刘婷婷,申高航,谢晓华.1981—2020年沂沭河流域极端降水事件特征及环流背景[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(3):69-77. doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.03.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



1981—2020 年沂沭河流域极端降水 事件特征及环流背景

刘婷婷,申高航*,谢晓华 (临沂市气象局,山东 临沂 276000)

摘 要:利用 1981—2020 年沂沭河流域 12 个气象台站逐日降水观测资料,西太平洋副热带高压(WPSH)指数、太平洋年代际振荡指数(PDO)以及 NCEP/NCAR 逐日再分析资料,采用统计分析、合成分析等方法,研究沂沭河流域极端降水事件的时空变化特征,并进一步研究极端降水指数与气候因子之间的相关性以及极端降水事件的异常环流背景。结果表明:沂沭河流域的极端降水事件整体上呈增多且强度增强的趋势,空间分布上南多北少,中部和北部的增速明显高于南部。极端降水频次和年极端降水量均在 1989 和 2002 年左右突增;极端降水强度在 1989 年突增, 2000 年左右突减。极端降水的频次、强度和年极端降水量分别以 22、10、22 a 的周期波动为主。西太平洋副热带高压的脊线位置与频次和年极端降水量呈正相关,PDO 与频次和年极端降水量呈负相关。东亚夏季风强度和西太平洋副热带高压的位置是影响沂沭河流域极端降水事件的重要因素,可为预测该流域极端降水提供参考。

文章编号:1002-0799(2024)03-0069-09

近年来,随着全球变暖趋势的日益加剧,极端降水事件的频次和强度不断增加,2021年 IPCC 第六次评估报告指出^[1]:强降水事件频次的增加将随着 气候变暖的加剧而加快,对于极端降水事件,其频次 将更高。由此引发的洪涝等气象灾害给社会经济发 展、农业生产乃至人民的生命安全等诸多方面造成 了严重的影响^[2-5]。因此,越来越多的国内外学者对 极端降水进行了研究^[6-8]。

杨金虎等¹⁰发现中国在年极端降水事件的时间 变化上存在着空间差异性,东北、西北东部、华北呈

收稿日期:2022-09-18;修回日期:2023-12-23

减少趋势,而西北西部、长江中下游、华南及青藏高 原呈增加趋势,中国各分区年极端降水事件的周期 振荡不完全一致。王志福等¹⁰⁰发现中小尺度区域的 极端降水变化存在明显的时空差异,甚至表现出相 反的变化特征。佘敦先等¹¹¹发现淮河流域的降水极 值大多集中在淮河流域的上游以及东部的沂沭泗水 系。

沂沭河流域是淮河流域的重要组成部分,位于 江淮梅雨带与华北—东北雨带的气候过渡区,气候 变化具有脆弱性。流域内农业生产较多,受降水影响 大。2020年7月22日,沂沭河流域多个县区出现极 端强降水天气,莒南县直接经济损失761万元,受灾 人口3659人,农作物受灾面积780 hm²。极端降水 事件的增多给流域内的生态环境和经济发展带来严 重影响,对水利安全、防汛抗洪也提出了严峻挑战。 因此,研究沂沭河流域的极端降水具有重要意义。

目前,关于沂沭河流域的降水研究,多局限于

基金项目:中国沙漠气象科学研究基金项目(Sqj2018007);临沂市气象局气象科学技术研究项目(2022lyqx13)

作者简介:刘婷婷(1987一),女,工程师,主要从事气象服务及天气气候方面研究。E-mail:liutbb@sina.com

通信作者:申高航(1994—),男,工程师,主要从事大气探测及气象服务方面研究。E-mail:841872850@qq.com

个别站点降水变化,研究方法相对单一,关于沂沭河 流域内极端降水年际演变特征方面的研究尚不多 见^[12-13]。研究表明,西太平洋副热带高压^[14]、东亚太平 洋型(EAP)遥相关^[15]、中高纬度大气遥相关波列^[16]、 以及西伯利亚阻塞高压活动^[17]等环流因子对中国极 端降水的变化都有重要影响。而沂沭河流域位于南 北方气候过渡带,极端降水特征与华北和长江中下 游都不尽相同,因此有必要对沂沭河流域极端降水 事件的时空变化特征进行研究,并从环流角度分析 其成因,明确其演变特征,以期对沂沭河流域未来极 端降水预测及防涝规划提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 数据资料

沂沭河流域位于 117°25′~119°12′E,34°17′~ 36°20′N,主要河流包括沂河和沭河,流域面积为 20 773 km²。该流域内地势北高南低,拥有山地、丘 陵、平原等多种地形。

选取(1)国家气象科学数据中心提供的沂沭河 流域 12 个主要气象台站 1981—2020 年的逐日降水 数据;(2)美国国家环境预报中心和美国国家大气研 究中心(NCEP/NCAR)提供的全球逐日再分析数据 集¹⁸⁸,要素包括风场和位势高度场,空间分辨率为 2.5°×2.5°;(3)中国国家气候中心网站提供的西太平 洋副热带高压(简称"西太副高")指标,包括:面积、强 度和脊线位置;(4)美国国家海洋和大气管理局(NOAA) 物理科学实验室提供的太平洋年代际振荡指数 (PDO)和南方涛动指数(SOI)。以上数据时间段均为 1981—2020 年。

1.2 研究方法

采用百分位阈值法对极端降水事件进行定 义^[19],并参考世界气象组织气候委员会(WMO)推荐 使用的极端气候指数,定义以下极端降水指数:当某 站某日降水量超过该站极端降水事件的阈值时,确 认该站该日出现了极端降水事件,某站某年极端降 水日数的累加即为该站该年的极端降水频次(单位: d),某站某年所有极端降水量的总和为该站该年的 年极端降水量(单位:mm),年极端降水量与发生频 次的比值为极端降水事件的强度(单位:mm•d⁻¹),某 站某年一日降水量的最大值称为日最大降水量(单 位:mm)。

对沂沭河流域极端降水事件的时间变化采用线 性趋势方法进行分析;对极端降水指数的突变特征 采用累积距平法^[20]结合滑动 *t* 检验法分析,周期性 特征采用 Morlet 小波变换法分析。采用 Pearson 相关分析研究极端降水指数与气候因子之间的相关性,采用合成分析等方法研究极端降水异常年的大气环流背景特征。

2 极端降水事件的时空分布特征

2.1 极端降水事件的空间分布特征

沂沭河流域 1981—2020 年的极端降水阈值分 布(图 1),整个区域第 95 分位阈值为 40.3 mm·d⁻¹, 空间分布上极端降水阈值自北向南随纬度减少逐渐 增加。其中北部位于上游的沂源和沂水极端降水阈 值低于 38.5 mm·d⁻¹;南部位于下游的临沭和临沂极 端降水阈值较高,超过 44 mm·d⁻¹。



图 1 沂沭河流域 1981—2020 年极端降水阈值分布

分别计算沂沭河流域各站点的 40 a 平均极端 降水频次、强度、年极端降水量和日最大降水量,结 果显示,极端降水事件发生频次的空间差异较小, 为每年 4~5 d,沂沭河下游较上游略高。极端降水强 度的分布自东北向西南逐渐增加,其中,沂源最小 (61.0 mm·d⁻¹),临沂最大(75.0 mm·d⁻¹)。年极端降 水量在 250~350 mm,有纬向分布特征,沂沭河下游 多于上游。日最大降水量与极端降水强度分布相似, 北部的沂源最低 (92.9 mm),西南部的兰陵最高 (114.3 mm)。

沂沭河流域的极端降水事件总体呈增长趋势, 且近年来在频次和年极端降水量上波动峰间值增 大,分别为 6.2 d·a⁻¹、538.2 mm·a⁻¹。不同站点极端降 水的变化特征却存在一定差异。利用线性趋势法,得 出沂沭河流域 1981—2020 年极端降水事件空间分 布上的时间演变趋势:

沂沭河流域极端降水事件频次呈增长趋势(图2a),但各站点未通过显著性水平检验,中部增速较强,前三位依次是莒县、临沂、沂南,超过0.4 d·10 a⁻¹。 北部和南部,增速相对较慢,其中沂水为0.08 d·10 a⁻¹, 增速不明显。

由极端降水事件的强度变化趋势(图 2b)可知, 流域西北部增强较明显,东南部多为减弱趋势,其中 平邑增速最大,为 5.5 mm·(d·10 a)⁻¹,并通过 0.05 显 著性检验,费县减弱最快,为 -2.4 mm·(d·10 a)⁻¹。频 次增速较明显的流域中部,强度变化反而较弱。

年极端降水量变化趋势特征与频次相似(图 2c),中部增速较显著,其中临沂(47.5 mm·10 a⁻¹)通过0.05的显著性检验,东南部增速缓慢,临沭小幅度减少(-4.2 mm·10 a⁻¹),流域整体呈增加趋势。

沂沭河流域日最大降水量(图 2d)总体呈现增 长趋势,该流域中部的日最大降水量增长显著,其中 平邑(12.9 mm·10 a⁻¹)通过 0.05 的显著性检验,只 有临沭呈减少趋势(-5.6 mm·10 a⁻¹)。



图 2 1981—2020 年沂洣河流域各站点极端降水事件的频次(a)、极端降水强度(b)、年极端降水量(c) 和日最大降水量(d)变化趋势的线性回归 (* 表示通过α=0.05 显著性水平检验的站点)

由此可知,沂沭河流域中部地区,极端降水事件 频次、年极端降水量和日最大降水量的增速均较明 显。这与地形有一定的关系,该区域位于山地丘陵的 南部,偏南暖湿气流经过此地,受地形抬升影响,降 水有一定的增幅效应。

2.2 极端降水事件的时间变化特征

2.2.1 突变分析

沂沭河流域极端降水事件表现出较明显的长期 变化趋势,为进一步研究其突变情况,以极端降水事 件的频次、强度和年极端降水量为例,利用累积距平 法和滑动 t 检验对 1981—2020 年沂沭河流域极端 降水事件进行突变分析。

由图 3a 可知, 沂沭河流域极端降水频次在 1981—1989 年呈明显减少趋势,2003—2013 年以增 加趋势为主。结合研究的时间序列和超过显著性水 平的明显程度,选取 7 a 滑动子序列,结果见图 3b, 在 1989、2002 年附近极端降水频次有突变点,其统 计量均超过了 0.05 的显著性水平,且都是负值。综 上,在 1989、2002 年左右,沂沭河流域的极端降水频 次发生了由少到多的突变。

极端降水强度在 1981—1989、2000—2011 年呈 减弱趋势,1989—2000 年为增强趋势(图 3c)。滑动 t 检验结果(图 3d)显示,极端降水强度在 1989、2000 年附近有突变点,且超过 0.05 的显著性水平。沂沭 河流域的极端降水强度在 1989 年出现由少到多的 突变,2000 年左右出现由多到少的明显突变。

年极端降水量(图 3e、3f)与极端降水频次变化 趋势相似,在 1989、2002 年左右存在由少到多的突 变。

2.2.2 周期性分析

为进一步了解沂沭河流域近 40 a 极端降水事件的周期性变化特征,对极端降水事件的频次、强度和年极端降水量的区域平均值进行 Morlet 小波分析。图 4 为极端降水事件的频次、强度和年极端降水量的小波变换图。

由图 4a 可知,极端降水事件的频次存在多个尺度的周期变化,整个时间域上有准 7 a 和准 22 a 的振荡周期,且周期性较稳定,21 世纪初以来逐渐出现 10~12 a 的振荡周期。在 2020 年附近极端降水事件频次增加的实部等值线还没有闭合,说明极端降水事件频次增加的趋势可能继续。

1981—2020 年极端降水事件频次的小波方差 变化共出现 3 个峰值,其中 22 a 为第一主周期,即 对沂沭河流域极端降水事件频次影响最显著的周 期。可见频次的变化具有较稳定的周期性。

极端降水事件的强度同样具有多个尺度的周期



沙漠与绿洲气象

Desert and Oasis Meteorology

年极端降水量(f)的滑动 t 检验

性变化,从图 4b 可知有 4 个明显的时间尺度振荡信号,且等值线随时间逐渐密集,振荡呈现出越来越剧烈的变化趋势,即极端降水事件的强度变化加剧,在2020 年附近极端降水强度增加的实部等值线没有闭合,说明极端降水强度增强的趋势可能继续。极端降水事件的强度存在 4 个明显的峰值,38 a 处峰值最大,但接近时间域,不考虑,考虑 10 a 为第一主周期。

年极端降水量的小波实部分布(图 4c)与频次 类似,等值线分布随时间推移逐渐密集,说明年极端 降水量的变化随时间加剧。5~8、20~24 a 的振荡信 号稳定存在于整个时间域内,21世纪初 10~12 a 的 振荡信号逐渐明显,2020 年附近年极端降水量增加 的实部等值线未闭合,说明沂沭河流域年极端降水 量增加的趋势可能继续。

从年极端降水量的小波方差可知,1981—2020

年存在3个明显峰值,22 a为第一主周期。

沂沭河流域的极端降水事件具有整体上增多且 强度增强的时间变化特征,极端降水事件日趋严重。 这与范苏丹等^四对山东极端降水的研究结论一致。 沂沭河流域极端降水事件呈现南多北少分布,中部、 北部较南部极端降水事件的频次增速更明显。极端 降水事件的频次和年极端降水量均在 1989、2002 年 左右出现由少到多的突变,极端降水事件的强度在 1989 年出现由少到多的突变、2000 年左右出现由多 到少的明显突变。极端降水事件的频次、强度、年极 端降水量分别以 22、10、22 a 的周期波动为主。

3 极端降水指数与气候因子的关系

大气环流和海温对我国极端降水具有重要影响^[17,22]。选取与沂沭河流域极端降水事件相关性较好的几个气候因子,如:西太副高相关指数、PDO、



SOI 等来研究极端降水指数与气候因子的关系。采用 Pearson 相关性分析法分析极端降水事件的频次、年极端降水量和日最大降水量之间,以及其与气候因子之间的相关性^[23]。

沂沭河流域的极端降水事件频次与年极端降水 量、日最大降水量之间呈显著正相关,且与年极端降 水量相关程度最高,当极端降水事件的频次增加,年 极端降水量和日最大降水量也有所增加(表1)。

西太副高强度和西太副高脊线位置,与极端降 水指数均为正相关,其中西太副高脊线位置与极端 降水频次和年极端降水量呈显著正相关,即西太副 高脊线偏北的年份,沂沭河流域的极端降水事件越 多,年极端降水量较大。

表 1 1981—2020 年极端降水事件频次、年极端 降水量、日最大降水量与环流指数的相关关系

指数	极端降水 事件频次	年极端降 水量	日最大降 水量
极端降水事件频次	1	0.963**	0.602**
年极端降水量	0.963**	1	0.775**
日最大降水量	0.602**	0.775**	1
西太副高强度	0.012	0.063	0.089
西太副高脊线位置	0.371^{*}	0.339*	0.184
PDO	-0.402*	-0.356*	-0.178
SOI	0.077	0.025	-0.051

注:** 表示通过 α=0.01 的显著性检验,* 表示通过 α= 0.05 的显著性检验

PDO 与极端降水指数为负相关,即 PDO 处于冷相位时,沂沭河流域极端降水事件的频次偏多,年极端降水量偏多,日最大降水量偏大;PDO 处于暖位相时,极端降水频次偏少,年极端降水量偏少,日最大降水量偏小。其中频次与年极端降水量均通过0.05的显著性水平检验。这与程乘等^[24]对淮河流域极端降水的研究以及齐庆华^[25]对中国东部极端降水的研究结论一致。

SOI与极端降水指数之间没有显著的相关性。

4 极端降水事件的异常环流特征

大气环流异常是极端降水事件发生的重要因素,从气候统计学角度来看,极端天气事件与季节平均值紧密联系^[26-28]。统计分析沂沭河流域 1981— 2020 年逐月发生极端降水事件频次的概率分布,可知沂沭河流域夏季(6、7、8月)极端降水的概率最大,具有集中性。因此对沂沭河流域极端降水异常年的全年大气环流进行合成分析,并重点分析夏季的异常环流,以便了解该流域极端降水事件发生时的主要大气环流背景及其异常特征。

结合沂沭河流域 1981—2020 年的年均极端降 水事件的频次和年均极端降水量,定义:极端降水偏 多年(偏少年)为年极端降水事件频次和年极端降水 量同时高于平均值 20%(低于平均值 20%)的年份。 筛 选 出 偏 多 年——1990、1991、1994、2003、2005、 2007、2008、2012、2018、2020 年; 偏少年——1981、 1983、1986、1988、1989、1992、1999、2001、2002、2014、 2015 年。

利用 NCEP/NCAR 逐日再分析资料,通过合成

分析得出偏多年(偏少年)年均和夏季的 500 hPa 位 势高度等高线和距平填色图,在极端降水偏多年(图 5a),东亚大陆以位势高度正距平为主,青藏高原附 近为负距平,菲律宾以东洋面有 5 880 gpm 的闭合 等值线以及弱的位势高度正距平中心。在极端降水 偏少年(图 5b),东亚大陆以位势高度负距平为主, 贝加尔湖附近有明显的位势高度正距平中心,日本 附近有明显位势高度负距平,菲律宾以东洋面有弱 的位势高度负距平中心。

在极端降水偏多年夏季环流合成图(图 5c)上, 异常环流特征更加明显,东亚沿岸的位势高度距平 场自南向北呈"负一正一负"的波列分布,华南地区、 西北地区和鄂霍茨克海附近地区有位势高度负距 平,东北地区到朝鲜半岛附近有明显的位势高度正 距平中心。沂沭河流域位于正距平中心的西南部,位 势高度异常偏高导致中层气流辐散,引起低层气流 补偿上升,利于极端降水的产生。5 880 gmp 等值线 范围偏大,脊线位置偏西,有利于引导南海和西太平 洋的水汽向北输送到沂沭河流域,导致该地区极端 降水偏多。

在极端降水偏少年夏季环流合成图(图 5d)上,

东亚沿岸的位势高度距平场自南向北呈"正一负— 正"的波列分布。沂沭河流域位于朝鲜半岛到日本海 附近位势高度负距平中心的西部,500 hPa 位势高 度偏低,导致气流辐合,引起垂直方向的气流下沉运 动增多,不利于极端降水的产生。5 880 gmp 范围偏 小,位置偏东,不利于水汽向北持续输送,导致沂沭 河流域极端降水偏少。

由沂沭河流域极端降水偏多年的年均850 hPa 风场距平和位势高度距平场(图 6a)可知,沂沭河流 域处于偏南气流影响下,即全年偏南气流较强;在极 端降水偏少年(图 6b),全年偏北气流较强。

在极端降水偏多年(偏少年)的夏季 850 hPa风 场距平和位势高度距平场中,异常环流特征更加明 显。图 6c 中可以看到沂沭河流域位于明显的偏南气 流控制中;日本以南的太平洋海域有异常的反气旋 式环流中心,对应位势高度的正距平中心。可见,在 极端降水偏多年,沂沭河流域处于偏强的夏季风影 响下,受其影响,该流域水汽和热量的供应充足,且 区域内 850 hPa 位势高度异常偏低,更利于低层气 流辐合,为气流垂直上升运动提供更多的动力,导致 该区域的极端降水事件偏多。这一结论与卢睿等^[29]



(a为极端降水偏多年年均,b为偏少年年均,c为偏多年夏季,d为偏少年夏季,单位:gpm)



图 6 850 hPa 风场距平及位势高度距平场 (a 为极端降水偏多年年均,b 为偏少年年均,c 为偏多年夏季,d 为偏少年夏季; 矢量箭头为风向风速单位:m/s,位势高度单位:gpm)

对淮河流域的极端降水研究结论基本一致。

由图 6d 可知, 东亚大陆以位势高度正距平为 主, 沂沭河流域处于明显的偏北气流控制中; 日本以 南的太平洋海域有异常的气旋式环流中心, 对应位 势高度负距平中心。说明在极端降水偏少年, 沂沭河 流域受偏弱的夏季风影响, 水汽和热量供应缺乏, 且 该区域 850 hPa 位势高度异常偏高, 使得低层气流 辐散, 不利于气流的上升运动, 导致该区域的极端降 水事件减少。

由此可知,夏季风的强度和西太副高的位置是 影响沂沭河流域极端降水事件的重要因子;位势高 度在低层偏低,中层偏高,是该流域极端降水多发的 环流背景。极端降水事件偏多年,夏季风较强,沂沭 河流域低层气流异常辐合,中层气流异常辐散,西太 副高偏西,范围偏大,东亚沿岸的中层位势高度异常 中心自南向北呈"负一正一负"波列分布。极端降水 事件偏少年,夏季风较弱,低层气流异常辐散,中层 气流异常辐合,西太副高偏东,范围偏小,东亚沿岸 的中层位势高度异常中心自南向北呈"正一负一正" 波列分布。

5 结论与讨论

利用沂沭河流域 12 个气象台站降水资料和 NCEP/NCAR 逐日再分析资料研究流域内 1981— 2020 年极端降水事件的时空变化特征,并分析极端 降水事件的异常环流背景,得出以下结论:

(1)1981—2020年沂沭河流域的极端降水阈值 为 40.32 mm·d⁻¹,空间分布不均,呈南多北少的特 征,范围在 37.85~44.92 mm·d⁻¹。极端降水事件的频 次、强度、年极端降水量和日最大降水量空间上大致 呈纬向分布,自东北向西南增加,其中郯城极端降水 频次最高,临沂极端降水强度最大,兰陵日最大降水 量最高。极端降水事件总体呈增长趋势,在频次和年 极端降水量上波动峰间值增大,分别为 6.2 d·a⁻¹、 538.2 mm·a⁻¹。

(2)空间分布上,沂沭河流域极端降水事件呈增加趋势,但不同站点极端降水的变化特征存在差异性。各极端降水指数均在中部地区增速较大。

(3)时间分布上,沂沭河流域极端降水频次和年 极端降水量在1989和2002年左右分别出现突增; 极端降水强度在1989年前后突增,2000年前后突 减。周期性来看,沂沭河流域极端降水频次和年极端 降水量存在准22a的变化周期,极端降水强度存在 准10a的变化周期。

(4) 沂沭河流域极端降水事件具有一致性,极端 降水各指数之间存在明显的正相关性; 西太副高的 脊线位置与极端降水指数正相关,脊线偏北时,极端 降水事件增多、增强。PDO 与极端降水指数呈负相 关,当 PDO 处于冷相位时,沂沭河流域极端降水事 件偏多、偏强。

(5)环流场上,极端降水偏多年(偏少年),副高 偏强(弱),东亚沿岸的中层位势高度异常中心自 南向北呈"负一正一负"("正一负一正")波列分布, 850 hPa 位势高度异常偏低(偏高),全年偏南(北) 风较强,夏季东亚季风偏强(偏弱)。

1981—2020 年沂沭河流域的极端降水事件在 增多且强度增强,空间分布上具有一定的差异性,时 间变化上存在突变,且有一定的周期性特征。沂沭河 流域极端降水事件偏多时,东亚夏季风偏强,西太副 高偏强。东亚夏季风强度和西太副高的位置是影响 该流域极端降水事件多寡的重要因子,在预测沂沭 河流域的极端降水情况时可作参考依据。另外,如高 层环流、水汽输送和能量供给等方面与极端降水的 关联性,以及极端降水年内分布特征与环流场的差 异等问题尚需进一步研究。

参考文献:

- IPCC.Summary for policymakers, in climate change 2021: the physical science basis.contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M].Cambridge:Cambridge University Press, 2021.
- [2] LI J, WANG B.Predictability of summer extreme precipitation days over eastern China [J].Clim Dyn, 2018, 51 (11): 4543-4554.
- [3] 刘倪,叶金印.淮河流域汛期暴雨与西太平洋海温关系[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(5):39-43.
- [4] 郑小华,娄盼星,刘环,等.陕西极端降水时空变化特征研 究[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(4):9-16.
- [5] 焦洋,李彦之,田雪珊,等.全球变暖背景下济南及其周边 地区极端温度与降水事件变化分析[J].气象与环境科学, 2021,44(2):43-52.
- [6] 周雅蔓,孙迪,赵勇,等.新疆北部夏季大范围极端降水及 其环流异常特征[J].干旱气象,2021,39(2):215-224.

- [7] 潘国艳,曹夏禹,张翔,等.赣江流域近 50 a 来极端降水 时空变化特征[J].暴雨灾害,2020,39(1):102-108.
- [8] 甘文强,李刚,万雪丽.近 57 a 5—9 月贵州极端强降水 变化特征[J].干旱气象,2018,36(4):617-623,635.
- [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] 王志福,钱永甫.中国极端降水事件的频数和强度特征[J].水科学进展,2009,20(1):1-9.
- [11] 佘敦先,夏军,张永勇,等.近 50 年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征[J].地理学报,2011,66(9):1200-1210.
- [12] 张仙娥,刘妞,仇亚琴,等.沂沭泗流域年降水和年地表 水资源量演变趋势[J].南水北调与水利科技,2015,13
 (1):24-28.
- [13] 张爱军,韩刚,范荣亮.沂沭泗流域降水变化特征分析[J].水电能源科学,2012,30(7):34-36.
- [14] CHEN Y, ZHAI P M.Synoptic-scale precursors of the East Asia/Pacific teleconnection pattern responsible for persistent extreme precipitation in the Yangtze River Valley [J].Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2015, 141(689):1389-1403.
- [15] CHEN Y, ZHAI P M.Two types of typical circulation pattern for persistent extreme precipitation in central – eastern China [J].Quart J Roy Meteor Soc, 2014, 140 (682):1467–1478.
- [16] 沈晓琳,周宁芳,杨舒楠,等.2015年冬季云南两次极端 降水事件及环流异常特征分析[J].暴雨灾害,2019,38 (4):380-385.
- [17] 杨涵洧,龚志强,王晓娟,等.中国东部夏季极端降水年 代际变化特征及成因分析[J].大气科学,2021,45(3):
 683-696.
- [18] KALNAY E, KANAMITSU M, KISTLER R, et al. The NCEP/NCAR 40 -year reanalysis project [J].Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77(3):437-470.
- [19] 博尔楠,恰里哈尔,阿依敏,等.近 54 a 阿勒泰地区夏季 极端降水气候特征[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(4): 39-46.
- [20] 冯晓莉,申红艳,李万志,等.1961-2017年青藏高原暖
 湿季节极端降水时空变化特征[J].高原气象,2020,39
 (4):694-705.
- [21] 范苏丹,盛春岩.1996—2010年山东夏季极端降水事件 特征分析[J].气象与环境科学,2018,41(1):86-93.
- [22] 朱益民,杨修群.太平洋年代际振荡与中国气候变率的 联系[J].气象学报,2003,61(6):641-654.
- [23] 于秀林,任雪松.多元统计分析[M].北京:中国统计出版 社,1999.
- [24] 程乘,朱益民,丁黄兴,等.中国东部地区夏季降水和环 流的年代际转型及其与 PDO 的联系[J].气象科学,2017,

37(4):450-457.

- [25] 齐庆华.中国东部降水的极端特性及其气候特征分析[J]. 热带气象学报,2019,35(6):742-755.
- YOU Q L, KANG S C, AGUILAR E, et al. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961–2003
 [J].Clim Dyn, 2011, 36(11): 239–241.
- [27] GONG D Y, PAN Y Z, WANG J A.Changes in extreme daily mean temperatures in summer in eastern China

during 1955–2000 [J].Theor Appl Climatol, 2004, 77(1): 25–37.

- [28] 孙建奇,王会军,袁薇.我国极端高温时间的年代际变化 及其与大气环流的联系[J].气候与环境研究,2011,16 (2):199-208.
- [29] 卢睿,朱志伟,李天明,等.淮河流域夏季极端降水频次 空间分布的客观分类及其形成机理[J].大气科学,2021, 45(6):1415-1432.

Characteristics of Extreme Precipitation Events and Circulation Background in the Yishuhe River Basin from 1981 to 2020

LIU Tingting, SHEN Gaohang, XIE Xiaohua

(Linyi Meteorological Bureau, Linyi 276000, China)

Abstract Based on the observed daily precipitation data of 12 meteorological stations in the Yishuhe River Basin from 1981 to 2020, the Western Pacific subtropical high (WPSH) index, Pacific Decadal Oscillation (PDO) data, and NCEP/NCAR daily reanalysis data, the spatial and temporal variation characteristics of the extreme precipitation events in the Yishuhe River Basin were studied by using statistical analysis, composite analysis, and other methods. The correlation between the extreme precipitation index and climate factors, and the abnormal circulation background of extreme precipitation events were further studied. The results show as follows : The extreme precipitation events in the Yishuhe River Basin have shown an overall increasing trend in frequency and intensity, becoming more severe over time. Spatially, these events are more frequent in the southern region compared to the northern region, with the central and northern regions experiencing a higher growth rate than the south. The frequency and annual amount of extreme precipitation exhibit abrupt increases around 1989 and 2002, while the intensity of extreme precipitation increases in 1989 and decreases around 2000. The frequency, intensity, and annual amount of extreme precipitation are mainly fluctuating in the quasi-period of 22,10, and 22 years. The WPSH ridge line is positively correlated with the frequency and annual amount of extreme precipitation, while PDO is negatively correlated. The intensity of the East Asian summer monsoon and the anomalous position of the WPSH are important factors influencing extreme precipitation events in the Yishuhe River Basin, which can be used as references for forecasting extreme precipitation in the region.

Key words Yishuhe River Basin; extreme precipitation events; spatial and temporal distribution; characteristics of circulation