

张鑫,曹蕾,杜静,等. 东北三省 1961—1990 年与 1991—2018 年降水量变化综合观测[J]. 江苏农业科学,2020,48(21):282–287.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2020.21.053

# 东北三省 1961—1990 年与 1991—2018 年 降水量变化综合观测

张鑫,曹蕾,杜静,王一达,韩基良

(黑龙江省哈尔滨市气象局,黑龙江哈尔滨 150028)

**摘要:**利用 1961—2018 年东北三省 32 个国家气象观测站逐日降水资料,对黑、吉、辽三省极端降水的时空变化特征进行分析。对比 1961—1990 年和 1991—2018 年这 2 个时间段,先后对其最大 24 h 降水量、农作物主要生长季降水量、最大月降水、日降水量 $\geq 10$  mm 以及 $\geq 25$  mm 的日数、连续无雨日数(CDD)和连续降水日数(CWD)等极端降水指标进行了分析,发现与 1961—1990 年相比,过去 30 年冬季降水量增加,但分布不均匀性也增加,最大月降水总量在 300~400 mm 范围内数据分布密度较高,强降水日数相近,但数据集中度更好,连续降水日数的密度大值区提高 1.0~1.5 d,东北三省的夏季 24 h 最大降水量呈现出西部增长东部减少趋势。

**关键词:**极端降水;空间分布;变化趋势;东北三省;降水量

**中图分类号:**P426.62<sup>+</sup>3;S161.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2020)21–0282–06

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在丹麦哥本哈根发布了 IPCC 第 5 次评估报告的《综合报告》,IPCC 第 5 次评估报告指出,近百年全球气候变暖,1880—2012 年全球地表平均温度上升了 0.85℃<sup>[1]</sup>。

东北三省人口聚集,作为水稻等粮食主产区,受季风气候影响,对灾害事件较为敏感。因此,针对可能造成灾害的极端降水进行研究,分析其在东北三省的时空分布及极端降水变化趋势,以期为该地区防灾减灾及合理利用云水资源提供依据。

国内外的研究学者们对长周期降水变化特征对比研究做了大量工作,波兰学者 Tomczyk 等对波兰 1966—2015 年 50 年的研究周期进行了详细解读,从生长季角度重点分析了降水条件以及热条件对降水条件变化的影响<sup>[2]</sup>。Szymanowski 等对波兰西南部 1891—1930 年和 1981—2010 年 2 个时间段降水分布的变化情况进行了定量分析,计算了平均月降水量和季节降水量间的绝对差异以及大陆度指数<sup>[3]</sup>。Pińskwar 等通过几个研究指标(冬季 10 月

至次年 3 月和夏季 4—9 月 24 h 降水量、最大 5 d 降水量、最大月降水量、强降水和强降水日数等)分析了波兰 1961—1990 年和 1991—2015 年 2 个时间段降水丰度和亏缺指数的变化<sup>[4]</sup>。

在全球气候变化背景下,整个中国地区极端降水时空差异也存在明显差异。我国东部夏季降水大值区具有华南—江淮流域—华北—东北的分布特征,1990 年和 2000 年是 2 个旱涝灾害特征突变点<sup>[5]</sup>;贺冰蕊等的研究认为,我国整体降水趋势以增加为主,东北北部尤为明显,东北北部及南部等地的非持续性极端降水量增加趋势明显<sup>[6]</sup>。

有研究表示,极端降水事件在我国具有较强的地域差异<sup>[7]</sup>,对于不同地区不同阈值判断得到的极端降水事件意义也不同,以区域为基础研究尤其重要。京津冀地区<sup>[8]</sup>、晋陕蒙地区<sup>[9]</sup>、西南地区<sup>[10]</sup>、贵州高原<sup>[11]</sup>、浙江<sup>[12]</sup>等地区相继开展了极端降水的相关研究。就我国东北地区而言,近年来东北夏季降水的年代际变化受到重视,东北三省也有不少关于极端降水的相关研究。

王波等从黑龙江省 3 个典型区域,即三江平原、松嫩平原和大小兴安岭林区,着重从四季变化的角度采用极端气候事件综合强度指数模型方法分析了极端气温与降水事件的时空变化<sup>[13]</sup>。李洋等选取了欧洲地区极端事件统计和区域动力降尺度(STARDEX)项目提出的 57 个极端指数中的 8 个核

收稿日期:2020–02–21

基金项目:基于 CLDAS2.0 土壤水分监测产品本地化应用及初步评估(编号:HQZC2019028)。

作者简介:张鑫(1985—),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要从事短时临近预报和气象数据处理研究。E-mail:zhangqqqf@126.com。

心指数,分析和揭示东北三省极端气候事件的空间格局及变化,其中涉及的降水指数有 4 个<sup>[14]</sup>。徐萌等利用 95 百分位阈值法,定义出所选站点的极端降水事件,选取极端降水量、极端降水频次、极端降水强度、极端降水频次比率和极端降水量比率等 5 个指标,分析了东北三省的时空分布特征<sup>[15]</sup>。孙凤华等分析了东北地区的气候时空变化规律、突变特征和暖干化趋势,并利用分级法从小雨事件、暴雨事件、严重干燥事件、严重湿润事件等方面开展了分析<sup>[16-18]</sup>。

但是,这些研究多关注于某一时段的极端气候事件,而对一个地区极端气候事件的前后时间段对比综合研究还比较少,本研究利用 1961—2018 年东北三省逐日降水量资料,基于极端降水指数,对该区域过去 28 年(1991—2018 年)与 1961—1990 年气候标准正常期极端降水事件的时空变化特征进行对比分析。通过分析观测降水极值的变化情况,试图探测降水中的气候变化信号。

## 1 数据与方法

本研究使用的降水数据资料来源于全国综合气象信息共享平台(CIMISS)气象数据统一服务接口(MUSIC)中的中国地面日值资料(1961—2018 年),数据集较完整,数据初步质量控制时检测是否存在不符合逻辑的异常值或数据不完整情况,包括:(1)降水量 < 0 mm,降水量 = 999 mm,剔除不合理的记录或将其设置为缺测值;(2)利用 Mann-Whitney-Pettitt(MWP)法检验数据的同质性;(3)东北三省从 38 个(吉林省 9 个,黑龙江省 15 个,辽宁省 14 个)国家气象观测站中筛选出 32 个站点数据(其中黑龙江省加格达奇区、吉林省白山市、辽宁省大连市、黑龙江省大庆市、黑龙江省七台河市等站点因数据资料不完整而剔除)。由图 1 可以看出,东北三省国家气象观测站降水资料站点的空间覆盖情况。东北大部分观测站海拔高度较低,除吉林省有较明显的观测站海拔高度差异,即东高西低,东部延边、白山的海拔较高外,黑龙江和辽宁的观测站高度差异均不明显,且大部分低于 400 m。

Frich 等于 2002 年提出 5 个极端降水指数(R10、R5d、NCDD、ISDII、R95T)<sup>[19]</sup>,之后气候变化检测、监测和指数专家组(ETCCDMI)提出了 11 个极端降水指数<sup>[20]</sup>,Frich 等提出的极端降水指数在很多研究中被应用,经大量研究证明具有很好的指

示意义,本研究选取 Frich 等提出的 5 个极端降水指数,使用 1961—2018 年降水日值资料,计算出与极端降水有关的指标,如表 1 所示。

表 1 极端降水指标

名称简写	名称	定义	单位
RX1d	日降水量	全年最大 24 h 降水量	mm
RX1m	月降水量	全年最大月降水量	mm
R10	中雨日数	日降水量 ≥ 10 mm 日数	d
R20	大雨日数	日降水量 ≥ 25 mm 日数	d
CDD	连续无雨日数	日降水量 < 1 mm 的最长周期	d
CWD	连续降水日数	降水量 ≥ 1 mm 的最长连续日数	d

本研究计算东北三省 32 个观测站 1961—2018 年期间全年最大日降水量、全年最大月降水量,并把 2 个研究时段(1961—1990 年和 1991—2018 年)进行对比分析。最大 24 h 降水量的平均值,冬季范围为 11.6 ~ 92.2 mm,大多数不超过 40 mm,夏季范围为 97.5 ~ 247.5 mm。全年最大月降水量范围为 248.5 ~ 496.5 mm,大多数超过 300 mm,只有 5 个值不超过 300 mm。本研究中还计算与 1961—1990 年气候标准正常期相比,过去 30 年(1991—2018 年)气象站降水极端指数的百分率变化情况。此外,还将分析 3 个省会城市的主要生长季节及冬季降水量的 5 年滑动平均值与线性趋势,并对这些汇总数据进行检查,以便发现变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 极端降水指数空间格局变化特征

本研究用极端降水指数前后 2 个研究时段的变化百分率表示其前后的变化,计算公式如下:

$$Q = (D - R) / R \times 100\%。$$

式中:Q 表示 2 个时段前后变化百分率;D 表示 1991—2018 年研究时段的极端降水指数;R 表示 1961—1990 年研究时段的极端降水指数。

如图 1-a 所示,东北三省夏季最大日降水量在 1991—2018 年相对于 1961—1990 年的正负变化率的站点数大致相等,西部呈增长变化,东部呈减少变化,正变化率较大值基本位于黑龙江省和吉林省;1991—2018 年冬季最大日降水量相对于 1961—1990 年基本呈增长变化,冬季正百分比增长值在 100% 以下的有 22 个站点,有 8 个站点的增长值 100% 以上(图 1-b);1991—2018 年相对于 1961—

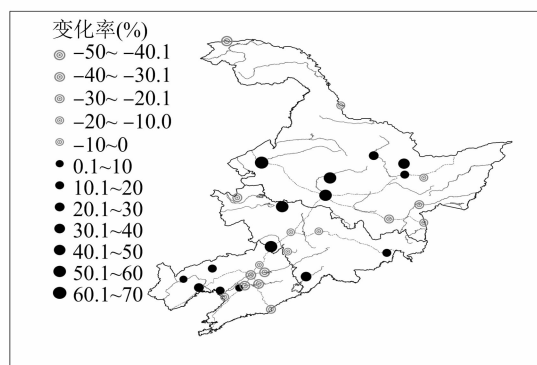
1990 年的最大日降水量变化百分比正负相间,正百分比比较大值基本上位于黑龙江省和吉林省。

图 1-c 中日降水量 > 10 mm 的日数与图 2-d 中日降水量 > 20 mm 的日数变化百分率的正负趋势基本相同(除黑龙江省的 3 个站点外);东北三省的北部地区近 30 年大部分站点变化百分率是正数,南部地区辽宁省的大部分站点与黑吉两省趋势相反,变化百分率是负数。

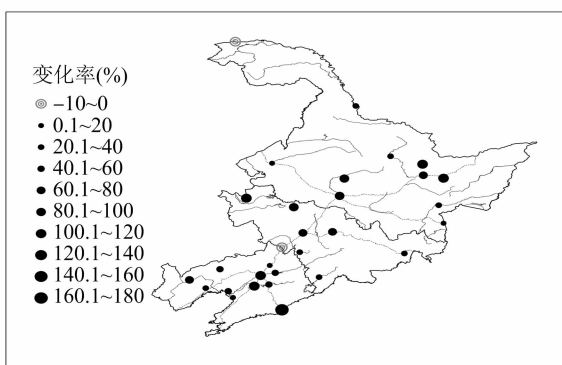
图 1-e 中最大连续无雨日数(CDD)分析结果显示,东北三省的大部分站点区域的最大连续无雨日数在 1991—2018 年相对于 1961—1990 年变化的

天数均少于 5 d。计算变化百分率的结果可知,东北三省最大连续无雨日数的正负变化百分率大致处于均等的状态,正负变化率各占一半。

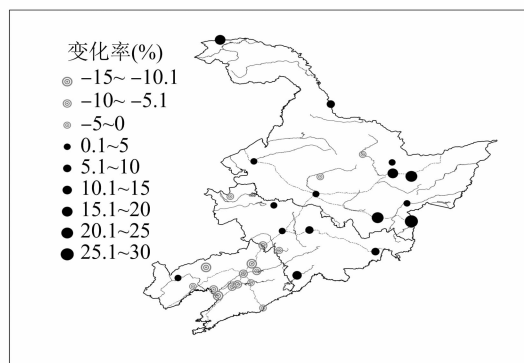
图 1-f 中最长连降水日数分析结果表明,连续降水日数基本上在 5~9 d 之间变化,2 个时间段间变化幅度不大,大致处于 0~2 d 的变化量,变化百分率负值的区域大于正值,东北三省近 30 年相比于前 30 年(1961—1990)最长连续降水日数减少的站点多于增多的站点,总体区域变化情况是在东北三省的北部和南部减少,中部增加。



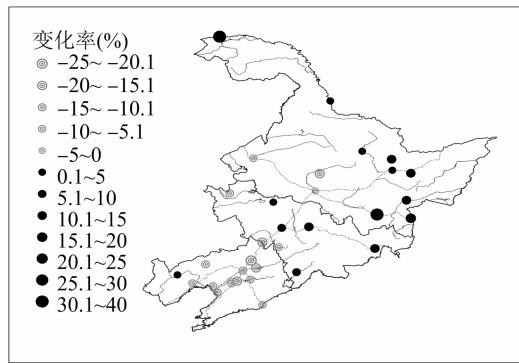
a. 夏季最大日降水量



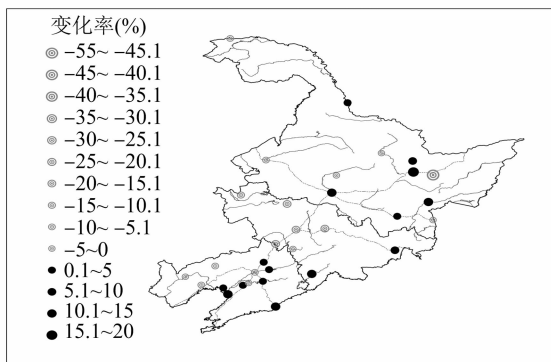
b. 冬季最大日降水量



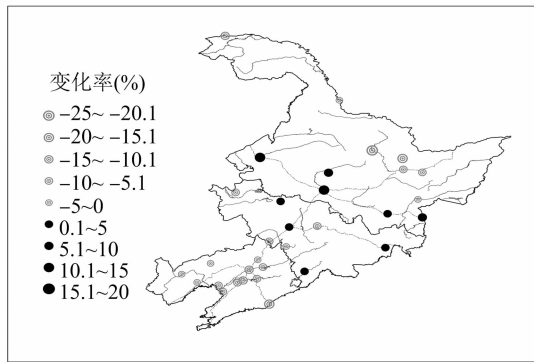
c. 日降水量 > 10 mm 的日数



d. 日降水量 > 20 mm 的日数



e. 最大连续无雨日数



f. 最长连续降水日数

图1 1991—2018 年与 1961—1990 年极端降水指数变化率

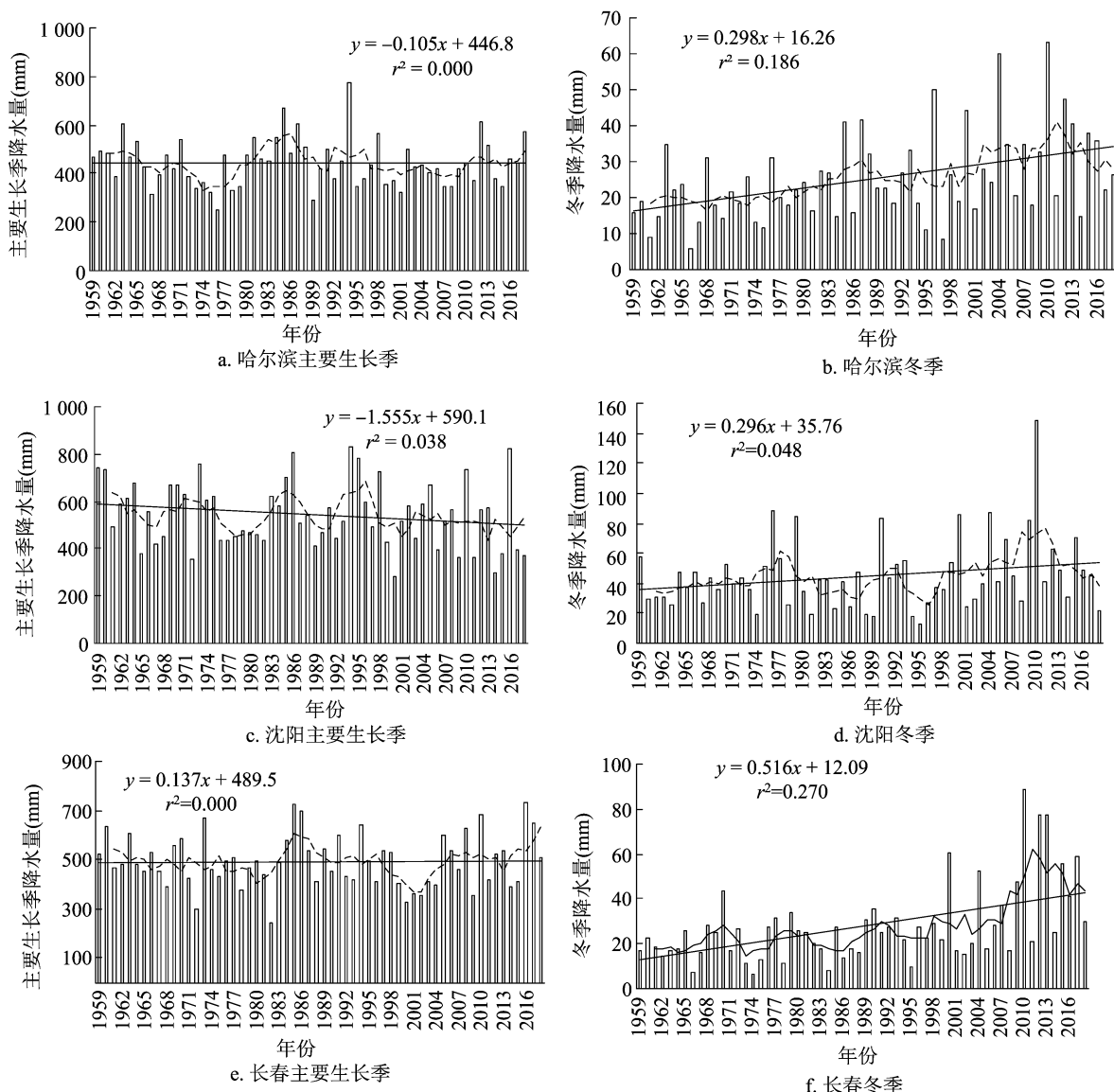
## 2.2 极端降水指数时间序列变化特征

这里选定东北三省的省会城市为哈尔滨、沈阳和长春,在多年的研究中,大多数观测站观测到冬季降水量总和有所增加(图2),哈尔滨和沈阳在多年统计中降水量增速大致是3 mm/10年,长春的为5 mm/10年,冬季降水量总和5年滑动平均值以长春的拟合度最好,其次是哈尔滨和沈阳。这里的冬季降水量考虑我国东北部的气候特征,以11月、12月、1月、2月降水量的总和作为冬季降水量。

由图2可见,3个省会城市的主要生长季和冬季降水量均呈现不同程度的变化趋势,哈尔滨和沈阳在5—9月的降水量总和呈现下降趋势,下降速率分别为-1.05、-15.55 mm/10年,长春在5—9月

的降水量以及3个省会城市的冬季降水量呈现上升趋势,上升速率分别为1.37、2.98、2.96、5.16 mm/10年,3个省会城市冬季降水量呈现增长趋势,冬季降水量总和5年滑动平均值与线性趋势存在一定的拟合程度,虽然也有降水量增加或减少交替变化的情况,但波动相对缓和,总体呈增加的趋势,特别是2000年之后,降水量突变较多,存在多个降水量大值年份,极端降水出现概率增加。

夏季降水量总和5年滑动平均值呈现增加-减少交替变化的趋势,哈尔滨站60年代、90年代后的5年滑动平均曲线波动相对缓和,70年代、80年代有波谷波峰状波动,呈现先减少后升高的趋势;沈阳站2000年之后5年滑动平均曲线波动相对缓和。



虚线: 5 年滑动平均线; 实线: 线性趋势

图2 选定站点主要生长季降水量总和及冬季降水量总和

1961—2000 年降水量增加—减少交替变化的趋势明显,1967 年、1978 年、1989 年左右分别出现减少波谷状,之后又伴随着上升走势;长春站由 5 年滑动平均值的变化趋势来看,1999—2003 年间表现为减少趋势,其他时间的波动相对缓和。

### 2.3 极端指数对比分析

为更好地显示极端指数的数据分布形状,本研究对 1991—2018 年与 1961—1990 年的数据通过小提琴图进行对比分析。由图 3-a 可知,与 1961—1990 年相比,过去 30 年冬季最大日降水总量的最小值、中位数、75% 值和最大值均有所上升,四分位距 (IQR) 与核密度角度均看出其分散程度,存在比较明显的离散值,前 30 年比较集中。与 1961—1990 年相比,过去 30 年冬季降水量增加,分布不均匀性增强。

与 1961—1990 年相比,过去 30 年最大的月降水总量的中值、最小值、25% 值上升,75% 值、最

大值、最小值稍下降,夏季降水量整体水平抬升,降水极值稍有下降,IQR 较短,数据较集中,只有一个密集区间,即 100~150 mm 范围内数据分布密度较高,早 30 年的大值区还具有一个密集区间,从黑色矩形外部形状来看,分布很不均匀(图 3-b)。由图 3-c 可知,与 1961—1990 年相比,过去 30 年最大的月降水总量的中值上升。数据分布不均匀,最小值更小,最大值更大,300~400 mm 区间的概率密度最大,集中度较高。图 3-d 中的形状变化与图 3-c 的变化趋势一致,不同的是图 3-d 中近 30 年最大值与最小值的差缩小,数据集中度更好。图 3-e 中 2 个 30 年时间段的数据分布形状基本相同,近 30 年连续干旱日数为 20~30 d 的区间范围内的概率密度稍高。图 3-f 中与 1961—1990 年相比,过去 30 年该指数的最小值、最大值、中位数、25% 值、75% 值均有所下降,但几个特征点变化不明显,连续降水日数的密度大值区提高 1.0~1.5 d。

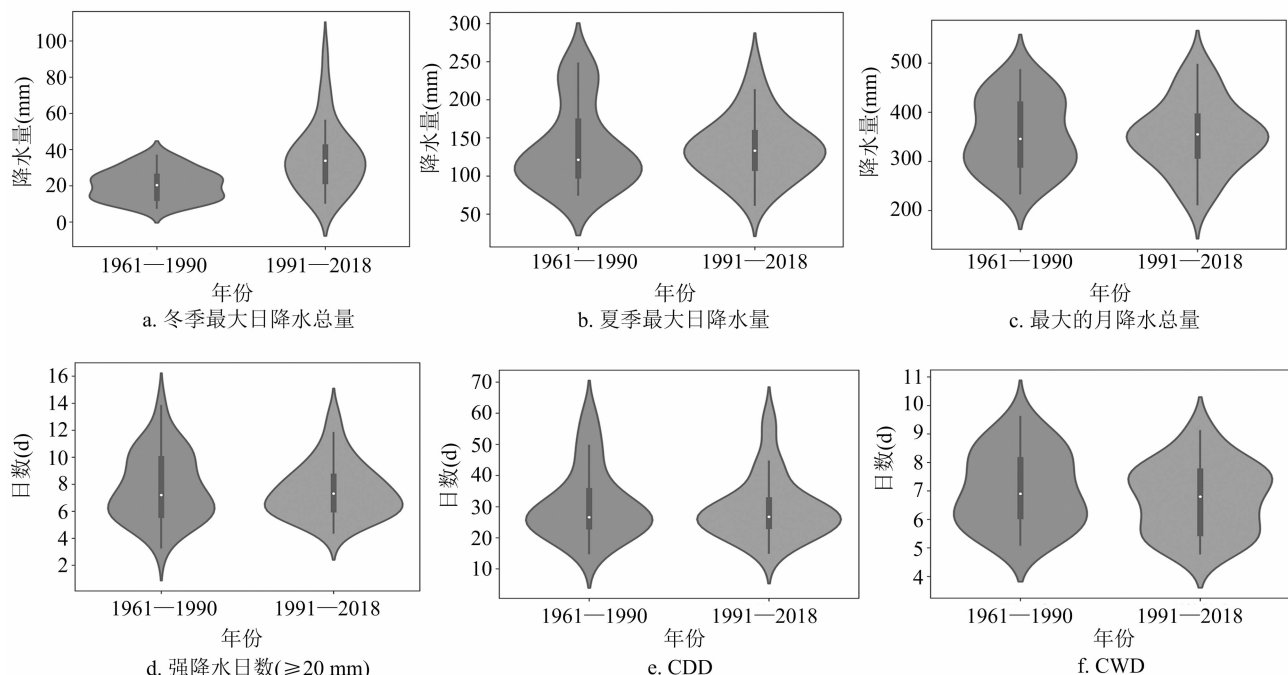


图3 各降水指标统计的小提琴图

## 3 结论

本研究对 1961—2018 年东北三省地区极端降水的时空分布和变化趋势进行了分析,得出以下主要结论。

(1) 整个研究时间段分为 1961—1990 年、1991—2018 年,先后对 2 个研究段期间最大 24 h 降水量、农作物主要生长季降水量、最大月降水、日降

水量  $\geq 10$  mm 以及  $\geq 25$  mm 的日数、CDD、CWD 等极端降水指标进行了分析。东北地区常作为我国整体降水趋势研究对象,但其各省份降水事件可能受到东北冷涡和厄尔尼诺现象不同程度的影响,极端降水观测记录中呈现南多北少,东西差异,东多西少的特征,近 30 年东西部变化百分率呈西正东负的趋势。

(2) 东北三省近 60 年降水量整体处于下降趋

势,上世纪 90 年代后极端降水频次增多,连续性降水极值记录数减少,短时极端降水分布较分散,但也有散点状、高集中等特征。小雨以上降水日数黑吉两省近 30 年呈正变化,辽宁省最大连续无雨日数最突出,极端降水概率增加。

(3)夏季 24 h 最大降水量在东北三省的西部呈增长趋势,东部呈减少趋势。冬季 24 h 最大降水量 1991—2018 年相对于 1961—1990 年的变化百分率大多数呈正变化,基本上都呈现增长变化,3 个省会城市的冬季降水量均呈现增长趋势,黑龙江省和吉林省是正百分率相对大值区,大陆度指数分析中也得到冬季降水量普遍有增加的趋势。

(4)与 1961—1990 年相比,过去 30 年冬季降水量增加,但分布不均匀性也增加;最大月降水总量在 300~400 mm 范围内数据分布密度较高;强降水日数与前 30 年趋势相同,不同的是数据集中度更好;连续降水日数的密度大值区提高 1.0~1.5 d;1961—1990 年、1991—2018 年这 2 个时间段的连续无雨日数数据分布形状基本相同,区别在于近些年连续无雨日数在 20~30 d 区间范围内的概率密度稍高些。

#### 参考文献:

- [1]董思言,高学杰. 长期气候变化——IPCC 第五次评估报告解读[J]. 气候变化研究进展,2014,10(1):56-59.
- [2]Tomczyk A M, Szyga - Pluta K. Variability of thermal and precipitation conditions in the growing season in Poland in the years 1966—2015[J]. Theoretical and Applied Climatology,2019,135, 1517-1530.
- [3]Szymanowski M, Wiczorek M, NamyŚlak M, et al. Spatio-temporal changes in atmospheric precipitation over south-western Poland between the periods 1891—1930 and 1981—2010[J]. Theoretical and Applied Climatology,2019,135:505-518.
- [4]Pińskwar I, Choryński A, Graczyk D, et al. Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991—2015 versus 1961—1990[J]. Theoretical and Applied Climatology,2019,135:773-787.
- [5]肖艳林,池再香,杨冬冬. 中国东部夏季降水特征及其与西太副高的关系[J]. 中低纬山地气象,2018,42(3):44-50.
- [6]贺冰蕊,翟盘茂. 中国 1961—2016 年夏季持续和非持续性极端降水的变化特征[J]. 气候变化研究进展,2018,14(5):437-444.
- [7]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.
- [8]申莉莉,张迎新,隆璘雪,等. 1981—2016 年京津冀地区极端降水特征研究[J]. 暴雨灾害,2018,37(5):428-434.
- [9]殷方圆,殷淑燕. 近 54 年来晋陕蒙地区降水变化特征[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(3):213-260.
- [10]王 昊,姜 超,王鹤松,等. 中国西南部区域雨季极端降水指数时空变化特征[J]. 中国农业气象,2019,40(1):1-14.
- [11]赵志龙,罗 娅,余军林,等. 贵州高原 1960—2016 年降水变化特征及重心转移分析[J]. 地球信息科学学报,2018,20(10):1432-1442.
- [12]肖晶晶,李正泉,郭芬芬,等. 浙江省 1901—2017 年降水序列构建及变化特征分析[J]. 气候变化研究进展,2018,14(6):553-561.
- [13]王 波,李永生,王 莹,等. 黑龙江省主汛期降水气候特征及预测检验评估[J]. 气象与环境学报,2018,34(4):52-58.
- [14]李 洋,王玉辉,吕晓敏,等. 1961—2013 年东北三省极端气候事件时空格局及变化[J]. 资源科学,2015,37(12):2501-2513.
- [15]徐 萌. 东北三省极端降水时空分布与概率分布特征研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [16]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.
- [17]王 萍,李秀芬,杨晓强. 生长季降水对黑龙江省水稻生产的影响[J]. 中国农学通报,2019,35(6):62-69.
- [18]鲁 菁,张玉虎,高峰. 近 40 年三江平原极端降水时空变化特征分析[J]. 水土保持研究,2019,26(2):273-281.
- [19]Frich P, Alexander L V, Della - Marta P M, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century[J]. Climate Research,2002,19(4):193-212.
- [20]Kiktev D, Sexton D M H, Alexander L, et al. Comparison of modeled and observed trends in indices of daily climate extremes[J]. Journal of Climate,2003,16(22):3560-3570.