

南疆地区2个引种大樱桃品种光合特性对比研究

巴合提牙尔·克热木¹, 郭 靖^{1*}, 徐业勇¹, 张东亚¹, 张志刚^{1,2}

(1. 新疆林业科学研究院,新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆农业大学 林学与园艺学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:在新疆林业科学院佳木试验站,以7~8年生拉宾斯和艳阳为试验材料,利用Li-6400光合作用测定系统对2个樱桃品种(拉宾斯、艳阳)的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间CO₂的浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)和水分利用效率(WUE)以及光响应曲线6个生理指标的测定分析。结果表明:拉宾斯与艳阳的 P_n 、 G_s 均呈极显著差异, C_i 、 T_r 、WUE均无显著差异;拉宾斯的 P_n 呈“单峰”曲线,艳阳的 P_n 呈“双峰”曲线,艳阳存在光合“午休”现象;拉宾斯、艳阳的 T_r 均呈单峰曲线分布,在整个日变化过程中拉宾斯的 T_r 比艳阳高;2个品种在11:00—13:00、15:00—17:00时,主要受到气孔限制的影响, P_n 和 T_r 均出现下降;19:00—21:00时,随着外界光照辐射减弱,2樱桃品种的 P_n 和 T_r 再次出现下降;2种引种大樱桃中拉宾斯较艳阳而言是一种高光合、高蒸腾速率、高气孔导度的品种,且在高光辐射条件下不易发生光抑制,更有利于适应南疆地区高光照的外界环境。

关键词:大樱桃;光合特性;水分利用效率

中图分类号:S662.5 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2016)02-0086-06

Comparative Studies on Photosynthetic Characteristics of Two Cherry Cultivars in Southern Xinjiang

Bahetiyaer · keremu¹, GUO Jing^{1*}, XU Ye-yong¹, ZHANG Dong-ya¹, ZHANG Zhi-gang^{1,2}

(1. Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi, Xinjiang 830000, China; 2. Forestry and Horticulture College, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Photosynthetic characteristics of 7 to 8-year-old seedlings of two cherry cultivars, Lapins and Sunburst in Aksu, Xinjiang were measured by Li-6400 system, including the diurnal change of photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), intercellular CO₂ concentration (C_i), transpiration rate (T_r), water use efficiency (WUE) and the light response curve. Differences between tow cultivars in P_n and G_s were extremely significant, and no significant differences were found in C_i , T_r , and WUE. A “single peak” P_n curve appeared in Lapins, while the P_n of Sunburst was a “bimodal” curve, the photosynthesis of Sunburst had “midday depression”. T_r of the two cultivars showed single peak curves, while higher T_r was found in Lapins during the day. During 11:00—13:00 and 15:00—17:00, P_n and T_r of the two cultivars decreased due to stomatal limitation. During 19:00—21:00, with the weakening of light radiation, P_n and T_r decreased again. Compared to Sunburst, Lapins is a variety of high photosynthetic, transpiration rate, stomatal conductance, and less prone to photoinhibition under high light irradiation conditions, and it is more suitable in the environment of the southern region in Xinjiang.

Key words: cherry cultivar; photosynthetic characteristic; water use efficiency

收稿日期:2015-05-02 修回日期:2015-07-18

基金项目:新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务经费资助项目“樱桃品种及砧木引进及筛选评价”。

作者简介:巴合提牙尔·克热木,男,林业工程师,研究方向:经济林育种、栽培及推广。E-mail:648753460@qq.com

*通信作者:郭 靖,女,在读博士,研究方向:水土保持及干旱区环境评估。

甜樱桃(*Cerasus avium* Moench.)又称大樱桃,属蔷薇科(Rosaceae)李属(*Prunus L.*)落叶果树,原产亚洲西部和欧洲东南部。我国栽培的大樱桃多数是国外引进品种,现在各地仍在不断引进一些品种。大樱桃具有独特的风味及丰富的营养物质,全国很多地方都有栽培,具有极大的发展潜力^[1]。

新疆是我国经济林果产业发展的重点区域,其独特的气候、地理环境为林果高效栽培提供了一定的条件。但是当前生产中存在的主要问题是:新型种植区科技研发不够,主栽品种筛选较滞后、树体结实能力较差,无法充分体现大樱桃种植业应有的经济效益^[2-3]。

在大樱桃叶片光合作用方面国内早已有研究,王开芳、杨江山、李良厚^[1-3]等分别研究了不同品种大樱桃以及不同叶位、节位、层位等方面的光合性能,揭示了其光合能力变化的规律。大樱桃中拉宾斯、艳阳2品种不仅口味鲜美、产量高、市场发展潜力极大,但是目前对该2种樱桃的光合特性系统研究少之又少,且有关大樱桃的基础生理研究还较薄弱。针对这一问题,本研究以新疆林科院在阿克苏地区引种的拉宾斯、艳阳2个品种为试验材料,通过对分析2个品种在南疆阿克苏地区栽植过程中的光合特性,探讨在该栽培区域内不同品种对光环境的适应性,以期为南疆地区大樱桃引种中适生品种

的选择、光环境因子的调控技术和丰产优质栽培推广提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于新疆阿克苏地区温宿县境内的新疆林业科学院佳木良种试验站,80°32' E, 41°15' N, 海拔1 103.8 m。试验站总面积80 hm², 呈长方形, 地势北高南低, 西高东低, 南北长1 600 m, 东西长650 m, 地下水埋深2.8~3.3 m; 属大陆性干旱荒漠气候, 昼夜温差大; 春季较短, 多大风降温天气, 时常有倒春寒现象发生, 夏季炎热而干燥; 降水量稀少, 四季分配不均, 降水量年际变化大, 年均降水量65.4 mm, 年蒸发量1 883.6 mm; 年均气温10.1°C, 极端低温-27.4°C, 年均日照时数2 747.7 h, ≥10°C积温2 916.8~3 198.6°C, 无霜期195 d^[5-6]。

1.2 试验土壤

试验站的土壤为棕色荒漠土, 有机质12.4~26.2 g·kg⁻¹之间, pH值8.11~9.85, 呈弱碱性, 土壤厚度约为3 m。取试验样地土壤深度为0~160 cm, 第1层土壤为壤土层, 深度为0~30 cm, 第2层是砂土层, 深度为30~50 cm, 第3层是黏土层, 深度为50~80 cm, 第4层是砂土层, 深度为80 cm~160 cm, 土壤理化性质见表1^[6]。

表1 试验地土壤的主要理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of test soil

深度/cm	土壤质地	容重 (g·cm ⁻³)	最大容积持水量/%	有机质含量 (g·kg ⁻¹)	全N含量 (g·kg ⁻¹)	pH
0~30	壤土	1.606 7	22.14	3.90	0.863	8.12
30~50	砂土	1.401 3	13.34	2.98	0.471	8.50
50~80	黏土	1.859 3	27.3	0.69	0.471	8.72
80~160	砂土	1.462 0	13.65	0.98	0.254	8.76

1.3 样地及样株的选择

样地选择在新疆林科院佳木试验站引种樱桃园内进行, 分别选取拉宾斯、艳阳2个樱桃品种, 长势相对一致, 平均树龄7~8 a, 地径12~15 cm, 树高3~3.5 m, 树冠2×3 m, 株行距2×3 m, 无病虫害的样树6株作为试验对象。

1.4 试验设计

气体交换数据测定在2014年7月下旬选一晴好天气, 在自然光条件下分别对拉宾斯、艳阳两个樱桃品种的气体交换特性进行日变化测定, 并选择样株冠层上部向阳的当年新生成熟叶片5位并用记号带标记, 利用Li-6400便携式光合作用系统(LI-COR, Lincoln, USA), 在9:00~21:00期间每隔2 h

进行1次活体测定, 每次测定结果都利用仪器的自动采集存储功能记录下该次植物的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间CO₂浓度(C_i)等生理指标, 以及植物所测部位的气温(T_{air})、叶温(T_{leaf})、空气湿度(RH)、空气CO₂浓度(C_a)、叶片大气压亏缺($VpdL$)等微气象参数, 每位叶片测定读数重复5次。对于部分较小叶片不能满足Li-6400标准叶室所设定的固定计算面积, 在测定结束后, 将观测的叶片样品剪下, 利用扫描仪扫描后再利用Photoshop7.0选区面积计算软件计算出实际的叶面积, 最后按照计算后的叶面积回算出样株实际的各项生理指标^[7-8]。叶片瞬时水分利用效率(WUE)由以下公式计算: $WUE = P_n / T_r$ ^[9-12]。

利用仪器已存在的 Light-Curve 测定程序,选取 2014 年 7 月下旬一晴好天气,11:00—12:00 对 2 个樱桃品种的光响应曲线进行测定,并利用 Li-6400 便携式光合仪 CO_2 注入系统稳定测量时的 CO_2 浓度为 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 光照强度设置为 0、50、100、150、200、300、350、400、500、750、1 000、1 500、1 900 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[12-15]。

1.5 数据分析

数据分析用 SPSS19.0 和 Excel2007 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 2 种樱桃气体交换参数差异性与光响应曲线比较

植物的气体交换参数是植物生理特性的表现形式。对植物气体交换特性的研究是研究该植物对外界环境条件适应能力的必要手段。方差分析表明:在南疆地区引种栽植过程中,拉宾斯与艳阳的 P_n 、

G_s 均呈极显著差异, C_i 、 T_r 、WUE 均无显著差异 ($p < 0.05$)。拉宾斯的日均 P_n 比艳阳高出 29%; G_s 比艳阳高出 75%;但是拉宾斯的 WUE 比艳阳低 10.6%,相反 T_r 比艳阳高 29%。

光响应曲线反映了植物净光合速率随着光合有效辐射改变的变化规律。光补偿点反映了植物利用弱光的能力,通常植物的光补偿点越小,其利用弱光的能力越强,植物的耐荫性越强;而光饱和点却反映了植物利用强光的能力,光饱和点越高表明植物在受到强光时不易发生抑制,植物的喜光性越强。在叶温、大气相对湿度、 CO_2 浓度相对稳定的条件下,对 2 个品种光响应曲线进行测定,如图 1 所示,拉宾斯与艳阳对外界光照强度的响应规律基本一致,均随着 PAR 的增加,各品种 P_n 也随之出现不同程度的上升,当 PAR 持续增加时各品种 P_n 值有所下降;光照强度在 $100 \sim 2 000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,艳阳的 P_n 值较拉宾斯大。

表 2 2 种樱桃气体交换及水分利用效率参数日变化均值

Table 2 Average parameters of gas exchange and water use efficiency of two cultivars

品种	净光合速率(P_n) $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	气孔导度(G_s) $(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度(C_i) $(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	蒸腾速率(T_r) $(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	水分利用效率(WUE) $(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$
拉宾斯	11.94 A	0.21 A	238.74 A	5.88 A	2.15 A
艳阳	9.23 B	0.12 B	226.39 A	4.55 A	2.38 A

注:同列不同大写字母表示 2 种樱桃各气体交换参数的平均值存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

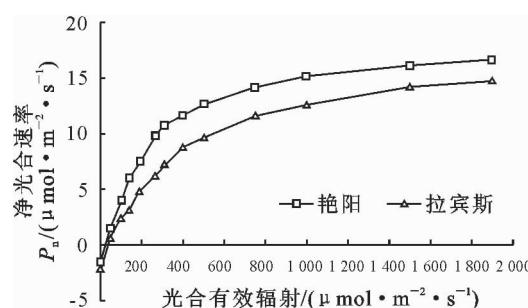


图 1 2 种樱桃光响应曲线

Fig. 1 Lux response curve of two cultivars

光响应曲线的相关参数利用非直角双曲线模型和 P_n 与 PAR 拟合的二次方程求导计算,先利用模型逐步回归,得出最大净光合速率(P_{max}),表观量子效率(AQY)等模型参数,然后求出光合有效辐射在 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下时净光合速率变化的直线方程,其与 X 轴的交点即为光补偿点(LCP);光饱和点(LSP)则利用 P_n 与 PAR 拟合的二次方程求导得到。得到拉宾斯在饱和光条件下的净光合速率(P_{max})为 $15.11 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、表观初始量子效率(AQY)为 $0.029 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP)分别为 $2 230.6 \mu\text{mol} \cdot$

$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $38 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 艳阳在饱和光条件下的 P_{max} 为 $17.08 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、AQY 为 $0.049 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、LSP 与 LCP 分别为 $1539 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $22.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由此可见,拉宾斯的 LSP、LCP 均较艳阳大,说明在高光辐射条件下拉宾斯较艳阳不易发生光抑制,且喜光性更强;在弱光条件下艳阳利用弱光的能力较拉宾斯强,且耐阴性更强。

2.2 2 种樱桃气体交换参数的日变化规律

2.2.1 拉宾斯与艳阳 P_n 、 T_r 的日变化 由图 2 可知,拉宾斯的 P_n 呈“单峰”曲线;艳阳的 P_n 呈“双峰”曲线。在相同的自然条件下,拉宾斯的 P_n 从 9:00 的 $11.72 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 逐渐上升,在 11:00 时达到峰值 P_n 为 $18.65 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,随后出现下降,15:00 时 P_n 出现急剧的下降趋势;艳阳从 9:00 的 $8.59 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,逐步上升,到 11:00 时出现第 1 个峰值,在 13:00 时出现光合“午休”现象,随后又呈上升趋势,在 17:00 时出现第 2 个峰值,之后又逐渐呈下降趋势。根据以上分析可知,拉宾斯在 15:00 后 P_n 值出现急剧下降,分析其主要原因是由于南疆地区光照辐射强度在此时刻较大,

进而出现光抑制,也有可能是由于高光辐射导致周围的气温上升,大气湿度降低,光呼吸速率增加进而导致 P_n 的下降,艳阳在13:00时出现光合“午休”现象。17:00后拉宾斯与艳阳的 P_n 值再次下降,主要是由于外界光照辐射强度降低,导致 P_n 下降。

拉宾斯、艳阳的 T_r 均呈单峰曲线分布,拉宾斯在13:00时 T_r 达到峰值9.57 mmol·m⁻²·s⁻¹,而

艳阳在15:00时达到峰值6.88 mmol·m⁻²·s⁻¹,在整个日变化过程中拉宾斯的 T_r 比艳阳高。15:00后2樱桃树种的 T_r 均出现了下降趋势,由于午间高光辐射增加,导致周围的空气湿度下降进而引起叶片的气孔出现关闭现象,最终导致午间的 T_r 下降。通过调节 G_s 来有效的控制蒸腾失水,提高 P_n 、WUE,进而适应外界环境。

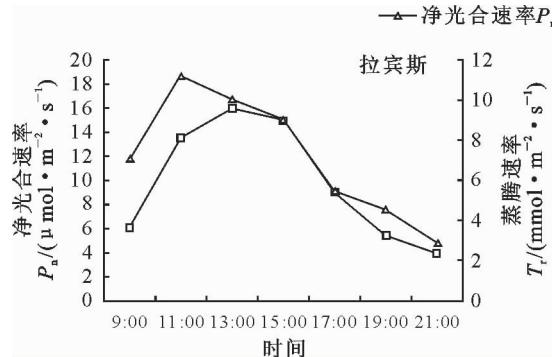


图2 拉宾斯与艳阳净光合速率和蒸腾速率日变化动态

Fig. 2 Diurnal change of P_n and T_r of two cultivars

2.2.2 拉宾斯与艳阳 C_i 、 G_s 以及 L_s 的日变化 气孔是陆生植物叶片上一个重要的结构,它是植物体与外界进行 H_2O 和 CO_2 等气体交换的重要门户,气孔的开闭会对植物叶片的 P_n 和 T_r 产生影响, G_s 则是反映气孔行为最为重要的生理指标,气孔限制和非气孔限制是导致光合速率降低的2种原因, L_s 和 C_i 的变化方向是区分2种限制的依据,若 L_s 增大和 C_i 降低,则为气孔限制,相反若 L_s 减少和 C_i 增大,则为非气孔限制。

由图3-A、图3-B可知,拉宾斯与艳阳均在11:00时 G_s 达到峰值分别为0.38 mmol·m⁻²·s⁻¹和0.15 mmol·m⁻²·s⁻¹,随后逐渐降低,拉宾斯在19:00以后 G_s 出现上升的趋势,艳阳在15:00时后再次出现微小下降,拉宾斯与艳阳的 G_s 存在着显著的差异。由图3-A、图3-C可知,拉宾斯、艳阳在11:00—13:00时,其 C_i 降低、 L_s 增大,此时气孔阻力增加,气孔限制增大 P_n 下降;拉宾斯在15:00—17:00时, P_n 、 T_r 出现骤降,此时同样受到气孔限制的影响,艳阳在此时段受气孔影响不明显,并且 P_n 值出现第2个峰值;拉宾斯、艳阳在19:00—21:00时, L_s 减少、 C_i 增大,主要受到非气孔限制的影响, P_n 、 T_r 出现下降,主要是因为傍晚时分,光合有效辐射减弱,导致光合下降。

2.3 2种樱桃的WUE日动态

植物的WUE是评价植物水分生产力和干旱气候环境下筛选抗旱物种的重要指标,同时还是植物能否更好的适应某一区域内的环境的重要评判标准。

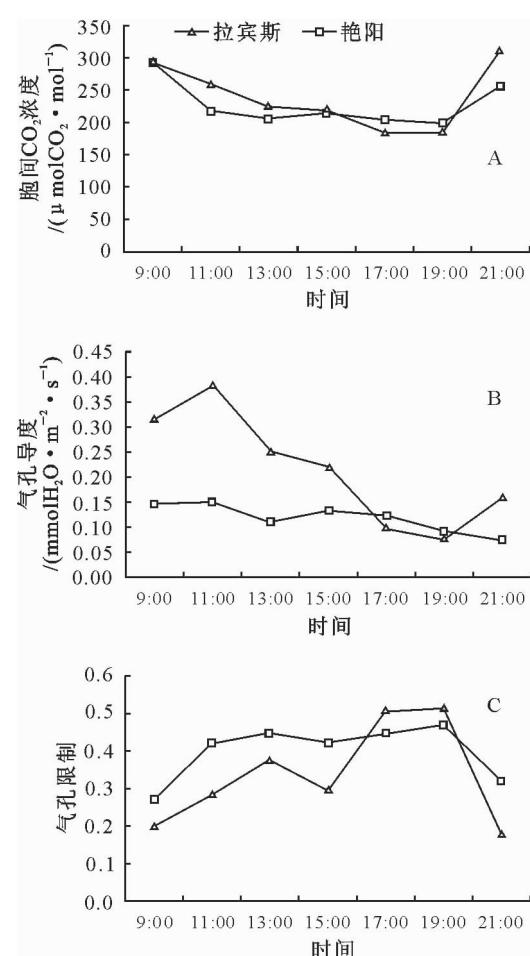
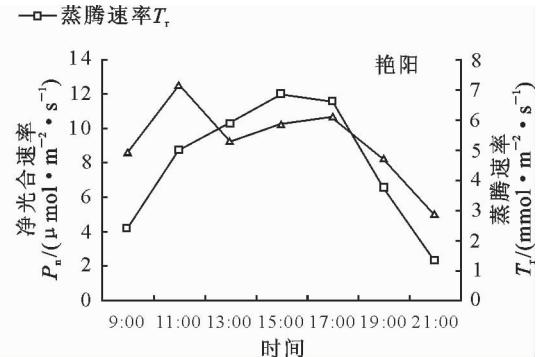


图3 拉宾斯与艳阳气孔导度、胞间 CO_2 浓度以及气孔限制值日变化

Fig. 3 Diurnal change of stomatal conductance, intercellular CO_2 concentration and stomatal limitation of two cultivars

由图 4 可知, 拉宾斯与艳阳的 WUE 自 9:00—15:00 均呈下降趋势, 到 15:00 时达到最低值, 主要是因为在 15:00 时外界光照强度增加, 与此同时叶片周围温度升高, 导致两樱桃树种的 P_n 和 T_r 整体呈下降趋势, 此时艳阳的 P_n 和 T_r 虽呈上升趋势, 但是其水分利用效率并不高。由图 4 可知, 在 13:00—17:00 拉宾斯的 WUE 较艳阳高, 在高温、高光辐射条件下拉宾斯利用其自身的高光合、高蒸腾、高水分利用效率的特性充分利用地下水, 进而在一定程度上减少外界环境对其的伤害; 在 9:00—11:00 和 19:00—21:00 时段, 艳阳的 WUE 较拉宾斯高, 由此可知在外界光照强度、温度低的情况下, 艳阳更能充分利用地下水。相比之下, 艳阳更适应低温、低光辐射的环境。

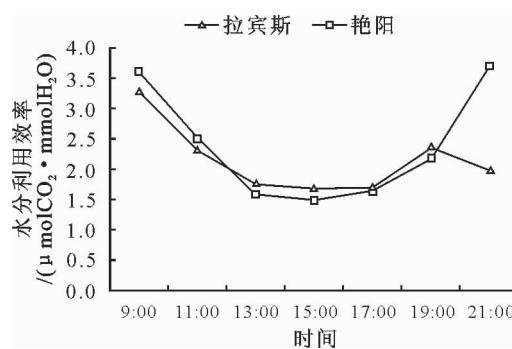


图 4 拉宾斯与艳阳水分利用效率日变化

Fig. 4 Diurnal change of water use efficiency of two cultivars

3 结论与讨论

试验测定的拉宾斯、艳阳 2 品种的最大 P_n 值分别为 $18.65 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $12.58 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 均大于王开芳、杨江山^[1-2]测定的结果, 出现这种差别的原因主要是因为不同品种间的差异性以及试验区内外界环境条件的差异。拉宾斯与艳阳的 P_n 、 G_s 均呈极显著差异, C_i 、 T_r 、WUE 均无显著差异($p < 0.05$), 拉宾斯的日均 P_n 、 G_s 、 T_r 均比艳阳高; 相比之下, 拉宾斯是一种高光合、高蒸腾速率、高气孔导度的品种。拉宾斯的 LSP 和 LCP 分别为 $2230.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $38 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 艳阳的 LSP 与 LCP 分别为 $1539 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $22.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 杨江山^[2]认为樱桃光合作用的 LCP 为 $10 \sim 82 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, LSP 为 $970 \sim 1040 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 对于 LCP 的研究结论与本次研究一致, 但是本研究的 2 个樱桃品种的 LSP 均较杨江山先生的结果大, 主要是由于本次研究的 2 个品种更能适应高光辐射地区栽植, 以及长时间对该地区外界环境的适应, 导致此结果的出现。

可见, 在高光辐射条件下拉宾斯较艳阳不易发生光抑制, 且喜光性更强, 更加适应南疆地区高光辐射的外界环境, 在弱光条件下艳阳利用弱光的能力较拉宾斯强, 且耐阴性更强。

拉宾斯的 P_n 呈“单峰”曲线, 艳阳的 P_n 呈“双峰”曲线。2 个品种同时在 11:00 时 P_n 出现最大值, 艳阳在 13:00 时出现明显的“午休”现象。拉宾斯、艳阳的 T_r 均呈单峰曲线分布, 在整个日变化过程中拉宾斯的 T_r 比艳阳高。由于午间高光辐射增加, 导致周围的空气湿度下降进而引起叶片的气孔出现关闭现象, 导致 2 个樱桃品种的 T_r 在 17:00 后出现了大幅度的下降。

拉宾斯与艳阳均在 11:00 时 G_s 达到峰值, 拉宾斯的 G_s 日变化幅度较大, 且与艳阳的 G_s 存在着显著的差异。许大全^[8]认为, 中午 P_n 下降可能既有气孔因素也有非气孔因素。如果气孔因素居主导地位, 在 P_n 和 G_s 下降的同时, C_i 也应该下降, 本次试验研究结果与其相同, 拉宾斯、艳阳在 11:00—13:00、15:00—17:00 时, 主要受到气孔限制的影响, P_n 和 T_r 均出现下降, 可见樱桃出现光合“午休”现象主要是气孔限制引起的; 19:00—21:00 时, 2 樱桃品种的 P_n 和 T_r 再次出现下降, 主要是由于傍晚时分, 光合有效辐射减弱, 导致 P_n 低。13:00—19:00 点拉宾斯的 WUE 均比艳阳高, 其余时间段均低于艳阳, 在高温、高光照辐射条件下拉宾斯的 WUE 更高。

综上分析可知, 就适应性而言, 拉宾斯更有利于在该环境中生长, 考虑到甜樱桃作为经济树种之一, 能否更好地栽培种植, 其果实产量和品质是必考虑的条件。所以以上 2 品种能否在该地区大面积种植, 还需要综合其果实产量与品质等因素进一步研究。

参考文献:

- [1] 王开芳, 刘元铅, 孙蕾, 等. 大樱桃不同品种光合特性的研究[J]. 山东林业科技, 2010(2): 25-28.
- [2] 杨江山, 常永义, 种培芳. 3 个樱桃品种光合特性比较研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(5): 773-777.
- [3] YANG J S, CHANG Y Y, ZHONG P F. Comparative studies on photosynthetic characteristics of three sweet cherry cultivars[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(5): 773-777. (in Chinese)
- [4] 李良厚, 李吉跃, 付祥建, 等. 黑樱桃与山樱桃幼苗光合作用的比较研究[J]. 林业科学, 2007, 20(1): 130-134.
- [5] LI L H, LI J Y, FU X J, et al. Comparison on the photosynthesis of seedlings of *Prunus serotina* and *Prunus serrulata* [J]. Forest Research, 2007, 20(1): 130-134. (in Chinese)
- [6] FOWELLS H A. Silvics of forest trees of the United States

- [M]. USDA AgHandbk. 271. Washington, D. C, 1965: 539-545.
- [5] 李宏,张志刚,郑朝辉,等.南疆红枣林地不同流量对滴灌土壤水分运移特征的影响[J].江苏农业科学,2013,41(8):171-174.
- LI H,ZHANG Z G,ZHENG Z H,*et al*. Study on effects of different dripper discharge on water movement under drip irrigation in South Xinjiang of *Jujube*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2013,41(8):171-174. (in Chinese)
- [6] 张志刚,李宏,李疆,等.地表滴灌条件下滴头流量对土壤水分入渗过程的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):53-58.
- ZHANG Z G,LI H,LI J,*et al*. Effects of different dripper discharge on soil water infiltration under drip irrigation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2014,32(4):53-58. (in Chinese)
- [7] 张志刚,李宏.塔里木河中游胡杨与灰叶胡杨气体交换特性对比研究[J].西北植物学报,2012,32(12):2506-2511.
- XU D Q,SHEN Y G. The efficiency of plant photosynthesisdiurnal variation [J]. Plant Physiological,1997,23 (4):410-416. (in Chinese)
- [8] 许大全,沈允钢.植物光合作用的效率的日变化[J].植物生理学报,1997,23(4):410-416.
- REN J W,WANG Y,PENG Z H. Characteristics of photo-synthesis in three *Dendrobium* species cultivated in green house during winter[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009,24(1):39-43. (in Chinese)
- [10] 王小伟,金则新,柯世省,等.乌药光合特性日进程与其环境因子的相关分析[J].西北林学院学报,2010,25(2):5-10.
- WANG X W,JIN Z X,KE S X,*et al*. Diurnal photosynthetic characteristics of *Lindera aggregata* and its correlation with environmental factors[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(2):5-10. (in Chinese)
- [11] 柯世省,金则新,李钧敏.七子花苗期光合日进程及光响应[J].广西植物,2003,23(2):175-180.
- [12] 宋于洋,塔依尔,王炳举.沙棘叶片光合速率与其环境因子的日变化规律研究[J].西北林学院学报,2007,22(1):8-11.
- SONG Y Y,TA Y E,WANG B J. Daily changing rule between leaf net photosynthetic rate and plant environment factors in *Hippophae rhamnoides* L. [J]. Journal of Northwest Forestry University,2007,22 (1):8-11. (in Chinese)
- [13] 王森,郝古庆,姬兰柱,等.高CO₂浓度对温带三种针叶树光合响应特性的影响[J].应用生态学报,2002,13(6):646-650.
- WANG M,HAO G Q,JI L Z,*et al*. High CO₂ concentra-tion on the temperate conifer three characteristics of photosynthetic [J]. Journal of Applied Ecology,2002,13 (6):646-650. (in Chinese)
- [14] 赵玲珍,朱首军.三种树莓光合特性的研究[J].西北林学院学报,2006,21(4):39-42.
- ZHAO L Z,ZHU S J. Photosynthetic characteristics of three *Rubus idaeus*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006,21(4):39-42. (in Chinese)
- [15] 王小伟,金则新,柯世省,等.乌药光合特性日进程与其环境因子的相关分析[J].西北林学院学报,2010,25(2):5-10.
- WANG X W,JIN Z X,KE S X,*et al*. Diurnal photosynthetic characteristics of *Lindera aggregata* and its correlation with environmental factors[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(2):5-10. (in Chinese)