

# 海河流域近47年极端强降水时空变化趋势分析\*

刘学锋<sup>1,2</sup>, 任国玉<sup>2</sup>, 范增禄<sup>1</sup>, 张成伟<sup>1</sup>, 杨贤<sup>1</sup>

(1. 河北省气候中心 石家庄 050021; 2. 中国气象局气候研究开放实验室 国家气候中心 北京 100081)

**提 要:** 利用海河流域104个气象站的逐日降水资料,应用M-K趋势检验方法分析研究了海河流域极端强降水量、频数和强度时空变化趋势。结果表明:海河流域极端强降水量出现了减少趋势,1996年以来减少趋势更为显著,同时出现大范围极端强降水事件的情形更为少见;海河流域极端强降水强度和频数也呈明显减少趋势,因此,极端强降水量下降是极端强降水强度和频数减少共同作用的结果;海河流域极端强降水的显著变化主要发生在环渤海湾的沿海区域和海河北系部分地区;在近47年,极端强降水事件年内分布有一定变化,8、9月趋于减少,而5、6月趋于增加。在全球气候变暖的背景下,海河流域极端强降水事件与年总降水量一样趋于减少。

**关键词:** 极端强降水; 降水频数; 降水强度; 海河流域; 气候变化

中图分类号: P426

文献标识码: A

气候变化及其伴生的极端天气气候事件变化对经济社会发展带来诸多不利影响。旱涝灾害发生与降水量有一定关系,但很大程度上取决于降水在时间和空间上的不均匀分布,即与降水的频率和强度有更为密切的关系。因此,研究极端强降水事件的变化规律,对于进一步了解降水变异的机理、预测预警洪涝灾害,具有重要理论和实际意义。

近些年来,研究者对极端天气气候事件的变化给予越来越多的关注。国外针对美国<sup>[1]</sup>、加拿大<sup>[2]</sup>和日本<sup>[3]</sup>等区域的极端降水和降水量的变化关系进行了深入研究。国内学者如翟盘茂等<sup>[4,5]</sup>、严中伟等<sup>[6]</sup>、刘小宁等<sup>[7]</sup>、闵岫等<sup>[8]</sup>分析了中国降水极值的变化特征,龚道溢等<sup>[9]</sup>、姜彤等<sup>[10]</sup>和孙凤华等<sup>[11]</sup>等分别对北方农牧交错带、长江流域、东北区域的极端降水事件变化情况进行了研究。但是,对于气候变暖显著、降水减少明显的海河流域极端强降水变化规律,以往的研究还比较少。有关华北或北方地区的研究一般仅采用了国家级气象台站资料,资料点分布比较稀疏,难以捕捉极端强降水事件变化的区域细节。

海河流域是我国北方气候变化最显著的区域之一,也是我国甚至全球人类活动极为强烈、水资源最为短缺的区域之一。以海河流域104个气象站1961-2007年逐日降水观测数据为基础,分析了海河流域近47年来极端强降水事件的变化情况。这项研究揭示了海河流域极端降水量、频数和强度的时空变化特点。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究区域

海河流域研究区范围根据海河流域水系及水资源评价导则分区原则确定,其南界在35°N(西)与37°N(东),北界为43°N,东西两侧大致位于112°-120°E之间。主要包括滦河及冀东沿海、海河北系、海河南系、徒骇马颊河流域,包括京、津、冀区域以及晋、鲁、豫部分地区。

### 1.2 资料来源

所用资料主要由相关省气候中心或信息中心提供的国家气象站和省级气象站逐日降水资料,在研究过程中,为了使研究结果更贴近事实,所选择104个气象站点资料均比较完整,并且对各站资料进行了均一性检验,资料时间尺度为1961-2007年,而且较均匀地分布在整个研究区域。

\* 收稿日期: 2009-5-31。

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAD69B02、2007BAC29B02)和河北省科技厅重点基础科研项目(08966711D)资助。

作者简介: 刘学锋(1963.-)男,河北省唐山人,高级工程师,从事气候和气候变化研究。E-mail: lxhbqhxz@sina.com

### 1.3 极端强降水事件定义

为了有利于增强少雨地区和多雨地区极端强降水事件变化趋势的空间可比性,根据每一测站日降水量定义了不同台站极端强降水事件的相对阈值。具体方法是:将某站 1971 - 2000 逐年日降水量(≥0.1mm)进行升序排序,其序列的第 95 个百分点值定义为极端强降水事件阈值,当某站某日降水量超过了该站极端强降水事件阈值时,则称该日出现了极端强降水。

具体算法:降水量  $X_i$  作从小到大排序,按指定概率条件下计算式求得:

$$X = (1 - a) X_i + aX_{i+1} \tag{1}$$

式中: $i$  为序号  $i = (p(n + 1))$   $i$  取整数  $n$  为记录(样本)个数;  $a = p(n + 1) - i$   $p$  为指定概率。

### 1.4 分析方法

由于区域范围不大,气象站点空间分布比较均匀,区域平均值序列采用简单站点值平均的方法。运用 Mann - Kendall 非参数检验方法对区域平均和单站时间序列进行趋势分析和突变检验。Mann - Kendall 统计检验方法<sup>[12,13]</sup>是一种非参数统计检验方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,计算也比较简便。采用最小二乘法计算极端强降水事件时间序列的气候变化速率<sup>[14]</sup>。

## 2 结果及其分析

### 2.1 极端强降水阈值

如图 1 所示,海河流域极端强降水阈值自东南向西北逐步减小,从海河流域各水系下游大于 35mm 始,降低到永定河、北三河、滦河上游地区的小于 25mm,直至不足 20mm,子牙河山区和彰卫河部分山区在 25 - 30mm 之间,徒骇马颊河区域在 35mm 以上,流域的其它区域在 30 - 35mm 之间。海河流域极端强降水阈值在 17 - 42mm 之间,基本上属于中到大雨,比暴雨标准略低。

### 2.2 极端强降水趋势分析

#### 2.2.1 极端强降水量

运用 M - K 非参数检验方法对海河流域多站平均和单站极端强降水量时间序列进行趋势分析和突变检验,结果见图 2 和图 3。流域平均极端强降水量减少趋势非常明显(通过 95% 的信度检验)。从 20 世纪 70 年代末开始持续下降,90 年代以后略有反弹,1996 年出现突变,其后呈直线下降趋势。变化趋势通过 95% 信度检验。突变点前(1961 - 1996 年)极端强降水量为 208.4mm,突变点后(1997 - 2007 年)平均值降至 151.6mm,减少了 -56.8mm(图 4)。

海河北系极端强降水量减少趋势与整个流域平均相似,1996 年出现突变点;海河南系极端强降水量在 1961 - 1968 年相对较多,1969 - 1996 年下降不明显,1996 年以后显著减少。

海河流域极端强降水量在大部分区域都呈现减少趋势(图 3)。104 个站中 86 个站呈现减少趋势,其中 25 个站减少显著(通过 90% 的显著性检验),12 个站减少非常显著(通过 95% 的信度检验)。减少显著

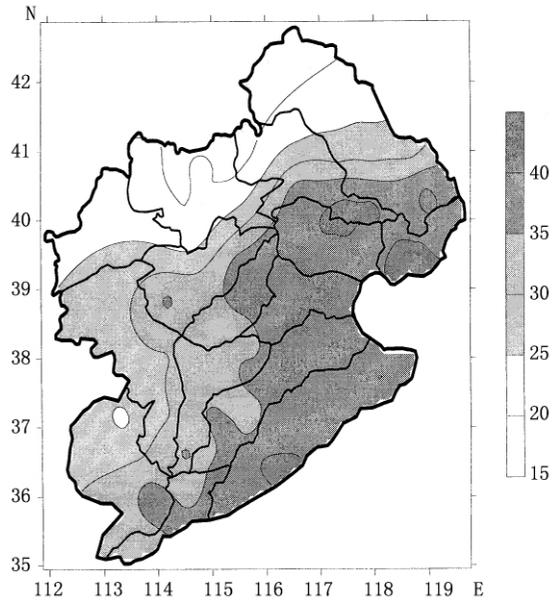


图 1 海河流域 95 分位点对应极端强降水空间分布  
Fig. 1 Spatial distribution of 95 percentile precipitation extremes in the Haihe River basin

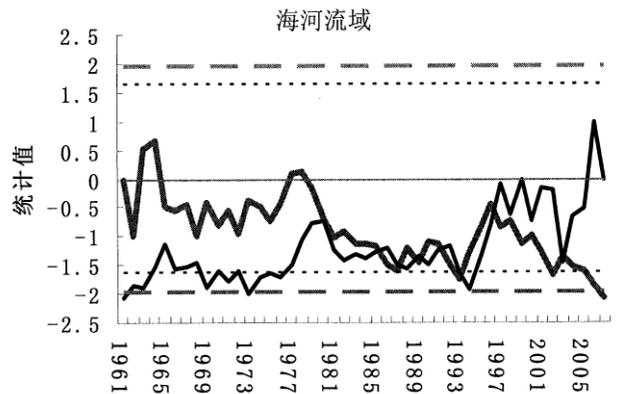


图 2 海河流域平均极端强降水量突变检验  
(虚线分别表示 90% 和 95% 显著性水平临界值)  
Fig2 Detection of the abrupt point of extreme precipitation in the Haihe River (The dashed lines denote the thresholds of 90% and 95% significance level respectively)

台站主要集中在环渤海湾区域、海河北系部分区域以及海河南系局部区域。海河流域有 18 个站极端强降水量呈现增加趋势,但均不显著,主要分布在海河南系山前平原部分地区、海河北系西部山区以及滦河流域东北部地区。

### 2.2.2 极端强降水的强度和频数

降水强度和频数是决定降水量主要因素。海河流域平均年极端强降水事件强度和日数(频数)与极端强降水量一样,呈现显著减少趋势(通过 90% 的信度检验)。同时,1996 年也为明显减少转折点。流域平均年极端降水事件强度和频数分别减少了  $-3.9\text{mm/d}$  和  $-1.1\text{d}$ (图 5)。因此,海河流域极端强降水量的减少主要是极端强降水频数和强度减少共同作用结果,但极端强降水频数变化的影响更大一些。

海河流域极端强降水量占年降水总量比值呈现明显的下降趋势(通过 95% 的显著性检验);而年极端强降水日数占年降水日数的份额虽呈现下降趋势,但趋势并不明显;年极端强降水强度与年总降水强度的比值也呈现下降趋势,但同样变化趋势不明显。因此,在海河流域年总降水量呈总体减少趋势情况下,极端强降水量呈现更为明显的减少趋势。

图 6 给出海河流域极端强降水频数和强度变化趋势空间分布趋势。由图可见,海河流域大部分区域极端强降水频数呈现减少趋势(图 6a)。在全部台站中,有 87 个站呈现减少趋势,其中 20 个站减少明显(通过了 90% 的显著性检验),10 个站减少非常明显(通过了 95% 的信度检验)。海河流域有 17 个站极端强降水频数呈现增加趋势,但趋势不明显。极端强降水频数增加和减少趋势分布特征与极端强降水量基本相似。

大部分台站年极端强降水强度也呈现减少趋势。104 个站中 72 个站减少,其中 12 个站减少趋势显著(通过了 90% 的信度检验);32 个站呈现增加趋势,但趋势并不明显(图 6b)。极端强降水强度变化空间分布态势与极端强降水量和频数相比,显著减少的趋势范围有所缩小,而增加趋势的范围有所扩大。

### 2.2.3 极端强降水的间隔和发生时间

极端强降水事件间隔时间、发生时间反映了极端强降水集中发生的程度。对 104 个气象站相邻极端强降水事件间隔天数的统计显示(表 1)海河流域极端强降水事件构成中,约 43% 左右事件发生在间隔 1-10d 之内,尤其集中于 1-5d 之内,占到 27.3%; >30d 间隔占到 22.8%。极端强降水事件变化趋势在相当大程度上取决于间隔 1-5d 和 >30d 极端强降水事件的变化。

表 1 海河流域不同时间间隔极端强降水频率分布

Tab.1 Probability distribution of extreme precipitation with different time intervals in the Haihe River basin

	相邻极端降水间隔日数						
	1-5 天	6-10 天	11-15 天	16-20 天	21-25 天	26-30 天	>30 天
频数	3366	1910	1537	1095	917	690	2803
百分比(%)	27.3	15.5	12.5	8.9	7.4	5.6	22.8

间隔 1-5 天强降水事件频数有明显减少趋势(通过 90% 信度检验,图略),1997 年以后减少尤其显

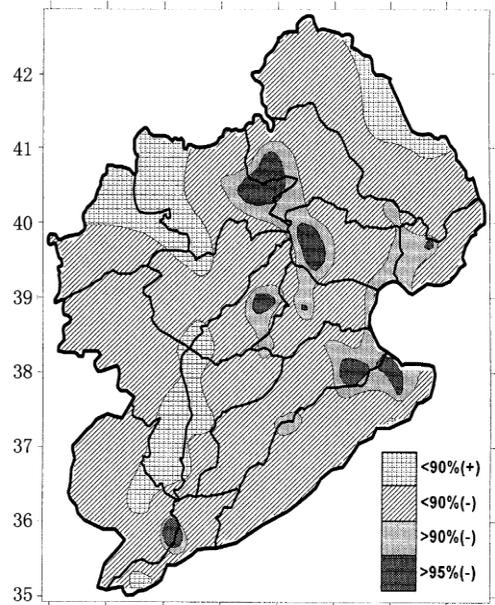


图 3 海河流域强极端降水量变化空间分布趋势  
Fig.3 Spatial distribution of variation of extreme precipitation in the Haihe River basin

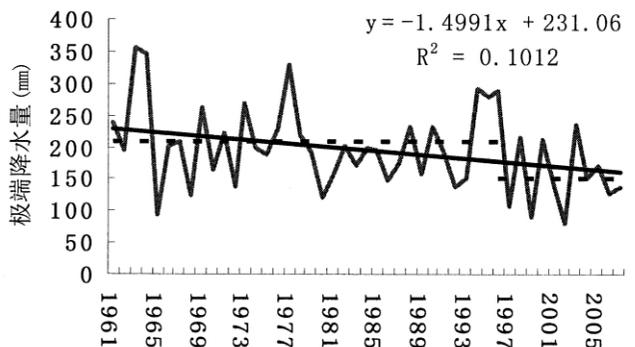


图 4 海河流域极端强降水量逐年变化  
(虚线分别为 1961-1996 年,1997-2007 年平均值)  
Fig.4 Variations of extrem precipitation total amount  
(the dashed lines indicate average values for 1961-1996 and 1997-2007)

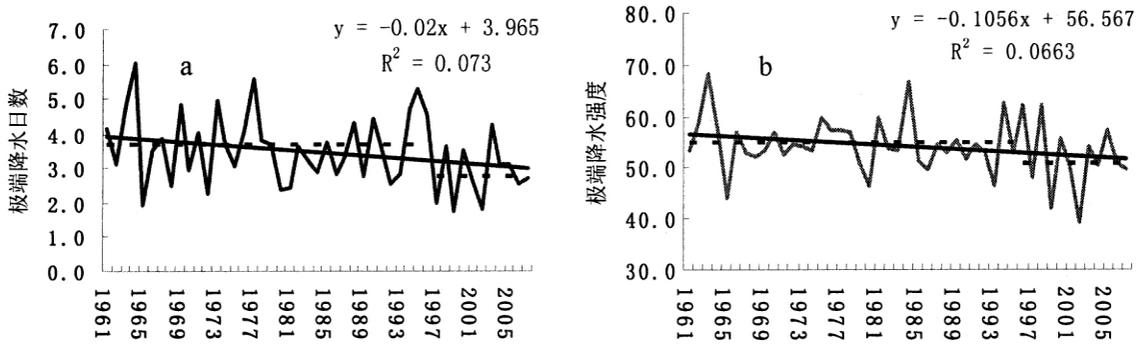


图 5 海河流域极端强降水逐年变化 (a) 日数 (b) 强度 (a、b 中虚线分别为 1961 - 1996 年, 1997 - 2007 年平均值)  
 Fig. 5 Variations of extreme precipitation (a) days (b) intensity (the dashed lines indicate average values for 1961 - 1996 and 1997 - 2007, respectively)

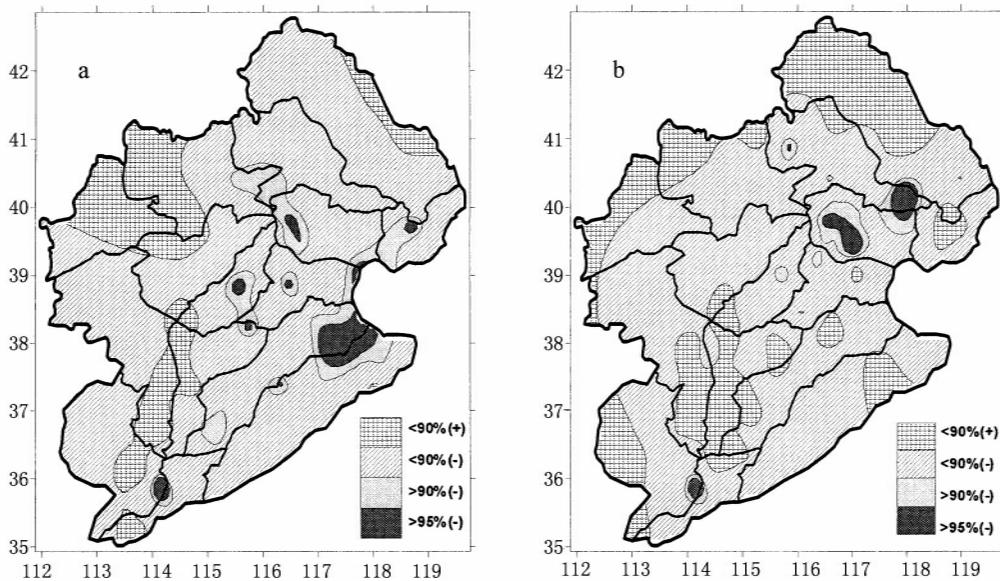


图 6 海河流域极端强降水日数与强度变化趋势空间分布 (a) 日数 (b) 强度

Fig. 6 Spatial variation of frequency and intensity of extreme precipitation (a) days MK trend (b) intensity MK trend

著, 而间隔 > 30 天极端强降水事件频数有微弱增加趋势。海河流域极端强降水事件发生的短间隔事件明显减少和长间隔在时间间隔上有不断分散的趋势。

表 2 海河流域极端强降水年内发生频率 (%)

Tab. 2 Intra - annual distribution of extreme precipitation in the Haihe River basin

	月 份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
频数	0	1	43	268	671	2015	6646	5524	1257	474	19	0
频率 (%)	0	0	0.3	1.6	4.0	11.9	39.3	32.7	7.4	2.8	0.1	0

对极端强降水事件年内分布统计表明(表 2), 海河流域极端强降水主要发生在 6 - 9 月, 占全年的 84%; 10 - 5 月发生极端强降水的机率较少。但是, 近 47 年来海河流域极端强降水事件年内分布格局发生了改变(图 7)。1961 - 2007 年期间, 海河流域 5 月和 6 月出现极端强降水的站点数量在显著增加, 而 7、8 月份极端强降水出现站点数量在减少, 8 月份减少比较显著。

图 8 为历年 4 月 1 日到 10 月 31 日期间极端强降水发生的频次情况。这里以旬为单位, 统计每年每旬中所有站(104 个站)发生极端强降水次数总数。从历年情况看, 大部分年份里极端强降水事件发生时间都比较集中, 主要集中在 7 月下旬和 8 月上旬(图 8), 不过比较明显变化发生在自 20 世纪 70 年代末以后, 极端强降水发生在季节内的分配比较分散(图 8a), 大于 30 站次以上极端强降水事件从 6 月上旬到 9 月上旬都有较大发生频率。另外, 从 1996 年以后历年变化情况看出, 大于 60 站次以上极端强降水事件明

显减少,大于 120 站次以上事件没有发生。从图 8b 中还可以看出,7 月中旬、8 月上、中旬 1996 年以后极端强降水事件呈现减少趋势,而 9 月中旬、10 月中下旬以及 5 月下旬、6 月中下旬的频率却呈现增加趋势。

上述分析说明,尽管极端强降水频次在减少,但却可以在更多的月份里出现。减少主要发生在强降水集中的 7、8 月。极端强降水事件的发生在时间分布上更趋向于均匀,发生极端强降水事件和洪涝概率在减小。

### 3 结论和讨论

通过对海河流域 1961 - 2007 年间极端强降水量、频数、强度变化及其分布的趋势研究,得到以下几点结论:

(1) 近 47 年来,全流域平均的极端强降水量、频数、强度呈现显著的减少趋势,1996 年以后减少尤其明显,1997 - 2007 年比 1961 - 1996 年分别减少了 -56.8mm、-1.1d、-3.9mm/d。

(2) 极端强降水量在大部分区域都呈现减少趋势,显著减少的台站主要分布在海河入海口附近、海河北系的部分区域以及海河南系的局部区域;虽有部分区域呈现增加趋势,但均不显著;极端强降水频数减少和增加趋势的空间分布型式与极端强降水量类似;极端强降水强度的显著减少趋势范围较极端强降水量有所缩小。

(3) 海河流域极端强降水事件年内分布出现分散的趋势,5 月和 6 月出现极端强降水的站点数量有所增加,而 7、8 月份极端强降水出现站点数量有所减少;自 1996 年以后,大范围区域同时发生极端强降水事件的情形明显少见。

已有研究表明,包括海河流域在内华北地区最近 50 年的年降水量明显减少<sup>[15-17]</sup>。结果说明,海河流域的极端强降水事件与年总降水量具有一致的变化趋势。另一方面,近 50 年来,海河流域与全球和我国大多数区域一样,气候呈现显著增暖趋势<sup>[18-20]</sup>。在全球气候变暖的背景下,气候趋向干旱的区域极端强降水事件是否仍将趋于增加,是目前人们非常关心的一个科学问题。分析表明,至少在海河流域,这种情况没有发生。当然,极端强降水事件的任何趋势变化都不一定与气候变暖有联系,它更可能与包括东亚季风在内的大尺度海陆气相互作用有关。

海河流域极端强降水事件的趋势变化对水循环过程和水资源分布具有重要影响,对农作物生长和农业生产也将具有明显影响,有待进行更深入的研究。

#### 参考文献

[1] Karl T R, Knight R W. Secular trends of precipitation amount, frequency and intensity in the USA [J]. Bull. Am. Met. Soc., 1998, 79: 231 - 241.  
 [2] Stone D A, Weaver A J, Zwiers F W. Trends in Canadian precipitation intensity [J]. Atmos. Ocean, 1999, 2: 321 - 347.  
 [3] Yamamoto R, Sakurai Y. Long-term intensification of extremely heavy rainfall intensity in recent 100 years [J]. World Resource Res., 1999, 11:

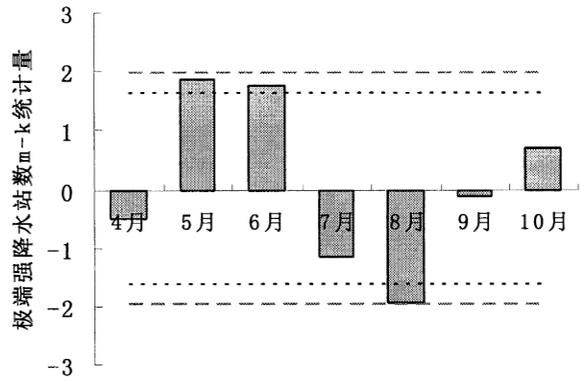


图 7 海河流域极端强降水站数趋势  
 Fig. 7 Distribution of observation stations with extrem precipitation along the Haihe River

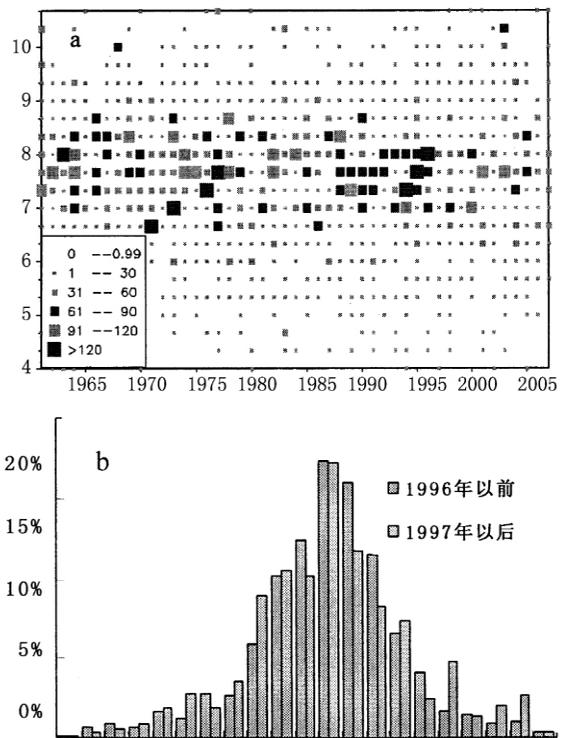


图 8 历年极端强降水事件 4 - 10 月分布  
 (a) 以旬统计 (b) 多年平均的每旬频次  
 Fig. 8 (a) Extreme precipitation events counted on basis of ten days, and (b) Climatological frequency for each ten days estimated from the whole period

271 - 281.

- [4] 翟盘茂, 任福民, 张强. 中国降水极值变化趋势检测[J]. 气象学报, 1999, 57(2): 208 - 216.
- [5] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 1 - 10.
- [6] 严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 267 - 272.
- [7] 刘小宁. 我国暴雨极端事件的气候变化特征[J]. 灾害学, 1999, 14(1): 54 - 59.
- [8] 闵岫, 钱永甫. 中国极端降水事件的区域性和持续性研究[J]. 水科学进展, 2008, 19(6): 763 - 761.
- [9] 龚道溢, 韩晖. 华北农牧交错带夏季极端气候的趋势分析[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 230 - 238.
- [10] 姜彤, 苏布达, MARCO Gemmer. 长江流域降水极值的变化趋势[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 650 - 655.
- [11] 孙凤华, 吴志坚, 杨素英. 东北地区近 50 年来极端降水和干燥事件时空演变特征[J]. 生态学杂志, 2006, 25(7): 779 - 784.
- [12] Kendall M G. Rank Correlation Methods[M]. London: Griffin, 1975.
- [13] Frei C, Schar C. Detection probability of trend in rare events: Theory and application heavy precipitation in the Alpine region[J]. Journal of Climate, 2001, 14, 1568.
- [14] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近百年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 55(4): 431 - 439.
- [15] 丁一汇, 任国玉. 中国气候变化科学概论[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 76 - 77.
- [16] 王群英, 龚道溢. 华北降水资源的变化及其与厄尔尼诺的关系[J]. 自然资源学报, 1999, 14(2): 103 - 108.
- [17] 周连童, 黄荣辉. 华北地区降水、蒸发和降水蒸发差的时空变化特征[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 280 - 295.
- [18] 周雅清, 任国玉. 华北地区地表气温观测中城镇化影响的检测和订正[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 743 - 753.
- [19] 刘学锋, 阮新, 李元华. 河北省冷暖气候变化特征分析[J]. 气象科学, 2005, 25(6): 638 - 644.
- [20] 刘学锋, 李元华, 秦莉. 河北省近 50 年最高气温及高温日数变化特征[J]. 气象科技, 2007, 35(1): 31 - 35.

## Trends of precipitation extremes in the Haihe River Basin during 1961 - 2007

LIU Xuefeng<sup>1, 2</sup>, REN Guoyu<sup>2</sup>, FAN Zenglu<sup>1</sup>, ZHANG Chengwei<sup>1</sup>, YANG Xian<sup>1</sup>

(1 Hebei Climate Center, Shijiazhuang 050021, P. R. China; 2 Laboratory of Climate, CMA, National Climate Center, Beijing 100081, P. R. China)

**Abstract:** Recent trends of amount, intensity and frequency of extreme precipitation for the Haihe River basin are analyzed on the basis of daily mean precipitation observations from 104 weather stations during 1961 - 2007. Results indicate that extreme precipitation amount has significantly decreased. The most significant decrease occurred after mid - 1990s. Both frequency and intensity of extreme precipitation events have contributed to the decreasing of the extreme precipitation amount, but the decrease of frequency has contributed more to the negative trend of precipitation amount. Significant decrease in extreme precipitation events occurred around the Bohai Bay region and part of northern Haihe River basin. The average intervals between two extreme precipitation events have been extended. It is also interesting to note that the intra - annual distribution of extreme precipitation events in the Haihe River basin has changed. Frequency of extreme precipitation has increased in May and June, but has decreased in July and August since mid - 1990s. The possibility for extreme precipitation events to simultaneously occur across the basin has significantly decreased. The variation of extreme precipitation events might have impacted the regional water cycle and water resources.

**Key words:** amount of extreme precipitation; frequency of extreme precipitation; intensity of extreme precipitation; Haihe River basin; climate change