

高婧,井立红,陈静,等.塔城地区 1961—2020 年季节性干旱演变特征[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(5):109–117.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2023.05.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



塔城地区 1961—2020 年季节性干旱演变特征

高婧^{1,2},井立红³,陈静^{1*},李海花⁴,井立军²

(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;2.沙湾市气象局,新疆 沙湾 832100;
3.塔城地区气象局,新疆 塔城 834700;4.新疆气象台,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:利用新疆塔城地区 9 个国家气象观测站 1961—2020 年逐月降水资料,基于标准化降水量指数运用最小二乘法和 Mann-Kendall 检验等方法分析塔城地区干旱时空分布特征。结果表明:(1)年尺度上,塔城地区干旱发生频率为 30.37%,轻旱发生最多,中旱次之;2/3 站点的标准化降水量指数呈显著增大趋势,年站次比和干旱强度呈显著减小趋势,干旱程度有所减轻,在 1987 年之后塔城干旱程度整体偏轻。(2)季节尺度上,夏、秋、冬季在 20 世纪 80 年代中期发生干旱减轻的突变,且秋季和冬季分别在 2002 和 1997 年达到显著。(3)影响范围方面,各季以局域性和全域性干旱为主,全域性干旱发生频率为 20%~30%;干旱强度方面,各季轻度干旱发生频率最高,中度以上干旱发生频率为 33%~38%。(4)近 60 年来,塔城地区季节性干旱呈现影响范围缩小、强度减弱的变化趋势,尤其是冬季干旱站次比和干旱强度分别以 $-7.79\%/10\text{ a}$ 和 $-0.11/10\text{ a}$ 的倾向率显著减小,冬旱减轻趋势在四季中最显著。

关键词:标准化降水量指数;季节性干旱;塔城

中图分类号:P468.024

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2023)05-0109-09

干旱是全球普遍存在的一种自然灾害,也是会对人类社会和经济造成重大损失和影响极为严重的一种自然灾害^[1]。全球自然灾害以洪水、干旱和风暴的危害性较大,1900—2018 年干旱造成的死亡人数最多,占全部因灾死亡人数的 36%^[2]。干旱大致分为气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱^[3],气象干旱表现为降水明显少于正常状态^[4],是其他类型干旱发生的前兆和诱发因素,可引起社会自然资源的恶化,进而引发一系列社会、经济、环境和生态问题。对气象干旱进行监测和评估,可为其他类型干旱提供预警和风险管理。国内外学者对干旱的研

究主要集中在基于水分平衡原理、概率分布和遥感监测等相关指数对某一研究区域干旱频率和程度进行评估方面,不同干旱指数适用范围和应用效果也不尽相同。21 世纪气候变化影响下,全球将可能面临干旱频率和强度增加的前景^[5],中国绿洲(除河套平原)的极端干旱事件发生频次呈递减趋势,极端湿润事件发生频次呈递增趋势,降水是中国绿洲地表干湿状况的主导气象因子^[6];中国气候变湿较明显的区域主要位于西部地区,包括新疆大部、青海西部、甘肃和内蒙西部、西藏西北部等地^[7],特别是 20 世纪 90 年代初期以来,西北干旱区暖湿化进程加剧^[8],未来西北西部降水仍呈增加趋势^[9];新疆北部为气候向暖湿转型的显著区域,降水呈增加趋势,水面蒸发和潜在蒸散量呈下降趋势,干旱程度总体呈减轻趋势,干旱状况得到一定程度的缓解^[10-11],干旱程度在 1987 年前后发生突变,1988 年以来干旱整体偏轻,春、夏、秋季干旱程度均呈显著减弱趋势^[12]。

每种干旱指数都有其优势和局限性,新疆干湿

收稿日期:2022-12-04;修回日期:2023-02-12

基金项目:中国沙漠气象科学研究基金(Sqj2017012);新疆气象科技创新发展基金项目(MS202217)

作者简介:高婧(1978—),女,高级工程师,主要从事预报预测及气候变化研究。E-mail:1575035865@qq.com

通信作者:陈静(1992—),女,助理研究员,主要从事干旱区气候变化研究。E-mail:chenjing@idm.cn

变化主要受降水量的影响^[13],标准化降水指数(S_{PI})用于量化不同时间尺度降水亏缺,它将降水记录转化为正态分布,克服了使用非标准化分布造成的差异,具有计算简易、空间可比性强、时间尺度可变等优势,被世界气象组织(WMO)推荐为世界范围通用的气象干旱指标^[14], S_{PI} 被广泛应用于干旱气候学、干旱预报和农业干旱风险评价等领域^[15]。干旱是塔城地区主要气象灾害之一,本文基于 S_{PI} 指数运用最小二乘法、Mann-Kendall(M-K)检验方法等^[16]从气象干旱角度分析塔城地区季节性干旱发生频率、影响范围和干旱强度的时空演变特征,旨在为抗旱减灾、农牧业生产布局和科学管理提供参考依据。

1 资料来源与研究方法

1.1 研究区概况

塔城地区位于新疆西北部,82°16'~87°21'E,43°25'~47°15'N,南北纵距 437 km,东西横距 394 km,地跨准噶尔盆地西北地带及准噶尔西部山区,地势南北高、中间低。境内有盆地、平原、山地、丘陵、沙漠、戈壁等多种地貌,地形高差悬殊,地势多变。年平均气温为 3.9~8.7℃,年降水量为 115~298 mm,属中温带大陆性干旱气候。参照文献[17]划分方法,将塔城地区 7 个县(市)及克拉玛依市、炮台镇简称“塔城地区”(图 1)。

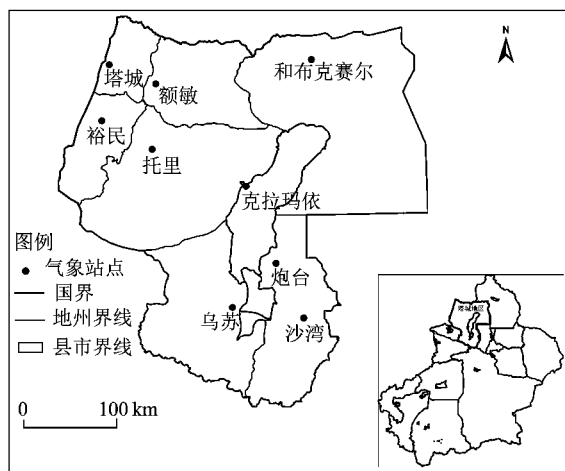


图 1 塔城地区气象站点分布

1.2 资料来源

塔城地区 9 个国家气象观测站 1961 年 1 月—2021 年 2 月逐月降水量资料来源于新疆维吾尔自治区气象信息中心。3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月—翌年 2 月为冬季。

1.3 研究方法

1.3.1 标准化降水指数(S_{PI})

S_{PI} 由 McKeen 等^[14]提出,假设降水量的分布服从不完全的 Γ 分布,通过概率密度函数求解累积概率,再将累积概率进行标准化处理,利用标准化降水累积概率分布来划分干旱等级。该指标适用于不同地区不同时间尺度干旱的监测与评估。本文选用 12 个月和 3 个月时间尺度的 S_{PI} 值分析年尺度和季节尺度的干旱时空演化特征。标准化降水指数干旱等级划分^[18], $-0.5 < S_{PI}$ 为无旱, $-1.0 < S_{PI} \leq -0.5$ 为轻旱, $-1.5 < S_{PI} \leq -1.0$ 为中旱, $-2.0 < S_{PI} \leq -1.5$ 为重旱, $S_{PI} \leq -2.0$ 为特旱。

1.3.2 干旱评估指标

干旱频率用来评价某一站点在参与计算时段内发生干旱的频繁程度,计算公式为:

$$F_i = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: F_i 为 i 站发生干旱的频率, N 为参与计算的气象资料年数, n 为发生干旱的年数。

干旱站次比为某区域内发生干旱的站数占该区域总站数的比例,可用来评价干旱影响范围的大小,计算公式为:

$$P_j = \left(\frac{m}{M} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: j 为年份, m 为发生干旱的站数, M 为参与评估的区域内总站数。本文参照文献[19]定义, $P_j < 10\%$ 时为无明显干旱发生; $10\% \leq P_j < 25\%$ 时为局域性干旱; $25\% \leq P_j < 35\%$ 时为部分局域性干旱; $35\% \leq P_j < 50\%$ 时为区域性干旱; $P_j \geq 50\%$ 时为全域性干旱。

干旱强度用来评价干旱的严重程度,单站某时段的干旱强度可用 S_{PI} 值反映,某区域内多年干旱程度计算公式为:

$$S_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |K_{ij}| \quad (3)$$

式中: K_{ij} 为 j 年发生干旱的 i 站 S_{PI} 值, m 为发生干旱的站数。 $0.5 \leq S_{ij} < 1.0$ 时为轻度干旱, $1.0 \leq S_{ij} < 1.5$ 时为中度干旱, $S_{ij} \geq 1.5$ 时为重度干旱, S_{ij} 越大,干旱越严重。

2 分析结果

2.1 干旱空间变化特征

2.1.1 年尺度干旱频率

近 60 年塔城地区年尺度干旱频率(图 2)显示,各站年干旱(轻旱及以上,下同)发生频率为 21.67%~38.33%,平均为 30.37%,年干旱频率在 35.00%以上的站点有乌苏和塔城,干旱频率在 25.00%以下的站

点有额敏和托里。不同干旱等级中,轻旱发生频率为 3.38%~23.33%,额敏最少,塔城最多;中旱发生频率为 5.00%~15.00%,裕民和沙湾最少,乌苏最多;重旱发生频率为 1.67%~6.67%,平均为 4.26%,和布克赛尔和沙湾最多;特旱发生频率为 1.67%~5.00%,额敏发生最多。塔城地区降水受地形地貌、海拔和山脉走向等因素影响而导致降水概率分布不同,造成各地干旱发生频率存在一定的差异性。

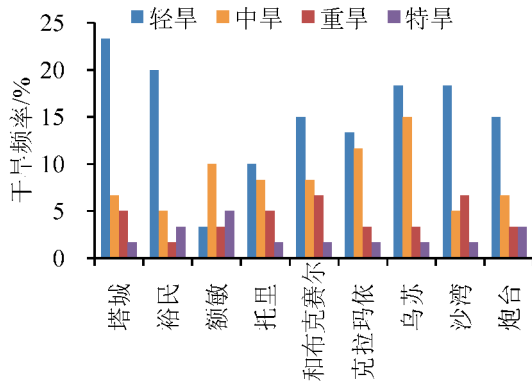


图2 1961—2020年塔城地区各站年尺度干旱频率

2.1.2 季节性干旱频率

塔城地区各站干旱发生频率(图3)显示,各站季节性干旱发生频率为 25.00%~38.33%,夏旱发生频率最高,冬旱最低。四季中,春旱发生频率为 28.33%~33.33%,和布克赛尔和托里发生频率最低,裕民和炮台最高;夏旱发生频率为 26.68%~36.67%,托里最低,塔城和乌苏最高;秋旱发生频率为 25.00%~35.00%,克拉玛依最低,乌苏最高;冬旱发生频率为 25.00%~38.33%,乌苏最低,和布克赛尔最高。塔城地区各站不同等级季节性干旱的发生频率差异相对较小,均以轻旱和中旱为主,轻旱发生频率为 12.59%~16.67%,夏季最多,冬季最少;中旱发生频率为 9.07%~10.19%,夏季最多,春季最少;重旱发生频率为 5.00%左右,秋季最多,夏季最少;特旱发生频率不足 3.00%,春季最多,秋季最少。

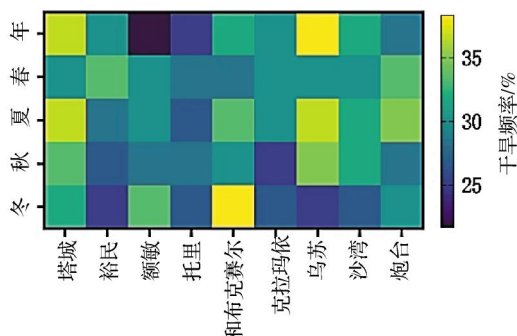


图3 1961—2020年塔城地区干旱频率空间分布

2.1.3 标准化降水指数 S_{PI} 的倾向率空间分布

由表1可知,近60年塔城地区年尺度 S_{PI} 呈上升趋势,66.67%的站点通过 0.05 的显著性检验,其中裕民、克拉玛依和乌苏 S_{PI} 为 0.19~0.23/10 a ($P < 0.01$),干旱减弱趋势显著。四季中,春季大部分站点 S_{PI} 呈不显著上升趋势,其中和布克赛尔和乌苏上升趋势显著;夏季除塔城 S_{PI} 不显著下降外,其余站点均呈不显著上升趋势;秋季各站 S_{PI} 均呈上升趋势,其中克拉玛依、炮台和乌苏以 0.15~0.19/10 a 的速率显著上升;冬季绝大部分站点 S_{PI} 呈显著上升趋势,有 5 站 S_{PI} 极显著上升,可见冬季干旱减弱的幅度在四季中最大。

表1 1961—2020年塔城地区各站 S_{PI} 倾向率/10 a

站点	春季	夏季	秋季	冬季	全年
塔城	0.02	-0.01	0.05	0.22**	0.09
裕民	0.07	0.09	0.10	0.33**	0.19**
额敏	0.03	0.06	0.01	0.15*	0.09
托里	0.01	0.11	0.06	0.26**	0.13
和布克赛尔	0.17*	0.07	0.10	0.14	0.16*
克拉玛依	0.09	0.13	0.15*	0.18*	0.19**
乌苏	0.16*	0.01	0.19**	0.25**	0.23**
沙湾	0.08	0.04	0.12	0.31**	0.16*
炮台	0.08	0.04	0.18**	0.11	0.14*

注:* 和** 分别表示通过 0.05 和 0.01 的显著性检验。

2.2 干旱时间变化特征

由图4a可知,近60年塔城地区年平均 S_{PI} 为 -1.84~2.22,1997年最小,2016年最大。年尺度 S_{PI} 呈波动上升趋势[0.15/10 a ($P < 0.01$)],表明干旱状况总体有所减缓。M-K 突变检验(图5a)表明,年尺度 S_{PI} 经历了上升、下降、上升的变化过程,1987年之后 S_{PI} 呈上升趋势, UF 和 UB 曲线在置信区间相交于1987年(突变开始时间),并在2004年超过 0.05 显著性水平临界线,表明干旱减弱的突变显著。这与吴秀兰等^[12]基于 M_d 指数的新疆干旱程度在1987年发生突变的结论一致。

为揭示不同季节干旱的变化情况,以季节尺度 S_{PI} 分析各季干旱的时间演变特征(图4b~4e、图5b~5e)。塔城地区四季 S_{PI} 值均表现为增大趋势,冬季增幅最大,气候倾向率为 0.21/10 a,秋季次之;春季和夏季 S_{PI} 增大趋势不显著。塔城地区春季 S_{PI} 值为 -1.84~1.64,1989年最小,2010年最大。20世纪60和70年代年际振荡较大,自90年代初期开始 S_{PI}

呈持续缓慢上升趋势,经M-K和滑动 t 检验分析,无显著突变点;夏季 S_{PI} 值为 $-1.51\sim 1.67$,1974年最小,2013年最大,在1988年发生由少到多的突变,1997年之后呈持续上升趋势;秋季 S_{PI} 值为 $-1.81\sim 1.72$,1997年最小,2015年最大,1979年开始呈上升趋势,1986年前后发生突变,并在1997年超过0.05显著性水平临界线;冬季 S_{PI} 值为 $-2.12\sim 2.52$,1967年最小,2015年最大,1986年发生突变,并在1997年之后上升趋势加剧,超过0.05的显著性水平临界线,冬旱减弱趋势在四季中最显著。研究表明,中国西北地区年空中水汽含量自1986年开始呈上升趋势^[20],以1986年为界,新疆由普遍干旱期转为相对湿润期^[21]。塔城地区年和夏、秋、冬季 S_{PI} 在20世纪80年代中期发生突变,空中水汽含量(降水量)增加是干旱发生减弱突变的主导因素。

2.3 干旱站次比(影响范围)和干旱强度

2.3.1 年尺度干旱站次比和干旱强度

由公式(2)计算得到年干旱站次比(图6a),近60年塔城地区干旱站次比呈显著减小趋势,倾向率为 $-5.34\%/10\text{ a}$,表明干旱发生范围呈不断缩小趋势。干旱站次比在20世纪80年代中期之前较大,之后在波动中持续减小。塔城地区主要以局域性和全域性干旱为主,占比达60%,其中局域性干旱发生频率最高,为21次,1970—1973年连续4 a出现局域性干旱;全域性干旱发生15次,其中1967、1974和1997年所有站点均发生不同程度的干旱;部分区域性干旱发生6次;区域性干旱最少,仅出现3次。从塔城地区干旱站次比的年代际变化(表2)可知,20世纪70年代—21世纪00年代站次比呈逐渐减小趋势,21世纪10年代又有增大倾向。

由公式(3)计算得到年干旱强度(图6b),近60年塔城地区干旱强度以 $-0.11/10\text{ a}$ 的速率显著减

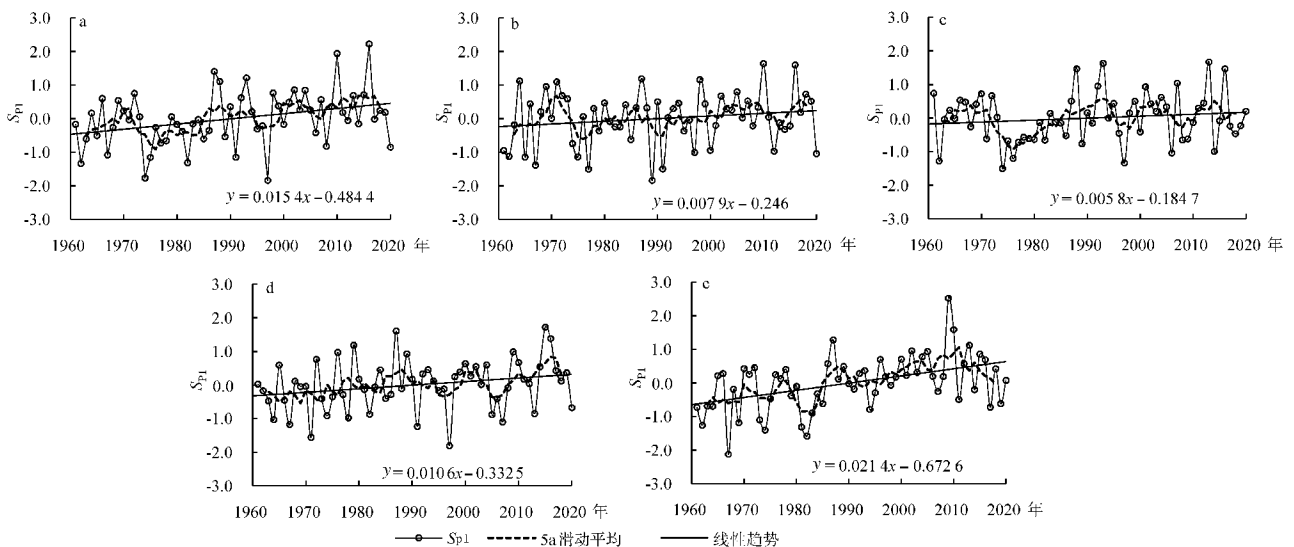


图4 1961—2020年塔城地区年(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)及冬(e)季 S_{PI} 变化

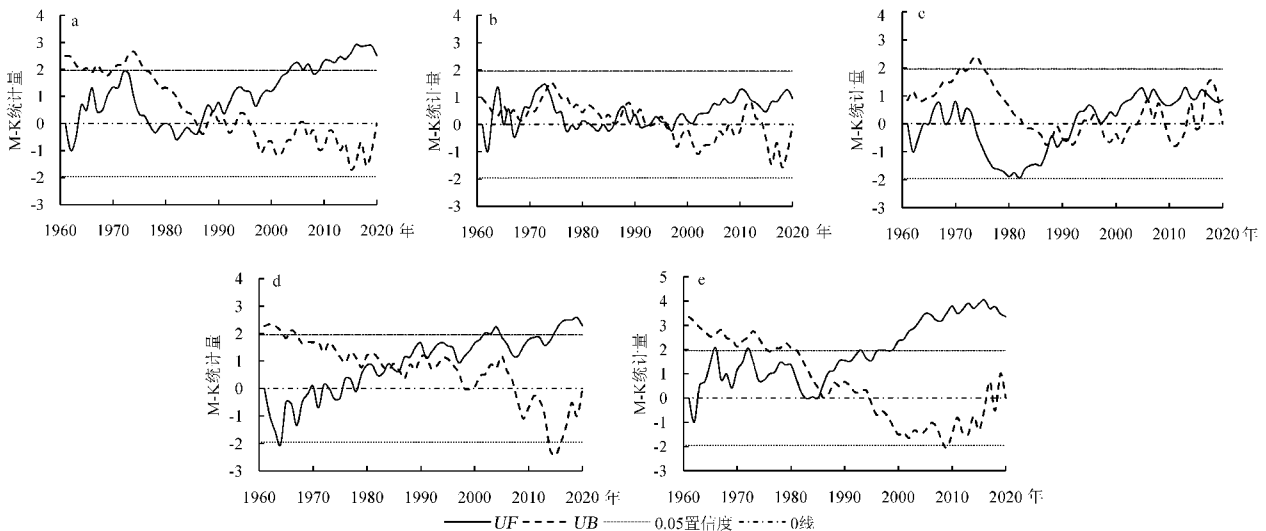


图5 1961—2020年塔城地区年(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)及冬(e)季 S_{PI} 值M-K检验

弱,干旱强度的总体变化趋势与干旱站次比基本一致,平均干旱强度为 0.74,波动范围为 0.00~1.84,其中轻度干旱发生频数最高,为 30 次,主要发生在 20 世纪 60、70 和 90 年代;中度干旱发生 12 次(1962、1965、1967、1973、1975、1982—1983、1985、1991、2008、2011 和 2020 年);重度干旱发生 3 次,出现在 1974、1984 和 1997 年,干旱强度分别为 1.77、1.71 和 1.84(最大)。干旱强度年代际变化表现为 20 世纪 70 年代平均干旱强度最大,20 世纪 60 年代次之,21 世纪 00 年代最小。

2.3.2 季节性干旱站次比和干旱强度

2.3.2.1 春旱

由图 7a 可知,塔城地区春旱站次比的变化范围为 0%~100%,站次比>10%的年份所占比例达 68.33%,其中局域性春旱发生频数最多,共计 18 次,1972—1973、2003—2004 年出现连年局域性春旱;全域性春旱发生 15 次,1962、1967、1975、1989 和 1991 年站次比达到 100%;部分区域性和区域性春旱分别发生 7 次和 1 次。由表 2 可知,春旱站次比 20 世纪 60 年代最大,21 世纪 00 年代最小。在干旱

强度方面,春旱平均强度为 0.69,波动曲线与春旱站次比基本一致,其中轻度春旱发生 20 次,20 世纪 70 年代中后期发生频繁;中度春旱发生 18 次,20 世纪 60 年代和 21 世纪 10 年代较多,分别出现 5 和 4 次;重度春旱发生 3 次,分别出现在 1977 年(干旱强度为 2.13,最大)、1989 和 1991 年。春旱强度 20 世纪 70 年代最大,21 世纪 00 年代最小。塔城地区春旱站次比和强度呈不显著减小趋势,线性倾向率分别为-4.37%/10 a 和-0.06/10 a,表明干旱影响范围略有减小,强度略微减弱。

2.3.2.2 夏旱

由图 7b 可知,塔城地区夏旱发生频率在四季中最高,达到 81.67%,其中局域性夏旱发生 24 次,1966—1968、1983—1985、1990—1992、2001—2003 和 2010—2012 年均连续 3 a 出现局域性夏旱。全域性夏旱发生 18 次,1974—1979 年连续 6 a 出现全域性夏旱;部分区域性夏旱发生 7 次,无区域性夏旱发生。夏旱站次比 20 世纪 70 年代发生范围最大,20 世纪 60 年代最小。在干旱强度方面,夏旱平均强度为 0.82,亦为四季中最大,其中轻度夏旱发生 29

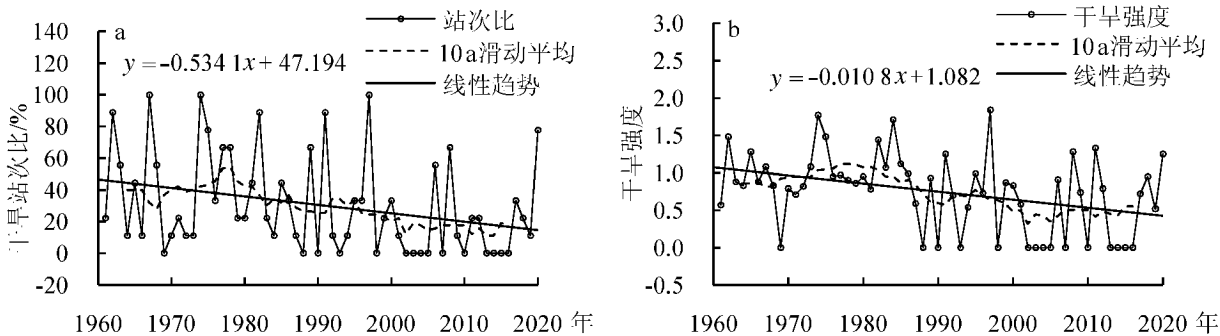


图 6 1961—2020 年塔城地区年尺度干旱站次比(a)和干旱强度(b)变化

表 2 塔城地区年、季干旱站次比和干旱强度年代际变化

年	干旱站次比/%					干旱强度				
	春	夏	秋	冬	年	春	夏	秋	冬	年
1961—1970	45.56	17.78	35.55	51.11	40.00	0.76	0.62	1.01	1.00	0.86
1971—1980	34.44	55.56	41.11	32.22	43.33	0.87	1.06	0.84	0.89	1.05
1981—1990	24.44	30.00	26.67	44.44	32.33	0.70	0.91	0.83	0.86	0.86
1991—2000	38.89	27.78	28.89	20.00	33.33	0.81	0.88	0.77	0.68	0.78
2000—2010	12.22	31.11	26.67	10.00	14.44	0.39	0.70	0.60	0.36	0.35
2011—2020	26.67	30.00	18.89	17.78	18.89	0.63	0.75	0.60	0.62	0.56
1961—2020	30.37	32.04	29.63	29.26	30.37	0.69	0.82	0.77	0.73	0.74
倾向率/10 a	-4.37	-0.17	-3.74	-7.99**	-5.34*	-0.06	-0.01	-0.08	-0.11**	-0.11**

注:* 和 ** 分别表示通过 0.05 和 0.01 的显著性检验。

次,占比48.33%,连续2 a以上轻度夏旱发生8次;中度夏旱发生16次,1965—1966、1996—1997和2018—2019年出现连年中度夏旱;重度夏旱发生4次,分别出现在1974、1976、1984(干旱强度为1.70,最大)和1989年。夏旱强度20世纪70年代最大,20世纪60年代最小。夏旱站次比和强度的倾向率分别为 $-0.17\%/10\text{ a}$ 和 $-0.01/10\text{ a}$,在四季中减幅最小,可见夏旱的减轻程度十分微弱。

2.3.2.3 秋旱

塔城地区局域性秋旱发生19次,20世纪80年代和90年代发生最为频繁,共计11次;全域性秋旱发生13次,其中1971和1997年站次比达到100%(图7c);部分区域性和区域性秋旱分别为6和5次。秋旱站次比年代际变化表现为20世纪70年代最大,21世纪10年代最小。在干旱强度方面,秋旱平均强度为0.77,其中轻度秋旱发生20次,主要集中在1990—2003年,期间共发生9次,连续2 a以上轻度秋旱发生5次;中度秋旱发生15次,1966—1970、1973—1974、1977—1978和2005—2007年出现连年秋旱;重度秋旱发生8次,分别出现在1971、1975、1984、1985、1991、1997、2013和2018年(1.87,最大),且后4次干旱强度(平均值为1.76)明显大于前4次(平均值为1.56),可见重度秋旱事件的强度有增大倾向,极端干旱事件的发生风险有增大的可能性。秋旱强度年代际差异相对较小,20世纪60年

代最大,21世纪00年代和10年代最小。秋旱站次比和强度分别以 $-3.74\%/10\text{ a}$ 和 $-0.08/10\text{ a}$ 的速率不显著减小,表明秋旱范围略有减小,强度略有减弱。

2.3.2.4 冬旱

塔城地区局域性冬旱发生21次,20世纪70年代初—90年代中期发生较频繁,其中1988—1992年连续5 a发生局域性冬旱;全域性冬旱发生12次,20世纪60年代和80年代前期发生较多,1995年之后无全域性冬旱发生;区域性冬旱和部分区域性冬旱分别发生7和3次。冬旱站次比的年代际差异较大,20世纪60年代最大(51.11%),21世纪00年代最小(10.00%)(图7d)。在干旱强度方面,冬旱平均强度为0.73,其中轻度冬旱发生23次,1964—1965、1971—1972、1975—1976、1984—1985、1988—1989、1991—1992、1997—1998和2003—2004年均为连续2 a发生轻度冬旱;发生中度冬旱17次,1997年之前约有1/3的年份发生了中度冬旱,之后明显减少,与前文冬季 S_{PI} 在1997年达到显著增大的时间相对应;重度冬旱发生3次,分别出现在1962、1967(1.97,最大)和1982年。冬旱强度年代际变化表现为20世纪60年代—21世纪00年代依次减小,21世纪10年代略有增大。冬旱站次比为 $-7.79\%/10\text{ a}$,冬旱强度为 $-0.11/10\text{ a}$,可见冬季干旱程度减轻趋势在四季中最显著。

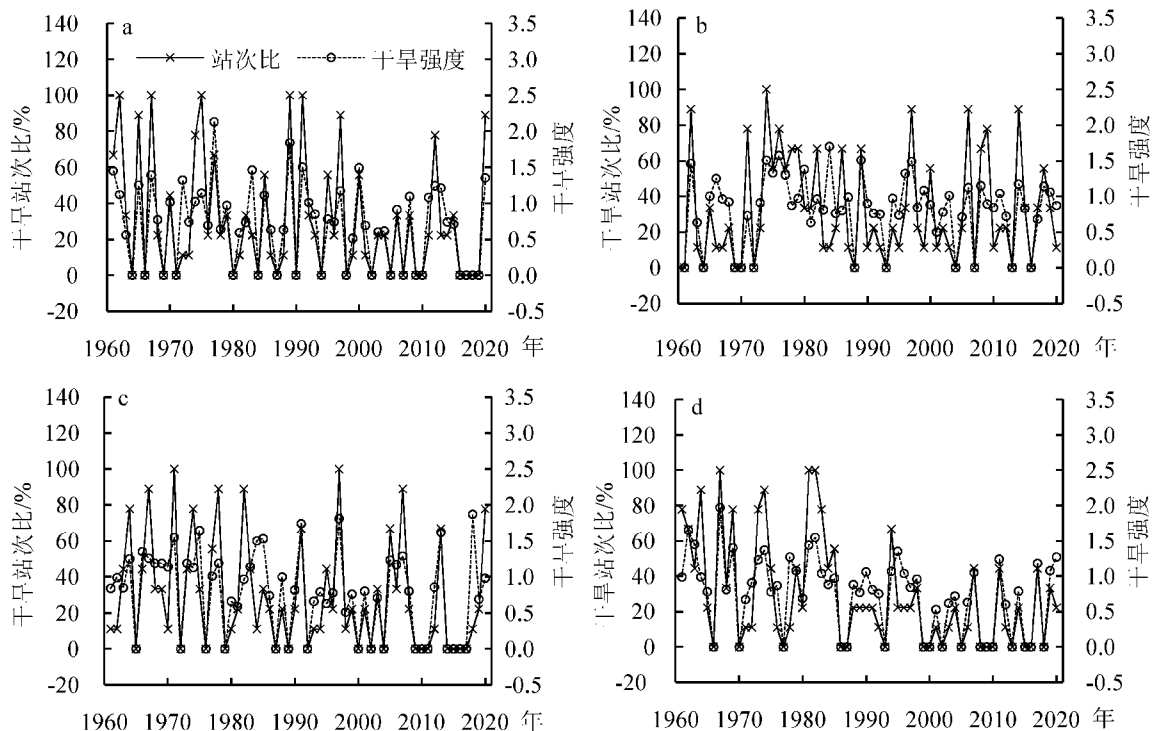


图7 1961—2020年塔城地区春(a)、夏(b)、秋(c)及冬(d)季干旱站次比和干旱强度变化

3 讨论

目前没有一种指数能够完全定量地描述干旱的时空特征,且适用于不同区域干旱特征的表征及其对环境和社会影响的评估,即使对同一个研究对象,不同干旱指数所得结果亦存在明显差异。这是全球干旱化的趋势变化研究存在诸多争议^[22-23]的原因。在全球范围内,由于降水减少和气温升高,过去近 60 年和 21 世纪主要以干旱化趋势为主^[24];部分区域由于降水增加,干旱程度减轻,如斯堪的纳维亚、白俄罗斯、乌克兰和俄罗斯^[25]。已有的关于新疆区域干旱的研究为塔城地区干旱变化提供了事实依据和理论基础。如慈晖等^[26]对多种气象干旱指数在新疆干旱评价中的应用对比研究表明, S_{PI} (S_{PEI} , 标准化降水蒸散指数)对降水(气温)响应较快,导致对干旱的判断偏轻(重),但干湿趋势变化总体特征一致; P_{DSI} (Palmer 干旱指数)对干湿变化响应较慢。整体上,新疆干旱发生具有明显的区域性和季节性特征,年季干旱影响范围均呈缩减趋势。郭冬等^[27]对不同干旱指数在新疆区域适用性进行研究, P_{DSI} 和 M_{CI} (气象干旱综合指数)变化趋势表明新疆干旱程度呈减轻趋势, S_{PEI} 指数仅在东疆和南疆东部区域表现出干旱程度有加重趋势。与历史灾情对比显示, M_{CI} 指数在新疆地区的适用性优于其他指数。

基于 S_{PI} 的塔城地区干旱变化与新疆地区^[12,26-28]的干旱变化特征大体一致,干旱状况得到一部分缓解,但这不改变塔城地区干旱的气候本质,塔城地区未来水资源状况依然不容乐观。近 60 年塔城地区呈现增暖增湿趋势,考虑其他气象要素对干旱的影响,对 9 站年日照时数、低云量、平均风速和直径 20 cm 蒸发量分析显示,9 站仅裕民站日照时数不显著增加,其余站均呈减少趋势;各站低云量(平均风速)呈极显著增多(减小)趋势;77.78%的站点蒸发量呈减少趋势,以上要素的变化趋势与苏宏超^[13]、张山清等^[29]研究的关于新疆区域的变化趋势大体一致。贾艳青^[30]也发现中国北方地区风速和日照时数减少使潜在蒸散量下降的作用超过气温和相对湿度对潜在蒸散上升的作用。

通过对比各站年、季节 S_{PI} 的变化趋势发现,塔城地区年降水量<200 mm 的干旱区(和布克赛尔、克拉玛依、炮台和乌苏) S_{PI} 增大幅度较大,即干旱减轻趋势较研究区域内的半干旱区更加明显,这是对 HUANG 等^[31]指出的中亚干旱区面积在缩小的响应,也是中亚干旱区缩小进程的一部分。有研究表明,西北西部(新疆)的湿润化进程并未因气温的升高而

停止^[30],20 世纪 80 年代中后期以来,新疆呈“暖湿化”特征,但 1997 年之后有 70%以上的区域呈变干趋势,发生了“湿干转折”,但塔城地区仍以增湿为主^[32]。由于干旱成因复杂,特别是季节性干旱,不仅要考虑前期降水,还要考虑降水对后期的影响程度。近 60 年塔城地区气温显著增暖,变暖驱动水循环过程加快,从而导致降水量显著增加,暖湿化进程加剧,四季中尤其以冬季趋暖增湿最显著,冬旱发生程度明显减轻,同时冬季有效雪层、积雪深度增厚,利于翌年冬小麦和牧草的返青及生长,降低了春旱发生的风险。

S_{PI} 能很好地体现塔城地区干旱的年际变化,王舒等^[28]指出 S_{PI} 和 S_{PEI} 在北疆平原谷地区域的适用性较好。基于 S_{PI} 得到的塔城地区干旱情况与实际干旱灾情记录基本一致,特别是中度以上干旱、全域性干旱基本都能在文献^[33]和灾情普查结果上得到印证, S_{PI} 在塔城地区适用性较好,但基于降水单要素指标评估干旱存在片面性,今后还需开展多种干旱指数在塔城地区的适用性研究。

4 结论

利用塔城地区 9 个国家气象观测站近 60 年逐月降水资料,基于 S_{PI} 干旱指数探讨塔城地区干旱的演化特征,得到以下结论:

(1)近 60 年塔城地区各站年干旱发生频率为 21.67%~38.33%,季节性干旱发生频率为 25.00%~38.33%,主要以轻旱和中旱为主,占比约为 24.00%。年、夏、秋和冬季 S_{PI} 在 20 世纪 80 年代中期发生突变,与新疆干湿转折时间相吻合。

(2)干旱影响范围方面,各季节均以局域性干旱和全域性干旱为主,夏旱发生最频繁,冬旱发生最少;干旱强度方面,各季以轻度干旱和中度干旱为主,夏旱强度最大,春旱最小。各季干旱站次比和干旱强度均呈减小趋势,表明季节性干旱程度整体有所减轻。

(3)塔城地区干旱程度总体呈减轻趋势,冬季尤为显著,有 66.67%的站点 S_{PI} 显著增大,77.78%的站点 S_{PI} 增幅在四季中最大,冬旱站次比与强度减幅在四季中亦最大。

(4)基于降水的 S_{PI} 能较好地揭示降水及干旱的时空分布,但塔城地区正经历增暖趋湿的过程,忽略温度等要素的影响,很可能导致对旱情严重程度的判断偏轻。为此,开展多种干旱指数在塔城地区的适用性分析和本地化修订将是今后的重点工作,旨在

提高干旱监测的精确化和定量化水平,对农牧业生产规划、合理规避可能的气候风险和有效防御干旱意义深远。

参考文献:

- [1] WILHITE D A,SVBODA M D.Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation, in early warning systems for drought preparedness and drought management [R].World Meteorological Organization, Lisboa, 2000: 1–21.
- [2] 吴金汝,陈芳,陈晓玲,等.1900—2018 年全球自然灾害时空演变特征与相关性研究[J].长江流域自然资源与环境, 2021, 30(4): 976–991.
- [3] WILHITE D A, GLANTZ M H. Understanding the drought phenomenon: The role of definition[J]. Water International, 1985, 10: 111–120.
- [4] RULINDA C M, DILO A, BIJKE W, et al. Characterising and quantifying vegetative drought in East Africa using fuzzy modeling and NDVI data [J]. Journal of Arid Environments, 2012, 78(3): 169–178.
- [5] DAI Aiguo. Drought under global warming: A Review [J]. Wiley Inter disciplinary Reviews: Climate Change, 2012, 3(6): 489–617.
- [6] 乔雪梅. 1960—2019 年中国绿洲极端干湿事件时空特征及其影响因素分析[D]. 兰州: 西北师范大学, 2021.
- [7] 张存杰,任玉玉,曹丽娟,等.近 60 年中国干湿气候变化特征及其未来趋势预估[J].气候变化研究快报, 2021, 10(6): 728–741.
- [8] ZHANG Q, YANG J H, WANG W, et al. Climatic warming and humidification in the arid region of Northwest China: multi-scale characteristics and impacts on ecological vegetation[J]. Journal of Meteorological Research, 2021, 35: 113–127.
- [9] 李明,孙洪泉,苏志诚,等.中国西北气候干湿变化研究进展[J].地理研究, 2021, 40(4): 1180–1194.
- [10] 姚旭阳,张明军,张宇,等.中国西北地区气候转型的新认识[J].干旱区地理, 2022, 45(3): 671–683.
- [11] YANG Linshan, QI Feng, ADAMOWSKI J, et al. Spatio-temporal variation of reference evapotranspiration in northwest China based on CORDEX -EA [J]. Atmospheric Research, 2020, 238: 1–15.
- [12] 吴秀兰,段春锋,玛依拉·买买提艾力,等.基于 MCI 的新疆近 60 a 干旱时空特征分析[J].干旱区研究, 2021, 39(1): 75–83.
- [13] 苏宏超.新疆近 50 a 来的气温和蒸发变化[J].冰川冻土, 2003, 25(2): 174–178.
- [14] 王春林,司建华,赵春彦,等.河西走廊近 57 年来干旱灾害特征时空演化分析[J].高原气象, 2019, 38(1): 196–205.
- [15] 卢洪健,莫兴国,孟德娟,等.气候变化背景下东北地区气象干旱的时空演变特征[J].地理科学, 2015, 35(8): 1051–1059.
- [16] 魏凤英.现代气候诊断与预测技术[M].2 版.北京:气象出版社, 2007.
- [17] 高婧,井立红,秦榕,等.新疆塔城地区大—暴雪特征及其与大气环流和海温的关系[J].干旱区研究, 2021, 38(2): 359–368.
- [18] 全国气候与气候变化标准化技术委员会. 气象干旱等级: GB/T20481–2017[S].北京:中国标准出版社, 2017.
- [19] 吴英杰,李玮,王文君,等.基于降水距平百分率的内蒙古地区干旱特征[J].干旱区研究, 2019, 36(4): 943–952.
- [20] 俞亚勋,王劲松,李青燕.西北地区空中水汽时空分布及变化趋势分析[J].冰川冻土, 2003, 25(2): 149–156.
- [21] 谢培,顾艳玲,张玉虎,等.1961—2015 年新疆降水及干旱特征[J].干旱区地理, 2017, 40(20): 332–341.
- [22] SHEFFIELD J, WOOD E F, RODERICK M L. Little change in global drought over the past 60 years [J]. Nature, 2012, 491: 435–438.
- [23] DAI Aiguo. Increasing drought under global warming in observations and models [J]. Nature Climate Change, 2013, 3(2): 52–58.
- [24] FENG S, FU Q. Expansion of global drylands under a warming climate [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, 13(6): 14637–14665.
- [25] SPINONI J, NAUMANN G, VOGT J, et al. European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach [J]. Global and Planetary Change, 2015, 127(6): 50–57.
- [26] 慈晖,张强,肖名忠.多种气象干旱指数在新疆干旱评价中的应用对比研究[J].中山大学学报(自然科学版), 2016, 55(2): 124–133.
- [27] 郭冬,吐尔逊·哈斯木,吴秀兰,等.四种干旱指数在新疆区域适用性研究[J].沙漠与绿洲气象, 2022, 16(3): 90–101.
- [28] 王舒,肖高翔.4 种气象干旱指数在新疆的适用性分析[J].人民长江, 2021, 52(9): 86–92, 100.
- [29] 张山清,普宗朝,李景林.近 50 年新疆日照时数时空变化分析[J].地理学报, 2013, 68(11): 1481–1492.
- [30] 贾艳青.1960—2015 年中国北方气候干湿变化及成因[M].北京:气象出版社, 2018.
- [31] HUANG Jianping, YU Haipeng, GUAN Xiaodan, et al. Accelerated dryland expansion und climate change [J]. Nature Climate Change, 2016, 6(2): 166.
- [32] 姚俊强,毛炜峰,陈静,等.新疆气候“湿干转折”的信号和影响探讨[J].地理学报, 2021, 76(1): 57–72.
- [33] 史玉光.中国气象灾害大典(新疆卷)[M].北京:气象出版社, 2006.

Evolution Characteristics of Seasonal Drought in Tacheng Area of Xinjiang from 1961 to 2020

GAO Jing^{1,2}, JING Lihong³, CHEN Jing¹, LI Haihua⁴, JING Lijun²

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

2. Shawan Meteorological Bureau, Shawan 832100, China;

3. Tacheng Meteorological Bureau, Tacheng 834700, China;

4. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China)

Abstract Based on the monthly precipitation data of 9 national meteorological stations in Tacheng area from 1961 to 2021, the standardized precipitation index was calculated, and the spatial and temporal distribution characteristics of drought in Tacheng area were analyzed by least square method and Mann-Kendall test. The results showed that: (1) On the annual scale, the frequency of drought was 30.37% in Tacheng area, with light drought was the most, followed by moderate drought. And the two-thirds of stations showed a significant increasing trend. The frequency ratio of annual drought stations and drought intensity showed a significant decreasing trend, and the drought degree was alleviated. After 1987, the drought degree was generally lighter. (2) On the seasonal scale, the abrupt change of drought reduction occurred in summer, autumn and winter in the mid-1980s. The autumn and winter reached respectively significant levels in 2002 and 1997. (3) In terms of drought scope, local and global drought were dominant in each season, and the frequency of global drought was between 20% and 30%. In terms of drought intensity, the frequency of mild drought were the highest in each season, and above the frequency of moderate droughts were between 33% and 38%. (4) In the past 60 years, the seasonal drought showed a trend of narrowing in the scope of influence and weakening in the intensity. In particular, frequency ratio of drought stations and drought intensity in winter were significantly reducing by $-7.79\%/10\text{ a}$ and $-0.11/10\text{ a}$, and the drought reduction trend was the most significant in the four seasons.

Key words standardized precipitation index; seasonal drought; Tacheng area of Xinjiang