

增暖背景下华北平原极端降水事件时空变化特征

安华, 延军平, 张涛涛, 廖光明

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 利用 1961—2010 年华北平原 53 个气象站的逐日降水资料, 采用百分位值法定义极端降水事件的阈值, 统计极端降水事件的降水量、频次和强度, 重点分析华北平原近 50 a 极端降水事件时空变化特征。结果表明: (1) 在气候暖化背景下, 近 50 a 华北平原极端降水事件整体呈现下降趋势; (2) 在空间格局上, 极端总降水量、发生频率和强度空间格局具有一致性; (3) 华北平原极端降水呈现下降趋势的区域主要分布于河北省及山东省东南沿海一带, 而河南省大部呈上升趋势; (4) 从时间上看各指标均呈波动变化, 20 世纪 60 年代表现出明显的减少趋势, 且 90 年代中后期波动变化剧烈, 并开始呈现上升趋势。除极端降水强度外, 极端总降水量及频次均发生了突变, 时间在 1965 年左右。

关键词: 极端降水事件; 时空演变; M-K 突变检验; 华北平原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0144-05

中图分类号: P426

Temporal and Spatial Characteristics of Extreme Precipitation Events in North China Plain on Background of Climate Warming

AN Hua, YAN Jun-ping, ZHANG Tao-tao, LIAO Guang-ming

(College of Tourism and Environment Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Based on daily precipitation data of 53 meteorological stations over the North China Plain during 1961—2010, the extreme precipitation thresholds were determined for different stations by centesimal value method. Then, the three indices of annual amount, frequency and intensity of extreme precipitation events were counted and their spatial characteristics and temporary trends were analyzed. Results showed that most stations in the North China Plain had no significant monotonic trend by each selected index of extreme precipitation events and however, the annual amount, frequency and intensity tended to reduce. Furthermore, the variation trends of extreme precipitation events exhibited similar spatial variability. Specifically, there was a positive trend of extreme precipitation events in Hebei Province and the southeast coast of Shandong Province, while a negative trend, in He'nan Province. Each index fluctuated during 1961—2010, and basically showed a significantly decreasing trend in the 1960s. The annual amount and frequency showed abrupt changes around the year of 1965. However, the intensity did not show an abrupt change.

Keywords: extreme precipitation; temporary and spatial evolution; Mann—Kendall trend test; North China Plain

大量研究已经表明^[1-3], 全球气候正呈现以变暖为主要特征的显著变化。IPCC 第 4 次评估报告指出, 近 100 a 全球地表平均温度上升了 0.74 °C, 最近 10 a 是自有记录以来最热的 10 a。20 世纪后 50 a 北半球平均温度是近 1 300 a 中最高的。中国北方地区增暖幅度最为明显, 年平均温度的变化趋势为 0.2~0.8 °C/10a^[4]。相关文献显示, 全球变暖的背景下, 全球气候变得越来越“极端”^[5]。

20 世纪以来, 气候变暖背景下的极端值和极端

事件的变化是众多学者研究关注的重点。与全球气候变暖背景相伴随, 一些极端天气和气候事件频繁发生, 给许多国家和地区带来了严重的灾害, 其造成的经济损失在过去 40 a 平均上升了 10 倍^[6]。英国哈德莱气候预测与研究中心的一项最新研究表明, 2006—2015 年全球气候将继续变暖, 将会有更多的极端事件频繁发生, 这将对全球经济社会发展与生态系统产生更严重的影响。

随着极端降水事件对我国影响加剧, 学者们逐渐

收稿日期: 2012-07-30

修回日期: 2012-10-22

资助项目: 国家自然科学基金项目“部分重大自然灾害的时空对称性: 结构、机遇与适应对策”(41171090)

作者简介: 安华(1986—), 女(汉族), 河北省保定市人, 硕士研究生, 主要从事全球变化与自然灾害防治研究。E-mail: anhua1108@163.com。

通信作者: 延军平(1956—), 男(汉族), 陕西省绥德县人, 教授, 博士生导师, 主要从事自然灾害防治与区域可持续发展战略研究。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn。

认识到研究极端降水的重要性^[7]。国内学者对极端降水事件的研究主要是在 21 世纪以来,翟盘茂等^[8]和杨金虎等^[9]的研究指出,中国极端降水事件存在明显的区域性和时间趋势,其中华北年极端降水事件表现为减少趋势,西北、西南及华南等地均呈增加趋势。国内大多数研究与翟盘茂等^[8]的研究结果总体一致,但也存在明显空间差异。因此,从区域角度探讨极端降水事件的变化趋势,有利于更好地认识气候变化特征和制定减缓气候异常变化的措施^[10-11]。综上所述,极端气候变化已经为人们所重视,翟盘茂等^[8]对中国北方地区极端降水事件进行了一些研究,但对于近年来华北平原极端降水事件发生频率是否增加,强度是否增强等敏感问题还未能给予合理解释。

华北平原主要由黄河、淮河、海河、滦河冲积而成,地势低平,大部分海拔在 50 m 以下。总人口为 2.87×10^8 人,占全国总人口的 21.6%。该区是我国重要的商品粮生产基地,共有耕地面积 $2.24 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 占全国耕地总面积 ($1.22 \times 10^8 \text{ hm}^2$) 的 18.43%, 其中灌溉地面积 $1.51 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 占耕地面积的 67.5%。华北平原是我国气候变化敏感区之一,属暖温带湿润或半湿润气候,具有典型的季风气候特征,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨。该区降水时空分布不均,全年降雨量约 500~1 000 mm,其中 6—9 月集中了全年降雨量的 80% 左右。由于华北平原降水量偏少,地表水光热资源相对丰富,水资源不足是限制该区农业和经济发展的最主要因素。

因此,本文选取华北平原作为研究区域,通过统计极端降水事件的降水量、频次和强度,分析华北平原近 50 a 极端降水事件时空变化特征,以期为该区域经济社会发展、防灾减灾提供有力的支持,为政府部门开展灾害预警服务以及制定应急预案提供理论依据。

1 资料来源和研究方法

所用资料来自国家气象中心提供的华北平原 53 个气象观测站逐日降水资料,其中所指的华北平原包括北京、天津、河北、河南、山东,面积约 $5.40 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。由于各气象站监测数据的起始年份不同,为便于比较,统一选取 1961—2010 年数据进行分析。

关于极端降水事件的定义,国内通常将日降水量 $\geq 50 \text{ mm}$ 的降水事件称为暴雨,日降水量 $\geq 25 \text{ mm}$ 且 $< 50 \text{ mm}$ 的降水事件称为大雨。实际上,对于不同地区来说,极端降水事件不能完全采用全国固定的日降水量的简单定义。本文根据每一个测站的日降水量定义华北平原极端强降水事件的阈值。具体方

法为^[12-14]:把气候标准期(1971—2000 年)内逐年日降水量(日降水量 $\geq 1 \text{ mm}$)按升序排列,将第 95 个百分位值的 30 a 平均值定义为极端强降水事件的阈值,当某站某日降水量超过了该站极端降水事件的阈值时,就称该站该日出现了极端降水事件。

对极端事件阈值的确定,参照 Bonsal 等^[15]的计算方法:如果某个气象要素有 n 个值,将这 n 个值按升序排列 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$, 某个值小于或等于 x_m 的概率为:

$$P = (m - 0.31) / (n + 0.38) \quad (1)$$

式中: m —— x_m 的序号; n ——某个气象要素值的个数。那么,第 95 个百分位值是指 $P = 95\%$ 所对应的 x_m 值^[16]。

根据极端降水阈值的确定,通过极端降水指数来研究极端降水的趋势变化。其中包括:年极端降水总量,即某站某年所有极端降水量的总和;极端降水频次,即某站某年发生极端降水事件的次数;极端降水强度,即年极端降水量与发生频次的比值。

1.3 分析方法

1.3.1 Mann—Kendall 突变检验 在确定了极端降水阈值的基础上,统计出华北平原近 50 a 来不同台站逐年极端降水指数并建立时间序列,对各指标的趋势变化进行线性分析,然后用 M—K 法进行突变检验。M—K 法是一种非参数趋势检验法,适合于具有任何分布的样本,且不受少数异常值的干扰,目前已广泛用于气象领域的研究。

本文选择 M—K 检验对极端降水的突变特征进行分析,通过构造秩序列:

$$S_k = \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} \quad (k=2,3,4,\dots,n) \quad (2)$$

$$\text{其中 } a_{ij} = \begin{cases} 1 & (x_i > x_j) \\ 0 & (x_i \leq x_j) \end{cases} \quad (1 \leq j < i)$$

定义统计变量:

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad (k=2,3,4,\dots,n) \quad (3)$$

$$\text{其中 } \begin{cases} E(S_k) = ka(k+1)/4 \\ \text{var}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72 \end{cases}$$

给定显著性水平 $\alpha = 0.05$,查得临界值 $U_{0.05} = \pm 1.96$;当 $|UF_k| > U_{0.05}$ 时,表明序列存在明显的增长或减少趋势。所有 UF_k 将组成一条曲线 UF_k 。把同样的方法引用到反序列中,得到另一条曲线 UB 。将统计量曲线 UF, UB 和 ± 1.96 两条直线均绘在同一张图上。若 $UF_k > 0$ 表明序列呈上升趋势; < 0 表明呈下降趋势。当曲线超过临界线时,表明上升或下降趋势显著。如果 UF 和 UB 出现交点,且交点在临

界线之间,则交点对应时刻便是突变开始的时间。

1.3.2 克里格(Kriging)插值法 克里格插值法近年来在地质、气象等研究领域得到广泛应用。这种方法充分吸收了地理统计的思想,可以描述气压、高程及其他连续性变化的指标变量。它的分析工具是半变异函数,对空间分布变量的随机性与结构性研究具有独特的优点^[17]。本文主要采用这种空间插值方法,将各气象要素进行插值分析得出其空间分布及地域分异特征。

2 结果与分析

2.1 极端降水事件的空间分布特征

表 1 反映了华北平原极端降水事件空间分布的

表 1 1961—2010 年华北平原极端降水事件的统计特征

指标	年降水量/ mm	阈值/ mm	极端降水量/ mm	频次/ d	强度/ (mm·d ⁻¹)	极端降水量/年降 水量/%
均值	642.30	46.10	167.30	2.40	70.80	0.26
最小值	372.20	25.40	63.80	1.60	35.70	0.17
最大值	1 085.60	64.70	289.20	3.90	97.70	0.31
标准差	164.40	8.70	51.80	0.50	14.80	0.03
变异系数	0.26	0.19	0.31	0.21	0.21	0.12

2.2 极端降水事件阈值的空间分布

根据极端降水事件的定义,得到了 1961—2010 年华北平原 53 个站点极端降水事件的阈值基本介于 25.4~64.7 mm/d。从空间分布来看,区域分异明显,极端降水事件的阈值东南部偏大,从东向西呈递减趋势。最大阈值中心出现在山东泰山,其值大于 60 mm/d; 尽管最小的阈值(25.4 mm/d)出现在内陆张家口,但仍超过原国家气象局规定的大雨标准(25 mm/d)。

经统计,华北平原有 33 个站点阈值接近大雨(25~49.9 mm),20 个站点阈值达到暴雨(≥ 50 mm)的标准。按以上标准,冀东南、鲁东、鲁西南及豫东南地区出现暴雨就算极端强降水,其余大部分地区出现大雨或以上降水就算极端强降水。

2.3 极端降水指数的空间变化

2.3.1 年极端降水量 华北平原年极端降水量具有明显的空间差异,呈现东南向西北逐渐递减的趋势。最大值出现在固始,达 289.2 mm,最小值出现在张北,为 63.8 mm,最大值为最小值的 4.5 倍,差异较大。根据对 53 个观测站的趋势分析,华北平原各站年极端降水量的变化趋势存在差异,53 个气象站中 30 个站呈减少趋势,主要分布于河北省中南部及山东省东南沿海一带;呈增加趋势的站点主要分布在河南省境内、山东中部泰山一带及河北省北部山区。

一般特征:(1) 1961—2010 年华北平原年均降水量为 642.3 mm,年际变化相对较大,标准差为 164.4,变异系数为 0.26;(2) 1961—2010 年华北平原 62.3%的站点降水呈现减少趋势,这与 1961—2005 年 83.0%的站点呈下降趋势^[18]相比有所减少;(3) 极端降水阈值平均值为 46.1 mm/d,接近中国气象局划分的大雨标准的上限(25.0~49.9 mm/d);(4) 年均极端降水量 167.3 mm,占年降水量的 26%,尽管不同站点的年均降水量有所差异,但各站极端降水量占年降水量的比例基本一致;(5) 年均极端降水天数 2.4 d,平均极端降水强度为 70.8 mm/d,该强度处于中国气象局降水强度等级划分的大雨—暴雨标准(33.0~74.9 mm/d)。

2.3.2 极端降水频次 极端降水频次的空间分布,呈南多北少,且由东向西逐渐递减的特征。最大值出现在栾川(3.9 d),最小值出现在饶阳,地区差异不大。华北平原各站频次增加和减少趋势空间分布特征与极端降水量基本一致,呈减少趋势的 32 个站点,主要分布在河北中南部及山东省东南沿海一带,其余 21 个站呈增加趋势,大都分布在河南省中南部。

2.3.3 极端降水强度 华北平原极端降水强度的空间特征,大致呈东强西弱的分布态势,河北省西北部出现明显的低值带。最大值出现在泰山地区,为 97.7 mm/d,最小值出现在蔚县(35.7 mm/d),差异较大。华北平原各站点的变化趋势不同,53 个气象站中 30 个站呈减少趋势,其中京津唐地区减少趋势最为明显,其余 23 个站呈增加趋势,主要分布在河南省中东部以及山东省西北部。极端降水强度是极端降水量和频次的比值,强度变小表明极端降水量的减小倍数要大于频次^[19]。

以上分析可知,华北平原 1961—2010 年极端降水事件各指标的变化趋势存在一定的空间差异,具增加趋势的站点主要分布在河南省,具减少趋势的站点主要在河北省,而山东省中部地区主要呈增加趋势,东南部沿海区域主要呈减少趋势。该区极端降水量的减少趋势与相关研究的结论一致,高霞等^[20]分析

1961—2005 年河北省极端降水事件的变化时发现各指标南部和东南部平原减少趋势十分显著,而北部山区有增多趋势^[20]。姜德娟等^[21]分析 1961—2008 年山东省极端降水事件的变化趋势时发现各指标的空间特征基本相似,总体呈自东南向西北递减的态势,且高值中心均分布于泰山一带。

2.4 极端降水事件的时间变化特征

2.4.1 年极端降水量 华北平原年降水总量在进入 21 世纪以来是呈显著上升趋势的。极端降水比值反映了极端降水对年总降水量的贡献率。如图 1a 所示,极端降水对年降水总量的贡献率总体上是下降的,但自 20 世纪 90 年代以来,这一贡献率又呈上升趋势,可见,近年来极端降水量与年降水量的变化趋势是一致的。从华北平原极端降水总量的年变化图 1b 可以看出,华北平原年极端降水总量存在明显的年际变化,总体上呈减少趋势,减少速率为 4.12 mm/10 a。其最大值为 306.1 mm,出现在 1964 年;最小为 82.4 mm,出现在 2002 年;60,70 和 80 年代均呈减少趋势,且 60 年代减少趋势最明显;90 年代开始,极端

降水量波动变化较大,正负距平相间分布,但这一时期降水量开始呈上升趋势,且进入 21 世纪后极端降水总量的增加最为明显。

2.4.2 极端降水频次 图 1c 为华北平原极端降水频次的年变化图。华北平原年极端降水频次以 0.04 d/10 a 的速率在减少,总体经历了多—少—多的变化过程,频次最大为 4.3 d,出现在 1964 年,最小 1.2 d,出现在 2002 年;60—90 年代均呈减少趋势,其中 60 年代减少趋势最显著;进入 21 世纪以后呈增加趋势。与极端降水量相似的是,90 年代以后,频次也呈正负距平相间分布的特征,波动变化较大。

2.4.3 极端降水强度 图 1d 为华北平原极端降水强度的年变化图。华北平原年极端降水强度总体上以 0.624 mm/d/10 a 的速率在减少,最大强度出现在 1963 年,为 84.5 mm/d,最小值出现在 1986 年,为 64.9 mm/d;极端降水强度年际变化,除 90 年代为增加趋势外,其他年代均呈减少趋势,其中 80 年代中后期负距平分布最为集中,且进入 21 世纪后总体也为负距平,说明 50 a 来极端降水强度总体表现为减弱趋势。

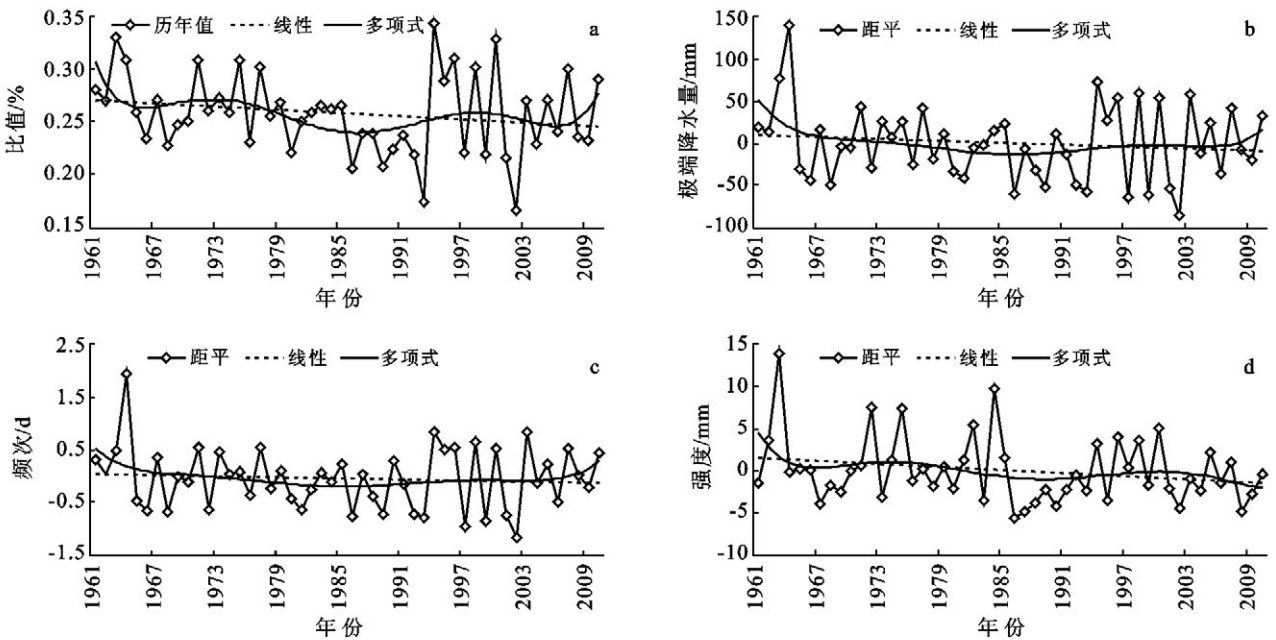


图 1 华北平原极端降水指数的年变化

通过以上分析可知,近 50 a 华北平原年极端降水总量、年极端降水频次和强度都呈减少趋势,年极端降水指数最大都出现在 1964(1963)年,而年极端降水总量和频次的最小值都出现在 2002,1997 年,强度最弱值则出现在 1986 年,各指标都是 60 年代减少趋势最为明显,且 90 年代呈现出明显的波动变化趋势。

2.4.4 M-K 突变检验 为了研究极端降水指数近 50 a 来的突变情况,通过 M-K 法对近 50 a 来年极

端降水指数的时间序列进行突变检验。图 2 给出华北平原年极端降水指数 M-K 检验曲线图。可以看出,极端降水量与频次的变化十分相似,20 世纪 60 年代到 80 年代呈明显减少趋势,期间发生了突变现象,突变时间在 1965 年左右。

根据 NOAA 气候预测中心 CPC 网站的资料,确定 1965 年为厄尔尼诺年,气候变化异常,华北平原降水骤减,故发生突变现象。20 世纪 90 年代初为减少

趋势,中期以来又有一明显的增加趋势。从极端降水强度 M—K 曲线图可以看出,降水强度自 1963 年表

现为减少趋势,之后反复发生升高和降低的变化,波动剧烈,未发生突变现象。

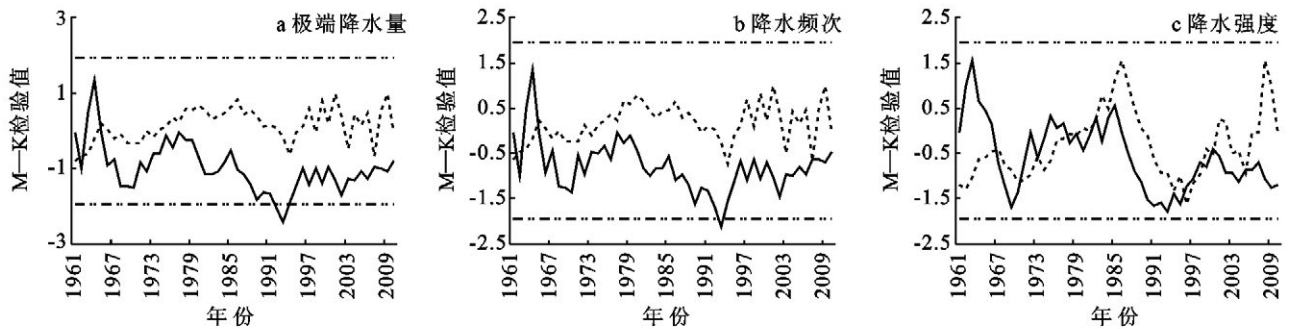


图 2 华北平原极端降水指数的 M—K 突变检验

3 结论

(1) 总体来看,在气候变暖背景下华北平原极端降水总量、频次和强度都呈现减少的趋势,但变化不显著。

(2) 从空间差异比较,河北省和山东省东南沿海一带与主体趋势相似,而河南省大部以及山东省泰山一带与整体趋势相反,呈增加趋势。

(3) 从时间上看各指标均呈波动变化,20 世纪 60—90 年代初均呈减少趋势,90 年代中后期波动变化剧烈,开始呈现上升趋势。除降水强度,极端降水量及频次均发生了突变,时间约在 1965 年。

(4) 尽管华北平原年极端降水事件总体呈减少趋势,但进入 21 世纪以后,极端降水总量和频次均呈显著上升趋势,这要引起相关部门的警惕。

[参 考 文 献]

- [1] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63-73.
- [2] 赵宗慈,王绍武,罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 183-184.
- [3] 赵宗慈,王绍武,徐影,等. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 808-817.
- [4] 郭志梅,缪启龙,李雄. 中国北方地区近 50 年来气温变化特征的研究[J]. 地理科学, 2005, 25(4): 448-454.
- [5] 刘吉峰,丁裕国,江志红. 全球变暖加剧对极端气候概率影响的初步探讨[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 838-842.
- [6] 翟盘茂,王萃萃,李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 144-148.
- [7] 李玲萍,李岩瑛,钱莉,等. 1961—2005 年河西走廊东部极端降水事件变化研究[J]. 冰川冻土, 2010, 32(3): 497-503.
- [8] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近 50 a 温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(S): 1-10.
- [9] 杨金虎,江志红,王鹏祥,等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 75-83.
- [10] Unkasevic M, Tosic I, Vujovic D. Variability and probability of annual and extreme precipitation over Serbia and Montenegro [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2004, 79(1/2): 103-109.
- [11] Rahimzadeh F, Asgari A, Fattahi E. Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades [J]. International Journal of Climatology, 2009, 29(3): 329-343.
- [12] 胡豪然,毛晓亮,梁玲. 近 50 a 四川盆地汛期极端降水事件的时空演变[J]. 地理学报, 2009, 64(3): 278-288.
- [13] 刘学锋,任国玉,范增禄. 海河流域近 47 a 极端强降水时空变化趋势分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 85-90.
- [14] 姜创业,蔡新玲,吴素良. 1961—2009 年陕西省极端强降水事件的时空演变[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 151-157.
- [15] Bonsal B R, Zhang X, Vincenz L A, et al. Characteristic of daily and extreme temperature over Canada[J]. J. Climate, 2001, 14(9): 1959-1976.
- [16] 陈海山,范苏丹,张新华. 中国近 50 a 极端降水事件变化特征的周期性差异[J]. 大气科学学报, 2009, 32(6): 744-751.
- [17] 陆忠艳,袁子鹏,蔡福,等. 基于 GIS 的气温和降水推算方法研究[J]. 气象科技, 2008, 36(4): 389-395.
- [18] 谭方颖,王建林,宋迎波. 华北平原近 45 年气候变化特征分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 40-45.
- [19] 李志,刘文兆,郑粉莉. 1965 年至 2005 年泾河流域极端降水事件的变化趋势分析[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1527-1532.
- [20] 高霞,王宏,于成文,等. 近 45 年来河北省极端降水事件的变化研究[J]. 气象, 2009, 35(7): 10-15.
- [21] 姜德娟,李志,王昆. 1961—2008 年山东省极端降水事件的变化趋势分析[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1118-1124.