

# 气候变化背景下关中地区葡萄 水分盈亏变化特征

宋天媛,陈滇豫,胡笑涛,王文娥,汝晨,何雪霞

(西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100)

**摘要:**为研究关中西部半湿润地区葡萄水分盈亏情况,本文通过 Mann-Kendall 趋势检验、滑动  $t$  检验及 Morlet 小波分析等方法分析 1990—2019 年间葡萄需水量年际变化特征,通过水分盈亏指数(CWSDI)分析各月份及全生育期水分供应情况,以为关中地区葡萄科学灌溉提供参考。结果表明:葡萄全生育期需水量在 2015 年发生突变后呈显著上升趋势,需水量变化的第一主周期为 15 a。葡萄生育期内需水量总体呈先增加后减小趋势,各水文年型需水量差异在果实膨大期达到最大。不同水文年型均有发生干旱的可能性,其中葡萄 6 月份正值果实膨大期,但 CWSDI 呈降低趋势,应及时监测葡萄水分情况,防止水分亏缺造成减产。

**关键词:**水分盈亏;气候变化;葡萄;需水量;干旱等级

**中图分类号:**S663.1;S161.6 **文献标志码:**A

## Variation characteristics of grape water surplus and deficit in Guanzhong region under climate change

SONG Tianyuan, CHEN Dianyu, HU Xiaotao, WANG Wene, RU Chen, HE Xuexia

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To explore grape water surplus and deficit in the semi humid area of western Guanzhong, inter-annual change feature of grapes during 1990–2019 was analyzed using Mann-Kendall trend test, sliding  $t$ -test and Morlet wavelet analysis. Based on the crop water surplus deficit index (CWSDI), the water supplies in each month and the whole growth period were analyzed to offer referential guidance for grape irrigation scientifically in Guanzhong. According to the results, during the whole growth period, the major water demands of grapes unexpectedly changed in 2015 and then increased. The first main cycle of water demands change was 15 years. The water demands of grape underwent first increase and then decrease during the whole growth stage. The difference of water requirement of each hydrological year reached the maximum amount during the fruit expansion period. Drought was likely to happen in different hydrological years, in which, June was exactly the season for the expansion of grape fruits. However, CWSDI took on a decrease trend. Therefore, considering the reality, water contents of grapes should be monitored to prevent harvest failure from water deficit.

**Keywords:** crop water surplus deficit; climate change; grape; water demand; drought grade

葡萄是多年生藤本植物,具有较高经济价值和营养价值<sup>[1]</sup>。由于葡萄的生长发育期处于夏旱和伏旱高频率发生期,干旱已成为提高葡萄生产力的第一限制因素。陕西关中西部平原区属于灌溉条件较为优越的半湿润易旱地区<sup>[2]</sup>,因此,研究葡萄

需水量的变化特征与水分盈亏状况能够确定葡萄不同生育阶段发生干旱的风险,对提高葡萄产量和促进区域水资源高效利用具有重要意义。

作物需水量是指作物在适宜的土壤水分、肥力水平及其他管理条件下,经过正常生长发育并获得

高产时的植株蒸腾和裸间蒸发水量之和<sup>[3]</sup>,也是制定作物灌溉制度的基础。目前在葡萄需水量方面已有大量的研究,如雷筱等<sup>[4]</sup>对宁夏贺兰山麓滴灌葡萄耗水规律的研究表明葡萄果实膨大期为耗水高峰期,日均耗水量在 2.26~4.48 mm 之间,全生育期耗水总量在 316.16~475.15 mm 之间。Zhang 等<sup>[5]</sup>利用波文比-能量平衡法对西北干旱地区葡萄的耗水规律进行研究,结果表明全生育期总需水量为 226~399 mm。在葡萄栽培方面,有研究指出<sup>[6]</sup>,葡萄需水量高峰值出现在果实膨大期,占全生育期需水总量的 30%~40%。高德凯<sup>[7]</sup>研究发现,在葡萄萌芽期、果实膨大期和着色成熟期遭遇过度的干旱胁迫均会抑制植物正常生长。

气候变化对作物生长发育、产量及耗水量均产生影响,开展气候变化对作物需水量的研究有助于提高作物生产潜能<sup>[8]</sup>。近年来国内学者针对气候变化对作物需水量的影响展开大量研究。张新鼎等<sup>[9]</sup>采用 Penman-Monteith 公式、线性回归等方法分析了贵州省中西部 1960—2017 年玉米需水量的时空变化,研究发现 58 a 间该地区玉米需水量整体呈现不同程度的下降。曹言等<sup>[10]</sup>基于 1961—2013 年滇中地区 48 个气象站逐日气象数据,并利用 Penman-Monteith 公式和单作物系数法计算分析了近 53 a 滇中不同分区水稻不同生育期需水量,研究发现需水量呈显著减小趋势。国内学者关于作物需水量变化的研究主要集中在小麦、玉米、水稻等大宗粮食作物<sup>[11-14]</sup>,关于果树的研究相对较少,而针对陕西关中平原葡萄需水量及水分盈亏分析的研究更是鲜有报道。

近年随着葡萄产业的迅猛发展,陕西省葡萄种植面积及产量增加,水资源的供需矛盾日益尖锐,研究气候变化条件下葡萄需水变化规律及各生育期水分供应情况对制定科学灌溉策略、减少气候变化对葡萄生产的负面影响具有重要意义。因此,本研究从水分盈亏的角度分析 1990—2019 年关中平原葡萄需水量变化特征及葡萄水分盈亏情况,并对不同水文年葡萄需水量、水分盈亏以及干旱等级进行探讨,旨在为提高陕西关中平原地区水资源利用效率、实现葡萄园的节水灌溉提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区域地处陕西关中西部平原,四季分明,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,光照资源较为丰富,属于暖温带季风半湿润气候。多年平均气温 12.9℃,多年平均降雨量 579.5 mm,多年平均累积日

照时数 1 900 h,年有效积温( $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 4 180  $^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 221 d,年蒸发量在 900~1 100 mm 之间。根据最新陕西省统计年鉴,2021 年陕西省葡萄种植规模已突破 6.7 万  $\text{hm}^2$ 。研究区域葡萄果园地势平坦,根据国际制土壤质地分类标准,土壤类型为粉砂壤土。土壤容重为  $1.35\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,田间持水量为  $0.324\text{ cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ ,地下水埋深大于 12 m。

### 1.2 作物需水量、有效降雨量计算方法

采用 FAO 推荐公式<sup>[15]</sup>,根据葡萄不同生长阶段作物系数计算葡萄需水量,如式(1):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

式中, $ET_0$  为参考作物需水量( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ),采用 FAO-56 推荐的 Penman-Monteith 公式<sup>[15]</sup> 计算; $K_c$  为作物系数(无量纲),本文采用余昭君等<sup>[16]</sup> 根据当地气候及土壤条件修正后的  $K_c$  值, $K_c$  值在生长初始阶段、生育中期、成熟阶段分别为 0.30、0.78、0.50; $ET_c$  为实际作物需水量( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )。

有效降雨量采用美国农业部土壤保持局(USDA Soil Conservation Service)推荐的方法(USDA-SCS 法)进行计算<sup>[17]</sup>,公式如下:

$$P_e = \begin{cases} [P \times (125 - 0.6 \times P)] / 125 & P \leq 250/3 \\ (125/3) + 0.1 \times P & P > 250/3 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $P_e$  为有效降雨量(mm); $P$  为降雨量(mm)。

### 1.3 Mann-Kendall 检验法和滑动 $t$ 检验

Mann-Kendall (M-K) 检验法是一种基于非参数统计的检测方法,常用于分析降水、径流、气温等气象要素时间序列的趋势变化<sup>[18]</sup>。在 M-K 检验后,若存在突变点,可结合滑动  $t$  检验进行验证以增强突变分析结果的可信度<sup>[19]</sup>。本研究通过 M-K 检验和滑动  $t$  检验判定作物需水量的变化趋势及突变点。

### 1.4 Morlet 小波分析

Morlet 小波是一个 Gauss 包络的复小波,实部与虚部有  $90^{\circ}$  相位差,易得到信号的瞬时相位和频率等信息,具有良好的分辨率<sup>[20]</sup>。本研究通过小波等值线图和小波方差图判定作物需水量的变化周期。

### 1.5 水文年型划分

根据 1990—2019 年的降雨资料,分别统计每年降雨量之和并进行频率计算,由皮尔逊-III 型适线法<sup>[21]</sup> 可以得到不同水文年型的降雨量。从 1990—2019 年中筛选出与降雨频率  $P=25\%$ 、 $P=50\%$  和  $P=75\%$  对应的降雨量接近的年份作为典型年,故本研究选取 2006、2009、2013 年分别为典型湿润年、平水年和干旱年。不同水文年型月均降雨量如表 1 所示。

## 1.6 水分盈亏指数及干旱等级划分

水分盈亏指数是农业生产监测与管理方面的重要指标<sup>[22]</sup>,通过计算可以得到作物在各生育期的需水特性与水分供应情况。当有效降雨量小于作物需水量,说明天然降雨供应不足,若无其他水分来源作物会出现缺水。二者差值占同时期作物需水量比例越大,则干旱程度越严重,即:

$$CWSDI = (P_e - ET_c) / (ET_c) \quad (3)$$

式中, $CWSDI$ 为水分盈亏指数; $P_e$ 为有效降雨量(mm); $ET_c$ 为作物需水量(mm)。根据《中国农业干旱监测指标方法与等级划分》, $CWSDI > -0.50$ 为无旱(No Drought, ND), $-0.70 < CWSDI \leq -0.50$ 为轻旱(Light Drought, LD); $-0.85 < CWSDI \leq -0.70$ 为中旱(Moderate Drought, MD); $-0.95 < CWSDI \leq -0.85$ 为重旱(Severe Drought, SD); $CWSDI \leq -0.95$ 为特旱(Extreme Drought, ED)。

## 2 结果与分析

### 2.1 葡萄需水量年际变化特征

1990—2019年葡萄需水量M-K趋势检验及滑动 $t$ 检验如图1所示, $UF$ 、 $UB$ 曲线分别为时间正序

与逆序统计量曲线,通过分析统计序列 $UF$ 和 $UB$ 可以进一步分析序列的趋势变化。由图1a中 $UF$ 曲线可以看出,1990—2007年间葡萄需水量呈下降趋势,2008—2015年间需水量变化趋势不明显,2015年后呈显著上升趋势。 $UF$ 曲线和 $UB$ 曲线在2018年存在一个交点,且交点介于两条临界线之间,因此满足显著性要求( $P < 0.05$ ),由此可以初步判定在2015—2019年间葡萄需水量发生突变。通过M-K趋势检验得到可能发生突变的时间后,进一步通过滑动 $t$ 检验验证,如图1b所示,发生超出临界水平的时间为2015年附近,因此认为葡萄需水量在2015年发生了突变。

1990—2019年葡萄需水量周期分析如图2所示。图2a中等值曲线为小波系数实部值,实线代表需水量偏多期,虚线代表需水量偏少期,可以看出葡萄需水量在1990—2019年演变过程中存在10~20、2~5、5~8 a尺度的周期变化规律;其中在10~20 a尺度出现了准两次震荡,且此尺度周期变化在整个分析时段表现稳定,具有全域性。图2b中存在3个较为明显的峰值,依次对应着3、7、15 a的时间尺度;其中最大峰值对应15 a的时间尺度,说明15 a

表1 不同水文年型降雨量均值/mm

Table 1 Average rainfall in different hydrological years

月份 Month	干旱年 Dry year	平水年 Normal year	湿润年 Wet year	多年降雨量均值 Average monthly rainfall
1	7.78	6.24	4.90	6.22
2	10.01	8.75	9.88	9.62
3	14.94	31.80	30.71	25.74
4	35.14	42.91	44.25	40.85
5	47.98	60.14	60.73	56.32
6	59.06	78.47	74.17	70.28
7	49.97	89.79	100.59	80.84
8	64.64	88.19	100.59	110.58
9	68.36	80.99	142.91	101.55
10	48.45	48.45	63.10	54.31
11	16.92	28.13	14.38	18.89
12	5.71	4.90	2.76	4.31

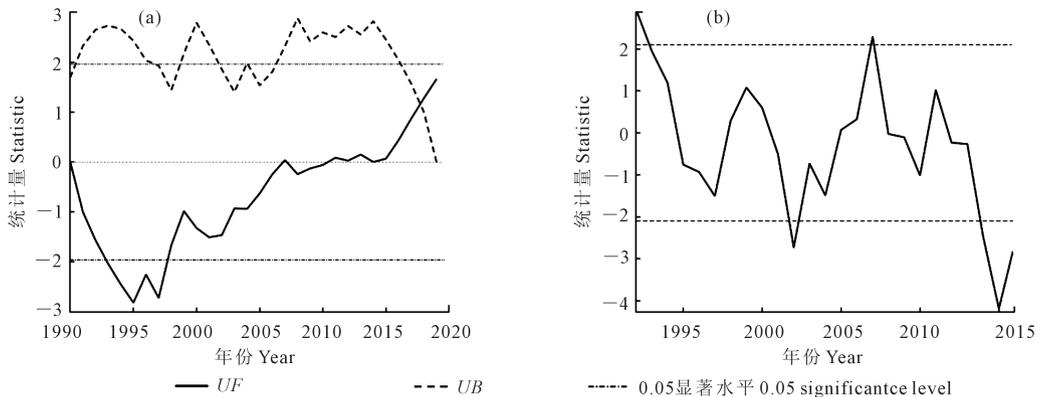


图1 1990—2019年葡萄需水量M-K趋势检验和滑动 $t$ 检验

Fig.1 Mann-Kendall trend test and sliding  $t$ -test of grape water requirement from 1990 to 2019

左右的震荡周期最强,为变化的第一主周期;3 a 时间尺度对应第二峰值,为第二主周期;第三峰值对应 7 a 的时间尺度,为第三主周期。

## 2.2 不同水文年型的葡萄需水量

本研究选取 2006、2009、2013 年分别为典型湿润年、平水年和干旱年,各典型年葡萄需水量如图 3 所示,图中各点代表每旬葡萄需水量的累积值。由图 3 可知,不同水文年型葡萄需水量总体呈先增加后减小趋势,湿润年、平水年、干旱年需水量分别为 269.5、331.4、358.9 mm。从葡萄生育期开始到 6 月中旬,各水文年中葡萄需水量总体呈增加趋势。干旱年和平水年中葡萄需水量在 6 月中旬达到极值,分别为 40.0 mm 和 37.8 mm;湿润年中葡萄需水量在 5 月下旬达到极值,为 27.8 mm。从 6 月中旬到葡萄生育期结束,各水文年中葡萄需水量总体呈降低趋势。对于不同水文年型,生育前期需水量差异较

小,生育盛期差异最大,生育后期差异减小。

## 2.3 水分盈亏指数的年际变化趋势

1990—2019 年葡萄生育期内水分盈亏指数 (*CWSDI*) 变化趋势如图 4a 所示,总体来看 90% 的年份 *CWSDI* 均为负值,多年平均值为 -26.22%。*CWSDI* 在 1990—1994 年间呈现逐渐降低趋势,从 4.27% 降低至 -53.21%;*CWSDI* 在 1995—2008 年间呈锯齿状变化,在 1997 年达到 30 a 内的第一个极小值点 (-69.52%),次年达到第一个极大值点 (9.93%);*CWSDI* 在 2009—2017 年间总体呈现减小趋势,*CWSDI* 值的变化幅度趋于平缓,均值为 -27.23%,且在多年均值附近波动;2018 年后,*CWSDI* 表现出逐渐增加的趋势。由图 4a 中的多年 *CWSDI* 拟合方程可知,*CWSDI* 值在 30 a 内总体呈小幅度上升趋势,但增长幅度不显著,这是由于多年内出现较多极值造成的。

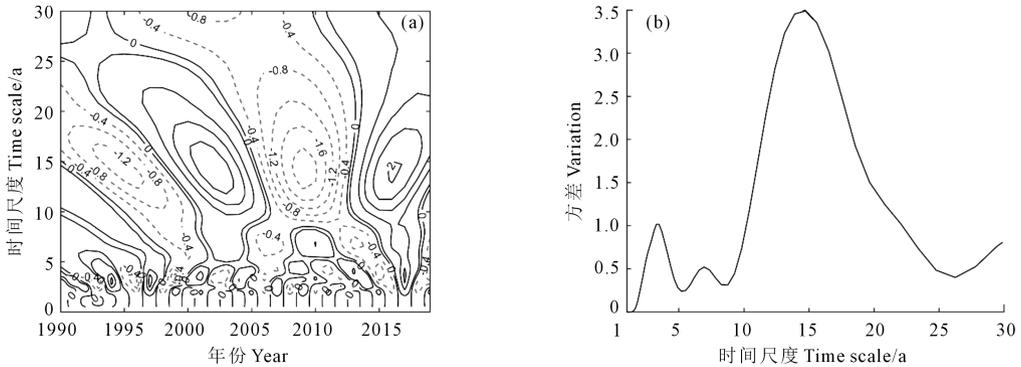


图 2 1990—2019 年葡萄需水量周期分析

Fig.2 Cycle analysis of grape water requirement from 1990 to 2019

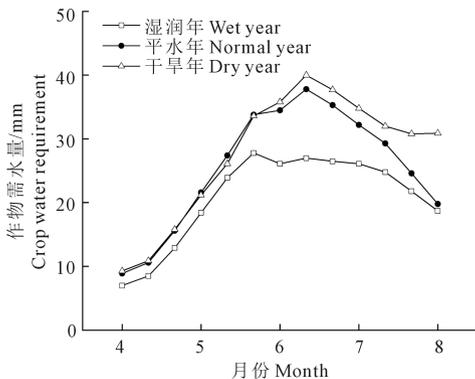


图 3 不同水文年葡萄需水量变化

Fig.3 Changes of water requirement in grape under different hydrological years

葡萄生长季 4—8 月份 *CWSDI* 值随年份的变化趋势如图 4b~f 所示。整体来看 4—6 月份 *CWSDI* 值呈降低趋势,其中 6 月份降低幅度最显著,而 7—8 月份 *CWSDI* 值呈增加趋势,其中 7 月份 *CWSDI* 值随年份的增加趋势不显著。4—8 月份 *CWSDI* 多年

平均值分别为 13.57%、-39.09%、-38.36%、-27.03% 和 50.16%。对比发现,5、6 和 7 月份的各年份 *CWSDI* 值总体小于 0,而 4 月份和 8 月份这种规律不明显。整个葡萄生长季 *CWSDI* 值的波动范围相对稳定,各年份 *CWSDI* 值较拟合趋势线的离散程度较小;4—8 月份 *CWSDI* 值随年份的波动幅度相对较大,尤其以 4 月份和 8 月份最为显著,表明葡萄生长季内不同月份的干旱程度存在明显差异。7 月份和 8 月份 *CWSDI* 值随年际的变化趋势总体相似,但 8 月份 *CWSDI* 值明显高于 7 月份。

## 2.4 不同水文年型干旱等级分析

不同水文年型各月份发生干旱的概率如表 2 所示。由表 2 可知,在 1990—2019 年的湿润年 4—8 月份均遭受干旱胁迫威胁;葡萄生育期内各月份干旱等级存在显著差异,其中湿润年中 4、7 和 8 月份无旱占比较高 (75%~91.67%);相比其他月份,湿润年中的 6 月份存在多种干旱等级,但中旱和重旱占

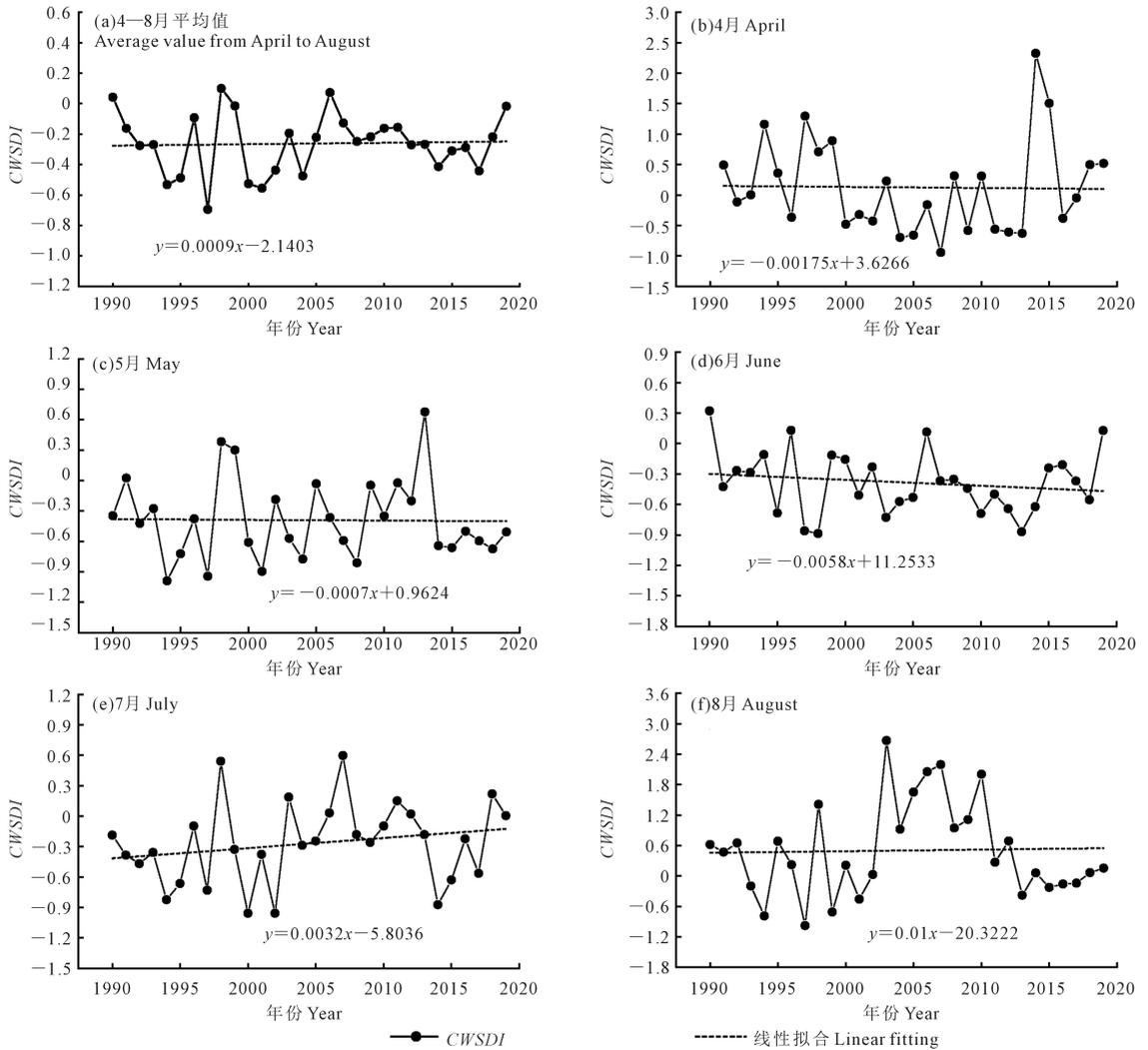


图 4 1990—2019 年葡萄水分盈亏指数 (CWSDI) 变化趋势

Fig.4 Change trend of CWSDI in grape from 1990 to 2019

表 2 葡萄生育期内干旱等级分析/%

Table 2 Drought grade analysis during the growth stage of grape

月份 Month	湿润年 Wet year					平水年 Normal year					干旱年 Dry year				
	ND	LD	MD	SD	ED	ND	LD	MD	SD	ED	ND	LD	MD	SD	ED
4	75.00	16.67		8.33		75.00	25.00				80.00	20.00			
5	58.33	41.67				50.00	37.50	12.50			40.00	10.00	20.00	20.00	10.00
6	58.33	25.00	8.33	8.33		75.00	25.00				50.00	30.00		20.00	
7	83.33	8.33		8.33		87.50	12.50				50.00	10.00	20.00		20.00
8	91.67		8.33			100.00					80.00		10.00		10.00

注:ND、LD、MD、SD、ED 分别表示无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱。

Note: ND, LD, MD and SD indicate no drought, light drought, moderate drought, severe drought and extreme drought, respectively.

比较低(8.33%)。与湿润年相比,平水年 6、7 和 8 月份的无旱占比有所提升,且各月份均不存在重旱和特旱风险。不同于湿润年和平水年,干旱年中各月份均存在不同的干旱等级事件,且主要增加了中旱、重旱和特旱发生的概率;除 4 月份外,其他月份均增加了干旱发生的概率,尤其 5 月份重旱和特旱发生的概率增加显著。

### 3 讨论

采用 M-K 趋势检验对关中地区葡萄需水量进行分析,从 1990—2019 年,葡萄生育期需水量呈现先下降后上升的变化规律,仅出现 1 个突变点,并未出现“反复震荡”的变化趋势。李雅善等<sup>[23]</sup>研究认为,近 30 a 来,甘肃省酿酒葡萄需水量一直呈现上

升趋势,这表明不同地区气候变化对葡萄需水量的影响有所不同。M-K 趋势检验对于均值突变的检测较为准确,但对于转折突变、变率突变等检验存在不确定性<sup>[24]</sup>。在本研究中,虽然在 30 a 间葡萄作物需水量仅存在一个突变点,但本研究将 M-K 趋势检验与滑动  $t$  检验相结合进一步印证了此突变点的真实性,这两种检验方法的结合对于作物需水量长时间序列变化规律的准确分析具有重要的参考价值。

通过对不同水文年型葡萄需水量的研究发现(图3),在萌芽期和新稍生长期作物需水量较低,这是因为该生育期气温较低、植株冠层覆盖度小,叶片蒸腾作用均较弱;开花后随着气温逐渐升高,葡萄叶片逐渐增多,蒸腾作用增强,使得作物需水量增加;6—7 月份果实迅速膨大且根系加速生长,同时太阳辐射和气温的升高使葡萄需水量达到峰值;着色成熟期气温略降低,生殖生长变缓,因此葡萄需水量变小。可以看出,葡萄生育期内需水量呈现先增后减的抛物线趋势,这与张芮等<sup>[25]</sup>研究结果一致。

对不同水文年型各月份干旱等级进行研究(表2),在干旱年5—7 月份发生干旱的概率更高,这是由于5—7 月份正值葡萄生殖生长的关键阶段,在灌溉水量有限的条件下应考虑优先分配至此时期以保证葡萄产量最大化。研究还发现,虽然在湿润年和平水年降雨量较为充沛,但5—6 月份依然有较大概率发生轻旱,其中应特别注意6 月份的葡萄水分亏缺状况。王开荣等<sup>[26]</sup>研究发现,萌芽期至开花期初始时水分亏缺有利于提高果实品质,故4—5 月份发生轻旱对葡萄负面影响较小,存在一定积极作用。葡萄在6 月份正值需水关键期,此时干旱胁迫会很大程度抑制植株生长进而降低果实产量。这表明在作物生育期内进行适度亏水,可以减少土壤水分的无效蒸发、降低植株蒸腾速率,从而达到提高作物水分生产力的目的。

关中地区发生夏旱频率较高,夏旱主要表现为伏旱,这是由于盛夏的西太平洋副热带高压和东南亚高压北跃不同步形成相对少雨期。有研究表明关中地区在不同水文年型均可能发生干旱<sup>[27]</sup>,以2017年(湿润年)为例,《中国水旱灾害公报》<sup>[28]</sup>指出,2017年7月6—25日陕西省大部分地区无明显降雨过程,7月下旬旱情严重;8月26日—10月12日全省具有大范围长历时的秋雨过程,形成洪涝灾害。由此可以看出,水文年型虽在一定程度上可以反映干旱发生的概率,但也应根据葡萄实际的水分

情况适时加以灌溉。

本研究仅从水分供需的角度考虑葡萄干旱情况,并未考虑其内在生长机理对气候变化的响应,下一步研究应进一步结合作物生长模型,定量分析葡萄水分盈亏与气候变化的关系。在了解作物需水规律的基础上,合理制定灌溉制度以应对未来气候变化对作物产量及品质带来的威胁。

## 4 结 论

1) 葡萄需水量在2015年发生突变后呈现显著上升趋势,15 a 为需水量变化的第一主周期。葡萄生育期内需水量呈先增加后减小变化趋势,在各水文年型中,葡萄需水量在果实膨大期差异达到最大。

2) 1990—2019年葡萄全生育期水分盈亏指数变化趋势较为平缓,平均值为-26.22%;4—6月份水分盈亏指数呈降低趋势,在6月份降低趋势显著。

3) 各水文年葡萄生育期内均存在不同程度的干旱风险,应尤其关注湿润年和平水年6月份葡萄水分亏缺情况,以确保葡萄需水关键期供水充足。

## 参 考 文 献:

- [1] 黄学春. 调亏灌溉对酿酒葡萄光合作用及果实生长发育的影响研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.  
HUANG X C. Research on effects of regulated deficit irrigation on photosynthesis and the fruit development of grapevine[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2014.
- [2] 温克刚, 翟佑安. 中国气象灾害大典: 陕西卷[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 5-6.  
WENKG, ZHAI Y A. China meteorological disaster ceremony: Shaanxi volume[M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 2005: 5-6.
- [3] 张建平, 王春乙, 杨晓光, 等. 未来气候变化对中国东北三省玉米需水量的影响预测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 50-55.  
ZHANG J P, WANG C Y, YANG X G, et al. Impact forecast of future climate change on maize water requirement in three provinces of northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(7): 50-55.
- [4] 雷筱, 周立华, 刘学军, 等. 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄耗水规律及灌溉制度优化研究[J]. 节水灌溉, 2017, (4): 41-46.  
LEI X, ZHOU L H, LIU X J, et al. A study on water consumption rule and irrigation schedule of wine grape in the eastern foot of Helan mountain of Ningxia[J]. Water Saving Irrigation, 2017, (4): 41-46.
- [5] ZHANG B Z, KANG S Z, LI F S, et al. Variation in vineyard evapotranspiration in an arid region of northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(11): 1898-1904.
- [6] 李瑞明. 吉林东部山区葡萄种植需水规律及灌溉制度初步研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2015.  
LI R M. The preliminary study on grape planting water requirement and irrigation system of the East mountain of Jilin province[D]. Changchun: Changchun Institute of Technology, 2015.
- [7] 高德凯. 土壤水分和栽培环境对葡萄品质和土壤呼吸的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.  
GAO D K. Effect of soil moisture and cultural environment for on grape

- quality and soil respiration [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.
- [8] 贺大兴. 极端气候对中国粮食产量影响的定量分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(4): 28-34.
- HE D X. Quantitative analysis on the effects of extreme climate on grain production in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(4): 28-34.
- [9] 张新鼎, 鄯红娟. 气候变化下贵州中西部玉米生态需水量变化研究[J]. 黔南民族师范学院学报, 2019, 39(4): 50-53.
- ZHANG X D, GAO H J. Ecology water demand of maize in central and western Guizhou province under climate change[J]. Journal of the Qian-nan Normal College for Nationalities, 2019, 39(4): 50-53.
- [10] 曹言, 王杰, 王树鹏, 等. 气候变化下滇中地区水稻需水量与灌溉需水指数时空变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(5): 226-235.
- CAO Y, WANG J, WANG S P, et al. Temporal and spatial variation analysis of water and irrigation requirement index of rice in central Yunnan province under climate change[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(5): 226-235.
- [11] 陈超, 庞艳梅, 潘学标. 气候变化背景下四川省单季稻水分盈亏的变化特征[J]. 自然资源学报, 2014, 29(9): 1508-1519.
- CHEN C, PANG Y M, PAN X B. Variation characteristics of single cropping rice water surplus deficit under the background of climate change in Sichuan province[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(9): 1508-1519.
- [12] 张玉芳, 王明田, 刘娟, 等. 基于水分盈亏指数的四川省玉米生育期干旱时空变化特征分析[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(2): 236-242.
- ZHANG Y F, WANG M T, LIU J, et al. Spatio-temporal characteristics of drought at different maize growth stages in Sichuan province as determined by water budget index[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2013, 21(2): 236-242.
- [13] 魏新光, 王铁良, 刘春成, 等. 基于组合模型的辽宁省玉米水分盈亏量时空分布特征研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 193-202.
- WEI X G, WANG T L, LIU C C, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of maize water budget based on combined model in Liaoning province [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 193-202.
- [14] 张顺谦, 邓彪, 杨云洁. 四川旱地作物水分盈亏变化及其与气候变化的关系[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 105-111.
- ZHANG S Q, DENG B, YANG Y J. Change of water budget for dryland crops and its response to climate change in Sichuan province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(10): 105-111.
- [15] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998: 75-76.
- [16] 余昭君, 胡笑涛, 冉辉, 等. 基于波文比-能量平衡法的半湿润地区葡萄园蒸发蒸腾量估算[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 175-183.
- YU Z J, HU X T, RAN H, et al. Estimation of grape evapotranspiration in semi-humid region based on Bowen ratio energy balance method[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(4): 175-183.
- [17] 水利部国际合作司. 美国国家灌溉工程手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998: 172-182.
- Department of International Cooperation, Ministry of Water Resources. American national irrigation engineering manual [M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 1998: 172-182.
- [18] 陈鑫, 刘艳丽, 刁艳芳, 等. 关河水库流域水文序列突变诊断与非一致性研究[J]. 中国农村水利水电, 2020, (5): 28-32.
- CHEN X, LIU Y L, DIAO Y F, et al. Research on the diagnosis of hydrologic series abrupt changes and inconsistency in Guanhe Reservoir basin[J]. China Rural Water and Hydropower, 2020, (5): 28-32.
- [19] DU R S, SHANG F H, MA N. Automatic mutation feature identification from well logging curves based on sliding t test algorithm[J]. Cluster Computing, 2019, 22(6): 14193-14200.
- [20] 陈沪生. 基于小波分析的安徽省降水特征分析及预测[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
- CHEN H S. Feature analysis and forecast of precipitation in Anhui province based on wavelet analysis[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [21] 宋茂斌, 冯宝平, 张展羽. 基于遗传算法的皮尔逊Ⅲ型曲线参数估计[J]. 中国农村水利水电, 2008, (6): 52-54.
- SONG M B, FENG B P, ZHANG Z Y. Pearson type III curve parameter estimations based on genetic algorithm[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008, (6): 52-54.
- [22] 魏新光, 王铁良, 李波, 等. 辽宁省玉米地水分盈亏时空分布特征及灌溉模式分区研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(23): 119-126.
- WEI X G, WANG T L, LI B, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of maize water surplus deficit and irrigation mode partition in Liaoning province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(23): 119-126.
- [23] 李雅善, 王振吉, 范树国, 等. 甘肃省近三十年来酿酒葡萄需水量时空差异及气候影响因素分析[J]. 北方园艺, 2015, (10): 190-195.
- LI Y S, WANG Z J, FAN S G, et al. Analysis of temporal-spatial variation and climate influencing factors on wine grape water requirement in Gansu province during the past 30 years [J]. Northern Horticulture, 2015, (10): 190-195.
- [24] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 58-66.
- WEI F Y. Modern climate statistical diagnosis and prediction technology [M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 1999: 58-66.
- [25] 张芮, 成自勇, 杨阿利, 等. 小管出流不同亏水时期对延后栽培葡萄耗水及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2): 164-168.
- ZHANG R, CHENG Z Y, YANG A L, et al. Research on water consumption and quality of greenhouse delayed cultivation grape under small tube flow deficit irrigation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(2): 164-168.
- [26] 王开荣, 李世诚, 杨天仪, 等. 调亏灌溉对大棚葡萄生长与结实的影响[J]. 江苏农业科学, 2008, (4): 140-143.
- WANG K R, LI S C, YANG T Y, et al. Effects of regulated deficit irrigation on new shoot growth and berry quality of protected grape[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2008, (4): 140-143.
- [27] 胡琳. 陕西干旱气候变化及对策研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2011.
- HU L. The study of change and countermeasures of drought climate in Shaanxi[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2011.
- [28] 国家防汛抗旱总指挥部, 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害公报-2016[M]. 北京: 中国地图出版社, 2017: 74-75.
- National Flood Control and Drought Relief Headquarters, Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China flood and drought disaster bulletin-2016 [M]. Beijing: China Map Publishing House, 2017: 74-75.