

设施葡萄不同生育期水分胁迫对产量和水分利用效率的影响

许健 张芮* 黄彩霞 高彦婷

(甘肃农业大学 水利水电工程学院,兰州 730070)

摘要 为探究水分胁迫对设施栽培葡萄耗水规律、产量和水分利用效率的影响,于2012—2014年在甘肃省张掖市节水灌溉试验中心开展为期3年的设施栽培葡萄水分胁迫试验,在葡萄萌芽、新梢生长、开花、果实膨大和着色成熟5个生育期各设轻度(土壤含水率下限为55%田间持水率, θ_f)和中度(下限为 θ_f 65%)2个水分胁迫水平,以下限 θ_f 75% 为对照。研究不同生育期水分胁迫对葡萄日耗水强度、耗水量、耗水模系数和水分利用效率的影响。结果表明:1)3个试验年度果实膨大期的平均日耗水强度为3.14 mm/d、耗水量为220.55 mm、耗水模系数为45.84%,均高于其余生育期的耗水指标;2)除开花期外,其余生育期施加中度水分胁迫均显著降低胁迫期葡萄耗水强度;且果实膨大期和着色成熟期轻度水分胁迫也会显著降低葡萄耗水强度;3)萌芽期中度胁迫对提高葡萄产量、水分生产效率(WUE)有利,其3个试验年度比CK平均增产16.2%、WUE提高20.5%。水分胁迫对设施葡萄产量和水分利用效率有重要影响,萌芽期亏水具有明显的节水增产效果;果实膨大期是葡萄需水临界期,该生育期应充分供水。

关键词 葡萄; 设施; 水分胁迫; 日耗水强度; 产量; 水分利用效率

中图分类号 S516.01

文章编号 1007-4333(2019)04-0043-09

文献标志码 A

Effect of water stress on the production and water consumption of grapes in facility

XU Jian, ZHANG Rui*, HUANG Caixia, GAO Yanting

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract To explore the effects of water stress on the water consumption and water use efficiency of post-cultivation facility grapes, a three-year experiment of facility cultivation was carried out from 2012 to 2014 at the experimental center for water saving irrigation of Zhangye City, Gansu Province. The growth cycle of grape was divided into five growth stages including germination, shoot growth, flowering, fruit enlargement, and coloring maturity. The 55% field water holding capacity (FC), which is the lower limit of soil moisture, was set as the moderate water stress at each growth stage. 65% FC was set as the mild water deficit level. In addition, the lowest limit of 75% FC was used as control. Daily water consumption intensity, water consumption, water consumption module and water use efficiency of grape under water supply level were investigated. The results showed that: 1) The grapes intensity of water consumption, amount of water consumption, water consumption model coefficients reached maximum value in fruit enlargement period, and three indicators were up to 45.84%, 220.55 mm and 3.14 mm/d indicating fruit enlargement period is a critical period of water requirement for the facility grape. 2) In addition to the flowering period, the moderate water stress in the rest of the growth period significantly decreased the water consumption intensity of the grapes during the stress period. The moderate water stress in coloring maturity period also significantly reduced the water consumption intensity. The mild water stress in the two long growth period (fruit enlargement, and colored maturity) also significantly affected the daily water consumption intensity. 3) The moderate water stress in germination stage improved

收稿日期: 2018-05-22

基金项目: 国家自然科学基金地区项目(51569002;51769001);甘肃农业大学学科建设专项基金(GAU-XKJS-2018-076)

第一作者: 许健,教授,主要从事农业水土工程研究, E-mail: xujian@gsau.edu.cn

通讯作者: 张芮,教授,主要从事节水灌溉与水资源利用研究, E-mail: zhangrui@gsau.edu.cn

grape yield and water use efficiency (WUE) advantageously. The annual yield of three test years was 15% higher than CK, WUE increased by 20.5%. In conclusion, water stress had an important effect on the yield and water use efficiency of grapes. Water stress in the germination period saved water and increased the yield of grapes. The fruit expansion period was the critical period of water demand for grapes, which should be fully irrigated.

Keywords grapes; greenhouse planting; water stress; daily water consumption intensity; yield; water use efficiency

坚持走产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的现代农业绿色发展道路,发展生态绿色高效安全的现代农业技术,确保粮食安全、主要农产品的有效供给和农业可持续发展是现代农业发展的永恒主题^[1]。随着社会经济的发展,水资源短缺和耕地面积不足日益成为影响我国粮食安全的重要制约因素。设施葡萄由于可以利用非耕地资源,具有节水增产和提质增效的诸多优点,在北方地区已经取得了长足的发展^[2-3]。甘肃省张掖市由于戈壁荒漠多,光热资源丰富,以葡萄种植为主的非耕地设施农业规模初现^[4]。针对设施葡萄种植,专家学者已经开展大量研究,主要集中在栽培、施肥、病虫害防治等农艺技术对葡萄生长和品质的影响研究^[5-9]。但受水资源约束,如何将节水与农艺措施结合,实现设施葡萄节水高产优质生产已经成为研究新趋势。调亏灌溉技术作为一项技术措施,抑制葡萄营养生长,在对产量无明显影响的条件下,能够提高葡萄水分利用效率和果实中的可溶性固形物的含量^[2,10]。邱德玉等^[11]研究表明,设施葡萄生育前期亏缺灌溉能减少葡萄耗水量,在不显著降低产量的前提下能提高灌溉水利用效率。杜太生等^[12]在酿酒葡萄根系分区交替滴灌试验中得出,交替滴灌(交替亏水、复水)可协调营养生长与生殖生长,较常规滴灌节水50%,提高水分利用效率37.36%。也有部分学者开展了葡萄不同生育期水分亏缺研究,发现开花期、果实膨大期缺水会严重减少葡萄产量^[13-15],萌芽期或浆果成熟期亏水能够提高葡萄水分利用效率^[16-17]。综上,目前关于设施葡萄水分胁迫试验研究并不多,已有成果主要集中在大田酿酒葡萄,且缺少跨年度持续研究结果。由于葡萄种类、葡萄树龄、栽培方式和气候条件差异,水分胁迫对多年生葡萄生长耗水规律和水分利用效率的影响也表现出一定的差异性。因此,本研究将葡萄生育期划分成不同阶段,探讨多年连续水分胁迫条件下对不同生育阶段的耗水量、耗水强度及水分利用效率的影响,以期为设施葡萄节水高效生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2012—2014年在甘肃省张掖市节水灌溉试验中心进行,地理坐标为100°26'E,38°56'N,海拔1482.7 m。多年平均降水量125 mm,多年平均蒸发量2047.9 mm。供试的土壤主要为中壤土,pH为7.8,土壤容重1.47 g/cm³,体积比田间持水率22.8%,土壤有机质1.37%,碱解氮32.04 mg/kg,速效磷27.8 mg/kg,速效钾1137.4 mg/kg。

试验葡萄品种为‘红地球(Red Globe)’嫁接苗,砧木为SO4,于2008年栽植,采用单壁篱架栽培,头状整枝,中短梢混合修剪,株间距0.8 m,行间距2 m。葡萄栽培设施采用当地普遍采用的日光温室,选用相邻的2栋朝向、材料和规格均相同的温室进行栽培研究,单棚建筑面积为8 m×80 m,随机布设试验小区。

1.2 试验方案与测定项目

1.2.1 试验布置方案

将延后栽培葡萄划分为5个生育期,萌芽期、新梢生长期、开花期、果实膨大期和着色成熟期(表1)。试验采用单因素完全随机试验,即在葡萄每个生育期设1个土壤含水率下限为田间持水率 θ_f 55%的中度水分胁迫水平(表2)。为细化研究不同水分胁迫水平对葡萄的影响,增设1个辅助试验,其土壤含水率下限为田间持水率 θ_f 65%(轻度水分胁迫),并在葡萄浆果膨大期增设1个高水分水平,即土壤水下限为 θ_f 85%。主试验和辅助试验均以全生育期土壤含水率下限为 θ_f 75%为对照,其中主试验在2012—2014年开展,辅助试验于2013—2014年开展,主辅试验共12个水分调控处理,3次重复,共36个小区,每个小区2行葡萄,面积8 m×4 m。

试验采用滴灌灌溉,1管1行控制模式,小管流量为 $q=2.5$ L/h,间距50 cm,计划湿润层深度为100 cm,湿润比0.475。当小区实测土壤含水率占田间持水量的百分比达到试验设计对应的下限值

(表 2)时灌水,灌水定额均为 270 m³/hm²,用水量水。对照处理灌水后土壤含水率上限达到田间持水率,中度和轻度水分胁迫处理在胁迫期内灌水后土壤

含水率上限依次达到 0₁ 80%和 90%,非胁迫生育期灌水后土壤含水率上限与 CK 相同,即都达到田间持水率。所有小区施肥、修剪等农艺措施均相同。

表 1 葡萄生育期划分情况表
Table 1 Grape into growth period

项目 Item	萌芽期	新梢生长期	开花期	果实膨大期	着色成熟期	
	Germination period	Vining growth stage	Blossom period	Fruit enlarging period	Coloring maturity	
2012 年	时间	05-15—05-27	05-28—06-12	06-13—06-24	06-25—09-03	09-04—12-21
	天数/d	13	16	12	71	109
	降水量/mm	0	0	0	40.0	103.7
	平均温度/℃	17.07	22.40	26.39	23.39	14.55
2013 年	时间	05-18—05-27	05-28—06-13	06-14—06-25	06-26—09-06	09-07—12-17
	天数/d	10	17	12	72	102
	降水量/mm	7.0	20.0	23.3	95.4	8.1
	平均温度/℃	21.29	20.72	20.78	24.95	17.05
2014 年	时间	05-03—05-17	05-18—06-07	06-08—06-18	06-19—08-27	08-28—12-16
	天数/d	15	21	11	70	111
	降水量/mm	1.2	8.1	18.9	93.5	32.0
	平均温度/℃	20.35	20.43	26.09	24.09	19.39

表 2 试验设计方案
Table 2 Experimental design

处理 编号 Treatment number	处理 Treatment	各阶段土壤含水率下限(占田间持水率的比例) Lower limit soil water content in different growth period (Percentage of field water holding rate)				
		萌芽期 Germination period	新梢生长期 Vining growth stage	开花期 Blossom period	果实膨大期 Fruit enlarging period	着色成熟期 Coloring maturity
GM	萌芽期轻度水分胁迫	<u>65</u>	75	75	75	75
SM	新梢期轻度水分胁迫	75	<u>65</u>	75	75	75
FM	开花期轻度水分胁迫	75	75	<u>65</u>	75	75
EM	膨大期轻度水分胁迫	75	75	75	<u>65</u>	75
CM	着色期轻度水分胁迫	75	75	75	75	<u>65</u>
GS	萌芽期中度水分胁迫	<u>55</u>	75	75	75	75
SS	新梢期中度水分胁迫	75	<u>55</u>	75	75	75
FS	开花期中度水分胁迫	75	75	<u>55</u>	75	75
ES	膨大期中度水分胁迫	75	75	75	<u>55</u>	75
CS	着色期中度水分胁迫	75	75	75	75	<u>55</u>
EA	膨大期高水分水平	75	75	75	<u>85</u>	75
CK	充分供水	75	75	75	75	75

注:1.轻度水分胁迫试验于 2013—2014 年开展了 2 年试验,中度水分胁迫在 2012—2014 年开展了 3 年试验;2.斜体和下划线数字表示该处理在本生育期是轻度或中度水分胁迫阶段,无划线表示充分供水阶段。

Note: 1. mild water stress test was conducted in 2013—2014 years for 2 years, and moderate water stress lasted for 3 years in 2012—2014 years. 2. The italic and underscored figures indicate that the grape was carried out mild or moderate water stress during the corresponding growth period, while the unscored grapes represented the full water supply stage.

1.2.2 试验测定项目

1) 土壤水分测定。作物整个生育期内每隔 10 d 取土一次, 萌芽前、各次灌水前后、采收后加测。每个小区在首尾 0.5 m, 相邻 2 株葡萄中间, 距滴灌带 0.2 m 分别取样, 用土钻取样烘干法测定, 测定深度为 100 cm, 分 6 层, 即 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm, 用 2 个取样点 0~100 cm 的平均含水率表示小区实测土壤含水率。

2) 作物耗水量的计算。耗水量指作物从发芽到收获期间因蒸腾蒸发消耗的水量总和, 也称作物的实际蒸散量或称腾发量。本试验采用水量平衡法估算葡萄的实际腾发量。根据《灌溉试验规范》(SL13-2004) 规定, 耗水量的计算公式为:

$$ET_{1\sim 2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + M + P + K + C$$

式中: $ET_{1\sim 2}$ 为阶段耗水量, mm; γ_i 为第 i 层的土壤干容重, g/cm^3 ; H_i 为第 i 层的土壤厚度, cm; θ_{i1} , θ_{i2} 为第 i 层土壤在计算时段始末的含水率(干土重的百分比); M, P, K, C 为分别为时段内灌水量、降雨量、地下水补给量和排水量, mm。

由于试验区地下水位较低, 结合其他条件, 可以认为 $K=C=0$, 则上式简写为:

$$ET_{1\sim 2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + M + P$$

3) 产量的测定。在葡萄成熟采摘期, 收获称量

各小区所有葡萄树果穗的质量, 最后按面积换算得到标准产量, kg/hm^2 。

4) 水分利用效率(WUA)。葡萄产量除以全生育期耗水量, kg/m^3 。

1.3 数据处理

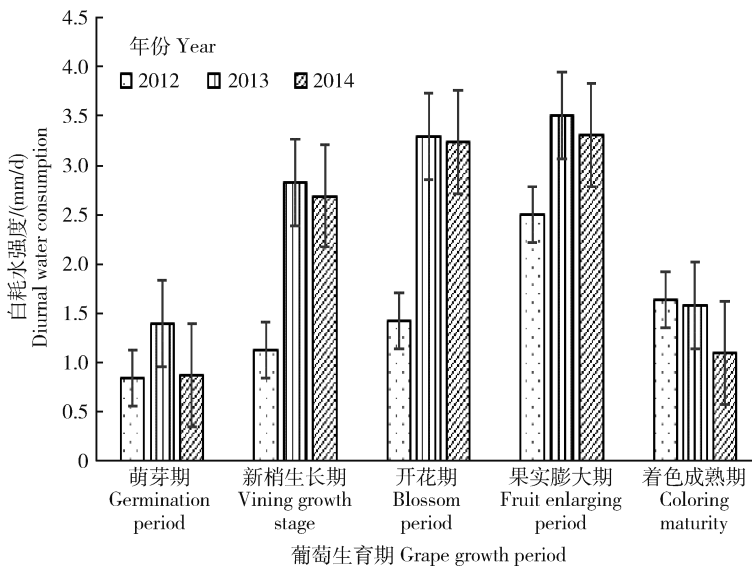
试验数据采用线性回归法分析处理, 并在 EXCEL 2007 和 SPASS 13.0 软件系统下完成计算。

2 结果与分析

2.1 设施葡萄各生育期整体耗水规律

2.1.1 日耗水强度变化规律

设施延后栽培葡萄日耗水强度随生育期进程表现出“中间高、两头低”的规律(图 1)。在萌芽期温度较低、叶面积指数和蒸发蒸腾都很小, 葡萄延后栽培的温室塑料薄膜还在覆盖, 故该阶段日平均耗水强度较小, 2012—2014 年的 3 年平均值为 1.04 mm/d; 新梢生长期、开花期葡萄植株生长速度加快、叶面积指数增大、日耗水强度逐步增大, 新梢生长和开花期 3 年平均值分别为 2.22 和 2.65 mm/d; 果实膨大期是葡萄植株生长和果实生长最旺盛的时期, 日耗水强度达到最大, 3 年平均值为 3.14 mm/d; 进入着色成熟期植株的生理活动逐渐趋于缓慢, 日耗水强度逐步降低, 其 3 年平均值为 1.44 mm/d(图 1)。



数据为相应试验年度所有处理在该生育期的平均值, 标准误差越大, 表明该生育期各处理之间差异越大, 下同。

The data in the picture are the average value of all treatment in the reproductive period in the corresponding test year. The higher the standard error, the greater the difference between the treatments in the growth period. The same as follow.

图 1 2012—2014 年葡萄日耗水强度变化规律

Fig. 1 Change rule of water consumption intensity between 2012 to 2014

从不同年度日耗水强度可以看出,2012 年葡萄在新梢生长期-果实膨大期日耗水强度都相对较小,这可能是该年度葡萄树龄为 4 年,在植株和果实生长旺期耗水强度较小的缘故。2013 年葡萄在萌芽期日耗水强度明显偏高,这与该年度萌芽期温度较高,降水量也高于其他年度有关(表 1)。

2.1.2 生育期耗水量和耗水模系数变化规律

耗水模系数反应了作物各生育阶段耗水量占总耗水量的权重程度,是反映作物各生育阶段需水特性与要求的重要参数。从图 2 可以看出,设施延后栽培葡萄在萌芽期耗水量很小,2012—2014 年 3 个

年度萌芽期平均耗水量为 12.68 mm,耗水模系数为 2.68%(图 3)。新梢生长期平均耗水量为 40.90 mm,耗水模系数为 8.53%。开花期时间较短,尽管耗水强度较高,但阶段平均耗水量也只有 30.69 mm,耗水模系数占到 6.40%。进入果实膨大期日耗水强度迅速增大,生育期也较少(70 d 左右),因而阶段耗水量和耗水模系数均非常大,2012—2014 年果实膨大期平均耗水量和平均耗水模系数分别高达 220.55 mm 和 45.84%,说明该阶段为设施延后栽培葡萄需水临界期。着色成熟期时间较长,平均耗水量为 153.46 mm,耗水模系数为 33.06%。

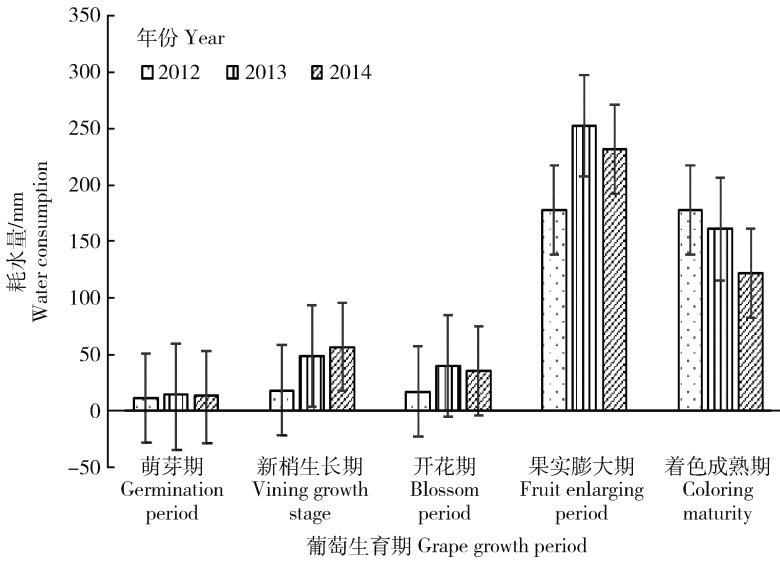


图 2 葡萄各生育期耗水量变化规律

Fig. 2 Variation of water consumption during each growth period of grape

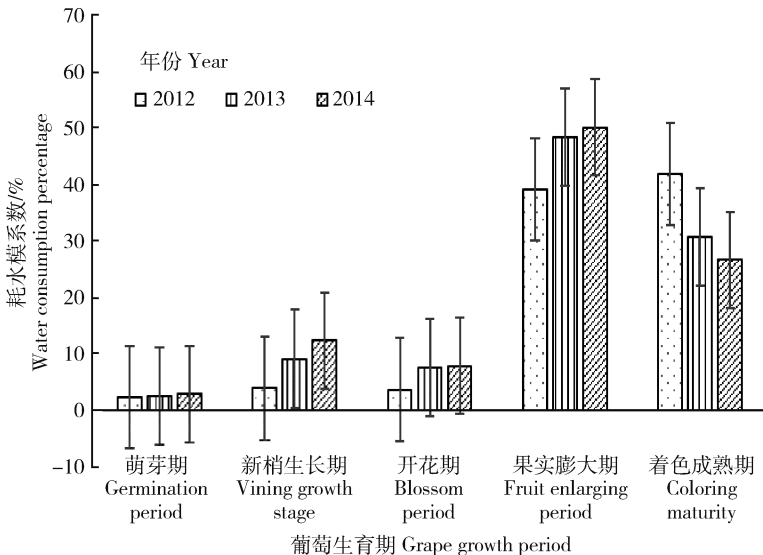


图 3 葡萄耗水模系数变化图

Fig. 3 Variation of the coefficient of grape water consumption

2.2 水分胁迫对设施葡萄耗水规律的影响

2.2.1 对各生育期日耗水强度的影响

从表3可知,2012—2014年葡萄萌芽期GS处理耗水强度均为最低,依次仅为0.42、0.24和0.49 mm/d,均显著低于CK($P < 0.05$),表明萌芽期中度水分胁迫能显著降低该时期葡萄耗水强度。进入新梢生长期,VS处理的3个试验年度耗水强度也均显著低于CK,说明新梢生长期中度水分胁迫也会显著降低葡萄耗水强度;另外,2013—2014年GS和GM处理耗水强度在该生育期迅速增大,尤其是2013年依次达到3.97和3.63 mm/d,显著高于CK,表现出明显的水分胁迫后复水补偿效应。开花期时间较短,各处理耗水强度不存在显著性差异。ES和EM处理果实膨大期耗水强度均显著低于CK,说明果实膨大期中度或轻度水分胁迫都会降低葡萄耗水强度;另外FS(开花期中度水分胁迫)处理耗水强度也显著低于CK,这可能是开花期时间短,水分胁迫对耗水强度的影响在果实膨大期才体现出来的缘故。到了着色成熟期,CS和CM处理耗水强度都迅速减小,显著低于CK,说明着色成熟期中度或轻度胁迫也会减小耗水强度;另外,ES处理在该阶段的耗水强度依然显著低于CK处理,表明果实膨大期中度水分胁迫尺度较大,不仅影响本阶段耗水强度,而且对着色成熟期耗水也有显著影响。

2.2.2 对全生育期耗水量的影响

从表3可以看出,3个试验年度VS、FS、ES和CS处理耗水总量均显著低于CK,表明新梢生长期-着色成熟期单个生育阶段中度水分胁迫都能显著降低葡萄耗水总量;VM、EM和CM处理耗水强度也显著低于CK(表3),说明新梢生长期、果实膨大期、着色成熟期3个较长生育期轻度水分胁迫也能显著影响葡萄耗水量。

2.3 水分胁迫对葡萄产量及水分生产效率的影响

2.3.1 对葡萄产量的影响

从表3可以看出,2012年GS(萌芽期中度水分胁迫)处理产量最高,达到23 542 kg/hm²,显著高于CK;CS(着色成熟期中度水分胁迫)处理和CK处理产量相对较低,分别只有15 431和16 736 kg/hm²。2013年葡萄龄期进入第5年,挂果数量整体有所增加,其产量整体比2012年提高,尤其是GS处理产量达到36 333 kg/hm²,显著高于ES(果实膨大期中度胁迫)和CS2个长生育期中度

水分胁迫处理。2014年各处理产量不存在显著性差异,这可能是随着葡萄龄期增大,对水分胁迫的适应和调节能力不断增强的缘故(表3)。

2.3.2 对葡萄水分利用效率的影响

从表3可以看出,2012年GS处理水分利用效率(WUE)达到5.90 kg/m³,显著高于CK,说明萌芽期中度水分胁迫能显著提高设施葡萄水分利用效率;其余处理与CK间差异不显著。2013年受树体增大和挂果数量增多的双重影响,葡萄WUE都比2012年明显增大,而GS处理WUE同样达到最高值,为6.67 kg/m³。2014年研究规律与前2个年度不同,果实膨大期轻度和中度水分胁迫处理EM、ES的WUE相对较高,依次达到5.88和5.64 kg/m³,显著高于CK,其主要原因是该试验年度葡萄产量之间差别不大,而耗水量之间差异很显著(ES和EM处理显著降低了耗水量)的缘故。

3 讨论

设施栽培葡萄日耗水强度、耗水量和耗水模系数在萌芽期均较小,其耗水3项指标依次仅为1.04 mm/d、12.68 mm和2.68%;新梢生长期、开花期葡萄植株生长速度加快、日耗水强度等逐步增大,果实膨大期是葡萄植株生长和果实生长最旺盛的时期,耗水指标达到最大值,其3项指标分别高达3.14 mm/d、220.55 mm和45.84%,该阶段为设施栽培葡萄需水临界期;而进入着色成熟期葡萄耗水强度逐步降低,其3年平均值为1.44 mm/d、153.46 mm和33.06%。这与López-Urrea等^[16]和陈娜娜^[3]研究结论一致,即葡萄植株在生育期需水规律为“中间高、两头低”,萌芽期葡萄栽培设施内气温较低,塑料膜处于封闭状态,空气湿度大,且葡萄面积很小,致使耗水强度为最小^[3,16-17];果实膨大期是葡萄营养生长和生殖生长的高峰^[18],且该期气温较高,设施塑料膜处于完全开启状态,空气通透性好,蒸发量大,其耗水模系数达50%左右^[2-3],为葡萄需水临界期^[13,18];葡萄进入果实着色成熟期,营养器官和生殖器官发育速度明显减缓,导致需水强度有所降低。

水分胁迫对葡萄生育期耗水强度和全生育期耗水总量影响显著,中度水分胁迫(土壤含水率下限为55%)能显著降低设施葡萄萌芽期、新梢生长期、果实膨大期、着色成熟期的耗水强度,而在葡萄2个最长生育期(果实膨大期、着色成熟期)轻度水分胁迫(土壤含水率下限为65%)也能显著降低其耗水强

表 3 水分胁迫对葡萄日耗水强度变化规律及产量和水分利用效率的影响

Table3 Effects of waters tress on water consumption intensity,yield and WUE of grapes

年份 Year	处理编号 Treatment number	各生育期日耗水强度/mm Daily water consumption of each growth period					全生育期 耗水量/ (m ³ /hm ²) Total water consumption	产量/ (kg/hm ²) Yield	水分利用 效率/ (kg/m ³) WUE
		萌芽期 Germination period	新梢生长期 Vining growth stage	开花期 Blossom period	果实膨大期 Fruit enlarging period	着色成熟期 Coloring maturity			
2012	CK	0.77 b	1.17 b	1.66 a	2.61 a	1.71 ab	4 204 a	16 736 bc	3.98 b
	GS	0.42 c	0.62 c	1.45 a	2.63 a	1.65 c	3 996 c	23 542 a	5.90 a
	VS	0.96 a	0.59 c	1.34 a	2.69 a	1.66 bc	4 100 b	20 417 ab	4.98 ab
	FS	1.01 a	1.56 a	1.33 a	2.38 b	1.74 a	4 124 b	18 889 abc	4.58 b
	ES	0.90 ab	1.42 ab	1.25 a	2.36 b	1.69 abc	4 004 c	19 722 abc	4.93 ab
	CS	1.01 a	1.42 ab	1.49 a	2.36 b	1.33 d	3 666 d	15 431 c	4.21 b
2013	CK	1.88 a	2.74 bc	3.51 ab	3.52 bc	1.71 ab	5 491 b	32 569 ab	5.93 ab
	GS	0.24 c	3.97 a	2.74 d	3.55 bc	1.76 a	5 445 bc	36 333 a	6.67 a
	VS	1.37 ab	2.33 d	3.13 c	3.66 b	1.66 abc	5 161 d	29 861 ab	5.78 ab
	FS	1.61 ab	2.52 cd	3.31 bc	3.15 de	1.53 bcde	5 078 d	29 000 ab	5.71 ab
	ES	1.38 ab	2.74 bc	3.51 ab	2.86 e	1.42 de	4 564 f	26 722 b	5.85 ab
	CS	1.66 ab	2.42 cd	3.22 bc	3.65 bc	0.87 f	4 696 e	27 083 b	5.76 ab
	GM	0.93 bc	3.63 a	2.65 d	3.67 b	1.72 ab	5 635 a	29 139 ab	5.18 b
	VM	1.42 ab	2.70 bcd	3.47 abc	3.34 c	1.78 a	5 323 c	30 958 ab	5.82 ab
	FM	1.73 a	2.65 bcd	3.42 abc	3.55 bc	1.82 a	5 393 bc	29 250 ab	5.43 ab
	EM	1.52 ab	2.96 b	3.70 a	3.21 d	1.81 a	5 114 d	29 111 ab	5.69 ab
	CM	1.23 ab	2.78 bc	3.55 ab	3.66 b	1.50 cde	5 170 d	31 556 ab	6.12 ab
	EA	1.71 a	2.51 cd	3.29 bc	4.28 a	1.35 e	5 692 a	29 500 ab	5.18 b
2014	CK	0.83 abc	3.15 ab	3.37 ab	3.88 a	1.2 3b	5 245 a	18 534 a	3.53 c
	GS	0.49 c	3.47 a	3.73 ab	3.8 0 ab	1.24 b	5 252 a	18 965 a	3.62 c
	VS	0.81 abc	1.82 de	2.03 c	3.42 cd	1.21 b	4 459 d	18 676 a	4.19 abc
	FS	0.84 abc	2.88 b	3.34 ab	3.52 bcd	1.16 bc	4 847 b	17047 a	3.52 c
	ES	0.75 abc	1.87 de	2.82 bc	2.26 e	0.79 d	3 279 f	18 496 a	5.64 ab
	CS	0.65 bc	3.17 ab	3.26ab	3.51 bcd	0.76 d	4 418 d	17 689 a	4.02 abc
	GM	0.75 abc	3.13 ab	3.83 a	3.43 cd	1.18 b	4 898 b	21 825 a	4.46 abc
	VM	0.82 abc	1.68 e	3.29 ab	3.28 d	1.11 bc	4 360 d	19 343 a	4.44 abc
	FM	1.14 ab	2.75 bc	2.80 bc	3.63 abc	1.17 b	4 890 b	22 078 a	4.51 abc
	EM	1.21 a	2.91 ab	3.20 ab	1.75 f	1.01 c	3 487 e	20 505 a	5.88 a
	CM	1.11 ab	3.22 ab	3.47 ab	3.59 abcd	0.81 d	4 634 c	22 238 a	4.80 abc
	EA	1.10 ab	2.24 cd	3.65 ab	3.58 abcd	1.52 a	5 23 4a	20 545 a	3.93 bc

注：采用 LSD 法，不同小写字母表示 0.05 水平下差异显著。

Note:LSD method is adopted. Values followed by the different small letters within same row are significant different at the 0.05 level.

度。另外,新梢生长期-着色成熟期单个生育期中度水分胁迫都能显著降低葡萄耗水总量,而新梢生长期、果实膨大期和着色成熟期3个较长生育期轻度水分胁迫也能显著影响葡萄耗水量。陈娜娜^[3]研究也表明,水分胁迫对设施葡萄耗水规律影响显著,单个生育阶段水分亏缺处理能够明显降低本阶段的日耗水量及耗水模系数。

本研究表明,3个试验年度葡萄日耗水强度随生育进程都表现出“中间高、两头低”的规律,说明设施葡萄整体耗水规律不受水分胁迫的跨年度持续影响。另一方面,第1年度(2012年)葡萄树龄(4年)较小,生育前期(果实膨大期前)降水偏少,致使该年度葡萄在果实膨大期前日耗水强度低于2013—2014年度;第2年度(2013年)葡萄前几个生育期气温较高,且降水量比其他年度也明显偏多,导致萌芽期、新梢生长期、开花期和果实膨大期日耗水强度高于其他2个试验年度;第3年度(2014年)着色成熟期降水量明显低于2012年度,其葡萄挂果数量(产量)整体也低于2013年度,导致该年度着色成熟期日耗水强度明显偏低。因此,对于多年生葡萄而言,影响其耗水量或日耗水强度的因素较多,在土壤质地、灌溉条件相同的情况下,葡萄耗水强度与树龄、挂果数量、气象因子(温度、降水)紧密相关。

邱德玉等^[1]研究表明,新梢生长期亏水对设施葡萄生长不利,降低葡萄产量;而着色成熟期适度亏水可在不减产的基础上提高灌溉水利用效率,同时有助于提高葡萄果实品质。何岸谿^[19]研究也表明,适度的水分亏缺胁迫对提高葡萄产量有利,萌芽期中度水分调亏和着色成熟期轻度水分亏缺依次提高产量19.86%和7.20%。但Ojeda等^[20]证实从开花期到果实着色成熟期水分亏缺会影响葡萄果皮细胞的扩大进而导致浆果变小,且这种果皮细胞体积减小不可逆转。因此,设施葡萄产量和水分利用效率对不同水分胁迫时期和胁迫程度的响应是不同的。本研究在2012—2013年研究也证实萌芽期中度水分胁迫能显著增产,提高葡萄水分生产效率和灌溉水利用效率;但果实膨大期中度水分胁迫、着色成熟期中度水分胁迫都显著降低葡萄产量。另外,第1试验年度(2012年)萌芽期中度水分胁迫处理葡萄产量和水分利用效率比全生育期充分供水处理分别提高40.67%和48.2%,差异达到显著水平;第2~3年度(2013—2014年)该胁迫处理增产率降低至11.6%和2.3%,水分利用效率提高程度也降至

12.5%和2.5%,且与充分供水差异不显著,说明葡萄对单生育期水分胁迫具有较强的跨年度恢复适应能力。

4 结 论

果实膨大期是设施延后栽培葡萄需水临界期,该生育期3个试验年度平均日耗水强度达3.14 mm/d,其耗水量、耗水模系数也分别高达220.55 mm和45.84%;另外,着色成熟期时间较长,平均耗水量达到153.46 mm,耗水模系数占33.06%,灌溉过程中也必须引起足够重视。

萌芽期中度水分胁迫可提高葡萄产量和水分利用效率,而果实膨大期中度水分胁迫、着色成熟期中度水分胁迫都显著降低葡萄产量。另外,随着水分胁迫试验年度的持续,水分胁迫对葡萄的增产效应(萌芽期胁迫)和减产效应(果实膨大期、着色成熟期)都会逐渐消失,表现出了多年生植物——葡萄对单个生育阶段水分胁迫较强的适应和自我调节能力。

参考文献 References

- [1] 陆红娜,康绍忠,杜太生,佟玲,丁日升,李思恩. 农业绿色高效节水研究现状与未来发展趋势[J]. 农学学报,2018,8(1):155-162
Lu H N, Kang S Z, Du T S, Tong L, Ding R S, Li S N. Current status and future research trend on water-saving high-efficiency and eco-friendly agriculture[J]. *Journal of Agriculture*, 2018, 8(1):155-162 (in Chinese)
- [2] 张芮,王旺田,吴玉霞,牛黎莉,王俊林,薛燕翎,陈娜娜,王菲. 水分胁迫度及时期对设施延迟栽培葡萄耗水和产量的影响[J]. 农业工程学报,2017,33(1):155-161
Zhang R, Wang W T, Wu Y X, Niu L L, Wang J L, Xue Y L, Chen N N, Wang F. Effect of moisture stress level and stage on evapotranspiration and yield of grape under protected and delayed cultivation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(1):155-161 (in Chinese)
- [3] 陈娜娜. 水分亏缺对设施延后栽培葡萄生长、土壤微生物及酶活性的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2017
Chen N N. Effects of water deficit on growth, soil microorganism and enzyme activity of grape under delayed cultivation[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [4] 赵雪梅. 张掖市甘州区非耕地设施农业发展的思考与建议[J]. 农业科技与信息,2018,8(1):75-77
Zhao X M. Consideration and suggestion on the development of non cultivated land facility agriculture in Ganzhou District of

- Zhangye[J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2018,8(1):75-77 (in Chinese)
- [5] Ezzahouani A, Willia ms L E. Effect of irrigation amount and preharvest irrigation cut off date on vine water status and productivity of danlas grapevines [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2007,58(3):333-340
- [6] 贾云, 雍艳霞, 曹云娥. 蚯蚓堆肥和蚯蚓液体肥对设施葡萄生长及土壤特性的影响[J]. *中国南方果树*, 2017,46(5):1-8
Jia Y, Yong Y X, Cao Y E. Effects of earthworm compost and earthworm liquid fertilizer on growth and soil properties of facility grape [J]. *South China Fruits*, 2017, 46 (5): 1-8 (in Chinese)
- [7] 何建斌, 王振华, 何新林, 刘敏杰, 杨贵森, 李宁, 谭明. 极端干旱区不同灌水量对滴灌葡萄生长及产量的影响[J]. *农业学报*, 2013,3(2):65-69
He J B, Wang Z H, He X J, Liu M J, Yang G S, Li N, Tan M. The influence of different irrigation water on grapes growth and yield under drip irrigation in extremely arid regions [J]. *Journal of Agriculture*, 2013,3(2):65-69 (in Chinese)
- [8] 李昭楠, 刘七军, 李唯. 不同灌溉条件下干旱区葡萄生长发育研究[J]. *干旱区研究*, 2014,31(5):856-862
Li Z N, Liu Q J, Li W. Vine growth under different irrigation conditions arid region [J]. *Arid Zone Research*, 2014, 31 (5): 856-862 (in Chinese)
- [9] 房玉林, 孙伟, 万力, 惠竹梅, 刘旭, 张振文. 调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2013,46(13):2730-2738
Fang Y L, Sun W, Wan L, Hui Z M, Liu X, Zhang Z W. Effects of regulated deficit irrigation on wine grape growth and fruit quality [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46 (13): 2730-2738 (in Chinese)
- [10] 李雅善, 赵现华, 王华, 李华. 葡萄调亏灌溉技术的研究现状与展望[J]. *干旱区农业研究*, 2013,31(1):236-241
Li Y S, Zhao X H, Wang H, Li H. Research advance and prospect of regulated deficit irrigation on grapevines [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015,31(1):236-241 (in Chinese)
- [11] 邱德玉, 罗永华. 不同灌溉制度对设施葡萄水分利用效率及产量的影响[J]. *水资源与水工程学报*, 2015,26(4):232-235,240
Qiu D Y, Luo Y H. Effect of different irrigation scheme on yield and water use efficiency of facility grape [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2015,26(4):232-235+240 (in Chinese)
- [12] 杜太生, 康绍忠, 夏桂敏. 滴灌条件下不同根区交替湿润对葡萄生长和水分利用的影响[J]. *农业工程学报*, 2005,21(11):43-48
Du T S, Kang S Z, Xia G M. Response of grapevine growth and water use to different partial root-zone drying patterns under drip irrigation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005,21(11):45-48 (in Chinese)
- [13] 刘洪光, 何新林, 王雅琴, 杨惠惠. 调亏灌溉对滴灌葡萄耗水规律及产量的影响研究[J]. *灌溉排水学报*, 2010,29(6):109-111
Liu H G, He X L, Wang Y Q, Yang H H. Effects of regulated deficit irrigation on water consumption and yield of grape [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2013,31(1):109-111 (in Chinese)
- [14] 纪学伟, 成自勇, 张芮, 赵霞. 干旱荒漠绿洲区酿酒葡萄滴灌控水灌溉试验研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2015,33(2):135-140
Ji X W, Chen Z Y, Zhang R, Zhao X. Experimental research on drip irrigation by water controlling for wine grape in arid desert oasis [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33 (2): 135-140 (in Chinese)
- [15] 张芮, 成自勇, 李毅, 杨阿利. 小管出流亏缺灌溉对设施延后栽培葡萄产量与品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2012,28(20):108-113
Zhang R, Cheng Z Y, Li Y, Yang A L. Effects of small tube flow deficit irrigation on yield and quality of greenhouse grape under delayed cultivation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28 (20): 108-113 (in Chinese)
- [16] López-Urrea R, Montoro A, Mañas F, López-Fuster P, Fereres E. Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements of mature ‘Tempranillo’ wine grapes [J]. *Agricultural Water Management*, 2012,112(112):13-20
- [17] 马兴祥, 魏育国, 蒋菊芳. 沙漠边缘新垦酿造葡萄园土壤贮水及作物耗水特性研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2016,24(4):58-61
Ma X X, Wei Y G, Jiang J F. A study on soil moisture change and crop water consumption characteristics in the grate new planting district at desert edge [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006,24(4):58-61 (in Chinese)
- [18] 李昭楠. 戈壁葡萄滴灌节水机理及灌溉制度模式研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012
Li Z N. Study on drip irrigation water-saving mechanism and irrigation system pattern of gobi grape [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [19] 何岸谿. 水分调亏对设施延后栽培葡萄生长、产量及品质的影响研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016
He A R. Effects of delayed grape cultivation on growth production and quality under water deficit [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [20] Ojeda H, Deloire A, Carbonneau A. Influence of water deficits on grape berry growth [J]. *Vitis*, 2001,40(3):141-144