

# 甜茶光合日变化及其与环境因子的关系

王满莲, 唐 辉, 孔德鑫, 史艳财, 邹 蓉, 蒋海英

(广西壮族自治区 中国科学院 广西植物研究所, 广西 桂林 541006)

**摘 要:**用 Li-6400 便携式光合测定系统对甜茶的光合-光强响应曲线和光合日变化进行了测定。结果表明:100%光下甜茶的光饱和点、光补偿点与最大净光合速率均显著高于 30% 光下的值,但 2 种光下甜茶的表观量子效率值均较低,且无显著差异,说明甜茶强光下的光合能力较强,但对弱光的利用效率较低。全光下甜茶的净光合速率( $P_n$ )日进程呈双峰型曲线,中午前后  $P_n$  的下降与此时的强光、高温和低湿度有关,但非气孔限制是主要限制因素。逐步多元回归和通径分析表明,光合有效辐射、气温、叶温和空气湿度是直接影响净光合速率日变化的主要因子。因此,甜茶适宜种植在阳光充足的环境,但夏季适度遮荫利于其生长。

**关键词:**甜茶;光响应曲线;光合日变化;逐步多元回归;通径分析

中图分类号:S 571.1 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2011)18-0025-04

甜茶(*Rubus suavissimus* S. Lee)为蔷薇科悬钩子属,20 世纪 80 年代初调查发现,是广西特有的无毒、低热能、高甜度和具有保健功能的野生珍稀甜味植物<sup>[1-2]</sup>。其叶中含有的甜茶素的甜度相当于蔗糖的 300 倍<sup>[3-4]</sup>。近年来,随着患肥胖症、糖尿病及心血管病的人数日益增多,甜茶素作为一种高甜度、低热量、口味纯正

的非蔗糖天然甜味剂,日益受到重视。自广西甜茶被发现以来,国内外学者在医学<sup>[5]</sup>、毒理学<sup>[6]</sup>、化学成分<sup>[7-8]</sup>等方面对其进行了广泛的研究,而对其光合特性及其与环境因子的关系研究尚未见报道。光合作用是植物生长和其它一切代谢活动的生理基础,光合特性的不同往往是植物生长及抗性差异的直接原因之一<sup>[9]</sup>。光合作用的某些生理参数,如最大光合速率、光补偿点、光饱和点等,已成为植物速生丰产以及制定栽培措施的科学依据<sup>[10]</sup>。现通过观测甜茶的光合-光响应曲线和光合日变化进程,并应用逐步多元回归和通径分析方法研究了生态因子与光合作用的关系,揭示其光合作用的基本生理生态学特征和规律,为其制定合理、有效的栽培管理措施提供理论依据。

**第一作者简介:**王满莲(1978-),女,硕士,助理研究员,现主要从事植物生理生态学方面的研究工作。E-mail:Wangml1978@163.com。

**责任作者:**唐辉(1972-),男,本科,副研究员,现主要从事药用植物资源评价及规范化栽培研究工作。

**基金项目:**广西自然科学基金资助项目(桂科自 0991228);桂林市科技成果转化与应用资助项目(20100103-6)。

**收稿日期:**2011-06-20

[9] 王毅,王建国. 覆砂覆草对果园增产增收效应试验[J]. 中国果树, 1996(1):16-17.

[10] 张国和. 盖砂覆膜对苹果园土壤养分和树体生长发育的效应[J]. 甘肃农业科技, 1998(4):29-30.

[11] 刘小勇,尹晓宁,张永茂,等. 苹果园覆沙栽培试验[J]. 中国果树, 2004(2):14-16.

[12] 唐龙翔,康少杰,李文庆. 干旱胁迫对果树开花的诱导及对生理生化性状的影响[J]. 北方园艺, 2009(9):111-115.

## Study on Effects of Sand Mulch on Soil Water and Temperature in Dryland Apple Orchard

LIU Xiao-wei, HE Bao-lin, KANG En-xiang

(Key Laboratory of Northwest Drought-resistant Crop Farming, Ministry of Agriculture, People's Republic of China, Key Laboratory of Efficient Water Utilization in Dryland Farming, Gansu Province; Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070)

**Abstract:** Taking 4 years, 7 years and 10 years old apple as test materials, the effects of different sand mulch years on the soil water content, soil temperature under different growth stages and yield of apple were studied. The results showed that the sand mulch could increase the temperature variation of topsoil about 2°C in 0~20 cm before apple flowing; The sand mulch under 4~7 a increased the soil moisture content compare with the sand mulch under 10 a, but it abated abate gradually the soil moisture content after 10 a and it need changed.

**Key words:** sand mulch; orchard; soil water content; soil temperature; yield

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2009年4月将采自广西金秀瑶族自治县的野生广西甜茶根蘖苗,移植于塑料花盆,放置在桂林植物园透光率为30%的温室大棚培养(30%RI)。2010年4月25日,留10盆甜茶于温室继续培养,其余甜茶剪去大部分嫩枝叶,带盆土定植于四周空旷的大田(100%RI),由于根未受损伤,植株迅速恢复生长,7月份甜茶枝叶茂盛。

### 1.2 试验方法

2010年8月9~10日,温室与大田各选3株甜茶,每株选1片树冠中部向阳面成熟叶,用Li-6400便携式光合作用系统进行光合-光响应曲线测定(光响应曲线测定、拟合与参数计算参见参考文献[11]的方法)。8月11~13日连续3个晴天,选大田甜茶树冠中部向阳面成熟叶片,进行光合日变化测定。每天8:30~17:30,每1.5h测1次,每次4张叶片,各光合参数取每个时间点的平均值,3d即3次重复。其中生理指标包括净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )和叶片与空气间的水汽压亏缺(VPD)等,环境参数包括光合有效辐射(PAR)、气温( $T_a$ )、叶温( $T_l$ )、大气 $CO_2$ 浓度( $C_a$ )、空气相对湿度(RH)等。气孔限制值( $L_s$ )= $1 - \text{胞间} CO_2 \text{ 浓度}(C_i) / \text{大气} CO_2 \text{ 浓度}(C_a)$  [12]。由于温室与大田相隔较远,2个地点甜茶光合日变化不能同时测定,随后由于天气问题,该试验没有对温室甜茶进行光合日变化测定。

### 1.3 数据分析

用Spss 13.0(Spss Inc., USA)对观察数据进行独立样本t-test、相关性检验、逐步多元回归和通径分析[13],用Sigma Plot 9.0(Spss Inc., USA)绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生长环境甜茶净光合速率对光强的响应

不同生长环境甜茶的 $P_n$ -PPFD响应曲线呈相似

的变化趋势,在光强低于 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,净光合速率( $P_n$ )均随光强的增大线性上升,之后 $P_n$ 随光强增大而上升的幅度逐渐减小,直至达到最大净光合速率( $P_{\max}$ ),此后光强增大, $P_n$ 有缓慢下降的趋势(图1)。在大于 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光强范围内,大田甜茶的 $P_n$ 均高于遮荫温室。

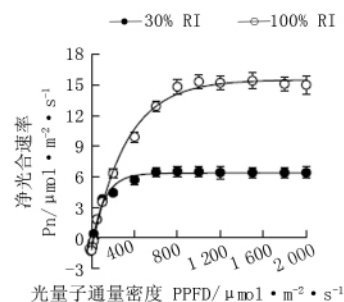


图1 不同生长环境甜茶叶片净光合速率对光强的响应

Fig. 1 The responses of net photosynthetic rate( $P_n$ ) to light intensity(PPFD) in leaves of *R. suavisissimus* planted in different conditions

### 2.2 不同生长环境甜茶叶片的光响应参数

由表1可知,甜茶从透光率为30%的温室大棚定植至全光大田后,其光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)和光饱和光合速率( $P_{\max}$ )均显著提高,但表观量子效率(AQY)无显著差异。

### 2.3 环境因子日变化

由图2可知,全天的环境光合有效辐射(PAR)呈先升后降的趋势,8:30时达到 $789 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,此后PAR逐渐增大,至13:00左右达最大值 $2012 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,以后又逐渐减小;空气 $CO_2$ 浓度( $C_a$ )呈先降后升的趋势,早晨最高,下午未能恢复到早晨的水平(图2A)。空气温度( $T_a$ )、叶片温度( $T_l$ )与PAR的变化趋势基本一致,但全天最高值滞后PAR 1h左右,13:00左右叶温高于气温;空气湿度(RH)与 $T_a$ 的日变化趋势相反,呈先降后升的趋势(图2B)。

表1

不同生长环境甜茶的光响应参数

Table 1 The Photosynthetic parameters derived from  $P_n$ -PPFD curves of *R. suavisissimus* planted in different conditions

生长环境 Grown conditions	最大净光合速率 $P_{\max} / \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	光饱和点 LSP / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	光补偿点 LCP / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	表观量子效率 AQY / $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$
30% RI	$6.21 \pm 0.06$	$576 \pm 4$	$14.4 \pm 0.38$	$0.048 \pm 0.001$
100% RI	$14.98 \pm 0.19^*$	$1502 \pm 5^*$	$22.6 \pm 0.40^*$	$0.049 \pm 0.001$

注:同一列上标\*为差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Within each line, \* are significant difference at  $P < 0.05$  according to LSD multiple test.

### 2.4 甜茶叶片光合生理参数的日变化

由图3A可看出,甜茶 $P_n$ 日变化呈“双峰型”,第一峰值出现在上午10:00时左右,第二峰值出现在16:00时左右,而谷底出现在14:30时左右,出现了明显的光合作用“午休”现象; $T_r$ 总体呈先升后降的趋势,但10:00~14:00时间的值变化很小;PVD与RH的变化趋势相反,呈先升后降的趋势,峰值为14:30时左右。由图3B可看出, $G_s$ 与 $P_n$ 的日变化一致,呈“双峰型”; $C_i$

日变化总体呈先降后升的趋势,最低值为上午11:30时, $L_s$ 与 $C_i$ 日变化趋势相反。

### 2.5 甜茶叶净光合速率与生态因子关系的回归分析

为定量了解生态因子对甜茶叶光合作用的影响,试验应用逐步多元回归方法建立模型。以PAR( $X_1$ )、 $C_a$ ( $X_2$ )、 $T_a$ ( $X_3$ )、 $T_l$ ( $X_4$ )、RH( $X_5$ )与 $P_n$ (Y)进行逐步多元回归(金则新和柯世省2004),得到下列回归方程:  

$$Y = 247.2 + 0.01X_1 - 2.836X_3 - 2.362X_4 - 1.175X_5$$

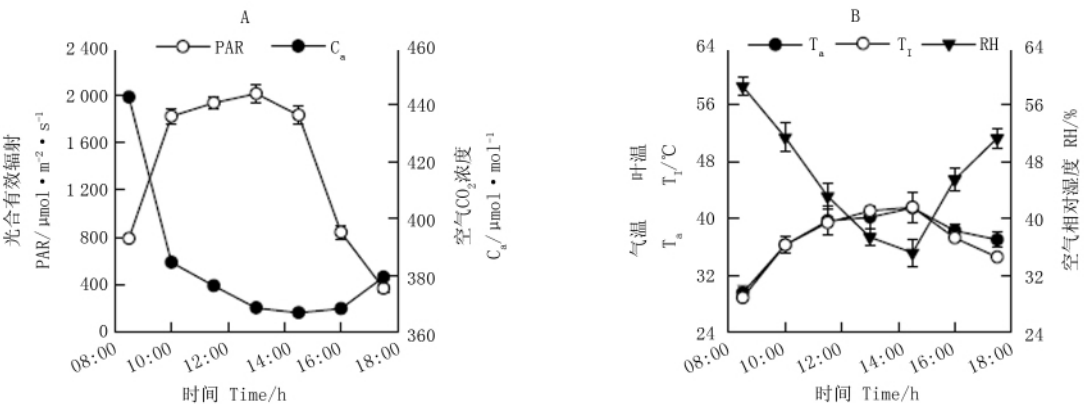


图2 环境因子与光合生理参数日进程  
Fig.2 Diurnal course of variation in environmental factors,photosynthetic and physiological parameters

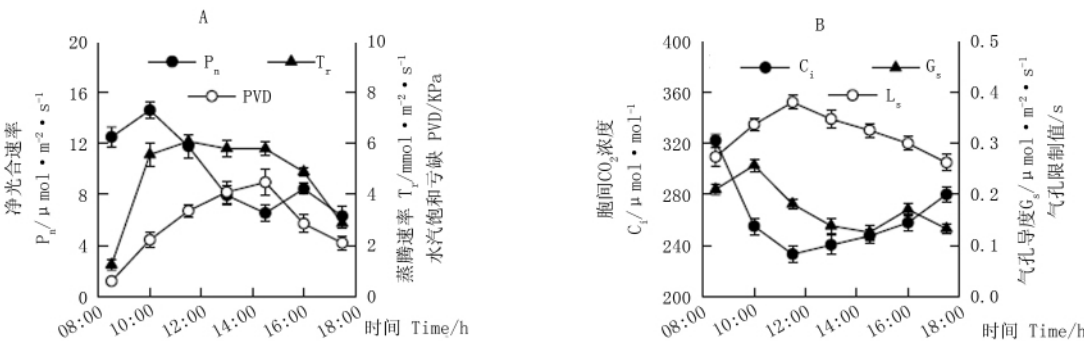


图3 环境因子与光合生理参数日进程  
Fig.3 Diurnal course of variation in environmental factors,photosynthetic and physiological parameters

(相关系数  $R=0.952$ ,  $F$  值  $=55.070$ , 显著水平  $P=0.000$ , 剩余标准差  $S=0.969$ )。模型相关性极显著,且拟合结果不错(表2),具有较强的预测能力。该模型筛选了 PAR、RH、 $T_a$  和  $T_l$  共 4 个起着决定性作用因子。为进一步了解这些因子作用的大小,试验又进行了通径分析(表3)。从直接作用绝对值大小看,生态因子对净光合速率影响大小的顺序为:  $RH>T_a>T_l>PAR$ , 4 个生态因子直接作用绝对值大小均较大,均对净光合速率日进程起着重要直接影响,其中只有 PAR 的直接通径系数为正值,对净光合速率日进程起正影响作用, RH、 $T_a$  和  $T_l$  均起负影响作用。4 个生态因子的间接通径系数均较大,说明 RH、 $T_a$ 、 $T_l$  和 PAR 之间的间接作用对净光合速率也产生较大的影响,其中  $T_a$ 、 $T_l$  通过 RH 对净光合速率的间接作用最大。

表2 净光合速率的观测值与拟合值

时间	观测值	拟合值	拟合误差
Time	Observational values	Simulated values	Simulated errors
08:30	12.47	12.27	0.20
10:00	14.56	14.86	-0.30
11:30	11.75	10.45	1.30
13:00	7.93	8.62	-0.69
14:30	6.54	6.71	-0.17
16:00	8.45	7.37	1.08
17:30	6.31	7.17	-0.86

表3 净光合速率日进程与几项生理生态因子的通径系数分析

Table 3 Path coefficient analysis on diurnal variation of netphotosynthetic rate and some ecophysiological factors

因子 Factors	直接通径系数 Direct pathcoefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient			
		RH	PAR	Tl	Ta
RH	-4.960	—	-0.9836	3.0429	3.448
PAR	2.129	2.2915	—	-2.2830	-1.9049
Tl	-3.220	4.6872	1.5095	—	-3.3856
Ta	-3.476	4.9203	1.1667	-3.1363	—

3 讨论与结论

甜茶从透光率为 30% 的温室大棚定植至全光照大田后,其  $P_{max}$ 、LSP 和 LCP 均显著增大,表明生长环境光强增大,甜茶的光合能力增强、光饱和点和光补偿点均显著提高,但弱光下的量子效率(AQY)无显著差异。根据 Walte 等<sup>[14]</sup>对一般灌木光响应参数的总结,可初步推断甜茶为光合能力、光饱和点和补偿点均较高的阳生植物,弱光下具有荫生植物的部分特性,对弱光环境有一定的适应性,但其弱光下量子效率较低,耐阴性较弱,这与甜茶野外分布在林缘和路边的结果一致。甜茶的净光合速率( $P_n$ )日变化在 8 月初表现为

“双峰型”曲线,存在明显的光合作用“午休”现象。Farquhar 等<sup>[15]</sup>提出,判断叶片  $P_n$  中午降低主要原因是气孔因素还是非气孔因素的 2 个可靠判据,是  $C_i$  和  $L_s$  的变化方向: $C_i$  降低和  $L_s$  升高表明气孔因素是主要原因,而  $C_i$  升高和  $L_s$  降低表明非气孔因素是主要原因。11:30~14:30 时,甜茶的  $P_n$  下降, $G_s$  降低, $C_i$  上升而  $L_s$  降低,可以判断此时甜茶  $P_n$  下降的主要因素是非气孔限制。光抑制是植物光合作用非气孔限制因素的主要形式,夏日中午前后的光强远超过甜茶的光饱和点,长时间的强光照射引起叶片光合作用的光抑制现象。因此在甜茶的栽培管理中,夏天应适当遮荫,减弱光抑制,提高光合效率。

统计分析表明,空气相对湿度、气温、叶温和光合有效辐射是决定甜茶叶片  $P_n$  日变化的主要直接因子,同时它们之间的间接作用对  $P_n$  的影响也较大。光合有效辐射是光合作用能量的来源,是影响光合作用生态生理因子的最根本因素,因此它是影响甜茶  $P_n$  的主要因子之一。空气温度影响饱和蒸汽压以至叶肉细胞表面到叶片周围空气之间的水汽饱和和亏缺,因此空气温度对光合日进程的影响往往与空气湿度的影响有密切联系。在夏日晴天高温天气下,甜茶  $P_n$  受到了气温升高的明显抑制,并通过相对湿度对  $P_n$  的间接作用,加剧了光抑制,使空气相对湿度、气温和叶温成为影响  $P_n$  的重要因子之一。

综上所述,甜茶为光合能力较强的阳性植物,但对弱光的适应性较差,适宜种植在阳光充足的环境。但是,夏季中午前后强光会对甜茶造成光抑制,并通过降低空气湿度和提高温度等间接导致“午休”现象的发

生,因此夏季适度遮荫有利于甜茶的生长。

### 参考文献

- [1] 李树刚. 甜茶—悬钩子属一新种[J]. 广西植物, 1981(4): 17-19.
- [2] 徐位坤. 甜茶[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984: 64-72.
- [3] Kingdom A D. 具有强烈甜味的天然化合物及其衍生物[J]. 国外医药(植物药分册), 1990(1): 16.
- [4] 吴祖祥, 孟丽珊, 徐位坤. 甜茶素含量测定[J]. 广西植物, 1982(4): 205-208.
- [5] 李莉, 何克新. 甜茶提取物的医学研究现状[J]. 现代医药卫生, 2006, 22(2): 199.
- [6] 廖曼云, 覃国忠. 甜茶的毒理学实验研究[J]. 广西植物, 1985, 5(1): 43-49.
- [7] 杜晋伟, 杨敬芝, 张东明. 甜茶叶的化学成分研究[J]. 中草药, 2007, 38(3): 346-348.
- [8] 王剑霞, 吕华冲. 广西甜茶化学成分研究[J]. 中药材, 2007, 30(7): 800-802.
- [9] 颜超, 王中生, 安树青, 等. 濒危植物银缕梅(*Parrotia subaequalis*) 不同径级个体的光合能力差异与更新限制[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4153-4161.
- [10] 王金名. 树木引种驯化概论[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990.
- [11] 王满莲, 韦霄, 蒋运生, 等. 野生与栽培黄花蒿净光合速率对光强和  $CO_2$  浓度的响应[J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(1): 45-49.
- [12] Berry J A, Donnton W J S. Environmental regulation of photosynthesis [A]. Govindjee eds. Photosynthesis [C]. New York: Academic press, 1982: 263-243.
- [13] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- [14] Walter L. 植物生态生理学[M]. 5 版. 翟志习, 郭玉海, 马永泽, 等译. 北京: 中国农业出版社, 1997: 67-78.
- [15] Farquhar G D, Shakey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1982, 33: 317-345.

## Study on the Diurnal Variation of Photosynthesis for *Rubus suavissimus* S. Lee and Its Relation to Environmental Factors

WANG Man-lian, TANG Hui, KONG De-xin, SHI Yan-cai, ZOU Rong, JIANG Hai-ying

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi 541006)

**Abstract:** The  $P_n$ -PPFD response curves and diurnal variation of photosynthesis of *Rubus suavissimus* S. Lee were measured with the Li-6400 portable photosynthesis measuring system. The results showed that the maximal net photosynthesis rate, light saturation point and light compensation point of *R. suavissimus* were significantly higher in full light than in 30% light transmittance. Both their apparent quantum yield were low, and there's no significant difference between them. Indicating that it's photosynthesis capacity was higher in high light intensity, but it's quantum yield was lower in low light intensity. Diurnal variation in net photosynthetic rate( $P_n$ ) of *R. suavissimus* was two-peak pattern. The rapid reduction in  $P_n$  during noontime was related to strong light intensity, high temperature and low air relative humidity, and the most important of which was non-stomatal restriction. The analysis of stepwise multi-regression and path coefficient showed that the photosynthetically active radiation, ambient temperature, leaf temperature and air relative humidity were the main direct factors which affected the diurnal variation of  $P_n$ . In summary, *R. suavissimus* adapted to a moderately sunny environment, but moderate shading was beneficial to the growth and development of the plant in summer.

**Key words:** *Rubus suavissimus*; light response curve; diurnal variation of photosynthesis; stepwise multi-regression; analysis of path coefficient