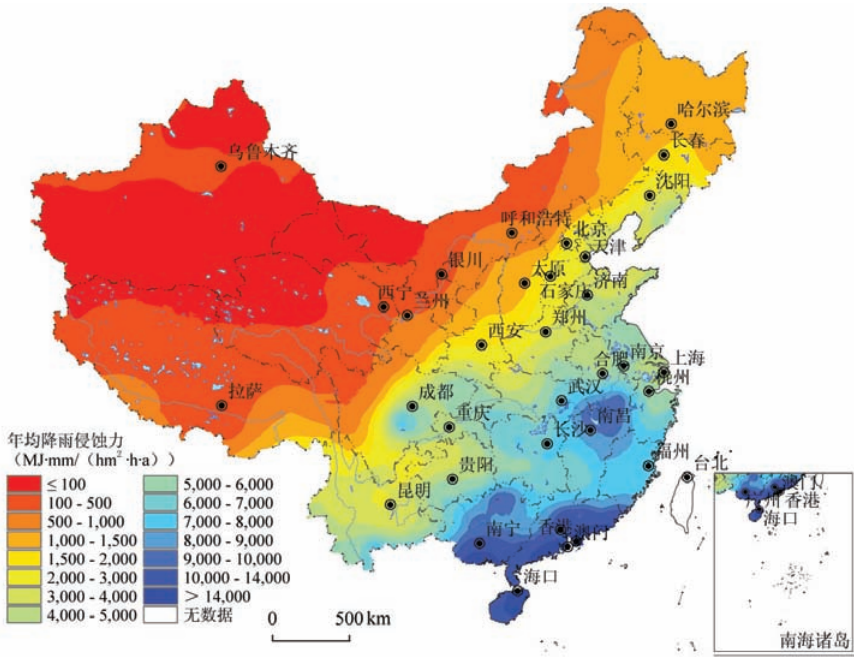


图2 中国年均降雨侵蚀力空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of average annual rainfall erosivity in China

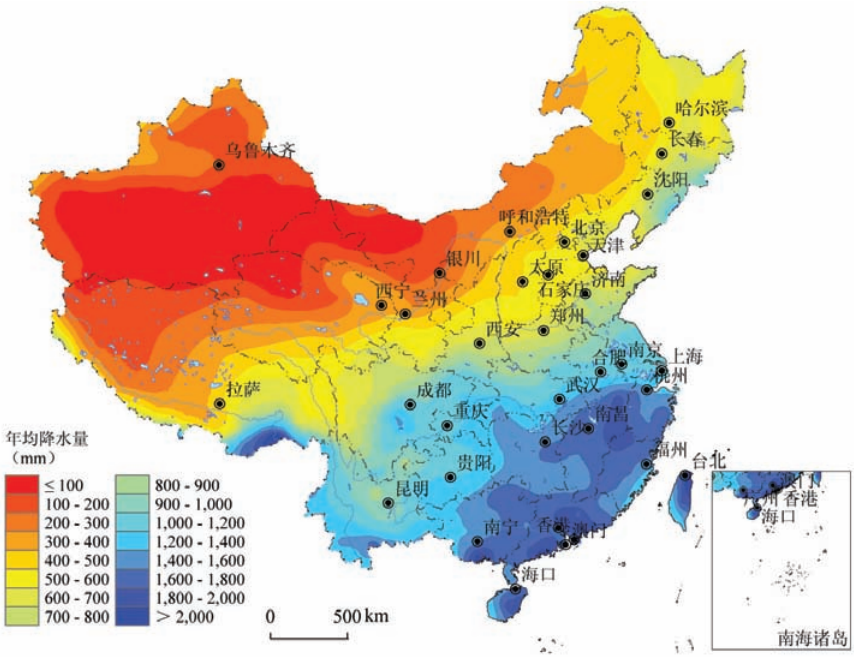


图3 中国年均降水量空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of annual precipitation in China

100 MJ·mm/(hm²·h·a) 年均降雨侵蚀力等值线大致与 200mm 年均降水量等值线相近; 1000 MJ·mm/(hm²·h·a) 年均降雨侵蚀力等值线大致与 400mm 年均降水量等值线相近; 4000 MJ·mm/(hm²·h·a) 年均降雨侵蚀力等值线大致与 800mm 年均降水量等值线重合。说明中国湿润地区年均降雨侵蚀力一般高于 4000 MJ·mm/(hm²·h·a), 半湿润地区年均降雨侵蚀力一般介于 1000~4000 MJ·mm/(hm²·h·a) 之间, 半干旱地区年均降雨侵蚀力一般介于 100~1000 MJ·mm/(hm²·h·a) 之间, 干旱地区年均降雨侵蚀力一般小于 100 MJ·mm/(hm²·h·a)。

590 个气象站中有 36 个气象站年均降雨侵蚀力超过 10000 MJ·mm/(hm²·h·a), 这些气象站主要分布于华南沿海的广东、广西和海南岛, 除此之外还有安徽黄山站、江西庐山站、云南江城站、湖南南岳站和四川雅安站。对照图 2 可以看出, 上述 5 个气象站也正是我国内陆地区皖赣鄂交界地区、云南南部、武陵山和雪峰山东麓、四川盆地西南部几个高值区域的中心点。

3.2 代表性气象站降雨侵蚀力年际变化特征

为分析中国 1960-2009 年 50 年来降雨侵蚀力的年际变化特征, 分别在全国各地区选择了 10 个代表性气象站进行了定量分析, 它们分别是乌鲁木齐、西宁、北京、哈尔滨、拉萨、成都、常德、南昌、南京和广州。从图 4 中可以看出, 10 个代表性气象站中乌鲁木齐、西宁、拉萨、常德、南昌、南京和广州等 7 个气象站年降雨侵蚀力呈上升趋势; 北京和成都两站呈下降趋势; 哈尔滨站 50 年来降雨侵蚀力变化趋势很不明显。从 10 个代表性气象站的分布位置和变化趋势来看, 中国的大部分地区年降雨侵蚀力呈增加趋势, 只有少数地区年降雨侵蚀力存在下降的趋势。

3.3 降雨侵蚀力的变化趋势

为进一步分析中国不同区域降雨侵蚀力的变化趋势, 本文计算了每一个气象站的降雨侵蚀力 1960-2009 年的趋势系数和气候倾向率, 并分别使用 ArcGIS 9.2 软件的 Kriging 空间插值方法制作了中国年降雨侵蚀力趋势系数和气候倾向率的空间分布图 (图 5、图 6)。

由图 5, 中国大部分区域降雨侵蚀力呈增加趋势, 小部分区域降雨侵蚀力呈减少趋势。其中呈上升趋势的区域面积达 664.63 万 km², 占中国国土面积的 70.29%; 呈下降趋势的区域面积为 280.88 万 km², 占中国国土面积的 29.71% (统计中未包含中国的台湾省)。在青海中部、西藏中北部、新疆北部和新疆东北部形成一片集中分布的降雨侵蚀力明显增加区域, 年降雨侵蚀力趋势大于 0.03, 其中以青海的诺木洪—都兰—曲麻莱—伍道梁一带, 年降雨侵蚀力趋势系数达到了 0.1270, 其上升中心为诺木洪气象站, 年降雨侵蚀力趋势系数高达 0.2892。这一地区 60 年代年降雨侵蚀力平均为 54.1 MJ·mm/(hm²·h·a), 到 80 年代年降雨侵蚀力平均为 96.0 MJ·mm/(hm²·h·a), 到 2000 年以后年降雨侵蚀力平均已经达到 144.3 MJ·mm/(hm²·h·a), 是 60 年代的 2.7 倍。这一特点充分说明, 青藏高原中东部地区近 50 年来降雨侵蚀力增加趋势非常明显, 也说明青藏高原中东部土壤侵蚀的风险在增大。从东北地区南部向西南延伸, 经华北平原、黄土高原、四川盆地, 一直到达云贵高原中部形成一条带状的年降雨侵蚀力下降区域。另外在青藏高原西部、西北部、新疆南部还有一片降雨侵蚀力下降区域。

气候倾向率从另一个侧面反映了降雨侵蚀力的变化趋势。由图 6, 近 50 年来我国年降雨侵蚀力最明显的一个特征就是从东北地区南部、华北平原、黄土高原、四川盆地, 一直到达云贵高原中部的这条带状的年降雨侵蚀力下降区域。其中心区位于环渤海地区和四川

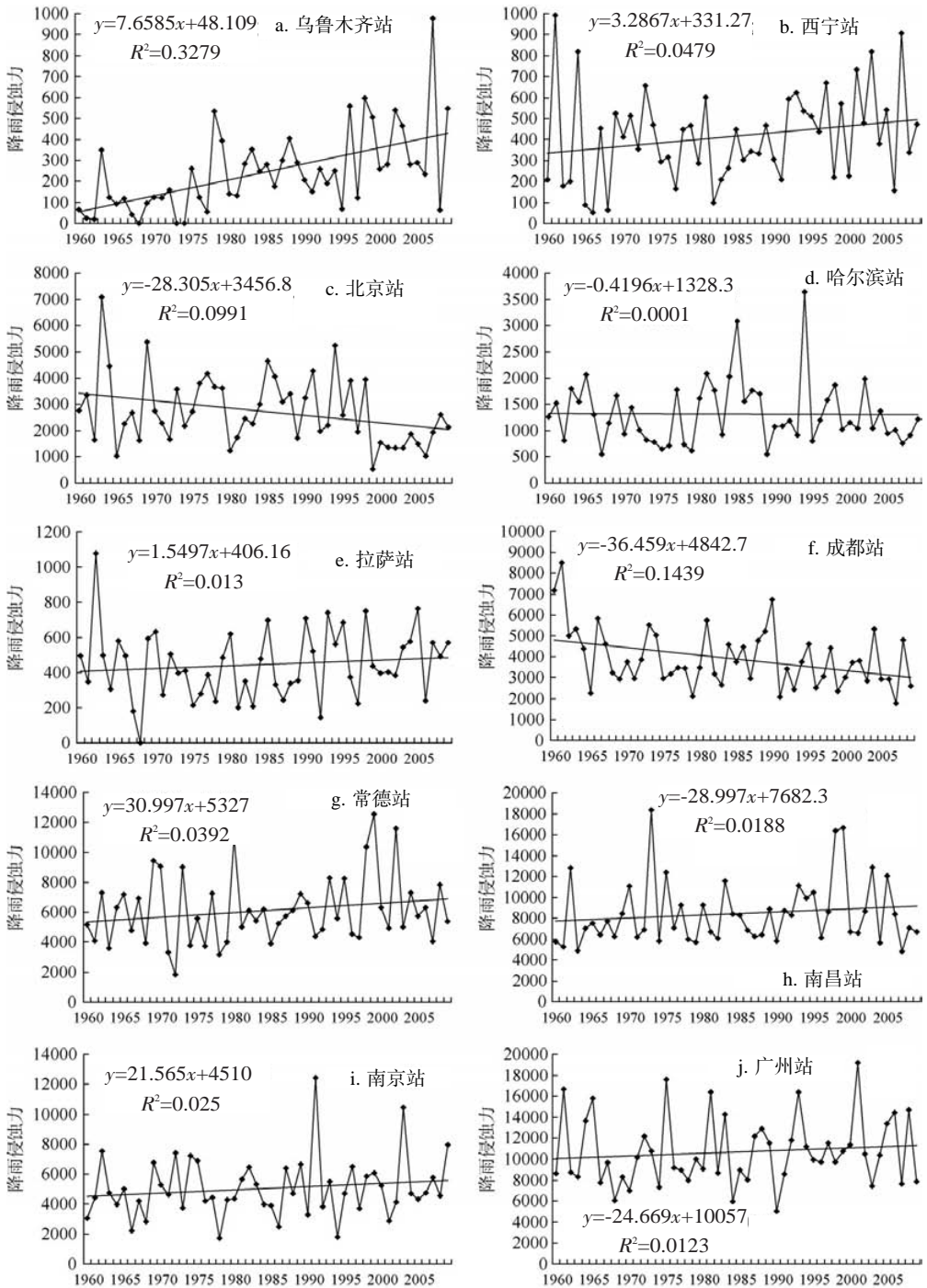


图4 中国代表性气象站50年来降雨侵蚀力年际变化特征

Fig. 4 Interannual variability of rainfall erosivity of typical stations in China during recent 50 years

盆地中西部, 气候倾向率 $< -100 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}) / 10\text{a}$ 。东南、华南沿海地区以及安徽、江西和湖北交界处一带降雨侵蚀力上升趋势非常明显, 气候倾向率 $> 250 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}) / 10\text{a}$ 。图6展示的年降雨侵蚀力气候趋势同时也说明近50年来我国东部季风区年降雨侵蚀力重心有向南迁移的趋势。

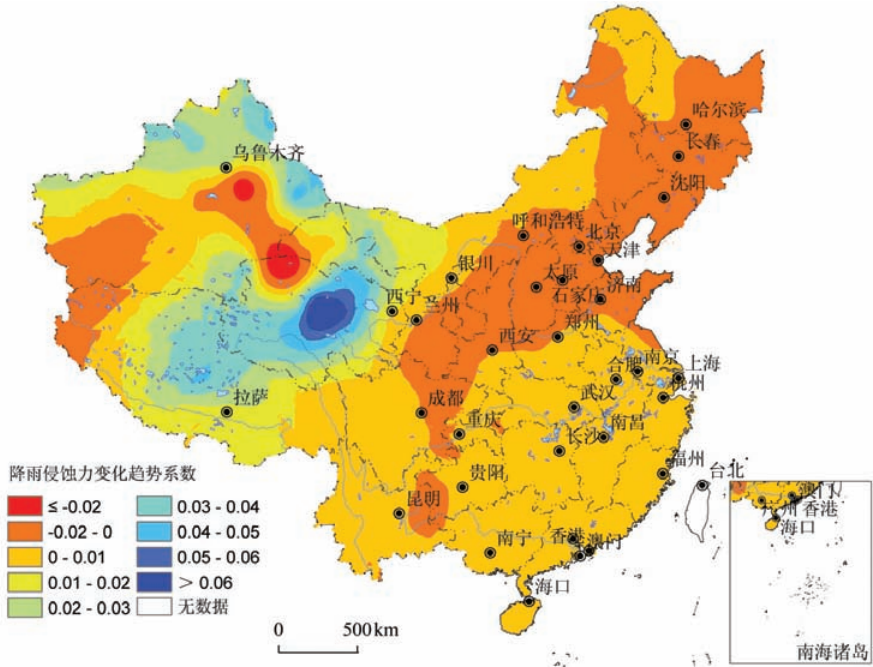


图5 中国年降雨侵蚀力趋势系数空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of trend coefficient of annual rainfall erosivity in China

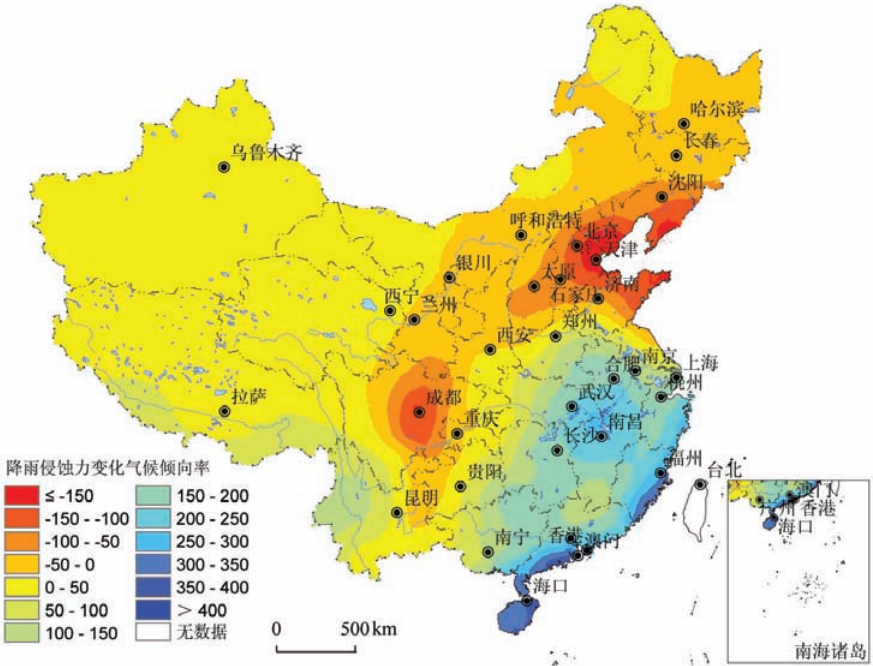


图6 中国年降雨侵蚀力气候倾向率空间分布图

Fig. 6 Spatial distribution of climate tendency rate of annual rainfall erosivity in China

综合图5和图6，中国年降雨侵蚀力近50年来有4个明显增加的区域和两个明显减少的区域。明显增加的区域分别是东南和华南沿海区、皖赣鄂三省交界区、青藏高原中东部

和新疆北部。两个明显下降的区域分别是环渤海地区和四川盆地中西部。各个典型区域 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代、90 年代和 2000 年代（2000 年以后）降雨侵蚀力变化特征见图 7。从图 7a 中可以看出，东南和华南沿海地区降雨侵蚀力呈波动上升趋势，60 年代、80 年代为降雨侵蚀力相对低值时期，90 年代以后降雨侵蚀力上升明显，2000 年代比 60 年代降雨侵蚀力增加了 $1899.6 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ，相对增加了 17.74%。从图 7b 中可以看出皖赣赣三省交界区 90 年代降雨侵蚀力最高，超过了 $10000 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ，达 $11196.3 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ，2000 年代降雨侵蚀力有所下降，但 90 年代、2000 年代降雨侵蚀力平均值仍然比 60 年代高出了 $1943.5 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ，相对增加了 24.45%。从图 7c 中可以看出青藏高原中东部降雨侵蚀力 80 年代迅速增加，90 年代比 80 年代略有下降，2000 年以后再次上升，2000 年代降雨侵蚀力比 60 年代增加了 $87.8 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ，相对增加了 87.62%。从图 7d 中可以看出新疆北部降雨侵蚀力呈现比较稳定的增加态势，90 年代与 00 年代降雨侵蚀力平均值比 60 年代增加了 $46.4 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ，相对增加了 67.15%。从图 7e 中可以看出环渤海地区降雨侵蚀力呈现逐步下降趋势，2000 年代比 60 年代下降了 $762.2 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ ，相对下降 20.99%。从图 7f 中可以看出四川盆地中西部降雨侵蚀力下降非常明显，除 80 年代降雨侵蚀力略高外，降雨侵蚀力在 50 年时

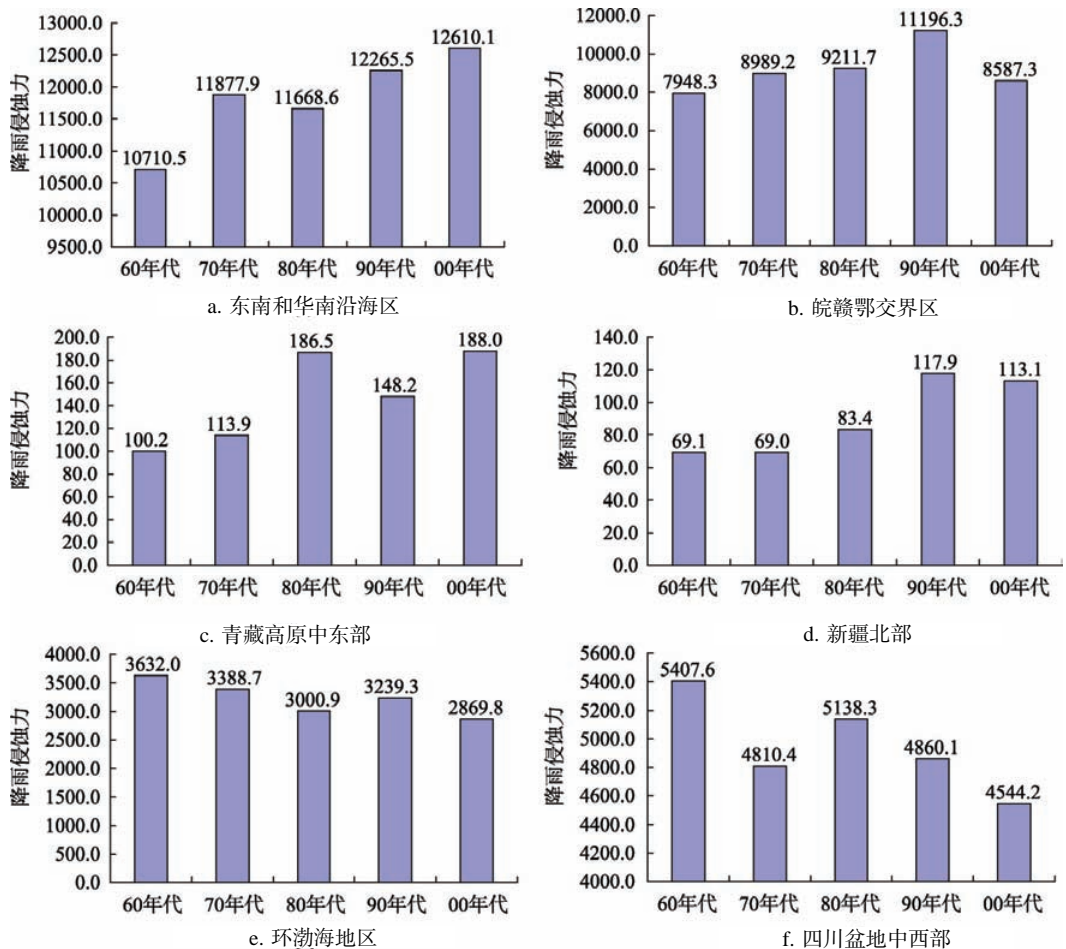


图 7 中国 6 个典型区域 50 年来降雨侵蚀力年际变化特征

Fig. 7 Interannual variability of rainfall erosivity in six typical areas of China during recent 50 years

间内几乎直线下降，2000年代比60年代下降了863.4 MJ·mm/(hm²·h·a)，相对下降15.97%。所有明显变化区域中要特别关注青藏高原中东部地区，尤其是诺木洪—都兰—曲麻莱—伍道梁一带（图8），这里地处长江、黄河源头，植被覆盖度较低，生态环境脆弱性高，加之近年来草地退化持续加剧^[31]，年降雨侵蚀力增加有可能进一步加重这里的土壤侵蚀风险，并对当地脆弱的生态环境进一步造成影响。

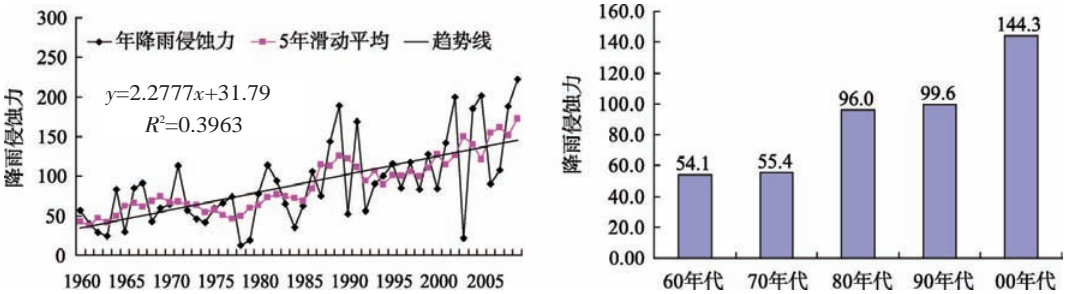


图8 诺木洪—都兰—曲麻莱—伍道梁一带50年来降雨侵蚀力年际变化特征

Fig. 8 Interannual variability of rainfall erosivity in the area of Numuhong, Dulan, Qumalai and Wudaoliang in Qinghai Province during recent 50 years

3.4 降雨侵蚀力的变化趋势的显著性检验

中国590个气象站中有366站年降雨降雨侵蚀力呈上升趋势，占62.03%，其中有48站通过了0.05显著水平的置信度检验，占呈上升趋势气象站的13.11%，占全部气象站的8.14%；有224站年降雨侵蚀力呈下降趋势，占37.97%，其中有11站通过了0.05显著水平的置信度检验，占呈下降趋势气象站的4.91%，占全部气象站的1.86%。通过了0.05显著水平的置信度检验的气象站共有59个，占全部气象站的10.00%。值得一提的是有18个气象站年降雨侵蚀力变化趋势通过0.01显著水平的置信度检验（表1），占到全部气象站的3.05%，说明中国一些地区的降雨侵蚀力发生非常显著的变化。从表1中可以看出中国降雨侵蚀力变化趋势通过0.01置信度检验的气象站18个中有13个位于青藏高原，特别是青藏高原中东部的三江源地区，这进一步说明青藏高原中东部地区是中国降雨侵蚀力上升最为显著的地区。虽然有不少气象站降雨侵蚀力的变化趋势达到了0.05置信度的显著性水平甚至0.01置信度的极显著性水平，但中国年降雨侵蚀力仍以年际随机波动为主，只有少数气象站年降雨侵蚀力50年来存在显著的气候趋势，并且以显著增加为主。

图9是中国通过0.05显著水平的置信度检验的气象站的空间分布图。从图9中可以看出年降雨侵蚀力显著上升的气象站主要分布在青藏高原中东部、东缘、天山山脉以及东南沿海区域。结合图5和图6可以看出，这些地区年降雨侵蚀力呈上升趋势，加之有较多气象站年降雨侵蚀力呈显著上升趋势，说明这些区域50年来年降雨侵蚀力的变化趋势已经非常明显，是中国侵蚀性降雨气候变化的敏感区。四川盆地中西部、云贵高原中部、华北和东北地区呈下降趋势，其中成都平原和环渤海地区年降雨侵蚀力下降趋势最为明显，四川成都站和河北遵化站分别是这两个下降区域的中心点，其中成都站在全国各气象站下降趋势最显著，超过了0.01置信度水平。

4 结论与讨论

中国年均降雨侵蚀力从东南沿海向西北内陆递减，空间分布特征基本与年均降水量的

表 1 年降雨侵蚀力变化趋势通过 0.01 置信度检验的气象站

Tab. 1 Stations whose coefficients of tendency have passed the confidence test with 1% significance level

气象站编码	气象站名称	地理位置	趋势系数	倾向率	决定系数 R^2	变化趋势
56021	曲麻莱	青海	0.0593	22.0299	0.1307	上升
51330	温泉	新疆	0.0471	30.0494	0.1416	上升
52825	诺木洪	青海	0.2892	4.8811	0.1436	上升
56294	成都	四川	-0.0039	-364.5925	0.1439	下降
55690	错那	西藏	0.0189	85.7671	0.1621	上升
52943	兴海	青海	0.0526	33.3482	0.1754	上升
52645	野牛沟	青海	0.0501	35.7971	0.1795	上升
51701	吐尔尕特	新疆	0.0552	32.5198	0.1797	上升
55664	定日	西藏	0.0312	59.5299	0.1860	上升
52101	巴里坤	新疆	0.0424	46.1925	0.1958	上升
52657	祁连	青海	0.0504	41.1068	0.2071	上升
52754	刚察	青海	0.0504	42.6168	0.2149	上升
52908	伍道梁	青海	0.0728	32.4112	0.2361	上升
52836	都兰	青海	0.0866	31.7864	0.2753	上升
51463	乌鲁木齐	新疆	0.0428	76.5846	0.3279	上升
55472	申扎	西藏	0.0778	46.9181	0.3652	上升
52633	托勒	青海	0.1016	38.4091	0.3907	上升
56202	嘉黎	西藏	0.0385	128.0029	0.4926	上升

空间分布基本一致。大致以大兴安岭—燕山—陕西西北部—六盘山—秦岭西段—龙门山—喜马拉雅山东段一线为界，此线的东南处年均降雨侵蚀力高，西北侧年均降雨侵蚀力低。

近 50 年来，中国年降雨侵蚀力有明显变化的趋势，有 4 个年降雨侵蚀力明显增加和两个年降雨侵蚀力明显下降的区域。中国大部分地区年降雨侵蚀力呈增加趋势，年降雨侵蚀力增加的区域占 70.29%。青海诺木洪—都兰—曲麻莱—伍道梁一带年降雨侵蚀力增加趋势最明显。

有 59 个气象站年降雨侵蚀力变化通过了 0.05 显著水平的置信度检验，占全部气象站的 10.00%。年降雨侵蚀力显著增加的区域主要分布在青藏高原中东部、东缘、天山山脉

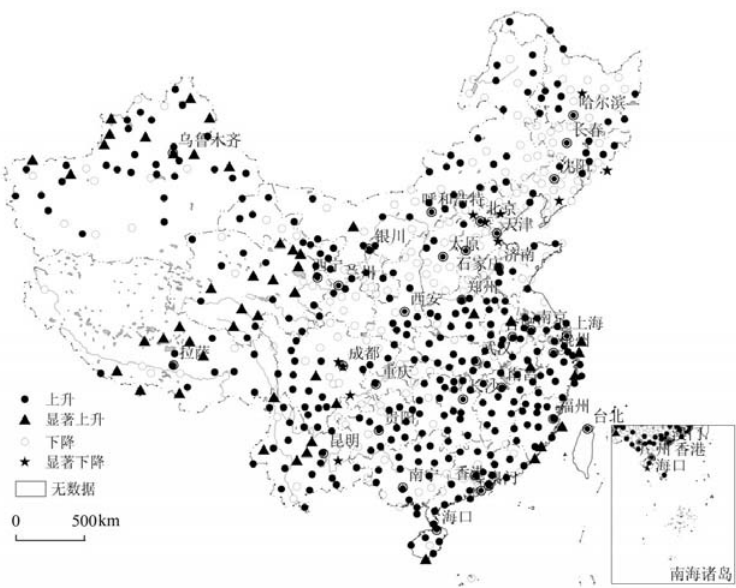


图 9 年降雨侵蚀力变化趋势通过 0.05 置信度检验的气象站空间分布图
Fig. 9 Spatial distribution of meteorological stations whose coefficients of tendency have passed the confidence test with 5% significance level in China

以及东南沿海区域。成都平原和环渤海地区两个区域降雨侵蚀力明显下降。

从全国区域来看,从青藏高原中东部区域一直到其东缘的纵向岭谷区、金沙江流域降雨侵蚀力增加趋势最为显著,有26个气象站通过了0.05置信水平的检验。该区域是我国长江、黄河、澜沧江等河流的源头,是重要的生态环境脆弱区,水土流失控制和生态安全屏障建设的重点区。近50年来表现出的降雨侵蚀力显著增加的事实势必给严峻的土壤侵蚀形势构成严重威胁。同时,必须指出青藏高原降雨侵蚀力增加是随着降水量增加而增加的,降水量增加有利于高原干旱区植被恢复与生长,从而增加植被对土壤的保护能力。因此,如何评估该区域的土壤侵蚀动态变化形势还需要进行深入的研究。

致谢: 韦方强研究员为本研究提供了大量资料,在此表示感谢!

参考文献 (References)

- [1] 孙泉忠, 王朝军, 赵佳, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值指标研究进展. 中国农学通报, 2011, 27(4): 1-5.
- [2] 章文波, 谢元, 刘宝元. 降雨侵蚀力研究进展. 水土保持学报, 2002, 16(2): 43-46.
- [3] 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). 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 29-39.
- [4] 伍育鹏, 谢云, 章文波. 国内外降雨侵蚀力建议计算方法的比较. 水土保持学报, 2001, 15(3): 31-34.
- [5] 缪驰远, 徐霞, 魏欣, 等. 重庆市主城区降雨侵蚀力特征分析. 资源科学, 2007, 29(4): 55-60.
- [6] Lee J H, Heo J H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. Journal of Hydrology, 2011, doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.07.031.
- [7] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. Journal of Hydrology, 1994, 157: 287-306.
- [8] Richardson C W, Forster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount. Transaction of the ASAE, 1983, 26(1): 153-156.
- [9] 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. 地理科学, 2002, 22(6): 705-711.
- [10] Angulo-Martinez M, Begueria S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). Journal of Hydrology, 2009, 379: 111-121.
- [11] 杨轩, 梁音, 方继青, 等. 基于日降雨信息的月降雨侵蚀力模型. 土壤学报, 2010, 47(2): 216-222.
- [12] 殷水清, 谢云, 王春刚. 用小时降雨资料估算降雨侵蚀力的方法. 地理研究, 2007, 26(3): 541-547.
- [13] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.
- [14] Haith D A, Merrill D E. Evaluation of a daily erosivity model. Transaction of the ASAE, 1987, 30(1): 90-93.
- [15] Selker J S, Haith D A, Reynolds J E. Calibration and testing of a daily rainfall erosivity model. Transaction of the ASAE, 1990, 33(5): 1612-1688.
- [16] Yu B. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics. Australian Journal of Soil Research, 1998, 36(1): 143-165.
- [17] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34: 139-152.
- [18] Yu B, Hashim G M, Eusof Z. Estimating the R -factor with limited rainfall data: A case study from peninsular Malaysia. Journal of Soil and Water Cons, 2001, 56: 101-105.
- [19] Wang Guangxing, 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. Ecological Modeling, 2002, 153: 143-155.
- [20] Hoyos Natalia, Waylen P R, Jaramillo A. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. Journal of Hydrology, 2005, 314: 177-191.
- [21] 章文波, 谢云, 刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征. 山地学报, 2003, 21(1): 33-40.
- [22] 李静, 刘志红, 李锐. 黄土高原不同地貌类型区降雨侵蚀力的时空特征研究. 水土保持通报, 2008, 2(3): 124-127.
- [23] 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. 水土保持研究, 2010, 17(1): 92-96.

- [24] 罗健, 荣艳淑, 陈乐, 等. 广东省 1960~2007 年降雨侵蚀力变化趋势分析. 水文, 2010, 30(1): 79-83.
- [25] 于泳, 高强, 高华斌. 湖北省降雨侵蚀力时空分布特征初步研究. 长江科学院院报, 2008, 25(3): 18-22.
- [26] 中华人民共和国水利部. 全国水土保持监测公报. http://www.cnscm.org/jcgg/qgstbcjcgj/jcgg_2003.aspx, 2012-03-15.
- [27] 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报 2009. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [28] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.
- [29] 刘梅, 彭晓燕, 李进喜, 等. 1961 年至 2007 年江苏省高温气候特征分析. 资源科学, 2011, 3(10): 1991-1998.
- [30] 王枫叶, 刘普幸. 酒泉绿洲近 45 年日照时数的变化特征分析. 高原气象, 2010, 29(4): 999-1004.
- [31] 王根绪, 李元寿, 王一博, 等. 青藏高原河源区地表过程与环境变化. 北京: 科学出版社, 2010.

Temporal and spatial variations of rainfall erosivity in China during 1960 to 2009

LIU Bintao¹, TAO Heping¹, SONG Chunfeng^{1,2}, GUO Bing^{1,2}, SHI Zhan^{1,2},
ZHANG Chao^{1,2}, KONG Bo¹, HE Bing¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Soil erosion is one of the most important environmental concerns of China. It is shown that rainfall erosivity is prone to cause severe soil loss, so it is used as a primary input parameter for soil erosion, sediment yield and water quality modelling. Based on the daily rainfall data from 590 meteorological stations in China from 1960 to 2009, rainfall erosivity was estimated and the temporal and spatial distribution was analysed with trend coefficient, climate tendency rate and the ordinary kriging methods with the aid of ArcGIS 9.2 software, respectively. The results show that the spatial distribution of rainfall erosivity has a decreasing trend from the southeast coastal regions to the northwest inland regions. The spatial distribution of average annual rainfall erosivity is similar to that of average annual precipitation. There is a slight increase of annual rainfall erosivity in most parts of China. There are four areas whose annual rainfall erosivity has a significant increasing trend and two areas with a significant decreasing trend in the 50 years. There are 59 stations whose coefficients of tendency pass the confidence test with 5% level of significance, and these stations are mainly located in the eastern and central Qinghai-Tibet Plateau, Tianshan Mountains and the southeast coastal regions. The areas of Numuhong, Dulan, Qumalai and Wudaoliang in Qinghai Province see the most significant increase from 1960 to 2009 throughout China, indicating that soil loss might be aggregated by rainfall increase in the headwaters of the Yangtze River and Yellow River.

Key words: rainfall erosivity; temporal and spatial variations; trend coefficient; climate tendency rate; China