

# 油橄榄开花时期的茎流量动态变化及其与气象因子的关系

付洁<sup>1</sup>, 胡青<sup>2\*</sup>, 赵正雄<sup>1</sup>, 赵敏<sup>2</sup>, 陆斌<sup>2\*</sup>

(1. 云南农业大学 资源与环境学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南省林业和草原科学院, 云南 昆明 650201)

**摘要:**在掌握开花时期油橄榄树干茎流动态变化特征的基础上,探索气象因子与树干茎流的关系。结果表明,开花时期油橄榄晴天树干茎流日变化呈单峰形趋势,峰值出现在12:00—15:00,雨天树干茎流日变化呈双峰形趋势,晴天树干茎流量比雨天提高了15.8%。油橄榄开花时期树茎流量随太阳辐射强度的增大而呈降低的趋势,当太阳辐射最高值出现在12:00—15:00,与茎流出现峰值相同,太阳辐射与树茎流量间关系呈极显著相关关系,而茎流值会随空气相对湿度的增加逐渐减低,当空气相对湿度>20.9%时树干茎流呈下降趋势,空气相对湿度与油橄榄树茎流量两者间呈负相关,而空气温度和风速与树茎流量呈正相关关系,虽然空气温度与茎流量与相关性较低,但当空气温度>25.7℃时树干茎流会小幅度下降。通过分析气象因子与油橄榄茎流速率的关系,构建多元线性回归模型,在小时尺度上,太阳总辐射对油橄榄树干茎流速率的影响最大 $R^2=0.655$ ,对开花时期油橄榄树茎流速率的影响气象因子为太阳辐射>风速>空气湿度(负相关)>空气温度。在油橄榄开花时期可根据此模型推导出油橄榄树的潜在茎流量,以此为油橄榄开花时提出合理的节水补灌时间,对后期增加挂果量和提高产量有重要意义。

**关键词:**油橄榄;花期;树干茎流;气象因子;不同天气状况

**中图分类号:**S718.43

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2022)06-0054-08

## Dynamic Changes of the Stem Sap Flow of Olive During Flowering Period and the Relationships with Meteorological Factors

FU Jie<sup>1</sup>, HU Qing<sup>2\*</sup>, ZHAO Zheng-xiong<sup>1</sup>, ZHAO Min<sup>2</sup>, LU Bin<sup>2\*</sup>

(1. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan, China;

2. Yunnan Academy of Forestry and Grassland Sciences, Kunming 650201, Yunnan, China)

**Abstract:** On the basis of understanding the dynamic characteristics of stem sap flow (SSF) of olive during flowering period, we explored the relationship between meteorological factors and the SSF. The results showed that the diurnal variation of SSF in sunny days showed a single peak curve, peak value occurred in the afternoon from 12:00—15:00; in rainy days, it showed a double peak curve. Compared to rainy days, the SSF increased by 15.8% on sunny days. The highest value of solar radiation occurred during 12:00—15:00, the same as time when the peak value of SSF appeared. The relationship between solar radiation and SSF showed a very significant correlation, and the SSF value would gradually decrease with the increase of air relative humidity, when the relative humidity of air > 20.9%, the SSF showed a downward trend, and the relative humidity of air and the SSF showed a negative correlation, while the relationship between the SSF and temperature and wind speed showed positive correlation. Though the correlation between SSF and temperature was low, the SSF would decrease slightly when the air temperature was more than 25.7℃. A

收稿日期:2021-11-01 修回日期:2022-05-09

基金项目:国家重点研发计划项目“特色经济林优质轻简高效栽培技术集成与示范”(2020YFD1000700);“十三五”国家重点研发计划(2020YFD1000703)。

第一作者:付洁。研究方向:经济林培育和土壤肥力。E-mail:ffjie0812@163.com

\*通信作者:陆斌, 硕士, 研究员。研究方向:经济林栽培与利用。E-mail:kmlb@163.com。

胡青, 博士, 助理研究员。研究方向:经济林培育和土壤肥力。E-mail:905067239@qq.com

multiple linear regression model was constructed by analyzing the relationship between meteorological factors and SSF. At the hourly scale, the impact of total solar radiation on SSF was the most significant ( $R^2 = 0.655$ ), and impacts of the meteorological factors affecting SSF were in the order of solar radiation > wind speed > air humidity (negative correlation) > air temperature. The potential SSF can be deduced according to this model, so as to put forward a reasonable water-saving supplementary irrigation time for olive flowering, which is of great significance to increase the fruit setting and yield in the later stage.

**Key words:** olive; flowering of olive; stem sap flow; meteorological factor; weather condition

油橄榄 (*Olea europaea*), 木犀科木犀榄属植物, 是世界上著名的木本科油料树种, 主要产于地中海地区, 我国为次适宜生长区, 于 1964 年引进并进行推广种植<sup>[1]</sup>。油橄榄喜光, 适宜在年日照时数在 1 500 h 以上, 年均气温 15~20 °C; 水量一般在 500~700 mm 地区种植最合适<sup>[2]</sup>。

树干茎流是树木的蒸腾耗水过程<sup>[3]</sup>。关于油橄榄树干茎流及蒸腾耗水特征的研究很少, 因为油橄榄在不同的生长发育阶段不断从土壤中吸收水分, 以保证体内水分和养分的正常运输, 因此在不同的阶段有不同的需水量<sup>[4]</sup>。树干茎流能反映植物体内水分运输的过程和状态, 90% 以上的植物蒸腾量作用是茎流量。本研究采用热扩散法监测茎流的主要优点是使用简单, 测量结果精度高, 时间记录准确, 对植物的正常生长和生理活动没有根本性影响, 可以在树木自然的生长状态下实时进行自动、连续的动态监测<sup>[5-6]</sup>。外国学者在油橄榄蒸腾水的利用方面做了大量的工作, 以色列、希腊和西班牙等国家的林业专家水分与油橄榄产量之间的关系进行了系统的研究, 建立了灌溉模型, 根据不同气候和物候期确定灌水量, 可以采用滴灌和其他措施来节约用水<sup>[7-8]</sup>。大量研究表明, 水分胁迫会对油橄榄在开花期间生理活动剧烈, 需水量较多, 但灌溉因土壤温度变化, 会引起落花, 关于植物树干茎流的研究已有不少报道, 但大多集中在茎流速率与环境因子的关系, 尤其是茎流量与气象因子的关系上。然而, 开花时期油橄榄茎流、水分传输过程及其对气象因子的响应如何变化尚不清楚。

云南油橄榄主要种植区域为金沙江干热河谷地区, 而金沙江干热河谷地区在年平均气温、降雨量、日照时数与地中海适宜区地区十分相似<sup>[11]</sup>。而昆明气候是冬季和春季少而夏季多雨型, 与油橄榄种植适宜区相反<sup>[12]</sup>。因此本试验种植园内油橄榄开花期属于 4—5 月少雨季节, 此阶段降雨量不足以满足油橄榄种植的水分需求, 本研究油橄榄示范地可以进行灌溉, 以昆明树木园油橄榄为研究对象, 实时监测油橄榄开花时期的茎流速率及气象因子, 并对其相关性分析, 揭示油橄榄开花时期的水分传

输规律及水分利用过程, 为开花时期的油橄榄水分供给提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于云南省林业与草原科学院昆明树木园内油橄榄示范园, 地理位置 102°44'E, 25°9'N, 海拔 1 950~2 045 m。该地区属于亚热带高原季风气候, 年平均气温 14.9 °C, 极端最高气温 31.5 °C, 极端最低气温 -7.8 °C<sup>[13]</sup>。年平均降水量约为 1 000.5 mm, 月最大降雨量 208.3 mm, 日最大降雨量 153.3 mm, 降雨主要集中在 5—9 月。年日照时 2 327.5 h, 年蒸发量 1 856.4 mm。最大风速 40 m/s, 多西南风, 相对湿度 76%。该种植园内土质为红壤土, pH 值 6.89, 有机质含量 15.5 g·kg<sup>-1</sup>, 全 N 0.12%, 全 P 0.25%, 全 K 0.40%, 有效 P 30.9 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效 K 85.9 mg·kg<sup>-1</sup>, 灌溉设施齐全。

### 1.2 试验材料

试验树种选择树体大小、物候期、管理水平基本一致, 健康无病虫害, 及开花时期大致相同品种为豆果, 柯基, 皮瓜尔和不开花的皮瓜尔(CK)为对照的结果树作为观测样株, 种植规格为 3 m×3 m, 均为常规水肥管理。选择品种为代表性云南省主栽品种, 表 1 为油橄榄样株生长指标。

表 1 油橄榄样株生长指标

Table 1 The growth index of olive

研究对象	胸径/cm	树高/m	冠幅/m×m	树龄/a
豆果	9.48	3.63	2.84×4.37	8
柯基	11.71	4.84	3.64×5.31	8
皮瓜尔	8.65	3.26	2.34×3.84	7
CK	10.32	3.97	3.48×4.59	8

### 1.3 研究方法

1.3.1 树干茎流测定 油橄榄树干茎流采用的是热扩散法进行茎流仪(ECA-YL04 益康农科技发展有限公司, 北京)测定, 2021 年 4—5 月进行茎流量测定, 分别在每株树的主茎上清理出 1 个光滑面作为测试点, 然后将带有加热元器件长约 30 cm, 宽为 9 cm 的黑色“O”形保温带, 垂直紧贴在主茎并包

裹,最后用白色的粘贴带环绕 1 圈黑色“O”形保温带外围,并拉紧保温带保持不滑落状态。每株测定时设定加热时间 10 min,读数间隔时间为 10 min 的自动测定模式,茎流仪测定自动记录 24 h 数据后关闭茎流仪取下黑色“O”形保温带,进行充电后按以上操作步骤逐一测定待测植株,每个品种油橄榄在不同天气情况(晴天、阴天、雨天)下测定次数为 6 次,直至测定完毕为止。

本研究油橄榄主茎及侧枝的茎流速率是采用热平衡茎流仪(ECA-YL04)进行测定,依据热能量平衡原理,其计算公式如下

$$P_{in}=q_r+q_v+q_f+q_s \quad (1)$$

式中,输入热量等于各部分耗散热量之和, $P_{in}$  为茎干的热量(W); $q_r$  为径向热耗散(W); $q_v$  为茎干竖向传导的热量(W); $q_f$  为茎流携带的热量; $q_s$  为茎干热储(W)。

1.3.2 气象因子测定 2021 年 4—5 月,采用美国 HOB 小型自动气象站实时监测气象因子,气象因子包括:空气温度(°C)、空气相对湿度(% )、太阳总辐射(W/m<sup>2</sup>)、风速(m/s)。测量时间的间隔是 10 min,与茎流测定时间间隔一致。

#### 1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2010 软件进行树干茎流速率、茎流量与气象因子进行统计数据整理,采用 SPSS 20.0 软件进行其相关性及回归分析等。

## 2 结果与分析

### 2.1 油橄榄开花与不开花植株茎流速率连日变化

油橄榄在开花时期,油橄榄的茎流存在着明显昼夜变化规律(图 1),开花与不开花油橄榄植株白天的茎流速率均高于夜间,夜间的茎流速率变化幅度不大。开花与不开花油橄榄均呈“单峰型”变化趋势。4 月 9 日,豆果、柯基、皮瓜尔开花的与不开花 CK 的油橄榄树干茎流启动时间分别为 7:50、8:00、9:00 和 9:10。4 月 10 日,豆果、柯基、皮瓜尔开花的与不开花 CK 的油橄榄树干茎流启动时间分别为 8:30、9:20、9:30、11:40;4 月 11 日,茎流启动时间分别为 10:20、8:30、9:00、10:00。因此,CK 油橄榄树干茎流启动时间比开花期的豆果、柯基、皮瓜尔油橄榄都晚。4 月 9 日,豆果和柯基油橄榄的树干启动后急剧升高,达到峰值时间均为 12:10,皮瓜尔和 CK 油橄榄茎流分别在 11:30、12:20 达到峰值;4 月 10 日豆果、柯基、皮瓜尔开花的与不开花 CK 的油橄榄茎流峰值出现时间分别为 11:20、11:50、12:20、15:20;4 月 11 日,豆果、柯基、皮瓜尔开花与不开花 CK 油橄榄茎流峰值出现时间分

别为 14:30、12:00、12:10、16:10。因此,CK 未开花油橄榄茎流峰值出现时间晚于开花时期的另 3 种油橄榄。豆果和柯基开花油橄榄分别在 9:00—17:30、8:40—16:00 时间段的茎流速率较高,皮瓜尔开花和 CK 不开花的油橄榄分别在 9:20—17:10、11:10—20:00 保持较高茎流速率,未开花油橄榄比开花油橄榄维持较高茎流速率的时间较长。豆果和柯基开花油橄榄分别在 18:00、15:30 后茎流速率呈现迅速下降的趋势,最低值各为 0.149、0.111 cm·h<sup>-1</sup>,0:00—7:00 时间段会出现最小值,皮瓜尔开花和 CK 未开花油橄榄分别在 19:10、21:20 时间段下降到极低值 0.245、0.384 cm·h<sup>-1</sup>,最小值出现的时间段为 0:00—7:20、0:00—6:00。

油橄榄茎流日累积量显示出“S”曲线(图 2),这与典型的生物生长曲线相吻合,开花时期的豆果、柯基、皮瓜尔与不开花 CK 油橄榄树之间树冠茎流日累积量存在差异。4 月 9—11 日豆果和柯基油橄榄累积茎流量分别为 159.943 L 和 100.231、43.267 L 和 34.676、52.162 L 和 63.714 L,可以看出豆果茎流量日累积量高于柯基,茎流日累积量随直径增加而减少。4 月 9—11 日皮瓜尔和 CK 油橄榄日累积茎流量分别为 85.732 L 和 55.142、50.895 L 和 110.196、119.079 L 和 114.452 L。开花油橄榄皮瓜尔茎流日累积量低于 CK 不开花油橄榄。

### 2.2 不同天气条件开花油橄榄茎干茎流速率变化

通过随机选择晴天、雨天、阴天的天气状况,通过茎流仪采集的油橄榄茎流量数据与当天的气候状况相结合分析,得到开花时期油橄榄在晴天、雨天和阴天 3 个天气状况下的油橄榄茎流变化规律。不同天气条件下开花油橄榄茎流速率变化不同(图 3)。晴天,呈“单峰形”变化趋势;雨天,呈明显的“双峰形”变化趋势;阴天,呈现缓慢的单峰曲线。在晴天、阴天或多云天气中,茎流量基本都是从 8:30 左右开始呈缓慢增长,日变化峰值大致出现在 11:20 前后,18:30 左右降至日变化中的最小值。在雨天天气条件下,油橄榄茎流量变化幅度较大,油橄榄茎流量的日变化规律多次呈现双峰曲线,但茎流量数值多数情况都低于晴天和阴天 2 个天气状况,因受气象因子的影响较大,通过气象仪监测到昆明 4—5 月常在晚上到凌晨下雨且多为小雨,其次是中下午下雨且雨势较大,但持续时间不长,下完后会出太阳温度会上升,以至于雨天油橄榄茎流量在不停地大幅度变动;在晴天条件下,油橄榄茎流量日变化规律呈单峰线,有比较明显的峰值;在阴天条件下,油橄榄茎流量日变化规律也是呈单峰线,日变化幅度在 3 个天气状况下处于最小。

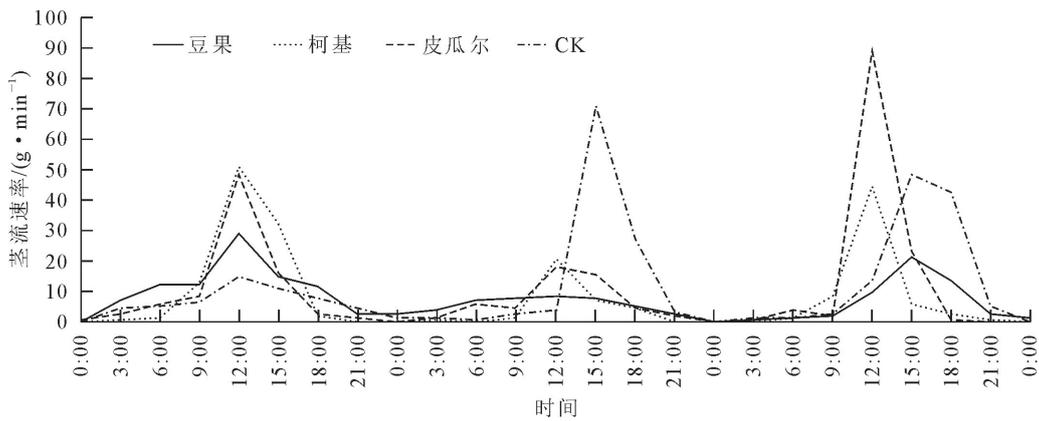


图 1 油橄榄茎流速率日变化

Fig. 1 Diurnal fluctuation of sap flow velocity during anthesis of olive

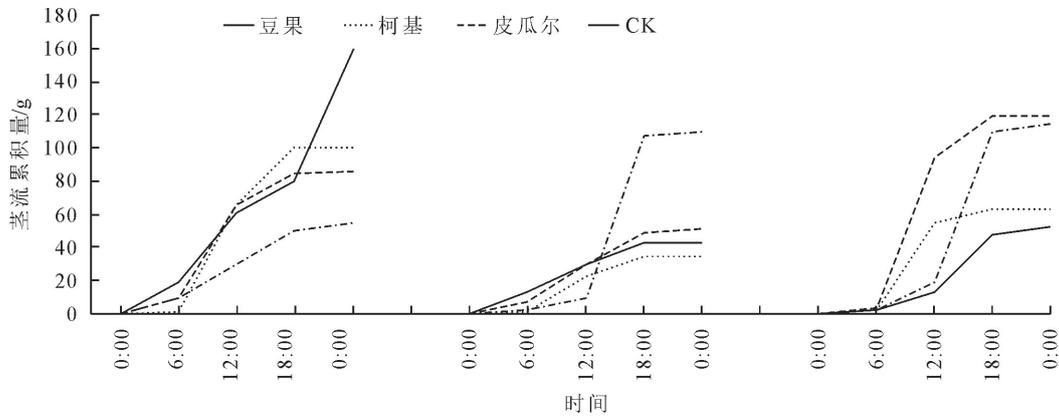


图 2 油橄榄树干茎流累积量

Fig. 2 The amount of stem flow accumulation in the trunk of the olive tree

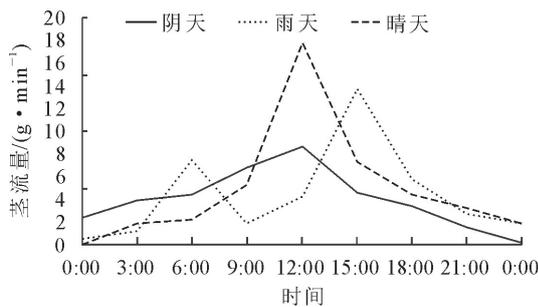


图 3 不同天气状况下油橄榄茎流速率的日变化规律

Fig. 3 Daily variation of stem flow rate in olive under different weather conditions

不同天气条件下油橄榄茎流量日累积量变化不同(图 4)。晴天油橄榄茎流量日累积量为 113.644 g;最高峰值出现在 12:40,9:00—16:20 茎流速率较高。雨天茎流日累积量为 98.17 g,出现双峰形变化分别在 5:00—8:30 和 13:40—18:20。阴天油橄榄茎流量日累积量为 106.301 g,茎流速率较为平缓,0:00—7:00 是最小值出现的时间段。由此可知,油橄榄茎流日平均速率均为晴天>阴天>雨天,与鄢春华等<sup>[14]</sup>和赵平等<sup>[15]</sup>研究结果一致。

### 2.3 开花与不开花油橄榄茎干茎流与气象因子的关系

气象因子空气温度、空气相对湿度、太阳总辐射及风速都会影响油橄榄树干茎流的变化(图 5)。由图 5 可以看出,在油橄榄开花时期树干茎流速率与气象因子的日变化,晴天呈单峰形趋势,而雨天变化趋势与晴天相同,监测过程中茎流速率与气象环境因子的日变化趋势,这 3 d 同图中一致。油橄榄茎流速率与太阳总辐射、空气温度、风速呈正相关,与空气相对湿度呈负相关。油橄榄树干茎流变化基本以太阳总辐射为主,在任何树种中都是太阳总辐射呈主导因子,空气温度、空气相对湿度以及风速气象因子为辅,只在有些特定时段下对树干茎流起作用。由于昆明市 4 月主要刮偏西大风,且晴天温度高刮风多在下午风速也大,风能使叶片表面的气流交换加快,从而改变叶片温度,进而减低蒸腾速率,在油橄榄茎流出现最大值时间早于风速最大值时间这与测量过程中温度过高有关。空气温度与茎流速率的启动时间、高峰值时间之间有一定时滞效应,空气温度出现在茎流开始后 2.0~3.5 h,茎流的峰值出现

在比空气温度之后 2.5~3.5 h;而在太阳总辐射启动时间比茎流速率滞后 1.0~2.0 h,但是峰值出现时间比茎流速率提前 1.5~3.0 h。

分析不同开花时期油橄榄树间茎流量与气象因子的相关性发现(表 2),太阳总辐射与树茎流量间关系呈极显著相关关系,空气温度和风速与树茎流量呈正相关关系,空气温度与 CK 呈负相关关系,茎流量与空气温度相关性较低,空气相对湿度与茎流量呈负相关关系,柯基开花时期呈极显著相关,风速与油橄榄树茎流量呈正相关,而 CK 油橄榄树茎流量呈极显著相关关系,整个监测周期油橄榄树茎流量与气象因子的相关密切程度,大小依次为太阳总辐射>风速>空气湿度(负相关)>空气温度。由此可知,开花时期的油橄榄树干茎流量随不同的气象因素而变化,太阳辐射强度和空气温度是影响树干茎流的最主要气象因素。

## 2.4 油橄榄树茎流与气象因子的回归模型

油橄榄树干茎流变化与气象因子中的空气相对

湿度、空气温度、太阳光照强度以及风速息息相关。采用拟合方程对油橄榄树茎流量与气象因子之间的关系进行分析(表 3),以油橄榄茎流速率为自变量,以太阳总辐射、空气温度、空气相对湿度为因变量,设以豆果为  $X$ 、柯基为  $X_1$ 、皮瓜尔为  $X_3$ 、CK 为  $X_4$ ,太阳总辐射对油橄榄树干茎流速率的影响最大  $R^2 = 0.655$ ,方程式为  $Y = 221.380 + 0.123X + 13.168X_1 - 0.378X_2 + 13.697X_3$ ,达到极显著水

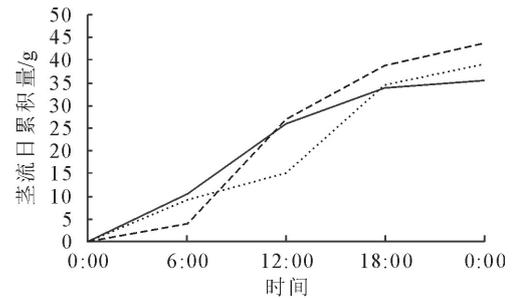


图 4 不同天气情况下油橄榄茎流日累积量

Fig. 4 Daily accumulation of stem sap flow under different weather conditions

表 2 油橄榄茎流量与气象因子的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of stem flow with meteorological factors of olive

气象因子	处理	茎流量	空气温度	空气相对湿度	太阳总辐射	风速值
茎流量	豆果	1	0.353	-0.321	0.634**	0.369
	柯基	1	0.435*	0.505**	0.571**	0.292
	皮瓜尔	1	0.246	-0.342	0.458*	0.276
	CK	1	-0.073	-0.142	0.667**	0.661**
空气温度	豆果	0.353	1	-0.828**	0.238	-0.095
	柯基	0.435*	1	-0.828**	0.238	-0.095
	皮瓜尔	0.246	1	-0.828**	0.238	-0.095
	CK	-0.073	1	-0.828**	0.238	-0.095
空气相对湿度	豆果	-0.321	-0.828**	1	-0.533**	-0.356
	柯基	0.505**	-0.828**	1	-0.533**	-0.356
	皮瓜尔	-0.342	-0.828**	1	-0.533**	-0.356
	CK	-0.142	-0.828**	1	-0.533**	-0.356
太阳辐射	豆果	0.634**	0.238	0.238	1	0.763**
	柯基	0.571**	0.238	0.238	1	0.763**
	皮瓜尔	0.458*	0.238	0.238	1	0.763**
	CK	0.667**	0.238	0.238	1	0.763**
风速值	豆果	0.369	-0.095	-0.356	0.763**	1
	柯基	0.292	-0.095	-0.356	0.763**	1
	皮瓜尔	0.276	-0.095	-0.356	0.763**	1
	CK	0.661**	-0.095	-0.356	0.763**	1

注: \* 表示显著相关( $P < 0.05$ ); \*\* 表示极显著相关( $P < 0.01$ )。

表 3 油橄榄茎流量与气象因子的拟合方程

Table 3 Fitting equations for stem flow of olive to meteorological factors

模型	$R^2$	$df$	$F$	方程
空气温度	0.189	24	5.307	$Y = 15.541 + 0.123X + 0.151X_1 - 0.461X_2 - 0.131X_3$
空气相对湿度	0.255	24	7.889	$Y = 59.905 + 0.1X - 0.803X_1 + 0.326X_2 - 0.077X_3$
太阳总辐射	0.655	24	23.741	$Y = 221.380 + 0.123X + 13.168X_1 - 0.378X_2 + 13.697X_3$
风速值	0.437	24	17.829	$Y = 15.789 + 0.105X + 0.21X_1 + 0.134X_2 + 0.235X_3$

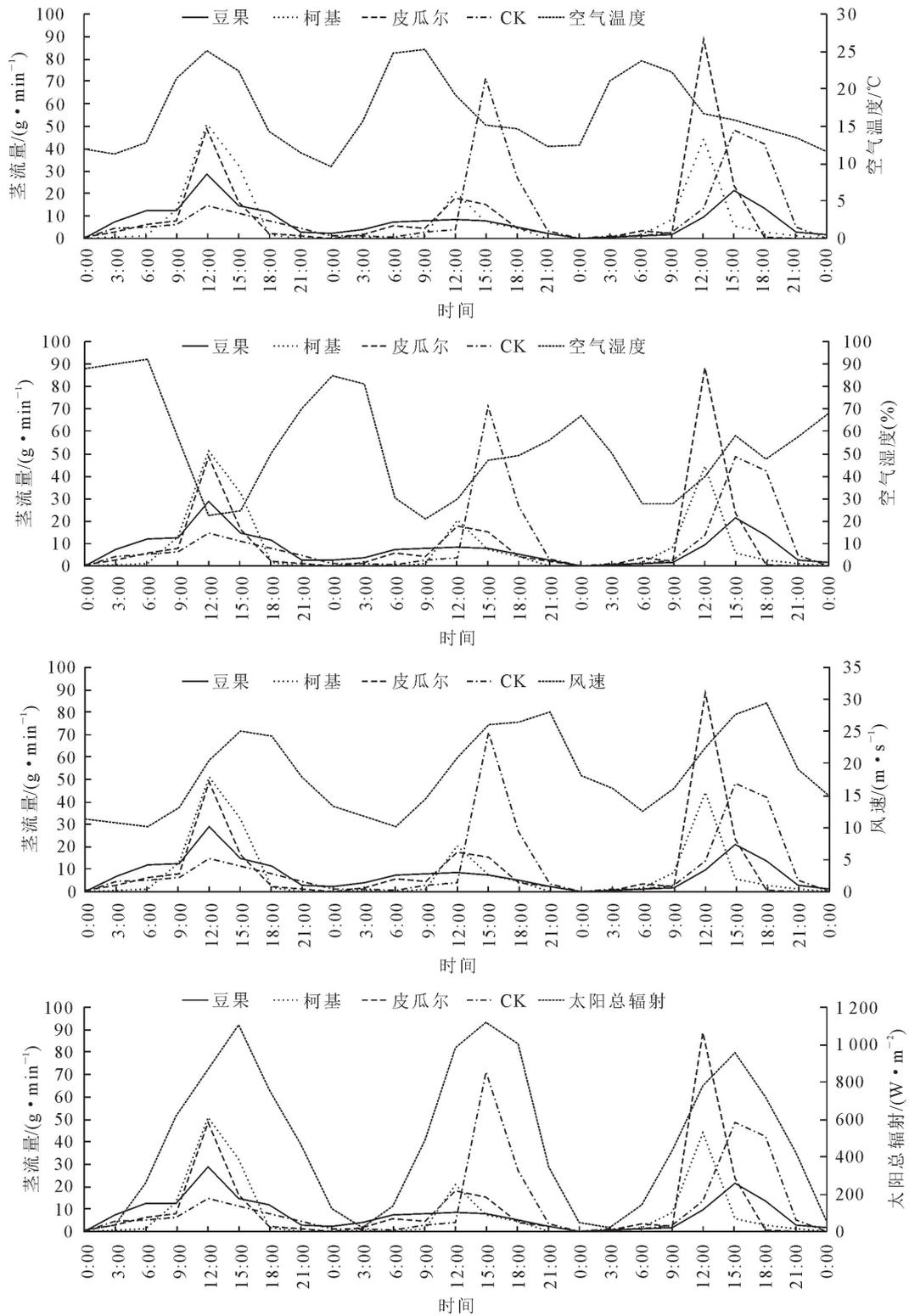


图 5 气象因子与油橄榄茎流日变化

Fig. 5 Meteorological factors and daily variations in stem flow of olive

平。分析发现,空气相对湿度的增加油橄榄茎流量会减小,茎流量和空气温度关系分析采用拟合方程中  $R^2=0.189$ ,树茎流量与空气温度二者相关性较低,并求得空气温度  $<9.7\text{ }^\circ\text{C}$  时,油橄榄树茎流量会降到最小值,当空气温度  $>25.7\text{ }^\circ\text{C}$  时,树茎流量会小幅下降。由于昆明 4 月风较大,所以风速与

树茎流量间相关性较高  $R^2=0.437$ ,说明风速对油橄榄树茎流量的影响较大。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 白天与夜间茎流

本研究发现,油橄榄开花期间油橄榄树干茎流

表现出了明显的昼夜变化规律,白天变化幅度较大,峰值出现于午后,多呈现明显单峰形变化曲线;同时夜晚也存在一定树干茎流,但变化的幅度相对比较小,树干茎流量白天变化均高于晚上。出现这个现象的原因是昆明海拔 2 000 m 以上,海拔高太阳辐射强,油橄榄白天茎流日变化峰值大致出现在 11:20 前后,白天茎流变化随太阳辐射的增强和温度升高,叶片气孔导度增强,蒸腾速度的加快,导致茎流速率加快;在夜间,油橄榄为了保证自身正常的生理活动,通过根系来吸水,恢复植株水分,维持自身的水分平衡,这与赵梦炯等<sup>[7]</sup>的油橄榄树干液流研究结果一致,认为油橄榄茎流量在午间达到峰值,之后下降,到夜间达到稳定。

### 3.2 晴天、阴天与雨天茎流

本研究中,油橄榄树干茎流速率在晴天日变化趋势为“单峰”形,而雨天茎流日变化呈现“双峰”形曲线。与其他区域不同树种的研究结论相似<sup>[14-19]</sup>,总体呈现的速率为晴天>阴天>雨天。雨天液流峰值起伏虽大、但是茎流速率低于晴天,雨天茎流启动时间比晴天晚开花与不开花的茎流日累积过程曲线呈“S”形,符合典型生物生长曲线,且阴天油橄榄茎流流速起伏不大,不同天气状况下,油橄榄茎流的启动、峰值和下降的时间各不相同<sup>[20]</sup>。

### 3.3 油橄榄不同品种茎流速率

本研究中,通过分析不同品种开花时期的树干茎流观测数据可得知,各典型天气情况下,不同树种的树干茎流速率均有显著的差异,但平均日茎流速率表现为豆果>皮瓜尔>柯基,受不同气象因子的影响下各树种均表现出明显的昼夜变化规律,不同天气状况下油橄榄因树种不同、尺度不同,其蒸腾速率也是会影响树干茎流速率差异因子<sup>[21]</sup>。

### 3.4 影响茎流的气象因子

不同气象因子对树干的茎流有所影响,但基本都是以太阳光辐射影响为主,空气温度、空气相对湿度和风速一般作用不明显<sup>[22]</sup>。本研究太阳总辐射与树茎流量间关系呈极显著相关关系,而当空气温度>25.7℃时,树茎流量会小幅下降,因此空气温度和风速与树茎流量呈正相关关系,油橄榄树茎流量随着空气湿度的增加而逐渐减小,因此空气湿度与树干茎流呈现负相关关系,雨天的太阳辐射和空气温度均低于晴天,但晴天的空气湿度低于雨天<sup>[18]</sup>。空气湿度 90℃为临界值,当高于临界值后树体茎流量出现下降现象。总体表现为太阳总辐射>风速>空气湿度(负相关)>空气温度。在不同时间尺度上,太阳辐射和气温对树干液流的影响较大,其次是空气相对湿度和风速,因此太阳辐射强度是影响油

橄榄树干茎流的主导气象因子<sup>[24]</sup>。

本研究建立了气象因子与油橄榄花期植株茎流量的拟合方程,开花期潜在的橄榄树茎流可以从气象因素中得出,这可以为橄榄树开花期的需水量提供理论参考,从而掌握橄榄树的需水量,合理进行油橄榄花期灌水,为后期增加挂果量和提高产量提供前期基础。

### 3.5 树干茎流与气象因子的时滞

本研究中,太阳总辐射是影响油橄榄树干茎流变化中最大的气象因子。开花与不开花时期的油橄榄树干茎流均与太阳总辐射、风速、空气温度呈正相关,与空气湿度呈负相关,茎流速率的启动时间、峰值出现时间与气象因子存在时滞效应<sup>[25-26]</sup>。油橄榄是喜光植物,对有效光合辐射更敏感,当太阳辐射升高,会导致空气温度升高,相对湿度降低<sup>[27]</sup>,因此茎流峰值出现时间比空气温度滞后 2.5~3.5 h;而在太阳总辐射启动时间比茎流速率滞后 1.0~2.0 h。

本研究只研究了气象因子与油橄榄花期茎流量在时间尺度上的变化,今后需进行月、年尺度上的关系研究,同时,只针对油橄榄花期进行了气象因子和茎流量的研究,今后应增加油橄榄不同生长时期的气象因子和茎流量的研究。

### 参考文献:

- [1] 邓明全,俞宁.油橄榄引种栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [2] 龙丽.油橄榄种植现状、意义及产业化发展策略[J].乡村科技,2020(16):21-22.
- [3] 赵春彦,司建华,冯起,等.胡杨树树干茎流特征及其与环境因子的关系[J].中国沙漠,2014,34(3):718-724.
- [4] 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.
- [5] PING L U, URBAN L, PING Z. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice[J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(6): 631-646.
- [6] NADEZHDA N, STEPPE K, PAUW D J D, et al. Stem-mediated hydraulic redistribution in large roots on opposing sides of a Douglas-fir tree following localized irrigation[J]. New Phytologist, 2010, 184(4): 932-943.
- [7] 赵梦炯,吴文俊,马超,等.陇南地区土壤水分及气象因子对油橄榄树干茎流的响应特征[J].西北林学院学报,2020,35(5):104-109.  
ZHAO M J, WU W J, MA C, et al. Response characteristics of soil moisture and meteorological factors on stem flow of olive trees in Longnan area[J]. Journal of Northwest Forestry Academy, 2020, 35(5): 104-109. (in Chinese)
- [8] MORENO F, FERNANDEZ J E, CLOTHIER B E, et al. Transpiration and root water uptake by olive trees [J]. Plant and Soil, 1996, 184(1): 85-96.
- [9] 刘兴芬,朱建明.不同水分胁迫对油橄榄生长指标的影响[J].

- 中国林副特产,2010(3):8-11.
- LIU X F,ZHU J M. Effect of different water stress on growth index of olive[J]. China Forestry Specialties,2010(3):8-11. (in Chinese)
- [10] 王怡.水分胁迫对3个油橄榄品种光合及生理特性的影响[D].雅安:四川农业大学,2012.
- [11] 贺娜,张艳丽,宁德鲁,等.云南主栽油橄榄品种果实品质综合评价[J].西南林业大学学报:自然科学,2018,38(2):181-184.
- [12] 宁德鲁,陆斌,杜春花,等.云南省油橄榄产业发展现状、问题及对策[J].经济林研究,2010,28(3):146-149.
- [13] 杨从华,宁德鲁,石卓功,等.油橄榄在云南的果实生长发育特性分析[J].经济林研究,2020,38(1):177-183.
- [14] 鄢春华,王蓓,邹振东,等.九寨沟阔混交林的夜间液流及其分配特征研究[J].北京大学学报:自然科学版,2020,56(4):732-738.
- YAN C H,WANG B,ZHOU Z D,*et al.* Study on the nocturnal sap flow and its distribution characteristics in Jiuzhaigou mixed coniferous forest[J]. Journal of Peking University: Natural Science Edition,2020,56(4):732-738. (in Chinese)
- [15] 赵平,饶兴权,马玲,等. Granier 树干液流测定系统在马占相思的水分利用研究中的应用[J].热带亚热带植物学报,2005,13(6):457-468.
- [16] 马长明,马玉洁,程月明.冀西北坝上干旱区北京杨树干液流特征及影响因素分析[J].水土保持学报,2017,31(6):338-344.
- MA C M,MA Y J,CHENG Y M. Analysis of dry sap flow characteristics and influencing factors of Beijing poplar in the arid zone of Northwest Hebei Dam[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2017,31(6):338-344. (in Chinese)
- [17] 张婕,蔡永茂,陈立欣,等.北京山区元宝枫夜间液流活动特征及影响因素[J].生态学报,2019,39(9):1-13.
- [18] 温杰,陈云明,唐亚坤,等.黄土丘陵区油松、沙棘生长旺盛期树干液流密度特征及其影响因素[J].应用生态学报,2017,28(3):763-771.
- WEN J,CHEN Y M,TANG Y K,*et al.* Characteristics of trunk sap flow density and its influencing factors during the growth spurt of *Pinus tabulaeformis* and *Hippophae rhamnoides* spp. *sinensis* in the Loess Hills[J]. Journal of Applied Ecology,2017,28(3):763-771. (in Chinese)
- [19] 王华田,马履一.利用热扩散式液流探针(TDP)测定树木整株蒸腾耗水量的研究[J].植物生态学报,2002,26(6):661-667.
- [20] 温淑红,韩新生,蔡进军,等.宁南黄土丘陵区山桃树干液流速率及其与气象因子的关系[J].西南农业学报,2020,33(6):1301-1308.
- WEN S H,HAN X S,CAI J J,*et al.* Dry sap flow rate of hickory trees in the Loess Hills of Ningnan and its relationship with meteorological factors[J]. Southwest Journal of Agriculture,2020,33(6):1301-1308. (in Chinese)
- [21] 殷秀辉,程飞,张硕新.油松树干液流特征及其与环境因子的关系[J].西北林学院学报,2011,26(5):24-28.
- YIN X H,CHENG F,ZHANG S X. Sap flow characteristics of *Pinus tabulaeformis* and its relationship with environmental factors[J]. Journal of Northwest Forestry Academy,2011,26(5):24-28. (in Chinese)
- [22] 张璇,张会兰,王玉杰,等.缙云山典型树种树干液流日际变化特征及与气象因子关系[J].北京林业大学学报,2016,38(3):11-20.
- ZHANG X,ZHANG H L,WANG Y J,*et al.* Characteristics of inter-day variation in trunk sap flow of typical tree species in Jinyun Mountain and its relationship with meteorological factors[J]. Journal of Beijing Forestry University,2016,38(3):11-20. (in Chinese)
- [23] 王媛,魏江生,刘兵兵,等.环境因子对大兴安岭南段白桦树干液流变化特征的影响[J].东北林业大学学报,2021,49(2):11-17.
- WANG Y,WEI J S,LIU B B,*et al.* Influence of environmental factors on the changing characteristics of stem sap flow of birch in the southern section of the Daxinganling [J]. Journal of Northeast Forestry University,2021,49(2):11-17. (in Chinese)
- [24] 田原,张秋良,刘璇,等.兴安落叶松树干液流与太阳辐射的时滞效应[J].东北林业大学学报,2018,46(5):26-29.
- TIAN Y,ZHANG Q L,LIU X,*et al.* Time lag effect of dry sap flow and solar radiation in Xing'an larch [J]. Journal of Northeast Forestry University,2018,46(5):26-29. (in Chinese)
- [25] 屈柏林,郭延朋,杨晶雯,等.冀中平原速生杨树干液流特征及驱动因子对其影响[J].东北林业大学学报,2020,48(12):18-22.
- QU B L,GUO Y P,YANG J W,*et al.* Characteristics of dry sap flow in fast-growing poplar and its response to driving factors in the central Hebei plain[J]. Journal of Northeast Forestry University,2020,48(12):18-22. (in Chinese)
- [26] 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.
- XU L G,MIAO Z W,DU L,*et al.* Analysis of variation in and factors influencing sap flow in stem of *Lycium barbarum* in an arid area[J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(17):5519-5527. (in Chinese)
- [27] 陈婧,马履一,段劼,等.不同环境因子对黄连木1年生苗耗水规律的影响[J].西北林学院学报,2014,29(2):6-11.
- CHEN J,MA L Y,DUAN J,*et al.* Influence of different environmental factors on water consumption patterns of 1-year-old seedlings of Huanglian tree[J]. Journal of Northwest Forestry Academy,2014,29(2):6-11. (in Chinese)