

胡宏远,王 静,李红英,等. 调亏灌溉对贺兰山东麓赤霞珠葡萄主干茎流规律及品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(3): 798-806.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.03.021

调亏灌溉对贺兰山东麓赤霞珠葡萄主干茎流规律及品质的影响

胡宏远^{1,2,3}, 王 静^{1,2,3}, 李红英^{1,2,3}, 祁焕军⁴, 雷晓婷⁴

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 3. 宁夏气象科学研究所, 宁夏 银川 750002; 4. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要: 为探究水分供应对赤霞珠葡萄主干茎流规律及果实品质的影响,明确水分运输特征,筛选宁夏贺兰山东麓适宜的水分供应模式,以 5 a 生酿酒葡萄赤霞珠(*Cabernet Sauvignon*)为试验材料,设置 3 900 m³/hm² (T₁)、4 500 m³/hm² (T₂)、5 100 m³/hm² (T₃)、5 700 m³/hm² (CK) 4 个水分灌溉水平,开展调亏灌溉对贺兰山东麓葡萄产区赤霞珠葡萄主干茎流规律及浆果品质影响的研究。结果表明:赤霞珠葡萄主干茎流速率、单株茎流量总体呈现昼高夜低的变化趋势。晴天茎流较阴天启动时间早、响应迅速、峰值高、高流速持续时间长。无论在晴天还是阴天均存在夜间茎流,且白天茎流速率高的处理夜间茎流速率亦高。调亏灌溉 T₁ 处理比对照(CK)节水 31.58%, 不仅能促进赤霞珠葡萄主干茎流速率、单株茎流量及单日蒸腾量,而且葡萄浆果的可溶性糖、可滴定酸、总酚、单宁和总花色苷含量分别提高了 2.68%、6.81%、27.94%、20.92% 和 3.03%。因此,综合分析认为, T₁ 调亏灌溉措施,不仅能实现大幅节水,而且能显著提高赤霞珠葡萄浆果品质。

关键词: 调亏灌溉; 贺兰山东麓; 葡萄; 主干茎流; 品质

中图分类号: S663.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2023)03-0798-09

Effects of regulated deficit irrigation on stem flow and quality of Cabernet Sauvignon grape in eastern foot of Helan Mountain

HU Hong-yuan^{1,2,3}, WANG Jing^{1,2,3}, LI Hong-ying^{1,2,3}, QI Huan-jun⁴, LEI Xiao-ting⁴

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, China Meteorological Administration, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia Meteorological Science Institute, Yinchuan 750002, China; 4. Agricultural Resources and Environment Institute, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

收稿日期: 2022-06-14

基金项目: 宁夏回族自治区自然科学基金项目(2020AAC03466); 宁夏回族自治区农业科技自主创新基金项目(NGSB-2021-4); 国家自然科学基金项目(42165013); 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室指令性项目(CAMP-202105); 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室青年培养项目(CAMT-202104)

作者简介: 胡宏远(1989-), 男, 甘肃天水人, 硕士, 助理工程师, 主要从事酿酒葡萄栽培生理与气象研究。(E-mail) 306685092@qq.com

通讯作者: 王 静, (E-mail) wj1987.011@163.com

Abstract: In order to explore the influence of water supply on the stem flow and fruit quality of Cabernet Sauvignon grape, clarify the characteristics of water transport, and screen the suitable water supply mode in the eastern foot of Helan Mountain in Ningxia, an experiment with four water irrigation schemes of 3 900 m³/hm² (T₁), 4 500 m³/hm² (T₂), 5 100 m³/hm² (T₃) and 5 700 m³/hm² (CK) was conducted with five-year-old wine grape Cabernet Sauvignon as experimental material. The effects of regulated deficit irrigation on stem flow and berry quality

of Cabernet Sauvignon grape in the eastern foot of Helan Mountain were discussed. The results showed that the main stem flow rate and stem flow per plant of Cabernet Sauvignon grape generally showed a trend of high day and low night. The stem flow in sunny days started earlier than that in cloudy days, with rapid response, high peak value and long duration. There was nighttime sap flow in both sunny and cloudy days, and the treatment with high daytime stem flow rate had high nighttime stem flow rate. The regulated deficit irrigation T_1 treatment saved water by 31.58% compared with the control, which not only promoted the stem flow rate, stem flow per plant and daily transpiration of Cabernet Sauvignon grape, but also increased the contents of soluble sugar, titratable acid, total phenol, tannin and total anthocyanin by 2.68%, 6.81%, 27.94%, 20.92% and 3.03%, respectively. Therefore, T_1 regulated deficit irrigation scheme could not only achieve significant water saving, but also significantly improve the quality of Cabernet Sauvignon grape berries.

Key words: regulated deficit irrigation; Helan Mountain's east foothill; grape; stem flow; quality

宁夏贺兰山东麓具有种植优质酿酒葡萄得天独厚的气候资源优势。2021年,宁夏获批全国首个葡萄及葡萄酒产业开放发展综合试验区,标志着宁夏贺兰山东麓葡萄酒产业进入国家战略^[1]。宁夏深居内陆,降水资源匮乏,加之酿酒葡萄种植规模不断扩大,对水分的需水量持续加大,导致辖区用水压力进一步增加。近年来,贺兰山东麓葡萄产区大力推行高效节水灌溉技术,虽然传统的漫灌方式仍然存在,但在“控水提质”方面取得了前所未有的成效。然而,部分种植园区存在对“控水提质”的过分解读,一味追求小粒松散、控制副梢的葡萄栽培管理方式,导致浆果出现皱缩、早衰、红果等现象,既降低了产量,又影响了品质。究其根本是园区管理人员对酿酒葡萄生理需水规律尚缺乏科学认识,生产中葡萄园水分管理大多根据传统栽培经验,这不仅降低了水分利用效率,还严重影响了葡萄浆果的产量和品质。因此,探索葡萄水分需求规律,对实现高效节水灌溉具有重要的指导意义。

调亏灌溉作为新的灌溉方式,不仅可以提高农作物水分利用效率,还可以控制农作物营养器官生长,达到节水增产、改善果实品质的目标^[2-3]。近年来,该技术广泛应用于小麦、玉米^[4]、牧草^[5]及果树^[6-7]等农作物的生产实践。茎流是在蒸腾拉力的作用下,植物体内汁液向上的流动。根系吸收的水分,绝大部分通过主干茎流输送到植物冠层,用于蒸腾消耗。因此,茎流量可作为一项生理指标来衡量植物生长过程中的耗水量^[8]。相比快速称质量法、叶室法、伤流法及盆栽试验法等植物蒸腾量测定方法,茎流仪根据热平衡原理,对植株体内汁液流速进行实时监测,能精确地反映植株体内水分状况,具有操作简单、快速准确、连续动态及破坏小等优点,被广泛应用于植物水平分

衡研究^[9]。目前,在调亏灌溉^[10-11]和灌溉制度^[12-14]对酿酒葡萄产量和品质影响,不同灌溉水平和栽培方案对葡萄主干液流特征^[15-17]等方面已有初步研究。但在调亏灌溉条件下,气象要素对酿酒葡萄主干茎流及品质的影响等方面研究尚不深入。

本研究利用植物茎流仪,通过对不同调亏灌溉方案下贺兰山东麓赤霞珠葡萄晴天和阴天主干茎流速率和茎流量日变化的分析,明确影响赤霞珠葡萄日蒸腾量的关键气象因子,确定不同调亏灌溉方案对葡萄品质的影响,旨在为贺兰山东麓葡萄产区精准灌溉方案的制定提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料和试验基地

试验于2020年在宁夏贺兰山东麓金山试验区观兰酒庄进行。试验点全年平均气温12.1℃,降水量141.9mm。生长期主要气象要素变化特征见图1。供试品种为5a生赤霞珠葡萄,标准“厂”字整形,南北行向,每行种植60株,株行距0.6m×3.5m。冬季为中、短梢配合修剪。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组试验设计,随机选取4行分别进行灌水量3900m³/hm²(T_1)、4500m³/hm²(T_2)、5100m³/hm²(T_3)、5700m³/hm²(CK)处理。与CK相比, T_1 、 T_2 、 T_3 处理的灌溉调亏率分别为31.58%、21.05%、10.53%。待赤霞珠葡萄萌芽后,在不同发育期进行调亏灌溉处理,直至采收结束,具体调亏灌溉方案见表1。其他田间管理措施保持与常规管理一致。自赤霞珠葡萄转色(8月6日)后,采集主干茎流数据,采收期在果穗上、中、下随机取100粒果实,3次重复,冷藏带回实验室进行品质指标检测。

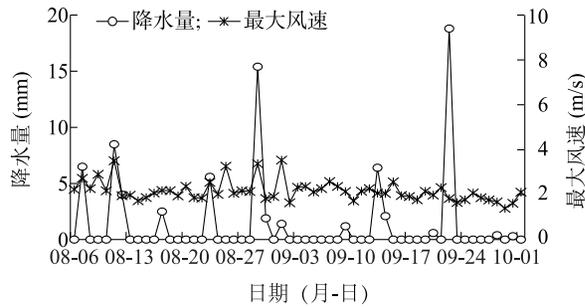


图1 2020年试验期间主要气象要素变化特征

Fig.1 The variation characteristics of main meteorological elements during the test period in 2020

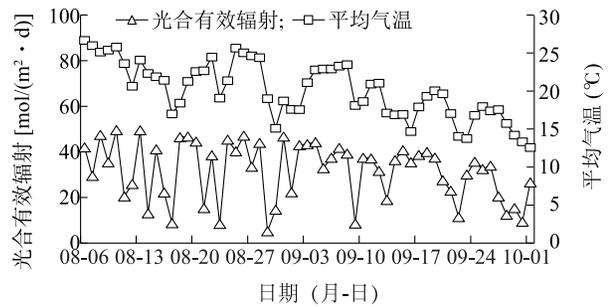


表1 各生育期调亏灌溉方案设计

Table 1 Regulated deficit irrigation scheme design in each growth stage

生育期	灌水时间 (月-日)	调亏灌溉处理 (m^3/hm^2)			
		T_1	T_2	T_3	CK
萌发期	04-25	600	600	600	600
新梢生长期	05-05	0	270	300	360
	05-15	450	300	330	360
开花期	06-05	0	270	330	360
	06-15	450	270	330	360
坐果期	06-25	225	210	300	330
	07-01	0	195	225	330
	07-09	225	195	225	330
浆果膨大期	07-15	300	300	330	390
	07-22	375	270	330	360
	07-29	0	270	300	360
转色期	08-06	300	320	300	330
	08-11	225	195	225	240
	08-16	0	195	225	240
冬灌	10-25	750	750	750	750

1.3 测定项目及方法

1.3.1 主干茎流测定及蒸腾量估算 采用 SFMI 探针式树干茎流仪 (ICT Internation Pty Ltd 公司产品, 澳大利亚) 连续监测不同处理赤霞珠酿酒葡萄主干茎流。每处理选取树体健康, 长势良好, 有代表性的主干粗度约 40 mm 的植株安装茎流仪。首先用刮刀去除样树树干外部死皮, 然后用细砂纸打磨光滑, 并用游标卡尺准确测量安装传感器处直径。茎流仪安装高度距地面 40 cm 的树干阴面, 并用反射性泡沫铝膜进行包裹。监测时段为转色期至收获期 (2020 年 8

月 6 日至 2020 年 10 月 1 日), 数据读取时间间隔为 30 min。主干茎流速率 (cm/h) 由茎流仪直接测定, 单株茎流量 (cm^3/h) 为茎流速率与主干横截面积的乘积, 日蒸腾量 (mm) 为单株茎流量日均值 (cm^3/h , 1 株) \times 植株密度 (株, 1 m^2) $\times 24$ (h/d) $\times 1000^{-1}$, 总蒸腾量 (mm) 为逐日蒸腾量之和。

1.3.2 气象要素监测 采用江苏省无线电科学研究所有限公司研制的农田小气象站 (型号 DZZ 4-1) 进行试验地气象要素监测。监测要素包括光合有效辐射、降水量、气温、露点温度、相对湿度、风速、水汽压等, 采集时间间隔为 5 min。逐日气象要素值根据监测的数据平均得到。

1.3.3 品质指标测定 可溶性固形物含量测定采用折光仪法; 还原糖含量测定采用菲林试剂滴定法; 总酸含量测定采用 NaOH 滴定法; 单宁含量测定采用福林丹尼斯法; 花色苷含量测定采用盐酸-甲醇提取比色法; 总酚含量测定采用福林酚法^[18]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理及作图, 采用 SPSS10.0 进行统计分析, 不同处理之间多重比较采用 Duncan's 新复极差法。

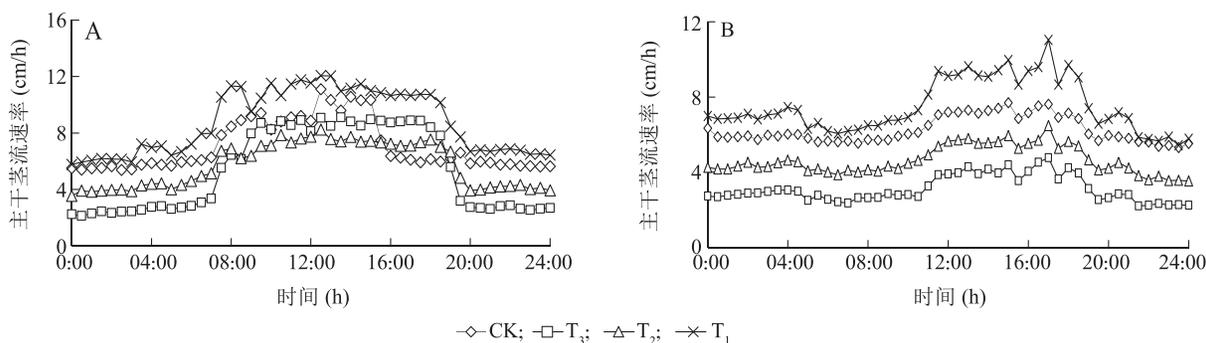
2 结果与分析

2.1 调亏灌溉对转色期赤霞珠葡萄主干茎流规律的影响

2.1.1 赤霞珠葡萄主干茎流速率日变化规律 图 2 为赤霞珠葡萄转色期典型阴天 (8 月 17 日) 和晴天 (8 月 18 日) 主干茎流速率的日变化规律。由图可知, 不同调亏灌溉方案下, 晴天日出后赤霞珠葡萄主干茎流速率迅速提升, 至 8:00 左右达到高位, 18:00 左右开始回落, 而阴天主干茎流速率变化平缓且维

持在相对较低水平。不论是晴天还是阴天均存在夜间茎流,白天茎流高的处理夜间茎流亦高。无论晴天还是阴天, T_1 处理茎流速率总体都最高, T_3 处理最低。与对照相比,晴天 T_1 处理茎流速率峰值增加

8.60%, T_2 和 T_3 处理分别减少25.77%和17.88%;阴天 T_1 处理茎流速率峰值比对照增加43.47%, T_2 和 T_3 处理分别比对照减少15.84%和37.98%。



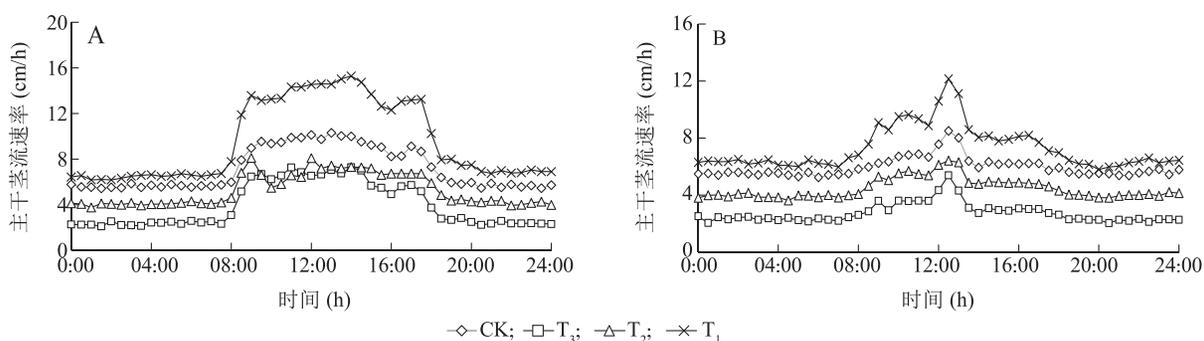
A:晴天;B:阴天。CK、 T_1 、 T_2 、 T_3 见表1。

图2 转色期赤霞珠葡萄主干茎流速率日变化

Fig.2 Diurnal variation of main stem sap flow rate of Cabernet Sauvignon grape during color-changing period

赤霞珠葡萄采收期典型阴天(9月30日)和晴天(10月1日)主干茎流速率日变化如图3所示。与转色期相似,不同调亏灌溉条件下,晴天日出后赤霞珠葡萄主干茎流速率提升迅速,9:00左右达到高位,至17:00左右,主干茎流速率快速回落,总体呈昼高夜低的变化。而阴天只在正午前后进入短暂的高位,且峰值比晴天低。采收期夜间茎流速率波动平

缓,且白天茎流速率高的处理夜间茎流速率亦高。 T_1 处理茎流速率在晴天和阴天均表现最大, T_3 处理最小。相比CK,晴天 T_1 处理的茎流速率峰值增加了48.14%,而 T_2 和 T_3 处理分别减少21.35%和29.22%;阴天 T_1 处理的茎流速率峰值增加了42.81%, T_2 、 T_3 处理分别减少24.62%和36.75%。



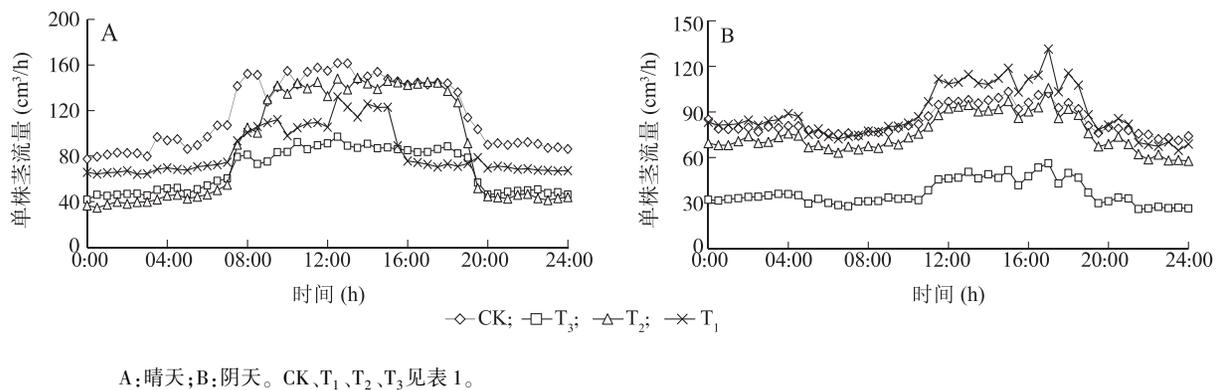
A:晴天;B:阴天。CK、 T_1 、 T_2 、 T_3 见表1。

图3 采收期赤霞珠葡萄主干茎流速率日变化

Fig.3 Diurnal variation of main stem sap flow rate of Cabernet Sauvignon grape during harvest period

2.1.2 赤霞珠葡萄单株茎流量日变化规律 无论阴天(8月17日)还是晴天(8月18日),转色期赤霞珠葡萄单株茎流量日变化特征与茎流速率的日变化基本一致(图4)。晴天日出后单株茎流量迅速提升,白天维持较高的茎流量,傍晚前后单株茎流量迅速回落。而阴天单株茎流量日变化平缓,且维持在

较低水平。 T_1 处理单株茎流量在晴天、阴天气条件下总体均表现最多, T_3 处理最少。相比CK,晴天 T_1 、 T_2 、 T_3 处理单株茎流量峰值分别减少18.30%、8.07%、40.10%;阴天 T_1 处理单株茎流量峰值增加27.30%, T_2 处理增加2.31%,而 T_3 处理减少45.65%。



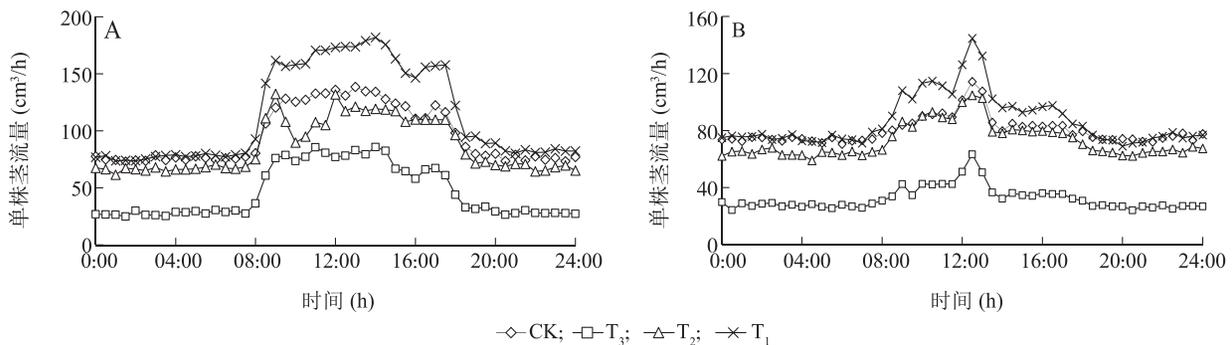
A:晴天;B:阴天。CK、T₁、T₂、T₃见表1。

图4 转色期赤霞珠葡萄单株茎流量日变化

Fig.4 Diurnal variation of stem flow per plant of Cabernet Sauvignon grape during color-changing period

同样,采收期赤霞珠葡萄单株茎流量日变化亦表现为昼高夜低的特征(图5)。晴天(10月1日)单株茎流量较阴天(9月30日)快速增加出现的时间早、峰值高、持续时间长,阴天单株茎流量变化幅度相对较小,仅在中午出现峰值,且维持时间短。T₁

处理单株茎流量在晴天和阴天总体均表现最多,T₃处理最少。相比CK,晴天T₁处理单株茎流量峰值增加31.44%,T₂、T₃处理分别减少4.39%、37.97%;阴天T₁处理单株茎流量峰值增加26.71%,T₂、T₃处理分别减少8.36%、44.57%。

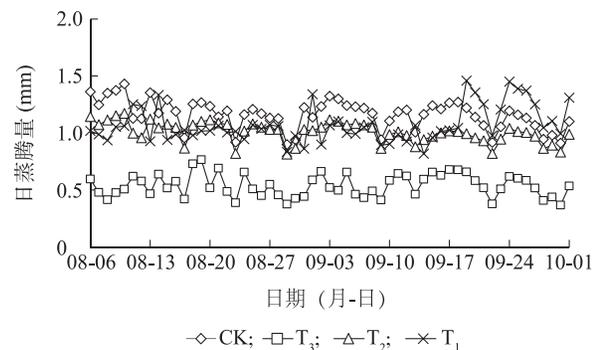


A:晴天;B:阴天。CK、T₁、T₂、T₃见表1。

图5 采收期赤霞珠葡萄单株茎流量日变化

Fig.5 Diurnal variation of stem flow per plant of Cabernet Sauvignon grape during harvest period

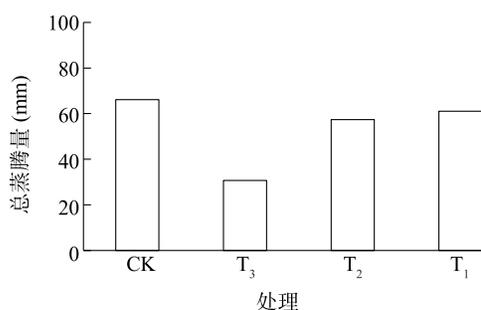
2.1.3 赤霞珠葡萄蒸腾量变化规律 赤霞珠葡萄转色期至成熟期日蒸腾量总体呈现波动且缓慢下降趋势(图6)。总体来看,CK的日蒸腾量最高,T₁、T₂处理次之,T₃处理最低。在受到一定时间干旱胁迫出现降水过程或灌溉时T₁处理的日蒸腾量会短暂高于CK。3个调亏灌溉处理中,转色期至成熟期T₁处理日蒸腾量波动最大,其峰值亦最高,T₃处理最小。转色期至成熟期日蒸腾量峰值T₁处理比CK增加2.05%,而T₂、T₃处理分别比CK减少17.96%和46.40%。转色期至成熟期CK总蒸腾量最高,其次依次为T₁、T₂、T₃处理;T₁、T₂、T₃处理总蒸腾量分别比CK减少7.74%、13.24%和53.59%(图7)。



CK、T₁、T₂、T₃见表1。

图6 转色期至成熟期赤霞珠葡萄日蒸腾量变化趋势

Fig.6 The change trend of daily transpiration of Cabernet Sauvignon grape from color-changing stage to maturity stage



CK、T₁、T₂、T₃ 见表 1。

图 7 赤霞珠葡萄转色期至成熟期总蒸腾量

Fig.7 Total transpiration of Cabernet Sauvignon grape from color-changing stage to maturity stage

2.2 调亏灌溉下赤霞珠葡萄单日蒸腾量及气象要素的相关性

赤霞珠葡萄转色期(8月6日)至采收期(10月1日)不同处理单日蒸腾量与该时段主要气象要素

表 2 调亏灌溉下赤霞珠葡萄日蒸腾量及主要气象要素间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between daily transpiration of Cabernet Sauvignon grape and main meteorological factors under regulated deficit irrigation

项目	日蒸腾量	光合有效辐射	降水量	平均气温	最高气温	平均相对湿度	日均露点温度	最大风速	日均水汽压
日蒸腾量	-								
光合有效辐射	0.553 **	-							
降水量	-0.496 **	-0.500 **	-						
平均气温	0.342 **	0.489 **	-0.160	-					
最高气温	0.356 **	0.496 **	-0.160	0.999 **	-				
平均相对湿度	-0.574 **	-0.675 **	0.407 **	-0.559 **	-0.575 **	-			
日均露点温度	-0.264 *	-0.316 *	0.270 *	0.274 *	0.255	0.631 **	-		
最大风速	0.050	-0.019	0.320 *	0.382 **	0.404 **	-0.253	0.032	-	
日均水汽压	-0.242	-0.303 *	0.282 *	0.303 *	0.285 *	0.603 **	0.990 **	0.060	-

* 和 ** 分别表示要素间相关性达显著($P < 0.05$)和极显著水平($P < 0.01$)。

2.3 调亏灌溉对赤霞珠葡萄浆果品质的影响

不同调亏灌溉处理对赤霞珠葡萄品质指标存在明显影响(表 3)。T₁处理的可溶性糖含量和可滴定酸含量显著高于其他处理。CK 的糖酸比最高,其次为T₂处理,但两者差异不显著;T₁、T₃处理的糖酸比显著低于 CK 和T₂处理。不同调亏灌溉处理(T₁、T₂、T₃),总酚含量及单宁含量都显著高于 CK;虽然 T₁ 处理的总酚含量及单宁含量比 T₂

相关性分析结果(表 2)表明:赤霞珠葡萄日蒸腾量与光合有效辐射、平均气温、最高气温均存在极显著正相关关系,与降水量、平均相对湿度均存在极显著负相关关系,与日均露点温度存在显著负相关关系。各气象要素之间亦表现出较好的相关性。其中,平均气温与光合有效辐射,最高气温与光合有效辐射及平均气温,平均相对湿度与降水量,日均露点温度与平均相对湿度,最大风速与平均气温和最高气温,日均水汽压与平均相对湿度和日均露点温度存在极显著正相关关系。日均露点温度与降水量、平均气温,最大风速与降水量,日均水汽压与降水量、平均气温及最高气温均存在显著正相关关系。降水量与光合有效辐射,平均相对湿度与光合有效辐射、平均气温、最高气温均存在极显著负相关关系。日均露点温度与光合有效辐射,日均水汽压与光合有效辐射存在显著负相关关系。

和 T₃ 处理高,但处理间差异不显著。T₁处理总花色苷含量最高,T₂处理最低,两者差异达显著水平,但T₃处理和 CK 与T₁、T₂的差异都未达到显著水平。T₁、T₃处理和 CK 的 pH 值基本一致,都显著低于T₂处理。

3 讨论

茎流速率作为重要的植物耗水指标,表征单

位时间内植物茎中液体上升的距离,反映了植物瞬时耗水情况^[19]。处于胁迫中的植物能通过优化气孔开度、调节主干茎流速率、改变蒸腾效率等方式进行自我保护^[20-21]。葡萄茎流的变化受植株自身状况、气象条件、灌溉方式及土壤水分状况等因素制约^[22]。本研究结果表明在调亏灌溉处理条件下,赤霞珠葡萄在转色期至成熟期主干茎流速率、单株蒸腾量总体均呈现昼高夜低变化趋势。采收期茎流速率、单株茎流量总体均低于转色期,且响应时间推后、变化幅度减小、峰值持续时间缩短,这种趋势在阴天表现更为突出。可能与阴天太阳

辐射强度小、气温低、湿度大、后期叶片老化导致植株蒸腾速率下降有关,这与夏桂敏^[23]等学者研究结果相同。对赤霞珠葡萄主干单日蒸腾量与气象要素相关性分析结果也表明,单日蒸腾量与光合有效辐射、平均气温、最高气温呈极显著正相关关系,与降水量、平均相对湿度呈极显著负相关关系,与日均露点温度呈显著负相关关系。说明采收期茎流速率的下降除了可能与后期植株衰老有关外,与后期气温降低也密切相关,这与白岩^[24]、李璐^[25]等研究结果相同。

表 3 调亏灌溉对赤霞珠葡萄浆果品质的影响

Table 3 Effect of regulated deficit irrigation on quality of Cabernet Sauvignon grape berry

处理	可溶性糖含量 (g/L)	可滴定酸含量 (g/L)	糖酸比	总酚含量 (mg/g)	单宁含量 (mg/g)	总花色苷含量 (mg/g)	pH
CK	270.15±0.53b	9.55±0.03b	28.31±0.14a	11.63±0.28b	9.75±0.20c	0.99±0.01ab	3.27±0.01b
T ₃	256.01±1.01d	9.56±0.02b	27.03±0.08b	14.03±0.18a	11.50±0.39a	0.99±0.02ab	3.27±0.01b
T ₂	265.11±2.01c	9.50±0.03b	27.90±0.27a	14.04±0.38a	11.29±0.16ab	0.97±0.01b	3.32±0.02a
T ₁	277.40±0.87a	10.20±0.08a	27.21±0.18b	14.88±0.19a	11.79±0.47a	1.02±0.01a	3.28±0.01b

同列数据后小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。CK、T₁、T₂、T₃见表 1。

本研究中T₁处理灌水量最少,在不同天气条件和发育阶段茎流速率、单株茎流量总体均维持在较高水平,T₂、T₃处理茎流速率均低于CK。单株蒸腾量除T₁处理后期出现增加外,其他处理均低于CK。9月下旬出现了20 cm左右的降水,导致T₁处理单日蒸腾量骤然增加,其他处理单日蒸腾量呈波动趋势,但总体均低于CK,表明T₁处理条件下,赤霞珠葡萄植株长时间处于水分亏缺状态,一旦得到外界水分补充,能快速触发水分运输机制,增加植株蒸腾量。晴天条件下不同处理赤霞珠葡萄主干茎流特征均未出现明显的“午休”现象,即午间并未出现蒸腾抑制现象,说明不同调亏灌溉处理并未影响赤霞珠葡萄正常的蒸腾作用,这与石美娟^[26]等研究结果相同。相关性分析结果也表明,日蒸腾量与光合有效辐射、平均气温呈极显著正相关关系,与降水量、平均相对湿度呈极显著负相关关系。在不同调亏灌溉处理中,T₁处理灌水量最少,导致植株时常处于水分亏缺状态,此时主干通过提高水分运输速率来增加水分供应量,这可能是赤霞珠葡萄在水

分亏缺条件下的自我调节机制。其他灌溉处理条件下,赤霞珠葡萄主干水分运输效率相对较低,说明在这些灌溉处理条件下,赤霞珠葡萄植株自身并未达到水分亏缺阈值,外界胁迫未能触发自身生理调节机制来抵御逆境胁迫,不能实现充分节水。这与南庆伟^[27]、刘帮等^[28]的研究结果相同。试验中T₁、T₂、T₃处理及CK的灌溉量呈依次递增的趋势,但总蒸腾量呈CK、T₁处理、T₂处理、T₃处理由高到低的变化趋势,这表明,CK有充足水分供应,植株未处于水分胁迫条件,因此蒸腾量最大。试验处理前不同处理间植株生长均一,试验后期T₃处理叶面积指数偏少,叶色暗黄,结果中总蒸腾量异常偏小,与其他处理不呈梯度变化,可能是安装茎流仪探针时植株木质部受损,阻碍了水分运输有关。T₁处理总蒸腾量略高于T₂处理,可能与T₁处理植株处于胁迫条件的时间长、程度高有关,即T₁处理更能促进水分转运效率,提高水分利用效率,具体原因尚有待于进一步研究。夜间茎流不仅能有效调节植株水分平衡,而且有利于驱动根系吸收的营养物质

向冠层运输^[29-30]。本试验中夜间茎流速率变化趋势平缓,但都大于零,且晴天高于阴天,转色期总体高于采收期。说明在不同时期不同调亏灌溉处理下,白天的茎流不能充分满足植株的需要。此外,本研究结果还表明不同发育阶段植株的蒸腾消耗也存在差异,这与马长明等^[31]研究结果相同。

转色后,赤霞珠葡萄开始第二次膨大,对水分的需求量仅次于第一次膨大期。膨大期浆果对水分需求大,适当水分调亏不仅有利于促进营养生长、提高水分利用效率,而且还能显著提高浆果品质^[14]。浆果成熟期进行调亏灌溉处理,不仅能有效调控葡萄营养生长,提高水分利用效率,而且还能有效促进果实干物质积累,提高葡萄品质^[32]。本研究结果表明,CK灌溉量最多,总蒸腾量最大,耗水多,节水效率低。不同调亏灌溉处理下,总蒸腾量减少,但调亏灌溉处理并未引起植株水分运输障碍。综合试验结果表明,与正常灌溉(CK)相比, T_1 调亏灌溉处理不仅能显著提高赤霞珠葡萄浆果的可溶性糖含量、总酚含量、单宁含量,同时还能促进色素积累。这可能与 T_1 调亏灌溉处理引起同化物在营养器官与生殖器官间的重新分配及补偿效应有关^[33]。

4 结论

赤霞珠葡萄主干茎流速率、单株茎流量总体呈现昼高夜低的变化趋势。其中,晴天日出后茎流量迅速提升,直至日落前后回落,而阴天茎流量提升慢,峰值低,峰值持续时间短。晴天和阴天均存在夜间茎流现象,且白天茎流速率高的处理夜间茎流速率亦高。

T_1 调亏灌溉处理,全生育期累计灌水 $3\ 900\ \text{m}^3/\text{hm}^2$,比对照节水31.58%,该灌溉处理不仅能促进赤霞珠葡萄主干茎流速率、单株茎流量及日蒸腾量,而且能显著提高浆果可溶性糖、总酚及单宁含量,促进浆果色素积累。采用该调亏灌溉处理,不仅能实现大幅节水,而且能显著提高赤霞珠葡萄浆果品质。

参考文献:

[1] 杨伟,李东.宁夏贺兰山东麓葡萄酒产业发展存在的问题及对策[J].现代农业科技,2022(5):219-222.
[2] 李晓航,盛坤,蒋志凯.基于多层次模糊评判法对小麦调亏

沟灌方式的分析[J].江苏农业学报,2022,38(3):635-641.
[3] 高佳,张宏斌,张恒嘉,等.绿洲灌区膜下滴灌调亏对辣椒品质及产量的影响[J].排灌机械工程学报,2021,39(4):404-409.
[4] 李彪,孟兆江,申孝军,等.隔沟调亏灌溉对冬小麦、夏玉米光合特性和产量的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(11):8-14.
[5] 汪精海,李广,银敏华,等.调亏灌溉对高寒荒漠区人工混播草地土壤环境与牧草生长的影响[J].草业学报,2022,31(1):95-106.
[6] 张纪圆,赵经华,庞毅,等.调亏灌溉对滴灌核桃树耗水规律及产量的影响[J].西北农业学报,2021,30(11):1674-1684.
[7] 张梅花,刘静霞,张芮,等.不同生育期调亏灌溉对酿酒葡萄耗水及产量和品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2019,54(4):53-59.
[8] 徐利岗,苗正伟,杜历,等.干旱区枸杞树干液流变化特征及其影响因素[J].生态学报,2016,36(17):5519-5527.
[9] WEIBEL F, PVOS J A. Transpiration measurements on apple trees with an improved stem heat balance method[J]. Plant and Soil, 1994,166:203-219.
[10] 房玉林,孙伟,万力,等.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.
[11] 刘洪光,何新林,王雅琴,等.调亏灌溉对滴灌葡萄生长与产量的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2010,28(5):610-613.
[12] 雷金银,雷晓婷,尹志荣,等.灌溉制度对贺兰山东麓酿酒葡萄生长、产量及品质的影响[J].灌溉排水学报,2021,40(9):32-39,56.
[13] 沈甜,许泽华,陈卫平,等.不同灌水定额对赤霞珠葡萄土壤水势和果实品质的影响[J].江苏农业科学,2017,45(22):136-139.
[14] 胡宏远,李双岑,马丹阳,等.水分胁迫对赤霞珠葡萄果实品质的影响研究[J].节水灌溉,2016(12):36-41.
[15] 高景源,张建丰,李涛,等.极端干旱地区葡萄茎流变化规律分析[J].灌溉排水学报,2017,36(S1):55-60.
[16] 王雪梦,胡笑涛,冉辉,等.不同施肥处理葡萄着色成熟期茎流规律及对气象因子的响应[J].中国农村水利水电,2020(6):125-129.
[17] 孙嘉星,王丽娟,韩卫华,等.不同灌溉水平对酿酒葡萄茎秆液流特征和产量、品质的影响[J].灌溉排水学报,2021,40(10):18-24.
[18] 王华.葡萄酒指标分析检测[M].西安:西安地图出版社,2000.
[19] 孙雨婷.阿克苏地区枣树茎流变化特征及影响因子研究[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2013.
[20] 李宏,黎欢,裴东,等.开花期枣树茎流与气象因子的关系[J].广西植物,2016,36(10):1198-1204,1191.
[21] 李思静,查天山,秦树高,等.油蒿(*Artemisia ordosica*)茎流动态及其环境控制因子[J].生态学杂志,2014,33(1):112-118.
[22] 杜太生,康绍忠,张宝忠,等.石羊河流域干旱荒漠绿洲区不同

- 滴灌模式下葡萄茎液流变化及其与环境因子的关系[J].应用生态学报,2008,19(2):299-305.
- [23] 夏桂敏,孙媛媛,王玮志,等.‘寒富’苹果树茎流特征及其对环境因子的响应[J].中国农业科学,2019,52(4):701-714.
- [24] 白岩,朱高峰,张琨,等.基于树干液流及涡动相关技术的葡萄冠层蒸腾及蒸散发特征研究[J].生态学报,2015,35(23):7821-7831.
- [25] 李璐,董晓华,赵乔,等.盆栽柑橘树蒸腾过程的观测与模拟研究[J].灌溉排水学报,2016,35(4):98-104.
- [26] 石美娟,窦彦鑫,任哲斌,等.滴灌条件下富士苹果树茎流速率变化规律研究[J].中国农学通报,2019,35(10):58-65.
- [27] 南庆伟,王全九,苏李君.极端干旱区滴灌条件下葡萄茎流变化规律研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):60-67.
- [28] 刘帮,李宏,张志刚,等.阿克苏地区井式灌溉方式下枣树茎流变化[J].西北林学院学报,2015,30(3):54-60.
- [29] DALEY M J, PHILLIPS N G. Interspecific variation in night-time transpiration and stomatal conductance in a mixed new England deciduous forest[J]. Tree Physiology,2006,26:411-419.
- [30] 徐先英,孙保平,丁国栋,等.干旱荒漠区典型固沙灌木液流动态变化及其对环境因子的响应[J].生态学报,2008,28(3):895-905.
- [31] 马长明,刘广营,张艳华,等.核桃树干液流特征研究[J].西北林学院学报,2010,25(2):25-29.
- [31] 纪学伟,成自勇,赵霞,等.调亏灌溉对荒漠绿洲区滴灌酿酒葡萄产量及品质的影响[J].干旱区资源与环境,2015,29(4):184-188.
- [32] 刘洪光,何新林,王雅琴,等.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.

(责任编辑:石春林)