

# 近 60 年河西走廊东部气象干旱演变特征

杨晓玲<sup>1,2</sup>, 丁文魁<sup>1</sup>, 孙占峰<sup>1</sup>, 聂鑫<sup>2</sup>

(1.甘肃省武威市气象局, 甘肃 武威 733099; 2.中国气象局兰州干旱气象研究所, 兰州 730020)

**摘 要:**为提高河西走廊东部气象干旱预测预警水平、防御干旱灾害、降低农业经济损失。以河西走廊东部 5 个自动气象站 1960—2019 年气温和降水量为基础,运用统计学方法分析了河西走廊东部的气温、降水和气象干旱的时空演变特征。结果显示:河西走廊东部年和农业季气温均为荒漠区和绿洲平原区明显高于浅山区,浅山区明显高于高寒山区;年和农业季降水均为高寒山区多于浅山区,浅山区多于荒漠区和绿洲平原区。年和农业季气温随年份、年代呈显著升高趋势,年和农业季降水随年份、年代呈增多趋势。河西走廊东部年景干旱年数为北部浅山区多于绿洲平原区和南部浅山区,绿洲平原区和南部浅山区多于高寒山区,高寒山区多于荒漠区;农业季干旱年数为高寒山区多于荒漠区,荒漠区多于绿洲平原区和南部浅山区,绿洲平原区和南部浅山区多于北部浅山区。年景和农业季干旱年数随年代呈先减少后明显增多趋势。年景和农业季各级别干旱年数变率较大,随着干旱级别的加重,干旱年数总体在减少,特旱年数最少。使用  $DI \cdot A \cdot II_{eqb}$  提出的大气干旱指数识别出的气象干旱事件和实际干旱事件基本一致,干旱等级也相对一致,说明该指数能够较好地监测到河西走廊东部干旱年份及干旱等级。

**关键词:**河西走廊东部; 气温; 降水; 干旱; 演变特征

中图分类号:S423

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)01-0242-07

## Evolution Characteristics of Meteorological Drought in Eastern Hexi Corridor During Recent 60 Years

YANG Xiaoling<sup>1,2</sup>, DING Wenkui<sup>1</sup>, SUN Zhanfeng<sup>1</sup>, NIE Xin<sup>2</sup>

(1.Wuwei Meteorological Bureau of Gansu Province, Wuwei, Gansu 733099, China;

2.Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** In order to improve the prediction and early warning level of meteorological drought, prevent drought disasters and reduce agricultural economic losses in eastern Hexi Corridor, based on the daily temperature and precipitation data of 5 automatic meteorological stations in eastern Hexi Corridor during 1960—2019, spatio-temporal evolution characteristics of temperature, precipitation and meteorological drought in eastern Hexi Corridor were analyzed by using statistical method. The result showed that annual and agricultural seasonal temperature in desert area and oasis plain area was higher than that in shallow mountain area, and that in shallow mountain area was higher than that in alpine mountain area; annual and agricultural seasonal precipitation was more in alpine mountain area than that in shallow mountain area, and that in shallow mountain area was more than that in desert area and oasis plain area in eastern Hexi Corridor; annual and agricultural seasonal temperature increased significantly over years, and annual and agricultural seasonal precipitation increased overs; drought years in northern shallow mountain area were more than those in oasis plain area and southern shallow mountain area, and those were more in oasis plain area and southern shallow mountain area than those in the alpine mountain area, and those were more in alpine mountain area than those in desert area; agricultural seasonal drought years were more in alpine mountain area than in desert area, and those were more in desert area than those in oasis plain area and southern shallow mountain area, and those are more in oasis plain area and southern shallow mountain area than those in northern shallow mountain area in eastern Hexi Corridor; annual and agricultural seasonal drought years decreased first and

收稿日期:2021-01-20

修回日期:2021-02-19

资助项目:甘肃省基础研究创新群体项目(20JR5RA121);武威市市列科研项目“气候变暖背景下石羊河流域农业干旱风险评估研究”(WW190103);干旱气象科学资助项目“石羊河流域高影响灾害天气气候特征及形成机理分析研究”(IAM202016)

第一作者:杨晓玲(1971—),女,甘肃民勤县人,学士,高级工程师,主要从事天气预报及气候变化研究。E-mail:wwqxj6150343@163.com

then increased obviously over years; variation rate of annual and agricultural seasonal drought years at all levels was larger, drought years decreased with increase of drought degree, and extra-drought years were the least. Meteorological drought events identified with atmospheric drought index proposed by  $\Pi \cdot A \cdot \Pi e \Delta b$  are basically consistent with actual drought events, so that the index can monitor drought year and drought grade in eastern Hexi Corridor.

**Keywords:** eastern Hexi corridor; temperature; precipitation; drought; evolution characteristics

干旱是影响农业生产、经济发展最严重的自然灾害之一<sup>[1]</sup>。大量事实表明,随着全球气候显著变暖,全球极端干旱面积正在扩大<sup>[2-3]</sup>,干旱导致的水资源短缺日益严重。气象学者和相关专家研究发现中国北方地区干旱化正在加剧:赵海燕等<sup>[4]</sup>通过分析农业受旱面积和播种面积资料,认为东北、内蒙古和西北地区的农业干旱有显著加重趋势;梁泽学等<sup>[5]</sup>发现半干旱区东移,河套地区四季均表现出干旱化;路桂华等<sup>[6]</sup>指出辽河平原—海河平原—黄土高原—四川盆地—云贵高原形成了一个干旱化带状区域,干旱频率增加,特别是 20 世纪 90 年代中期以来,干旱连年发生,旱情较为严重;马柱国等<sup>[7-8]</sup>认为西北东部和华北的干旱化趋势在不断加剧,降水减少和气温升高是其主要原因;章大全等<sup>[9]</sup>指出未来 5 a 内干旱发生概率较大的地区主要在中国华北,且有持续向南扩张的趋势,降水减少仍然是中国东部干旱形成的主要因素;王春乙<sup>[10]</sup>研究指出,中国平均每年旱灾的受灾面积高达 2 200 万  $\text{hm}^2$ ,占各种灾害受灾面积的 40%以上,粮食损失约 120 亿 kg;刘勤等<sup>[11]</sup>发现中国气候总体上呈暖干化的变化趋势,预计未来几十年北方地区将经历最干旱的时期,极端干旱的频率和历时将达最大。因此,干

旱仍是未来中国要面临的主要气象灾害。

河西走廊东部位位于祁连山东段,与腾格里沙漠和巴丹吉林沙南缘接壤,境内山区、平原、戈壁荒漠并存,地形地貌极为复杂,由此造成该区灾害天气复杂多样,其中,干旱是该区域致灾最严重灾害天气,造成年均经济损失超过 5 460 万元,年均农业受灾面积超过 31 639  $\text{hm}^2$ <sup>[12-14]</sup>,因此,笔者以河西走廊东部近 60 年降水和气温为基础,构造气象干旱指数,详细探讨气温、降水和气象干旱的演变特征,将对提高当地干旱预测预警水平和应对气候变化能力提供参考依据,同时对防旱抗旱减灾、农业安全生产、生态环境改善和区域经济发展具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

河西走廊东部地势南高北低,由西南向东北倾斜,海拔在 1 300~3 100 m,从北向南依次为民勤、永昌、凉州、古浪、天祝,地理位置  $36^{\circ}29' - 39^{\circ}27' \text{N}$ ,  $101^{\circ}41' - 104^{\circ}16' \text{E}$ (表 1)。年气温在  $0.1 \sim 8.4^{\circ}\text{C}$ ,年降水量在 110~410 mm,年蒸发量在 1 500~2 700 mm,蒸发量是降水量的 3.7~24.5 倍,属大陆性温带干旱、半干旱气候区<sup>[15]</sup>。

表 1 河西走廊东部地理状况

项目	民勤	永昌	凉州	古浪	天祝
经度 E	$103^{\circ}05'$	$101^{\circ}58'$	$102^{\circ}40'$	$102^{\circ}54'$	$102^{\circ}52'$
纬度 N	$38^{\circ}38'$	$38^{\circ}14'$	$37^{\circ}55'$	$37^{\circ}29'$	$37^{\circ}12'$
海拔/m	1368.5	1976.5	1531.9	2073.2	3043.9
地形地貌	北部戈壁荒漠区	北部浅山区	中部绿洲平原区	南部浅山区	南部高寒山区

1.2 资料与指标

选取 1960—2019 年河西走廊东部的凉州、民勤、永昌、古浪、天祝 5 个区(县)自动气象站月气温和降水观测资料,60 a 来,5 个气象站均未曾迁移,气温和降水观测数据时间序列长,完整性和连续性好,可信度高。

年景干旱指数是指年内 1—12 月干旱指数累计值,3—9 月为河西走廊东部农作物播种、生长的季节,因此,农业季干旱指数是指 3—9 月干旱指数累计值。根据文献<sup>[16]</sup>对河西走廊东部的规定:年景干旱指数 $\geq 1$  为有旱,其中,年景干旱指数在 1~4 为轻旱,在 4~7 为中旱,

在 7~10 为重旱, $\geq 10$  为特旱;农业季干旱指数在 1~3 为轻旱,在 3~6 为中旱,在 6~9 为重旱, $\geq 9$  为特旱。

1.3 研究方法

1.3.1 干旱指数 气温和降水是决定干旱发生、发展变化和终止最重要的因素,干旱通常具有高温少雨的气候特征,即气温高蒸发强烈与水份补给不足这两个方面。因此,采用  $\Pi \cdot A \cdot \Pi e \Delta b$  提出的大气干旱指数公式,构造出月干旱指数<sup>[17]</sup>:

$$X = \Delta T / \delta_i - \Delta R / \delta_r \tag{1}$$

$$\delta_i = [1/L \sum_{i=1}^L (T_i - T_p)^2]^{1/2} \tag{2}$$

$$\delta_r = [1/L \sum_{i=1}^L (R_i - R_p)^2]^{1/2} \quad (3)$$

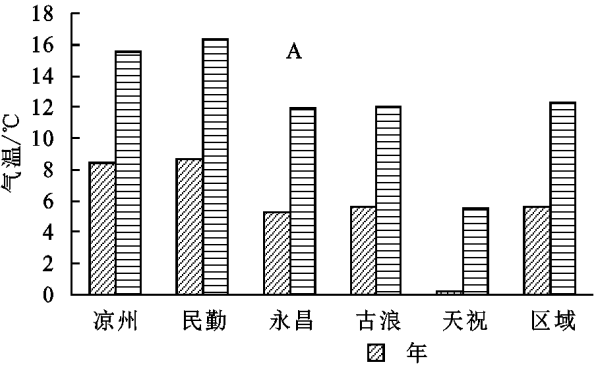
式中:  $X$  为某时段干旱指数; 气温距平  $\Delta T = T - T_p$ ;  $T$  为气温;  $T_p$  为平均气温; 降水  $\Delta R = R - R_p$ ;  $R$  为降水量;  $R_p$  平均降水量;  $\delta_i$  与  $\delta_r$  分别为某时段气温、降水量的标准差;  $L$  为资料年数。

以往常用的干旱指数包括 Palmer 干旱指数 (PDSI)<sup>[18]</sup>、作物水分指数以及标准化降水指数 (SPI) 等<sup>[19]</sup>。但均有一定的局限性,PDSI 指数和作物水分指数在旱情等级界定上有主观因素,在判断极端旱情时可能会滞后几个月;SPI 指数仅考虑降水资料,未考虑影响干旱的其他因素如温度、蒸散等。本文采用  $\Pi \cdot A \cdot \Pi$  e $\Pi$ b 提出的干旱指数的优点是即考虑了降水变化,又考虑了温度升高引起蒸发的变化,适合于定量地描述月、季、年景干旱或雨涝的反常气候状况。

1.3.2 气候倾向率 利用线性趋势分析指标的时间变化,计算指标的气候倾向率,线性方程<sup>[20]</sup>为:

$$y_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

式中:  $y_i$  为指标变量;  $t_i$  为  $y_i$  对应的时间;  $b$  为倾向



率;  $b \times 10$  为每 10 a 的变化率。变化趋势的显著性,采用  $t$  与  $y$  间的气候趋势系数进行显著性检验。根据蒙特卡罗模拟方法<sup>[21]</sup>:通过信度  $\alpha = 0.1, 0.05, 0.01$  检验对应的相关系数临界值依次为: 0.306, 0.365, 0.443, 当气候趋势系数绝对值大于上述临界值时,分别认为较显著、显著、很显著。

2 结果与分析

2.1 气温和降水演变特征

2.1.1 空间分布 河西走廊东部地处祁连山东麓,境内地形复杂,高山平原沙漠并存,气温和降水的地域分布存在一定差异(图 1)。年、农业季气温:全区域分别为 5.6℃, 12.3℃;各地均为民勤最高,凉州次之,再次为古浪,天祝最低。即年和农业季气温均为荒漠区和绿洲平原区明显高于浅山区,浅山区明显高于高寒山区。年、农业季降水:全区域分别为 253.3 mm, 227.3 mm;各地均为天祝最多,古浪次之,再次为永昌,民勤最少。即年和农业季降水均为高寒山区多于浅山区,浅山区多于荒漠区和绿洲平原区。

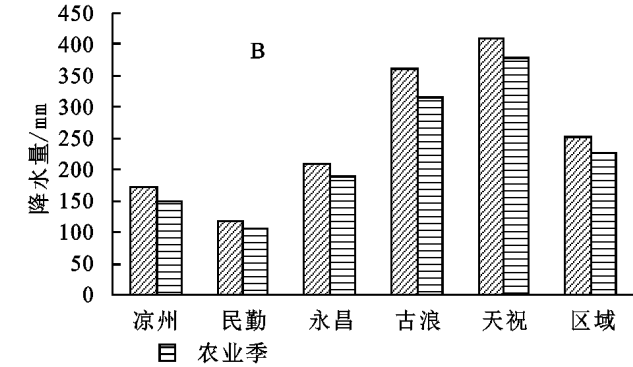


图 1 河西走廊东部年和农业季气温和降水量空间分布

气温和降水的地域分布与影响当地天气系统关系较大,平原区和荒漠区主要受西北和偏北气流环流背景影响,大气携带水汽相对较少,晴天较多,阴雨天少,气温高,降水少;山区位于祁连山东北侧,受西南季风影响,西南暖湿气流活跃,阴雨日数较多,气温低,降水多。另外,气温和降水的分布还与海拔高度有一定的关系,平原区和荒漠区海拔低,气温高,山区正好相反;山区位于祁连山东北侧,受高海拔动力和高原本身的热力等作用,致使水汽极易堆积抬升凝结,降水多比平原区和荒漠区多。

2.1.2 时间变化 河西走廊东部年和农业季气温随年份呈升高趋势(图 2),其中,年气温的气候倾向率为凉州>古浪>民勤>全区域>永昌>天祝,根据蒙特卡罗模拟方法规定,全区域及各地气候趋势系数均通过了  $\alpha = 0.01$  显著性水平检验,升高趋势很显著;

农业季气温的气候倾向率为凉州>民勤>古浪>全区域>永昌>天祝,根据蒙特卡罗模拟方法规定,全区域及各地气候趋势系数也均通过了  $\alpha = 0.01$  显著性水平检验,升高趋势很显著。

河西走廊东部年和农业季降水随年份呈增多趋势(图 3),其中,年降水的气候倾向率为天祝>永昌>全区域>凉州>民勤>古浪,根据蒙特卡罗模拟方法规定,永昌气候趋势系数通过了  $\alpha = 0.01$  显著性水平检验,增多趋势很显著,天祝气候趋势系数通过了  $\alpha = 0.05$  显著性水平检验,增多趋势显著,全区域气候趋势系数通过了  $\alpha = 0.1$  显著性水平检验,增多趋势较显著,凉州、民勤、古浪气候趋势系数没有通过显著性水平检验,增多趋势不显著;农业季降水的气候倾向率为天祝>永昌>全区域>凉州>古浪>民勤,根据蒙特卡罗模拟方法规定,永昌气候趋势系数通过

了 $\alpha=0.01$  显著性水平检验,增多趋势很显著,天祝气候趋势系数通过了 $\alpha=0.1$  显著性水平检验,增多

趋势较显著,全区域及凉州、民勤、古浪气候趋势系数没有通过显著性水平检验,增多趋势不显著。

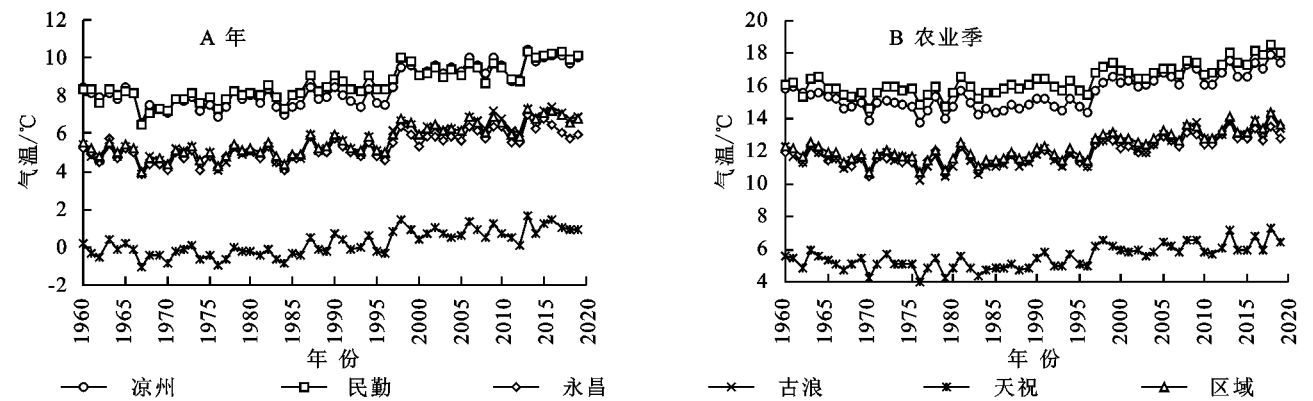


图 2 河西走廊东部年和农业季气温的变化趋势

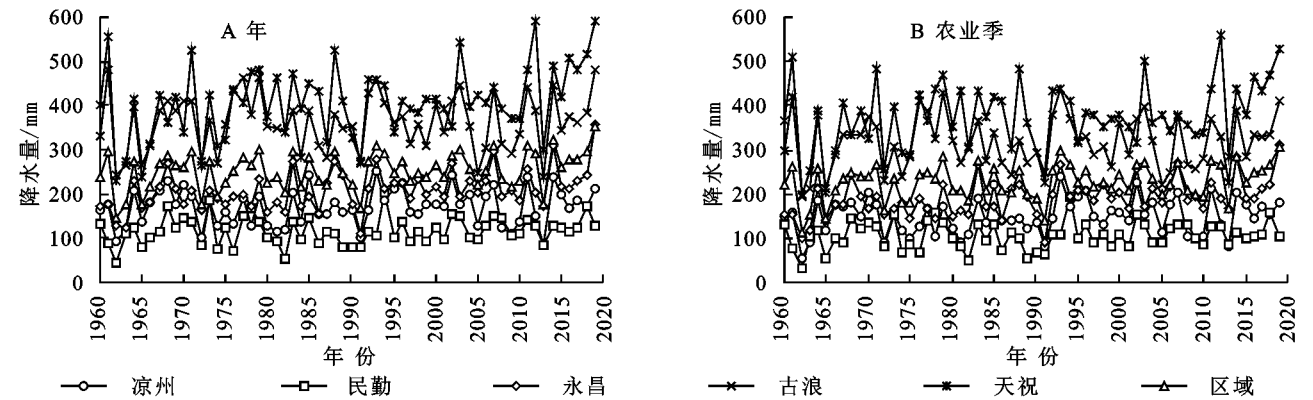


图 3 河西走廊东部年和农业季降水量的变化趋势

从表 2 可知,河西走廊东部年和农业季气温随年代呈升高趋势,20 世纪 60—80 年代为负距平,气温偏低,其中 70 年代最低;90 年代距平在 0℃ 左右,气温持平;21 世纪以来为较大的正距平,气温明显偏高,10 年代气温最高。

多趋势,20 世纪 60—80 年代为负距平,降水偏少,但民勤和古浪 70 年代为较大的正距平,降水最多;90 年代距平有正有负,除凉州和天祝外,距平的绝对值均较小;21 世纪以来为较大的正距平,但个别县区不一致,00 年代古浪、天祝为较小的负距平;除民勤和古浪外,10 年代降水最多。

河西走廊东部年和农业季降水随年代总体呈增

表 2 河西走廊东部年和农业季气温、降水量年代距平

指标	年代	年						农业季					
		凉州	民勤	永昌	古浪	天祝	区域	凉州	民勤	永昌	古浪	天祝	区域
气温/℃	60	-0.6	-0.8	-0.5	-0.8	-0.4	-0.6	-0.3	-0.5	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
	70	-0.9	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.7	-1.0	-0.9	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8
	80	-0.7	-0.4	-0.4	-0.6	-0.5	-0.5	-0.8	-0.6	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6
	90	-0.2	0.3	0.0	0.1	0.2	0.1	-0.4	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1
	00	1.1	0.7	0.6	0.8	0.6	0.8	0.9	0.5	0.6	0.7	0.5	0.6
	10	1.3	1.2	0.9	1.3	0.7	1.1	1.4	1.2	1.1	1.3	0.7	1.1
降水/mm	60	-1.9	-8.6	-21.3	-12.2	-48.1	-18.3	-6.2	-9.0	-22.7	-15.1	-42.7	-19.1
	70	-6.8	11.1	-16.7	20.4	-11.1	-0.5	-8.7	9.1	-16.8	18.4	-2.8	-0.1
	80	-11.3	-15.3	-5.1	-20.0	8.1	-8.6	-8.7	-13.3	-4.8	-17.1	10.6	-6.6
	90	8.3	-3.9	-2.8	0.3	-18.5	-3.2	11.9	-1.1	1.4	5.5	-14.5	0.7
	00	3.4	8.3	14.4	-7.2	3.9	4.6	5.4	8.4	16.3	-4.6	-6.7	3.8
	10	8.0	8.5	29.7	18.7	65.6	26.2	6.2	5.6	26.5	13.1	56.1	21.5

注:00,10 分别为 21 世纪 00 年代、10 年代,下同。



2.2 干旱演变特征

2.2.1 空间分布 河西走廊东部各地干旱的地域分布差异不大(图 4)。年景干旱出现年数、频率:全区域 26 a,43.3%;永昌最多 30 a,50.0%;凉州、古浪次之 27 a,45.0%;再次为天祝 25 a,41.7%;民勤最少 22 a,36.7%,即干旱年数为北部浅山区多于绿洲平原区和南部浅山区,绿洲平原区和南部浅山区多于高寒山区,高寒山区多于荒漠区。农业季干旱出现年数、频率:全区域 25 a,41.7%;天祝最多 29 a,48.3%;民勤次之 27 a,45.0%;再次为凉州和古浪均为 25 a,41.7%;永昌最少 24 a,40.0%,说明农业季干旱年数为高寒山区多于荒漠区,荒漠区多于绿洲平原区和南部浅山区,绿洲平原区和南部浅山区多于北部浅山区,即年景干旱

与农业季干旱南北几乎呈相反的变化趋势。

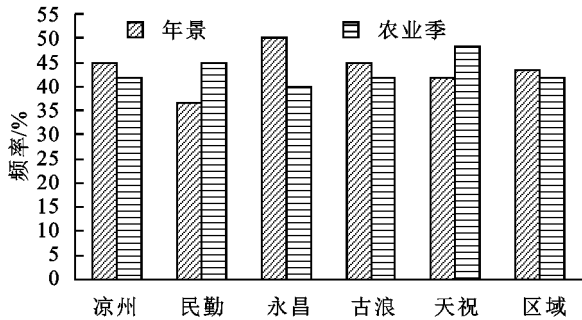


图 4 河西走廊东部年景和农业季干旱频率空间分布

2.2.2 时间变化 由上节的分析可知,河西走廊东部出现年景干旱和农业季干旱的频率基本在 50%以下,即有一半以上的年份未出现干旱,年变化的偶然性较大,因此在时间变化上,选取年代际进行分析。

表 3 河西走廊东部年景和农业季干旱各年代年数

a

年代	年景						农业季					
	凉州	民勤	永昌	古浪	天祝	区域	凉州	民勤	永昌	古浪	天祝	区域
60	3	0	3	2	4	2	3	2	4	4	4	3
70	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	3	1
80	1	2	3	1	1	1	1	3	1	1	0	1
90	6	4	6	5	6	6	4	5	4	4	7	4
00	9	6	9	9	7	8	7	7	7	6	9	7
10	8	10	8	10	6	8	9	10	7	9	6	8

从表 3 可知,河西走廊东部年景和农业季干旱年数随年代先减少后明显增多趋势。20 世纪 60—80 年代较少,在 0~4 a,其中 70 年代最少;90 年代开始增多,90 年代在 4~7 a;21 世纪 00—10 年代干旱年数明显偏多,在 6~10 a,各地变化不太一致,特别是 00 年代凉州、永昌、古浪年景干旱和天祝农业季干旱年数高达 9 a,10 年代民勤、古浪年景干旱和民勤农业季干旱高达年数 10 a,凉州、古浪农业季干旱年数高达 9 a。这主要是由于本研究所用干旱指数是基于气温和降水得到的,胡实等<sup>[22]</sup>研究发现增温引起的地表蒸发增加是干旱频发的主要原因。由 2.1.2 节分析可知,河西走廊东部气温出现显著升高,升温率均通过了 $\alpha=0.01$  显著性水平检验;降水也出现了增多,但增多率大部分没有通过显著性水平检验,特别是 90 年代以来,气温增幅非常明显,降水增幅不明显,因此,90 年代以来干旱年数增多,特别是 21 世纪前 20 a 出现了明显增多的现象。这与廖要明等<sup>[23]</sup> 研究的中国干旱事件明显增多和金红梅等<sup>[24]</sup>、程文举等<sup>[25]</sup> 分析的中国西北地区气象干旱呈增强趋势相对一致,但与张利利等<sup>[26]</sup> 研究的石羊河流域干旱事件的变化不一致。这可能与表述干旱事件所用的气象要素和计算方法不同有关,有待于进一步研究。

2.2.3 各等级干旱变化 由大气干旱指数分布划分

的干旱等级能反映不同时间和地点的气候特征,其干旱等级划分标准具有一定的气候意义,可适用于不同时段不同地区。

从表 4 可知,河西走廊东部年景和农业季各级别干旱年数变率较大,随着干旱等级的加重,干旱年数总体上在减少,特旱年数最少,但年景干旱年数个别站为重旱略多于中旱,农业季干旱年数均为中旱多于轻旱,这与柏庆顺等<sup>[27]</sup> 研究的中国西北地区各级别干旱年数的变化(轻旱>中旱>重旱>特旱)不太一致,这可能是干旱指数的计算和各干旱等级分级有所不同。在年景干旱中,轻旱年数占干旱总年数的 22.7%~53.3%,中旱年数占 14.8%~27.3%,重旱年数占 16.7%~28.0%,特旱年数占 6.7%~27.3%;在农业季干旱中,轻旱年数占干旱总年数的 24.0%~39.3%,中旱年数占 25.0%~48.0%,重旱年数占 16.0%~29.2%,特旱年数占 3.4%~20.0%。特旱和重旱出现概率虽小,但仍会给工农业生产和人民生活带来了严重的影响<sup>[28-29]</sup>。

2.3 干旱指标识别与实际干旱对比

为探明  $\Pi \cdot A \cdot \Pi$  提出的干旱指数识别的干旱是否符合河西走廊东部实际干旱情况,查找了研究区域的历史干旱资料,以验证该指数在河西走廊东部的适用性。由于轻旱对农业生产的影响较小,因此,选取了干旱指数识别的中旱等级以上干旱事件与

武威市气象局灾情统计和《甘肃省历史气候资料》记载的干旱事件进行对比(表 5),发现该指数识别出了河西走廊东部实际发生的大部分重要干旱事件,只有个别年份(1963 年、1976 年、1997 年、2009 年、2016 年、2017 年)识别的干旱与实况有出入,这种差异可能是由于评估指标侧重点及计算方法或者干旱事件记载的不详等原因导致。据武威市气象局灾情统计和《甘肃省历史气候资料》记载:1991 年大旱使武威市农作物受灾面积达 39.5%,受灾严重;1999 年、

2013 年、2018 年特旱使河西走廊东部农作物受灾面积分别达  $4.201\times10^4\text{ hm}^2$ ,  $8.566\ 6\times10^5\text{ hm}^2$ ,  $5.63\times10^4\text{ hm}^2$ ,经济损失分别达  $2.542\ 4\times10^8$  元,  $4.450\ 5\times10^7$  元,  $4.443\ 1\times10^8$  元,这与指数识别的河西走廊东部特旱年份一致。

总之,利用该指数识别出的主要气象干旱事件与实际干旱事件基本一致,干旱等级也相对一致,说明使用该指数能够较好地监测到河西走廊东部干旱年份及干旱等级。

表 4 河西走廊东部年景和农业季各级别干旱年数 a

干旱级别 (指数)	年景				农业季			
	轻旱(1~4)	中旱(4~7)	重旱(7~10)	特旱( $\geq10$ )	轻旱(1~3)	中旱(3~6)	重旱(6~9)	特旱( $\geq9$ )
凉州	7	6	7	6	11	7	5	5
民勤	5	6	5	6	9	11	6	1
永昌	16	7	5	2	7	9	7	1
古浪	8	7	6	6	7	9	4	5
天祝	9	6	7	3	10	12	6	1
区域	12	4	7	4	6	12	4	3

表 5 干旱指数识别与实际干旱事件对比

指数识别干旱事件			际干旱事件	指数识别干旱事件			际干旱事件
中旱	重旱	特旱	记载年份	中旱	重旱	特旱	记载年份
1962 年			有		2001 年		有
1963 年			无		2005 年		有
1987 年			有		2006 年		有
1991 年			有		2008 年		有
1997 年			无		2010 年		有
2000 年			有		2015 年		有
2010 年			有		2016 年		无
2012 年			有			1974 年	有
2017 年			无			1999 年	有
	1965 年		有			2009 年	无
	1976 年		无			2013 年	有
	1989 年		有			2018 年	有
	1998 年		有				

3 小 结

(1) 河西走廊东部年和农业季气温均为荒漠区和绿洲平原区明显高于浅山区,浅山区明显高于高寒山区;年和农业季降水均为高寒山区多于浅山区,浅山区多于荒漠区和绿洲平原区。河西走廊东部年和农业季气温随年份呈显著升高趋势,区域及各地气候趋势系数均通过了 $\alpha=0.01$  显著性水平检验;年和农业季降水随年份呈增多趋势,只有永昌、天祝气候趋势系数通过了显著性检验。河西走廊东部年和农业季气温随年代在升高;年和农业季降水随年代总体上在增多,但各地变化不太一致。

(2) 河西走廊东部年景干旱年数为北部浅山区多于绿洲平原区和南部浅山区,绿洲平原区和南部浅山区多于高寒山区,高寒山区多于荒漠区;农业季干旱年数为高寒山区多于荒漠区,荒漠区多于绿洲平原区和南部浅山区,绿洲平原区和南部浅山区多于北部浅山区。河西走廊东部年景和农业季干旱年数随年代呈先减少后明显增多趋势,70 年代最少,21 世纪 00—10 年代干旱年数较多。年景和农业季干旱年数各等级变率较大,随着干旱级别的加重,干旱年数总体在减少,特旱年数最少,但年景干旱年数个别站为重旱略多于中旱,农业季干旱年数均为中旱多于轻旱。

(3) 通过与历史干旱记载事件对比发现,Ⅱ·A

• II eDlb 提出的干旱指数识别出的主要气象干旱事件和实际干旱事件基本一致,干旱等级也相对一致,说明使用该指数能够较好地监测到河西走廊东部干旱年份及干旱等级。

(4) 在气候变暖的背景下,全球和区域尺度的干旱时空分布发生了变化<sup>[30]</sup>。选取河西走廊东部5个自动气象站点的常规观测资料讨论气候变化对河西走廊东部气象干旱的影响,在一定程度上能够清晰反映了气象干旱对气候变化的响应,但河西走廊东部处于不同气候区的交汇过渡带,天气特征和气候变化受到季风、环流系统、地形及海拔等因素的影响,局地气候变化比较复杂,有待进一步研究。另外,仅用该地区5个自动气象站点资料分析存在站点稀少、分布不均、网格较粗的弊端,在之后的研究中,需增加更多区域气象站的观测资料,结合河西走廊东部地形、地理位置及人类活动等相关信息,详细分析河西走廊东部气象干旱的地域差异,对气象干旱等级划分进行进一步修订。

#### 参考文献:

- [1] 刘彤,闫天池.我国的主要气象灾害及其经济损失[J].自然灾害学报,2011,20(2):90-95.
- [2] Dai A G, Trenberth K E, Qian T T. A global dataset of palmer drought severity index for 1870-2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming[J]. Journal of Hydrometeorology, 2004,5(6):1117-1130.
- [3] Nicholls N. The changing nature of Australian droughts [J]. Climate Change, 2004,63(3):323-336.
- [4] 赵海燕,张强,高歌,等.中国1951—2007年农业干旱的特征分析[J].自然灾害学报,2010,19(4):201-206.
- [5] 梁泽学,江静.中国北方地区1961—2000年干旱半干旱化趋势[J].气象科学,2005,25(1):9-17.
- [6] 陆桂华,闫桂霞,吴志勇,等.近50年来中国干旱化特征分析[J].水利水电技术,2010,41(3):78-82.
- [7] 马柱国,符淙斌.1951—2004年中国北方干旱化的基本事实[J].科学通报,2006,51(20):2429-2439.
- [8] 马柱国,符淙斌.中国干旱和半干旱带的10年际演变特征[J].地球物理学报,2005,48(3):519-525.
- [9] 章大全,张璐,杨杰,等.近50年中国降水及温度变化在干旱形成中的影响[J].物理学报,2010,59(1):655-663.
- [10] 王春乙.重大农业气象灾害研究进展[M].北京:气象出版,2007:1-29.
- [11] 刘勤,严昌荣,何文清.黄河流域干旱时空变化特征及其气候要素敏感性分析[J].中国农业气象,2016,37(6):623-632.
- [12] 罗晓玲,胡丽莉,杨梅.近30年石羊河流域气象灾害特征及风险评估技术研究[J].中国农学通报,2015,31(32):205-210.
- [13] 姚玉璧,李耀辉,石界,等.基于GIS的石羊河流域干旱灾害风险评估与区划[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):21-28.
- [14] 罗晓玲,王润元,齐月.石羊河流域干旱特征及预测方法探讨[J].江西农业学报,2017,29(12):107-114.
- [15] 白肇烨,徐国昌,孙学筠,等.中国西北天气[M].北京:气象出版社,1991.
- [16] 李岩璞,高弟乐,李国昌,等.武威市旱情分析及防御对策[J].干旱气象,2002,20(2):18-21.
- [17] 柳崇健.天气预报技术的若干进展[M].北京:气象出版社,1998.211-212.
- [18] Heim R R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002,83(8):1149-1165.
- [19] 豆晓军,吕娟,孙宏泉,等.基于标准化降水指数的1959—2014年中国季节干旱时空特征分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2018,16(2):149-155.
- [20] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].2版.北京:气象出版社,2007.
- [21] Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques[J]. Monthly Weather Review, 1983,111(1):46-59.
- [22] 胡实,莫兴国,林忠辉.未来气候情景下我国北方地区干旱时空变化趋势[J].干旱区地理,2015,38(2):239-248.
- [23] 廖要明,张存杰.基于FGP的中国干旱时空分布及灾情变化特征[J].气象,2017,43(11):1402-1409.
- [24] 金红梅,乔梁,颜鹏程,等.基于近似熵的中国西北地区干旱的非线性特征[J].干旱气象,2019,37(5):713-721.
- [25] 程文举,席海洋,司建华,等.河西内陆河浅山区流域蒸发估算及干旱特性研究[J].干旱区研究,2020,37(5):1105-1115.
- [26] 张利利,周俊菊,张恒玮,等.基于SPI的石羊河流域气候干湿变化及干旱事件的时空格局特征研究[J].生态学报,2017,37(3):996-1007.
- [27] 柏庆顺,颜鹏程,蔡迪花,等.近56a中国西北地区不同强度干旱的年代际变化特征[J].干旱气象,2019,37(5):722-728.
- [28] 徐玉霞,许小明,杨宏伟,等.基于GIS的陕西省干旱灾害风险评估及区划[J].中国沙漠,2018,38(1):192-199.
- [29] 陈丙寅,杨辽,陈曦,等.基于改进型TVDI在干旱区旱情监测中的应用研究[J].干旱区地理,2019,42(4):902-913.
- [30] Hirabayashi Y, Kanae S, Emori S, et al. Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate [J]. Hydrological Sciences Journal, 2008,53(4):754-772.