暴雨灾害
Torrential Rain and Disasters
中国科技核心期刊
中国科技论文统计源期刊

基于国家站和省级站资料的辽宁省近16 a 降水特征分析

敖雪 翟晴飞 周晓宇 赵春雨 李明倩

Analysis of the precipitation characteristics based on the national and provincial meteorological stations datas in Liaoning Province in recent 16 years

AO Xue，ZHAI Qingfei，ZHOU Xiaoyu，ZHAO Chunyu，LI Mingqian

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12406/byzh.2024-196

您可能感兴趣的其他文章 Articles you may be interested in

安徽省暴雨致灾危险性评估

Disaster-causing hazard assessment of rainstorms in Anhui Province

暴雨灾害. 2023, 42(3): 353-359 https://doi.org/10.12406/byzh.2022-118

安徽省暴雨灾害预警等级的划分及其应用

Classification of early warning levels for rainstorm disaster and its application in Anhui Province

暴雨灾害. 2021, 40(2): 174-181 https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9045.2021.02.009

热带气旋“巴威”北上引发辽宁省强降水的形成机制分析

Analysis on the formation mechanism of heavy precipitation in Liaoning Province caused by northward-moving tropical cyclone "Bavi"

暴雨灾害. 2023, 42(2): 150-159 https://doi.org/10.12406/byzh.2022-106

暴雨洪涝受灾人口与雨涝危险性指数关系模型研究

The relationship model between flood-hit population and rainstorm waterlogging risk index

暴雨灾害. 2023, 42(1): 79-87 https://doi.org/10.12406/byzh.2022-223

贵州典型地形下强降水特征及其模式预报订正研究

Study on characteristics of heavy precipitation and model prediction correction under typical topography in Guizhou

暴雨灾害. 2024, 43(6): 648-656 https://doi.org/10.12406/byzh.2023-079

2020年梅雨期上海一次强降水过程垂直结构的综合观测分析

Observational analysis of vertical structure of a heavy precipitation event in Shanghai during Meiyu period in 2020

暴雨灾害. 2020, 39(6): 658-665 https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9045.2020.06.014

关注微信公众号，获得更多资讯信息

敖雪,翟晴飞,周晓宇,等.2025.基于国家站和省级站资料的辽宁省近 16 a 降水特征分析[J].暴雨灾害,44(4):452−460. AO Xue, ZHAI Qingfei, ZHOU Xiaoyu, et al. 2025. Analysis of the precipitation characteristics based on the national and provincial meteorological stations datas in Liaoning Province in recent 16 years [J]. Torrential Rain and Disasters,44(4):452−460 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2024−196

基于国家站和省级站资料的辽宁省近 16 a 降水特征分析

敖雪[1], 翟晴飞[2], 周晓宇[1], 赵春雨[1], 李明倩[1]

(1. 辽宁省气候中心, 沈阳 110166; 2. 辽宁省气象信息中心, 沈阳 110166)

摘　要: 为了解不同精度降水观测资料的差别, 发挥精细降水观测对强降水的预警作用, 基于辽宁省 61 个国家气象观测站 (以下简称国家站) 和 1 785 个省级气象观测站 (以下简称省级站) 2007—2022 年逐日、逐小时降水资料, 对比研究了两类站点的月及汛期降水量、最大日降水量、暴雨日数及年雨涝指数的分布特征, 结果表明: (1) 2007—2022 年辽宁省国家站和省级站的月和汛期降水量变化具有较好的一致性, 呈显著相关; 两类站点汛期降水量均呈增加趋势, 省级站的增速快于国家站; 两类站点的平均汛期降水量接近, 降水极值差异显著, 省级站汛期降水量最大值高于国家站。(2) 两类站点的最大日降水量极值和平均值的年际变化较为一致, 均呈增加趋势; 两类站点最大日降水量的空间分布较一致, 只是辽宁中部和东部地区省级站比国家站有更多小范围的高值和低值中心。辽宁省 8 月更容易发生强降水, 且日降水极值多出现在省级站, 局地性强, 极值明显高于国家站。(3) 国家站和省级站暴雨日数和年雨涝指数均自西北向东南递增。两类站点的年雨涝指数高值区主要位于丹东和大连东南部地区, 易发生由暴雨引发的直接和次生灾害。(4) 国家站由于数量少, 空间分辨率较低, 容易导致降水事件的极端性被低估, 省级站能精细地刻画出辽宁省降水局部区域的细节特征, 监测到更多国家站收集不到的强降水事件。

关键词: 强降水; 雨涝指数; 省级气象观测站; 暴雨灾害

中图法分类号: P429　　**文献标志码**: A　　**DOI:** 10.12406/byzh.2024−196

Analysis of the precipitation characteristics based on the national and provincial meteorological stations datas in Liaoning Province in recent 16 years

AO Xue[1], ZHAI Qingfei[2], ZHOU Xiaoyu[1], ZHAO Chunyu[1], LI Mingqian[1]

(1. *Liaoning Provincial Climate Center*, *Shenyang* 110166; 2. *Liaoning Provincial Meteorological Information Center*, *Shenyang* 110166)

Abstract: To understand the differences in precipitation observation data of different precisions and give full play of fine precipitation observation for the early warning of heavy precipitation, the daily and hourly precipitation data from 61 national meteorological stations (referred to as national stations) and 1,785 provincial meteorological stations (referred to as provincial stations) in Liaoning Province from 2007 to 2022 were utilized in this study. The distribution characteristics of monthly and flood season precipitation, maximum daily precipitation, the number of rainstorm days, and the annual rain-waterlogging index of the two stations were compared. The main results are as follows. (1) The monthly and flood season precipitation of national stations and provincial stations in Liaoning Province showed good consistency and significant correlation from 2007 to 2022. The precipitation in the flood season showed an increasing trend, with the increasing rate at provincial stations being faster than that of national stations. The average rainfall in the flood season of the two types of stations was similar, but a significant difference in extreme precipitation existed. The maximum precipitation in the flood season at provincial stations was higher than that at national stations. (2) The interannual variations in the extreme and average values of the

收稿日期: 2024−11−04; **定稿日期**: 2025−03−21

资助项目: 辽宁省气象局科学技术研究项目 (ZD202404); 辽宁省气象局人才计划科技活动资助项目 (RC202302); 2024 年中国气象局决策气象服务专项 (JCZX2024005); 辽宁省重点研发项目 (2024JH2/102500094)

第一作者: 敖雪, 主要从事气象灾害风险与评估技术研究。E-mail: aoxuefyh@163.com

通信作者: 翟晴飞, 主要从事信息网络技术管理。E-mail: 15840322495@163.com

© Editorial Office of *Torrential Rain and Disasters*. OA under CC BY−NC−ND 4.0

maximum daily precipitation at the two types of stations were relatively consistent, showing an increasing trend. The spatial distributions of maximum daily precipitation at the two types of stations also agreed with each other, though provincial stations in central and eastern Liaoning Province exhibited more localized high-value and low-value centers than national stations. Heavy precipitation was more likely to occur in August in Liaoning Province. Most of the maximum daily precipitation extremes occurred at provincial stations, which showed strong locality and were significantly higher than national stations. (3) Both the number of rainstorm days and the annual rain-waterlogging index of national and provincial stations increased from northwest to southeast. The high-value area of the annual rain-waterlogging index of the two types of stations was mainly located in Dandong and the southeast of Dalian, which are prone to direct and secondary disasters caused by rainstorms. (4) Due to the small number and low spatial resolution of national stations, the extremes of precipitation events are likely to be underestimated. The provincial stations can accurately depict the detailed characteristics of precipitation in the local regions of Liaoning Province and monitor more extreme precipitation events that can not be recorded by national stations.

Key words: heavy precipitation; rain-waterlogging index; provincial meteorological stations; rainstorm disaster

引　言

近年来, 在全球变暖的背景下, 强降水、高温、台风等极端天气气候事件频发, 其中强降水往往会对交通、畜牧业、农业和水利工程等造成严重影响, 由此引发的暴雨灾害和次生灾害也日趋严重 (IPCC, 2021; 周波涛和钱进, 2021; 陈永仁, 2024)。研究表明, 1961—2013 年辽宁省夏季降水强度和极端强降水时数均呈增加趋势, 且 7 月极端降水强度增加显著 (戴廷仁等, 2016)。敖雪等 (2020, 2023) 针对辽河流域和东北区域极端降水开展预测研究, 指出未来辽宁地区的日降水强度、强降水比例、强降水日数仍然呈显著增加的趋势, 极端降水带来的暴雨灾害和次生灾害仍然是辽宁未来的防灾减灾重点工作。

极端降水通常由中小尺度天气系统产生, 这类系统时空尺度小, 具有突发性强和局地性明显等特点 (Yang et al., 2013; 孙继松等, 2015; Ao et al., 2022), 国家站布设数量较少, 会出现部分极端降水事件没能被国家气象观测站 (以下简称国家站) 监测到 (田付友等, 2018) 的情况。利用高密度省级气象观测站 (以下简称省级站) 资料可以弥补国家站资料在空间和时间上观测精度不高的缺陷, 提高灾害性天气的监测能力。近年来, 随着气象现代化发展以及气象站网的加密建设, 大量省级站的投入使用使气象要素的监测能力提升显著 (周荫庭和王连慈, 2012; 姚俊强等, 2024), 为精细化、定量化灾害天气预测预警提供数据保障, 并提高了区域防灾减灾能力。

由于省级站建站时间较短、建设快, 存在设备管理不足、数据时间序列短等问题, 且数据存在奇异值和缺测 (司丽丽等, 2023)。因此, 为了应用好省级站资料, 首先需要对比国家站和省级站观测资料的一致性。顾岩梅和王付华 (2009) 对比分析了黑龙江大兴安岭 1—9 月的气温和降水资料发现, 在复杂地区, 国家站在时间和空间上不能满足中小尺度天气系统的监测需求, 省级站资料更能准确地揭示气候变化规律。黄元森等 (2016) 基于闽北近 50 a 逐日、逐小时国家站和省级站降水资料, 对汛期强降水气候特征进行分析, 发现武夷山国家站与附近省级站观测降水的相关性较好, 地理位置分布越接近的相关性越好。贺晓露等 (2023) 利用国家站和省级站日降水和小时降水资料对湖北“8·12”极端降水特征及成因进行了分析, 发现柳林省级站最大 4 h、6 h、9 h、12 h 降水量均超过了湖北省国家站对应历时的最大值, 说明省级站对于极端降水监测分析具有必要性。方锋等 (2023) 利用国家站和省级站资料对甘肃省极端降水展开分析, 指出两类降水的平均值很接近, 无显著性差异, 但是在极值上存在显著差异, 省级站降水极值高于国家站。这些研究均表明, 省级站和国家站观测资料各有优劣, 实际工作中需配合使用。

近十几年来, 辽宁省陆续建成 1 785 个省级站, 形成覆盖山地丘陵、辽河平原、海岸线等不同地理环境的高精度观测网, 相比 61 个国家站, 站点数量扩大 30 倍。然而, 基于省级站资料的强降水事件影响研究主要集中在长三角、京津冀、湖北、深圳等暴雨频发的区域 (周荫庭和王连慈, 2012; 孙继松等, 2015; 司丽丽等, 2023), 辽宁省对省级站资料利用率较低, 应用省级站资料进行汛期降水的相关研究较少, 因此, 开展基于“国家站+省级站”资料的辽宁省汛期降水与强降水的精细化研究非常必要。本文利用辽宁省 2007—2022 年 1 846 个气象站 (含国家站及省级站) 逐日、逐小时降水资料, 对比分析基于两类站点观测的降水时空分布特征, 并比较了年雨涝指数空间分布, 旨在为辽宁省极端降水风险预警、防灾减灾等提供参考。

1　资料与方法

1.1　资料说明和质量控制

本文所用的资料为辽宁省 61 个国家站和 1 785 个省级站 (图 1) 2007—2022 年逐日、逐小时降

水资料, 均来自于辽宁省气象信息中心, 该数据经过气候极值检验和一致性检验等质量控制。针对省级站, 首先进行建站时间筛查, 2007 年辽宁省气象站网完成标准化升级, 观测数据质量和站点覆盖度显著提升; 且为了保证研究时间的一致性, 研究时段内数据的连续性和可比性, 删除了建站晚于 2007 年的省级站; 其次, 剔除了存在明显错误资料的站点, 剔除出现奇异极大值的站点, 结合相关文献 (谢五三等, 2023; 司丽丽等, 2023)、历史档案和实况灾情, 设定辽宁省省级站日降水量最大界限为 800 mm, 最大小时降水量界限为 200 mm, 剔除日降水量>800 mm 和 1 h 降水量>200 mm 的异常记录站点。最后, 去除观测记录缺测率超过 5% 的站点, 保证计算结果的准确性。经过以上步骤, 从 1 785 个省级站剔除 215 个站点, 最终 1 570 个省级站参与计算, 占原始站点总数的 88%; 数据比例满足辽宁省强降水的变化特征分析要求 (任芝花等, 2010)。

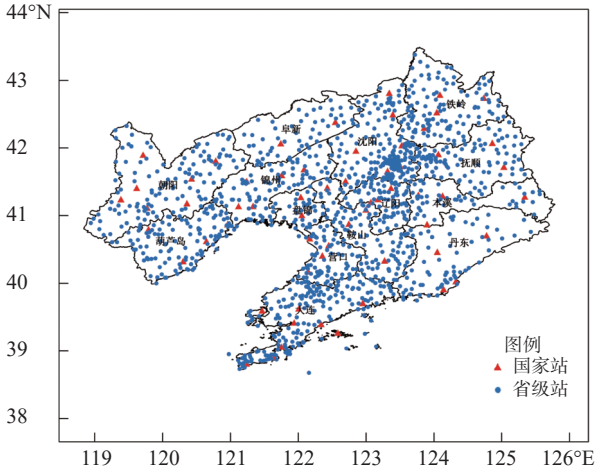


图 1 辽宁省国家站和省级站空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of national and provincial meteorological stations in Liaoning Province

1.2 研究方法

1.2.1 相关定义

本文降水的相关定义如下: (1) 暴雨日: 气象观测站日降水量 (20 时—20 时, 北京时, 下同)≥50 mm 的降水日为暴雨日。(2) 暴雨过程: 暴雨日持续天数≥1 d 或者中断日仅有 1 d 且出现中雨以上降水过程。(3) 过程累积降水量: 一次降水过程的降水量总和。(4) 暴雨持续天数: 一次暴雨过程的开始日至结束日总天数。(5) 最大日降水量: 一次暴雨过程时段内, 日降水量的最大值。(6) 最大小时降水量: 一次暴雨过程中, 整点小时降水量最大值。(7) 根据辽宁省业务规定, 辽宁省汛期降水量指 6—9 月降水总量。(1)—(6) 的定义均针对单站。

1.2.2 年雨涝指数

强降水是诱发暴雨灾害的直接因素, 研究指出, 灾情严重的暴雨灾害主要是由于暴雨的持续性和极端性两方面导致 (轩春怡等, 2020; 蔡雯悦, 2023)。因此, 本文选择最大小时降水量 (I_{1pre}) 和最大日降水量 (I_{24pre}) 反映暴雨过程的极端性, 用暴雨持续天数 (I_{pre}) 和过程累积降水量 (I_{day}) 反映暴雨过程的持续性, 按照《全国气象灾害综合风险普查技术规范: 暴雨灾害调查与风险评估技术规范》(中国气象局, 2021), 用这 4 个指标计算单站暴雨过程强度指数 (I_R), 公式如下

$$I_R = I_{1pre} + I_{24pre} + I_{pre} + I_{day} \tag{1}$$

式中I_{1pre}、I_{24pre}、I_{pre}和I_{day}的物理意义上段已说明。在计算每个站点每次暴雨过程对应的 4 个指标时, 由于暴雨过程各指标量纲不一样, 需将每个指标进行归一化处理, 再等权重相加, 就得到辽宁省所有站点 2007—2022 年的暴雨过程强度指数。

然后, 将辽宁省所有国家站和省级站 2007—2022 年逐年历次暴雨过程强度指数进行累加, 得到 2007—2022 年逐年雨涝指数, 再对每个站点的年雨涝指数进行 16 a 平均即得到多年平均雨涝指数, 利用 ARCGIS 对所有站点的多年平均雨涝指数进行双线性插值, 得到辽宁省年雨涝指数的空间分布。该指数能很好地反映辽宁省各地区降水极端性和危险性, 对强降水致灾的风险性具有很好的指示意义。

1.2.3 归一化处理

鉴于式 (1) 中 4 个评价指标单位不同, 为了消除各指标的量纲和数量级的差异, 对每一个指标进行归一化处理。通过该方法进行处理后的数据, 其数值均介于 0.5~1 之间, 故而数据具有可比性。采用下面的公式进行无量纲处理

$$D_i = 0.5 + 0.5 \times \frac{(X_i - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \tag{2}$$

式中, D_i是第 i 个评价指标的归一化数值, X_i是第 i 个评价指标, X_{max}是评价指标中的最大值, X_{min}是评价指标中的最小值, i 为评价指标 1~4。

2 结果与分析

为了比较辽宁省不同精度国家站和省级站降水观测及强降水致灾风险程度的差异, 下文分别从月和汛期降水量分析总体降水的不同, 从最大日降水量和暴雨日数分析强降雨的极端性, 从年雨涝指数分析强降雨致灾的风险程度。

2.1 月降水量变化特征

2007—2022 年辽宁省省级站和国家站逐月平均降水量具有较好的一致性 (图 2), 均呈现出 8 月降水量最大, 7 月次之, 1 月降水量最小; 总体而言, 省级站降水量均小于国家站, 1 月差异最小, 为 0.4 mm, 8 月差异较大, 为 27.8 mm; 省级站 1—12 月降水量介于 3.12~145.0 mm 之间, 国家站 1—12 月降水量为 3.56~172.8 mm。

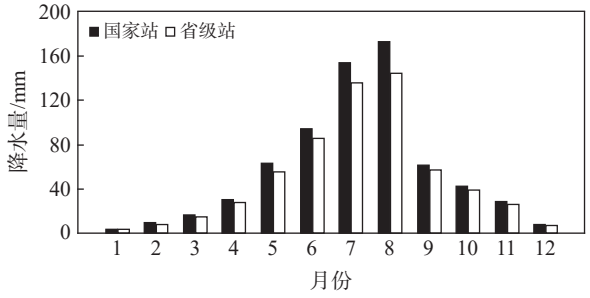


图 2 2007—2022 年辽宁省逐月平均降水量分布

Fig. 2 Distribution of monthly average precipitation in Liaoning Province from 2007 to 2022

国家站和省级站降水的逐月变化趋势基本一致, 降水量差异相对较小, 采用 0.05 的显著性水平 t 检验对比分析可知, 国家站和省级站逐月平均降水量在数值上没有明显差异。

2.2 汛期降水量变化特征

2007—2022 年辽宁省汛期 (6—9 月) 降水量呈逐年增加趋势 (图 3), 省级站的增速快于国家站, 呈显著增加趋势, 达 143.5 mm·(10 a)$^{-1}$, 国家站的增加速率为 70.9 mm·(10 a)$^{-1}$。省级站和国家站的汛期降水量年际变化较为一致, 相关系数为 0.95, 通过了 0.05 的显著性水平检验。2007—2022 年省级站汛期降水量介于 253.6~689.5 mm, 汛期降水量平均值为 431.8 mm, 年较差为 435.9 mm; 国家站汛期降水量范围为 301.7~672.4 mm, 汛期降水量平均值为 482.8 mm, 年较差为 370.7 mm。国家站汛期降水量年较差占汛期降水量的 76.8%, 省级站则高达 100.9%, 说明省级站降水的变化幅度更显著。国家站和省级站汛期降水量差异为-17.0~115.6 mm, 2007—2017 年差异相对较大, 2018—2022 年差异逐渐减小, 其中 2021 年二者差异最小, 仅 5.8 mm; 2020 年之前国家站汛期降水量均大于省级站, 从 2020 年开始, 省级站汛期降水量均大于国家站, 且差异趋于平稳。这可能是由于 2017 年开始部分观测仪器进行了更换和迁移, 主要与站点的数量及布局有关。

统计各量级汛期降水量对应的气象站数量 (图 4) 可见, 国家站汛期降水量分布近似于正态分布, 汛期降水量 400~500 mm 所占的站点数量最多, 占比为 56%, 汛期降水量 650 mm 以上站点急速减少, 仅占 6%; 省级站的站点数分布近似于右向正偏态分布 (曲线尾部向右), 汛期降水量主要集中在 350~500 mm, 所占比例达 73%, 汛期降水量 700 mm 以上站点急速减少, 约占 6%, 而国家站是大于 650 mm 以上站点明显下降, 说明省级站汛期降水的高值范围较国家站更大。

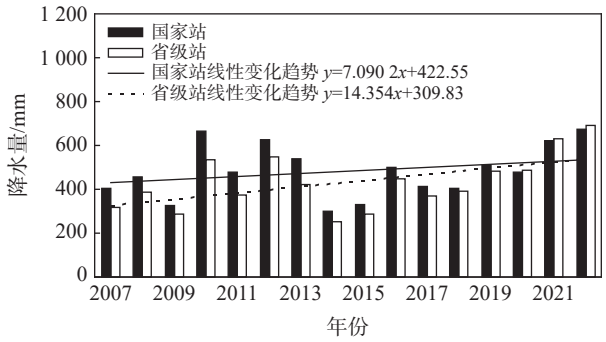


图 3 2007—2022 年辽宁省国家站和省级站汛期降水量分布

Fig. 3 Distribution of annual flood season precipitation at the national and provincial meteorological stations in Liaoning Province from 2007 to 2022

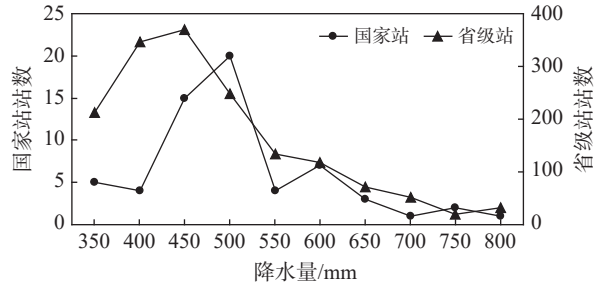


图 4 2007—2022 年辽宁省国家站和省级站汛期不同降水量对应的站点数

Fig. 4 Number of stations with different precipitation during the flood season at the national and provincial meteorological stations in Liaoning Province from 2007 to 2022

从单站汛期降水量来看, 2007—2022 年国家站汛期降水量最大值出现在 2010 年的丹东凤城, 为 1 283.4 mm, 而省级站汛期降水量最大值出现在 2022 年丹东宽甸, 为 1 462.8 mm, 相差 179.4 mm。从各站 2007—2022 年汛期平均降水量 (表 1) 可见, 国家站汛期平均降水量最大值位于丹东宽甸, 汛期平均降水量为 796.8 mm, 而相邻的省级站汛期平均降水量为 965.8 mm, 两者相差 169 mm; 国家站汛期平均降水量的高值区主要位于丹东和本溪地区, 而省级站汛期平均降水量最大值则位于大连长兴岛区, 为 1 118.2 mm, 国家站和省级站相差 321.4 mm, 省级站汛期降水的高值区分布较分散, 高值区前 2 位位于大连地区。从总体平均上来看, 国家站汛期降水

表 1 2007—2022 年辽宁省国家站和省级站汛期平均降水量前 6 位

Table 1 Top 6 precipitation of national and provincial meteorological stations during the flood season in Liaoning Province from 2007 to 2022

国家站		省级站	
行政区/站号	降水量/mm	行政区/站号	降水量/mm
丹东宽甸县/54493	796.8	大连长兴岛区/L2229	1 118.2
丹东振兴区/54497	726.1	大连交流岛村/L2256	982.2
丹东凤城市/54494	706.8	丹东宽甸县/L4593	965.8
本溪本溪县/54483	657.7	本溪桓仁县/L4060	913.4
本溪桓仁县/54365	646.3	铁岭开原市/L7555	902.7
鞍山岫岩县/54486	646.2	抚顺清原县/L3659	869.4

量总体平均为 482.8 mm, 省级站总体平均为 431.8 mm, 仅相差 51.0 mm, 说明两类站点在总体平均上相差不明显, 但是在极值方面差异较显著, 省级站的汛期降水量极值远超国家站, 所以在汛期暴雨防灾减灾上应当加强省级站的监测和防御。

2.3 最大日降水量分布特征

由于暴雨灾害的发生与强降水密切相关, 因此对 2007—2022 年辽宁省最大日降水量年变化展开分析 (图 5), 以对比两类站点强降水的差异。从图 5a 可见, 国家站和省级站最大日降水量极值均是呈增加趋势, 年际变化较为一致, 增加速率分别为 24.2 mm·(10 a)$^{-1}$ 和 4.7 mm·(10 a)$^{-1}$。从表 2 可见, 国家站和省级站日降水量最大值均出现在 2017 年 8 月, 国家站出现在 2017 年 8 月 4 日的鞍山市岫岩县, 为 317.6 mm, 第二是出现在 2010 年 8 月的葫芦岛兴城市, 为 274.2 mm; 省级站最大值出现在 2017 年 8 月 6 日的丹东市东港市黑狗镇, 为 582.0 mm, 第二是出现在 2017 年 9 月的盘锦市盘山县, 为 519.0 mm。从行政区域上看, 省级站最大日降水量高值区主要集中在丹东和鞍山地区, 国家站高值区域相对较分散。图 5b 对所有国家站和省级站日降水量极值进行逐年平均, 可以看出二者均呈增加趋势, 增加速率分别为 9.1 mm·(10 a)$^{-1}$ 和 9.6 mm·(10 a)$^{-1}$, 随时间推移, 辽宁省强降水发生频率增加、极端性增强。从发生月份上看, 统计所有国家站和省级站最大日降水量发生日期, 发现主要出现在 6—9 月, 其中 8 月最多, 国家站 8 月占比超 77%, 省级站占比达 64%, 表明辽宁省 8 月更容易发生强降水。从降水量上看, 省级站最大日降水量均大于国家站。两类站点最大日降水量均发生在 2017 年 8 月 4 日的鞍山岫岩县, 国家站降水量为 317.6 mm, 两个省级站降水量超过 480 mm, 差异超过 160 mm。两个省级站位置更加靠近, 距离国家站水平距离 50 km 左右, 该地区境内多山, 地势北高南低, 地形以山地、丘陵为主, 复杂地形对降水影响较大, 局部地区更容易出现极端强

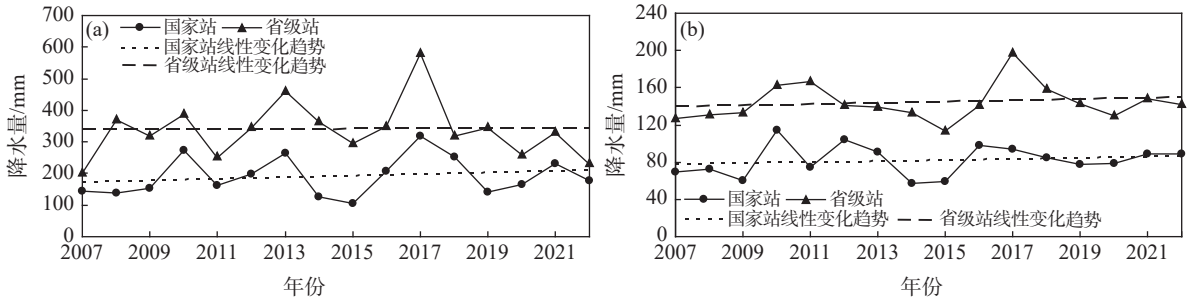


图 5 2007—2022 年辽宁省国家站和省级站最大日降水量极值 (a) 和平均值 (b) 的年际变化

Fig. 5 Annual variation of maximum daily precipitation (a) extreme and (b) average value at the national and provincial meteorological stations in Liaoning Province from 2007 to 2022

表 2 2007—2022 年辽宁省国家站和省级站最大日降水量前 6 位

Table 2 Top 6 maximum daily precipitation of national and provincial meteorological stations in Liaoning Province from 2007 to 2022

国家站			省级站		
行政区/站号	降水量/mm	时间/(年-月-日)	行政区/站号	降水量/mm	时间/(年-月-日)
鞍山岫岩县/54486	317.6	2017-8-4	丹东东港市/L4811	582.0	2017-8-6
葫芦岛兴城市/54455	274.2	2010-8-5	盘锦盘山县/L9190	519.0	2017-9-30
锦州黑山县/54335	264.1	2013-8-16	鞍山岫岩县/L3283	495.0	2017-8-4
大连普兰店区/54569	253.1	2018-8-20	鞍山岫岩县/L3202	487.1	2017-8-4
朝阳双塔区/54324	246.6	2017-8-3	大连庄河市/L2105	469.0	2017-8-4
大连长兴岛/54565	238.3	2018-8-20	丹东东港市/L4866	461.9	2013-6-23

降水, 方锋等 (2023) 也指出由于高原等复杂地形的影响, 降水极值多出现在省级站, 具有局地性, 极值明显高于国家站, 与本文分析结果较一致。因为省级站数量多分布广, 能更精细地反映强降水的分布和变化, 因此加强省级站的监测分析非常必要。

从辽宁省最大日降水量空间分布 (图 6) 可见, 国家站和省级站空间分布形态基本一致, 二者的空间相关系数为 0.76, 相关性较好。两类站点的高值区主要位于辽宁东南部以及葫芦岛, 最大日降水量基本在 170 mm 以上, 低值区域有一定差异, 国家站的低值区主要位于朝阳西部和辽宁中部, 而省级站的低值区范围更广, 除了朝阳西部和辽宁中部之外, 辽宁北部地区也是最大日降水量低值区域, 且省级站最小值明显小于国家站, 省级站最大值也明显高于国家站。对比二者差异可以发现, 利用国家站数据计算得到的高值区域面积更大, 分布更加简单平滑, 且连片分布。这是因为国家站数量稀少, 进行空间插值时会形成大范围的高值区域, 导致一定范围的最大日降水量存在被放大的可能性, 特别是站点稀疏和分散的区域。由于省级站数量显著多于国家站, 能更好的刻画出最大日降水量在局部区域的细节特征, 显示出更多离散分布的小斑块高值区和低值区。对比两类站点的极值, 可以看出省级站能够监测到更多国家站收集不到的强降水事件, 伍红雨等 (2020) 也指出由于国家站数量少, 空间分辨率较低, 容易导致降水事件的极端性被低估。

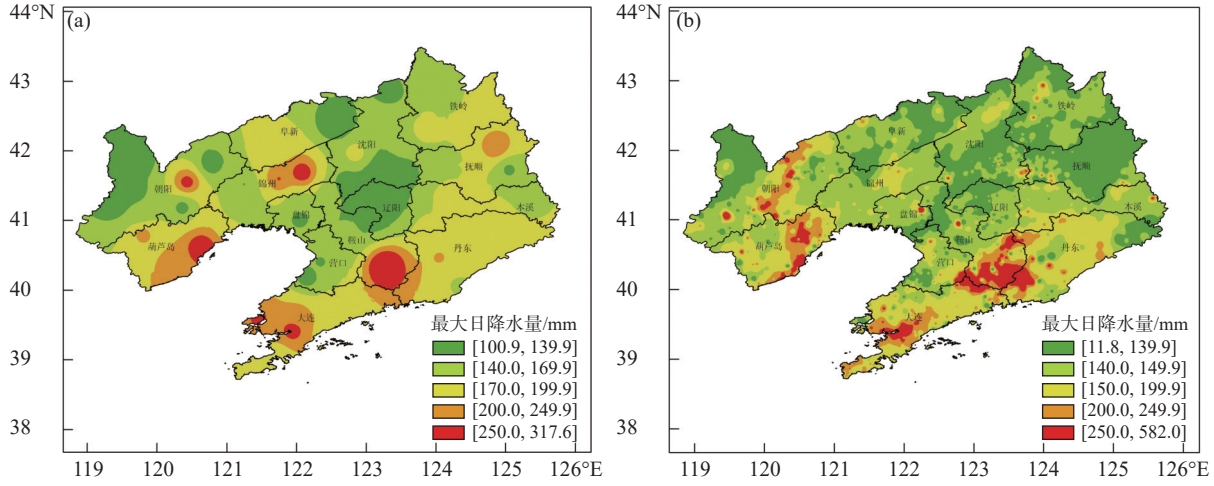


图 6 2007—2022 年辽宁省国家站 (a) 和省级站 (b) 最大日降水量空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of maximum daily precipitation at (a) national and (b) provincial meteorological stations in Liaoning Province from 2007 to 2022

2.4 暴雨日数与年雨涝指数空间分布

为了揭示辽宁省各地暴雨致灾风险的程度, 本文对比了暴雨日数与年雨涝指数的空间分布特征 (如高值区是否重合)。暴雨日数能够定量刻画暴雨事件的发生频次, 与年雨涝指数的累积效应形成互补, 共同揭示区域强降水致灾风险的完整特征 (Zhao et al., 2018)。2007—2022 年辽宁省暴雨日数 (图 7) 呈现为自东南向西北递减的空间分布格局, 国家站和省级站空间分布形态总体一致, 二者的空间相关系数达 0.92, 通过了 0.05 的显著性水平检验。可见辽宁省暴雨日数高值区主要位于丹东市, 较高值区域主要位于东南部城市群, 朝阳、阜新地区暴雨日数较少。

从 2007—2022 年辽宁省年雨涝指数空间分布图 (图 8) 可以看出, 无论是国家站、省级站还是所有站点的年雨涝指数在空间上均呈现出自西北向东南递增的分布形式, 国家站的年雨涝指数高值区主要位于丹东、鞍山南部和大连东南部地区, 这些地区出现强降水的概率和强度最大, 朝阳市年雨涝指数最小, 出现强降水的概率和强度相对较低 (图 8a)。国家站和省级站空间分布形态基本一致, 二者的空间相关系数达 0.86, 通过了 0.05 的显著性水平检验。省级站和所有气象站的空间分布形式高度一致, 年雨涝指数高值区主要位于丹东市和大连东南部地区, 年雨涝指数低值区域位于朝阳、阜新和抚顺部分地区 (图 8b、c)。

结合暴雨日数分布 (图 7) 可以发现, 年雨涝指数高值区累积降水量大、暴雨持续时间长、强度大, 丹东、大连地形多以山地为主, 地势起伏大, 容易引发暴雨洪涝灾害; 并且丹东为辽宁省地质灾害高发地区, 滑坡、泥石流较多, 地质灾害隐患点较多且地势复杂, 因此易发生由暴雨引发的直接和次生灾害。

从辽宁省省级站降水资料的可靠性分析来看, 无论是暴雨日数还是最大日降水量空间分布均基本

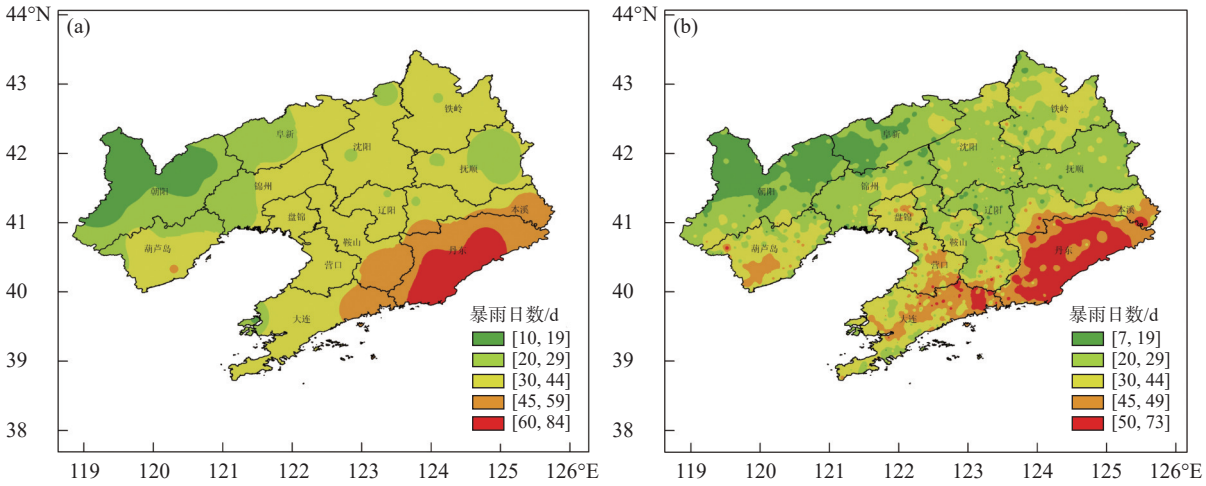


图 7 2007—2022 年辽宁省国家站 (a) 和省级站 (b) 暴雨日数空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of rainstorm days of (a) national and (b) provincial meteorological stations in Liaoning Province from 2007 to 2022

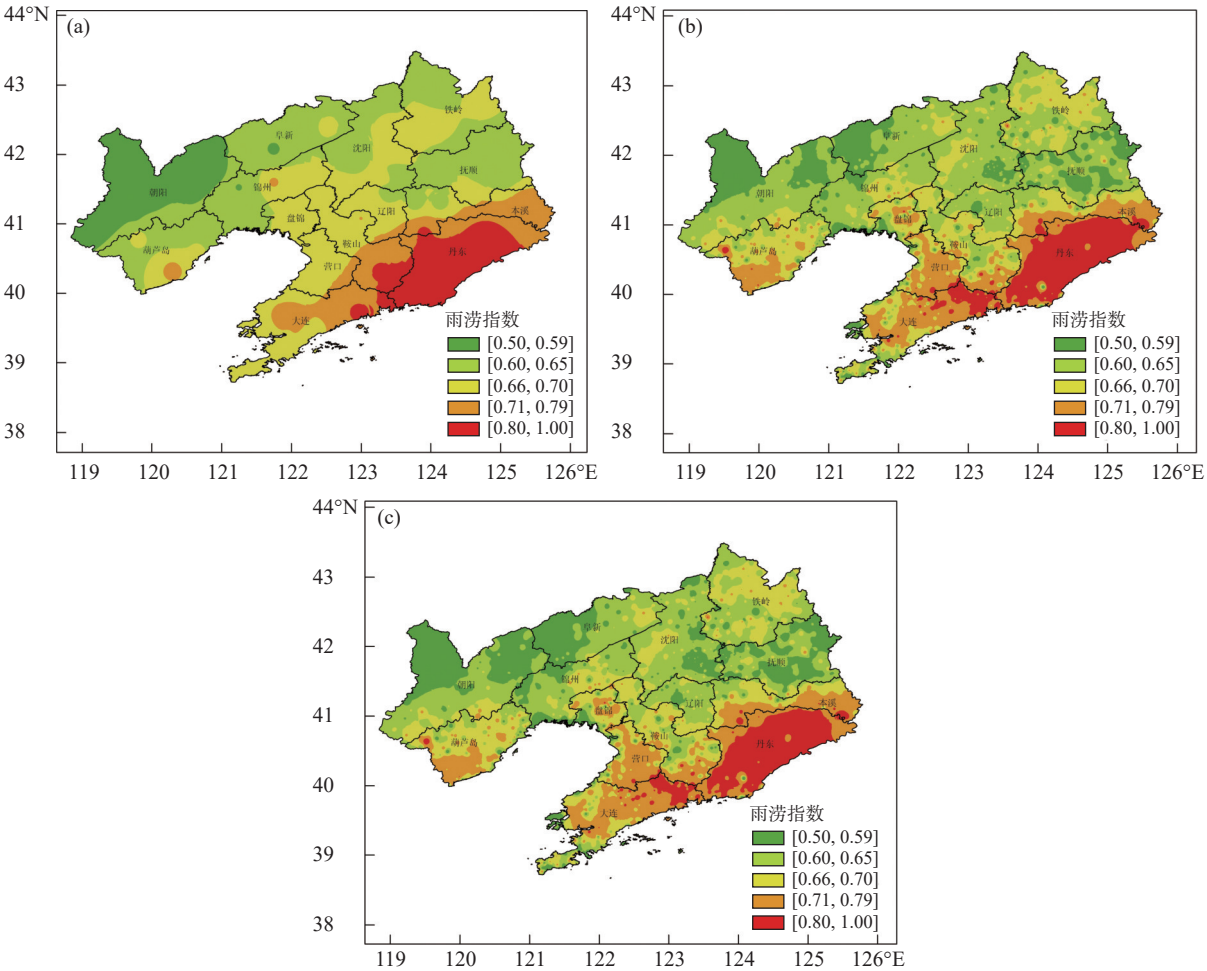


图 8 2007—2022 年辽宁省国家站 (a)、省级站 (b) 和所有气象站 (c) 年雨涝指数空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of annual rain-waterlogging index of (a) national, (b) provincial and (c) all meteorological stations in Liaoning Province from 2007 to 2022

一致，说明省级站降水资料稳定可靠；省级站的降水极值明显大于国家站，反映出强降水的局地性特征。总体来说，省级站站网分布更密集，质量控制后的省级站资料能更精细地刻画辽宁省降水特征，特别是地形复杂区域，应以省级站数据为依据进行灾害判识和防御，作为国家站资料的有效补充，应用于天气预报、精细化风险预警、定量化风险评估、防灾减灾和决策服务。

3 结论与讨论

本文利用 2007—2022 年辽宁省国家站和省级站逐日和逐小时降水资料, 对比研究了两类站点月及汛期降水量、最大日降水量、暴雨日数、年雨涝指数等时空分布特征, 得到如下主要结论:

(1) 基于辽宁省省级站和国家站观测资料分析得出, 逐月降水和汛期降水具有较好的一致性, 呈显著相关; 2007—2022 年辽宁省逐年汛期降水量呈增加趋势, 省级站的增速快于国家站, 呈显著增加趋势。两类站点汛期降水量的时间变化特征基本一致, 降水量差异相对较小, 省级站的年际变化幅度比国家站略大, 且汛期降水的高值范围较国家站更大。两类站点的平均汛期降水量接近, 降水极值差异显著, 省级站汛期降水最大值高于国家站。

(2) 基于辽宁省国家站和省级站观测的最大日降水量极值和平均值年际变化较为一致, 均呈增加趋势。辽宁省 8 月更容易发生强降水事件, 且降水极值多出现在省级站, 局地性强, 极值明显高于国家站。两类站点最大日降水量的空间分布较一致, 相关系数为 0.76; 而省级站比国家站有更多小范围的高值和低值中心, 差异在辽宁中部和东部地区比较明显; 高值区主要位于辽宁东南部以及葫芦岛。省级站能更好地刻画出最大日降水量在局部区域的细节特征, 国家站空间分辨率较低, 容易导致降水事件的极端性被低估。

(3) 基于两类站点分析的暴雨日数和年雨涝指数均自西北向东南递增; 年雨涝指数高值区主要位于丹东和大连东南部地区, 该地区累积降水量大、暴雨持续时间长、极端性强, 再加上地形多以山地为主, 易发生由暴雨引发的直接和次生灾害。

地形变化、城市气候效应、局地环境因素、仪器设备差异等都可能导致国家站和省级站监测的降水存在差异, 总体上, 辽宁省省级站数据能够更精细地描绘出汛期降水和强降水的时空分布特征, 并在局地区域监测到更多的极端降水事件。但受省级站数据年限较短的限制, 不能完全反映近年来气候变化背景下强降水事件的新特征。此外, 对站点间降水差异的物理机制解析尚不够深入, 特别是城市化效应和地形强迫对降水差异的定量贡献需要更细致的探讨。针对这些不足, 未来研究将从多源数据融合的角度进行深化。首先, 引入高时空分辨率的卫星遥感数据, 以弥补地面观测的空间局限性, 特别是在站点稀疏的复杂地形区域。其次, 需要结合数值模式开展高分辨率模拟试验, 通过敏感性分析量化不同物理过程对降水差异的贡献。构建一体化监测网络, 将站点观测、遥感反演和数值模拟有机结合, 以提升对强降水事件的捕捉能力和机理认识。这些改进不仅有助于深化对区域降水特征的科学认识, 更能为暴雨灾害预警和气候变化应对提供更可靠的技术支撑, 增强气象灾害服务的针对性和实用性。

参考文献 (References):

敖雪,翟晴飞,崔妍,等.2020.不同升温情景下中国东北地区平均气候和极端气候事件变化预估[J].气象与环境学报,36(5):40−51. Ao X, Zhai Q F, Cui Y, et al. 2020. Prediction of changes in mean and extreme climate events in Northeast China under different warming scenarios [J]. Journal of Meteorology and Environment,36(5):40−51 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1673−503X.2020.05.006

敖雪,翟晴飞,赵春雨,等.2023.全球 1.5℃ 和 2℃ 升温下辽河流域极端降水变化预估[J].气象与环境学报,39(6):69−79. Ao X, Zhai Q F, Zhao C Y, et al. 2023. Projected changes of extreme precipitation in Liaohe River Basin at global warming levels of 1.5 ℃and 2.0 ℃ [J]. Journal of Meteorology and Environment,39(6):69−79 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1673−503X.2023.06.009

蔡雯悦,刘远,翟建青.2023. 2021 年秋季中国气候异常特征及主要气象灾害[J].气象科技,51(1):56−65. Cai W Y, Liu Y, Zhai J Q, et al. 2023. Climatic anomalous characteristics and major meteorological disaster events over China in autumn 2021 [J]. Meteorological Science and Technology,51(1):56−65 (in Chinese). doi:10.19517/j.1671−6345.20220037

陈永仁.2024.四川极端性暴雨的研究进展及新认识[J].高原与山地气象研究,44(1):1−9. Chen Y R. 2024. Research progress and new understanding of extreme rainstorms in Sichuan [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research,44(1):1−9 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1674−2184.2024.01.001

戴廷仁,王小桃,栾健,等.2016. 1961-2013 年辽宁省夏季降水时空变化分布特征分析[J].现代农业科技,10(5):205−209. Dai T R, Wang X T, Luan J, et al. 2016. Analysis on spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in summerin Liaoning Province during 1961-2013, China [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 10(5):205−209 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1007−5739.2016.05.121

方锋,王静,刘卫平,等.2023.基于不同气象站资料的甘肃省汛期降水及极端降水分析[J].高原气象,42(6):1468−1477. Fang F, Wang J, Liu W P, et al. 2023. Analysis of flood season precipitation and extreme precipitation in Gansu province based on data from different types of meteorological stations [J]. Plateau Meteorology,42(6):1468−1477 (in Chinese). doi:10.7522/j.issn.1000−0534.2023.00008

顾岩梅,王付华.2009.大兴安岭地区加密观测前后气象资料的对比分析[J].黑龙江气象,26(1):32−33. Gu Y M, Wang F H. 2009. Comparative analysis of meteorological data of normal observation and dense observation in Daxinganling mountainous [J]. Heilongjiang Meteorology,26(1):32−33 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1002−252X.2009.01.013

贺晓露,郝元甲,祁海霞,等.2023.湖北“8·12”极端降水特征及成因初探[J].暴雨灾害,42(1):13−23. He X L, Hao Y J, Qi H X, et al. 2023.

Analysis of characteristics and causes of "8.12" extreme precipitation in Hubei Province [J]. Torrential Rain and Disasters,42(1):13−23 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2022−109

黄元森,林毅,陈小梅.2016.近 50 年闽北前汛期强降水气候特征分析[J].气象研究与应用,37(S1):56−58. Huang Y S, Lin Y, Chen X M. 2016. Analysis of climatic characteristics of heavy rain in the flood season in North Fujian in the past 50 years [J]. Journal of Meteorological Research and Application,37(S1):56−58 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1673−8411.2016.z1.026

任芝花,赵平,张强,等.2010.适用于全国自动站小时降水资料的质量控制方法[J].气象,36(7):123−132. Ren Z H, Zhao P, Zhang Q, et al. 2010. Quality control procedures for hourly precipitation data from automatic weather stations in China [J]. Meteorological Monthly, 36(7):123−132 (in Chinese). doi:10.7519/j.issn.1000−0526.2010.7.019

司丽丽,邵琪,赵亮,等.2023.基于高密度气象站的订正与日极端降水量精细化研究[J].自然灾害学报,32(3):145-157. Si L L, Shao Q, Zhao L, et al. 2023. Adjusting and refinement of daily extreme precipitation based on high-density weather stations [J]. Journal of Natural Disasters,32(3):145-157 (in Chinese). doi:10.13577/j.jnd.2023.0314

孙继松,雷蕾,于波,等.2015.近 10 年北京地区极端暴雨事件的基本特征[J].气象学报,73(4):609−623. Sun J S, Lei L, Yu B, et al. 2015. The fundamental features of the extreme severe rain events in the recent 10 years in the Beijing area [J]. Acta Meteorological Sinica,73(4): 609−623 (in Chinese). doi:10.11676/qxxb2015.044

田付友,郑永光,张小玲,等.2018. 2017 年 5 月 7 日广州极端强降水对流系统结构、触发和维持机制[J].气象,44(4):469−484. Tian F Y, Zheng Y G, Zhang X L, et al. 2018. Structure, triggering and maintenance mechanism of convective systems during the Guangzhou extreme rainfall on 7 May 2017 [J]. Meteorological Monthly, 44(4):469−484 (in Chinese). doi:10.7519/j.issn.1000−0526.2018.04.001

伍红雨,李芷卉,李文媛,等.2020.基于区域自动气端强降水特征分析[J].气象,46(6):801−812. Wu H Y, Li Z H, Li W Y, et al. 2020. Characteristics analysis of extremly severe precipition based on regional automatic weather stations in Guangdong [J]. Meteorological Monthly,46(6):801−812 (in Chinese). doi:10.7519/j.issn.1000−0526.2020.06.007

谢五三,唐为安,王胜.2023.安徽省暴雨灾害致灾危险性评估[J].暴雨灾害,42(3):353−359. Xie W S, Tang W A, Wang S. 2023. Disaster-causing hazard assessment of rainstorms in Anhui Province [J]. Torrential Rain and Disasters,42(3):353−359 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2022−118

轩春怡,刘勇洪,杨晓燕,等.2020.基于 1 km 网格的北京暴雨洪涝灾害风险区划[J].气象科技,48(4):579−589. Xuan C Y, Liu Y H, Yang X Y, et al. 2020. Risk zoning of Beijing rainstorm disasters based on 1 km resolution grids [J]. Meteorological Science and Technology, 48(4):579−589 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1007−6190.2019.05.013

姚俊强,陈静,周桂香,等.2024.新疆南部暴雨研究: 科学认知与主要进展[J].沙漠与绿洲气象,18(5):1−8. Yao J Q, Chen J, Zhou G X, et al. 2024. Research on heavy rainfall in southern Xinjiang: scientific knowledge and research advances [J]. Desert and Oasis Meteorology,18(5):1−8 (in Chinese). doi:10.12057/j.issn.1002−0799.2024.05.001

周波涛,钱进.2021. IPCC AR6 报告解读: 极端天气气候事件变化[J].气候变化研究进展,17(6):713−718. Zhou B T, Qian J. 2021. Changes of weather and climate extremes in the IPCC AR6 [J]. Climate Change Research,17(6):713−718 (in Chinese). doi:10.12006/j.issn.1673−1719.2021.167

中国气象局. 2021. 全国气象灾害综合风险普查技术规范: 暴雨灾害调查与风险评估技术规范 (灾害调查类)[S]. 中国气象局全国气象灾害综合风险普查领导小组办公室:1-20. China Meteorological Administration. 2021. Technical specification for national meteorological disaster comprehensive risk survey: technical specification for rainstorm disaster investigation and risk assessment (disaster investigation) [S]. Office of the Leading Group for the National Comprehensive Meteorological Disaster Risk Survey of the China Meteorological Administration:1-20 (in Chinese)

周荫庭,王连慈.2012.淳安暴雨特征及精细化服务策略思考[J].浙江气象,33(2):44−49. Zhou Y T, Wang L C. 2012. Thinking on the characteristics and fine service strategy of Chun'an rainstorm [J]. Journal of Zhejiang Meteorology,33(2):44−49 (in Chinese). doi:10.11898/1001−7313.20240101

Ao X, Zhai Q F, Zhao C Y, et al. 2022. Influence of urbanization on spatio-temporal characteristics of extreme hourly precipitation in Shenyang [J]. Land,11(9):1487. doi:10.3390/land11091487

IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis [M]. Cambridge:Cambridge University Press:24. doi:10.1017/9781009157896

Yang P, Ren G Y, Hou W, et al. 2013. Spatial and diurnal characteristics of summer rainfall over Beijing municipality based on a high-density AWS dataset [J]. International Journal of Climatology,33(13): 2769−2780. doi:10.1002/joc.3622

Zhao G, Pang B, Xu Z X, et al. 2018. Mapping flood susceptibility in mountainous areas on a national scale in China [J]. Science of the Total Environment,615:1133−1142. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.037

(责任编辑 张 文)