

牛 敏,刘 娜,杨文忠,等. 葡萄茎流速率变化规律及其影响因素研究[J]. 江苏农业科学,2025,53(1):200-208.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.01.028

## 葡萄茎流速率变化规律及其影响因素研究

牛 敏<sup>1</sup>,刘 娜<sup>2</sup>,杨文忠<sup>1</sup>,叶晓宏<sup>3</sup>,张志霞<sup>1</sup>,包小琴<sup>1</sup>,董 锦<sup>1</sup>,徐国前<sup>1,4</sup>

(1. 宁夏大学葡萄酒与园艺学院,宁夏银川 750021; 2. 宁夏张裕龙谕酒庄有限公司,宁夏银川 750021;

3. 宁夏塞上江南酒庄有限公司,宁夏青铜峡 751600; 4. 宁夏葡萄与葡萄酒研究院,宁夏银川 750021)

**摘要:**为揭示西北干旱地区酿酒葡萄的蒸腾耗水规律,为科学节水灌溉提供理论依据,以 6 年生酿酒葡萄赤霞珠为试材,采用包裹式茎流计和小型气象站对“厂”字形和龙干形 2 种整形方式下赤霞珠茎流速率和周围环境因子进行观测。主要对不同天气状况、不同整形方式、不同发育期、不同月份、灌水前后、雨天前后的茎流速率变化规律以及茎流速率与光合特性和环境因子的关系进行分析。结果表明,酿酒葡萄赤霞珠的“厂”字形整形方式的茎流速率高于龙干形;日茎流速率变化曲线近似呈“几”字形,不同天气条件下又呈现出不同特点;整个发育期内在 7 月份果实膨大期茎流速率达到最大值,日均茎流量为 16.48 kg/d,10 月份成熟期最小,日均茎流量为 2.59 kg/d。下雨天茎流速率明显较低,雨天后迅速上升且高于雨天前;灌水当天和灌水前茎流速率基本一致,灌水后大幅度上升。蒸腾速率与茎流速率呈极显著显著正相关,光合有效辐射、太阳辐射、空气温度、风速与茎流速率均呈极显著正相关,相对湿度与茎流速率呈极显著负相关。

**关键词:**葡萄;赤霞珠;茎流速率;光合特性;气象因子;相关性分析

**中图分类号:**S663.104;S663.107 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)01-0200-09

贺兰山东麓是全国优质葡萄种植基地,被称为葡萄酒的未来之乡,拥有“一山一河一长廊”的地理特点。南北绵延 200 多公里的贺兰山形成了天然屏障,有效地阻隔了来自西北方向的沙尘和寒流<sup>[1]</sup>。从气候上来说,全区属温带大陆性干旱、半干旱气候,有干旱少雨、蒸发强烈、风大沙多等特点,非常干燥<sup>[2]</sup>。有研究得出,贺兰山东麓产区酿酒葡萄生

育期需水量为 458.04 ~ 546.74 mm,总体呈现“低—高—低”的抛物线走势,表现为 4 月需水量最少,7 月需水量最多。宁夏贺兰山东麓产区葡萄整个生长期降水量远远不能满足其生长<sup>[3]</sup>,所以产区葡萄灌溉的水源保障依赖流经宁夏 397 km 的黄河水,虽然目前已采用滴灌的方式进行灌溉<sup>[4]</sup>,但在酿酒葡萄种植面积达 3.8 hm<sup>2</sup> 的产区长廊中,开展节水灌溉仍然势在必行<sup>[5]</sup>。有研究发现植物从土壤中吸收的水分约 99.8% 都通过蒸腾作用进入到大 气中,只有极少部分贮存在植物体内,为植物生长和生理活动提供需求。正常情况下,植物 1 d 的蒸腾耗水量通常与树干液流总量相等,这是因为水分从根部吸收后,通过茎内的导管输送到叶片,然后通过气孔散发到大气中<sup>[6-7]</sup>。因此,通过测量树干液

收稿日期:2024-01-16

基金项目:宁夏自然科学基金(编号:2023AAC02027);银川市科技计划(科技人才专项)(编号:2023KJRC05)。

作者简介:牛 敏(1997—),女,宁夏海原人,硕士研究生,主要从事葡萄栽培生理研究工作。E-mail:nm970804@163.com。

通信作者:徐国前,博士,讲师,硕士生导师,主要从事葡萄栽培生理方向研究。E-mail:xugq1@163.com。

[50] Feng S G, He R F, Yang S, et al. Start codon targeted (SCoT) and target region amplification polymorphism (TRAP) for evaluating the genetic relationship of *Dendrobium* species [J]. *Gene*, 2015, 567 (2): 182-188.

[51] 张文龙. 石斛种质资源遗传多样性的 PAGE 分析[J]. 北方园艺, 2014, 38(14): 104-106.

[52] Li J, Xu Y C, Wang Z H. Construction of a high-density genetic map by RNA sequencing and eQTL analysis for stem length and diameter in *Dendrobium* (*Dendrobium nobile* × *Dendrobium*

*wardianum*) [J]. *Industrial Crops and Products*, 2019, 128: 48-54.

[53] Liu Y T, Chen R K, Lin S J, et al. Analysis of sequence diversity through internal transcribed spacers and simple sequence repeats to identify *Dendrobium* species [J]. *Genetics and Molecular Research*, 2014, 13(2): 2709-2717.

[54] Yin H T, Wang Y C, Li Y M, et al. Characterization of the varied output from the anthocyanin pathway in *Phalaenopsis*-type *Dendrobium* hybrids and its relationship with flower coloration [J]. *Scientia Horticulturae*, 2024, 52(325): 1-14.

流的量,可以直接了解树木的耗水能力,进而确定植株的蒸腾耗水量<sup>[8-9]</sup>。

白世践等研究发现,在极端干旱区酿酒葡萄赤霞珠的“厂”字形整形栽培显著提高了葡萄叶片成熟期净光合速率,且能够获得较高品质的果实<sup>[10]</sup>。南庆伟等研究发现,在干旱地区,晴天时葡萄植株的茎流速率日变化呈双峰曲线,而在阴天则表现为多峰形曲线。葡萄茎流与光合有效辐射、风速呈极显著相关,与饱和水汽压呈显著相关,与温度、湿度相关性不显著<sup>[11]</sup>。这表明在不同类型的天气条件下,葡萄植株的水分吸收和输送模式存在差异。另外,张洋等研究发现,在 1 d 中枣树的茎流累计趋势呈“S”形变化趋势,且各生育期耗水量大小排序为果实膨大期 > 成熟期 > 花期 > 萌芽展叶期<sup>[12]</sup>。Zhang 等研究发现,树木茎流速率呈现昼高夜低的规律,夜晚植物仍然会进行一定的生理活动,如补充体内水分和进行呼吸作用等,因此会有一定程度的茎流变化<sup>[13]</sup>。胡宏远等研究发现,淹水在一定程度上能抑制赤霞珠葡萄主干茎流速率和单株茎流量,导致其启动时间推后,对环境变化的响应敏感性下降,峰值降低,变化趋势整体推后 3 h<sup>[14]</sup>。冯东雪等的研究揭示了雨天对植物茎流速率的影响,发现雨天受风速和辐射等多因素影响,茎流速率呈现不规则变化曲线,茎流启动时间延后,期间出现多次骤升骤降,最终降为 0。与晴天相比,雨天的茎流速率波动较大,没有明显的规律性<sup>[15]</sup>。

本研究以贺兰山东麓广泛种植酿酒葡萄赤霞珠为研究对象,以滴灌为灌溉方式,采用包裹式茎流计对赤霞珠茎流进行观测,分析不同天气条件下赤霞珠茎流变化规律以及茎流速率与影响因子之间的关系,研究结果可为西北干旱地区作物蒸腾量的计算提供依据,为葡萄园年度用水量提供指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况与供试材料

试验于 2022 年 5 月 12 日至 10 月 31 日在宁夏青铜峡市甘城子宁夏塞上江南酒庄葡萄园(105°56'E, 38°06'N)进行。该区域土壤类型为白僵土和淡灰钙土,属温带大陆性气候,冬季严寒干燥,昼夜温差大,最低气温 -25.0℃,最高气温 37.7℃,全年日照时数 2 955 h,年平均气温 8.3~8.6℃,无霜期 176 d,年降水量 260.7 mm。

供试葡萄品种为 6 年生欧亚种酿酒葡萄赤霞珠(*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon),南北行向,株、行距分别为 1.0、3.0 m,田间管理一致。

### 1.2 试验设计

供试品种采用“厂”字形和龙干形 2 种整形方式,每个整形方式选取 3 株作为重复,于株高距地面 50 cm 处安装探头,包裹直径约为 1.5 cm。定时测定植株内茎流量。

通过对贺兰山东麓产区葡萄整个生育期的观察和记录,并结合其自身的生长特征,从 5 月 20 日开始,将生育期划分为 4 个时期:5 月 20 日至 6 月 15 日为开花期,6 月 16 日至 8 月 15 日为果实膨大期,8 月 16 日至 9 月 19 日为果实转色期,9 月 20 日至 10 月 10 日为成熟期。

试验区种植行布置单行滴灌管,管径 16 mm,滴头间距 30 cm,流量 2 L/h,灌水时间分别为 5 月 22 日、6 月 21 日、7 月 10 日、8 月 10 日、8 月 21 日、9 月 18 日、9 月 27 日、10 月 27 日,灌水时长分别为 12、12、12、15、10、8、20 h。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 气象数据检测 试验地内安装自动监测气象站(HOBO, U30 - GSM),在葡萄树全生育期内每 1 h 记录 1 次数据,风速、风向监测高度为 4.5 m;光合有效辐射(PAR)、温度( $T_a$ )、相对湿度(RH)、风速( $W$ )、降雨等气象因子监测高度为 1 m。

1.3.2 光合数据采集 用便携式光合测定系统(GFS-3000,上海泽泉科技股份有限公司)测定 2022 年 7—9 月晴朗的天气条件下赤霞珠的光合日变化。每次选取生长一致健康的葡萄植株 5 株,从 07:00—19:00,每 2 h 测定 1 次循环,选择新梢(从基部向上数)第 7~8 张功能叶测定其净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )等指标。

1.3.3 茎流计安装与数据采集 本试验采用包裹式茎流计系统(Flow32-1K 美国, Dynamax 公司)测定葡萄生育期内的茎流速率,通过热平衡法,对“厂”字形和龙干形 2 种整形方式的葡萄各选择 3 株长势一致的健康植株进行全天数据采集,茎流仪安装于葡萄藤主干距地面 50 cm 处,每隔 15 min 自动采集 1 组数据,对所选定品种的枝条液流进行不间断测定。安装测量装置时选择一段 5~10 cm 长直立光滑的茎秆区域,避免选择伤口或节点处。安装好之后,将电缆线与数据采集器连接,接通电源,

并进行相关参数设置,然后定期用电脑采集数据。

根据能量平衡原理,即输入热量( $P_{in}$ )等于各部分耗散热量  $Q_r$ (茎流携带的热量)、 $Q_v$ (竖向散热)、 $Q_r$ (径向散热)之和。推导出所求茎流速率方程式:

$$F = (P_{in} - Q_r - Q_v) / (C_p \times d_T)。$$

式中: $P_{in}$ 为热量输入; $Q_r$ 为径向散热; $Q_v$ 为竖向散热; $C_p$ 为水的比热容; $d_T$ 为竖向两热电偶电压和的平均值; $F$ 为茎流速率,g/h。

#### 1.4 数据处理

试验数据同时采用 Excel 2016 对茎流速率和环境因子进行计算和整理,用 SPSS 18.0 和 Origin 18.0 对试验数据进行绘图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同天气状况下葡萄茎流的日变化规律

#### 2.1.1 不同天气状况下葡萄茎流速率日变化规律

在葡萄同一生长期,选取典型晴天(8月6日)和阴天(8月7日),以龙干形整形方式为例,对不同天气条件下葡萄植株的茎流速率日变化规律进行分析。由图1可知,晴天和阴天葡萄茎流速率日变化曲线基本相同,都呈“几”字形。白天茎流速率迅速上升,清晨和夜间由于没有太阳辐射,温度也低,葡萄茎流速率缓慢,几乎接近于0。晴天时,葡萄茎流速率呈现双峰曲线变化,从06:30开始启动,到10:15左右达到第1个峰值,为167.00 g/h。随后由于温度继续增加,葡萄进入午休阶段,葡萄叶片气孔关闭,导致蒸腾速率开始降低,茎流速率随之下降。至14:00左右,茎流速率迅速减小至124.45 g/h。14:00以后,气孔重新开启,茎流速率重新上升,15:15左右达到一天中的另一个峰值,为149.02 g/h,之后随着温度的下降以及光强的减弱,茎流速率逐渐下降,至21:00趋于平稳。8月6日出日落时间分别为06:02:53、20:00:20(来源于中国气象局气象信息中心)。由此可见,茎流速率启动时间迟于日出时间约0.5 h,停止时间迟于日落时间约1 h。阴天时,受气象因子波动的影响,葡萄茎流速率变化曲线呈现多峰形,茎流速率明显低于晴天,茎流启动时间为07:00,于22:00左右趋于平稳,启动时间和停止时间均迟于晴天,整体推后约0.5 h。

2.1.2 不同天气情况下葡萄日累计茎流量的变化过程 图2为不同天气情况下,龙干形葡萄日累计茎流量变化过程,晴天和阴天日累计茎流量都呈“S”形曲线,在晴天条件下,累计茎流量从07:30开

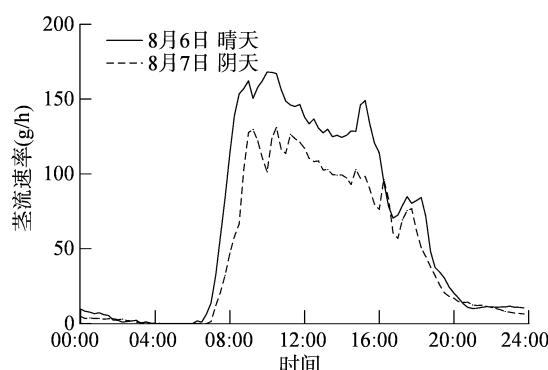


图1 不同天气状况下葡萄茎流速率日变化规律

始启动,随后迅速上升,近似呈直线上升趋势,直至20:00慢慢趋于平稳,日累计茎流量达12.07 kg;而阴天时,整体变化趋势与晴天基本相同,但开始上升时间略迟于晴天,速率明显较晴天小,日累计茎流量为8.63 kg。由此可见,不同天气条件下,葡萄日累计茎流量存在明显差异,晴天明显高于阴天。结合图1可知,日累计茎流量与茎流速率相对应,相同时间内,不同天气情况下茎流速率越高,累计茎流量越多。

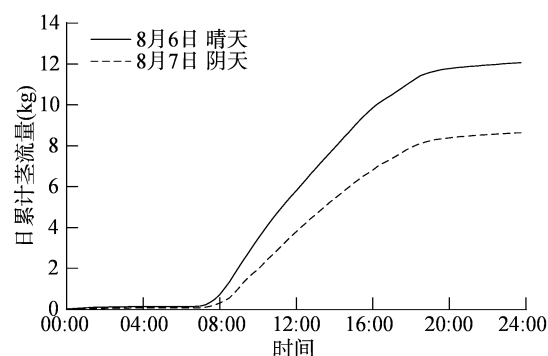


图2 不同天气情况下葡萄日累计茎流量的变化过程

### 2.2 不同月份及生育期葡萄茎流变化规律

#### 2.2.1 不同月份及生育期葡萄茎流速率变化规律

图3为“厂”字形和龙干形葡萄植株不同月份茎流速率的变化曲线。由图3可以看出,5—10月,“厂”字形和龙干形葡萄植株茎流速率都呈规律性变化,不同月份葡萄的茎流速率日变化规律基本相似,都呈“几”字形,且“厂”字形的茎流速率始终高于龙干形。整体来看,5—7月茎流速率呈上升变化趋势,在7月份达到最大值,之后,一直到10月份,茎流速率呈下降趋势。不同月份茎流速率大小顺序为7月>6月>5月>8月>9月>10月。为进一步了解葡萄各生育期茎流速率变化规律,选取开花期(5月24—27日)、果实膨大期(7月15—18日)、转色期(8月16—19日)和成熟期(9月28日至10月1

日)各 4 d 茎流速率的平均值绘制成图 4。由图 4 可知,各发育期“厂”字形整形方式的茎流速率均高于龙干形,且茎流速率均呈“几”字形变化规律。果实膨大期茎流速率最高,成熟期最小,各发育期茎流速率由大到小的顺序为果实膨大期 > 开花期 > 转色期 > 成熟期。不同月份茎流速率变化规律与葡萄生育期茎流速率变化规律相对应,是因为 5—6 月为萌芽期和开花期,该阶段枝条数量少、叶面积指数小、太阳辐射较弱、空气温度较低,使得蒸腾量和耗水量都比较小,茎流速率随之较小。7 月份正是果实膨大期,叶面积指数也在这个时期达到最大,太阳辐射强,温度高,葡萄植株所需茎流量大,茎流速率大。而 10 月份茎流速率最低,一方面是由于太阳辐射和温度大幅度下降,另一方面是由于葡萄已完成采收,枝蔓进入成熟期,部分叶片凋落,树体所需营养减少,生命活动减弱,茎流速率也随之降低。

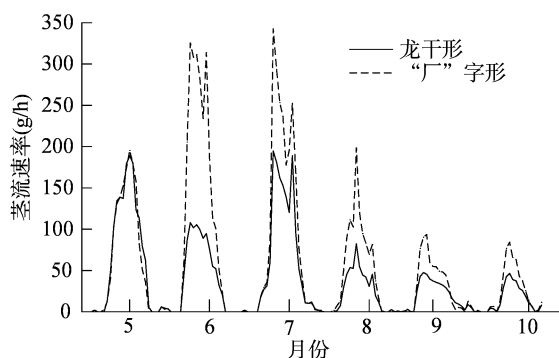


图3 不同月份葡萄茎流速率的日变化

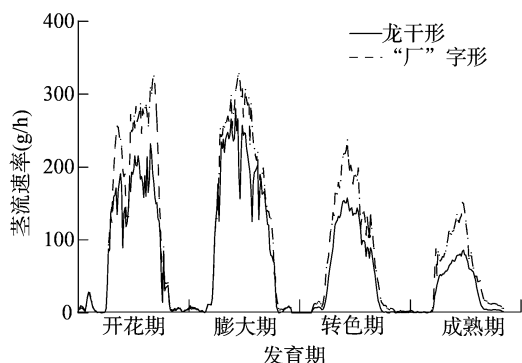


图4 各发育期葡萄茎流速率日变化

**2.2.2 不同月份葡萄日平均茎流量变化规律** 对 6—10 月份葡萄日平均茎流量进行分析,其中茎流数据每 15 min 采集 1 次,日数据将每日共计 96 个数据累计求和,获得日茎流量。6—10 月份分别是酿酒葡萄开花期(5 月 20 日至 6 月 15 日)、果实膨大期(6 月 16 日至 8 月 15 日)、果实转色期(8 月 16 日至 9 月 19 日)和成熟期(9 月 20 日至 10 月 10

日)。每月随机选取 6 d 的平均茎流量进行绘图,由图 5 可知,6—10 月,葡萄日均茎流量呈现先增加后降低的趋势。6—7 月份日均茎流量呈增加趋势,7 月份达到最大值,日均茎流量为 16.48 kg/d;6 月份次之,日均茎流量为 12.17 kg/d;10 月份达到最小,日均茎流量为 2.59 kg/d。不同月份茎流量大小顺序为 7 月 > 6 月 > 8 月 > 9 月 > 10 月。7 月份全月正处于葡萄果实膨大期,葡萄需水量达到最大。6 月份处于开花期到果实膨大初期,需水量仅次于 7 月份,从 9 月份开始,葡萄树的蒸发量和需水量都减少,日均茎流量也呈下降趋势。结合图 3、图 4 和图 5 可知,不同月份葡萄日均茎流量与不同月份葡萄茎流速率的日变化趋势、不同发育期葡萄茎流速率的日变化趋势一致,都是 7 月份果实膨大期达到最大值。

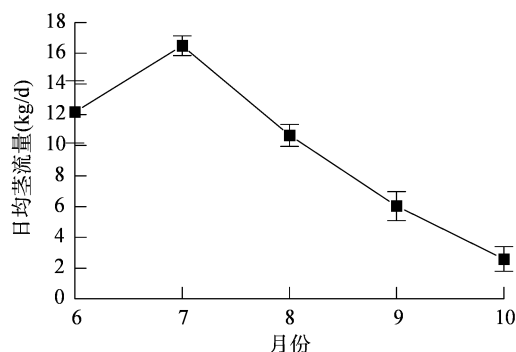


图5 不同月份葡萄日均茎流量的变化规律

### 2.3 雨天前后葡萄茎流速率变化规律

随机选取 6—10 月份的 4 个雨天,通过对其茎流数据与当天的天气状况相结合进行分析,得到葡萄枝干在雨天前、雨天、雨后的茎流变化规律。由图 6 可知,下雨天葡萄茎秆茎流速率明显降低,呈不规则变化,且“厂”字形茎流速率始终高于龙干形。图 6-a 和图 6-b 是典型的雨天前后茎流速率变化曲线图,雨天“厂”字形和龙干形葡萄茎流速率均明显降低,是由于下雨天太阳辐射和温度都较低,茎流速率小。雨天后的茎流速率明显上升且略高于雨天前,是由于下雨后土壤中含水量升高,葡萄植株能吸收的水分较为充足,茎流速率和峰值也随之升高。图 6-c 雨天前和图 6-d 雨天后茎流速率小于下雨天是由于这 2 d 为阴天。由此可以看出,下雨当天茎流速率明显降低,雨天后迅速升高,并且高于雨天前,但如果雨天后为阴天,茎流速率会继续下降,甚至存在低于下雨天的情况。因此,土壤含水量也是影响茎流速率的关键因素。但在没

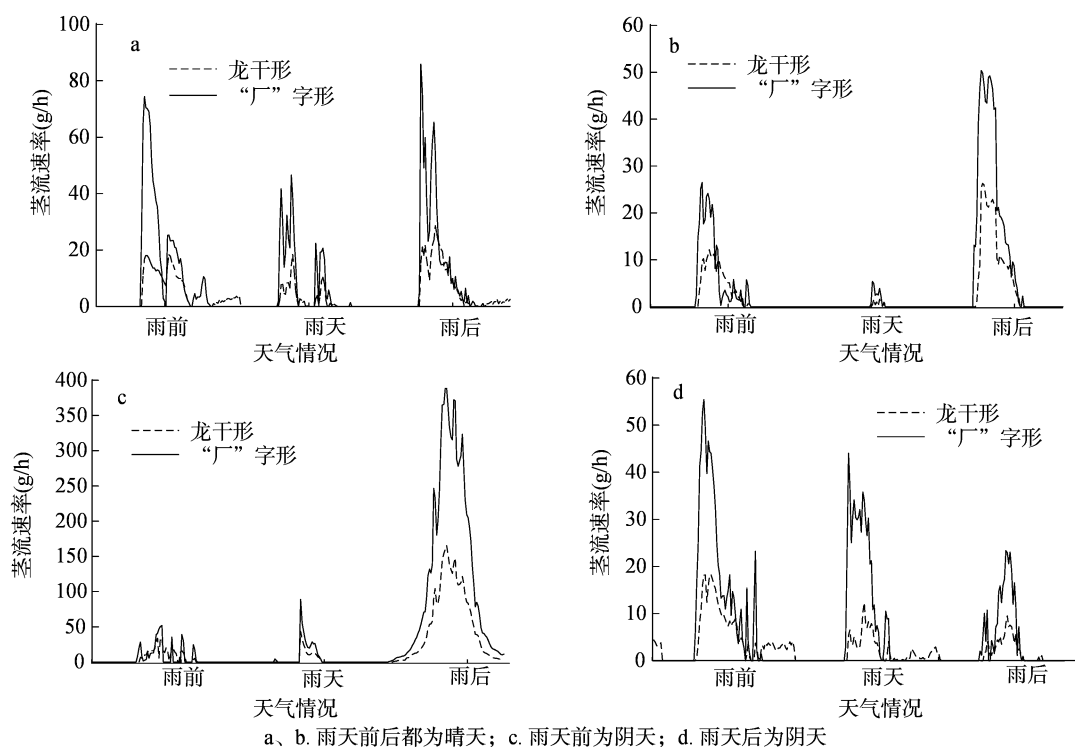


图6 雨天对葡萄茎流速率的影响

有太阳辐射的情况下, 仅仅增加土壤含水量, 并不会使茎流速率有明显的上升趋势, 而是土壤含水量与其他环境因子共同作用的结果。

#### 2.4 灌水前后葡萄茎秆茎流速率变化规律

图 7-a、图 7-b、图 7-c 和图 7-d 分别为 6 月、7 月、8 月、9 月葡萄植株灌水当天及灌水前 1 d 和后 1 d 葡萄茎秆茎流速率变化曲线图。由图 7 可知, 灌水当天和灌水前 1 d 茎流速率基本没有变化。灌水后随着土壤含水量的增加, 为葡萄根系提供了充足的水分, 葡萄根部吸收到更多的水分, 从而使葡萄茎流速率有明显的升高, 茎流峰值也相应提高。茎流速率变化存在的延后性是由于灌水后水分需要一定的时间才能到达葡萄根部被吸收, 另外由于下午气孔重新开启, 灌水当天茎流速率也存在双峰曲线变化规律。下雨当天茎流速率迅速降低而灌水当天茎流速率与灌溉前基本一致, 是由于下雨当天受太阳辐射和温度的影响; 而下雨后和灌溉后葡萄茎流速率均有上升, 说明茎流速率对灌水的反应具有延后性, 且灌水后茎流速率上升幅度明显大于下雨后。由此可知, 在一定范围内, 葡萄根系的吸水量与茎流速率成正比, 根系可吸收的水分越多, 茎流速率越大。

#### 2.5 葡萄茎流速率与光合特性的关系

由图 8-a 可知, 7 月和 8 月胞间  $\text{CO}_2$  浓度变化

趋势基本一致, 全天变化趋势不明显, 9 月份呈先下降后上升、保持稳定后继续上升后又下降的趋势。由图 8-b 可知, 3 个月的蒸腾速率都呈单峰曲线变化趋势, 7—9 月份达到峰值的时间分别是 11:00、15:00、15:00, 蒸腾速率表现为 8 月 > 7 月 > 9 月。由图 8-c 可以看出, 7—9 月份净光合速率都呈先上升后下降、稳定约 2 h 后再下降的趋势, 均在 09:00 左右达到一天中的最大值, 8 月和 9 月都在 13:00—15:00 保持不变, 7 月份较 8 月和 9 月推迟 2 h 保持稳定, 整体上 8 月份净光合速率最大, 9 月份最小。由图 8-d 可知, 7 月份气孔导度呈先上升后下降的趋势, 8 月份呈“M”形变化趋势, 都在 09:00 达到最大值。9 月份 07:00—11:00 呈下降趋势, 之后重新上升, 到 15:00 后开始下降。整体来看, 净光合速率、气孔导度、蒸腾速率三者存在正相关关系, 与胞间  $\text{CO}_2$  浓度变化趋势无明显关系。结合图 9 可知, 7—9 月份茎流速率与净光合速率、气孔导度、蒸腾速率均呈先上升后下降的变化趋势, 存在正相关关系。净光合速率、气孔导度、蒸腾速率均为 8 月 > 7 月 > 9 月, 茎流速率则为 7 月 > 8 月 > 9 月。

由图 10 可知, 蒸腾速率、净光合速率、气孔导度三者之间呈极显著正相关。茎流速率与蒸腾速率呈极显著正相关关系, 相关系数为 0.580, 与净光合速率、气孔导度呈正相关, 相关系数分别为 0.370、

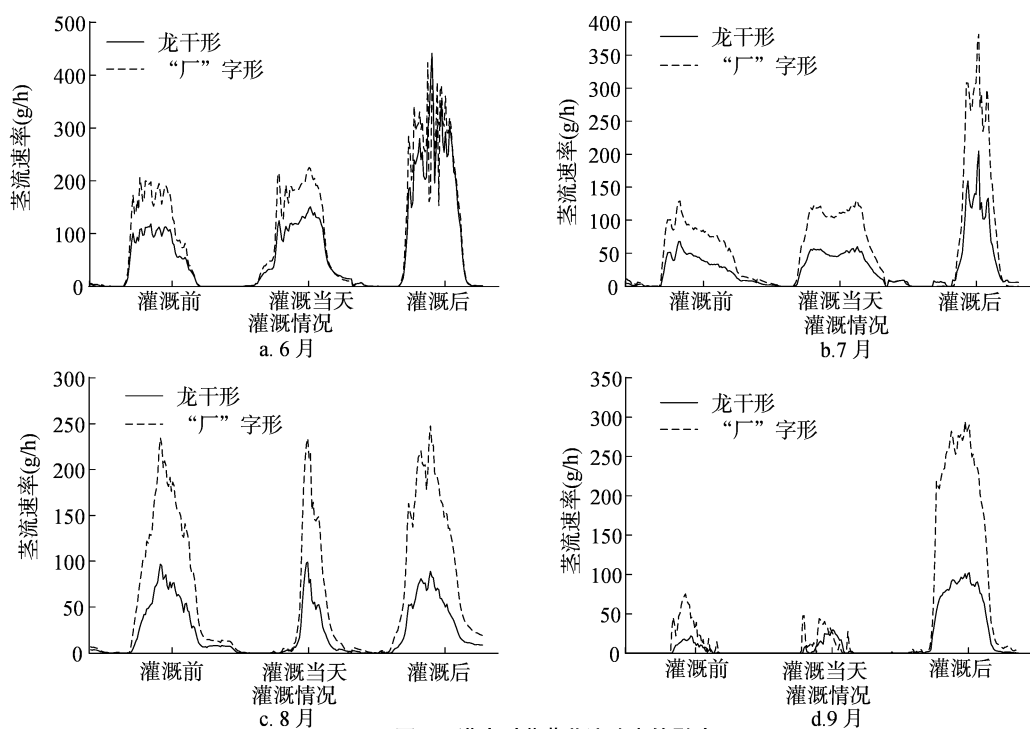


图7 灌水对葡萄茎流速率的影响

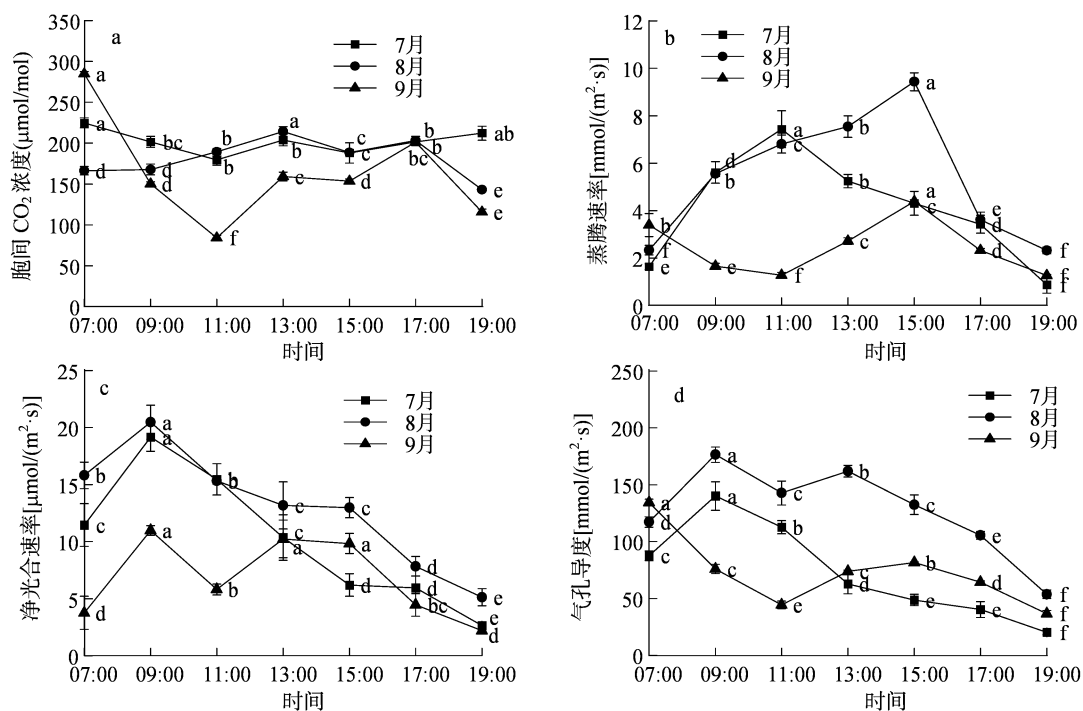


图8 7—9月份葡萄光合特性日变化

0.095, 与胞间  $\text{CO}_2$  浓度呈负相关, 相关系数为  $-0.140$ 。由此可以看出, 茎流速率受蒸腾速率的影响最大, 其次是净光合速率和气孔导度。

## 2.6 葡萄茎流速率与各气象因子间的关系

图 11 为 2022 年 8 月 1—6 日葡萄茎流速率和各气象因子日变化曲线。由图 11 可以看出, 太阳辐

射、大气温度、光合有效辐射和茎流速率的变化趋势基本一致, 在一天的变化中呈“几”字形, 相对湿度则与其变化恰好相反, 在一天的变化中呈倒“几”形状或呈“U”形。风速变化规律性不明显。由此可以看出, 各气象因子与葡萄树茎流速率存在相关性, 且各气象因子间相互作用。

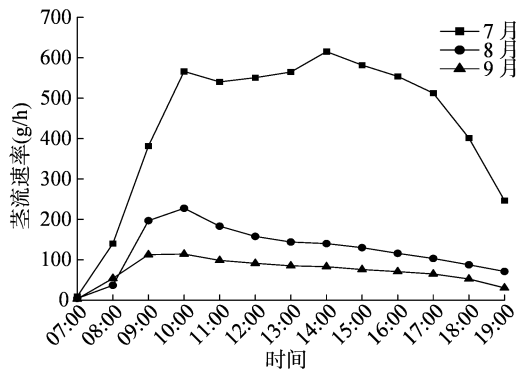


图9 7—9月份葡萄茎流速率变化曲线

选取8月份光合有效辐射、风速、太阳辐射、空气温度、相对湿度作为影响葡萄茎流速率的5个环境因子,对其进行相关性分析,样本总数 $N$ 为288,得到了环境因子与葡萄茎流速率之间的皮尔逊相关系数。由表1可知,5个环境因子与茎流速率间的相关性都达到了极显著水平( $P<0.01$ ),其中,光合有效辐射、风速、太阳辐射、空气温度与茎流速率均呈极显著正相关,相对湿度与茎流速率呈极显著负相关,相关系数为 $-0.541$ 。表明选取的5个环境因子与葡萄茎流速率间存在一定程度的线性相关关系。从相关系数值来看,各环境因子与茎流速率相关系数大小依次为光合有效辐射( $0.889$ )>太阳

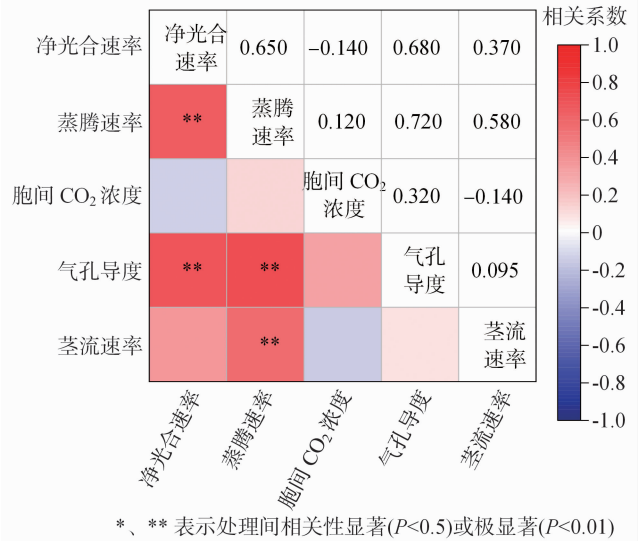


图10 茎流速率与光合特性的相关性分析结果

辐射( $0.879$ )>空气温度( $0.718$ )>风速( $0.369$ ),说明光合有效辐射与茎流速率的正相关更显著,葡萄树蒸腾受光合有效辐射的影响最大,太阳辐射、空气温度次之,风速对葡萄茎流速率的影响最小。

### 3 讨论

有研究得出复杂的环境会导致茎流速率发生变化,影响因素包括温度、相对湿度、饱和水汽压、

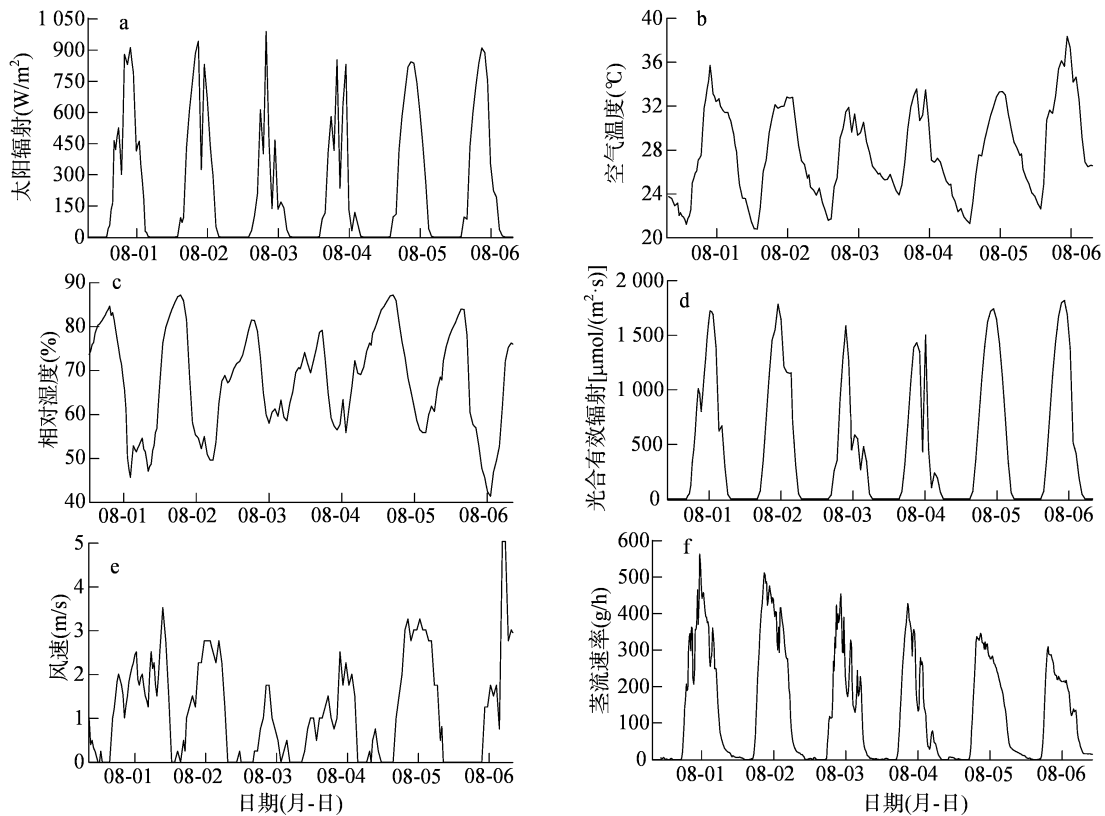


图11 茎流速率及各个环境因子的变化

表 1 茎流速率与各环境因子的相关性分析结果

气象因子	相关系数					
	光合有效辐射	风速	太阳辐射	空气温度	相对湿度	茎流速率
光合有效辐射	1.000					
风速	0.387 **	1.000				
太阳辐射	0.958 **	0.341 **	1.000			
空气温度	0.784 **	0.487 **	0.724 **	1.000		
相对湿度	-0.611 **	-0.454 **	-0.532 **	-0.914 **	1.000	
茎流速率	0.889 **	0.369 **	0.879 **	0.718 **	-0.541 **	1.000

注: \*\* 表示在 0.01 水平相关性显著。

大气辐射、降雨等。本研究发现,对于葡萄树而言,整形方式也是影响葡萄茎流速率的重要因素,“厂”字形整形方式葡萄树茎流速率在各时期均明显高于龙干形,可能与“厂”字形新梢上叶片较龙干形多有关<sup>[16-17]</sup>。这与王生海的研究中发现“厂”字形葡萄树在整个生育期土壤含水量低于传统棚架,土壤吸取水分的效率高,对水分的利用效率高,导致茎流速率快的结果<sup>[18]</sup>一致。牛亚鸽等研究认为,是因为“厂”字形整形方式可有效提高葡萄叶片的通风透光性,而传统龙干形东西两侧架面相互遮挡光照,降低了各部位叶片的蒸腾速率。因此,“厂”字形可显著提高各时期葡萄叶片的净光合速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率,从而提高茎流速率<sup>[19]</sup>。本研究中 2 种整形方式的变化趋势一致,晴天和阴天葡萄茎流速率日变化曲线均呈“几”字形。晴天葡萄茎流速率呈现双峰曲线变化,阴天时,受气象因子波动的影响,葡萄茎流速率变化曲线呈现多峰形,晴天茎流启动时间早于阴天,且晴天茎流速率高于阴天,这与南庆伟等的研究结果<sup>[11,20]</sup>一致。但晴天葡萄茎流速率从 06:30 开始启动,到 10:15 左右达到第 1 个峰值,15:15 左右达到一天中的另一个峰值,这与南庆伟等的研究中在 12:30 左右达到第 1 个峰值、15:30 左右达到第 2 个峰值<sup>[11]</sup>及王雪梦等的研究中在 12:00—13:00 达到第 1 个峰值、16:00 左右达到第 2 个峰值<sup>[20]</sup>不一致,都略有提前,尤其是第 1 个峰值。考虑是由于地理与气候原因及植株本身状况、生育期等不同所导致。

滴灌是当前最常用的灌溉方式。滴灌灌溉水 90% 以上能被葡萄树利用,灌水效率较高<sup>[1,12]</sup>。在本研究中,灌水当天和灌水前 1 d 茎流速率基本没有变化,灌水后随着土壤含水量的增加,根系所能吸收的水分增多,茎流速率大幅度上升,这与王卓等关于沙棘灌水后茎流速率的变化规律<sup>[22]</sup>一致。

这也说明土壤含水量与葡萄树茎流速率呈正相关关系。土壤含水量也是影响葡萄茎流速率的关键因素之一,当达到最大蒸腾速率后,蒸腾速率与土壤含水量无关,此时,茎流速率只受到植物自身及气象因素影响,如土壤水分过多,土壤中空气减少,根系活动受到抑制,葡萄蒸腾都会略有减少<sup>[23]</sup>。雨天葡萄树茎流速率较小,没有明显的日变化规律,峰值很小且出现的时间不定,雨后由于土壤水分增加导致茎流速率也随之升高,这与吴喆滢等的研究结果<sup>[17]</sup>一致。

光合有效辐射、太阳辐射、空气温度、风速与茎流速率呈极显著正相关,相对湿度与茎流速率呈极显著负相关。其中光合有效辐射与茎流速率的相关性最高,相关系数为 0.889,其次是太阳辐射,相关系数为 0.879,风速与茎流速率的相关性最低。这一结论与张利刚等的研究结果<sup>[24-27]</sup>基本一致,说明光合有效辐射和太阳辐射是影响葡萄茎流速率最直接的因素。

在葡萄生育期内,果实膨大期茎流速率最高,成熟期最小,各生育期茎流速率由大到小的顺序依次是果实膨大期 > 开花期 > 转色期 > 成熟期。这一结论与南庆伟等的研究结果<sup>[11,23,28]</sup>基本一致,也与本研究中 7 月(果实膨大期)茎流速率最大,10 月(成熟期)茎流速率最小相对应。考虑是由于果实膨大期,树体蒸腾耗水量需求升高,葡萄树叶面积指数也在这个时期达到最大,太阳辐射强、温度高,葡萄植株所需茎流量大,茎流速率快。因此,在葡萄的生长周期中,果实膨大期(6—7 月)是水分需求的关键时期,在这个时间段内,葡萄园应注意补充灌水,使树体能够吸收充足的水分。在 9 月之后,葡萄树进入成熟期,生命活动逐渐减弱,对水分和营养的需求也相应减少,可减少灌溉量及灌水次数,以免增加管理成本和水资源的大量浪费。



#### 4 结论

(1)晴天时葡萄茎流速率呈双峰曲线,阴天时为多峰曲线。晴天启动时间略早于阴天,且茎流速率大于阴天。晴天和阴天茎流日累计量都呈“S”形变化趋势,且晴天茎流日累计量大于阴天。

(2)葡萄不同月份茎流速率的日变化规律基本相似,都呈“几”字形。整体随月份的增加呈先上升后下降的趋势。在 7 月份果实膨大期达到最大值,10 月果实成熟期最小,不同月份茎流速率大小顺序是 7 月>6 月>5 月>8 月>9 月>10 月。各发育期茎流速率由大到小的顺序是果实膨大期>开花期>转色期>成熟期。葡萄 6—10 月份日均茎流量变化趋势与茎流速率变化趋势相对应。

(3)灌溉当天和灌溉前 1 d 茎流速率基本没有变化,灌溉后 1 d 茎流速率大幅度上升;下雨天茎流速率明显降低,雨天的后 1 d 茎流速率明显上升且略高于雨天前 1 d。茎流速率对下雨和灌溉的反应都有滞后性。

(4)葡萄茎流速率与蒸腾速率呈极显著正相关,与净光合速率、气孔导度呈正相关,与胞间  $\text{CO}_2$  浓度呈负相关。

(5)葡萄茎流速率与光合有效辐射、太阳辐射、风速、空气温度呈极显著正相关,Person 相关系数大小表现为光合有效辐射>太阳辐射>空气温度>风速;与相对湿度呈极显著负相关。

#### 参考文献:

- [1]胡天华. 贺兰山的自然资源[J]. 国土与自然资源研究,2004(1):80-81.
- [2]文妙霞,何学高,刘欢,等. 基于地理探测器的宁夏草地植被覆被时空分异及驱动因子[J]. 干旱区研究,2023,40(8):1322-1332.
- [3]尚艳,张磊,王静,等. 贺兰山东麓酿酒葡萄需水量变化特征及影响因素分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2023(5):1-9.
- [4]张战胜,马文礼,屈晓蕾,等. 黄河含沙水自流微灌技术对宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(13):112-116.
- [5]刘峰. 宁夏酿酒葡萄种植面积达 58.3 万亩[N]. 人民日报,2023-05-25(7).
- [6]Granier A, Huc R, Barigah S T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1996, 78(1/2):19-29.
- [7]李德全. 植物生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1999:20-75.
- [8]王沙生,高孚荣,吴贯明. 植物生理学[M]. 2 版. 北京:中国林业出版社,1991:1-32,192.
- [9]张静,王力,韩雪,等. 不同时间尺度下黄土塬区 19 年生苹果树干液流速率与环境因子的关系[J]. 中国农业科学,2016,49(13):2583-2592.
- [10]白世践,卢金鸽,赵荣华,等. 极端干旱区 3 种整形方式对赤霞珠葡萄光合效率与果实品质的影响[J]. 现代农业科技,2018(1):51-52.
- [11]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.
- [12]张洋,马英杰. 不同生育期成龄灰枣树茎流速率与气象因子的关系[J]. 新疆农业科学,2021,58(9):1712-1722.
- [13]Zhang B Z, Xu D, Liu Y, et al. Multi-scale evapotranspiration of summer maize and the controlling meteorological factors in North China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2016, 216:1-12.
- [14]胡宏远,耿康奇,张晓煜,等. 淹水对采收期赤霞珠葡萄主干茎流规律及品质的影响[J]. 江西农业学报,2022,34(4):33-38.
- [15]冯东雪,刘海军,高壮壮,等. 夏玉米茎流速率变化规律及其影响因子研究[J]. 干旱地区农业研究,2020,38(2):185-191,198.
- [16]Zhao C Y, Si J H, Feng Q, et al. Comparative study of daytime and nighttime sap flow of *Populus euphratica* [J]. Plant Growth Regulation, 2017, 82(2):353-362.
- [17]吴喆滢,赵从举,徐文娟,等. 幼龄桉树茎流特征及其对环境因子的响应[J]. 西北林学院学报,2015,30(5):46-52.
- [18]王生海. 整形和水分胁迫对葡萄叶片光合生理过程响应机制的模型模拟研究[D]. 石河子:石河子大学,2019:13-32.
- [19]牛亚鸽,赵宝龙. 两种整形方式对葡萄光合生理的影响[J]. 新疆农垦科技,2019,42(8):11-13.
- [20]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.
- [21]王欣欣,卜一,李尽朝,等. 限额补灌及施肥水平对浅埋滴灌玉米生长发育、产量及水分利用率的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(16):62-68.
- [22]王卓,郭月峰,祁伟,等. 黄土高原砒砂岩区不同灌水梯度对幼龄沙棘茎流速率的影响[C]//中国治沙暨沙业学会. 中国治沙暨沙业学会 2018 年学术年会论文集. 格尔木,2018:201-212.
- [23]曾辰. 极端干旱区成龄葡萄生长特征与水分高效利用[D]. 北京:中国科学院研究生院,2010:146-155.
- [24]张利刚,曾凡江,刘镇,等. 极端干旱区 3 种植物液流特征及其对环境因子的响应[J]. 干旱区研究,2013,30(1):115-121.
- [25]李宏,刘帮,程平,等. 不同灌水量下幼龄枣树茎流变化规律[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(1):23-30.
- [26]Hinckley T M, Brooks J R, Cermák J, et al. Water flux in a hybrid poplar stand[J]. Tree Physiology, 1994, 14(7/8/9):1005-1018.
- [27]Heilman J L, Ham J M. Measurement of mass flow rate of sap in *Ligustrum japonicum* [J]. HortScience, 1990, 25(4):465-467.
- [28]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.