

刘长空, 陈东辉, 郭刚, 等. 吉林省夏季极端降水事件特征分析[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 102–108. [LIU Changkong, CHEN Donghui, GUO Gang, et al. Analysis on characteristics of summer extreme precipitation events in Jilin Province[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 102–108. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.019.]

## 吉林省夏季极端降水事件特征分析<sup>\*</sup>

刘长空<sup>1</sup>, 陈东辉<sup>1,2</sup>, 郭 刚<sup>1</sup>, 黄万政<sup>3</sup>, 郭 玲<sup>4</sup>, 尚可政<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 31440 部队, 辽宁 沈阳 110027; 2. 兰州大学大气科学学院甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国人民解放军 93057 部队, 吉林 双辽 136400; 4. 辽宁省北票市气象局, 辽宁 北票 122100)

**摘 要:** 应用 1960–2017 年吉林省 24 个台站日降水量资料, 定义 4 个极端降水指数, 采用 Mann–Kendall 趋势分析、相关性分析、累积距平分析等方法, 对吉林省极端降水事件时空分布特征进行了分析。结果表明: 吉林省极端降水阈值大值区位于吉林省中部和南部, 东部山区站点极端降水阈值相对较小。吉林省夏季极端降水主要集中在 7 月下旬和 8 月上旬, 吉林省南部和中部的集安、通化、临江、靖宇、梅河口、磐石、桦甸地区, 因极端降水量和频数都较大, 是灾害应急管理需重点关注的地区; 其中, 通化、集安地区因 4 个极端降水指数都很高, 是吉林省极端降水灾害性风险最高的地区。吉林省各站点极端降水指数变化 M–K 趋势检验中, 长岭站极端降水事件呈显著减少趋势; 二道站呈显著增加趋势; 其他站点无显著增减趋势。1960–2017 年吉林省极端降水量和强度呈波动变化, 但整体平稳, 无明显增加和减少趋势。

**关键词:** 极端降水; Mann–Kendall 趋势分析; 累积距平; 应急管理; 百分位法

**中图分类号:** X43; P468; X919.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2020)01–0102–07

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.01.019

极端降水引发的暴雨洪涝灾害对自然生态与社会经济有着重要影响。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第 5 次评估报告指出, 近 130 年来, 由于人类活动和自然因素综合影响, 全球地表平均温度升高了  $0.85^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>, 而极端降水事件对气候变暖的响应极其敏感, 地表气温显著升高可以改变海–陆热力差异进而使大尺度环流的结构发生变化, 加剧区域以及全球的水循环, 从而进一步影响降水以及降水的空间分布<sup>[2–5]</sup>。中国气象局气候变化中心 2016 年发布的研究结果表明, 1961–2015 年全国平均雨日数每 10 年减少 2 d, 暴雨站日数每 10 年增加 4.2%<sup>[6]</sup>。因此, 极端降水事件的变化引起中外广泛关注<sup>[7–12]</sup>。由于国家和大区域的降水研究着重于揭示宏观尺度的降水特征, 受限于站点分布不均或空间分辨率偏低, 所以较难详尽地反映各区域内部的降水差异问题<sup>[2,13]</sup>。对于省市级水资源管理及洪涝灾害防治而言, 大尺度区域的研究结果尚难满足这一需求,

仍需依据当地降水资料, 开展本地化的降水研究。

吉林省地处我国东北中部, 近年来随着吉林省新型城镇化的不断推进, 2018 年吉林省常住人口城镇化率已达到 57.53%, 比 2017 年增长 0.88 个百分点。受气候变化和城市化双重影响, 极端降水引发的城市内涝问题日益凸显<sup>[14–16]</sup>, 陈东辉等<sup>[17]</sup>、郑祚芳等<sup>[18]</sup>、王桂芝等<sup>[19]</sup>对北京市, 李正泉等<sup>[20]</sup>对杭州市城市化加剧极端降水灾害性的研究可以提供较好参考。严重的城市内涝给人民生命财产安全造成了巨大损失, 如 2017 年吉林省永吉县 8 d 内出现两场极端降水, 造成的灾害性损失入围了国家减灾委办公室评选的 2017 年全国十大自然灾害事件<sup>[21]</sup>。目前, 城市防洪排涝基础设施的建设标准多是基于当地的重现期雨量指标进行设计, 而重现期雨量的估算是以历史降水观测数据作为基础<sup>[22,23]</sup>。因而研究吉林省极端降水的变化趋势, 在城市防洪排涝基础设施的设计建设中考虑因气候变化引起的极端降水增量, 将有助

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2019–06–13 修回日期: 2019–09–30

基金项目: 国家基础科技条件平台建设专项 (NCMI–SBS17–201607、2016NCMIZX09 和 NCMI–SJSIS–201607); 武器装备军内重点科研项目 (BB201810023)

第一作者简介: 刘长空 (1970–), 男, 汉族, 吉林长春人, 博士, 高级工程师, 主要从事现代天气预报技术与极端天气气候变化研究。E-mail: 623047074@qq.com

通信作者: 陈东辉 (1988–), 男, 蒙古族, 内蒙古赤峰人, 硕士, 助理工程师, 主要从事灾害性天气机理和预报方法研究。E-mail: chendh13@lzu.edu.cn

于减少未来极端降水的致灾风险。

本文应用 1960–2017 年吉林省 24 个台站日降水量资料, 运用百分位法确定各个站点的极端降水阈值, 开展吉林省极端降水变化的长期特征分析及未来发生趋势预估, 旨在为当地政府和部队有针对性地预置抢险救灾物资、制定军地联合抢险救灾预案等提供科学参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

本文选用的观测资料来源于中国国家气象信息中心发布的吉林省 24 个气象站逐日降水量数据, 为建立均一、稳定的降水量序列, 将数据资料时段统一为 1960–2017 年, 站点分布如图 1 所示。

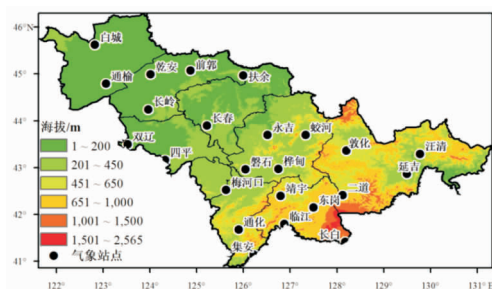


图 1 吉林省气象站点分布

### 1.2 吉林省区域划分

为准确叙述极端降水分布特点, 本文对吉林省方位做如下划分, 东部: 敦化、二道、延吉、汪清; 南部: 梅河口、靖宇、东岗、通化、集安、临江、长白; 西部: 白城、通榆、乾安、前郭、扶余、长岭; 北部: 白城北、乾安北、长春北、永吉北、延吉北; 中部: 双辽、四平、长春、永吉、磐石、蛟河、桦甸。

### 1.3 极端降水事件阈值的确定方法

由于降水受不同天气系统和地形起伏等因素影响强烈, 而吉林省东西跨度大, 自西向东地形由平原向丘陵山地过渡, 地形起伏大(图 1)。对于不同地区极端降水事件, 不能完全用全国统一固定的日降水量来简单定义<sup>[8]</sup>, 因此, 本文根据每个测站日降水量数据定义了各自站点的极端降水阈值。具体做法是: 将某一站点 1960–2017 年逐年夏季(6–8 月)日降水量  $>0.1$  mm 的降水量按升序排列, 将第 95 个百分位值的降水量值就定义为该站极端降水事件的阈值, 当该站某日降水量大于这一阈值时, 就称该站出现了极端降水事件。

### 1.4 Mann-Kendall 趋势检验法及累积距平法

世界气象组织推荐并已广泛应用的 Mann-Kendall 非参数统计方法<sup>[24,25]</sup> (公式略), 能有效区分某一自然过程是处于自然波动还是存在确定的变化趋势。对于非正态分布的气象数据, Mann-Ken-

dall 秩次相关检验具有更加突出的适用性<sup>[26,27]</sup>。本文采用该方法检测吉林省极端降水事件的长期变化趋势。

利用累积距平 (Accumulative anomaly) 法<sup>[28]</sup> 以更明显地显现或分辨极端降水指数序列的年际变化阶段 (公式略)。

## 2 结果分析

吉林省地貌形态差异明显(图 1), 受地形起伏影响, 加之不同天气系统和特殊的海陆相对位置, 吉林省夏季降水具有明显的空间分布差异。从图 2 可见, 吉林省夏季降水大致表现为东多西少, 南多北少, 自南部向东部、中西部地区逐渐减少的变化特点, 界限十分明显。李元华等<sup>[29]</sup> 研究表明, 年降水量 400 mm 等降水线是反应我国北方土地荒漠化最为敏感的指示器之一, 由图 2 可见, 吉林省中部和南部地区仅夏季降水量就在 400 mm 以上, 通化、集安地区更是在 500 mm 以上, 根据中国气候的分区特点, 这一地区属于半湿润区。而吉林省东部的汪清, 西部的白城、通榆、乾安、长岭、前郭等地区夏季降水量在 300 mm 以下, 较为干旱。

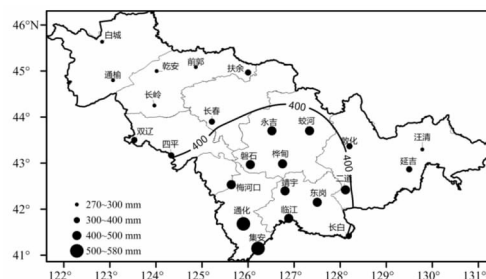


图 2 吉林省 1960–2017 年夏季平均降水量分布

### 2.1 极端降水阈值分析

吉林省 1960–2017 年夏季极端降水阈值分布如图 3 所示, 对比图 2 可以发现, 极端降水阈值空间分布与夏季平均降水量分布基本一致, 表现为自南向北和向东递减的空间分布, 二者相关系数为 0.62, 通过了 0.01 显著性水平检验。吉林省极端降水阈值在 24.4–47.2 mm 范围内, 除汪清站外, 均为大雨以上量级。极端降水阈值的大值区 (35 mm 以上) 位于吉林省中部和南部, 通化、集安、四平三个站点极端降水阈值达到了 40 mm 以上, 其中集安最大 47.2 mm, 已接近暴雨量级。受夏季南方气旋北上和副热带高压边缘系统影响, 以及海洋水汽输送和长白山脉迎风坡的阻挡作用, 使得吉林省南部地区大量级降水较多, 极端降水阈值也相对较大。而西部的白城、乾安也达到了 35 mm 以上, 这一地区夏季总降水较少, 但常受蒙古气旋东移和东北低涡影响, 易产生大量级降水, 降水相对变率大, 极端降水阈值也就相对较大。

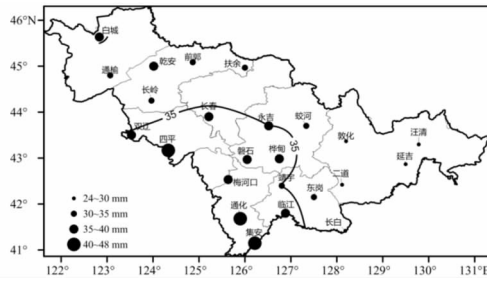


图3 吉林省1960-2017年夏季极端降水阈值分布

吉林省东部山区的4个站点极端降水阈值相对较小,其中汪清站最小24.4 mm,接近大雨量级。受长白山脉地形影响,自南方输送的水汽大部在山前凝结降落,这一地区较少产生大量级降水,使得极端降水阈值也相对较小。尽管东部山区站点极端降水阈值相对较小,但由于其陡峭的地形和山谷分布,使得滑坡、泥石流等灾害风险增大,从极端事件的角度来说仍可能给这一地区造成一定的灾害性损失。

## 2.2 极端降水指数分析

极端降水事件的变化通过表1所列的几个指数来表述<sup>[17,31]</sup>。

表1 极端降水指数的定义

极端降水指数	定义
极端降水量	夏季日降水量超过该测站极端降水阈值的降水量之和
极端降水频数	夏季日降水量超过极端降水阈值的日数
极端降水强度	超过极端降水阈值的极端降水量与极端降水频数的比值
极端降水贡献率	极端降水量与夏季总降水量的比值

下面我们对极端降水指数进行详细分析,来描述吉林省极端降水事件的变化特征。

### 2.2.1 极端降水指数空间分布特征

图4a为吉林省1960-2017年夏季极端降水量空间分布特征,对比图2可以发现,极端降水量的分布与夏季平均降水量分布十分接近,同样是自南部向东部、中西部地区逐渐减小,二者的相关系数达到0.96,通过0.01显著性水平检验。极端降水量100 mm等值线范围比夏季平均降水量400 mm等值线范围略大,吉林省中部和南部地区极端降水量都在120 mm以上,其中通化、集安地区在150 mm以上。而吉林省东部和西部地区则相对较小,其中通榆、白城地区极端降水量只有82 mm。图4a中的红色箭头表示各个站点1960-2017年极端降水量M-K趋势检验中Z值为正,绿色箭头Z值为负,可见1960-2017年吉林省极端降水量表现为增加和减少趋势的站点各占一半,其中增加趋势的站点主要集中在吉林省中部,但只有二道站通过了0.05显著性水平检验,增加速率为11.0 mm/10年。而减少的站点则比较分散,通榆站通过了0.1显著性水平检验,减少速率为

8.0 mm/10年;长岭站通过了0.05显著性水平检验,减少速率为11.8 mm/10年。

吉林省各站点极端降水频数在1.6~2.9 d之间(图4b),极端降水频数与极端降水量相关系数为0.62,通过0.01显著性水平检验。吉林省极端降水频数以吉林省中部为分界线,东部相对较大,西部较少。综合图3和图4a可见,吉林省集安、通化、临江、靖宇、梅河口、磐石、桦甸地区在极端降水阈值、极端降水量、极端降水频数方面都是大值区,即这一地区与其他地区相比极端降水的出现频率较大,是吉林省极端降水灾害风险的大值区,是灾害应急管理需重点关注的地区。东部的汪清、延吉站因极端降水阈值较低,一次相对较大的降水过程,即可达到该地区极端降水阈值,因而这两站极端降水频数也相对较多。而西部的大部分站点极端降水频数都相对较少。对各站点1960-2017年极端降水频数进行M-K趋势检验,其中13个站点呈增加趋势,也主要集中在吉林省中部,只有二道站通过0.05显著性水平检验;呈减少趋势的站点有11个,其中长白站通过0.1显著性水平检验,长岭站通过0.01显著性水平检验。结合图4a极端降水量趋势,可知长岭站极端降水事件呈显著减少趋势;二道站呈显著增加趋势,需加强关注。而前郭、长春、东岗站极端降水量与极端降水频数呈相反变化趋势,但上述变化都未能通过0.05显著性水平检验,因而不做进一步解析。

吉林省极端降水强度在38.4~71.7 mm/d之间(图4c),大部分站点极端降水强度都达到了暴雨以上量级。其中,通化、集安站大于60 mm/d,是极端降水强度最大的地区。与图2极端降水阈值分布对比,极端降水强度与极端降水阈值相关系数达到0.95,通过0.01显著性水平检验,即极端降水阈值越大极端降水强度也越大,造成灾害性损失的风险也就越大,因而降水强度大的地区是灾害应急管理重点关注的地区。

某一站点极端降水贡献率表征的是该站点极端降水量占其夏季总降水量的比例,极端降水贡献率越大,表明该地区降水性质中极端降水所占比重越高,出现灾害性的风险也越大。吉林省极端降水贡献率在25.9%~32.1%之间(图4d),东部和西部是极端降水贡献率的大值区,其中长岭、双辽、长春和汪清站贡献率较大,这些地区夏季31%以上的降水量来自极端降水。极端降水贡献率与极端降水频数相关系数为-0.49,通过0.01显著性水平检验,对比图4d与图4b可见大部分站点二者有较明显的反位相关关系。但汪清、延吉站极端降水贡献率和极端降水频数都较大,可见该地区夏季降水量主要来自几场极端降水;通化、集安站极端降水贡献率与其他3个极端降水指数都很高,因此通化、集安地区是吉林省极端降水灾害性风险最高的地区。

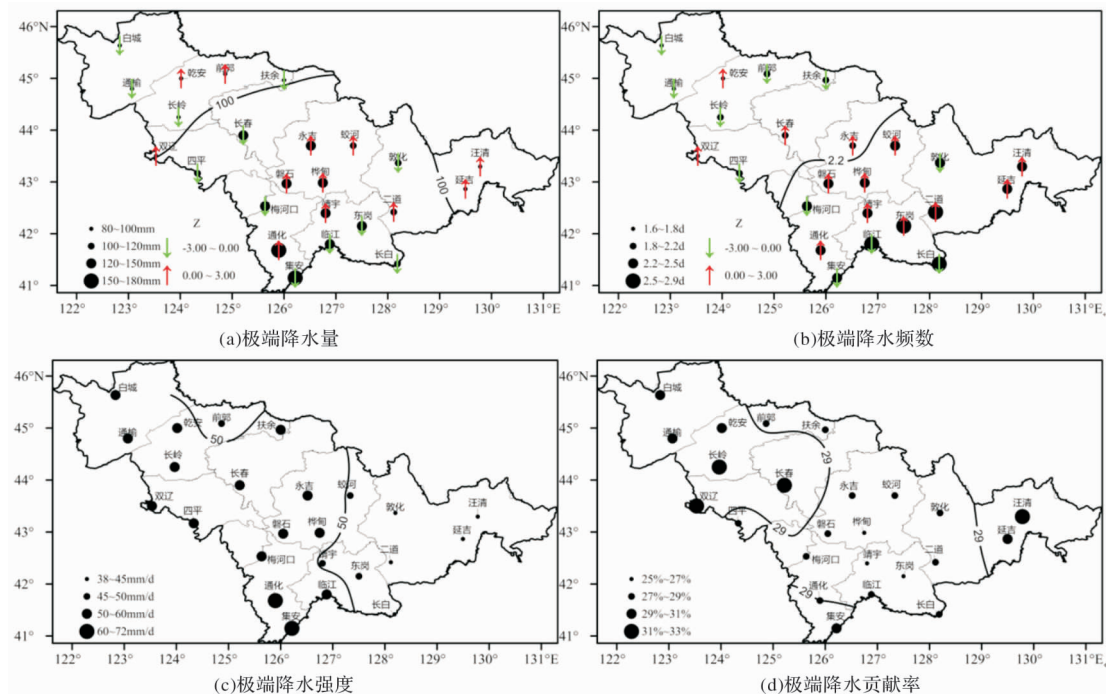


图4 吉林省1960-2017年夏季极端降水指数分布

### 2.2.2 极端降水指数年际变化特征

1960-2017年吉林省极端降水指数的年际变化如图5所示,因极端降水频数和贡献率的年际变化与极端降水量变化基本一致,这里不再列出变化图。

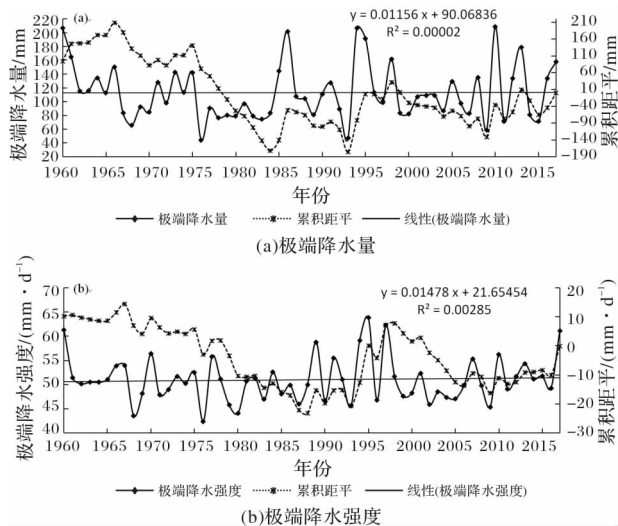


图5 吉林省1960-2017年夏季极端降水指数年际变化

由图5a可见,吉林省极端降水量为波动变化,但整体趋势平稳,线性趋势系数0.01156,无明显增加和减少趋势。对极端降水量累积距平变化进行分析,可以看出1960-1966年累积距平持续增大,表明该时段吉林省极端降水量较平均水平偏多,而这一时段极端降水强度(图5b)却基本持平,引起这一时段极端降水量增加的原因主要是极端降水频数较平均水平偏多,此后偏多的时段还有1985-1986年、1994-1998年,共14年;1967-1970年累积距平持续减少,表明该时段极端降水

量较平均水平偏少,此后偏少的时段还有1976-1984年、1987-1993年、1999-2009年,共31年;极端降水量维持平均水平的时段有1971-1975年、2010-2017年,共13年。吉林省极端降水量整体趋势平稳,而偏少年份较偏多和维持平均水平年份多,可见偏多年份的极端降水量较大,如1960、1986、1994、2010年极端降水量都在200 mm以上,这些年份也都是吉林省洪涝灾害较为严重的年份。

图5b为1960-2017年吉林省极端降水强度年际变化图,吉林省极端降水强度也同样无明显增加和减少趋势。对极端降水强度累积距平变化进行分析,可以看出1960-1988年极端降水强度较平均水平偏低,而后1989-1998年极端降水强度较平均水平偏高,1999-2006年极端降水强度又低于平均水平,2007-2016年极端降水强度基本维持在平均水平不变,2017年极端降水强度又高于平均水平。极端降水强度偏高的时段极端降水造成的灾害性也越强。

极端降水频数的多少直接决定了该地区极端降水量的多少,极端降水事件频发地区即使极端降水量不大,但因为其发生频数高所面临的灾害性风险也相应较高。为此对1960-2017年吉林省夏季各旬极端降水频数进行以下细致分析。

### 2.2.3 极端降水频数逐旬变化特征

由图6可见,吉林省6月上旬和中旬极端降水频数较少,此后逐旬增加,到7月下旬达到最大值,此后又逐旬减少。7月下旬是吉林省极端降水频数最多的旬,其次是8月上旬,这与我国北方主汛期“七下八上”的规律是一致的,这两旬极端降水频数占夏季总极端降水频数的35.6%。极端降水频数的这一时间分布特点是由吉林省气候特点决定的,在7月下旬前后,夏季风的北边缘推进到



我国东北地区,同时副热带高压北抬至  $34 \sim 38^{\circ}\text{N}$  区域,副热带高压西南侧的暖湿气流把洋面上的水汽源源不断地向北输送,为吉林省提供了充足的水汽条件,当暖湿气流与南下的冷空气相遇,强烈的热动力混合后就极容易形成强度较大的极端降水,因此7月下旬和8月上旬是水资源管理和洪涝灾害防治部门需重点监测的时段。

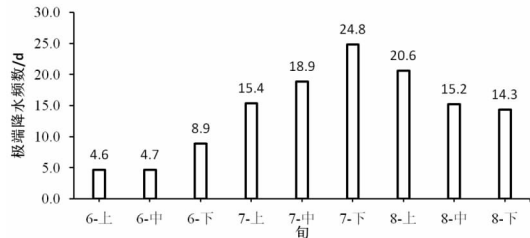


图6 吉林省1960-2017年夏季各旬极端降水频数变化

#### 2.2.4 极端降水频数空间分布特征

为了给水资源管理和洪涝灾害防治部门监测预警提供明确指向,我们对吉林省1960-2017年夏季各旬极端降水频数空间分布特征(图7)进行分析。以6月上旬为例(图7a),桦甸、敦化、二道和长白地区是该旬极端降水频数较多的地区,水资源管理和洪涝灾害防治部门在6月上旬期间,需重点加强对上述地区极端降水的监测预警,并结合上述地区城市低洼分布、人口分布、河流水库分布等情况,有针对性地预置抢险救灾物资和分配应急救援力量,以提前做好洪涝灾害应急管理准备。

同样,6月中旬(图7b)需加强对中西部的乾安、前郭、扶余和四平地区,南部的长白和东岗地区,东部的二道和汪清地区的关注。6月下旬(图7c)极端降水频数大值区相对分散,需加强对西部的白城和通榆地区,中部的长春、永吉、蛟河和桦甸地区,南部的靖宇和临江地区,东部的二道地区的关注。7月上旬(图7d)极端降水频数较6月有大幅增加,极端降水频数最少的站点都在8d以上,达到了6月上旬和中旬的大值区标准,因而自7月上旬开始吉林省将全面进入极端降水事件的高发时段。本旬需重点加强对中部的永吉、蛟河和磐石地区,南部的集安、临江、东岗和长白地区的关注。7月中旬(图7e)需加强对西部的白城、通榆、前郭和扶余地区,中部的长春和蛟河地区,南部的梅河口和长白地区,东部的二道和汪清地区的关注;7月下旬(图7f)至8月上旬(图7g)极端降水频数大值区的空间分布相对一致,主要集中在吉林省南部的梅河口、靖宇、东岗、通化、集安、临江和长白地区,中部的长春、磐石和桦甸地区,东部的敦化和二道地区。与图2夏季降水量和极端降水量分布对比可以发现他们的大值区是一致的,可见吉林省南部和中部地区是吉林省极端降水事件高发时段内的高发地区,因此吉林省南部和中部地区是吉林省极端降水灾害风险最高的地区。8月中旬(图7h)极端降水频数减少很多,但大值区仍集中在吉林省南部的东岗、通化、集安、临江和长白地区。8月下旬(图7i)极端降水频数大值区主要集中在中东部的蛟河、靖宇、敦化、二道、延吉和汪清地区。

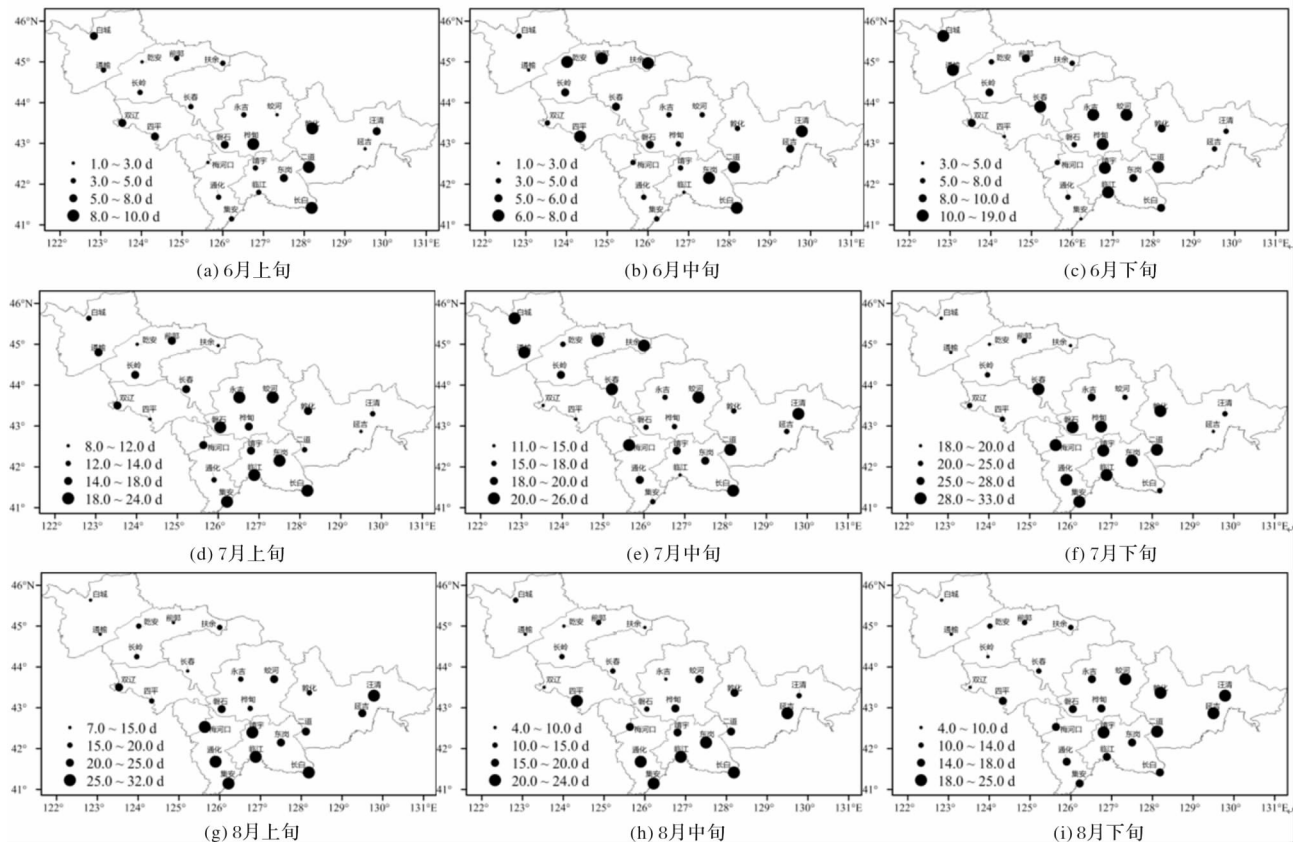


图7 吉林省1960-2017年夏季各旬极端降水频数空间分布

通过上述分析,我们发现吉林省夏季极端降水事件主要集中在7月下旬和8月上旬,吉林省南部和中部的集安、通化、临江、靖宇、梅河口、磐石、桦甸等地区面临的极端降水灾害性风险较高,其中集安、通化地区灾害性风险最高,是灾害应急管理应重点予以关注的地区。政府部门作为极端降水灾害应急管理核心力量和领导者,拥有控制和利用整个应急资源的绝大部分,部队作为支援政府部门抗洪抢险的重要力量,都应针对上述灾害风险高发区和高发时段合理储备应急资源和救助力量,确保灾害应急管理预案在灾害发生时能充分发挥作用,有效降低灾害性损失。

### 3 总结与讨论

本文对1960–2017年吉林省夏季极端降水事件变化特征及演变趋势进行了详细分析,主要结论如下:

(1)吉林省受地形分布、不同天气系统和特殊的海陆相对位置影响,夏季降水具有明显的时空分布差异,具体表现为东多西少,南多北少,自南部向东部、中西部地区逐渐减少的变化特点。

(2)吉林省极端降水阈值分布与夏季平均降水量分布较为一致。极端降水阈值大值区位于吉林省中部和南部。极端降水量多少主要受极端降水频数影响,极端降水量的多少又直接决定了夏季总降水量的多少。吉林省南部和中部的集安、通化、临江、靖宇、梅河口、磐石、桦甸地区,因极端降水量和频数都较大,是灾害应急管理需重点关注的地区;其中,通化、集安地区因4个极端降水指数都很高,是吉林省极端降水灾害性风险最高的地区。吉林省各站点极端降水量和频数变化M–K趋势检验中,长岭站极端降水事件呈显著减少趋势;二道站呈显著增加趋势;其他站点无明显增减趋势。

(3)1960–2017年吉林省极端降水量和强度呈波动变化,但整体平稳,无明显增加和减少趋势。通过极端降水量和强度变化累积距平分析可知,吉林省极端降水量偏少年份多,偏多和维持平均水平年份少,偏多水平较高的年份是吉林省洪涝灾害较为严重的年份。极端降水量偏多相应极端降水频数、强度也都偏高,极端降水强度偏高的时段,极端降水造成的灾害性也越强。

(4)吉林省夏季极端降水主要集中在7月下旬和8月上旬,水资源管理和洪涝灾害防治部门可依据不同旬内极端降水频数空间分布特征,有针对

性的加强监测预警,提前预置抢险救灾物资和分配应急救援力量,最大限度降低极端降水灾害性损失。

### 参考文献:

- [1] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis; Summary for Policymakers [R/OL]. [2013–10–28]. [http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WG1AR5-SPM\\_Aproved27Sep2013.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WG1AR5-SPM_Aproved27Sep2013.pdf).
- [2] Becker A, Finger P, Meyer-Christoffer A, et al. A description of the global land-surface precipitation data products of the global precipitation climatology centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present [J]. *Earth SystSci Data*, 2012, 5(2): 921–998.
- [3] Field C B, Barros V, Stocker T F. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 7–14.
- [4] Stocker T F, Qin D, Plattner G K, et al. Climate Change 2013: The Physical Science Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 211–214.
- [5] Westra S, Alexander L, Zwiers F. Global increasing trends in annual maximum daily precipitation [J]. *J Climate*, 2013, 26(11): 3904–3918.
- [6] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化监测公报(2015年) [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 30.
- [7] 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.
- [8] 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(7): 1–10.
- [9] 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.
- [10] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望 [J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 337–353.
- [11] 杨素英, 陆其峰, 鞠晓慧, 等. 1961–2010年东北地区汛期极端降水的非均匀性特征 [J]. *大气科学学报*, 2011, 34(6): 756–762.
- [12] 杨素英, 孙风华, 马建中. 增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征 [J]. *地理科学*, 2008, 28(2): 224–228.
- [13] Russo S, Sterl A. Global changes in seasonal means and extremes of precipitation from daily climate model data [J]. *J Geophys Res*, 2012, 117(D1): D01108.
- [14] 白莹莹, 张焱, 何泽能, 等. 城市化进程对重庆都市圈降水空间分布的影响 [J]. *气象*, 2013, 39(5): 592–599.
- [15] 尹占娥, 许世远. 城市自然灾害风险评估研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2012: 1–9.
- [16] 王伟武, 汪琴, 林晖, 等. 中国城市内涝研究综述及展望 [J]. *城市问题*, 2015, 243(10): 24–28.
- [17] 陈东辉, 汪结华, 宁贵财, 等. 北京市极端降水事件和应对策略分析 [J]. *灾害学*, 2016, 31(2): 182–187.
- [18] 郑祚芳, 王在文, 高华. 北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响 [J]. *气象*, 2013, 39(12): 1635–1641.
- [19] 王桂芝, 李霞, 陈纪波, 等. 基于IO模型的多部门暴雨灾害

- 间接经济损失评估—以北京市“7.21”特大暴雨为例[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 94–99.
- [20] 李正泉, 宋丽莉, 梁卓然, 等. 杭州市降水特征及极端降水趋势预估[J]. 气象, 2012, 44(6): 781–789.
- [21] 汪洋, 张妮娜, 孙舟, 等. 2017 年中国十大自然灾害事件[J]. 中国减灾, 2018, 3(5): 38–41.
- [22] 植石群. 暴雨强度公式编制技术指南[M]. 北京: 中国气象局, 2013: 6–12.
- [23] 中华人民共和国水利部. GB50201–2014 防洪标准[M]. 北京: 中国计划出版社, 2014: 63–67.
- [24] 慈晖, 张强. 1951–2008 年乌鲁木齐极端气候事件分析[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 22–28.
- [25] 洗卓雁, 武传号, 黄国如. 基于 SPEI 的北江飞来峡流域干旱时空演变特征分析[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 198–203.
- [26] SU B D, XIAO B, ZHU D M, et al. Trends in frequency of precipitation extremes in the Yangtze River basin, China: 1960–2003[J]. Hydrological Sciences – Journal, 2005, 50(3): 479–492.
- [27] Kendall M G. Rank Correlation Methods (3rd ed) [M]. New York: Hafner Publishing Company, 1962.
- [28] 万智巍, 周岩, 贾玉连, 等. 近 130 年来赣江洪水灾害事件重建与特征诊断[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 96–101.
- [29] 李元华, 车少静. 河北省温度和降水变化对农业的影响[J]. 中国农业气象, 2005, 26(4): 224–228.

## Analysis on Characteristics of Summer Extreme Precipitation Events in Jilin Province

LIU Changkong<sup>1</sup>, CHEN Donghui<sup>1,2</sup>, GUO Gang<sup>1</sup>, HUANG Wanzheng<sup>3</sup>, GUO Ling<sup>4</sup> and SHANG Kezheng<sup>2</sup>

(1. Chinese People's Liberation Army 31440 Units, Shenyang 110027, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 3. Chinese People's Liberation Army 93057 Units, Shuangliao 136400, China; 4. Beipiao Meteorological Bureau, Beipiao 122100, China;)

**Abstract:** With daily precipitation data of 24 observational stations in Jilin Province from 1960 to 2017, four extreme precipitation indices are defined. Using means of Mann-Kendall trend analysis, correlation analysis and accumulative anomaly analysis, the extreme precipitation events are analyzed. The results show that: the distribution of extreme precipitation threshold of the extreme precipitation events mainly occur in the central and south of Jilin Province, while the distribution of the extreme precipitation events occur less frequently in the eastern mountain area. The extreme precipitation in Jilin Province is mainly concentrated in late July and early August, areas such as Ji'an, Tonghua, Linjiang, Jingju, Meihekou, Panshi, Huadian in the central and south of Jilin Province, should be paid more attention when taking risk management for their high precipitation frequency, and areas of Tonghua and Ji'an where the four precipitation indices are quite high, have the highest risk of suffering from the extreme precipitation events. With M-K trend test of the change of the extreme precipitation indices, it shows that the extreme precipitation frequency in Changling station shows an obvious decreasing tendency, while shows an obvious increasing tendency in Erdao station, and there is no significantly increasing or decreasing tendency in other stations. There is a fluctuate change of the precipitation and its frequency in Jilin Province from 1960 to 2017, while an overall stable change shows no significantly increasing or decreasing trend.

**Key words:** extreme precipitation; Mann-Kendall trend analysis; accumulative anomaly analysis; risk management; 95th percentile