

# 扁桃与桃光合作用特征的比较研究

潘晓云<sup>1</sup> 曹琴东<sup>2</sup> 王根轩<sup>1\*</sup> 杨晓燕<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 兰州大学干旱农业生态国家重点实验室, 兰州 730000; <sup>2</sup> 甘肃省绿色食品办公室, 兰州 730030; <sup>3</sup> 甘肃省农业科学院粮食作物研究所, 兰州 730070)

**摘要:** 在田间条件下对扁桃和桃的光合生理生态特点进行了比较研究。结果表明: (1) 扁桃和桃的叶片的净光合速率 ( $P_n$ ) 日变化均呈双峰曲线型, 峰值在 11 时, 次峰值在 15 时, 11~14 时有“午休”现象; 在 10~15 时扁桃叶片的  $P_n$  显著高于桃, 14 时差值最大。(2) 扁桃和桃的光合生理生态参数有显著差异: 光合作用的最适温度分别为 27、23, 适宜温度范围分别为 20~35、15~30; 光合作用的光补偿点和饱和点分别为  $54 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $1\,714 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $1\,479 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $\text{CO}_2$  补偿点和饱和点分别为  $68 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $838 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $55 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $717 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 光合作用适宜空气湿度分别为 0.89 kPa、1.31 kPa (相当于 20 下相对湿度 38% 和 56%)。(3) 叶绿素荧光参数的日变化显示: 扁桃叶片的  $F_v/F_m$ 、 $qP$  和  $PS$  均大于桃; 而扁桃叶片的  $qN$  小于桃。说明在当地条件下, 扁桃叶片  $PS$  光化学效率、 $PS$  电子传递量子效率以及通过光化学猝灭转换光能的作用均显著高于桃; 而以非光化学猝灭方式耗散光能的作用小于桃。

**关键词:** 扁桃; 桃; 净光合速率; 叶绿素荧光; 环境因子

**中图分类号:** S 662.9; S 662.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2002) 05-0403-05

扁桃 (*Prunus amygdalus*) 果实具有较高的经济价值, 在美国及地中海沿岸国家广泛栽培<sup>[1]</sup>。从 20 世纪 50 年代起, 我国北方许多省份均曾引种扁桃<sup>[2,3]</sup>, 但由于北方大部分地区 (除新疆的喀什、和田、阿克苏等地) 与扁桃原产地的气候和生态条件存在明显差异<sup>[3]</sup>, 均未能大面积发展。对扁桃栽培基础研究的欠缺也是我国引种栽培方面表现低效的重要原因之一<sup>[3~5]</sup>。早在 1983 年就有人对包括扁桃在内的 5 种李属植物的光合作用做了比较研究<sup>[6]</sup>, 而有关扁桃栽培生理, 特别是光合作用的研究在国内尚未见报道。扁桃原产于西亚, 而桃 (*Prunus persica*) 的原产地为我国黄河上游的甘肃、陕西省海拔 600~2 000 m 的高原地带, 因此我们在研究扁桃光合特性的时候用桃作对照, 了解桃和扁桃光合生理生态差异, 以使我们更好地理解扁桃引种栽培中出现的一些问题。

## 1 材料与方法

试验于 2000 年 6 月和 8 月在甘肃省农业科学院果树研究所兰州试验站进行。材料为 1997 年 3 月从美国 Burchell 苗圃公司 (Burchell Nursery Inc.) 引入的 4 年生扁桃幼树, 品种为 ‘Nonpareil’, 砧木为 ‘Nemaguard’。选取邻近生长的 4 年生桃树为对照 (品种为 ‘庆丰’)。均南北成行定植, 株行距 3 m × 4 m, 土壤为砂壤土。1999 年 11 月上旬进行简化修剪; 选择树体中部、向阳面枝条中段的成熟叶片测定光合速率和叶片叶绿素荧光参数; 测定 5 株, 每株 5~8 片叶子, 测定时树高约 2.0 m, 冠径 1.1~1.5 m, 新梢平均长度 35~60 cm。

利用英国 PP-Systems 公司生产的 CIRAS-1 便携式光合系统的自动控制功能, 在 0~2 000  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度范围内制作  $P_n$ - $\text{Ci}$  (净光合速率 - 胞间  $\text{CO}_2$  浓度) 响应曲线; 在 0~2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光强范围内

收稿日期: 2002-01-25; 修回日期: 2002-05-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (90102015, 30170161); 国家重点基础研究专项基金项目 (G1999011705)

\*通讯联系人 Corresponding author; Tel: (0931) 8912893; E-mail: wanggx@lzu.edu.cn

制作  $P_n$ -PAR (净光合速率 - 光合有效辐射) 响应曲线; 在 0.5 ~ 4.0 kPa 空气湿度范围内制作  $P_n$ -VPD (净光合速率 - 水蒸汽压差) 响应曲线; 在 10 ~ 40 范围内制作  $P_n$ -T (净光合速率 - 温度) 响应曲线。用线性回归法求出  $P_n$ - $C_i$  响应曲线的初始斜率  $dP_n/dC_i$  为羧化效率; 求出  $P_n$ -PAR 响应曲线的初始斜率  $dP_n/dPAR$  为表观量子效率; 将响应曲线外推到  $350 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  处的光合速率  $A_0$  代表光合能力; 按  $L_s = 1 - A/A_0$  求出气孔限制值; 在  $P_n$ - $C_i$  响应曲线中  $C_i$  饱和时的光和速率为 RuBP 最大再生速率。重复测定不少于 5 个叶片, 每个叶片读取 3 次数据。用 Hansatech 公司生产的植物效率分析仪 (PEA, Hansatech, U. K.) 测定叶绿素荧光参数; 测定前叶片预先暗适应 15 min 以上, 记录时间 2 s; 所有数据重复次数不少于 5 次。以上测定方法参考相应仪器的说明书及文献 [7]。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶片光合速率的日变化

在 6 月中旬, 扁桃和桃叶片的  $P_n$  日变化呈双峰曲线 (图 1)。6 ~ 11 时迅速上升, 至 11 时达到最大值; 11 ~ 14 时逐渐下降, 14 ~ 15 时略有回升, 至 15 时出现次高峰; 15 ~ 18 时迅速下降。 $P_n$  的变化在 6 ~ 11 时和 15 ~ 18 时与光照强度的变化规律相一致;  $P_n$  在 11 ~ 14 时的下降, 表明其光合作用存在“午休”现象。在 10 ~ 15 时扁桃叶片的  $P_n$  显著高于桃, 其中在 14 时, 两者差值最大, 表明扁桃叶片  $P_n$  对午间强光、高温环境的适应性高于桃。

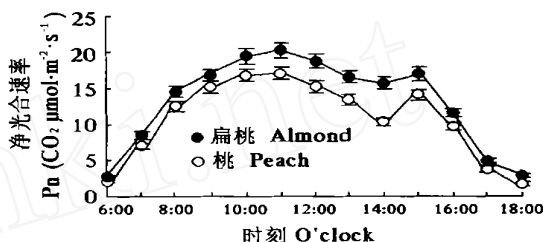


图 1 扁桃和桃叶片光合速率的日变化 (2000 - 06 - 11)

Fig. 1 Diurnal variation of  $P_n$  in leaves of almond and peach

### 2.2 光合速率对环境因子的响应

2.2.1 温度  $P_n$ -T 响应曲线呈抛物线型 (图 2), 扁桃的适宜温度范围为 20 ~ 35, 最适温度约为 27; 同样条件下, 桃光合作用适宜温度为 15 ~ 30, 最适温度为 23。  $P_n$ -T 曲线回归方程为: 扁桃  $y = -0.0493x^2 + 2.6802x - 18.841$ ,  $R^2 = 0.979$ ,  $P < 0.01$ ; 桃  $y = -0.0435x^2 + 2.006x - 10.012$ ,  $R^2 = 0.968$ ,  $P < 0.01$ 。

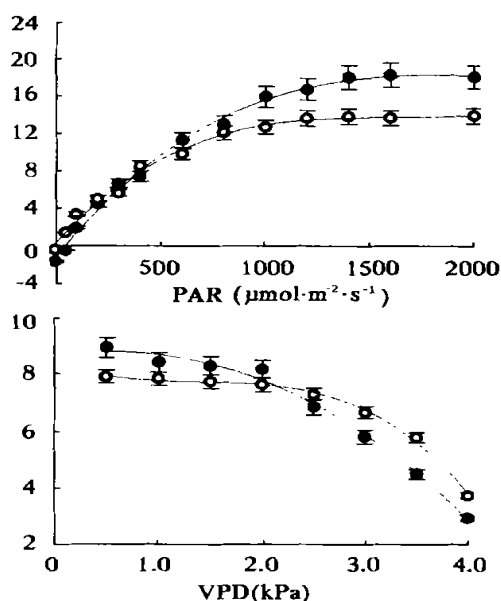
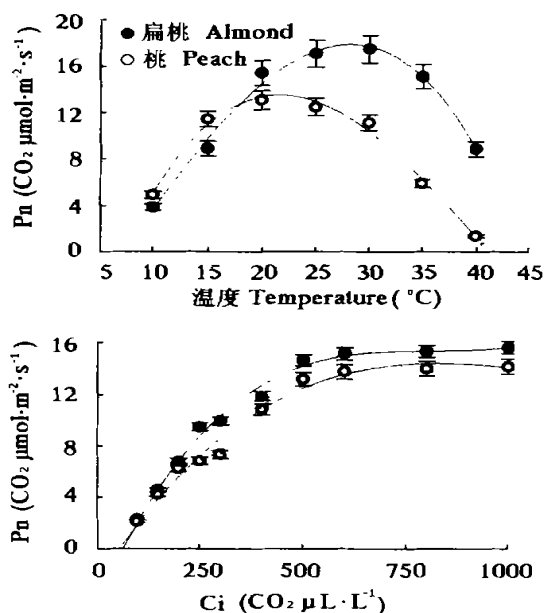


图 2 温度、光照强度 (PAR)、胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 和水蒸汽压差 (VPD) 对扁桃和桃净光合速率的影响 (2000 - 06 - 15 ~ 18)

Fig. 2 Effects of temperature, photosynthetic active radiation (PAR), intercellular  $\text{CO}_2$  concentration ( $C_i$ ) and vapour pressure deficit (VPD) on  $P_n$  of leaves in almond and peach

2.2.2 光照强度 扁桃和桃  $P_n$ -PAR 响应曲线也存在显著差异 (图 2): 扁桃光合作用的光补偿点和饱和点分别为  $54 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $1714 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 表观量子效率为 0.0286 (表 1); 桃光合作用的光补偿点和饱和点分别为  $23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $1479 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 表观量子效率为 0.0198 (表 1)。这些差异反映了扁桃起源于暖温带地区、好热喜光的特征。 $P_n$ -PAR 曲线回归方程为: 扁桃  $y = -0.0000006x^2 + 0.024x - 0.8305$ ,  $R^2 = 0.993$ ,  $P < 0.01$ ; 桃  $y = -0.000006x^2 + 0.0181x - 1.0214$ ,  $R^2 = 0.978$ ,  $P < 0.01$ 。

表 1 扁桃和桃光合生理生态参数的差异

Table 1 Some differences of photosynthetic and physioecological parameters in leaves of almond and peach

材料 Materials	最适温度 The optimum temperature for $P_n$ (°C)	光补偿点 Light compensation point for $P_n$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光饱和点 Light saturation point for $P_n$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	表观量子效率 Apparent quantum yield	$\text{CO}_2$ 补偿点 $\text{CO}_2$ compensation point for $P_n$ ( $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{CO}_2$ 饱和点 $\text{CO}_2$ saturation point for $P_n$ ( $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ )	羧化效率 Carboxylation efficiency ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	RuBP 最大再生能力 Maximum regeneration rate of RuBP ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光合能力 Photosynthetic capability ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	最适湿度 The optimum humidity for $P_n$ (kPa)	气孔限制值 Limitation of stomata (%)
扁桃 Almond	27.2	53.71	1714.29	0.0286	68.11	838.33	0.0530	39.69	10.57	0.89	34.7
桃 Peach	23.1	23.25	1479.43	0.0198	55.47	716.67	0.0393	28.68	9.03	1.31	18.6
扁桃的相对变化量 $\pm \% \text{ of peach}$	17.7	31.0	23.7	44.4	22.8	17.0	34.9	38.4	17.1	-32.1	86.6
显著性 Significance	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.05$	$P < 0.01$	$P < 0.01$

2.2.3 胞间  $\text{CO}_2$  浓度 同为  $\text{C}_3$  植物, 但扁桃和桃的  $P_n$ - $\text{C}_i$  响应曲线也有差异 (图 2): 扁桃的  $\text{CO}_2$  补偿点和饱和点分别为  $68 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $838 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ , 光合能力、羧化效率和 RuBP 最大再生速率分别为  $10.57 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.0530 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $39.69 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (表 1); 桃的  $\text{CO}_2$  补偿点和饱和点分别为  $55 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $717 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ , 光合能力、羧化效率和 RuBP 最大再生速率分别为  $9.03 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.0393 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $28.68 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (表 1)。

2.2.4 空气湿度 (水蒸汽压差 VPD) 影响扁桃光合作用的临界水蒸汽压差为 0.89 kPa, 大于此值,  $P_n$  显著下降 (图 2); 桃的光合作用的临界水蒸汽压差为 1.31 kPa。在水蒸汽压差同为 2.0 kPa 时, 扁桃光合作用的气孔限制值为桃的 1.87 倍 (表 1)。说明扁桃适宜在相对干燥的环境中生长。

为了更好地比较扁桃和桃的光合作用特征, 我们测定了 3 个温度与 3 个空气湿度下扁桃和桃  $P_n$  变化情况如图 3。显然, 扁桃  $P_n$  随温度的增高而增加, 随空气湿度的降低而增加, 最大值出现在  $30^\circ\text{C}$ , 0.8 kPa 下; 而桃的  $P_n$  的最大值出现在  $20^\circ\text{C}$ , 1.2 kPa 下。说明扁桃喜干热, 而桃喜温润的生态位差异。

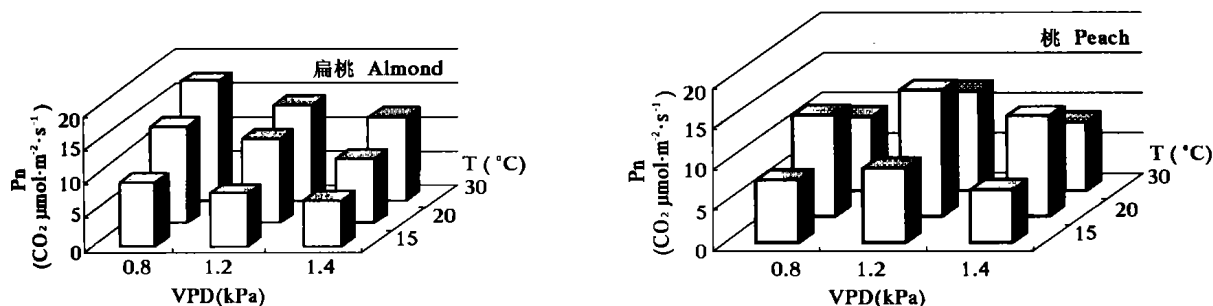


图 3 不同温度和空气湿度对扁桃和桃净光合速率的影响差异 (2000 - 06 - 19)

Fig. 3 Effect of different temperatures and air humidity on  $P_n$  of leaves in almond and peach

### 2.3 叶绿素荧光参数的日变化

6月中旬叶绿素荧光参数的日变化显示：扁桃叶片的  $qN$  小于桃（图4）；而扁桃叶片的  $F_v' / F_m'$ 、 $qP$  和  $PSII$  均大于对照桃（图4）。说明在相同条件下，扁桃叶片开放的  $PSII$  反应中心捕获激发能的效率、 $PSII$  电子传递量子效率以及通过光化学猝灭转换光能的作用均显著高于桃；而以非光化学猝灭方式耗散光能的作用小于桃（表2）。而  $F_m / F_o$  ( $PSII$  内禀光能转换效率, intrinsic  $PSII$  efficiency 或称  $PSII$  的最大光能转换, optimal / maximal  $PSII$  efficiency) 无显著差异（表2）。

表2 扁桃和桃叶片叶绿素荧光参数的差异

Table 2 Differences of chlorophyll fluorescence in leaves of almond and peach

材料 Parameters	$F_v / F_m$	$F_v' / F_m'$	$PSII$	$qP$	$qN$
扁桃 Almond	0.849	0.554	0.354	0.534	0.720
桃 Peach	0.840	0.693	0.445	0.688	0.604
对桃的相 对变化量 $\pm \%$ of peach		- 20.1	- 20.4	- 22.4	19.2
显著性 Significance	$P > 0.05$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.01$

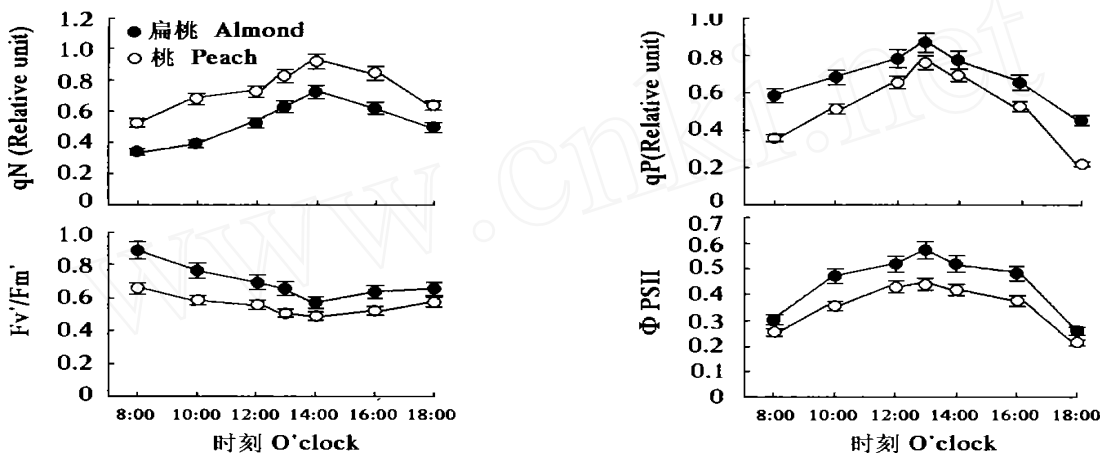


图4 扁桃和桃叶片叶绿素荧光参数的日变化 (2000 - 06 - 20)

Fig. 4 Diurnal variations of chlorophyll fluorescence in leaves of almond and peach

## 3 讨论

扁桃和桃分属蔷薇科 (*Rosaceae*)、李亚科 (*Prunoideae*) 中的扁桃属 (*Amygdalus*) 和桃属 (*Persica*)，染色体数目均为  $2n = 16$  [8]。从现代植物地理学看，它们起源于中亚山地的同一原始种；但是随着中亚一带高原、山地的隆起所造成的地理隔离，它们逐渐进化为不同的物种：向东的居群适应温、润的气候环境而进化形成桃；向西的居群则逐渐适应干旱、炎热的荒漠环境而成为扁桃 [9]。共同的起源与不同的进化路线是我们了解扁桃和桃生理、生态差异的重要线索。

我们先前的研究 [2] 表明，起源和分布于暖温带干旱气候条件下的扁桃，适宜炎热、干燥的气候生态类型。本试验结果也证明了这点。扁桃的光合作用特点与分布于同样生境的另一干果树种——阿月浑子相似 [10]。De Jon [6] 的研究指出，在 5 种李属果树（扁桃、李、桃、樱桃和杏）中，扁桃具有较高的光饱和点（约为全日照的 50 %），并且在较高 PAR ( $800 \sim 1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) 区段，扁桃的  $P_n$  显著高于桃。Jones 等 [11] 的研究也表明，生长季节湿度过高造成扁桃叶片气孔导度降低、光合速率下降。本文仅比较研究了扁桃和桃各一个品种生长中期某几天（并且均为晴天）的光合作用特征，为了更全面地了解扁桃和桃的光合作用差异，还需研究更多的品种及在不同生长条件下（如下雨后田间湿度较高的时期与晴天的比较）的情况。

我们认为，扁桃和桃在生态位上存在显著差异；作为桃的起源地和重要生产地的我国西北地区，在引种扁桃时一定要重视果园立地环境条件的选择，保证扁桃正常生长所需的强光、高温及低湿条件。

## 参考文献：

- 1 University of California division of agriculture and natural resources. Almond production manual. Davis: University of California, 1996. 1 ~ 15
- 2 陈健红, 侯平, 李疆, 等. 巴旦杏的产业发展及其研究进展. 干旱区研究, 2000, 17 (1): 32 ~ 37
- 3 潘晓云, 王根轩, 曹孜义. 扁桃在我国的适宜气候生态引种区研究. 生态学报, 2000, 20 (6): 1069 ~ 1075
- 4 潘晓云, 王根轩, 曹琴东. 兰州地区引种的美国扁桃的越冬伤害和临界致死低温. 园艺学报, 2002, 29 (1): 63 ~ 65
- 5 Pan X Y, Wang G X, Cao Z Y. Evaluation of components of oxidative stress metabolism for use in selection of cold hardiness cultivars of almond. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (11): 10 ~ 15
- 6 De Jon J M. CO<sub>2</sub> assimilation characteristics of five *Prunus* tree fruit species. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1983, 108 (2): 303 ~ 307
- 7 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会编. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999. 83 ~ 113
- 8 Westwood M. N. Temperate zone pomology. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1978. 51
- 9 Watkins R. Cherry, plum, peach, apricot and almond. *Prunus* spp. In: Simmonds N W. Evolution of crop plants. London: Longman, 1979. 242 ~ 247
- 10 路丙社, 白志英, 董源, 等. 阿月浑子光合特性及其影响因子的研究. 园艺学报, 1999, 26 (5): 287 ~ 290
- 11 Jones H G, Akso A N, Syvertsen J P. Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. Hort. Rev., 1985, 7 (2): 301 ~ 344

## Comparative Study on Photosynthetic Characteristics between Almond and Peach

Pan Xiaoyun<sup>1</sup>, Cao Qindong<sup>2</sup>, Wang Genxuan<sup>1</sup>, and Yang Xiaoyan<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; <sup>2</sup> Green Food Office of Gansu, Lanzhou 730030, China; <sup>3</sup> Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070, China)

**Abstract :** The photosynthetic characteristics of introduced almond (*Prunus amygdalus* cv. 'Nonpareil') were studied in comparison with peach (*Prunus persica* cv. 'Qingfeng'). The curves of diurnal variation of net photosynthesis rate (Pn) in leaves of almond and peach showed two peaks, occurring at 11 00 and 15 00, respectively. Midday depressions of Pn (11 00 - 14 00) were found in leaves of both almond and peach. Pn of almond leaves was significantly higher than that of peach between 10 00 - 15 00. Some physioecological parameters showed significant differences between almond and peach. The optimum temperature for Pn in almond and peach is 27 and 23, respectively. The light compensation and saturation point of Pn in almond and peach leaves were 54  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and 1714  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 23  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and 1479  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , respectively. The CO<sub>2</sub> compensation and saturation point of Pn in almond and peach leaves were 68  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  and 838  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ , 55  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  and 717  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ , respectively. The optimum degree of humidity for Pn in almond and peach is 0.89 kPa and 1.31 kPa. And the results of diurnal variations of chlorophyll fluorescence showed that Fv'/Fm', qP and PS in leaves of almond were significant higher than those of peach, and qN was lower than that of peach.

**Key words :** Almond; Peach; Net photosynthesis rate; Chlorophyll fluorescence; Environmental factors

### 会 讯

## 第八次全国李杏会议暨南疆果树考察纪要

中国园艺学会李杏分会于 2002 年 6 月 17 ~ 29 日在新疆轮台县召开了第八次全国李杏资源研究与开发利用研讨会, 同时考察了塔里木盆地周边的果树资源与生产。参加本次活动的有来自 18 个省(市、自治区)的领导、专家、教授和企业家共 126 名代表。在轮台、和田、英吉沙和库车 4 个会场收听特邀学术报告的达 800 余人。代表们考察了百年果树、戈壁杏园、维民庭院果树和加工企业等; 对于干旱地区发展杏产业既能治荒又能治穷, 同时能促进加工业和出口贸易等方面取得了共识, 增强了信心; 同时为上述地区评选了良种, 为我国杏李产业的开发提出了建议。

(张加延)