

阿帕尔·肉孜,黎晓峰,马忠萍,等.塔里木盆地和准噶尔盆地东南缘气候极值变化特征及重现期对比分析[J].陕西气象,2025(5):41-48.

文章编号:1006-4354(2025)05-0041-08

塔里木盆地和准噶尔盆地东南缘气候极值变化特征及重现期对比分析

阿帕尔·肉孜¹,黎晓峰¹,马忠萍²,郭雨鑫¹,哈菲莎¹,叶尔克江·霍依哈孜¹

(1. 昌吉州气象局,新疆昌吉 831100;2. 塔城地区气象局,新疆塔城 834700)

摘要:基于1970—2023年若羌县和吉木萨尔县气象站的极端气候数据,采用气候倾向率分析法及Gumbel、P-Ⅲ型、GEV分布模型,对比分析两地气候极值和极端天气事件的年际变化趋势与多年一遇重现期特征。结果表明,两地极端最高气温均有上升趋势,若羌县增速($0.322\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)显著高于吉木萨尔县($0.198\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$);极端最低气温变化相反,若羌县略有降低($-0.039\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),吉木萨尔县显著上升($1.141\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)。两地的极大风速和最大日降水量呈反向变化趋势,若羌县的极大风速显著下降($-1.552\text{ (m/s)}/10\text{ a}$)、最大日降水量略有减少($-0.365\text{ mm}/10\text{ a}$),而吉木萨尔县极大风速上升($0.728\text{ (m/s)}/10\text{ a}$)、最大日降水量略有增加($0.024\text{ mm}/10\text{ a}$)。两地最大日小型蒸发量均显著减少,若羌县降幅($-4.270\text{ mm}/10\text{ a}$)大于吉木萨尔县($-2.282\text{ mm}/10\text{ a}$)。两地气候极值差异显著,若羌县极端最高气温、极端最低气温及最大日蒸发量比吉木萨尔县高,吉木萨尔县极大风速与最大日降水比若羌县大。3种重现期方法在本地适用性分析表明,P-Ⅲ型分布模型结果居中且稳定性优于Gumbel和GEV分布模型。本研究为区域极端天气预测、灾害风险评估及气候适应性策略提供科学依据。

关键词:塔里木盆地;准噶尔盆地;气候极值;极端天气;重现期

中图分类号:P468

文献标识码:A

气候变暖背景下,全球水循环加剧,降水的空间不均匀性增加,水旱灾害频发,极端天气事件发生频率也急剧上升,并严重危害到人类生命和财产安全^[1-3],引起了科学界和社会的极大关注^[4],成为气象科学研究的热点之一。研究表明,中国大部地区极端高温、强降水、干旱事件的发生频次增多,而极端低温事件发生频次减少^[5-7]。极端天气气候事件是多年一遇的小概率事件,其发生具有很大的不确定性,预报难度很大,是数学意义上的一个个孤立的“极值”事件。气候要素本身是一

个随机变量,极值就是这些随机变量的某种函数,可以借用统计推断寻求气候极值的预测方法,推算极值的重现期和变化规律^[8]。极端气候事件的发生具有极大的危害性和破坏性,探讨极端气候事件的时空特征与变化规律具有重要的理论与现实意义。

塔里木盆地和准噶尔盆地拥有独特的生态系统,包括山地、绿洲、水域、林地和荒漠五个子系统。塔克拉玛干和古尔班通古特沙漠分别是中国第一和第二大沙漠,盆地边缘的绿洲是重要生态

收稿日期:2024-04-18

作者简介:阿帕尔·肉孜(1978—),男,维吾尔族,新疆库车人,学士,高工,主要从事应用气象与气候变化研究。

通信作者:叶尔克江·霍依哈孜(1979—),女,哈萨克族,新疆沙湾人,学士,高工,主要从事农业气象与气候变化研究。

基金项目:新疆维吾尔自治区引导性项目(YD2024010);中国沙漠气象科学研究基金(Sqj20240016);福建省气象局昌吉援疆科技专题项目(2023YJXM02)

屏障和农业生产基地。近年来,两盆地的开发促进了南疆和北疆的经济发展和基础设施改善。科学的产业布局和资源调配协调了区域经济,缩小了东西部差距。由于其地理位置和气候条件特殊,两盆地的生态环境对气候变化极为敏感,是研究气候变化影响的天然实验室。研究该区域气候变化的历史和现状可以预测未来趋势,为应对气候变化和生态修复提供科学依据,更为“一带一路”战略的实施提供了有力支持。近年来学者们对于新疆不同地区极端天气和极端气候事件进行了研究^[9-20],揭示了新疆地区极端天气的变化规律,为全面认识新疆气候变化提供了科学依据。目前有关新疆地区极端天气和气候极值的研究多见于某一种或两种气候要素的时空变化特征研究,涉及多个气候要素的研究较少,关于气候极值重现期的研究更少,特别是对塔里木盆地和准格尔盆地气候极值和气候极值的重现期研究甚少。因此,本文通过对塔里木盆地东南缘的若羌县以及准噶尔盆地东南缘的吉木萨尔县气候极值变化

特征及重现期进行研究,旨在掌握极端气候事件的演变规律,识别不同表征差异,为选择最优重现期计算方法提供依据,提高极端天气预报准确率,减少负面影响,为新疆的生产和生活提供气象保障,助力生态健康和防灾减灾,实现可持续发展。

1 数据与方法

1.1 研究区域

吉木萨尔县是新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州辖县($88^{\circ}30'N\sim 89^{\circ}30'N, 43^{\circ}30'E\sim 45^{\circ}30'E$),位于天山山脉东段北麓,准噶尔盆地东南缘。若羌县是新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州辖县($86^{\circ}45'N\sim 93^{\circ}45'N, 36^{\circ}05'E\sim 41^{\circ}23'E$),地处巴音郭楞蒙古自治州东南部,塔克拉玛干沙漠东南缘。吉木萨尔县和若羌县地势南高北低,大部分地形为荒滩戈壁,常年风沙肆虐,气候干燥少雨,蒸发量大,冬季寒冷,夏季酷热,属典型的温带大陆性干旱气候。光热资源丰富,昼夜温差大,日照时间长,因在中纬度的欧亚大陆腹地,海洋湿润水汽难以到达,是世界上同纬度最干旱的地区之一。

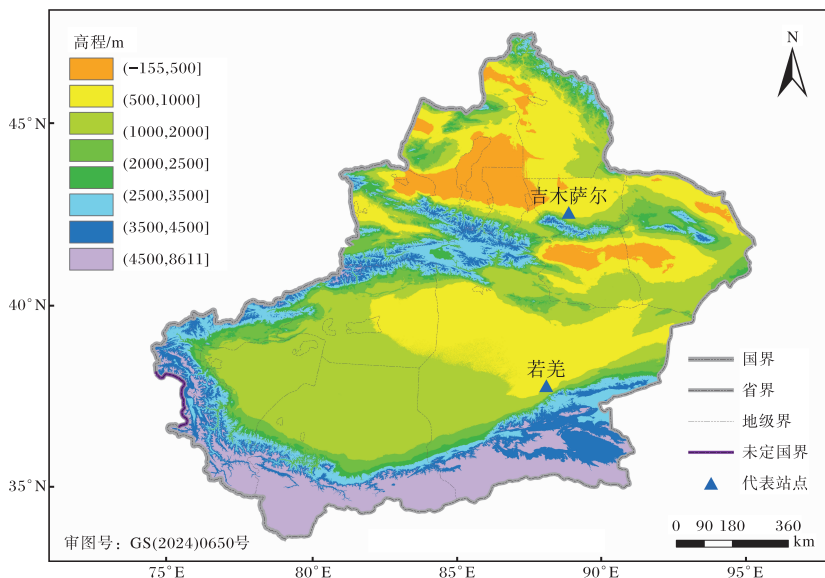


图1 若羌县和吉木萨尔县地形和国家气象观测站点位置

1.2 资料来源

选取塔里木盆地东南缘的若羌县和准噶尔盆地东南缘的吉木萨尔县国家气象站 1970—2023 年逐年极端最高气温、年极端最低气温、年极大风速、年最大日降水量、年最大日小型蒸发量等资料,统计分析其年际变化特征和 2~100 a 一遇重

现期特征。因有的年份资料不全,若羌和吉木萨尔县年极大风速时间序列分别为 1993—2023 年和 2002—2023 年,年最大日蒸发量时间序列分别为 1970—2018 年和 1970—2013 年。

1.3 研究方法

本文采用气候倾向率^[21-22]研究塔里木盆地东

南缘的若羌县和准噶尔盆地东南缘的吉木萨尔县两地极端天气变化特征,采用水文、气象、地震等许多领域常用的皮尔逊-Ⅲ(Pearson-Ⅲ或P-Ⅲ)型分布、广义极值(GEV)分布、极值Ⅰ型(Gumbel)分布计算两地重现期并对比分析^[23-34]。

2 结果分析

2.1 极端气温

2.1.1 极端气温年际变化 若羌县和吉木萨尔县 1970—2023 年极端最高气温、极端最低气温年际变化见图 2 和表 1。两地极端最高气温逐年变化呈增加趋势,其中,若羌县极端最高气温有极显著的增加趋势,增加趋势为 0.322 ℃/10 a,通过了 0.01 的显著性水平,吉木萨尔县增加趋势不显著,增加趋势为 0.198 ℃/10 a,没有通过 0.05 的显著性水平,若羌县极端最高气温逐年增加的趋势大于吉木萨尔县。若羌县极端最低气温呈略减少趋势,减少趋势为 -0.039 ℃/10 a,减少趋势不显著,吉木萨尔县极端最低气温极显著增加趋势,增加趋势为 1.141 ℃/10 a,通过了 0.01 的显著性水平。

若羌县大多数年份极端最高气温和极端最低气温高于吉木萨尔县,若羌县和吉木萨尔县近 54 a内的极端最高气温最高值分别为 43.9 ℃和 41.6 ℃,分别出现在 2016 年 7 月 3 日和 2006 年 7 月 31 日;极端最高气温的最低值分别为 38.8 ℃

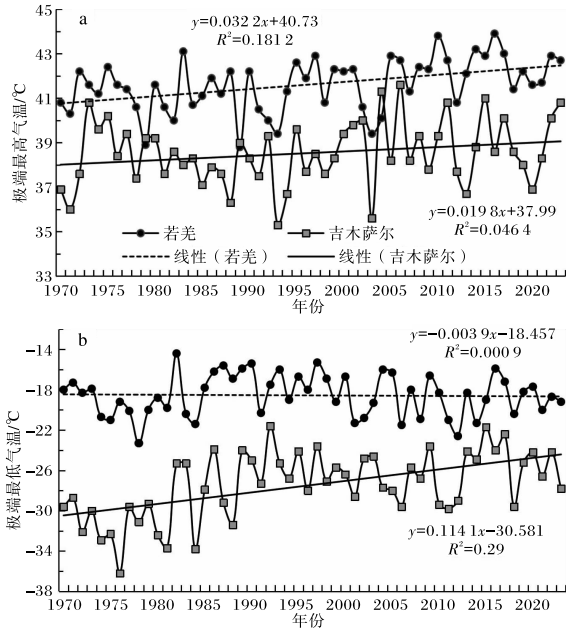


图2 1970—2023年若羌县和吉木萨尔县极端最高气温(a)和极端最低气温(b)年际变化

和 35.3 ℃,分别出现在 1989 年 7 月 12 日和 1993 年 6 月 30 日。若羌县和吉木萨尔县极端最低气温的最高值分别为 -14.4 ℃和 -21.6 ℃,分别出现在 1982 年 12 月 24 日和 1992 年 1 月 2 日;极端最低气温的最低值分别为 -23.3 ℃和 -36.2 ℃,分别出现在 1978 年 1 月 23 日和 1976 年 12 月 25 日,见表 2。

表 1 若羌县和吉木萨尔县气候极值逐年变化一元线性回归方程和相关系数对比表

气象要素	站名	一元线性回归方程	相关系数 R
年极端最高气温/℃	若羌	$y=0.0322x+40.730$	0.4257**
	吉木萨尔	$y=0.0198x+37.990$	0.2154
年极端最低气温/℃	若羌	$y=-0.0039x-18.457$	0.0300
	吉木萨尔	$y=0.1141x-30.581$	0.5385**
年极大风速/(m/s)	若羌	$y=-0.1552x+25.709$	0.3840**
	吉木萨尔	$y=0.0728x+22.970$	0.2086
年最大日降水量/mm	若羌	$y=-0.0365x+13.408$	0.0447
	吉木萨尔	$y=0.0024x+21.576$	0.0045
年最大日小型蒸发量/mm	若羌	$y=-0.4270x+31.263$	0.8409**
	吉木萨尔	$y=-0.2282x+23.945$	0.8402**

注: * 表示通过 0.05 的显著检验; ** 表示通过 0.01 的显著检验。

表 2 若羌县和吉木萨尔县气候极值及出现时间

气象要素	站名	极值	出现时间
年极端最高气温/℃	若羌	43.9	2016 年 7 月 3 日
	吉木萨尔	41.6	2006 年 7 月 31 日
年极端最低气温/℃	若羌	−23.3	1978 年 1 月 23 日
	吉木萨尔	−36.2	1976 年 12 月 25 日
年极大风速/(m/s)	若羌	26.6	2014 年 5 月 23 日
	吉木萨尔	28.7	2015 年 4 月 27 日
年最大日降水量/mm	若羌	73.5	1985 年 7 月 5 日
	吉木萨尔	58.2	2007 年 7 月 17 日
年最大日小型蒸发量/mm	若羌	31.0	1988 年 6 月 28 日
	吉木萨尔	26.2	2011 年 3 月 31 日、2010 年 6 月 17 日

2.1.2 极端气温重现期 基于若羌县和吉木萨尔县近 54 a 的极端最高气温和极端最低气温数据,采用 Gumbel、P-Ⅲ型和 GEV 分布计算,得出 2~100 a 一遇的重现期(图 3,表 3)。结果显示,计算极端最高气温的多年一遇重现期时,Gumbel 分布计算结果为最高,GEV 分布最低,P-Ⅲ型分布居中,前两者与较居中的 Pearson-Ⅲ分布差异范围在 0.1~1.6℃。例如,极端最高气温 50 年一遇重现期,若羌县 Gumbel 分布计算结果为 45.0℃,P-Ⅲ型分布为 44.3℃,GEV 分布 43.7℃;吉木萨尔县 Gumbel 分布计算结果为 42.6℃,P-Ⅲ型分布为 41.5℃,GEV 分布为 41.3℃。计算极端最低气温多年一遇重现期时,Gumbel 分布最低,P-Ⅲ型与 GEV 分布比较接近,但 P-Ⅲ型分布比较居中,两者与 P-Ⅲ型分布差异范围在 0.1~2.7℃。例如,极端最低气温 50 年一遇重现期,若羌县 Gumbel 分布计算结果为−24.4℃,P-Ⅲ型和 GEV 分布分别为−22.9℃和−22.7℃;吉木萨尔县 Gumbel 分布计算结果为−36.9℃,P-Ⅲ型分布为−35.0℃,GEV 分布为−35.1℃。因此,认为 P-Ⅲ型分布更适合计算两地的极端气温重现期。

2.2 极大风速

2.2.1 极大风速年际变化 若羌县 1993—2023 年(31 a)极大风速逐年变化有极显著的减少趋势,减少趋势为−1.552 (m/s)/10 a,通过了 0.01 的显著性水平;吉木萨尔县 2002—2023 年(22 a)

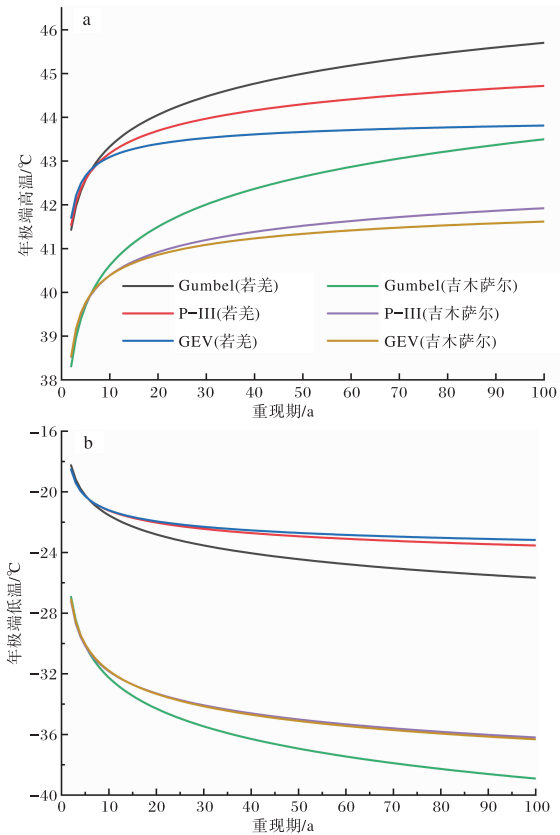


图 3 若羌县和吉木萨尔县年极端最高气温(a)和年极端最低气温(b)重现期

极大风速逐年变化呈增加趋势,增加趋势为 0.728 (m/s)/10 a,增加趋势不显著,见图 4 和表 1。2002—2023 年,若羌县大多数年份极大风速小于吉木萨尔县,近 22 a 若羌县和吉木萨尔县极大风速最大值分别为 26.6 m/s 和 28.7 m/s,分别出现在 2014 年 5 月 23 日和 2015 年 4 月 27

表 3 若羌县和吉木萨尔县不同气候极值在不同分布类型下 30、50、100 a 一遇重现期统计表

气象要素	分布类型	若羌			吉木萨尔		
		30 a	50 a	100 a	30 a	50 a	100 a
年极端最高气温/℃	Gumbel 分布	44.5	45.0	45.7	42.0	42.6	43.5
	Pearson-Ⅲ分布	44.0	44.3	44.7	41.2	41.5	41.9
	GEV 分布	43.5	43.7	43.8	41.1	41.3	41.6
年极端最低气温/℃	Gumbel 分布	-23.5	-24.4	-25.7	-23.5	-36.9	-38.9
	Pearson-Ⅲ型分布	-22.4	-22.9	-23.5	-22.4	-35.0	-36.2
	GEV 分布	-22.3	-22.7	-23.2	-22.3	-35.1	-36.3
年极大风速/(m/s)	Gumbel 分布	32.5	34.1	36.4	30.3	31.4	32.9
	Pearson-Ⅲ型分布	30.4	31.3	32.5	28.8	29.3	30.1
	GEV 分布	30.4	31.3	32.3	28.2	28.5	28.9
年最大日降水量/mm	Gumbel 分布	43.5	49.2	56.9	41.7	45.3	50.2
	Pearson-Ⅲ型分布	44.4	52.1	62.7	41.1	44.9	50.1
	GEV 分布	45.4	59.1	83.9	40.4	44.7	50.8
年最大日小型蒸发量/mm	Gumbel 分布	38.2	41.4	45.7	27.3	28.9	31.0
	Pearson-Ⅲ型分布	35.1	37.1	39.8	25.2	26.0	27.0
	GEV 分布	30.1	30.5	30.8	25.0	25.6	26.3

日(表 2);极大风速的最小值分别为 16.3 m/s 和 19.0 m/s,分别出现在 2013 年(3 月 9 日、5 月 22 日)和 2011 年 8 月 4 日。

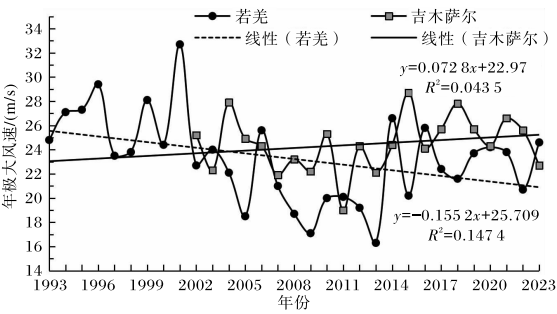


图 4 1993—2023 年若羌县和吉木萨尔县极大风速年际变化

2.2.2 极大风速重现期 从 3 种分布计算的若羌县和吉木萨尔县年极大风速几年一遇的重现期结果(图 5,表 3)中得出,采用 Gumbel 分布计算的若羌县和吉木萨尔县极大风速重现期偏大,采用 GEV 分布计算的两地极大风速重现期偏小,P-Ⅲ型分布计算结果比较居中,两者与 P-Ⅲ型分布差异范围在 0.0~3.9 m/s。例如,若羌县 Gumbel 分

布计算 50 年一遇重现期为 34.1 m/s,P-Ⅲ型和 GEV 分布均为 31.3 m/s;吉木萨尔县 Gumbel 分布计算结果为 31.4 m/s,P-Ⅲ型分布为 29.3 m/s,GEV 分布为 28.5 m/s。因此认为 P-Ⅲ型分布计算若羌县和吉木萨尔县极大风速重现期比较合理。

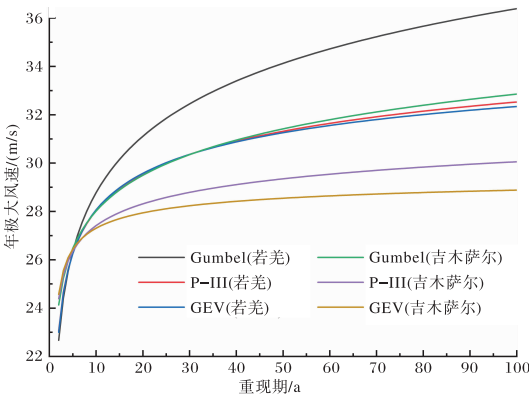


图 5 若羌县和吉木萨尔县年极大风速重现期

2.3 最大日降水量

2.3.1 年最大日降水量逐年变化 若羌县近 54 a最大日降水量呈逐年略减少趋势,减少趋势为-0.365 mm/10 a,吉木萨尔县最大日降水量

略有增加趋势,增加的趋势为 $0.024 \text{ mm}/10 \text{ a}$,两地减少和增加趋势不显著,见图 6 和表 1。吉木萨尔县大多数年份最大日降水量高于若羌县,若羌县和吉木萨尔县年最大日降水量最大值分别为 73.5 mm 和 58.2 mm ,分别出现在 1985 年 7 月 5 日和 2007 年 7 月 17 日,见表 2。年最大日降水量的最小值分别为 1.5 mm 和 10.5 mm ,分别出现在 2019 年 2 月 9 日和 1982 年 4 月 5 日。

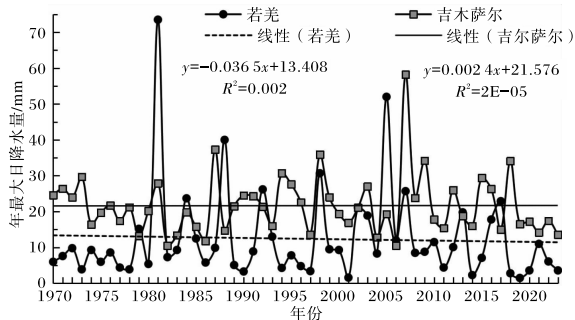


图 6 1970—2023 年若羌县和吉木萨尔县年最大日降水量逐年变化

2.3.2 最大日降水量重现期 从 3 种分布计算的若羌县和吉木萨尔县年最大日降水量几年一遇的重现期结果可知,采用 GEV 分布算出来的若羌县大多数最大日降水量重现期最大,P-Ⅲ型分布次之,Gumbel 分布最小,两者与 P-Ⅲ型分布差异范围在 $0.1 \sim 21.2 \text{ mm}$;采用 Gumbel、P-Ⅲ型、GEV 分布计算的吉木萨尔县年最大日降水量重现期比较接近(图 7,表 3)。例如,若羌县 Gumbel 分布计算 50 年一遇重现期为 49.2 mm ,P-Ⅲ型分布为 52.1 mm ,GEV 分布为 59.1 mm ;

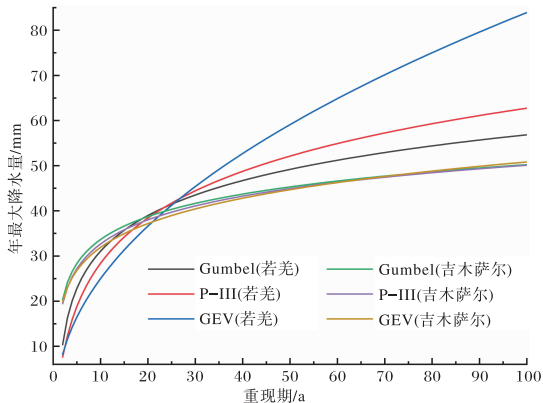


图 7 若羌县和吉木萨尔县年最大日降水量重现期

吉木萨尔县 Gumbel 分布计算结果为 41.7 mm ,P-Ⅲ型分布为 41.1 mm ,GEV 分布为 40.4 mm 。因此,采用 P-Ⅲ型分布来计算两地的年最大日降水量重现期比较合理。

2.4 最大日小型蒸发量

2.4.1 年最大日小型蒸发量逐年变化 若羌县 1970—2018 年和吉木萨尔县 1970—2013 年的年最大日小型蒸发量有极显著的逐年减少趋势,减少趋势分别为 $-4.270 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 和 $-2.282 \text{ mm}/10 \text{ a}$ (图 8,表 1),其中若羌县的减少速度大于吉木萨尔县。1970—2013 年,若羌县大多数年份年最大日小型蒸发量高于吉木萨尔县,若羌县和吉木萨尔县年最大日小型蒸发量最大值分别为 31.0 mm 和 26.2 mm ,分别出现在 1988 年 6 月 28 日和 1972 年 4 月 29 日,见表 2。年最大日小型蒸发量的最低值分别为 7.5 mm 和 12.4 mm ,分别出现在 2011 年 3 月 31 日和 2010 年 6 月 17 日。

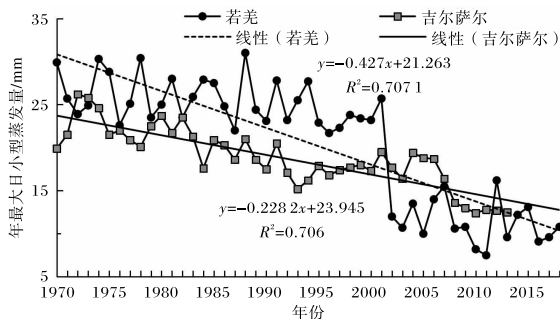


图 8 若羌县(1970—2018 年)和吉木萨尔县(1970—2013 年)年最大日小型蒸发量逐年变化

2.4.2 最大日小型蒸发量重现期 从 3 种分布计算的若羌县和吉木萨尔县年最大小型蒸发量几年一遇的重现期结果可知(图 9,表 3),采用 Gumbel 分布算出来的若羌县和吉木萨尔县年最大日小型蒸发量重现期最大,两地 GEV 分布算出来的年最大日小型蒸发量重现期最小,P-Ⅲ型分布居中,两者与 P-Ⅲ型分布差异范围在 $0.2 \sim 9.0 \text{ mm}$,例如,若羌县 Gumbel 分布计算 50 年一遇重现期为 41.4 mm ,P-Ⅲ型分布为 37.1 mm ,GEV 分布为 30.5 mm ;吉木萨尔县 Gumbel 分布计算结果为 28.9 mm ,P-Ⅲ型分布为 26.0 mm ,GEV 分布为 26.5 mm 。因此,P-Ⅲ型分布计算

若羌县和吉木萨尔县年最大小型蒸发量重现期比较合理。

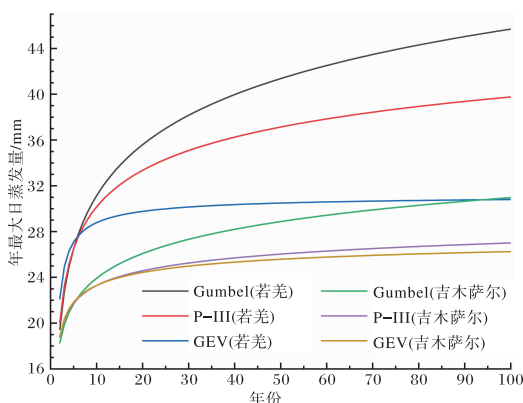


图9 若羌县和吉木萨尔县年最大日小型蒸发量重现期

3 结论

本研究基于1970—2023年塔里木盆地东南缘若羌县和准噶尔盆地东南缘吉木萨尔县的气象数据,采用气候倾向率分析法及Gumbel、P-Ⅲ型、GEV分布模型,系统对比分析了两地极端天气事件的年际变化趋势与重现期特征。主要结论如下。

(1)极端气温变化趋势差异显著。若羌县极端最高气温以 $0.322\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速率显著上升,极端最低气温以 $-0.039\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速率下降;吉木萨尔县极端最高气温上升速率($0.198\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)不显著,极端最低气温则以 $1.141\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速率显著上升。两地气温变化趋势存在明显区域差异。

(2)极大风速与降水量呈反向变化。若羌县极大风速以 $-1.552\text{ (m/s)}/10\text{ a}$ 速率显著下降,最大日降水量以 $-0.365\text{ mm}/10\text{ a}$ 速率减少;吉木萨尔县极大风速以 $0.728\text{ (m/s)}/10\text{ a}$ 速率上升,最大日降水量以 $0.024\text{ mm}/10\text{ a}$ 速率微弱增加。两地极大风速和最大日降水量变化趋势相反,反映局地气候动态差异。

(3)蒸发量显著减少但速率不同。若羌县减少速率($-4.270\text{ mm}/10\text{ a}$),快于吉木萨尔县($-2.282\text{ mm}/10\text{ a}$),这种差异可能与区域生态保护措施、地理位置、生态环境及气候条件相关。

(4)气候极值空间差异显著。若羌县极端最高/最低气温及最大日蒸发量高于吉木萨尔县,而吉木萨尔县的极大风速与最大日降水量更大。极

端最高气温在若羌县和吉木萨尔县分别出现在2016年($43.9\text{ }^{\circ}\text{C}$)、2006年($41.6\text{ }^{\circ}\text{C}$);极端最低气温在若羌县和吉木萨尔县分别出现在1978年($-23.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)、1976年($-36.2\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

(5)重现期模型优选P-Ⅲ型分布。对比三种模型结果,Gumbel分布易高估极端气温与风速重现期,GEV分布易低估。综合考虑稳定性、合理性,P-Ⅲ型分布计算结果居中且波动性小,适用于本地重现期分析。

参考文献:

- [1] 罗英. 中国典型区域极端干湿事件归因分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2023.
- [2] 陈海山, 张耀存, 张文君, 等. 中国极端天气气候研究:“地球系统与全球变化”重点专项项目简介及最新进展[J]. 大气科学学报, 2024, 47(1): 23-45.
- [3] 金秀玲. GEV分析福州市极端气温变化趋势[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版), 2014, 26(2): 174-177.
- [4] HOUGHTON J T, DING Y, GRIGGS D J, et al. Climate change 2001: the scientific basis[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 881.
- [5] 李林玉. 全国极端温度气候事件研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2018.
- [6] 蔡文香. 中国极端气候事件的趋势特征与极值分布[D]. 北京: 对外经济贸易大学, 2016.
- [7] 詹玮璇, 范威威, 刘畅, 等. 生态环境视域下极端天气气候防灾减灾特征研究[J]. 环境科学与管理, 2023, 48(2): 50-54.
- [8] 孙济良, 秦大庸, 孙翰光. 水文气象统计通用模型[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001: 56-64.
- [9] 赵丽, 杨青, 韩雪云, 等. 1961—2009年新疆极端降水事件时空差异特征[J]. 中国沙漠, 2014, 34(2): 550-557.
- [10] 袁开升, 何太蓉, 王丽萍, 等. 1971—2016年新疆极端温度时空变化特征分析[J]. 新疆环境保护, 2021, 43(1): 37-45.
- [11] 左艳, 侯晓庆, 程泽毓, 等. 阿克苏地区极端最低气温变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(增刊): 80-82.
- [12] 唐小英, 唐湘玲. 新疆南疆地区近50年来极端气

- 候事件分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2015, 33(2): 230-238.
- [13] 丁之勇, 葛拥晓, 吉力力·阿不都外力, 等. 1957—2012年新疆艾比湖流域极端气温与降水变化趋势[J]. 中国科学院大学学报, 2018, 35(2): 160-171.
- [14] 陈丹, 袁华江, 张永华, 等. 1960—2019年沙雅县极端天气的气候特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(4): 94-99.
- [15] 陈颖, 李维京, 史红政, 等. 不同气候背景下新疆冬季极端冷(暖)事件的变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(4): 17-24.
- [16] 马玉英, 辛和平, 马燕, 等. 昌吉州近45 a极端最低气温变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(增刊): 60-62.
- [17] 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.
- [18] 邬晓丹, 罗敏, 孟凡浩, 等. 气候暖湿化背景下新疆极端气候事件时空演变特征分析[J]. 干旱区研究, 2022, 39(6): 1695-1705.
- [19] 王光焰. 塔里木河干流区极端气温变化特征研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(3): 16-26.
- [20] 周雅蔓, 赵勇, 刘晶. 我国新疆北部地区夏季极端降水事件的特征分析[J]. 冰川冻土, 2020, 42(2): 598-608.
- [21] 叶尔克江·霍依哈孜, 黄健, 王森, 等. 1970—2020年昌吉地区日照时数时空变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(5): 78-85.
- [22] 阿帕尔, 叶尔克江, 高彦兵, 等. 近50年新疆天山山区主要气候要素变化[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2014, 32(1): 86-92.
- [23] 王振华, 胡良温, 朱凌云. 暴雨强度公式推算方法的研究及应用[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(20): 4987-4990+5001.
- [24] 林两位, 王莉萍. 用Pearson-III概率分布推算重现期年最大日雨量[J]. 气象科技, 2005, 33(4): 314-317.
- [25] 杨娟. 用Pearson-III型概率分布推算贵阳降水量的重现期[J]. 贵州气象, 2015, 39(4): 8-11.
- [26] 黄涛, 刘治国, 邓振镛. 青藏高原东北侧强降水变化特征及其气候重现期计算[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 314-319.
- [27] 袁良, 谭江红, 闫彩霞, 等. 概率匹配订正法在湖北襄阳地区降水预报中的应用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(2): 93-99.
- [28] 赵宜宾, 王福昌, 任晴晴, 等. 基于广义极值分布的巴颜喀拉块体中部地震危险性分析[J]. 世界地震工程, 2023, 39(1): 209-217.
- [29] FISHER R A, TIPPETT L H C. Limiting forms of the frequency distribution of the largest of smallest member of a sample[J]. Procs Cambridge Philos Soc, 1928, 24(2): 180-190.
- [30] JENKINSON A F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1955, 81: 158-171.
- [19] COLES S. An introduction to statistical modeling of extreme values[M]. New York: Springer Verlag, 2001: 36-78.
- [31] 李洋, 杨赤. 中国区域气候极值重现水平的非平稳模型及趋势分析[J]. 气候与环境研究, 2015, 20(3): 347-355.
- [32] 陈金雨, 陶辉, 刘金平, 等. 中巴经济走廊极端降水时空变化[J]. 高原气象, 2021, 40(5): 1048-1056.
- [33] 程炳岩, 丁裕国, 张金铃, 等. 广义帕雷托分布在重庆暴雨强降水研究中的应用[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1004-1009.
- [34] 司波, 余锦华, 丁裕国. 四川盆地短历时强降水极值分布的研究[J]. 气象科学, 2012, 32(4): 403-410.