

# 基于3种干旱指标的天水地区干旱演变特征分析

刘亮<sup>1</sup>, 吴婷芳<sup>2</sup>, 胡利平<sup>2</sup>, 柳玉茹<sup>2</sup>, 安小瑞<sup>1</sup>

(1. 甘肃省天水市人工影响天气协调领导小组办公室, 甘肃天水 741018; 2. 甘肃省天水市气象局, 甘肃天水 741018)

**摘要** 利用1971—2011年天水地区河谷、渭北、关山区3个代表点的气象站资料,以湿润度指数(Mi)、标准化降水指数(SPI)、降水距平百分率(Pa)3种干旱监测指标及等级划分为基础,对天水各气候区的春、夏、秋3个主要作物生长时段干旱气候演变特征进行分析。结果表明,天水春季(3—5月)出现干旱灾害的气候风险最大,各气候区10年中有6~8年出现干旱,中旱以上干旱河谷区10年中有4~5年、渭北区有5~6年、关山区有2~4年出现;夏季(6—8月)干旱风险次之,各气候区10年中有6~7年出现干旱,中旱以上干旱河谷区10年中有2~4年、渭北区有2~3年、关山区有2~4年出现;秋季(9—10月)各等级干旱气候风险出现均较小。各季干旱风险主要出现在20世纪90年代初以后。

**关键词** 干旱指标;干旱演变;特征;天水地区

**中图分类号** S162 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)23-0156-05

## Analysis on Characteristics of Drought Evolution in Tianshui Area Based on Three Drought Indexes

LIU Liang<sup>1</sup>, WU Ting-fang<sup>2</sup>, HU Li-ping<sup>2</sup> et al (1. Tianshui City Coordination and Leading Office of Affecting the Weather Artificially, Tianshui, Gansu 741018; 2. Tianshui City Meteorological Bureau, Tianshui, Gansu 741018)

**Abstract** Using the meteorological data of three representative points in the Hegu zone, Weibei zone and Guanshan zone of Tianshui area from 1971 to 2011, and based on the three indexes of moisture index (Mi), standardized precipitation index (SPI) and percentage of precipitation anomaly (Pa), the characteristics of drought climate evolution during the growth period of spring, summer and autumn of the three main crops in Tianshui climate zone were analyzed. The result showed that in spring (from March to May) got the biggest probability to have the drought, every climatic zone got 6-8 years had drought in 10 years, drought up to intermediate in Hegu zone got 4-5 years in 10 years, in Weibei zone got 5-6 years in 10 years, Guanshan zone got 2-4 years in 10 years. The drought in summer (from June to August) was nest to the spring, every climatic zone got 6-7 years had drought in 10 years, drought up to intermediate in Hegu zone got 2-4 years in 10 years, in Weibei zone got 2-3 years in 10 years, Guanshan zone got 2-4 years in 10 years. In autumn (from September to October) got the less probability to have the drought. The drought risk mainly appeared in after the early 1990s.

**Key words** Drought index; Drought evolvement; Characteristics; Tianshui area

根据对近100多年全球气温资料的分析,全球平均气温升高(0.6±0.2)℃,我国气温上升了0.4~0.5℃,增温始于20世纪70年代,80、90年代是增温异常剧烈阶段<sup>[1-6]</sup>。各区域对全球增温变化存在不同程度的区域响应<sup>[7-9]</sup>,我国西北地区气温随全球变暖而随之升高,并在1986年附近发生跃变<sup>[10-13]</sup>。20世纪90年代初期天水气温、降水发生了明显突变,进入气温显著变暖和降水偏少时段<sup>[14]</sup>。

由于气候持续变暖,降水减少,造成干旱天气事件频发,对国民经济、人民生产和生活的影响日益增大,造成的损失不断加重。天水地处西北,生态环境脆弱,干旱是主要的灾害事件,其影响范围、程度和造成的经济损失非常严重。因此,掌握其演变规律、发展趋势,实施有效的气象干旱风险监测、评估、预警和管理迫在眉睫。目前,研究干旱的指标主要有降水量距平百分率、相对湿润度指数、标准化降水指数、土壤相对湿度指数、帕默尔干旱等级等单项干旱指数以及综合气象干旱指数<sup>[15-17]</sup>。各项干旱指标各有利弊,笔者主要采用资料获取容易且效果较好的相对湿润度指数(Mi)、标准化降水指数(SPI)、降水量距平百分率(Pa)3种干旱监测指标,在天水河谷区、渭北区和关山区各取一个代表点,以其1971—2011年的Mi、SPI、Pa计算结果,对41年天水干旱演变状况进行分析,评价天水干旱风险状况及干旱发展趋势,

为干旱监测、预警和干旱防灾减灾工程建设提供科学依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究时段和区域选取** 根据天水气候特征和农业生产实际,选取具有指示意义的3个时段:3—5月(夏粮作物生长关键期及春播期)、6—8月(秋粮生长关键期)、9—10月(作物秋播期)。采用Mi、SPI、Pa3种干旱监测指标及强度等级划分技术对天水河谷区、渭北区、关山区3个气候区的麦积、秦安、张家川3个代表点进行Mi、SPI、Pa计算分析。气候分区是根据主导气象因子——热量条件及相应的水分、光照、海拔等因素,将天水划分为河谷区、渭北区、关山区3个气候区<sup>[18]</sup>。

**1.2 资料来源** 气象资料来源于麦积、秦安和张家川3个县(区)气象站,考虑到各气象站建站时间不同,因此该研究所用的实际资料为1971—2011年3站观测的逐日降水量、平均气温要素值。

## 1.3 干旱监测方法与等级

**1.3.1 相对湿润度指数(Mi)**。相对湿润度指数是某时段降水量与同一时段有植被地段的最大可能蒸发量相比的百分率,其计算公式为<sup>[19]</sup>:

$$Mi = \frac{P - E}{E} \quad (1)$$

式(1)中, $P$ 为月降水量, $E = 16(10 t/I)^{\alpha}$ 为标准月份30 d最大可能蒸散量; $t$ 为30 d均温; $I$ 为温度指数, $I = \sum i = \sum (t_i/5)^{1.514}$ 计算; $\alpha = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.4924$ 。当月平均气温 $t \leq 0$ ℃时,月温度指数 $I = 0$ ,月可能

蒸散量  $E=0(\text{mm}/\text{月})$ 。

该指数以最大蒸散量作为需水量,求其与降水量  $P$  的比例来确定干旱程度,是一个基于水平衡的干旱指数,在考虑降水量的同时,还考虑了气温。其所用资料就是气象观测的常规资料,可方便地用于日常干旱监测、评估气象业务。Mi 干旱等级划分标准为:  $Mi > -0.50$ , 无旱;  $-0.70 < Mi \leq -0.50$ , 轻旱;  $-0.85 < Mi \leq -0.70$ , 中旱;  $-0.95 < Mi \leq -0.85$ , 重旱;  $Mi \leq -0.95$ , 特旱。

**1.3.2 标准化降水指数(SPI)。**标准化降水指数是先求出降水量  $R$  分布概率,然后进行正态标准化而得,其计算公式为<sup>[19]</sup>:

$$SPI = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + c_0}{[(d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0} \quad (2)$$

式(2)中,  $t = \sqrt{\ln \frac{1}{P^2}}$ ,  $C_0 = 2.515517$ ,  $C_1 = 0.802853$ ,  $C_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$ ,  $d_3 = 0.001308$ 。  $P$  为对于某一年的降水量  $R_0$ ,求出的随机变量  $R$  小于  $R_0$  和降水量  $R=0$  时的事件概率,并当  $P > 0.5$  时,  $S = 1$ ; 当  $P \leq 0.5$  时,  $S = -1$ 。其干旱等级划分标准为  $SPI > -0.5$ , 无旱;  $-1.0 < SPI \leq -0.5$ , 轻旱;  $-1.5 < SPI \leq -1.0$ , 中旱;  $-2.0 < SPI \leq -1.5$ , 重旱;  $SPI \leq -2.0$ , 特旱。

**1.3.3 降水量距平百分率(Pa)。**降水量距平百分率是指某时段的降水量与常年同期降水量相比的百分率,其计算公式为<sup>[19]</sup>:

$$Pa = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\% \quad (3)$$

式(3)中,  $P$  为某时段降水量,  $\bar{P}$  为多年平均同期降水量,该标准中取 1981—2010 年 30 年气候平均值。  $\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$ , 其中,  $P_i$  为时段  $i$  的降水量,  $n$  为样本数,  $n = 30$ 。Pa 干旱等级

划分标准为:  $Pa \geq -25$ , 无旱;  $-50 < Pa \leq -25$ , 轻旱;  $-70 < Pa \leq -50$ , 中旱;  $-80 < Pa \leq -70$ , 重旱;  $Pa \leq -80$ , 特旱。

## 2 结果与分析

### 2.1 春季(3—5月)干旱

**2.1.1 干旱出现频率、强度。**从干旱发生等级来看,河谷区干旱出现频率为 7.1~7.3 次/10 a, 其中,轻旱为 2.4~3.2 次/10 a, 中旱为 2.2~2.9 次/10 a, 重旱为 1.0~1.5 次/10 a, 特旱为 0~1 次/10 a; 渭北区干旱出现频率为 7.1~8.3 次/10 a, 其中,轻旱为 2.2 次/10 a, 中旱为 2.4~3.4 次/10 a, 重旱为 0.5~2.2 次/10 a, 特旱为 0.5~2.2 次/10 a; 关山区干旱出现频率为 5.9~7.8 次/10 a, 其中,轻旱为 2.9~4.2 次/10 a, 中旱为 1.5~2.4 次/10 a, 重旱为 0.7~1.2 次/10 a, 特旱为 0~0.5 次/10 a。Mi、SPI、Pa 这 3 个指标反映出干旱等级发生次数,河谷区、关山区为轻旱 > 中旱 > 重旱 > 特旱(表 1),渭北区为中旱 > 轻旱 > 重旱 = 特旱(表 1)。从干旱发生的区域来看,渭北区出现总旱灾次数最多,其次是河谷区,最少的是关山区,而中级以上干旱出现次数以渭北区最多,河谷区次多,关山区最少。说明春季(3—5月)渭北区出现各种强度旱灾的气候风险最大,其次是河谷区,风险最小的是关山区。从表 1 还可以看出,各气候区域 Pa、SPI、Mi 这 3 个指标在判断 3—5 月旱灾发生与否一致性较好,但在等级的划分上均存在一定偏差,其分析结果 SPI 指标与实际记录更为吻合,这需要在今后的工作中对等级指标进行适量调整,使之更符合实际。

**2.1.2 干旱年际变化特征。**由于 SPI 更与实际吻合,因此,从各气候区的 SPI 指标年际变化(图 1)可看出,41 年来各气候区干旱发生的次数都是增多的。从各气候区干旱发生次数来看,麦积点 29 次干旱,20 世纪 70 年代出现 9 次,80 年代出现 4 次,90 年代出现 9 次,2001—2011 年出现 7 次;秦安 29

表 1 1971—2011 年春季(3—5月)天水各气候区 Mi、SPI、Pa 各等级的出现次数及频率

Table 1 The occurrence times and frequency of Mi, SPI, Pa drought grades in each climatic zone of Tianshui in spring (from March to May) during 1971—2011

气候区 Climatic zone	干旱等级 Drought index	Mi		SPI		Pa	
		次数 Times	频率 Frequency // %	次数 Times	频率 Frequency // %	次数 Times	频率 Frequency // %
河谷区(麦积) Hegu zone (Maiji)	轻	13	31.7	10	24.4	11	26.8
	中	12	29.3	10	24.4	9	22.0
	重	4	9.8	6	14.6	6	14.6
	特	0	0	3	7.3	4	9.8
	合计	29	70.7	29	70.7	30	73.2
渭北区(秦安) Weibei zone (Qin'an)	轻	9	22.0	9	22.0	9	22.0
	中	14	34.2	10	24.4	12	29.3
	重	9	22.0	7	17.1	2	4.9
	特	2	4.9	3	7.3	9	22.0
合计	34	82.9	29	70.7	32	78.1	
关山区(张家川) Guanshan zone (Zhangjiachuang)	轻	15	36.6	12	29.3	17	41.5
	中	6	14.6	10	24.4	9	22.0
	重	3	7.3	5	12.2	4	9.8
	特	0	0	2	4.9	2	4.9
	合计	24	58.5	29	70.7	32	78.1

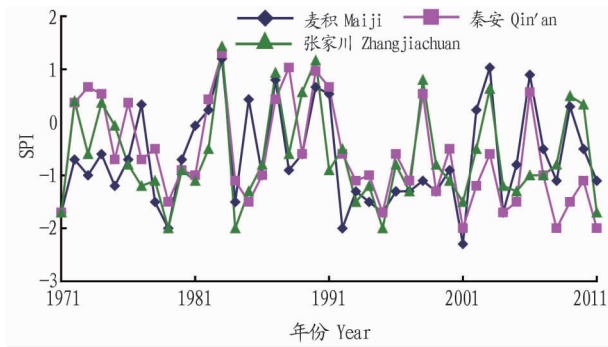


图1 1971—2011年天水各气候区春季SPI年际变化

Fig. 1 Annual changes of SPI in spring in Tianshui climatic zone during 1971-2011

次干旱,20世纪70年代出现6次,80年代出现5次,90年代出现8次,2001—2011年出现10次;张家川29次干旱,20世纪70年代出现7次,80年代出现5次,90年代出现9次,2001—2011年出现8次。可见,各气候区20世纪90年代后干旱次数明显多于90年代前,这其中又以80年代出现干旱次数最少,干旱出现的年份大部分是属于区域性的。发生全区域性的重旱年份出现在1971、1979、1995、2001年,共4年;发生区域性重旱年份出现在1978(麦积、张川)、1984(麦积、

张川)、1985(秦安、张川)、1992(麦积)、1993(张川)、1994(麦积)、2004(麦积、秦安)、2005(秦安)、2008(秦安)、2009(秦安)、2011(秦安),共11年,其中,麦积5年、秦安6年、张家川4年。

## 2.2 夏季(6—8月)干旱

**2.2.1 干旱出现频率、强度。**由表2可知,夏季河谷区干旱出现频率为6.1~6.8次/10a,其中,轻旱为2.2~4.6次/10a,中旱为1.0~2.7次/10a,重旱为0.5~1.5次/10a,特旱为0~0.5次/10a;渭北区干旱出现频率为5.6~5.9次/10a,其中,轻旱为2.4~3.9次/10a,中旱为1~1.7次/10a,重旱为0.5~0.7次/10a,特旱为0~0.7次/10a;关山区干旱出现频率为3.7~7.3次/10a,其中,轻旱为2.2~3.7次/10a,中旱为1.2~2.9次/10a,重旱为0.2~1.5次/10a,特旱为0~0.7次/10a。可见,3个气候区均表现出轻旱>中旱>重旱>特旱;旱灾总次数及各等级旱灾出现次数基本上是关山区略多于河谷区,河谷区略多于渭北区。说明夏季(6—8月)渭北区出现各种强度旱灾的气候风险小于河谷区和关山区。Mi、SPI、Pa这3个指标在各气候区的表现除Mi指标在关山区偏差较大外,其他均一致性较好,其分析结果SPI指标仍与实际记录相对吻合。

表2 1971—2011年夏季(6—8月)天水各气候区Mi、SPI、Pa各等级的出现次数及频率

Table 2 The occurrence times and frequency of Mi, SPI, Pa drought grade in each climatic zone of Tianshui in summer( from June to August) during 1971-2011

气候区 Climatic zone	干旱等级 Drought index	Mi		SPI		Pa	
		次数 Times	频率 Frequency//%	次数 Times	频率 Frequency//%	次数 Times	频率 Frequency//%
河谷区(麦积) Hegu zone(Maiji)	轻	19	46.3	9	22.0	13	31.7
	中	4	9.8	8	19.5	11	26.8
	重	3	7.3	6	14.6	2	4.9
	特	0	0	2	4.9	2	4.9
	合计	26	63.4	25	61.0	28	68.3
渭北区(秦安) Weibei zone (Qin'an)	轻	15	36.6	10	24.4	16	39.0
	中	6	14.6	7	17.1	4	9.8
	重	2	4.9	3	7.3	2	4.9
	特	0	0	3	7.3	2	4.9
合计	23	56.1	23	56.1	24	58.5	
关山区(张家川) Guanshan zone (Zhangjiachuan)	轻	9	22.0	12	29.3	15	36.6
	中	5	12.2	7	17.1	12	29.3
	重	1	2.4	6	14.6	2	4.9
	特	0	0	3	7.3	1	2.4
合计	15	36.6	28	68.3	30	73.2	

**2.2.2 干旱年际变化特征。**从图2可看出,麦积25次干旱,20世纪70年代出现6次,80年代出现3次,90年代出现8次,2001—2011年出现8次;秦安23次干旱,20世纪70年代出现6次,80年代出现4次,90年代出现8次,2001—2011年出现5次;张家川28次干旱,20世纪70年代出现7次,80年代出现4次,90年代出现8次,2001—2011年出现9次。与春季相同,41年来各气候区6—8月出现旱灾次数是增加的,仍表现出各气候区20世纪90年代后干旱次数是明显多于90年代前,且80年代出现干旱次数最少。干旱出现的年份大部分是属于区域性的,发生全区域性的重旱年份没有出

现过;发生区域性重旱年份出现在1971(张家川)、1973(麦积)、1974(麦积、张家川)、1977(麦积、张家川)、1982(麦积、张家川)、1987(麦积)、1994(秦安)、1997(张家川)、1998(麦积)、1999(麦积、秦安)、2000(秦安、张家川)、2002(秦安、张家川)、2006(秦安)、2008(张家川)、2009(秦安、张家川)、2011(麦积),共16年,其中,麦积8年、秦安6年、张家川9年。

## 2.3 秋季(9—10月)干旱

**2.3.1 干旱出现频率、强度。**由表3可知,秋季河谷区干旱出现频率为3.4~5.4次/10a,其中,轻旱为2.2~3.2次/10a,

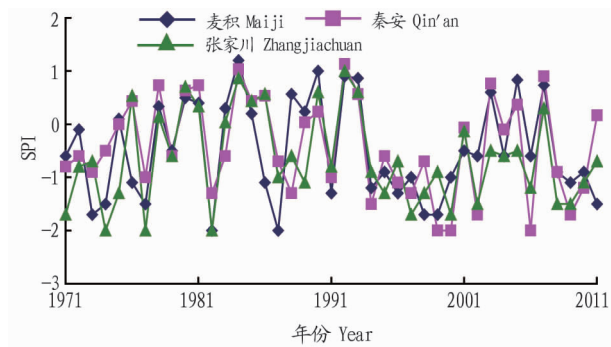


图 2 1971—2011 年天水各气候区夏季 SPI 年际变化

Fig. 2 Annual changes of SPI in summer in Tianshui climatic zone during 1971-2011

表 3 1971—2011 年秋季(9—10 月)天水各气候区 Mi、SPI、Pa 各等级的出现次数及频率

Table 3 The occurrence times and frequency of Mi, SPI, Pa drought grades in each climatic zone of Tianshui in autumn (from September to October) during 1971-2011

气候区 Climatic zone	干旱等级 Drought index	Mi		SPI		Pa	
		次数 Times	频率 Frequency // %	次数 Times	频率 Frequency // %	次数 Times	频率 Frequency // %
河谷区(麦积) Hegu zone (Maiji)	轻	13	31.7	9	22.0	10	24.4
	中	1	2.4	7	17.1	9	22.0
	重	0	0	4	9.8	1	2.4
	特	0	0	2	4.9	0	0
	合计	14	34.1	22	53.7	20	48.8
渭北区(秦安) Weibei zone (Qin'an)	轻	11	26.8	8	19.5	9	22.0
	中	6	14.6	8	19.5	9	22.0
	重	0	0	2	4.9	3	7.3
	特	0	0	2	4.9	1	2.4
	合计	17	41.5	20	48.8	22	53.7
关山区(张家川) Guanshan zone (Zhangjiachuang)	轻	5	12.2	10	24.4	12	29.3
	中	2	4.9	6	14.6	8	19.5
	重	0	0	4	9.8	1	2.4
	特	0	0	2	4.9	1	2.4
	合计	7	17.1	22	53.7	22	53.7

注:频率为各等级干旱出现次数/总资料年代×100%

Note: Frequency is each level drought number/total of years×100%

出现 4 次;张家川 22 次干旱,70 年代出现 3 次,80 年代出现 6 次,90 年代出现 8 次,2001—2011 年出现 5 次。可见,河谷、渭北区秋季干旱年际变化不明显,各年代多在 5~6 次/10 a 出现,关山区则以 20 世纪 90 年代偏多、70 年代偏少突出,其他时段趋同。全区域性重旱年份出现在 1981 年;区域性重旱年份出现在 1971(秦安、张家川)、1972(麦积、张家川)、1979(张家川)、1986(麦积)、1988(秦安)、1994(麦积、秦安)、1998(张家川)、2001(麦积)、2009(麦积、张家川),共 9 年,其中,麦积 5 年、秦安 3 年、张家川 5 年。

### 3 结论与讨论

利用 1971—2011 年天水地区河谷、渭北、关山区 3 个代表点的气象站资料,以湿润度指数(Mi)、标准化降水指数(SPI)、降水距平百分率(Pa)这 3 种干旱监测指标及等级划分为基础,对天水各气候区的春、夏、秋 3 个主要作物生长时段干旱气候演变特征进行分析。结果表明,春季(3—5 月)是天水干旱最严重的时段,各气候区有 10 年中出现 6~8 年干旱,中旱以上干旱河谷区 10 年中有 4~5 年、渭北区有 5~6 年、关山区有 2~4 年;夏季(6—8 月)是天水干旱次严重的时段,各气候区有 10 年中出现 6~7 年干旱,中旱以上干旱

中旱为 0.2~2.2 次/10 a,重旱为 0~1.0 次/10 a,特旱为 0~0.5 次/10 a;渭北区干旱出现频率为 4.2~5.4 次/10 a,其中,轻旱为 2.0~2.7 次/10 a,中旱为 1.5~2.2 次/10 a,重旱为 0~0.7 次/10 a,特旱为 0~0.5 次/10 a;关山区干旱出现频率为 1.7~5.4 次/10 a,其中,轻旱为 1.2~2.9 次/10 a,中旱为 0.5~2.0 次/10 a,重旱为 0~1.0 次/10 a,特旱为 0~0.5 次/10 a。这 3 个指标在各气候区的反应与春季类似,只是各等级旱灾出现次数明显少于春、夏季。

2.3.2 干旱年际变化特征。从图 3 可看出,麦积 22 次干旱,20 世纪 70 年代出现 5 次,80 年代出现 6 次,90 年代出现 5 次,2001—2011 年出现 6 次;秦安 20 次干旱,20 世纪 70 年代出现 5 次,80 年代出现 5 次,90 年代出现 6 次,2001—2011 年

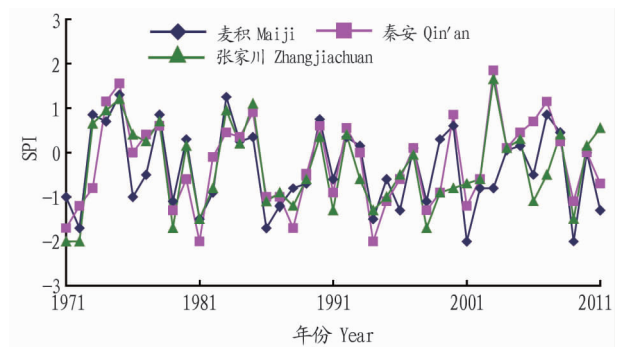


图 3 1971—2011 年天水各气候区秋季 SPI 年际变化

Fig. 3 Annual changes of SPI in autumn in Tianshui climatic zone during 1971-2011

谷区 10 年中有 2~4 年、渭北区有 2~3 年、关山区有 2~4 年;秋季(9—10 月)天水各地出现干旱的风险较小,各气候区有 10 年中出现 3~5 年干旱,中旱以上干旱河谷区 10 年中有 1~3 年、渭北区有 2~3 年、关山区有 1~3 年。春、夏、秋季干旱发生的主要年份在 20 世纪 90 年代初以后。

该研究以 Mi、SPI、Pa 对天水各气候区的干旱发生进行不同尺度、区域、年际间分析,并与实际对比,证明这 3 个指



标在天水干旱发生分析中均有较好的适用性,均能有效地评估天水各个时段出现的干旱气候风险,且SPI与实际更为吻合。Mi反映的是实际降水供给的水量与最大水分需要量的平衡,其在水天不同地区和不同时间尺度划分干旱等级时差别显大,且关山区略显突出;SPI是根据降水累积频率分布来划分干旱等级的,它反映了不同时间和地区的降水气候特点,其干旱等级划分标准具有气候意义,不同时段不同地区都较适宜;由于天水各季节的降水量变率差异较大,故利用Pa划分干旱等级对不同地区和不同时间尺度也有较大差别。

## 参考文献

- [1] HOUGHTON J T, DING Y, GRIGGS D J, et al. Climate change 2001: The scientific basis; Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001: 101.
- [2] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近45年来气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257-271.
- [3] 宋连春, 邓振镛, 董安祥, 等. 干旱[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 4-55.
- [4] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63-73.
- [5] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮. 中国近80年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 634-646.
- [6] 林学椿. 70年代末、80年代初气候跃变及影响[M]//中国科学院大气物理研究所. 东亚季风和中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998: 240-249.
- [7] MCCARTH J J, CANZIANI O F, LEARY N A, et al. Climate change 2001:

- Impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001: 1032.
- [8] 符淙斌, 董文杰, 温刚, 等. 全球变化的区域响应和适应[J]. 气象学报, 2003, 61(2): 245-249.
  - [9] YE D Z, JIANG Y D, DONG W J. The northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses [J]. Advances in atmospheric sciences, 2003, 20(6): 959-967.
  - [10] 谢金南, 李栋梁, 董安祥, 等. 甘肃省干旱气候变化及其对西部大开发的影响[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(3): 359-369.
  - [11] 李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135-142.
  - [12] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 我国西北地区近50年降水和温度的变化[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 9-18.
  - [13] 程胜龙, 王乃昂. 近70年来兰州城市气温的变化[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 558-563.
  - [14] 胡利平, 姚延锋, 裴古娥, 等. 天水地区近50年气温与降水变化特征[J]. 地理科学进展, 2009, 28(4): 651-656.
  - [15] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指标与Z指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523-529.
  - [16] 王劲松, 郭江勇, 周跃武, 等. 干旱指标研究的进展与展望[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 60-65.
  - [17] 魏凤英, 张婷. 东北地区干旱强度频率分布特征及其环流背景[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 1-7.
  - [18] 胡利平, 王润元, 张华兰, 等. 天水地区农业生态气候资源量化与评价[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 16-21.
  - [19] 张强, 邹旭恺, 肖风劲, 等. 气象干旱等级: GB/T 20481—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

(上接第155页)

该项目在园区内环湖道路、部分小园路、停车场采用高承载、防滑、路面无积水的彩色透水混凝土。彩色透水混凝土铺装打破了传统地面铺装二次加工的特点,只需将原材料送至现场,一次性浇筑成型,待正常养护7d以后(常温状态),根据设计选定的黑色(图15),在面层喷涂一层保护剂,该保护剂一方面是颜色的区分,另一方面能增加面层的耐磨性,并增强骨料的黏结度。该项施工技术在遵义属首次使用,它无需二次运输,节约了劳动力成本,而且一次成型施工提高了施工效率,降低了铺材成本,是一种能够让大众接受的色彩多样、平整度好、高渗透性、高景观性的节能减排、生态环保材料。鉴于遵义雨量持续时间长,该铺装材料的运用能迅速排净地表水,使其进入园区雨水系统,补充湖区蓄水,契合海绵城市建设要求。透水系数 $K \geq 1 \text{ mm/s}$ ,防滑指标 $\text{BPN} \geq 80$ ,抗折强度 $\geq 3.5 \text{ MPa}$ ,一系列指数均满足设计要求,达到实际效果,且与湿地公园的质朴、自然相协调。

## 5 结语

贵州恪守发展与生态的底线,利用当地地形地貌的优势,融合一定的历史、人文元素,综合大自然、民居、景观、旅游等多方面,真正把景观扩展到大地景观的领域,与国家提出的全域旅游契合,也形成农旅一体化的新形式。同时,贵州本为多雨省份,喀斯特地貌的特点导致地形、地貌较为复杂,依靠降水和地表径流自然形成的一些绵延数公里的水系,几百、上千甚至上万平方米的水塘或积水坑,不遇极端天气,不会干枯,完全可以在新区的城市化进程中结合总的规划以及周边自然景观与地貌、百姓民居集聚情况,或点、或面形成街边湿地,这些自然产物稍加改造,形成袖珍型湿地公



图15 路面铺装施工效果

Fig. 15 Pavement construction effect

园,构成海绵城市建设中的一个小细胞,而无需特地开挖土方,依靠自来水或中水供给要更加生态、自然,而且节约水资源。特有的新城湿地旅游景观效果,犹如街边绿地一样,给市民提供观赏、休憩、运动场所,形成新区提出的产、城、景一体的特有地域性海绵城市建设模式。

## 参考文献

- [1] 吴玲. 湿地植物与景观[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 15-33.
- [2] 王浩, 汪辉, 王胜永, 等. 城市湿地公园规划[M]. 南京: 东南大学出版社, 2008.
- [3] 邓辅唐. 审定植物及其工程应用[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2007.
- [4] 俞孔坚, 李迪华. 城市景观之路: 与市长们交流[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [5] 苏菲·巴尔波. 海绵城市[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2015.
- [6] 伍业钢. 海绵城市设计: 理念、技术、案例[M]. 北京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2015.
- [7] 遵义市东部新区新蒲湿地公园工程项目可行性研究报告[Z]. 贵阳: 贵州省建筑设计研究院, 2011.
- [8] 遵义市新蒲新区新蒲湿地公园洪水分析计算[Z]. 贵阳: 贵州省遵义市水利勘察设计院, 2011.