

河南省葡萄需水量的时空变化趋势及影响因素分析

黎世民¹,罗诗峰²,臧贺藏³,赵晴³,
胡峰³,张建涛³,李国领⁴,张杰³,郑国清³

(1. 河南省农业科学院,河南 郑州 450002; 2. 河南省农村能源环境保护总站,河南 郑州 450000;
3. 河南省农业科学院 农业经济与信息研究所/河南省智慧农业工程技术研究中心,
河南 郑州 450002; 4. 河南省农业科学院 小麦研究所,河南 郑州 450002)

摘要: 基于河南省 1960—2015 年的 17 个基本气象站点的气象资料,采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式和作物系数法计算了河南省葡萄需水量;并利用线性趋势分析法和 Mann-Kendall 非参数检验法,对葡萄生育期需水量和不同月份需水量的年际变化趋势进行了分析。同时,也对其与气象因子的相关性进行了探讨。结果表明,1960—2015 年,河南省葡萄生育期平均需水量为 451.71 mm。56 a 来,除 4 月份葡萄需水量呈不显著的上升趋势外,其他月份的需水量均呈下降趋势,尤其是 6 月、7 月和 8 月的需水量均呈显著下降趋势。葡萄生育期需水量的空间分布特征为自西北向东南逐渐降低,豫西葡萄生育期平均需水量最高,为 460.82 mm,豫南葡萄生育期平均需水量最低,为 438.15 mm。对影响河南省葡萄生育期需水量的气象因子进行相关性分析表明,日照时数和平均风速与葡萄生育期需水量有极显著正相关性,平均相对湿度与生育期需水量呈极显著负相关性。

关键词: 河南省; 葡萄; Penman-Monteith 公式; 作物需水量; 气象因子

中图分类号: S685 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2019)03-0108-07

Analysis of Spatiotemporal Variation Trend and Climate Influencing Factors of Grape Water Demand in Henan Province

LI Shimin¹, LUO Shifeng², ZANG Hecang³, ZHAO Qing³,
HU Feng³, ZHANG Jiantao³, LI Guoling⁴, ZHANG Jie³, ZHENG Guoqing³

(1. Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. The Rural Energy and Environmental Protection Station of Henan Province, Zhengzhou 450000, China; 3. Agricultural Economy & Information Research Institution, Henan Academy of Agricultural Sciences/Research Center for Smart Agriculture Engineering and Technology of Henan Province, Zhengzhou 450002, China;
4. Wheat Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Basing on the meteorological data obtained from 17 basic meteorological stations in Henan province between 1960 and 2015, this essay calculated water requirement of grape in Henan province during growth period by using Penman-Monteith formula and crop coefficient method. Linear trend analysis method and Mann-Kendall nonparametric test method were also used to analyze the interannual variation tendency of water requirement in the whole growth period and different month of grape.

收稿日期:2018-11-20

基金项目:河南省科技攻关项目(172102410058);河南省财政预算项目(豫财贸[2017]14 号)

作者简介:黎世民(1978-),男,河南许昌人,助理研究员,主要从事农业信息化研究。E-mail:mbalsm@126.com

通信作者:张杰(1979-),女,河南淅川人,副研究员,博士,主要从事农业信息技术研究。E-mail:mooncatmlz@163.com

郑国清(1964-),男,河南淅川人,研究员,博士,主要从事农业信息技术研究。E-mail:zgqzx@hnagri.org.cn

Meanwhile, the correlation between water requirement and meteorological factors was investigated. The results showed that the average water requirement of grape was 451.71 mm from 1960 to 2015. Over the past 56 years, except that the grape water demand in April showed an insignificant upward trend, the average water demand in other months showed a downward trend, especially in June, July and August, showed a significant downward trend. The spatial distribution characteristics of water requirement during grape growth period was gradually decrease from northwest to southeast, with the highest demand in the western Henan as 460.82 mm and the lowest in the southern Henan as 438.15 mm. The analysis of meteorological factors influencing grape water requirement in Henan province indicated that the average wind velocity and sunshine duration had a remarkably positive correlation with the water requirement of grape. Whereas there was a negative correlation between average relative humidity and water requirement.

Key words: Henan province; Grape; Penman-Monteith; Crop water requirement; Meteorological factors

作物需水量是确定作物灌溉制度以及灌溉用水量的基础,是流域规划、地区水利规划、灌溉工程规划设计和管理的基本依据^[1]。目前,针对作物需水量时空变化规律的研究较多。刘钰等^[2]采用 FAO 推荐的 Penman – Monteith 方法和作物系数法,分析了小麦、玉米、棉花和水稻的作物需水量。刘晓英等^[3]对华北地区的冬小麦和夏玉米需水量近 50 a 变化趋势及原因进行了分析。高晓容等^[4]计算了玉米 4 个生育阶段的需水量,揭示东北玉米 4 个生育阶段水分供需的时空规律;并以作物水分盈亏指数为评价指标,分析近 50 a 东北玉米不同生育阶段的旱涝分布及演变。王梅等^[5]、刘玉春等^[6]和罗那那等^[7]通过计算棉花需水量,分析了棉花需水量年际变化趋势和空间分布,进一步确定了棉花需水量总体呈下降趋势。曹永强等^[8]以河北省鸡泽县为典型区域,利用 Penman – Monteith 公式和分段单值平均作物系数法计算了冬小麦、夏玉米和棉花的有效降雨量及需水规律,并分析了其变化趋势及突变现象。刘小刚等^[9]也利用 Penman – Monteith 公式研究了河南省冬小麦和夏玉米各生育时期需水量时空变化特征,并采用通径分析法确定了影响河南省主粮作物需水量的气象因子。关于果树的需水量变化研究,国内学者主要分析了甘肃、云南等干旱区域酿酒葡萄需水量的时空差异^[10-12],而针对河南省的葡萄需水量分析却鲜见报道。

河南省是水资源严重短缺地区,人均水资源量仅为全国平均水平的 1/5,并且作为农业大省和粮食大省,农业用水占极大的比例,部分地区超用超采地下水现象严重,水资源形势十分严峻。近几年来,随着葡萄产业的迅速发展,河南省部分市县作为黄河故道区的一部分,是我国新兴的最具发展潜力的葡萄生产基地,葡萄种植面积和产量也逐年增加,水资源的供需矛盾也日益尖锐。因此,利用河南省 17 个代表站

点的气象数据,从作物需水量的角度分析了 1960—2015 年的河南省葡萄需水量的分布特征和变化趋势,旨在为提高河南省葡萄水资源利用效率,实现葡萄园的节水灌溉和水分管理提供理论支撑。

1 材料和方法

1.1 数据来源

选取河南省 17 个标准气象站点(图 1)1960—2015 年的逐日气象数据。数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>),所使用的气象数据包括平均气温、平均风速、最高气温、最低气温、日照时数、平均相对湿度等,以及各气象站点的经纬度、海拔高度等地理特征数值。根据河南省葡萄萌芽和落叶时间,选择 4 月初到 10 月底进行需水量的研究。

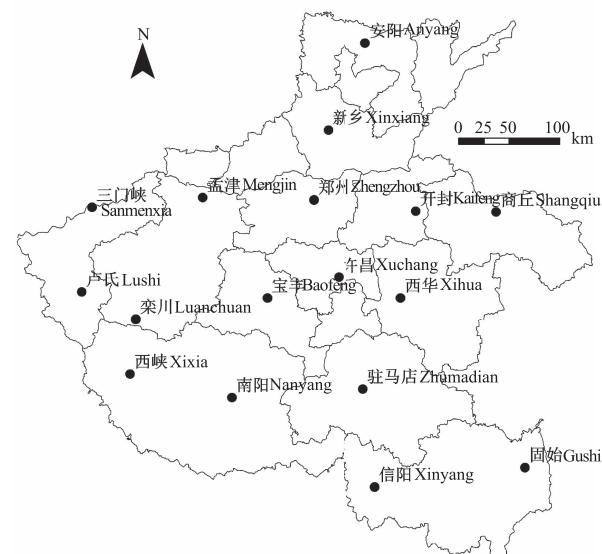


图 1 供试河南省气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations
in Henan province

1.2 研究方法

1.2.1 葡萄需水量 葡萄需水量采用 Penman – Monteith 公式计算^[13]：

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

式中, ET_c 为作物需水量 (mm/d), ET_0 为参考作物蒸散量 (mm/d), k_c 为作物系数。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+27B} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

式中, ET_0 为参考作物蒸散量 (mm/d); Δ 为饱

和水汽压 – 温度曲线斜率 (kPa/°C); R_n 为净辐射 [MJ/(m² · d)]; G 为土壤热通量 [MJ/(m² · d)], 逐日计算时 $G \approx 0$; γ 为干湿表常数 (kPa/°C); T 为日平均气温 (°C); u_2 为 2 m 高处风速 (m/s); e_s 为饱和水汽压 (kPa); e_a 为实际水汽压 (kPa)。

1.2.2 作物系数的确定 由于缺少河南省的实测试验数据, 所以采用 FAO 推荐的方法^[13], 借鉴 ROMERO 等^[14]的葡萄作物系数(表 1)。

表 1 葡萄的作物系数

Tab. 1 Crop coefficients of grape

月份 Month	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October
作物系数 k_c	0.35	0.45	0.52	0.76	0.70	0.60	0.45

1.2.3 Mann – Kendall 趋势检验 Mann – Kendall 趋势检验是非参数统计方法, 其优点是不需要样本遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 更适用于类型变量和时间序列变量, 计算也比较简单。假设具有 n 个独立、随机样本的时间序列 $x(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $i, j \leq n, i \neq j$, 计算公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (3)$$

其中, $\text{sign}()$ 为符号函数, 当 $\text{sign}(x_j - x_i)$ 小于、等于或大于 0 时, $\text{sign}(x_j - x_i)$ 分别为 -1、0 或 1。 S 为正态分布, 其均值为 0, 方差 $\text{var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$ 。

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Z 值为正值表示增加趋势, 负值表示减少趋势。 Z 的绝对值在大于等于 1.28、1.64 和 2.32 时表示通过了置信度 90%、95% 和 99% 的显著性检验。

Mann – Kendall 法突变检测: 设时间序列为 x_1, x_2, \dots, x_n , S_k 表示第 i 个样本 $x_i > x_j (1 \leq j \leq i)$ 的累计数, 定义统计量:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i r_i = \begin{cases} 1, x_i > x_j & (j = 1, 2, \dots, i; k = 1, 2, \dots, n) \\ 0, x_i \leq x_j & \end{cases} \quad (5)$$

在时间序列随机独立的假定下, S_k 的均值和方差分别为:

$$\text{E}[S_k] = k(k-1)/4,$$

$$\text{var}[S_k] = k(k-1)(2k+5)/72 \quad 1 \leq k \leq n \quad (6)$$

将 S_k 标准化:

$$UF_k = \frac{(S_k - \text{E}[S_k])}{\sqrt{\text{var}[S_k]}} \quad (7)$$

其中, $UF_1 = 0$ 。给定显著性水平 α , 若 $|UF_k| > U_\alpha$, 表明序列存在明显的趋势变化。将此方法引用到反序列, x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 表示为 x'_1, x'_2, \dots, x'_n 。 \bar{r}_i 表示第 i 个样本 x_i 大于 $x_j (i \leq j \leq n)$ 的累计数。当 $i' = n + 1 - i$ 时, $\bar{r}_i = r'_{i'}$, 则反序列的 UB_k 为:

$$UB_k = -UF_k, i' = n + 1 - i \quad i, i' = 1, 2, L, n \dots \quad (8)$$

1.3 数据处理

采用 Excel 进行葡萄需水量的年际变化趋势分析并作图, MATLAB 软件进行 Mann – Kendall 趋势检验, 应用 SAS 软件进行数据的通径分析。

2 结果与分析

2.1 葡萄需水量的变化特征

由表 2 可知, 1960—2015 年, 葡萄生育期需水量为 406.09 ~ 499.96 mm, 平均为 451.71 mm, 折合 2.11 mm/d。葡萄需水量随生育期的推进呈“抛物线”型变化趋势。其中, 4 月份作为果树生长初期, 平均需水量为 36.52 mm, 折合 1.22 mm/d, 占葡萄生育期需水量的 8.08%; 5 月份的平均需水量为 60.89 mm, 折合 1.96 mm/d, 占生育期需水量的 13.48%; 6 月、7 月和 8 月作为葡萄需水量最大的生长旺盛期, 平均需水量分别为 78.53、104.48、86.15 mm, 折合 2.62、3.37、2.78 mm/d, 分别占生育期需水量的 17.39%、23.13%、19.07%; 9、10 月份作为葡萄生长后期, 平均需水量分别为 54.19、30.95 mm, 折合 1.81、1.03 mm/d, 占生育期需水量的 12.00%、6.85%。

河南省作物需水量空间分析结果表明, 葡萄生

育期平均需水量呈西北高东南低的态势,豫西高于豫东,豫北高于豫南。其中,豫西地区的葡萄生育期平均需水量最高,为460.82 mm;其次是豫北、豫中和豫东地区,分别为456.75、453.61、449.26 mm;豫

南地区的葡萄生育期平均需水量最低,为438.12 mm。17个气象站点中豫西地区的栾川葡萄生育期平均需水量最高,为499.96 mm;卢氏葡萄生育期平均需水量最低,为406.09 mm。

表2 1960—2015年河南省葡萄需水量空间分布

Tab. 2 Spatial variations of grape water requirement in Henan province from 1960 to 2015

分区 Regions	气象站点 Meteorological stations	生育期 Whole growth period	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October	mm
豫东 Eastern Henan	商丘	444.10	35.60	60.49	78.52	101.94	83.59	53.67	30.29	
	西华	435.98	34.15	57.10	75.22	102.64	85.09	52.63	29.16	
	开封	467.69	39.07	65.14	83.13	104.80	86.92	56.03	32.59	
	平均	449.26	36.27	60.91	78.96	103.13	85.20	54.11	30.68	
豫南 Southern Henan	固始	442.75	33.40	56.02	69.67	106.01	89.46	55.69	32.50	
	南阳	436.55	33.39	55.75	73.14	101.33	88.65	54.13	30.16	
	驻马店	435.22	33.45	56.43	74.70	102.58	83.74	53.23	31.08	
	信阳	437.95	34.66	55.73	68.87	107.77	87.51	53.47	29.93	
豫西 Western Henan	平均	438.12	33.73	55.99	71.60	104.42	87.34	54.13	30.92	
	卢氏	406.09	32.92	52.32	67.79	100.09	81.30	46.78	24.90	
	三门峡	479.08	38.78	64.03	81.89	114.10	94.22	55.73	30.33	
	栾川	499.96	42.48	65.73	81.71	114.83	95.76	60.98	38.47	
豫北 Northern Henan	西峡	447.00	34.78	58.38	76.12	103.94	87.32	54.15	32.31	
	孟津	471.99	39.47	66.71	85.62	105.63	85.44	55.24	33.88	
	平均	460.82	37.69	61.43	78.62	107.72	88.81	54.57	31.98	
	安阳	459.92	39.15	65.73	83.79	103.09	83.81	54.57	29.78	
豫中 Central Henan	新乡	453.59	37.78	62.87	79.91	102.92	86.41	54.07	29.62	
	平均	456.75	38.47	64.30	81.85	103.01	85.11	54.32	29.70	
	郑州	463.62	38.60	64.87	83.50	105.16	85.17	54.47	31.84	
	宝丰	454.19	35.82	61.27	82.68	104.28	84.17	53.78	32.19	
区域统计 Regional statistics	许昌	443.01	34.91	59.25	78.71	102.96	83.56	53.19	30.43	
	平均	453.61	36.45	61.79	81.63	104.13	84.30	53.81	31.49	
	最大	499.96	42.48	66.71	85.62	114.83	95.76	60.98	38.47	
	最小	406.09	32.92	52.32	67.79	101.33	83.56	46.78	24.90	
平均		451.71	36.52	60.89	78.53	104.48	86.15	54.19	30.95	

2.2 葡萄需水量的时间变化特征及趋势分析

由图2可知,1960—2015年河南省葡萄生育期的需水量随年份增加呈下降趋势,趋势系数为-1.118 mm/a,但不同月份的需水量变化趋势和趋势系数略有不同。从变化趋势来看,葡萄不同月份的需水量变化除4月随年份增加呈上升趋势(趋势系数为0.028 mm/a)外,其他各月份的需水量均随年份增加呈下降趋势,其中6月、7月和8月的需水量随年份下降趋势明显,趋势系数平均为-0.336 mm/a。

利用Mann-Kendall方法对葡萄生育期和不同月份需水量变化趋势进行检验(表3),结果表明,葡萄生育期的平均需水量下降趋势显著,6月、7月和8月的需水量下降趋势显著。

对河南省葡萄生育期需水量进行Mann-Kendall突变检验,结果如图3所示。由UF曲线可知,

自20世纪70年代初期,河南省葡萄生育期需水量有明显的下降趋势,并且1980—2015年这种下降趋势达到了0.05显著性水平,说明葡萄需水量下降趋势十分明显。正序曲线UF和逆序曲线UB在置信度区间于1979年有一个交点,表明河南省葡萄需水量下降是突变现象,突变开始时间为1979年。

2.3 气象因子对葡萄生育期需水量的影响

为了分析影响河南省葡萄生育期需水量差异性的主导因素,选取平均风速(X_1)、平均相对湿度(X_2)、日照时数(X_3)、最低气温(X_4)、最高气温(X_5)和平均气温(X_6)6个基本气象因子与葡萄生育期需水量进行通径系数的计算和显著性检验,分析各气象因子对作物需水量的直接作用(通径系数)和间接作用,结果见表4。

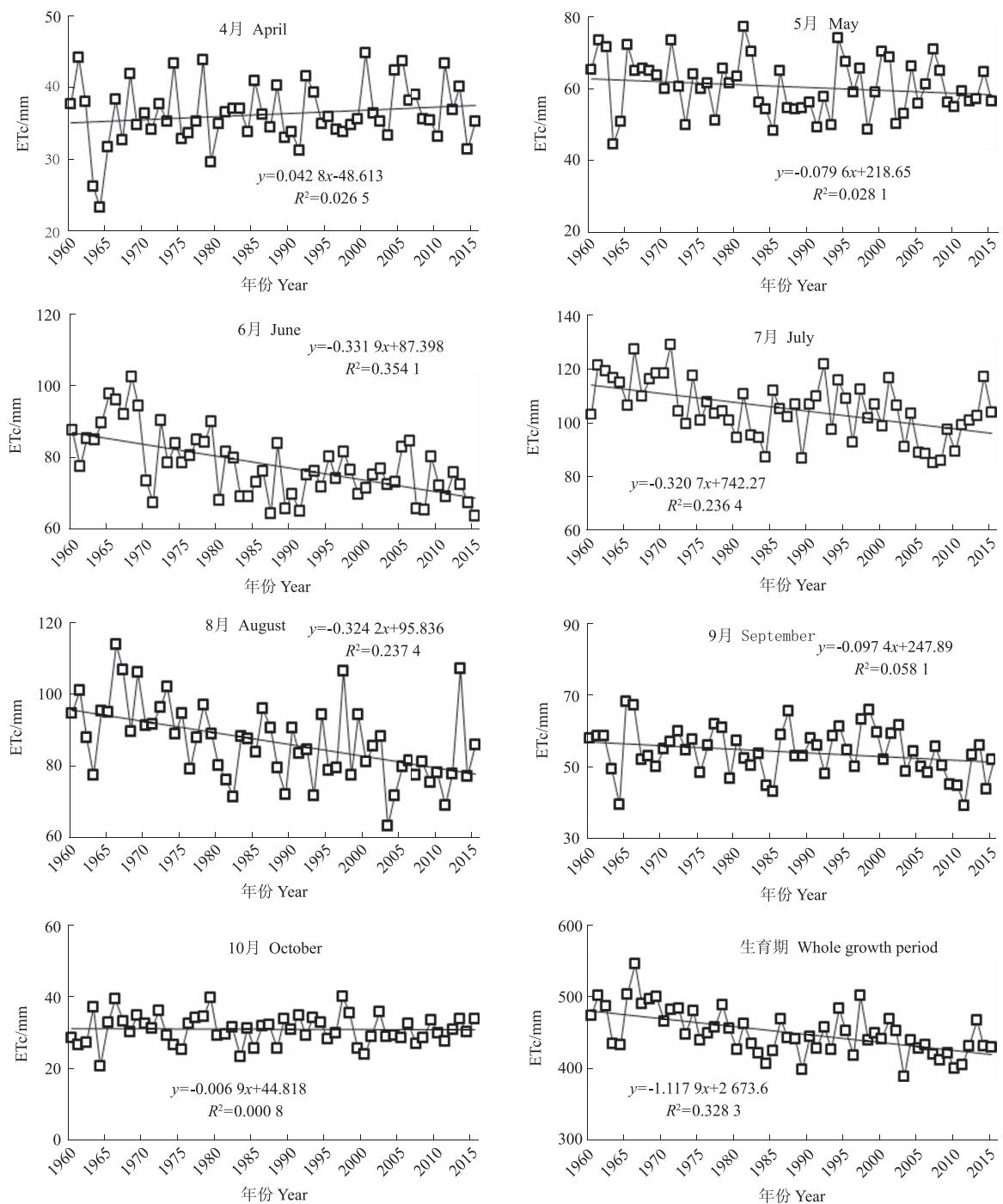


图 2 1960—2015 年河南省葡萄需水量的时间变化特征

Fig. 2 The time variation characteristics of grape water requirement in Henan province from 1960 to 2015

表 3 葡萄需水量 Mann-Kendall 变化趋势检验

Tab. 3 Mann-Kendall test of grape water requirement change trend

项目 Item	生育期 Whole growth period	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October
Z 值 Z value	-4.453 ***	0.827	-1.293 *	-4.325 ***	-3.548 ***	-4.064 ***	-1.703 **	-0.304

注：*、** 和 *** 分别表示通过了置信度 90%、95% 和 99% 的显著性检验。

Note: *、** and *** mean that they have passed the significance test of 90%, 95% and 99% confidence.

各气象因子的直接通径系数由大到小依次为日照时数(X_3)、平均风速(X_1)、平均气温(X_6)、平均相对湿度(X_2)、最低气温(X_4)和最高气温(X_5)。其中,日照时数(X_3)、平均风速(X_1)、平均气温(X_6)与需水量呈极显著正相关关系,说明日照时数、平均风速和平均气温对葡萄生育期需水量有促进作用;平均相对湿度(X_2)和最低气温(X_4)与需水量呈负相关关系,且平均相对湿度与需水量的相关性极显著,说明平均相对湿度对葡萄生育期需水量有抑制作用。对各因子的间接通径系数分析结果表明,平均风速和日照时数之间的相互作用效应明显。

不同气象因子的偏相关性分析结果表明,平均风速(X_1)除与最高气温(X_5)无显著相关外,与其他气象因子均呈极显著相关;平均相对湿度(X_2)与日照时数(X_3)呈极显著正相关,与最高气温(X_5)呈极显著负相关。

表4 葡萄生育期需水量影响因素的通径分析

Tab. 4 Path analysis between meteorological factors and water requirement of grape growth period

因子 Factors	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct path coefficient	间接作用 Indirect path coefficient						间接作用总和 Total of indirect path coefficient
			X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	
X_1	0.699 **	0.405 **		-0.022	0.347	0.017	0.000	-0.047	0.295
X_2	-0.492 **	-0.223 **	0.041		-0.150	0.012	-0.014	-0.157	-0.268
X_3	0.903 **	0.532 **	0.264	0.063		0.028	0.008	0.010	0.373
X_4	-0.184	-0.059	-0.115	0.044	-0.245		0.007	0.183	-0.126
X_5	0.613 **	0.018	0.010	0.175	0.222	-0.022		0.210	0.595
X_6	0.306 *	0.250 **	-0.077	0.140	0.020	-0.043	0.017		0.057

注: ** 表示极显著差异($P < 0.01$), * 表示显著差异($P < 0.05$)。

Note: ** indicates extremely significant difference ($P < 0.01$), * indicates significant difference ($P < 0.05$).

3 结论与讨论

本研究结果表明,1960—2015年河南省葡萄生育期需水量整体呈下降趋势,尤其是在葡萄的浆果生长阶段(6月、7月、8月)下降趋势明显。其中,生育期平均需水量为451.71 mm,最大值出现在1966年(546.35 mm),最小值出现在2003年(391.10 mm),但李雅善等^[11]的研究表明,近30年来,甘肃省酿酒葡萄需水量呈现上升趋势,这表明不同地区气候变化对葡萄需水量的影响不同。

气象因素是影响作物需水量的主要因素,作物需水量因地区和时间有明显差异^[15],因此采用不同时期的数据和分析方法也会产生不同的结论。本研究结果表明,1960—2015年影响河南省葡萄需水量的主要气象因素为平均风速、日照时数和平均相对湿度,这与尹海霞等^[16]对春小麦和玉米的需水量主要气象影响因子的研究结果一致。本研究结果中,日照时数对葡萄需水量的影响度最高,而姬兴杰

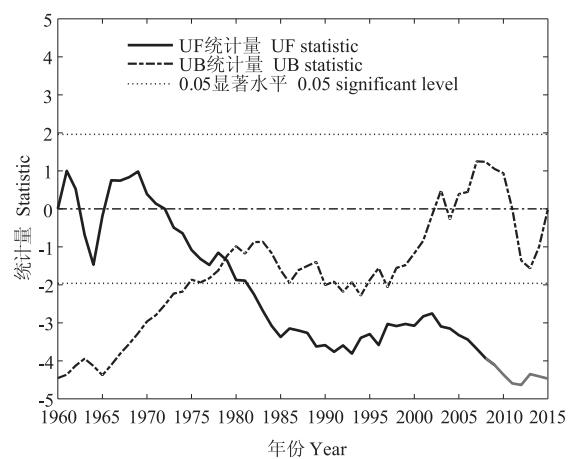


图3 1960—2015年河南省葡萄生育期需水量的Mann-Kendall检验

Fig. 3 Mann-Kendall test of water requirement during grape growth period in Henan province from 1960 to 2015

等^[17]和周迎平等^[18]研究表明,平均风速对作物需水量的影响最为明显。李雅善等^[11]对甘肃省1982—2011年葡萄需水量的研究认为,气温是影响需水量的主要气象因素。

本研究在计算作物需水量时,一因缺乏关于河南省及临近地区的葡萄作物系数的相关试验资料,二因国内外学者的研究主要集中在干旱、半干旱地区酿酒葡萄的需水量,而针对鲜食葡萄的需水量研究较少,因此,采用ROMERO等^[14]在干旱地区试验获得的逐月的作物系数进行河南省葡萄需水量分析,其分析结果对葡萄需水量的具体量化值具有一定的影响,但对其需水量的变化规律影响不明显。

参考文献:

- [1] 房军,方小宇,吕东玉,等.丘陵半干旱区作物需水规律的研究进展[J].安徽农业科学,2006,34(19):4847-4849.
- [2] 刘钰,汪林,倪广恒,等.中国主要作物灌溉需水量空

- 间分布特征 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(12):6-12.
- [3] 刘晓英, 李玉中, 郝卫平. 华北主要作物需水量近 50 年变化趋势及原因 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 155-159.
- [4] 高晓容, 王春乙, 张继权, 等. 近 50 年东北玉米生育阶段需水量及旱涝时空变化 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(12):101-109.
- [5] 王梅, 杨倩, 郑江华, 等. 1963—2012 年新疆棉花需水量时空分布特征 [J]. 生态学报, 2016, 36(13): 4122-4130.
- [6] 刘玉春, 姜红安, 李存东, 等. 河北省棉花灌溉需水量与灌溉需求指数分析 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(19):98-104.
- [7] 罗那那, 巴特尔·巴克. 北疆地区棉花作物需水量时空演变及其气象影响因子 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(10):3305-3313.
- [8] 曹永强, 朱明丽, 李维佳. 河北省典型区主要作物有效降雨量和需水量特征 [J]. 生态学报, 2018, 38(2): 560-570.
- [9] 刘小刚, 符娜, 李闯, 等. 河南省主粮作物需水量变化趋势与成因分析 [J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 188-197.
- [10] 李雅善, 王波, 杨云源, 等. 基于作物水分亏缺指数的云南葡萄干旱状况时空差异分析 [J]. 北方园艺, 2016(12):11-15.
- [11] 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.
- [12] 李雅善, 王振吉, 王艳君, 等. 甘肃河西走廊酿酒葡萄栽培区旱情时空特征差异分析 [J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4):50-56.
- [13] ALLEN R G, PEREIRA L S, RASE D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements [M]. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy: FAO, 1998.
- [14] ROMERO P, MARTINEZ-CUTILLAS A. The effects of partial root-zone irrigation and regulated deficit irrigation on the vegetative and reproductive development of field-grown Monastrell grapevines [J]. Irrig Sci, 2012, 30: 377-396.
- [15] 杨琪, 张勃, 尹海霞, 等. 甘肃河东地区近 50 年小麦需水量变化趋势及影响因子 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(11):3074-3081.
- [16] 尹海霞, 张勃, 王亚敏, 等. 黑河流域中游地区近 43 年来农作物需水量的变化趋势分析 [J]. 资源科学, 2012, 34(3):409-417.
- [17] 姬兴杰, 朱业玉, 顾万龙. 河南省参考作物蒸散量变化特征及其气候影响分析 [J]. 中国农业气象, 2013, 34(1):14-22.
- [18] 周迎平, 胡正华, 崔海羚, 等. 1971—2010 年气候变化对河南省主要作物需水量的影响 [J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2013, 5(6):515-521.

(上接第 99 页)

- [17] 张伟, 李国慧, 伍亚琼, 等. 1% 蛇床子素 EW 对黄瓜白粉病的防治效果 [J]. 四川农业科技, 2017(7): 34-35.
- [18] 殷洁, 袁玲. 寡雄腐霉菌剂对辣椒疫病的防治及促生效应 [J]. 园艺学报, 2017, 44(12):2327-2337.
- [19] ADAMS P B. The potential of mycoparasites for biological control of plant diseases [J]. Ann Rev Phytopathol, 1990, 28:59-72.
- [20] ZIMAND G, ELACD Y. Effect of *Trichoderma harzianum* on *Botrytis cinerea* [J]. Phytopathology, 1996, 86: 945-956.
- [21] 陶凤莲. 日光温室黄瓜霜霉病的发生原因与防治 [J]. 北方园艺, 2006(4):183.
- [22] 赵卫星. 几种有机磷农药对大蒜品质的影响及合理用药的研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2005.
- [23] CHELLIAH S, HEINRICH S E A. Factors affecting insecticide induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on rice [J]. Environ Entomol, 1980, 9: 773-777.
- [24] MCKINLEY W P, READ S I. Use of starch gel electrophoresis to illustrate inhibition of rabbit liver esterases by organophosphorus pesticides [J]. Journal of the Association of Official Agricultural Chemists, 1961, 44(4): 726-730.
- [25] 李钦, 郑微云, 王重刚, 等. 有机磷农药对坛紫菜过氧化物酶(POD)活性影响的研究 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2003, 42(2):201-204.