

阿帕尔·肉孜,阿吉古丽·沙依提,叶尔克江·霍依哈孜,等.基于SPI的1961—2020年昌吉地区作物生长季气象干旱时空特征研究[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(2):164–169.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.02.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 基于SPI的1961—2020年昌吉地区作物生长季气象干旱时空特征研究

阿帕尔·肉孜<sup>1</sup>,阿吉古丽·沙依提<sup>2</sup>,叶尔克江·霍依哈孜<sup>1\*</sup>,黄秋霞<sup>1</sup>

(1.昌吉州气象局,新疆昌吉831100;2.新疆气象学会,新疆乌鲁木齐830002)

**摘要:**基于昌吉地区1961—2020年的气象资料分析了作物生长季标准化降水指数(SPI-7)的年际和年代际变化特征,揭示了作物生长季干旱发生频率和强度。结果表明:1961—2020年昌吉地区作物生长季水分呈增加趋势,标准化降水指数以0.08/10a的速率增加。气象干旱呈干—湿—干的年代际变化趋势,其中1981年发生突变。干旱强度呈增加趋势,干旱发生面积呈弱减少趋势。东部地区是干旱高发区,但以轻旱为主;西部地区则是中旱、重旱和特旱高发区。昌吉地区的气象干旱存在6、9、16a的周期震荡,与历史灾情具有很好的吻合性。

**关键词:**作物生长季;气象干旱;标准化降水指数(SPI);干旱强度;干旱频率

**中图分类号:**P467

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-0799(2024)02-0164-06

进入21世纪以来,在全球气候变暖背景下,我国干旱时间的发生频率有明显的上升<sup>[1]</sup>。气候变暖加剧了极端天气概率<sup>[2]</sup>。极端气象问题引发的气象灾害引起全社会的广泛关注<sup>[3]</sup>。干旱是我国最常见、对农业生产影响最大的气候灾害,危害性都超过了其他的自然灾害<sup>[4]</sup>。气象干旱是农业干旱与社会经济干旱的基础,是指区域内持续的降水异常偏少、土壤水分严重亏缺的气候现象。气象干旱对农业生产和粮食安全的影响日益加重<sup>[5]</sup>。新疆属典型的大陆性干旱半干旱气候区,气象干旱的影响范围大且持续时间长。关于新疆气象干旱的分布特征及其成因研究显示,1964—2012年石河子垦区呈暖湿趋势<sup>[6]</sup>;天山地区气候总体呈暖湿化趋势<sup>[7]</sup>。阿勒泰地区作

物生育期气候总体呈日趋暖湿化<sup>[8]</sup>。这些研究结果丰富了北疆气候干湿变化认知。

昌吉地区是新疆粮食和种子主产区,2021年统计数据显示,昌吉地区农作物面积为46.37万hm<sup>2</sup>,其中粮食作物21.72万hm<sup>2</sup>,制种作物5.5万hm<sup>2</sup>。另外,节水灌溉区占农作物总种植面积的90%,山旱地占10%。随着气候变暖,昌吉地区春、夏季干旱事件频发,2020、2022年春、夏季,2015、2021、2023年夏季均发生不同程度的区域性气象干旱,对农业生产造成了不利影响。因此,迫切需要探究昌吉地区近60年作物生长季干旱变化特征及演变,为农业安全生产提供科学依据。本研究将基于昌吉地区1961—2020年气象资料,以标准化降水指数(SPI-7)作为干旱指标,分析作物生长季(4—10月)干旱时空变化特征,运用趋势分析法、M-K突变检验法和小波分析法探究作物生长季干旱的年际和年代际变化特征,并基于干旱站次比和干旱强度分析作物生长季干旱的年际变化,以期对干旱监测预警和农业持续发展提供依据。

收稿日期:2022-10-12;修回日期:2023-09-23

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(IDM2021005, IDM2021001);中国气象局创新发展专项(CXFZ2021J044-03);国家自然科学基金面上项目(41875023);昌吉州科技项目(2020S03)

作者简介:阿帕尔·肉孜(1978—),男(维吾尔族),高级工程师,主要从事气候变化研究。E-mail:apar-ek@sohu.com

通信作者:叶尔克江·霍依哈孜(1979—),女(哈萨克族),高级工程师,主要从事应用气象研究工作。E-mail:erke-ap@sohu.com

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 研究区概况

昌吉州属于大陆性干旱气候,地势南高北低,由东南向西北倾斜(图 1)。由于地形条件的影响,东冷西热、南冷北热,由南向北气候差异大,南部是天山山地,北部是古尔班通古特沙漠盆地。农区各地作物生长季平均气温为 16.7~19.2 ℃,降水量为 106.8~160.0 mm,日照时数为 1 932.3~2 056.3 h,  $\geq 0$  ℃ 的积温为 3 581.4~4 104.9 ℃,  $\geq 10$  ℃ 的积温为 3 355.7~3 937.1 ℃, 平均大风日数为 3~11 d, 无霜期为 163~189 d, 极端最高气温为 44.4 ℃。

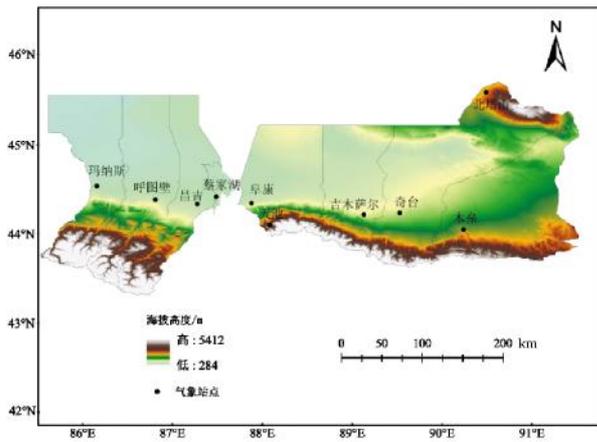


图1 昌吉地区地形

## 1.2 研究数据来源

选用 1961—2020 年昌吉地区玛纳斯、呼图壁、昌吉、阜康、吉木萨尔、奇台、蔡家湖等 7 个平原国家气象观测站的月降水资料计算逐年作物生长季标准化降水指数(SPI)。作物生长季为 4—10 月,气象干旱以 4—10 月的 7 个月时间尺度的 SPI-7 表征。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 气象干旱指数

气象干旱指数采用《气象干旱等级国家标准》(GB/T 20481—2017)中标准化降水指数(SPI)描述气象干旱。SPI 最早由 McKee 等<sup>[9]</sup>提出,该指数易获取资料,计算过程简单且具有多个时间尺度,适用于所有气候状况,可以灵活的反映干旱不同发展阶段。SPI 被世界气象组织(2009)推荐为国家气象和水文机构干旱监测的主要指标。

SPI 计算可采用较短时间尺度(1 个月、3 个月、6 个月或任意时段  $N$ ) 和较长时间尺度(12 个月和 24 个月),分别用 SPI-1、SPI-3、SPI-6、SPI- $N$ 、SPI-12 和 SPI-24 表示。SPI 是基于降水量长时间序列资料,计算降水累积概率密度函数,并进行标准化处理得到。具体物理含义和计算方法步骤参见文献[10-15],干旱划分等级参照国标 GB/T20481—2017。

### 1.3.2 干旱评价

本研究选用干旱发生频率、强度和站次比等指标评估干旱<sup>[14-17]</sup>。

干旱频率( $F$ )指一定年份内干旱发生的频繁程度:

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

式中: $n$  为发生干旱年数, $N$  为总年数。

干旱强度( $S_{ij}$ )指干旱的严重程度, $S_{P_{ij}}$  绝对值越大,指干旱越严重。

$$S_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |S_{P_{ij}}| \quad (2)$$

式中: $m$  为干旱站数量,  $|S_{P_{ij}}|$  为发生干旱时干旱指数的绝对值。当  $S_{ij} < 0.5$  时,为干旱强度不明显; $1 > S_{ij} \geq 0.5$  时,为轻度干旱;当  $1.5 > S_{ij} \geq 1$  时,为中度干旱;当  $S_{ij} \geq 1.5$  时,为重度干旱。

干旱站次比( $P_j$ )指干旱站数量与区域内站点总数的比率,表示发生的范围。

$$P_j = \left( \frac{m}{M} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中: $m$  为发生干旱的站点数; $M$  为该区站点总数; $j$  表示某一年。

干旱影响范围定义:当  $P_j \geq 50\%$  时,为全域性干旱;当  $50\% > P_j \geq 33\%$  时,为区域性干旱;当  $33\% > P_j \geq 25\%$  时,为部分区域性干旱;当  $25\% > P_j \geq 10\%$  时,为局域性干旱;当  $< 10\%$  时,为无干旱。

本研究运用 ArcGIS10.7 环境下的反距离加权(IDW)插值法对气象干旱进行空间插值;运用 Matlab R2018b 进行干旱突变检验;利用 Origin2018 和 Excel 软件进行气候倾向率和趋势变化分析。

## 2 结果分析

### 2.1 作物生长季干旱变化特征

1961—2020 年,昌吉地区作物生长季标准化降水指数为-1.90~2.18(图 2)。作物生长季标准化降水指数整体呈弱增加趋势(变湿),其气候倾向率为 0.08/10 a(图 2a)。标准化降水指数的年际和年代际变化较大,1961—1980 年昌吉地区标准化降水指数呈下降趋势(变干),气候倾向率为-0.09/10 a,未通过显著性检验;1981—1999 年呈上升趋势(变湿),线性倾向率为 0.05/10 a,未通过显著性检验;2000—2020 年呈下降趋势(变干),线性倾向率为-0.16/10 a,未通过显著性检验。

标准化降水指数最小值出现在 2020 年,为-1.90,

其次是1974年,为-1.77,最大值出现在1987年,为2.18。依据Mann-Kendall非参数检验方法对1961—2020年昌吉地区作物生长季标准化降水指数序列进行突变检验(图2b), $UF$ 曲线在1961—1970年处于逐年增加状态,1971—1980年呈波动式减少趋势,1981年之后呈增加状态,原序列( $UF$ )与反序列( $UB$ )曲线在0.05显著水平内在1981年交叉,交叉后 $UF$ 曲线持续上升。表明1981年为标准化降水指数由低到高的突变点,但增高趋势不显著。

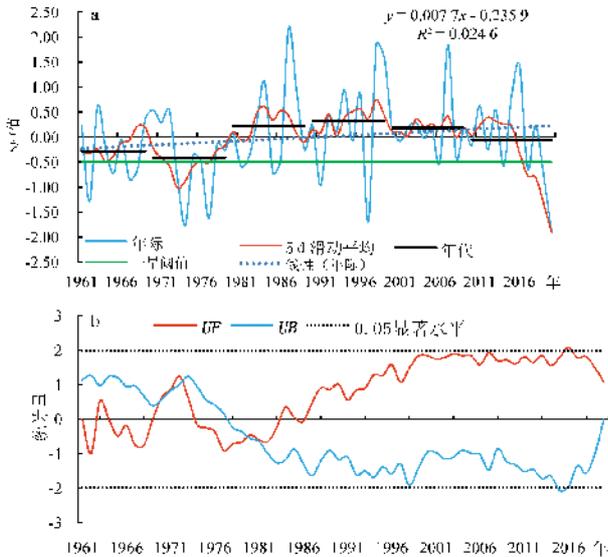


图2 生长季标准化降水指数年际变化(a)及M—K检验(b)

### 2.2 作物生长季不同等级干旱发生频率

昌吉地区1961—2020年作物生长季不同等级标准化降水指数发生的站点数(图3)表明,28 a全区各站点均无任何等级的干旱发生, 占所有研究年份的47%;1974、1977和1997年全区干旱发生率达100%;1962、1967、1968、1991、2017、2019和2020年

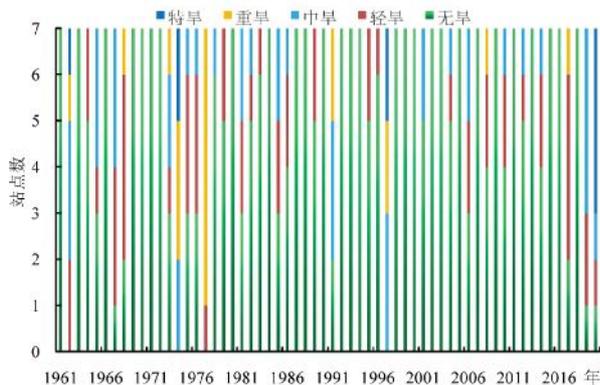


图3 昌吉地区1961—2020年作物生长季不同等级干旱事件发生的站点数

的干旱发生率达到70%~80%。全区发生特旱的频率很低,近60 a只有4 a发生特旱,分别为1962年(奇台)、1974年(蔡家湖、阜康)、1997年(玛纳斯、呼图壁)和2020年(玛纳斯、呼图壁、昌吉、蔡家湖)。1973—1976年持续5 a发生了较为严重的干旱。昌吉地区作物生长季轻旱和中旱频发,重旱和特旱的发生率较低。

### 2.3 作物生长季干旱强度

昌吉地区近60年作物生长季干旱强度呈增加趋势,但趋势不明显(图4)。昌吉地区作物生长季干旱强度为0.50~2.26。其中,轻度干旱13例,中度干旱10例,重度干旱6例(1994、1977、1991、1997、2001、2020年)。干旱强度最高值出现在2020年(2.26)、其次为1974年(1.77)、1997年(1.69)和1977年(1.62),其余年份干旱强度均为0.50~1.52。

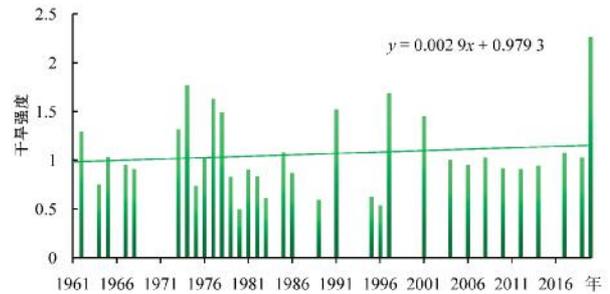


图4 干旱强度年际变化

### 2.4 作物生长季的干旱站次比

昌吉地区近60年作物生长季干旱站次比为14%~100%(图5)。全域性干旱出现15 a,出现频率为25%;区域性干旱出现5 a;部分区域性干旱7 a;局域性干旱1 a,出现频率10%以下。总体而言,昌吉地区近60年作物生长季内全域性干旱和区域性干旱发生较为频繁,干旱发生的区域面积呈轻微减少趋势,但趋势不明显。

### 2.5 作物生长季干旱的空间分布

以昌吉地区7个平原站和3个山区站为代表进行空间分布可知,昌吉地区干旱频率为25%~36%,

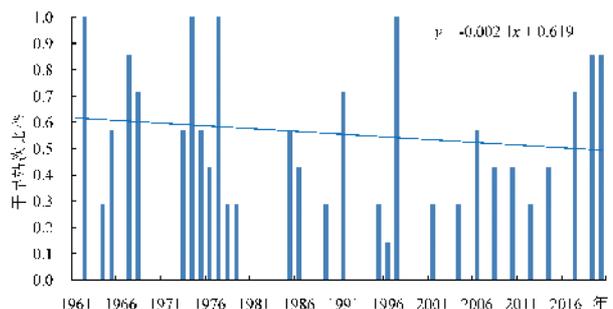


图5 干旱站次比年际变化

干旱频率最高区域主要集中在吉木萨尔县、奇台县和木垒县,阜康以西地区干旱频率较低(图 6a~6d)。其中,轻旱发生频率为 24%~67%,主要发生在昌吉市、蔡家湖、吉木萨尔县、奇台县和木垒县;中旱发生频率为 24%~47%,主要集中在玛纳斯县、阜康市、奇台县和北塔山等区域;重旱发生频率为 6%~29%,主要集中在呼图壁县、阜康市和吉木萨尔县南部丘陵地段;特旱发生频率<13%,主要分布在玛纳斯至阜康,奇台和北塔山。昌吉地区 1961—2020 年作物生长季年平均干旱强度为 1.0~1.3,属于中度干旱(图 6e),主要分布在玛纳斯至阜康一带和北塔山,最高值位于玛纳斯县和北塔山;玛纳斯至阜康的干旱强

度大于东三县(图 6f)。

## 2.6 作物生长季干旱发生的周期性

昌吉地区 1961—2020 年作物生长季 SPI 的 Morlet 小波分析表明, SPI 具有明显的周期性,存在着 6、9、16 a 周期性变化(图 7)。其中,6 a 时间尺度上出现 6 次明显的旱湿交替,1982—2012 年 6 a 周期极为明显;9 a 时间尺度上有 3 次旱湿交替,9 a 周期在 1967 年前、1992 和 2003 年较明显;16 a 时间尺度上有 1 次旱湿交替,发生在 1975 年。2019 年开始小波波谱向负值发展,表明进入干旱周期。根据周期特征可知,未来 3~8 a 昌吉地区作物生长季仍处于干旱期,需要引起重视防旱。

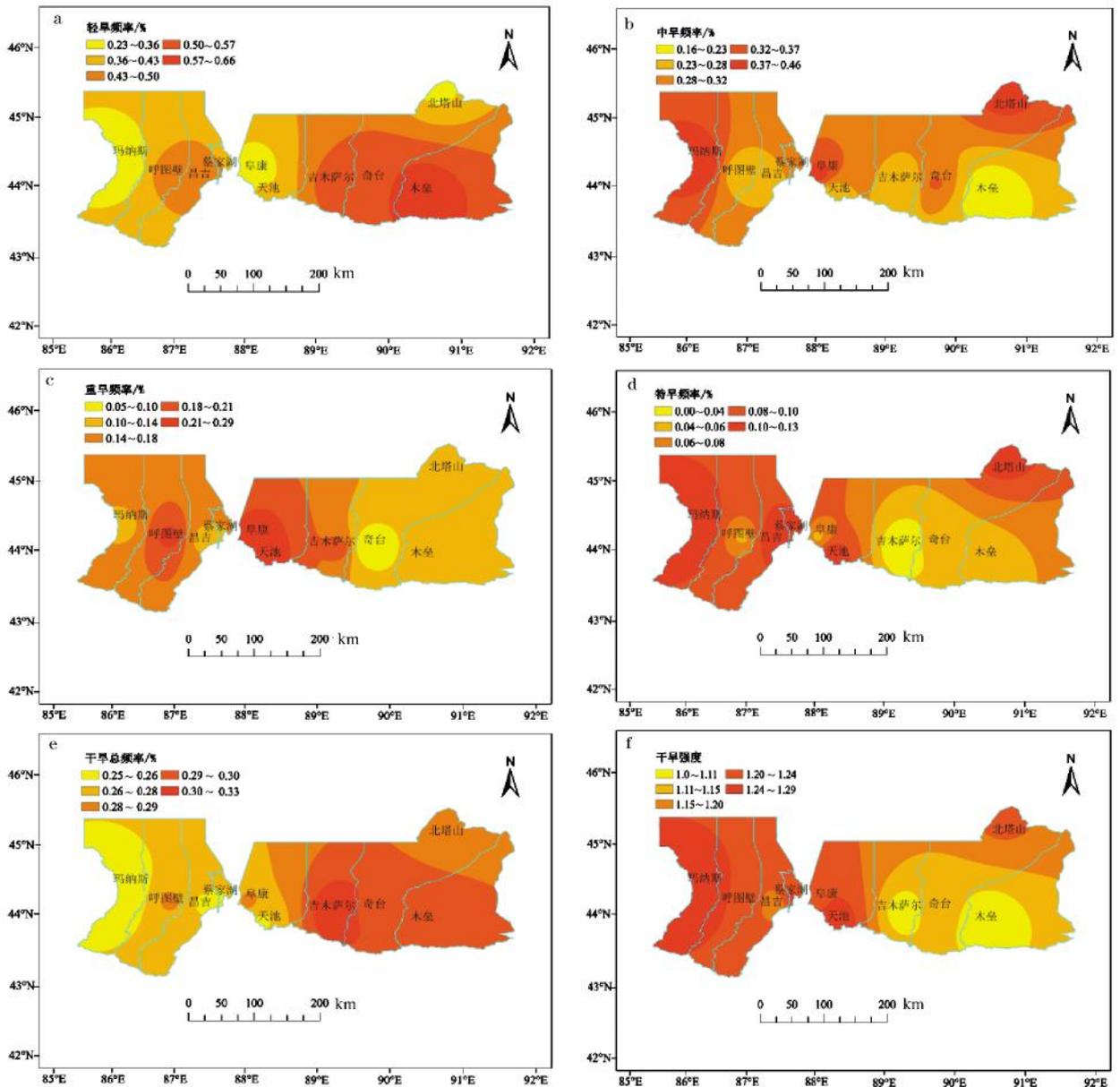


图 6 昌吉地区干旱频率(a~e)及干旱强度(f)空间分布  
(a 为轻旱, b 为中旱, c 为重旱, d 为特旱, e 为干旱总频率, f 为干旱强度)

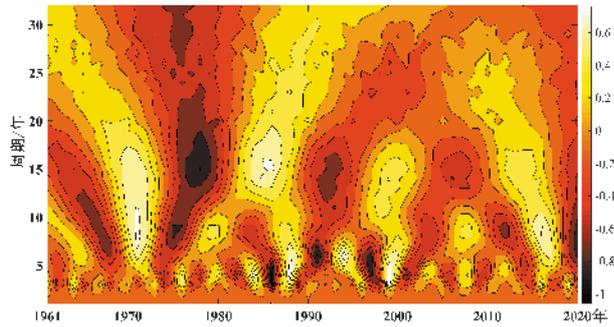


图 7 昌吉地区作物生长季 SPI 指数小波分析

### 2.7 作物生长季 SPI 指数对干旱指示的适用性评价

通过《中国气象灾害大典·新疆卷》和昌吉州灾害记录(1961—2020 年)提取典型的干旱灾害事件,并对历史旱灾与标准化降水指数评价结果进行对比(表 1),昌吉地区 1961—2020 年发生历史干旱记录了 34 a, SPI 识别出 31 a, 准确率达 91%, 表明 SPI 在昌吉地区对干旱具有很好的指示作用。

表 1 1961—2020 年昌吉地区典型干旱事件与同期 SPI 验证比较

历史典型干旱事件	历史干旱	SPI 评价
吻合频次/年	34	31
吻合率/%		91

### 3 讨论

1961—2020 年昌吉地区作物生长季的 SPI 指数呈弱增加趋势(变湿),在年代际变化中以 1981 年为界,由普遍干早期转型为相对湿润期,进入 21 世纪开始向变干趋势发展,表明昌吉地区重新进入干早期。在年代际变化趋势上与施雅风<sup>[19-23]</sup>等的研究结果具有良好的一致性。前人对新疆大区域年和季时间尺度的气象干旱研究较多,对作物生长季内研究尚少,对最近 10 a 气象干旱变化研究则很少涉及。因此现阶段,利用长时间序列的最新气象资料研究作物生长季发生气象干旱变化规律,为当地防灾减灾提供参考。近几年气象干旱的频发,加剧了水资源供需矛盾。当前昌吉地区面临资源性缺水,根据本研究预判未来 3~8 a 气候将持续处于干旱周期,地方政府及相关部门应提高抗旱防旱能力,调整农业生产结构、加强水资源优化配置,确保粮食生产安全。本研究结果可加深对气候变暖背景下昌吉地区作物生长季气象干旱发生风险的初步认识。需要指出的是,昌吉地区历史记载气象干旱是干旱和高温

两种事件并发引起的,影响高温及干旱的因素均有可能在一定程度上影响气象干旱的发生,因此气象干旱和高温热害复合作用还有待进一步的研究。

### 4 结论

基于昌吉地区 1961—2020 年的降水资料分析了作物生长季标准化降水指数的年际和年代际变化特征,揭示了作物生长季干旱发生频率和强度,验证了标准化降水指数在昌吉地区干旱监测的适用性。主要结论如下:

(1)昌吉地区作物生长季标准化降水指数呈弱增加趋势(变湿),呈干—湿—干的波动特征,进入 21 世纪以来变干趋势更为明显。

(2)60 a 来,昌吉地区作物生长季干旱强度呈弱增加趋势,全域性干旱和区域性干旱发生较为频繁,轻旱和中旱频率较高。东部地区干旱发生频率最高,轻旱主要集中在东部地区和西部部分地区,中旱、重旱、特旱主要集中在玛纳斯至阜康市。

(3)昌吉地区作物生长季 SPI 指定的旱灾年与历史旱灾年吻合率达 91%,表明 SPI 在昌吉地区对干旱具有很好的指示作用。

### 参考文献:

- [1] 赵志平,吴晓蕾,李果,等.2009—2011 年我国西南地区旱灾程度及其对植被净初级生产力的影响[J].生态学报, 2015, 35(2):350-360.
- [2] 赵玉娟,张谋草,张洪芬,等.龙东黄土高原气象干旱特征分析及其对农业的影响[J].沙漠与绿洲气象, 2020, 14(4):138-143.
- [3] 刘振宏,李娇,孙燕云,等.辽宁西部农作物生长季干旱风险及降水满足度研究[J].沙漠与绿洲气象, 2020, 14(4): 124-130.
- [4] 高西宁,徐庆喆,丛俊霞,等.基于标准化降水指数的辽宁省近 54 年干旱时空规律分析[J].生态环境学报, 2015, 24(11):1851-1857.
- [5] 童德明,白雲,张莎,等.干旱严重程度指数(DSI)在山东省干旱遥感监测中的适用性[J].中国农业气象, 2020, 41(2):102-112.
- [6] 吴燕峰,巴特尔·巴克,李维,等.1964—2012 年石河子地区干湿变化特征[J].干旱区研究, 2015, 32(5):991-999.
- [7] 曹兴,万瑜,崔玉玲,等.中天山北坡近 30 年相对湿度指数变化趋势分析[J].干旱地区农业研究, 2013, 31(3):245-251.
- [8] 唐高溶,郑伟,吴燕锋,等.阿勒泰地区作物生育期干湿变化特征[J].干旱区资源与环境, 2015, 29(10):179-184.
- [9] MCKEE T B, DOESKEN N J, KLEIS T J. The relation - ship of drought frequency and duration of time scales

- [R].American Meteorological Society.8th Conference on Applied Climatology.Anaheim:American Meteorological Society, 1993:179-184.
- [10] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等.基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58a 演变特征[J].农业工程学报, 2010,26(7):50-59.
- [11] 张磊,潘婕,陶生才,等.基于标准化降水指数的近 51a 山东临沂市旱涝时空特征[J].干旱气象,2013,31(4):695-701.
- [12] 魏丽欣,陈永红,高万泉,等.基于标准化降水指数的保定旱涝演变特征分析[J].江西农业学报,2020,32(6):81-87.
- [13] 车少静,李春强,申双和.基于 SPI 的近 41 年(1965—2005)河北省旱涝时空特征分析[J].中国农业气象,2010, 31(1):137-143.
- [14] 魏永强,谭军,衣鹏,等.标准化降水指数在干湿条件分析及旱涝监测中的应用[J].湖南水利水电,2020,(3):8-13.
- [15] 李大鹏,慕鹏飞,白涛,等.基于标准化降水指数 SPI 的西江流域多尺度干旱特征及其驱动力分析[J].西安理工大学学报,2020,36(1):41-50.
- [16] 杨晓静,左德鹏,徐宗学,等.基于标准化降水指数的云南省近 55 年旱涝演变特征[J].资源科学,2014,36(3): 473-480.
- [17] 杨晓静,徐宗学,左德鹏,等.东北三省近 55a 旱涝时空演变特征[J].自然灾害学报,2016,25(4):10-19.
- [18] 张调风,张勃,刘秀丽,等.基于 CI 指数的甘肃省黄土高原地区气象干旱的变化趋势分析[J].冰川冻土,2012,34 (5):1076-1083.
- [19] 施雅风,沈永平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J].冰川冻土,2002,24(3): 219-226.
- [20] 施雅风,沈永平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J].第四纪研究,2003,23(2): 152-163.
- [21] 轩俊伟,郑江华,刘志辉,等.基于 SPEI 的新疆干旱时空变化特征[J].干旱区研究,2012,33(2):338-344.
- [22] 吴燕锋,巴特尔·巴克,李维,等.基于 CI 指数石河子农垦区干湿变化特征 [J]. 中国农学通报 2014,30(36): 247-252.
- [23] 白云岗,木沙·如孜,雷晓云,等.新疆干旱灾害的特征及其影响因素分析[J].人民黄河 2012,34(7):61-63.

## Spatiotemporal Characteristics of Meteorological Drought based on SPI during Crop Growing Season in Changji from 1961 to 2020

Happar Ruzi<sup>1</sup>, Hajigul Sayit<sup>2</sup>, Erkejan Hoyhazi<sup>1</sup>, HUANG Qiuxia<sup>1</sup>

(1.Changji Meteorological Bureau, Changji 831100, China;

2.Xinjiang Meteorological Society, Urumqi 830002, China)

**Abstract** Based on meteorological data from 1961 to 2020 in Changji, the interannual and decadal variation characteristics of the standardized precipitation index (SPI-7) were analyzed, to reveal the frequency and intensity of drought occurrence during the crop growth season. The results show that, the water content showed an increasing trend from 1961 to 2020, with a standardized precipitation index increasing at a rate of 0.08/10 a. The meteorological drought shows an inter-decadal trend of dry-wet-dry, with a sudden change occurring in 1981. The intensity of drought is increasing, and the area of drought occurrence is weakly decreasing. There is a high incidence area of drought in the eastern region, and mainly characterized by mild drought. The western region is a high incidence area of moderate drought, severe drought, and extreme drought. The meteorological drought has periodic oscillations of 6, 9, and 16 years in Changji, which is in good agreement with historical disasters. The research results provide a basis for crop drought monitoring and warning in Changji.

**Key words** crop growth season; meteorological drought; standardized precipitation index (SPI); drought intensity; drought frequency