

DOI:10.11937/bfyy.201513002

三个引进葡萄柚品种的光合特性对比

叶红莲, 王连春

(西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224)

摘 要:以引进的3个葡萄柚品种“哈路比”、“火焰”和“瑞路比”为研究对象,用 Li-6400 便携式光合仪测定光合特性并对比其光合特性的差异。结果表明:“哈路比”的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)和水分利用率(WUE)最高,“火焰”次之,“瑞路比”最低;“瑞路比”的蒸腾速率(Tr)最高,“哈路比”最低;“火焰”的胞间 CO₂ 浓度(Ci)最高,“哈路比”次之,“瑞路比”最低;不同品种葡萄柚的净光合速率日变化为“双峰”曲线,具有明显的“午休”现象;蒸腾速率日变化总体趋势是先升后降。

关键词:葡萄柚;光合日变化;蒸腾;净光合速率;水分利用率

中图分类号:S 666.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)13-0006-04

葡萄柚(*Citrus paradisi* Macf.)属芸香科柑桔属小乔木,又名西柚,具丰富的食疗功效,是治疗高血压和心血管疾病的最佳食疗水果,是减肥美容圣品,同时含有大量叶酸,多食用可降低孕妇胎儿畸形率,与此同时它还具有预防疾病、保健效果和美容等功效。

评价植物第一性生产力的标准之一就是光合作用,它是植物生长发育的基础。光合作用对植株生长的影响、生长状况及其与环境因子关系的研究仅在板栗(*Castanea mollissima* Blume)^[2]、早银桂(*O. fragrans* ‘Zaoyingui’)^[3]、葡萄(*Vitis vinifera*)^[4]、苹果(*Malus pumila* Mill.)^[6]等较常见树种中有初步研究。目前,针对葡萄柚的研究主要集中在品种选育、生物学特性、栽培技术、果实品质及加工利用、病虫害防治和贮存保鲜技术等方面^[1],在光合作用及其与产量关系方面的研究尚鲜见涉及。

通过对葡萄柚光合、蒸腾及二者与环境因子的相互关系进行研究,旨在寻找最适宜葡萄柚生长的光照条件以及光能利用过程和水分利用效率与环境的关系,以期对葡萄柚丰产栽培技术的总结提供一定的支持。

1 材料与方

1.1 试验地概况

试验地位于昆明市盘龙区(东经 102°73', 北纬 25°05'),

第一作者简介:叶红莲(1988-),女,硕士研究生,研究方向为林木遗传育种。E-mail:yehonglian2011@gmail.com.

责任作者:王连春(1973-),男,博士,副教授,研究方向为经济林栽培学。E-mail:kaixianlc@126.com.

基金项目:科技部国际合作资助项目(2014DFA31060)。

收稿日期:2015-01-19

该区的气候类型为亚热带季风气候类型,日照长、霜期短,年平均气温 15℃,且气候温和,夏无酷暑,冬无严寒。土壤以红壤为主,土壤 pH 值大多为 4.0~7.5,有机质含量 1.5%~5.0%,土壤肥力中等,土壤结构良好。

1.2 试验材料

供试材料为美国引进的3个葡萄柚品种:“火焰”(‘Flame’),“哈路比”(‘Hudson Foster’),“瑞路比”(‘Ray Ruby’)。样本树体生长概况见表1。

表1 不同品种葡萄柚树体概况

Table 1 Survey of different varieties of grapefruit tree

树种名 Tree name	平均地径 Average diameter /mm	平均树高 Average tree height /cm	平均冠幅 Average crown /cm×cm
“火焰”(‘Flame’)	17.5	93.0	90.0×60.0
“哈路比”(‘Hudson Foster’)	19.8	96.5	77.5×82.5
“瑞路比”(‘Ray Ruby’)	25.1	110.0	80.0×50.0

1.3 试验方法

于2013年11月22日8:00—18:00,采用 Li-6400 便携式光合作用测定系统(北京力高泰科技有限公司)进行数据测定,每1h测定1次。分别测定“火焰”、“哈路比”、“瑞路比”的净光合速率(Pn, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO₂ 浓度(Ci, $\mu\text{mol}/\text{mol}$)、蒸腾速率(Tr, $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度(Gs, $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、光合有效辐射(PAR, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。每品种选3株,分不同叶位,每株选幼、中、老3种不同叶龄功能叶,重复4次取平均值。

1.4 数据分析

利用 Excel 2007 对 Li-6400 测得的数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 净光合速率日变化比较

3个葡萄柚品种的净光合速率(Pn)日变化结果显示均为双峰型曲线,呈现一致的变化趋势(图1)。Pn从8:00开始随着光强增加而递增,首峰出现在11:00,且达到全天中的最大值,最高峰值分别为“哈路比” $16.88 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、“火焰” $15.42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、“瑞路比” $13.88 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,此后Pn持续下降。在13:00达到波谷,次高峰出现在15:00,具明显“午休”现象。而光合有效辐射(PAR)在13:00左右达最大值(图2),说明过强的光照对其产生了光抑制现象^[7],主要原因是暗反应不能与光反应相互配合^[8]。3个品种中,“哈路比”的Pn值最高,“瑞路比”最低,“火焰”介于二者之间。“哈路比”在上午能够充分利用有利环境进行光合生产,因其在上午的Pn增加迅速,对光强上升较敏感。“火焰”Pn则表现在10:00—11:00和13:00—14:00增长较快,这段时间能进行相对较高的光合生产。日照强的中午,3个品种的光合作用都减小,这是由于叶片因为蒸腾作用而失水导致的。“瑞路比”Pn变化下午较上午平缓,下午的光合能力相对较弱。当叶片的边界层阻力很大时,Pn与Ci呈线性关系^[9],而根据试验结果,发现“瑞路比”Pn的变化与Ci呈负相关,这是由于叶肉细胞的光合活性减小的结果,而不是由于Ci降低导致的^[10]。

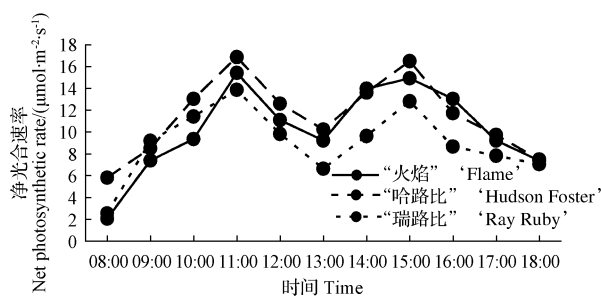


图1 不同品种葡萄柚净光合速率(Pn)日变化比较

Fig. 1 Different varieties of grapefruit net photosynthetic rate (Pn) changes comparison

2.2 蒸腾速率日变化比较

由图3可以看出,3个葡萄柚品种的蒸腾速率(Tr)日变化趋势一致,均表现为先升后降的“单峰”曲线,其中不同品种叶片Tr峰值出现在14:00左右,其值由大到小依次为“瑞路比” $2.33 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ > “火焰” $2.02 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ > “哈路比” $1.84 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。3个品种在8:00、12:00、18:00时间段Tr值较接近,“火焰”与“哈路比”在15:00 Tr值较接近。Tr日变化表明,3个葡萄柚品种的叶片Tr日变化总体趋势为先升后降,

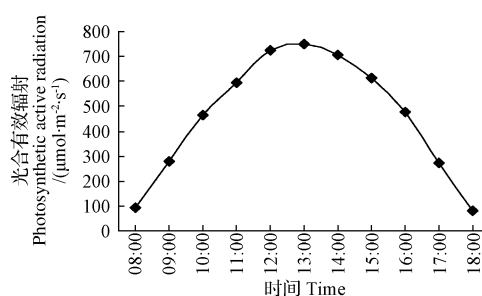


图2 光合有效辐射日变化

Fig. 2 Photosynthetic active radiation daily variation

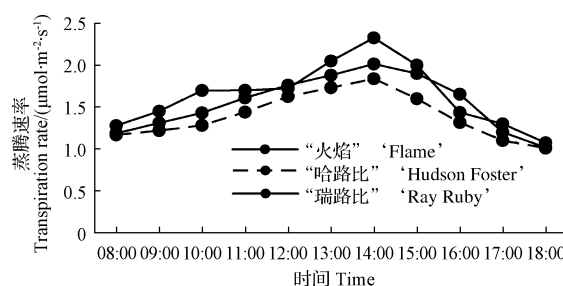


图3 不同品种葡萄柚蒸腾速率(Tr)日变化比较

Fig. 3 Different varieties of grapefruit transpiration rate (Tr) changes comparison chart

表现出相似的单峰曲线,说明3个葡萄柚品种叶片的蒸腾没有受到气孔开度的限制^[11]。其中Tr 15:00以后的变化与Pn 15:00以后的变化相同,下午蒸腾作用减小,但叶片含水量恢复较慢,所以光合作用依然很小。

2.3 胞间CO₂浓度日变化比较

从图4可以看出,3个葡萄柚品种叶片的胞间Ci日变化趋势一致,均呈现随PAR的增大(图2)而逐渐减小的趋势,PAR从 $92 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (8:00)逐渐升高至 $596 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (11:00)的过程中,Ci也有一个迅速下降的过程,当PAR超过 $596 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之后Ci上下波动并不大,说明Ci随着PAR增大而减小,PAR从 $616 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (15:00)开始逐渐下降至

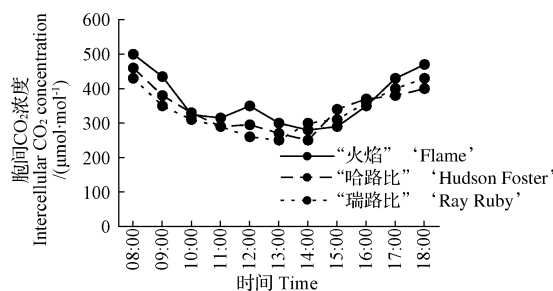


图4 不同品种葡萄柚胞间CO₂浓度(Ci)日变化比较

Fig. 4 Different varieties of grapefruit intercellular CO₂ concentration (Ci) changes comparison

$80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (18:00)的过程中, C_i 随其减小而增大。空气的 C_i 增高、气孔导度与叶肉导度增大和叶肉细胞的光合活性降低, 都会导致胞间 C_i 增高; 反之, C_i 也会因为空气中 C_i 的降低、气孔导度与叶肉导度减小和叶肉细胞的光合活性提高而降低。在空气中 C_i 恒定不变时, 胞间 C_i 变化为气孔导度、叶肉导度和叶肉细胞光合活性变化的代数和^[9]。

2.4 气孔导度日变化比较

气孔导度(G_s)是一个重要的生理学特征指标, 其变化首先影响水分的交换, 其次是 CO_2 的交换。叶片内外 CO_2 的交换过程, 除与内外 CO_2 的浓度梯度以及气孔对 CO_2 的扩散阻力有关之外, 还与光能转化和碳同化等生化因素有关^[12]。

从图 5 可以看出, 3 个品种葡萄柚 G_s 的日变化比较一致, 随 PAR 的变化都呈现逐渐下降的趋势, 11:00 后下降速度较缓慢, 说明最后葡萄柚叶片气孔部分关闭, 吸收 CO_2 速度减慢。其中“瑞路比”9:00 以后下降趋势较急促, “火焰”在 9:00 以后呈先升后降的趋势, 但最后都呈现逐步下降的趋势, 且下降趋势减缓。11:00 以后, 随着 PAR 及温度的增加, T_r 继续加强, 叶片失水严重, 从而增加环境中的湿度。气孔的开闭与外界的温度、湿度有关, 在外界空气过干、过热时, 气孔会不同程度的开启; 随着干度、热度的增大而成正比, 反之成反比, 故导致 G_s 在 11:00 以后逐渐减小。

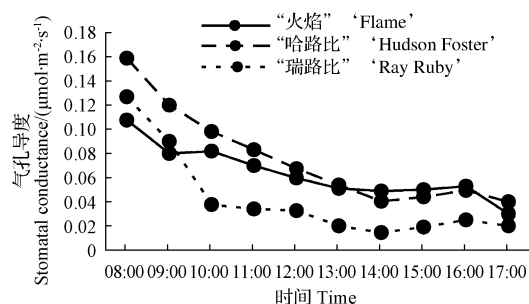


图 5 不同品种葡萄柚气孔导度(G_s)日变化比较

Fig. 5 Different varieties of grapefruit stomatal conductance (G_s) changes comparison

2.5 水分利用率日变化比较

植物的水分利用率(WUE)是 P_n 与 T_r 的比值 ($\text{WUE} = P_n / T_r$)^[14]。体现植物叶片水分消耗和 CO_2 吸收 2 个过程的对比^[15], 它反映植物消耗每单位重量水分所固定的 CO_2 的数量。

3 个葡萄柚品种的 WUE 的变化(图 6)与 P_n 的变化趋势(图 1)呈现一致, 这是植株体内水分供给与光合作用生理关联效应的结果^[15]。3 个品种的 WUE 呈现出

上午高于下午的分布特征, 并且最高峰出现在 11:00, 次高峰出现在 15:00。对测得数据进行平均计算, 发现不同品种的葡萄柚 WUE 日变化“哈路比”的平均值最高, 为 CO_2 $8.221\ 809 \mu\text{mol}/\text{mmol H}_2\text{O}$, “火焰”的平均值次之, 为 CO_2 $6.578\ 295 \mu\text{mol}/\text{mmol H}_2\text{O}$, “瑞路比”的平均值最低, 为 CO_2 $5.580\ 108 \mu\text{mol}/\text{mmol H}_2\text{O}$ 。

3 个葡萄柚品种的 WUE 均值在 CO_2 $5.58 \sim 8.22 \mu\text{mol}/\text{mmol H}_2\text{O}$ 之间, 与付为国等^[16]的研究结果一致。由此说明 3 个葡萄柚品种都适合在试验地生长, 当然在生产中应根据条件的不同控制葡萄柚的生长条件, 以便增加其 WUE, 积累更多的干物质, 提高其产量。

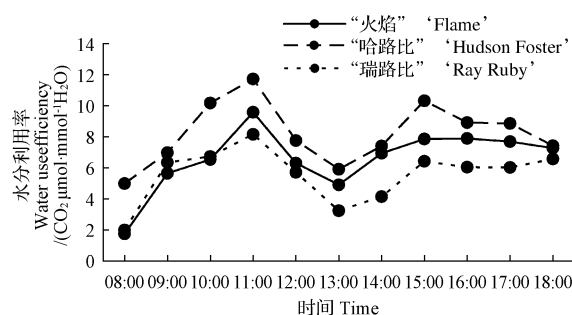


图 6 不同品种葡萄柚叶片水分利用率(WUE)日变化比较

Fig. 6 Different varieties of grapefruit leaf water use efficiency (WUE) change comparison chart

3 结论与讨论

3 个葡萄柚品种的净光合速率(P_n)日变化均呈现“双峰”曲线, 首次高峰出现在 11:00, 第二高峰出现在 15:00 前后, 12:00—14:00 为 P_n 的低谷, 13:00 左右到达最低值; 3 个品种的 P_n 由大到小的顺序为“哈路比”>“火焰”>“瑞路比”。

3 个葡萄柚品种蒸腾速率(T_r)的日变化趋势一致, 均表现为先升后降的“单峰”曲线, 其中 3 个品种叶片 T_r 的峰值都出现在 14:00 左右, 值由大到小依次为“瑞路比”>“火焰”>“哈路比”。

3 个葡萄柚品种叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)的日变化表现为先下降后上升的趋势, 其大小依次为“火焰”>“哈路比”>“瑞路比”; 气孔导度(G_s)日变化总体趋势为下降, 水分利用率(WUE)的日变化趋势均为双峰曲线, 其中“哈路比”水分利用率最高、“火焰”居中、“瑞路比”最低。

水分利用率的影响因素除了内部和外部因素之外, 还受到 2 个因素互作的影响^[19-20]。由水分利用率计算式^[14]知, 其随光合速率的升高而增大, 随蒸腾速率的升高而减小。在一定范围内随着光强的增加, 光合速率增加, 蒸腾速率也在增加, 水分利用率在总体上表现为增

加。当达到光饱和点,增加光强度,光合速率不变,蒸腾达到最大,最后植物失水直到植物气孔部分关闭。所以,在生产实践中,应选择水分利用率较高的葡萄柚品种扩大栽培,并通过提高水分管理水平来提高产量。

参考文献

- [1] 吴海波,刘惠民. 葡萄柚的栽培及研究概况[J]. 经济林学,2005,23(1):69-73.
- [2] 张媛,邵建柱,刘兴菊,等. 我国板栗光合作用研究进展[J]. 西北林学院学报,2007(5):58-61,87.
- [3] 张晓琳,臧德奎,丁旭升,等. 早银桂光合作用日变化的研究[J]. 山东林业科技,2010(3):34-36.
- [4] 李丽平,张亚红. 阴、阳结合型温室葡萄浆果发育过程中光合作用的比较[J]. 农业科学研究,2010,31(2):6-10.
- [5] 赵同生,张新生,杨凤秋,等. 苹果光合作用研究进展[J]. 河北农业科学,2010,14(7):7-10.
- [6] 叶自行,胡桂兵,许建楷,等. 无籽沙糖桔放秋梢技术[J]. 广东农业科学,2008(11):122-123.
- [7] 孙存华,李扬,贺鸿雁,等. 藜的光合特性研究[J]. 西北植物学报,2006,26(2):416-419.
- [8] 潘瑞炽,王小菁,李娘辉. 植物生理学[M]. 5版. 北京:高等教育出版社,2004.
- [9] 傅伟,王天铎. 净光合速率与气孔导度相互关系的电学类比分析和模拟研究[J]. 植物学报,1994,36(7):511-517.
- [10] 陈根云,陈娟,许大全,等. 关于净光合速率和胞间 CO_2 浓度关系的思考[J]. 植物生理学通讯,2010,46(1):64-65.
- [11] 付为国,李萍萍,陈歆,等. 北固山湿地蒂草光合日变化的研究[J]. 武汉植物学研究,2005,23(6):555-559.
- [12] 林栋,马晖玲,冯朝阳,等. 菊芋蒸腾特性与水分利用效率对光辐射和 CO_2 浓度变化的响应[J]. 中国沙漠,2010(1):76-81.
- [13] 樊卫国,李迎春. 梨属 4 个重要种的光合特性及水分利用率[J]. 西南农业学报,2006,19(6):1144-1146.
- [14] 李菁,刘应迪,陈功锡. 蜡梅光合与蒸腾速率日变化的初步研究[J]. 广西植物,2000,20(1):52-58.
- [15] 姜卫兵,高光林,戴美松,等. 盐胁迫对不同砧穗组合梨树光合日变化的影响[J]. 园艺学报,2003,30(6):653-657.
- [16] 付为国,李萍萍,陈歆,等. 北固山湿地蒂草光合日变化的研究[J]. 武汉植物学研究,2005,23(6):555-559.
- [17] 舒志明,梁宗锁,孙群,等. 薏苡拔节期光合作用日变化特征研究[J]. 中国农学通报,2007,23(3):164-170.
- [18] 黄永敬,唐小浪,马培恰,等. 几个柑橘品种叶片光合特性比较研究[J]. 中国农学学报,2008,24(12):135.
- [19] 刘长利,王文全,崔俊茹,等. 干旱胁迫对甘草光合特性与生物量分配的影响[J]. 中国沙漠,2006,26(1):142-145.
- [20] 宋维民,周海燕,贾荣亮,等. 土壤逐渐干旱对 4 种荒漠植物光合作用和海藻糖含量的影响[J]. 中国沙漠,2008,28(3):449-454.

Comparison of Photosynthetic Characteristics of Three Introduced Grapefruit Varieties

YE Honglian, WANG Lianchun

(Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224)

Abstract: With the introduced three fine varieties of grapefruit ‘Hudson Foster’, ‘Flame’ and ‘Ray Ruby’ as the research object, its photosynthetic characteristics by Li-6400 portable photosynthesis system was analyzed and determined. The results showed that, the net photosynthesis rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and water use efficiency (WUE) of ‘Hudson Foster’ were the highest, ‘Flame’ was the second, ‘Ray Ruby’ was the last; while ‘Ray Ruby’ had the highest value of the transpiration rate (T_r), ‘Hudson Foster’ was the last; the intercellular CO_2 concentration (C_i) of ‘Flame’ was higher than ‘Hudson Foster’ while ‘Ray Ruby’ was the lowest; the net photosynthetic rate of different varieties of grapefruit for typical bimodal curve, the daily change had obvious “noon break” phenomenon; daily variation of transpiration rate overall trend was increased before they were reduced.

Keywords: grapefruit; diurnal variation of photosynthesis; transpiration; net photosynthesis rate; water use efficiency