

# 近55年来河西地区干旱时空演变特征 及其与ENSO事件的关系

裴文涛,陈栋栋,薛文辉,张国斌

(西北师范大学地理与环境科学学院,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**根据河西地区14个气象站点1961—2015年的逐月气象观测资料,基于SPEI指数采用Mann-Kendall趋势检验法、反距离加权插值(IDW)等方法分析了近55年来河西地区年代际、四季干旱及空间变化特征,并探讨了ENSO事件与该区干旱的关系。结果表明:在年代际变化上,自20世纪90年代以来河西地区干旱次数增多、干旱程度加重。季节时间变化上,河西地区春、夏、秋季均呈干旱化趋势,春季干旱化趋势最为突出,夏季次之,冬季略呈变湿趋势。空间变化上,整个河西地区春季均呈干旱化趋势,而且大部分地区的春旱趋势极为显著,其中春旱趋势最显著的地方是金塔;冬季整个研究区趋于湿润化。各季节干旱高发区分别集中在:春季在金塔、民勤地区,夏季在河西西北部,秋季在河西中东部及西部的安西—玉门一线,冬季在101°E以西的河西地区。河西地区秋季SPEI与SSTA指数的相关性最为显著,春季次之,夏季最弱。ENSO事件发生强度与河西地区SPEI影响因子的多项式拟合关系表明,ENSO事件强度对温度的影响高于降水;其中在ENSO暖事件(厄尔尼诺事件)发生年份,气温有明显的上升趋势;在ENSO冷事件(拉尼娜事件)发生年份,少部分年份降水有所增加,对气温的影响较弱。

**关键词:**干旱; SPEI指数; 时空特征; ENSO事件; 河西地区

中图分类号:S165<sup>+</sup>.25 文献标志码:A

## The temporal and spatial variation characteristics of drought and its relationship with ENSO events in Hexi region in last 55 years

PEI Wen-tao, CHEN Dong-dong, XUE Wen-hui, ZHANG Guo-bin

(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Combining SPEI index and Mann-Kendall trend test with inverse distance weighted, we analyzed the temporal and spatial characteristics change of drought and its relation with ENSO events in Hexi region based on monthly meteorological data of 14 meteorological stations from 1961 to 2015. We found that the drought frequency was increasing and aggravating since the 1990s in Hexi region. On seasonal changes, the drought happened more often in spring, summer, and autumn but it was wet in winter. Spring drought is more severe. Spatially, the whole Hexi region had a drought trend in spring that the tendency of drought was very significant in most of regions and the worst drought location was Jinta. The study area overall had a humid winter. The high frequency of drought occurred in Jinta and Minqin in spring, the northwestern Hexi in summer, and central and eastern Hexi, Anxi to Yumen, and western part of the study area in autumn. In winter, it happened in west of 101°E, the Hexi region. The SPEI of autumn had the most significant correlation with SSTA index, followed by that of spring while summer had the least correlation. The fitting relationship between the intensity of ENSO events and SPEI influence factors showed that the intensity of ENSO event had more influence on temperature than precipitation. In the years of the ENSO warm events (El Niño), temperature had a significant upward trend. The ENSO cold events (La Niña) had less effect on temperature but slightly increased precipitation in few years.

**Keywords:** drought; SPEI-index; temporal and spatial variation characteristics; ENSO events; Hexi region

收稿日期:2017-09-25

修回日期:2017-11-29

基金项目:国家自然科学基金项目(41061022,41561046)

作者简介:裴文涛(1995-),男,甘肃天水人,硕士研究生,主要从事自然地理与地质环境方面研究。E-mail:pwt@nwnu.edu.cn

通信作者:陈栋栋(1990-),男,硕士,助教,主要从事干旱区资源与环境方面的研究。E-mail:Chen\_dong-dong@nwnu.edu.cn

干旱通常是指在一定的地区内,由于气候变化、地形地貌、海陆分布等多种因素造成的随机水分收支不平衡现象。IPCC评估报告指出<sup>[1-2]</sup>,近百年来全球地表温度升高明显,气候暖干化使得全球旱灾呈显著的增加趋势。干旱灾害的频发不仅造成了区域水资源缺乏、旱区植物生长受到影响导致沙漠化加剧等一系列生态问题,农业生产及粮食安全也日趋受到威胁<sup>[3-5]</sup>。干旱是我国目前严重的农业气象灾害之一<sup>[6]</sup>,农作物年均受灾面积可达2 200万hm<sup>2</sup>,造成粮食亏损约120亿公斤<sup>[7]</sup>。中国疆域辽阔,各地区地形地貌、气候、海陆距离等差异较大,其干旱特征具有明显的区域性。因此,量化研究不同区域干旱时空演变及其成因对我国生态建设、农业生产等方面具有重要的意义。近年来,旱灾的发生过程及其成因、气象灾害对农业生产的影响等也是国际众多学者的关注热点,相继在Nature等期刊上多次报道<sup>[8-11]</sup>。干旱指数是对干旱进行监测与分析的主要手段,目前国内学者对于干旱研究的指数主要包括PDSI指数、SPI指数、Z指数、SPEI指数等。其中SPI指数、Z指数是仅以单因素的降水量变化来表征干旱程度,PDSI指数计算复杂且干旱等级的划分主观因素较大。SPEI指数(标准化降水蒸散指数)是在SPI基础上由Vicent-serruo S等<sup>[12]</sup>在2010年改进提出的,其兼有SPI和PDSI指数的优点,具有多时间尺度的特点。SPEI指数已在我国西北、西南、华北、东北等<sup>[13-16]</sup>地区的干旱变化研究中有了大量的应用,并得到了很好的验证。

河西地区位于我国西北内陆的干旱半干旱区,区内多大风,气候干燥,降水稀少而集中,太阳辐射强烈,生态环境脆弱,对干旱变化的响应敏感<sup>[17-18]</sup>,是荒漠化最严重的地区之一。河西地区也是灌溉农业发达地区,素有“西北粮仓”之称,该区的农业生产受旱灾的影响较大,旱灾的发生会造成农业灌溉用水的不足,尤其在作物生长需水期出现明显的干旱危害,则会制约农作物生长,导致一定程度的粮食减产<sup>[19]</sup>。因此,了解该区的干旱变化特征对于河西地区的农业生产、粮食安全及生态建设具有一定的现实意义。郭小芹等<sup>[18]</sup>虽对河西地区的干旱特征进行了相关研究,但仅考虑了单因素对干旱的影响,且研究时间尺度较短,站点资料较少。梁丹等<sup>[20]</sup>对河西地区干旱指标的适用性进行了研究,表明SPEI指数在该区的适用性最好。此外,厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)是海洋和大气相互作用后失去平衡而产生的一种气候现象,往往会改变大气环

流以致全球气候发生异常,是全球气候变化的强烈信号<sup>[21-22]</sup>。近年来有关ENSO事件与不同区域干旱关系的研究在逐渐深化<sup>[23-24]</sup>,以往尽管有ENSO事件对河西地区气候影响的相关研究<sup>[25]</sup>,但对该区干旱指数与ENSO事件关系的分析鲜见报道。

鉴于以上问题,文章选取标准化降水蒸散指数(SPEI)作为干旱研究指标,分析了近55年来河西地区年代际、四季干旱及空间变化特征,并探讨了ENSO事件与该区干旱的关系。旨在为河西地区农业防灾抗旱、生态环境治理以及干旱机制的阐述等提供科学参考。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

河西地区又称河西走廊,位于甘肃省西部,东起乌鞘岭,西至古玉门关,面积约占甘肃省总面积的60%以上。行政区主要包括武威、张掖、金昌、酒泉和嘉峪关五市,是古丝绸之路的必经之地。该区气候类型为温带大陆性气候,主要土壤类型为灰棕荒漠土、灌淤土、潜育土、灰漠土、风沙土等,种植的农作物主要有小麦、玉米、油菜、甜菜。地质构造属祁连山山前边缘凹陷带,自新生代以来广泛地堆积了冲、洪积物。区内由于祁连山融雪形成了疏勒河、黑河、石羊河三大流域,其中黑河是西北地区的第二大内陆河。区内矿产资源丰富,新中国的第一个油田—玉门油田就诞生于此处。

### 1.2 资料来源

研究所需气象数据是由中国气象资料共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)提供的1961—2015年逐月平均温度和降水量观测资料。资料选用之前对河西地区各站点数据经过了严格的质量筛选,最终选择了该区及周边(祁连)资料序列连续完整的14个气象站点(图1)。本文主要计算了1个月、3个月时间尺度的SPEI值。选用热带太平洋海洋表面温度距平(SSTA)作为表征厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)的指标,数据来自NOAA气候预测中心(CPC)Nino3.4区的SSTA值。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 标准化降水蒸散指数 标准化降水蒸散指数(SPEI)主要计算步骤如下<sup>[12, 26]</sup>:

(1)首先计算潜在蒸散量(PET)与逐月降雨量的差值,即水量平衡( $D_i$ ):

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

式中, $P_i$ 为月降水量, $PET_i$ 为月潜在蒸发量。

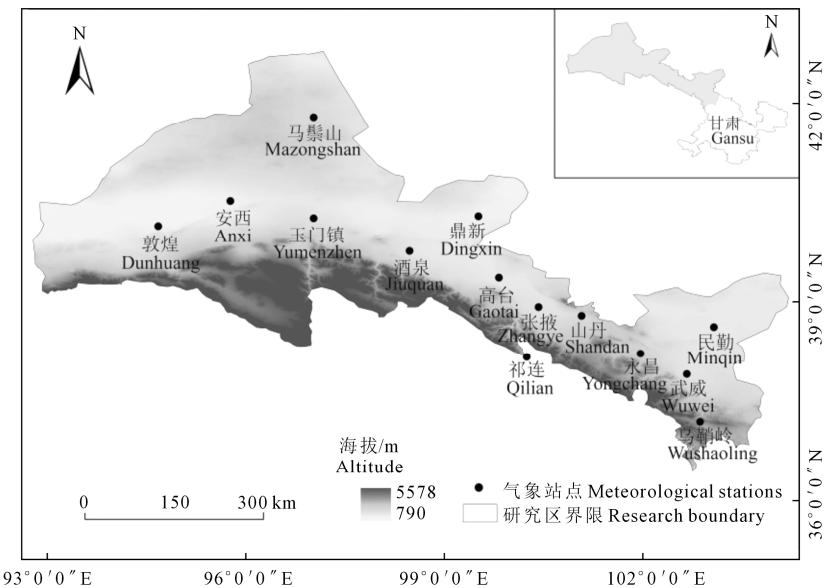


图1 气象站点分布

Fig.1 The distribution of weather stations

(2) 采用含3个参数(尺度函数( $\alpha$ )、形状函数( $\beta$ )、origin参数( $\gamma$ ))的Log-logistic概率分布对 $D_i$ 序列进行线性拟合,得到概率分布的累计函数:

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (2)$$

(3) 最后将累计概率密度( $P$ )进行标准化正态处理,计算出序列中每个数值对应的 SPEI 值:

$$SPEI = w - \frac{c_0 + c_1 w + c_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \quad (3)$$

$$w = \sqrt{-2\ln(P)} \quad (4)$$

其中,如果 $P > 0.5$ , $P = 1 - F(x)$ ;如果 $P \leq 0.5$ , $P = F(x)$ 。其余参数的值与 SPI 计算过程相同, $c_0 = 2.515\ 517$ , $c_1 = 0.802\ 853$ , $c_2 = 0.010\ 328$ , $d_1 = 1.432\ 788$ , $d_2 = 0.189\ 269$ , $d_3 = 0.001\ 308$ 。

SPEI 干旱等级划分<sup>[27]</sup>见表1。文中主要计算了1个月和3个月时间尺度的 SPEI 值,其中季节划分为:春季为3月份至5月份,夏季为6月份至8月份,秋季为9月份至11月份,冬季为12月份至次年2月份。

**1.3.2 Mann-Kendall 趋势检验法** Mann-Kendall 趋势检验法作为一种非参数检验方法,已被大量运用到时间序列的检验中,是世界气象组织推荐使用的时间序列分析方法<sup>[28]</sup>,其优点在于检测数据无须服从一定的分布特征。文中通过 Matlab 软件基于 M-K 检验程序对研究区四季 SPEI 指数的时间变化趋势进行分析。

表1 SPEI 干旱等级分类<sup>[27]</sup>

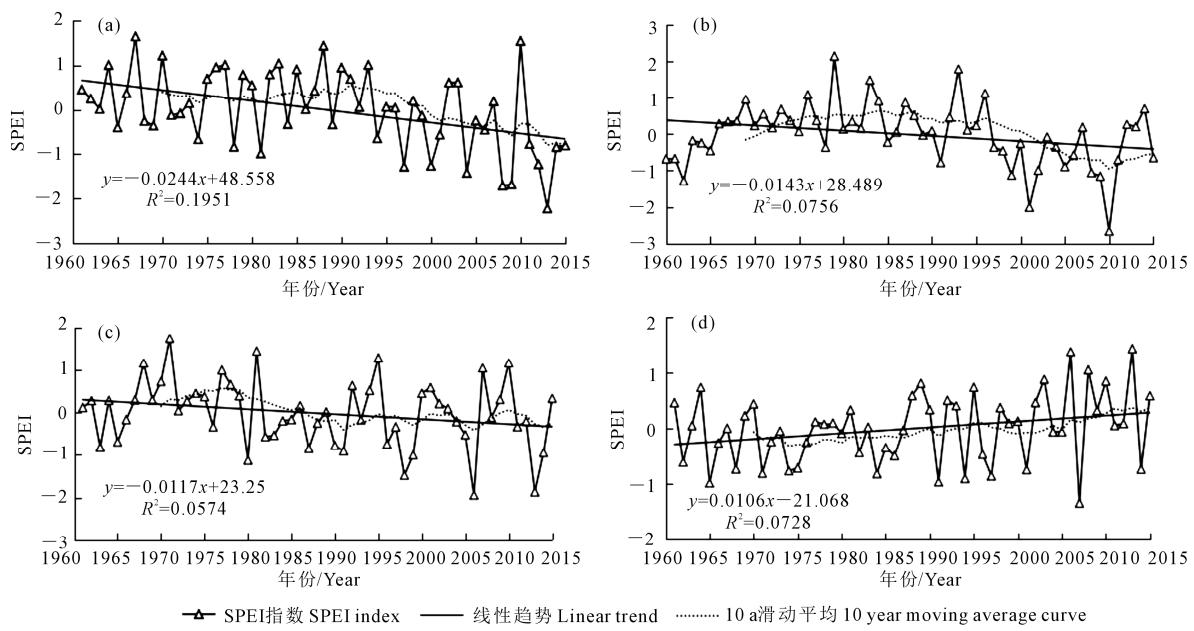
Table 1 Classification of drought degree for SPEI

SPEI	干旱类型 Drought type
-0.99 < SPEI ≤ -0.5	轻度干旱 Mild drought
-1.99 < SPEI ≤ -1	中度干旱 Medium drought
SPEI ≤ -2.0	极端干旱 Extreme drought

## 2 结果与分析

### 2.1 季节干旱时间变化特征

分析了1961–2015年河西地区四季的干旱变化趋势。由图2可知,春、夏、秋季 SPEI 值均呈下降趋势,冬季 SPEI 值呈上升趋势。春季(图2a) SPEI 线性倾斜率为 $-0.24 \cdot 10^{-1}$ ,其在1995年之前,干旱趋势并不明显,以轻度干旱为主;但从1995年之后开始10 a 平均滑动曲线呈单调下降,干旱趋势明显增强,而且发生中度干旱的次数也明显增多。夏季(图2b)在20世纪90年代之前,干旱较少,以轻度干旱为主;从10 a 滑动平均曲线看出其在1996年出现转折,之后干旱频繁发生,而且发生中度干旱和极端干旱的次数增加。秋季(图2c)在20世纪80年代以前发生的干旱均为轻度干旱,且次数较少,但从20世纪80年代后期开始,干旱发生的次数增多,且强度有所加重。相较于春季、夏季,秋季 SPEI 值自20世纪90年代前中期开始10 a 滑动平均曲线波动较为平缓,干旱趋势有所减缓,冬季(图2d)整体略呈湿润化趋势,但在21世纪初期以前干旱的发生较为频繁,在2002年以后少有干旱发生,



注:a,b,c,d 分别为春季、夏季、秋季和冬季。

Note: a,b,c,d represent spring, summer, autumn and winter, respectively.

图2 河西地区1961—2015年SPEI值变化

Fig.2 The change of SPEI from 1961 to 2015 in Hexi region

仅在2007年发生中度干旱,2014年发生轻度干旱。上述分析表明,河西地区近55 a来春、夏、秋季均呈干旱化趋势,春季干旱趋势最为明显,夏季次之,冬季有变湿趋势。其中春、夏季自20世纪90年代后期开始干旱事件增多,干旱加重,秋季在20世纪80年代中期开始干旱频发且强度增大。经M-K突变检验,春、夏、秋季分别在1999、1998、1986年发生突变,冬季突变年份不显著。

## 2.2 年代际干旱事件频次变化

分别计算了1961—2015年河西地区每个站点1个月时间尺度的SPEI值。依据表1中干旱等级的划分标准,统计出近55 a来河西地区各年代发生不同干旱等级的频次,分析了河西地区年代际干旱频次的变化情况。从图3可知,近55 a来河西地区发生干旱的总频次呈阶段式增加。20世纪60~80年代以轻度干旱为主,旱情较轻,发生干旱的频次也较少。20世纪90年代发生干旱事件的总频次明显增多,其中发生中度干旱、极端干旱的频次分别约是1980s的2倍、4倍。21世纪初,发生干旱事件的总频次突增,而且发生中度干旱和极端干旱事件的次数也急剧增加,与20世纪60年代相比,发生中度干旱的频次约是1960s的3倍,极端干旱事件约是1960s的20倍。以上分析表明,自20世纪90年代以来,河西地区发生干旱的次数增多,且干旱程度加重,发生极端干旱事件的次数增长尤为明显。

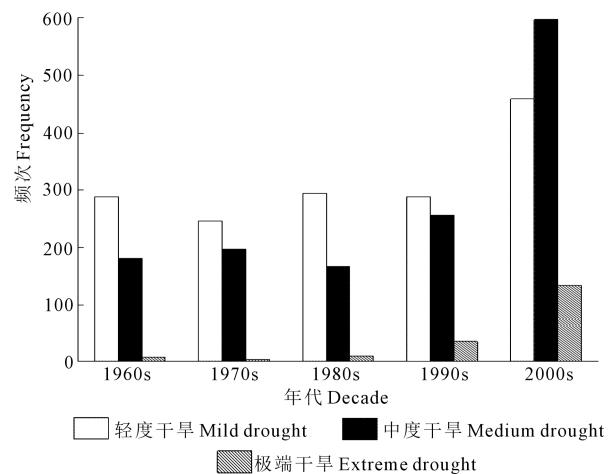


图3 河西地区1961—2015年不同年代际发生干旱事件频次

Fig.3 Frequency of drought events from 1961 to 2015 in Hexi region

## 2.3 干旱空间变化特征分析

2.3.1 干旱趋势空间变化分析 运用M-K趋势分析对1961—2015年河西地区各站点四季SPEI值的变化趋势进行计算和统计,分析了近55 a来河西地区四季干旱趋势的空间变化情况。从图4可知,河西地区四季干旱变化趋势及空间分布存在着一定差异。春季(图4a)河西地区MK值均小于0,均呈干旱化趋势。其中,永昌及乌鞘岭地区干旱化趋势不显著,未通过显著性水平检验,以敦煌和山丹为

中心的区域,干旱趋势较为显著( $P<0.05$ )。除上述地区外,河西其余地区春季干旱化趋势都极为显著( $P<0.01$ )。夏季(图 4b)仅有永昌 MK 值大于 0,有变湿趋势,但未通过显著性水平检验。其余地区除武威和乌鞘岭干旱化趋势不显著外,均呈显著的干旱化趋势,尤其在马鬃山、敦煌、高台、张掖等地区的干旱化趋势极为显著( $P<0.01$ )。整体来讲,夏季河西地区干旱化趋势有明显的自西北向东南减弱的空间变化特征,干旱化趋势显著的地方主要集中在山丹以西地区。秋季(图 4c)在以马鬃山、敦煌、武威为中心的区域干旱化趋势显著( $P<0.05$ ),且干旱化趋势自中心向周边地区有所减弱。除上述地区外,其余地区干旱化趋势均不显著,均未达到显著性水平。冬季(图 4d)仅有马鬃山、金塔 MK 值小于 0,有变干趋势,但未通过显著性水平检验。其余地区的 MK 值均为正值,有变湿趋势,其中只有敦煌、酒泉、武威的部分地区变湿趋势不显著,未达到显著性水平。总而言之,春季整个河西地区均呈干旱化趋势,而且大部分地区的春旱趋势极为显著,冬季整个研究区有变湿的趋势。此外,马鬃山季节干旱化趋势最为显著,乌鞘岭变干趋势最不显著,略呈湿润化趋势。此结论与郭小芹等<sup>[18]</sup>研究得出的近 35 a 来马鬃山是最大的趋干中心,乌鞘岭为趋湿中心的结果相一致。

**2.3.2 干旱频率空间变化分析** 河西地区 1961—2015 年不同季节干旱频率分布如图 5 所示。春季(图 5a),玉门—安西一线发生干旱的频率最小;春季干旱高频区主要分布在接近巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠的河西北部地区,尤其最接近沙漠南缘的金塔、民勤,干旱频率达到 36%,这可能是受春季沙尘影响,越靠近沙漠的地区其下垫面沙源越多,蒸发更为强烈<sup>[29]</sup>,其春旱率较高。夏季(图 5b),河西地区发生干旱的高频区主要分布在西北部的玉门、马鬃山、金塔,中东部的张掖、山丹、永昌、武威发生干旱的频率较低。这可能因为夏季河西西北部由于受干舌的影响<sup>[30]</sup>,其夏旱率高,而中东部则更接近夏季风来源区,降水有所增多<sup>[25]</sup>,导致其夏旱率较低。秋季(图 5c),以酒泉、金塔、张掖、乌鞘岭为中心的区域发生干旱的频率较低。秋季干旱率高的区域主要集中在河西中东部的大部分地区及西部的安西—玉门一线,原因可能为中东部区域是秋季降雨异常区,自 20 世纪 80 年代后降雨明显减少,干旱加剧<sup>[31]</sup>;此外安西是河西西部地区秋季的干中心<sup>[18]</sup>,安西—玉门一线发生干旱的频率也较高。冬

季(图 5d),河西地区干旱频率分布呈现出明显的西高、东低,以 101°E 为界,研究区以西地区更易发生干旱,干旱率均超过了 30%,其中以马鬃山为中心的区域干旱频率最高,达到了 45%,而以东地区的冬旱率仅为 15%。

## 2.4 ENSO 事件与河西干旱之间的关系

**2.4.1 SSTA 与 SPEI 值的相关性分析** 选用相同时间尺度的 SSTA 指数与河西地区各站点四季 SPEI 值进行皮尔森相关系数分析,在 ArcGis 中通过反距离权重差值(IDW)绘制成空间分布图(图 6)。河西地区春季 SPEI 与 SSTA 指数之间均呈正相关关系(图 6a),其中高台、玉门、张掖呈显著正相关( $P<0.05$ ),山丹则呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数为 0.35;除上述地区外,研究区其余地区均未通过显著性水平检验。整体来看,河西中部地区的春季 SPEI 与 SSTA 指数之间相关性显著。河西地区夏季 SPEI 与 SSTA 指数之间整体相关性小,除了海拔较高的乌鞘岭呈负相关外,其余地区均呈正相关,但均未通过显著性水平检验(图 6b)。秋季(图 6c)以张掖为分界线,张掖以西地区的秋季 SPEI 与 SSTA 指数呈正相关关系,但相关性水平不高,均未通过显著性水平检验;张掖以东地区的秋季 SPEI 与 SSTA 指数均呈负相关关系,其中山丹、武威、民勤呈显著负相关( $P<0.05$ ),永昌、乌鞘岭呈极显著负相关( $P<0.01$ ),相关系数为  $-0.36 \sim -0.4$ 。整体来看,河西中东部大部分地区的秋季 SPEI 与 SSTA 指数之间的相关性显著。冬季 SPEI 与 SSTA 指数之间整体呈正相关(图 6d),仅有以马鬃山为中心的区域呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数为 0.35,其余地区均未通过显著性水平检验。总体而言,河西地区秋季 SPEI 与 SSTA 指数的相关性最为显著,春季次之,夏季的相关性最弱。

## 2.4.2 ENSO 事件强度与 SPEI 影响因子关系分析

ENSO 事件主要分为暖事件(厄尔尼诺事件)和冷事件(拉尼娜事件)。李晓燕等<sup>[32]</sup>将 ENSO 暖冷事件强度的等级主要划分为极强和强、中等、弱和极弱 3 个等级。其中 ENSO 暖事件强度分别用 3、2、1 表示,ENSO 冷事件强度分别用 -3、-2、-1 表示,未受 ENSO 事件影响的年份强度用 0 表示。依据李芬<sup>[33]</sup>等对近 55 a 来 ENSO 事件发生强度的统计,将河西地区 1961—2015 年降水量、平均气温分别和 ENSO 事件发生强度进行 6 次多项式拟合,得到两者的变化趋势(图 7)。从图 7a 可知,ENSO 事件对河西地区降水的影响较弱,仅在 ENSO 冷事件的少数

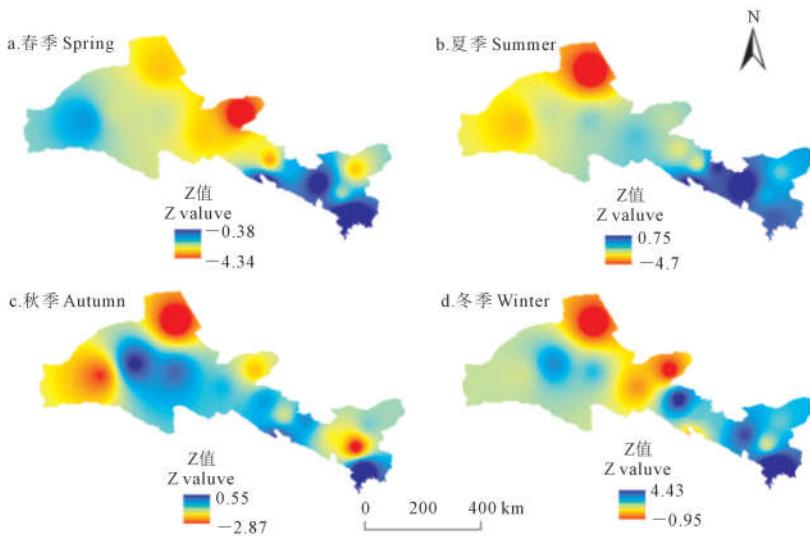


图4 河西地区1961—2015年SPEI值空间变化趋势

Fig.4 Spatial variation of SPEI from 1961 to 2015 in Hexi region

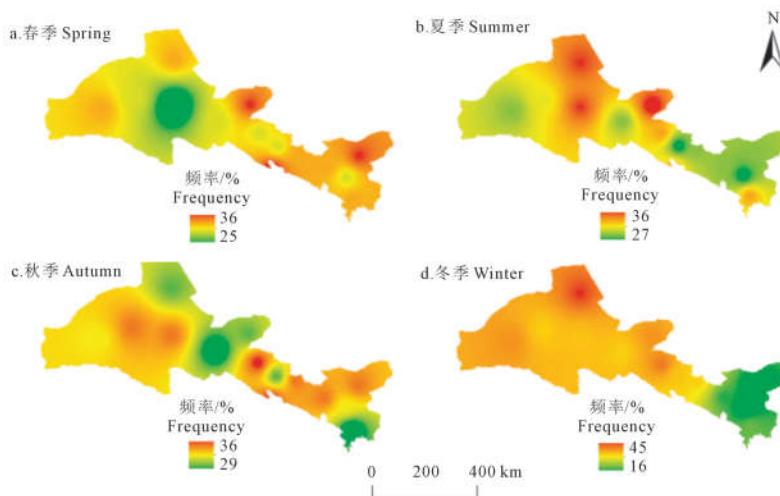


图5 河西地区1961—2015年干旱频率空间分布

Fig.5 Spatial distributions of drought frequency from 1961 to 2015 in Hexi region

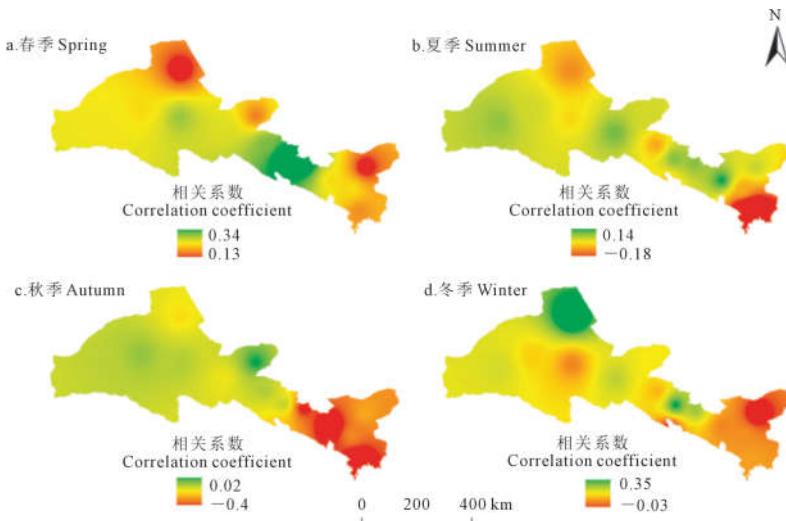


图6 SSTA值与四季SPEI的相关性分析

Fig.6 Correlation analysis of SSTA values with SPEI in different seasons

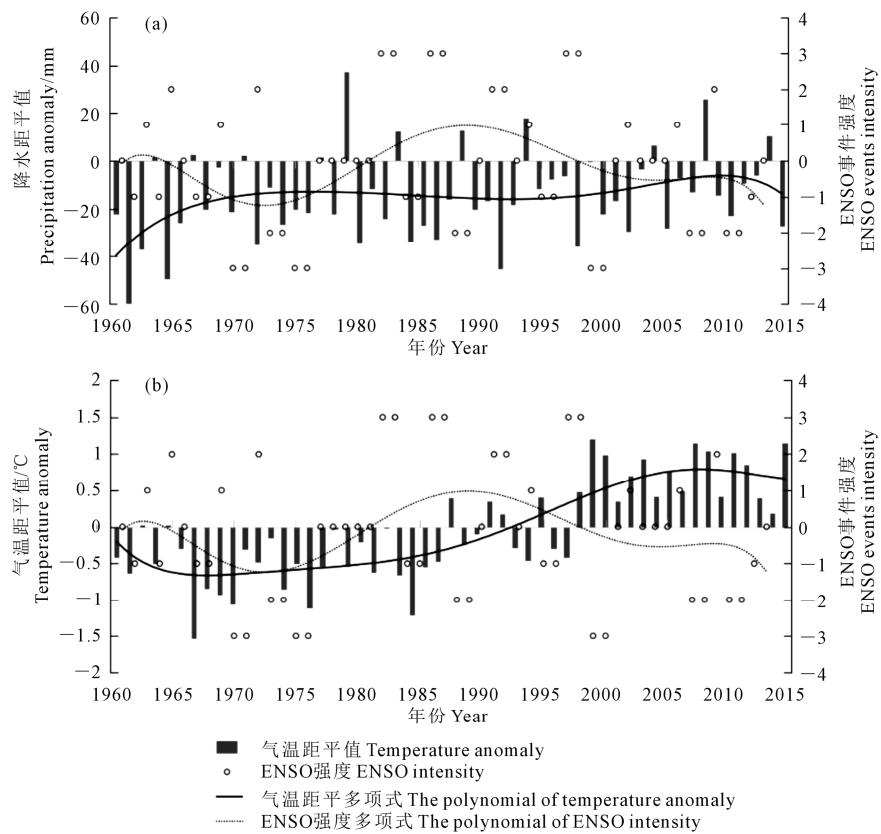


图7 近55年来河西地区 SPEI 影响因子与 ENSO 事件发生强度多项式拟合关系

Fig.7 Polynomial fitting between the intensity of ENSO events and SPEI influence factors in the last 55 years in Hexi region

年份如1961—1970年期间,其强度增强时,降水量增加。图7b表明,ENSO强度与气温之间整体呈明显的正相关,尤其在ENSO暖事件发生年份,气温有非常明显的上升趋势,在ENSO冷事件发生年份,气温的波动较为平缓。但温度的变化通常发生在ENSO事件的变化之后,存在着一定的滞后性。以上分析表明,ENSO事件对河西地区气温的影响程度高于降水,在ENSO暖事件年份对研究区温度的抬升非常明显,其发生干旱的可能性大于冷事件年份。

### 3 讨论

任培贵等<sup>[13]</sup>基于SPEI指数研究了1959—2011年西北地区干旱时空变化特征,研究表明,在时间变化上西北地区春、夏、秋呈干旱化趋势,冬季呈湿润化趋势;在空间上春、夏、秋大部分地区呈变干趋势,冬季大部分地区呈变湿趋势。本文研究结果与此结论基本一致,表明河西地区与西北地区的季节干旱变化趋势具有一致性。郭小芹等<sup>[18]</sup>基于Z指

数研究表明河西地区上世纪90年代以来干旱范围显著增大,干旱强度明显增强;尹宪志等<sup>[34]</sup>对甘肃省近50年来旱灾研究表明,自进入20世纪90年代干旱灾害的发生呈上升趋势。本研究得出的近55年来河西地区的年代际干旱变化情况与以上结论相一致。由此说明SPEI指数能很好地反映河西地区的干旱变化,因此文中对于SPEI值与SSTA指数的相关性分析也有一定的现实意义。将河西地区的干旱化趋势与中国北方相比较来看,西北东部、华北以及东北地区自20世纪80年代开始发生极端干旱的频率明显增加<sup>[35]</sup>,而河西地区在自20世纪90年代开始发生极端干旱事件的频率明显增加,河西地区与以上地区相比较其干旱化存在一定的滞后性。但与张勃等<sup>[5]</sup>研究表明的甘肃陇东地区自1990s以来极端干旱事件明显增加具有一致性。这表明河西地区的干旱化发生在中国北方干旱化的大背景下,其干旱化特征与北方其它地区相比既有一致性也存在滞后性。

从季节干旱对农作物的影响来看,春小麦、玉

米是河西地区最主要的粮食作物,4—5月份正值该区春小麦的苗期、拔节期,玉米的播种期、苗期、三叶期,春旱的发生不利于春小麦、玉米的全苗、壮苗<sup>[18]</sup>,制约后期农作物的产量<sup>[36]</sup>。6月正值春小麦开花期、玉米的拔节期,此时出现干旱会形成“卡脖子旱”,造成农作物大幅减产<sup>[37]</sup>。从年代际干旱变化可以看出,近25年来是河西地区干旱化加剧时期,尤其在走廊中部的张掖地区,作为我国最大的商品粮基地之一,春、夏干旱化趋势都极为显著,应当引起相关部门重视并制定适用于该区域的可行措施,还需警惕春夏连旱。

近50年来气候的转型被认为是中国北方发生干旱化的主要原因<sup>[5]</sup>,由图7可知,在ENSO暖事件年河西地区升温趋势明显,尤其在20世纪90年代前后,ENSO暖事件强度达到最大,也是河西地区温度急剧上升和干旱增多加重时期,该区的温度变化与干旱化趋势有着很好的相关性。此外,从ENSO事件与河西干旱之间的关系可以看出,春、秋季河西中东部大部分地区的SPEI值与SSTA指数存在着显著的相关性,与夏季的相关性整体较弱;杨龙等<sup>[25]</sup>也统计出来近58年来ENSO事件发生强烈的季节主要在春、秋季,夏季较弱。因此,ENSO事件对河西地区干旱的影响不容忽视,而且在ENSO暖事件年诱发河西地区干旱的可能性大于冷事件年,应对ENSO事件的厄尔尼诺年或年后密切关注,预防干旱灾害大面积发生对河西地区农业生产的影响。文中分析表明河西地区不同区域四季SPEI值与SSTA指数的相关系数具有明显的差异性,ENSO事件对河西地区干旱的具体影响、滞后性等有待于进一步研究。

## 4 结 论

1)近55年来河西地区春、夏、秋季均呈干旱化趋势,其中春季干旱化趋势最为明显,夏季次之,冬季略呈变湿趋势。从年代际变化来看,1990s以前河西地区干旱少且程度较轻,近25年来是河西地区干旱增多加重时期,尤其发生极端干旱事件的次数增长最为明显。

2)在空间变化上,整个河西地区春季均呈干旱化趋势,而且大部分地区的干旱化趋势极为显著,春旱趋势最显著的地方是金塔;冬季研究区整体趋于湿润化。马鬃山季节干旱化趋势最为显著,乌鞘

岭变干趋势最不显著,略呈湿润化趋势。各季节最易发生干旱的地方是:春季在金塔、民勤地区,夏季在河西西北部,秋季在中东部及西部的安西—玉门一线,冬季在101°E以西的河西地区。

3)河西地区秋季SPEI与SSTA指数的相关性最为显著,春季次之,夏季的相关性最弱。分析ENSO事件与河西地区干旱影响因子的关系表明,ENSO事件对温度的影响高于降水。其中在ENSO暖事件发生年份,气温有明显的上升趋势;在ENSO冷事件发生年份,少数年份降水有所增加,对气温的影响较弱。

**致谢:**孙庆峰副教授对本文研究提供了资助和指导,马彬博士对本文提出了宝贵意见,作者一并谨致谢忱。

## 参 考 文 献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007, 1-989.
- [2] IPCC. Summary for policymakers [C]//Stocker T F, Qin D, Plattner GK, et al. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2014.
- [3] Lobell D B, Sibley A, Ortiz-Monasterio J I. Extreme heat effects on wheat senescence in India [J]. Nature Climate Change, 2012, 2(3): 186-189.
- [4] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 34-38.
- [5] 张勃, 张耀宗, 任培贵, 等. 基于SPEI法的陇东地区近50a干旱化时空特征分析[J]. 地理科学, 2015, 35(8): 999-1006.
- [6] 朱新玉. 基于SPEI的豫东地区近50年干旱演变特征[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(4): 128-137.
- [7] 温克刚, 丁一汇. 中国气象灾害大典综合卷[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [8] Qiu J. China drought highlights future climate threats [J]. Nature, 2010, 465(7295): 142-143.
- [9] Lobell D B, Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production Since 1980 [J]. Science, 2011, 333(6042): 616.
- [10] Overpeck J T. Climate science: The challenge of hot drought [J]. Nature, 2013, 503(7476): 350-351.
- [11] Lobell D B, Roberts M J, Schlenker W, et al. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the U.S. Midwest [J]. Science, 2014, 344(6183): 516.
- [12] Vicente-Serrano S M, Beguería S, López-Moreno J I. A multisca-

- lar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index [J]. Journal of Climate, 2010, 23 (7): 1696-1718.
- [13] 任培贵, 张勃, 张调风, 等. 基于 SPEI 的中国西北地区气象干旱变化趋势分析 [J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 182-187, 192.
- [14] 王东, 张勃, 安美玲, 等. 基于 SPEI 的西南地区近 53a 干旱时空特征分析 [J]. 自然资源学报, 2014, 29 (6): 1003-1016.
- [15] 周丹. 1961~2013 年华北地区气象干旱时空变化及其成因分析 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2015.
- [16] 梁丰, 刘丹丹, 王婉昭, 等. 基于 SPEI 的中国东北地区 1961—2014 年干旱时空演变 [J]. 中国沙漠, 2017 (1): 148-157.
- [17] 李占玲, 徐宗学. 近 50 年来黑河流域气温和降水量突变特征分析 [J]. 资源科学, 2011, 3(10): 1877-1882.
- [18] 郭小芹, 曹玲, 兰晓波. 河西走廊降水及其干旱特征研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(4): 74-78.
- [19] 郭小燕, 张家武, 陈雪梅, 等. 甘肃省水旱灾害时空分布特征及其与粮食产量的关系 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25 (6): 132-137.
- [20] 梁丹, 赵锐锋, 李洁, 等. 4 种干旱指标在河西走廊地区的适用性评估 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(36): 194-204.
- [21] Timilsena J, Piechota T, Tootle G, et al. Associations of interdecadal/interannual climate variability and long-term colorado river basin streamflow. [J]. Journal of Hydrology, 2009, 365(3-4): 289-301.
- [22] 孙建奇, 袁薇, 高玉中. 阿拉伯半岛-北太平洋型遥相关及其与亚洲夏季风的关系 [J]. 中国科学 D 辑, 2008, 38 (6): 750-762.
- [23] 周丹, 张勃, 安美玲, 等. 黄河流域不同时间尺度干旱对 ENSO 事件的响应 [J]. 中国沙漠, 2015, 35(3): 753-762.
- [24] 马露, 杨东, 等. ENSO 事件对山东省区域降水量及干旱指数的影响 [J]. 中国农业气象, 2015, 36(6): 666-673.
- [25] 杨龙, 赵景波. ENSO 事件对河西走廊气候与气候灾害的影响 [J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 949-955.
- [26] 虞美秀. 综合干旱指数的构建与应用 [D]. 南京: 河海大学, 2013.
- [27] 李伟光, 易雪, 侯美亭, 等. 基于标准化降水蒸散指数的中国干旱趋势研究 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20 (5): 643-649.
- [28] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [29] 李玲萍, 李岩瑛, 王兵. 河西走廊东部冬春季积雪对沙尘天气的影响 [J]. 环境科学研究, 2011, 24(8): 882-889.
- [30] 郭江勇, 李耀辉. 中国西北地区夏季降水的气候特征 [J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 489-494.
- [31] 李耀辉, 李栋梁, 赵庆云. 中国西北地区秋季降水异常的特征分析 [J]. 高原气象, 2001, 20(2): 158-164.
- [32] 李晓燕, 翟盘茂, 任福民. 气候标准值改变对 ENSO 事件划分的影响 [J]. 热带气象学报, 2005, 21(1): 72-78.
- [33] 李芬, 张建新, 郝智文, 等. 山西降水与 ENSO 的相关性研究 [J]. 地理学报, 2015, 70(3): 420-430.
- [34] 尹宪忠, 邓振镛, 徐启运, 等. 甘肃省近 50a 干旱灾情研究 [J]. 干旱区研究, 2005, 22(1): 120-124.
- [35] 马柱国, 符淙斌. 1951~2004 年我国北方干旱化的基本事实 [J]. 科学通报, 2006, 51(20): 2429-2439.
- [36] 季定民, 张勃, 王东, 等. 甘肃河东玉米种植区春夏气象干旱时空变化特征及其与环流因子关系 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(9): 1547-1559.
- [37] 林纾, 李富洲. 甘肃河东早春旱和春旱的监测与预测 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 191-199.