

# 不同农艺措施对西拉葡萄叶片水势和土壤水势的影响

党新晨<sup>1</sup>, 沈忠义<sup>2</sup>, 张一单<sup>3</sup>, 宋于洋<sup>3\*</sup>

(1. 新疆中信国安葡萄酒业有限公司, 新疆 玛纳斯 832200; 2. 新疆沙地葡萄酒业股份有限公司, 新疆 石河子 832000; 3. 石河子大学农学院, 新疆 石河子 832000)

**摘要:**【目的】通过生草、遮阴、交替灌溉三种不同的农艺措施对西拉(Syrah)葡萄的叶片水势和土壤水势进行分析, 以确定不同水势对产品质量的影响, 为适时定量灌溉提供科学依据。【方法】以2年相同条件下酿酒葡萄西拉(Syrah)为研究对象, 采用行间种植紫花苜蓿、黑色遮阳网、单行双管滴灌交替灌溉这三种措施, 对西拉(Syrah)葡萄转色期前后的叶片水势、土壤水势、气孔导度和叶片节位等进行综合研究, 最终以采收后理化指标和感官评定作为判定依据确定最佳农艺措施。【结果】交替灌溉措施在叶片水势和土壤水势中表现最为显著, 且原料采收后对产品质量有明显提升。【结论】转色期交替灌溉措施土壤水势达到-60~-80 Kpa时宜适量灌水, 果实总糖含量达到260 g/L以上采收最佳。

**关键词:** 叶片水势; 土壤水势; 生草; 遮阴; 交替灌溉

中图分类号: S663.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)05-0063-06

## Effects of Different Agronomic Measures on Blade Water Potential and Soil Water Potential of Grape Syrah

DANG Xinchen<sup>1</sup>, SHEN Zhongyi<sup>2</sup>, ZHANG Yidan<sup>3</sup>, SONG Yuyang<sup>3\*</sup>

(1. Xinjiang CITIC Guoan Wine Co., Ltd., Manas 832200; 2. Xinjiang Sandland Wine Industry Co., Ltd., Shihezi 832000; 3. College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** Leaf water potential and soil water potential of Syrah grape was analyzed by three different agronomic measures of grass growing, shading and alternate irrigation, so as to determine the influence of different water potential on product quality and provide scientific basis for timely quantitative irrigation. Taking the wine grape Syrah as the research object under the same conditions within 2 years, the leaf water potential, soil water potential, stomatal conductance and leaf node of Syrah grape before and after the color transformation stage were comprehensively studied by using three measures: planting alfalfa between rows, black sunshade net, single row and double pipe irrigation. Finally, the best agronomic measures were determined based on the physical and chemical indexes and sensory evaluation after harvest. The effect of alternate irrigation was the most significant in leaf and soil water potential, and the quality of raw materials was significantly improved after harvesting. The optimal harvest was achieved when the soil water potential was from -60 to -80 Kpa and the total sugar content of fruit was above 260 g/L.

**Key words:** Blade water potential; Soil water potential; Grass cover; Shade; Alternate irrigation

葡萄植株水分状况是影响葡萄质量、产量和葡萄成分含量的关键因素, 葡萄在不同生育期对水分需求量不同, 转色期是葡萄浆果生长过程中的重要阶段, 意味着葡萄成熟的开始, 对酿酒葡

萄颜色影响最大, 且水分亏缺对浆果大小有显著影响, 浆果直径的减小可以提高果皮/果肉的比例, 则会提供更丰富的内含物, 这是后期原酒质量提升的先决条件, 因此宜进行合理的水分调控予以引导。目前不同的农艺措施可适当调整葡萄水分状况, 进而起到调节葡萄果实代谢、改善果实品质的目的, 通常适度降低土壤水势会起到增糖降酸的作用。国外部分学者研究认为葡萄园生草可改善土壤物理性状, 提高土壤水分的利用率<sup>[1-2]</sup>; 李国怀等<sup>[3]</sup>认为果园生草可提高土壤含水

收稿日期: 2023-12-28

基金项目: 国家重点研发计划延伸课题(2019YFD1001405-3)

作者简介: 党新晨(1976-), 男, 农艺师, 从事葡萄栽培与酿造研究。

通信作者: 宋于洋, 男, 博士, 教授, E-mail: 1694658683@qq.com

量;遮阴可以降低浆果温度,从而起到改善葡萄成分的作用<sup>[4]</sup>;交替灌溉可显著降低气孔导度和无效蒸腾,提高水分利用率<sup>[5]</sup>。葡萄在不同的土壤条件下需要的土壤含水量不同,但维持正常生命所需要的土壤水势相同<sup>[6]</sup>,土壤水分状况可以直接从土壤含水量和土壤水势中推断出来<sup>[7]</sup>,这些给土壤水分提供了可靠且直接的信息<sup>[8]</sup>。王项娜<sup>[9]</sup>研究发现,叶片水势与土壤水分状况之间存在一定的联系,而植物叶片水势不仅可以确定植物受干旱胁迫的程度和植物抗旱能力,还可以表现植物获取水分的能力<sup>[10]</sup>,随着干旱胁迫程度的增加,气孔开放水平受到水分胁迫的抑制<sup>[11]</sup>。葡萄不同节位的叶片对干旱的响应敏感度存在明显差异,这种差异和叶片水势的变化及其反馈调节有密切的联系<sup>[12]</sup>。

新疆天山北麓是中国主要的葡萄酒产区之一,但世界酿酒葡萄名种西拉(Syrah)种植较少,主要是该品种虽经多次引种,但因对品种特性了解不足,栽培措施不完善,所酿葡萄酒颜色、香气和口感质量一般,与国外产品相比未能体现出其原有特性。本研究采用生草、遮阴、交替灌溉措施,研究在三种不同的农艺措施下土壤水势和叶片水势的变化规律,从中筛选出最适宜的农艺措施在何种水势条件下灌溉效果最佳,进而保证采收后产品质量的提升,为新疆西拉(Syrah)葡萄进行适时定量化灌溉提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

试验地设在石河子市152团种植园,该地区位于天山北麓中段,准噶尔盆地南部。石河子属于典型的温带大陆性气候,无霜期为168~171 d, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为4 023~4 118  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温为3 570~3 729  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。年降水量为125.0~207.7 mm,每年降雨量较少,光照充足,昼夜温差大,年日照时数为2 721~2 818 h。

### 1.2 试验材料

试验葡萄品种为15年生西拉(Syrah),果园树势良好,生长一致,南北行向,株行距1 m $\times$ 3 m。行间生草为紫花苜蓿(*Medicago sativa*);遮阴采用顶部距离葡萄地面3 m高、遮光率为50%的黑色遮阳网全面覆盖。葡萄园在冬季修剪时主蔓每米留12~14个结果母枝,结果枝留2~3芽,公顷产定量9 000~10 500 kg。

### 1.3 试验方法

试验于2020年7月~2021年9月进行。土壤

类型为沙壤土,灌溉方式为滴灌,滴灌带布置在距葡萄根部两侧50 cm处。试验共设3个处理,生草栽培:紫花苜蓿生长高度20~30 cm;遮阴:遮光率为50%的黑色遮阳网;交替灌溉:采用单行双管滴灌的方式,若这一周期一侧灌水,则下一周期另一侧灌水交替进行。对照:灌水量正常,不进行遮阴和生草。对照、遮阴及生草处理灌溉量均为800  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,交替灌溉处理灌溉量为对照的70%。

#### 1.3.1 土壤含水量及水势测定

采用土壤温湿度记录仪监测,分别在滴灌带下方10 cm、20 cm、30 cm、40 cm、50 cm、60 cm、70 cm埋设土壤水分探头,间隔5 d测量一次土壤含水量,共测量3次数值,平均值作为当天的土壤含水量。土壤水势采用土壤水势测定仪进行测定,将玻璃管埋在距离葡萄根系外30 cm处,土层深度30 cm,土壤水势测量与土壤含水量测量为同一天同一时间点10:00、15:00、19:00,得到的平均数为当天土壤水势值。

#### 1.3.2 叶片水势测定

在7月12日到8月17日一个灌水周期内,在灌水后第3天进行叶片水势测量,并以5 d为间隔,采用便携式植物水势压力室测定叶片水势。测量时选择生长一致新梢中部成熟的6片叶,测取数值的平均数为当天此处理的叶片水势值。在进行叶片不同节位水势测量时,选取生长势相似的3根枝梢,每根枝梢选取10节叶片,3根枝梢同节位叶片水势平均值代表该节位叶片水势。

#### 1.3.3 气孔导度测定

采用便携式光合测定仪测量气孔导度,选取5个枝条上第7~8节完全展开的叶片,3个重复每次选2个叶片,测量时间与叶片水势测量同步。

#### 1.3.4 样品采集、制备和糖酸测定

于10月8日采集浆果样品。每个处理称取100个浆果,分别进行压榨。6 000 r/min离心5 min,得到澄清的葡萄汁。采用手持式数显糖计测定葡萄汁中可溶性固形物的含量。葡萄汁的可滴定酸度用0.05 mol/L NaOH滴定,并用酒石酸当量表示。

#### 1.3.5 感官评定

由新疆张裕巴保男爵酒庄有限公司和新疆中信国安葡萄酒业有限公司的8名国家级品酒师和2名酿酒师,对不同农艺措施的西拉(Syrah)葡萄从色泽、香气、口感等方面进行100分制评分,最

后取平均值。

#### 1.4 仪器与设备

本次试验研究使用的仪器是石家庄雷神电子仪器有限责任公司生产的土壤温湿度记录仪(Micro Life 5032P-RH)、土壤水势测定仪(TRS-II)、便携式植物水势压力室(QT-WP080A)、光合测定仪(Li-6400XT)、手持式数显糖度仪。

#### 1.5 数据统计

试验数据使用 Excel 2007 软件进行整理、分析及制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同农艺措施对一个灌水周期内叶片水势的影响

由图 1 可知,叶片水势随时间的变化而变化,在一个周期内整体呈下降趋势。生草处理叶片水势由  $-1.3$  Mpa 下降至  $-1.9$  Mpa,变化量  $0.6$  Mpa;遮阴处理叶片水势变由  $-1.3$  Mpa 下降至  $-1.8$  Mpa,变化量仅为  $0.5$  Mpa;相比之下,交替灌溉处理由  $-1.4$  Mpa 下降至  $-2.5$  Mpa,变化量最大,为  $1.1$  Mpa。与对照相比,生草和遮阴二者相似,变化较小,交替灌溉对叶片水势影响最大。从整体来看,这 3 种处理和对照的叶片水势在一个周期内均呈现下降趋势,但在过程中变化规律未以阶梯状层层下降,在已经浇水几天后还有叶片水势值略有上升,主要是检测前几天有少量降雨,同时还有个别时间段下降量较整体偏少,则是因测量当天或之前天气状况为阴天所致。此外在测量过程中还发现叶片的老嫩程度对结果也有一定的影响,即离地面高的叶片比离地面低的叶片在叶片水势上下降量大,这种现象在中期表现得尤为明显。

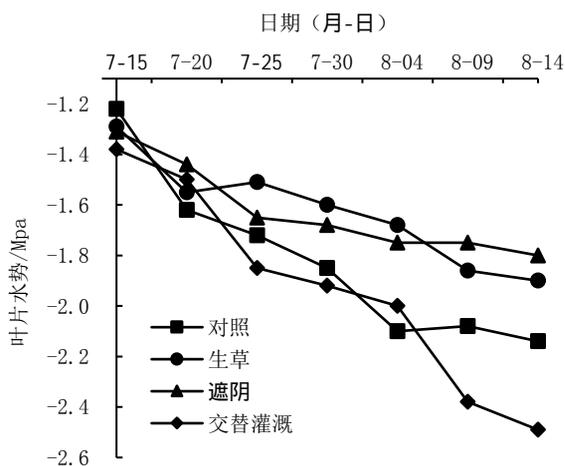


图 1 不同农艺措施对一个灌水周期内叶片水势的影响

### 2.2 不同农艺措施对一个灌水周期内气孔导度的影响

气孔导度对干旱的响应非常敏感,从图 2 可以看出,在整个进程中不同的农艺措施,气孔导度随着灌水后天数的增加而减小,同时气孔导度变化速率略有不同,干旱程度越重,气孔导度下降程度越大。其中生草气孔导度从  $975$   $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  下降到  $507$   $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,下降量为  $48\%$ ;遮阴气孔导度从  $928$   $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  下降到  $464$   $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,下降量为  $50\%$ ,与生草相比变化规律基本一致;而交替灌溉气孔导度则从  $881$   $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  下降到  $219$   $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,下降量高达  $75\%$ ,这与其本身的灌溉方式及灌溉量为其他措施的  $70\%$  密切相关,其对葡萄的主要影响可能是在干燥的根部产生化学信号(即 ABA),这些信号被输送到叶片上后引起气孔导度的降低。此外在检测枝条第 7~8 节叶片时发现,不同高度叶片气孔导度下降的程度和速度不同,即离地面高的叶片比离地面低的叶片在气孔导度数值上下降量要大,说明不同高度叶片气孔导度对干旱响应的敏感度不同。从气孔导度下降量来看,这 3 种措施和对照在前期水分降幅较大,气孔导度下降迅速,后期土壤逐渐干旱水分较少,气孔导度下降量开始趋于平稳,至于图中个别时间段气孔导度上升,则是受下雨或阴天的影响,总体趋势不变。

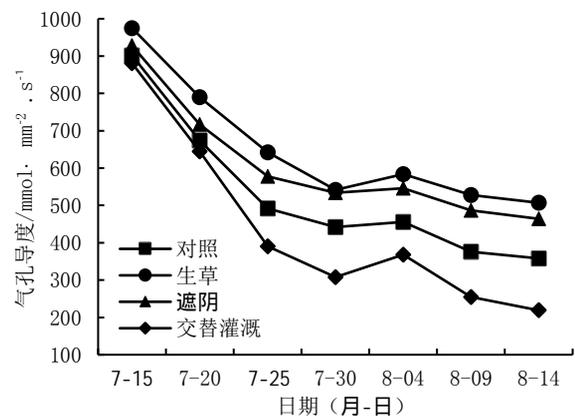


图 2 不同农艺措施对一个灌水周期内气孔导度的影响

### 2.3 不同农艺措施下一个灌水周期内叶片节位与叶片水势的变化关系

叶片水势与节位的相关性如表 1 所示。灌水后第 3 天测量不同节位叶片水势,3 种农艺措施下叶片水势与节位决定系数  $R^2$  在  $0.0003 \sim 0.3115$ ,两者线性关系较弱,但不同节位叶片水势分布较为水平,主要原因为底部叶片吸收水分,含水量充足叶片水势小,由此表明在水分充足的情况

表1 不同农艺措施叶片节位与叶片水势变化关系

处理	灌水后天数/d	相关关系	决定系数R <sup>2</sup>
对照	3	$y=0.012 0x-1.246 0$	0.111 1
遮阴	3	$y=0.016 1x-1.424 7$	0.311 5
生草	3	$y=0.000 6x-1.339 3$	0.000 3
交替灌溉	3	$y=0.004 5x-1.414 0$	0.028 8
对照	15	$y=0.059 3x-2.048 0$	0.681 7
遮阴	15	$y=0.042 4x-1.862 0$	0.534 0
生草	15	$y=0.031 0x-1.637 7$	0.500 7
交替灌溉	15	$y=0.048 4x-2.055 3$	0.762 6
对照	30	$y=0.080 2x-2.027 3$	0.853 3
遮阴	30	$y=0.068 3x-2.218 7$	0.794 5
生草	30	$y=0.087 5x-2.586 0$	0.803 8
交替灌溉	30	$y=0.107 6x-2.782 0$	0.871 8

下,叶片水势与叶片所属节位没有关系;灌水后第15天进行第二次测量,此时叶片水势与叶片节位有线性关系, $R^2>0.5$ ,在轻度干旱条件下叶片水势在前5节规律性不强,后5节随节位上升而减小,表明二者相关性不太明显;灌水后第30天进行第3次测量,此时叶片水势与叶片节位有线性关系, $R^2>0.7$ ,叶片水势随节位上升而减小,在严重干旱的条件下土壤水分较少,植株吸水少,叶片水势变化趋于稳定,变化量不大,与叶片节位关系突出。由此可以看出,在干旱条件下交替灌溉的相关性最为突出,同时也说明在测量叶片水势时,还需考虑土壤干旱程度和叶片节位这些因素。

#### 2.4 不同农艺措施对一个灌水周期内土壤水势的影响

从图3可知,这种农艺措施的土壤水势下降幅度由开始的9~24 Kpa变为后期的1~3 Kpa,呈先快后慢趋势。其中生草处理土壤水势下降31 Kpa,遮阴处理土壤水势下降30 Kpa,二者因本身具有保温保湿、减少水分蒸发的作用,所以差异基本一致;交替灌溉土壤水势下降量最大,达49 Kpa,主要是因为灌水方式的不同造成土壤含水量比生草、遮阴少,土壤水势下降明显特别是前中期下降趋势尤为显著。从整体来看,灌水后土壤含水量增大,表层土壤水分受蒸腾作用而损

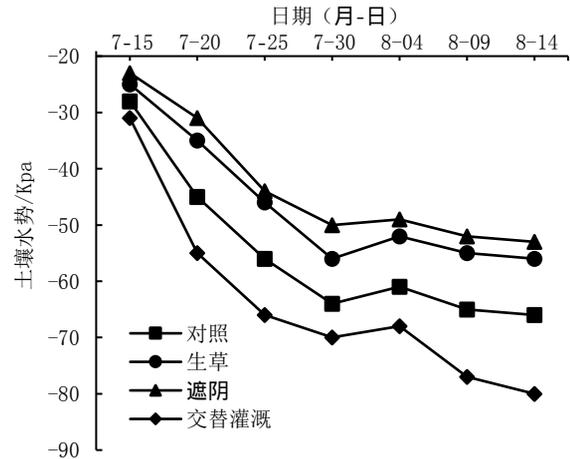


图3 不同农艺措施对一个灌水周期内土壤水势的影响

失,受重力吸力向下渗透,因此表层水分主要分为4部分,本土层土壤吸收截留、蒸腾消耗、渗入更深层次和补充周边土壤水分。起初土壤吸收水分较小,植物根系吸水能力大,土壤水势不断降低,所以对照、交替灌溉土壤含水量变化大,水分交换较多,致使土壤水势变化大且下降量较大;生草、遮阴因本身具有的特性使土壤含水量变化较慢,水分交换较少,土壤水势变化量较小。中后期随着时间的增加土壤含水量降低,土壤水势增加。尤其到最后几天,随着土壤吸水能力的增加和蒸腾作用的减少,植物很难从土壤中吸收水分,这将会对植物产生不利影响。

#### 2.5 不同农艺措施对理化指标和感官评定的影响

葡萄成熟后所检测的糖、酸含量是保障葡萄酒质量的重要理化指标,从表2可以看出,不同农艺措施下果实的糖、酸含量差异明显。遮阴、生草二者比对照的可滴定酸含量高、糖度低,其中遮阴尤为明显;交替灌溉条件下糖、酸含量与对照相比则是糖含量高、酸度低,糖含量指标中交替灌溉>对照>生草>遮阴,而可滴定酸含量交替灌溉最低、遮阴最高。本研究表明葡萄园生草、遮阴措施降低了反射辐射、冠层温度和作物蒸腾,起到降糖增酸的效果,而高温则加速了可溶性固形物的积累,糖度增加、酸度降低。但是在实际应用中还需考虑所种植地区的气候及土壤

表2 不同农艺措施对理化指标和感官评定的影响

处理	产量/kg·hm <sup>-2</sup>	总糖/g·L <sup>-1</sup>	酒精度(20℃)/%	挥发酸/g·L <sup>-1</sup>	可滴定酸/g·L <sup>-1</sup>	pH	干浸出物/g·L <sup>-1</sup>	感官评定/分
对照	10 410	255.39±2.37	13.9	0.44	5.32±0.54	3.82	30.5	82
生草	10 590	246.46±1.06	13.2	0.47	5.90±0.11	3.79	29.1	85
遮阴	10 760	233.27±1.59	12.5	0.43	6.31±0.12	3.71	27.4	81
交替灌溉	10 280	261.96±2.19	14.4	0.38	5.14±0.38	3.85	32.7	92

水分状况,以及所种植的葡萄品种和草种等不同因素。

葡萄采收后同一工艺酿造,对比不同农艺措施下葡萄酒的感官评定,生草和遮阴葡萄酒颜色呈宝石红,香气欠佳,酒体略显单薄,品质一般。交替灌溉葡萄总糖达到 260 g/L 后所酿的原酒,产品质量有显著提高,酒体颜色呈深宝石红,香味浓郁、典型,口感饱满,单宁充沛柔顺,酒体醇厚。因此可以看出,对于西拉(Syrah)葡萄在交替灌溉下较高的水分胁迫是保证其原料糖高酸低的先决条件,也是后期原酒质量提高的重要因素。

### 3 讨论

土壤水分含量是影响作物产量和果实品质形成的重要因素,在葡萄果实成熟期,灌水较多果实质量明显降低,相反水分亏缺对果实品质有显著提升<sup>[13]</sup>。本研究发现在相同灌水周期内,葡萄园进行生草和遮阴措施可减少水分蒸发并具有保温保湿作用,水势变化量较小,果粒二次膨大较快且转色较慢,果实硬度增大、产量增加;交替灌溉水势变化显著,当土壤水分严重胁迫时可有效减少光合产物向茎叶等营养器官的流动,更多地分配到生殖器官即果实中,同时果皮收缩降低果粒体积,从而增加果实中糖分浓度。这些研究表明在果实转色时糖分开始积累,此时一定的水分胁迫可以促进更多光合产物向果实中转运,固形物含量提高。因此为了生产优质的葡萄酒,适度增加水分胁迫有助于提升果实的品质。

为了获得稳定优质的葡萄原料,一些地区根据土壤类型、气候特点及葡萄品种把土壤水势或叶片水势作为定量化灌溉指标。不同的葡萄品种对土壤水势的要求不同,研究表明根域限制栽培的4年生“峰后”葡萄,以土壤水势-16.86 Kpa作为葡萄浆果成熟期开始灌水的土壤水势临界值<sup>[14]</sup>;克瑞森葡萄则要求土壤水势维持在-70.56~-67.52 Kpa有助于更多的光合产物向果实中转运<sup>[15]</sup>。本研究通过不同的农艺措施发现,西拉(Syrah)葡萄在转色期当交替灌溉的土壤水势达到-60~-80 Kpa时再进行灌水效果最佳,生草和遮阴土壤水势下降量较小表现不明显。除土壤水势外,也有一些区域受土壤质地复杂多变的影响采用叶片水势作为灌溉指标,如国外研究认为国产多瑞加(Touriga Nacional)葡萄品种的叶片水势在低至-1.4~-1.6 Mpa再进行灌溉<sup>[16]</sup>,卡尔卡拉斯(Cal Karasi)红葡萄酒葡萄品种的叶片水势在-0.4~-1.6 Mpa宜于浇水<sup>[17]</sup>,

国内有学者认为无核白鸡心葡萄水分胁迫下的叶片水势可以达到-1.4~-1.8 Mpa<sup>[17]</sup>。本试验结果表明在土壤含水量变化相对稳定时,土壤水势下降则叶片水势会随之降低(图1、图3),但叶片水势相对于土壤水势具有滞后性,同时叶片水势与节位在灌水前、中期二者相关性不明显,后期在水分严重胁迫下才显著相关。此外在浇水良好的条件下不同节位叶片气孔导度有差异,干旱条件下不同节位叶片气孔反应敏感度不同<sup>[12]</sup>。通常气孔关闭是叶片水分亏缺的反映<sup>[18]</sup>,也有其他证据表明,在叶片水势没有任何变化的情况下,气孔关闭也会发生<sup>[19]</sup>。本研究葡萄叶片水势受当地气候、植株节位、叶片高度、测量时间影响较大,具体表现为不同节位叶片水势不同,同等节位不同高度叶片水势也不同,只有在严重干旱的情况下叶片水势才具有应用价值,反之则无现实意义。因此在新疆北部气候干燥的条件下,土壤水势方便操作易于获取(土壤类型相对稳定),而叶片水势只能作为参考指标。

葡萄转色发育期是果实成熟过程中对水分较敏感的时期,水分胁迫则是影响作物生长发育的主要限制因子之一<sup>[20]</sup>,土壤水势高于或低于水势阈值范围时,会影响果树生理变化,积累到一定程度时表现为形态变化<sup>[21]</sup>,对于葡萄果实的影响主要表现为果穗松紧、果粒大小、果皮颜色、果实内含物多少等方面。目前新疆北麓西拉(Syrah)葡萄果实通常穗大粒重,果穗紧凑,果粒成熟不均匀,所酿葡萄酒口感平淡酒体单薄,为了使果穗松散果粒变小,在葡萄转色期(第二次膨大期)必须采取水分胁迫相对较重的农艺措施。因此从外观形态上看,交替灌溉比生草和遮阴效果好,并且在交替灌溉措施下,果实内总糖达到 260 g/L 以上时对葡萄酒质量有明显提升,这也从感官评定时综合评分最高得到论证。

### 4 结论

不同的农艺措施在一个灌水周期内,叶片水势和土壤水势呈下降趋势,其中交替灌溉在二者中变化量最大,同时气孔导度随灌水后天数的增加而减小,且变化速率略有不同,此外叶片节位和叶片水势在水分严重胁迫的条件下存在显著相关性。因新疆北部气候干燥的原因,土壤水势方便操作易于获取而叶片水势受外界影响较大只能作为参考指标。

在转色期适度增加水分胁迫有助于提升果实

品质,不同农艺措施中当交替灌溉措施土壤水势达到 $-60\sim-80$  Kpa时效果最佳,可作为葡萄浆果成熟期开始灌水的土壤水势临界值。

这3种农艺措施中当交替灌溉措施在葡萄采收时总糖达到260 g/L以上,后期经同等工艺所酿的原酒,其产品质量在颜色、香气和口感上提高显著,使其具备了西拉(Syrah)葡萄的原有特性。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Monteiro A,Lopes C M.Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal [J]. Agriculture,Ecosystems and Environment,2007,121:336-342.
- [ 2 ] Amy P K,Alison M B.Vineyard $\delta^{15}N$ ,nitrogen and water status in perennial clover and bunch grass cover crop systems of California's central valley[J]. Agriculture,Ecosystems and Environment, 2005, 109: 262-272.
- [ 3 ] 李国怀,伊华林. 生草栽培对柑橘园土壤水分与有效养分及果实产量、品质的影响[J]. 中国生态农业学报,2005,13(2):161-163.
- [ 4 ] Martínez L J, Chen C C, Brillante L, et al. Partial solar radiation exclusion with color shade nets reduces the degradation of organic acids and flavonoids of grape berry (*Vitis vinifera* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(49): 10693-10702.
- [ 5 ] 蔡伟,翟衡,厉恩茂,等.部分根区干旱对不同砧木嫁接葡萄光合作用的影响[J].园艺学报,2007,34(5):1081-1086.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] Masseroni D, Facchi A, Depoli E V, et al. Irrig-OH: An Open-Hardware Device for Soil Water Potential Monitoring and Irrigation Management[J]. Irrigation and Drainage, 2016, 65(5): 750-761.
- [ 8 ] Kassu T K, Julien B, Van T L, et al. Monitoring soil water content for decision supporting in agricultural water management based on critical threshold values adopted for Andosol in the temperate monsoon climate[J]. Agricultural Water Management, 2020, 229: 105930.
- [ 9 ] 王项娜. 黄瓜叶水势与土壤水势关系的研究[D];长春:吉林大学;2007.
- [ 10 ] 王丁,姚健,薛建辉,等.6种喀斯特造林树种苗木叶片水势变化及影响因子研究[J].中国农学通报,2010,26(22):99-106.
- [ 11 ] 孙晓东,贾娜,何鹏,等.干旱胁迫对陕北沙棘幼苗生长发育的影响[J].东北农业科学,2018,43(2):16-20.
- [ 12 ] 王晶晶,莫伟平,贾文锁,等.干旱条件下葡萄叶片气孔导度和水势与节位变化的关系[J].中国农业科学,2013,46(10):2151-2158.
- [ 13 ] Serpil T, Semih T, Sevilay T. Effects of different bud loads and irrigations applied at different leaf water potential levels on Kalecik Karası grape variety[J]. Turkish Journal of Agriculture & Forestry, 2015, 39: 887-897.
- [ 14 ] 李洪艳,王世平.根域限制栽培下葡萄软化期土壤水势对果实糖积累的影响[J].南方农业学报,2012,43(1):70-72.
- [ 15 ] 杨湘,苏学德,李鹏程,等.克瑞森葡萄生命过程中关键土壤水势阈值的界定和调控[J].干旱区资源与环境,2020,34(10):166-170.
- [ 16 ] Rodrigues P, Pedrosa V, Gouveia J P, et al. Influence of soil water content and atmospheric conditions on leafwater potential in cv. "Touriga Nacional" deep-rooted vineyards[J]. Irrigation Science, 2012, 30(5): 407-417.
- [ 17 ] 齐建波,荣新民,陈虎,等.不同水分胁迫水平对葡萄叶水势及生理指标的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2011,29(4):437-441.
- [ 18 ] Mencuccini M, Mambelli S, Comstock J. Stomatal responsiveness to leaf water status in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a function of time of day[J]. Plant Cell Environ 2000(23): 1109-1118.
- [ 19 ] Sobehi W Y, Dodd I C, Bacon M A, et al. Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants subjected to partial root-zone drying [J]. Journal of Experimental Botany, 2004(407): 2353-2363.
- [ 20 ] 李程,闫伟平,常莹,等.不同氮肥处理及水分胁迫对玉米幼苗生理特性的影响[J].吉林农业科学,2014,39(4):12-16.
- [ 21 ] 苏学德,李铭,郭绍杰,等.果树对土壤水势响应研究进展[J].安徽农业科学,2016,44(7):26-27,29.

(责任编辑:王昱)