

# 桃光合性状杂种优势研究

张斌斌<sup>1</sup>, 姜卫兵<sup>1,\*</sup>, 韩 键<sup>1</sup>, 化香平<sup>1</sup>, 谢智华<sup>1</sup>, 俞明亮<sup>2,\*</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学园艺学院, 南京 210095; <sup>2</sup>江苏省农业科学院园艺研究所, 南京 210014)

**摘 要:** 为探求桃光合性能的遗传规律, 以 6 个桃品种及其组配的 8 个杂交组合幼苗 ( $F_1$ ) 群体为试材, 对其光合、荧光性状的杂种优势及亲子遗传相关进行了分析。结果表明, 绝大多数组合叶绿素含量、类胡萝卜素含量、水分利用效率 ( $WUE$ )、 $CO_2$  补偿点 ( $CCP$ ) 和 PS II 实际光化学效率 ( $Yield$ ) 以正向中亲、超亲优势为主; 净光合速率 ( $P_n$ )、光补偿点 ( $LCP$ )、光饱和点 ( $LSP$ )、饱和光强净光合速率 ( $LSP_n$ )、表观量子效率 ( $AQY$ )、 $CO_2$  饱和点 ( $CSP$ )、 $CO_2$  饱和净光合速率 ( $CSP_n$ )、羧化效率 ( $CE$ )、表观电子传递速率 ( $ETR$ )、PS II 最大光化学效率 ( $F_v/F_m$ ) 和非光化学淬灭系数 ( $NPQ$ ) 以负向中亲、超亲优势为主; 亲子相关分析表明, 除  $CSP$  和  $F_v/F_m$  外, 各性状  $F_1$  值与父、母本, 高、低亲值, 中亲值和双亲差值相关性不大; 类胡萝卜素含量、 $P_n$ 、 $LSP$ 、 $LSP_n$ 、 $CCP$ 、 $CSP$ 、 $CSP_n$  和初始荧光 ( $F_o$ ) 杂种优势大小与双亲差值显著或极显著负相关。在利用桃光合优势育种时应根据育种目标在亲本选配时选择差异适当的双亲。

**关键词:** 桃; 光合性状; 杂种优势; 亲子相关

**中图分类号:** S 662.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2011) 01-0025-10

## Research on Heterosis of Photosynthetic Characteristics of Peach

ZHANG Bin-bin<sup>1</sup>, JIANG Wei-bing<sup>1,\*</sup>, HAN Jian<sup>1</sup>, HUA Xiang-ping<sup>1</sup>, XIE Zhi-hua<sup>1</sup>, and YU Ming-liang<sup>2,\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup>Institute of Horticulture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Taking six peach (*Prunus persica* L.) varieties and eight crossbreed combinations of them ( $F_1$ ) as materials, photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence characteristics as well as their heterosis and parent-offspring correlation were studied in September to investigate the inheritance of photosynthetic performance. The results showed that positive mid-parent heterosis and transgressive heterosis were higher on chlorophyll content, carotenoid content, water use efficiency ( $WUE$ ),  $CO_2$  compensation point ( $CCP$ ) and PS II actual photochemical efficiency ( $Yield$ ) of most combinations while negative heterosis were higher on net photosynthetic rate ( $P_n$ ), light compensation point ( $LCP$ ), light saturation point ( $LSP$ ), light saturated net photosynthetic rate ( $LSP_n$ ), apparent quantum yield ( $AQY$ ),  $CO_2$  saturation point ( $CSP$ ),  $CO_2$  saturated net photosynthetic rate ( $CSP_n$ ), carboxylation efficiency ( $CE$ ), electron transport rate ( $ETR$ ), PS II maximal photochemical efficiency ( $F_v/F_m$ ) and non-photochemical quench ( $NPQ$ ). The behavior value of characteristics in  $F_1$  was less correlated with that of all parents except  $CSP$  and  $F_v/F_m$  after parent-offspring correlation. Meanwhile, the relative heterosis

收稿日期: 2010-05-04; 修回日期: 2010-11-09

基金项目: 江苏省科技基础设施建设计划项目 (BM2008008); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD01A170)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: weibingj@sohu.com; mly1008@yahoo.com.cn)

was correlated with different value between parents on carotenoid content,  $P_n$ ,  $LSP$ ,  $LSP_n$ ,  $CCP$ ,  $CSP$ ,  $CSP_n$  and minimal fluorescence ( $F_0$ ). In order to breeding new variety of peach with photosynthetic superiority, proper differences between parents should be noticed.

**Key words:** *Prunus persica* L.; photosynthetic characteristics; heterosis; parents-descendants correlation

光合遗传研究是利用作物光合特性进行杂种优势评价的一种新方法, 是作物遗传育种研究中的一个新领域。杂交后代植株较高的光合能力及较长的功能期, 对提高产量具有重要意义。目前有关大田作物光合性能杂种优势的研究多集中在水稻(Pham et al., 2004; 李季航 等, 2005)、棉花(Chen et al., 2005)和玉米(李霞 等, 2007)及甘蔗(何水林 等, 1997; 邓祖湖 等, 2006; 唐仕云 等, 2008)上, 有关园艺作物的研究多集中于蔬菜作物(邵金旺 等, 1996; 李冰 等, 2008)和腊梅(盛宁 等, 2008)、鹅掌楸(杨秀艳 等, 2005)等, 果树方面报道较少。

在桃的光合特性和杂种优势方面, 前人已做了较多探讨(Crews et al., 1975; 俞明亮 等, 1997; Malusà et al., 2001; 姜卫兵 等, 2005, 2006; 庄猛 等, 2005; 陈双建和李安根, 2006; 张斌斌 等, 2010), 而关于桃杂交后代光合性能杂种优势的研究仅见于杂种豫白桃与亲本品种光合速率的比较(吴光英, 1983)。本研究中以 6 个桃品种及其组配的 8 个杂交组合  $F_1$  群体为试材, 对光合性状杂种优势表现进行分析, 以期为桃的杂种优势利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2009 年 4—10 月在江苏省农业科学院国家果树种质南京桃资源圃和选种圃中进行。亲本材料为有明白桃(P1)、美香(P2)、吊枝白(P3)、霞脆(P4)、湖景蜜露(P5)和霞晖 5 号(P6), 共计 6 个品种, 砧木为毛桃, 行株距 5 m × 3 m, 植株 7 年生, 按常规栽培措施管理。

于 2009 年 4—6 月选择桃杂交后代( $F_1$ )(P1 × P4、P1 × P5、P1 × P6、P2 × P4、P2 × P5、P2 × P6、P3 × P4、P3 × P6)幼苗(1 年生), 每个组合 12 ~ 20 株, 行株距为 0.5 m × 0.5 m, 苗高约 80 cm, 相互不遮挡, 进行定植与培育管理。试验地以棕壤土为主, 肥力中等。

### 1.2 试验方法

为避免因枝条挂果因素导致亲本叶片“源—库”强度差异带来的试验误差, 于果实采收后的初秋晴朗天气(此时植株尚未进入叶片黄化、脱落、衰老的光合功能衰弱期), 选择生长基本一致的植株树冠南向、无病虫害的枝梢成熟功能叶(由枝顶往下数第 3 ~ 5 片叶)为测定对象进行光合、荧光指标测定。亲本 9 月初和 9 月下旬,  $F_1$  幼苗 9 月下旬测定, 亲本与各组合均随机选择 10 株, 亲本数据取两次测定的平均值。

于早上 8:00 采摘枝梢中上部叶片, 带回实验室, 立即进行生理指标的测定。

叶片光合色素含量测定采用朱广廉等(1990)的方法。取新鲜叶片于天平上称其鲜样质量  $W_1$ , 放入烘箱内 105 °C 杀青 0.5 h, 然后转入 80 °C 烘干, 称其干样质量  $W_2$ , 计算叶片相对含水量  $RWC$  (%) =  $[(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$ 。叶片光合色素实际含量以  $mg \cdot g^{-1} DW$  表示。

选择晴朗无风天气, 自 7:00—17:00 每隔 2 h 在完全模拟自然环境的条件下, 选取完好的成熟功能叶为测定对象, 利用 PP-System 公司生产的 CIRAS-1 型光合测定系统, 开放式气路测定大气

温度 ( $T_a$ )、光量子通量密度 ( $PFD$ )、大气水汽压 ( $V_p$ )、大气  $CO_2$  浓度 ( $C_a$ ) 等气候环境参数和净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 等光合参数。每次测定 3 次重复, 取平均值。水分利用效率  $WUE = P_n/T_r$  (取日均值),  $P_n$  数值取日变化中的峰值。

设定叶室  $CO_2$  浓度为  $(380 \pm 5) \mu mol \cdot mol^{-1}$ , 相对湿度为大气湿度的 80% 左右, 将光照强度在  $0 \sim 2\,000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  范围内设定 15 个梯度 (即 2 000、1 800、1 500、1 200、1 000、800、500、200、180、150、120、100、80、50、 $0 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ), 测定  $P_n$  的光响应曲线 ( $PFD - P_n$ ), 根据曲线的拟合方程求出光补偿点 ( $LCP$ )、光饱和点 ( $LSP$ ) 和饱和光强净光合速率 ( $LSP_n$ )。将  $PFD$  在  $0 \sim 200 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  范围内的测定值进行直线回归, 斜率即为表观量子效率 ( $AQY$ )。

设定光照强度为  $1\,000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ , 相对湿度为大气湿度的 80% 左右, 将  $CO_2$  浓度 ( $C_a$ ) 在  $0 \sim 2\,000 \mu mol \cdot mol^{-1}$  范围内设定 15 个梯度 (同上), 测定  $P_n$  的  $CO_2$  响应曲线 ( $C_a - P_n$ ), 根据曲线的拟合方程求出  $CO_2$  补偿点 ( $CCP$ )、 $CO_2$  饱和点 ( $CSP$ ) 和  $CO_2$  饱和净光合速率 ( $CSP_n$ )。将  $C_a$  在  $0 \sim 200 \mu mol \cdot mol^{-1}$  范围内的测定值进行直线回归, 斜率即为羧化效率 ( $CE$ )。

采用 PAM-2100 便携式调制叶绿素荧光仪 (Walz, Germany), 与光合作用日变化同时进行测定叶绿素荧光参数日变化。按照 Demmig-Adams 和 Adams (1996) 的方法进行测定, 相关指标包括初始荧光 ( $F_0$ )、最大荧光 ( $F_m$ )、表观电子传递速率 ( $ETR$ )、PS II 实际光化学效率 ( $Yield$ )、PS II 最大光化学效率 ( $F_v/F_m$ ) 和非光化学淬灭系数 ( $NPQ$ ), 所有荧光指标取日均值。

### 1.3 数据分析

中亲优势 ( $MPH$ ) 和超高亲优势 (即超亲优势,  $BPH$ ) 计算 (景士西, 2000):  $MPH (\%) = [(F_1 - MP) / MP] \times 100$ ;  $BPH (\%) = [(F_1 - BP) / BP] \times 100$  (式中  $F_1$  为杂种表现值,  $MP$  为双亲平均值即中亲值,  $BP$  为双亲中较优良的一个亲本的值即高亲值)。

各种光合参数指标亲子相关分析按简单相关计算。

相对优势指数按 Powers (1952) 公式计算: 相对优势指数  $hp = (F_1 - MP) / [1/2 (BP - LP)]$  (式中  $MP$  为中亲值,  $BP$  为高亲值,  $LP$  为双亲中较弱的一个亲本的值即低亲值)。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验期间气候状况

表 1 表明, 由于本试验地点为长江以南的南京地区, 9 月份  $T_a$  相对较高, 最高值为  $32.9\,^{\circ}C$ , 日均  $27.7\,^{\circ}C$ , 同时  $PFD$ 、 $V_p$  和  $C_a$  日均值都较高, 且测定中发现  $P_n$  日均值也较高, 说明此时桃植株叶片尚未进入衰老期, 仍保持着较高的光合能力, 该环境条件适于进行桃光合性能的测定和比较。

表 1 主要气候因子状况  
Table 1 Main microclimate factors during the experiment

时刻 O'clock	大气温度/ $^{\circ}C$ $T_a$	光量子通量密度/ $(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ $PFD$	大气水汽压/mbar $V_p$	大气 $CO_2$ 浓度/ $(\mu mol \cdot mol^{-1})$ $C_a$
7: 00	$21.4 \pm 0.3$	$395 \pm 7$	$14.5 \pm 0.1$	$385.9 \pm 3$
9: 00	$29.5 \pm 0.1$	$1\,100 \pm 15$	$15.3 \pm 0.2$	$423.2 \pm 2$
11: 00	$32.9 \pm 0.2$	$1\,586 \pm 4$	$15.2 \pm 0$	$365.2 \pm 4$
13: 00	$32.1 \pm 0.4$	$1\,500 \pm 12$	$13.7 \pm 0.2$	$378.8 \pm 7$
15: 00	$27.9 \pm 0.2$	$924 \pm 6$	$12.2 \pm 0.1$	$380.9 \pm 4$
17: 00	$22.1 \pm 0.2$	$299 \pm 6$	$11.6 \pm 0.2$	$410.5 \pm 5$
日均值 Average	$27.7 \pm 4.6$	$967 \pm 508$	$13.8 \pm 1.5$	$390.8 \pm 21$

2.2 亲本和 F<sub>1</sub> 光合性状表现

表 2 表明, 6 个亲本光合性状值存在较大差异, 如 P3 的 *WUE*、*ETR* 和 *Yield* 明显低于其他亲本而 *LCP* 和 *NPQ* 却相反, P4 的 *LCP*、*LSP*、*CCP* 和 *CSP* 明显低于其他亲本, P6 的 *LSP<sub>n</sub>* 和 *AQY* 明显低于其他亲本而类胡萝卜素含量 (*Car.*) 和 *CSP* 则相反。

从表 3 可以看出, 多数组合 F<sub>1</sub> 的 *P<sub>n</sub>*、*LCP* 和 *NPQ* 都低于亲本而叶绿素含量 (*Chl.*)、*Car.* 含量、*WUE*、*CCP* 和 *Yield* 都高于亲本。以上结果说明, 多数 F<sub>1</sub> 在光合性状上具有普遍的杂种优势。

表 2 亲本光合指标  
Table 2 Photosynthetic indexes in leaves of parents

亲本 Parent	Chl./ (mg·g <sup>-1</sup> )	Car./ (mg·g <sup>-1</sup> )	P <sub>n</sub> / (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	WUE/ (μmol·mol <sup>-2</sup> )	LCP/ (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	LSP/ (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	LSP <sub>n</sub> / (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	AQY	CCP/ (μL·L <sup>-1</sup> )
P1	7.63	1.36	23.30	4.77	76.0	1858	31.76	0.038	76.0
P2	6.85	1.41	22.97	5.24	68.3	1821	29.20	0.035	84.6
P3	6.90	1.29	22.05	3.94	107.7	1745	26.85	0.036	100.1
P4	6.37	1.34	23.10	5.29	33.5	1373	24.18	0.039	69.6
P5	7.25	1.93	22.03	4.53	64.4	1678	26.03	0.036	89.2
P6	6.05	2.61	22.00	4.20	67.1	1666	19.17	0.022	105.3

亲本 Parent	CSP/ (μL·L <sup>-1</sup> )	CSP <sub>n</sub> / (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	CE	ETR	Yield	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	NPQ	F <sub>o</sub>	F <sub>m</sub>
P1	1840	62.24	0.085	124.80	0.350	0.810	3.83	0.28	1.50
P2	1840	61.63	0.064	125.60	0.365	0.815	3.88	0.27	1.49
P3	1615	45.90	0.044	109.70	0.313	0.827	4.48	0.26	1.53
P4	1293	44.93	0.075	126.72	0.368	0.811	3.34	0.30	1.61
P5	1790	57.85	0.064	128.93	0.379	0.824	3.82	0.25	1.43
P6	2463	55.57	0.041	135.40	0.397	0.817	3.70	0.26	1.45

表 3 不同组合桃杂交后代 (F<sub>1</sub>) 光合指标  
Table 3 Photosynthetic indexes in leaves in filial generation (F<sub>1</sub>) of different crossbreed peach

F <sub>1</sub>	Chl./ (mg·g <sup>-1</sup> )	Car./ (mg·g <sup>-1</sup> )	P <sub>n</sub> / (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	WUE/ (μmol·mol <sup>-2</sup> )	LCP/ (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	LSP/ (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	LSP <sub>n</sub> / (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	AQY	CCP/ (μL·L <sup>-1</sup> )
P1×P4	7.39	2.54	21.64	5.24	52.6	1667	21.57	0.024	104.7
P1×P5	7.58	2.51	20.32	4.96	14.9	1619	23.31	0.026	100.1
P1×P6	7.73	2.68	21.04	3.95	12.6	1668	26.71	0.036	135.4
P2×P4	7.53	2.79	21.66	6.59	28.8	1665	25.97	0.036	97.9
P2×P5	7.23	2.63	21.07	5.39	22.6	1573	22.90	0.035	132.1
P2×P6	7.98	2.68	22.72	5.73	28.6	1675	27.00	0.036	122.3
P3×P4	7.95	2.92	18.70	6.57	15.3	1748	30.22	0.039	87.7
P3×P6	7.85	2.74	22.67	5.76	18.7	1618	25.65	0.038	74.7

F <sub>1</sub>	CSP/ (μL·L <sup>-1</sup> )	CSP <sub>n</sub> / (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	CE	ETR	Yield	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	NPQ	F <sub>o</sub>	F <sub>m</sub>
P1×P4	1 776	55.88	0.071	109.88	0.514	0.792	0.44	0.16	0.79
P1×P5	1 684	50.58	0.072	119.08	0.530	0.786	0.30	0.16	0.75
P1×P6	1 473	36.09	0.041	89.11	0.589	0.806	2.11	0.30	1.54
P2×P4	1 642	47.99	0.072	91.96	0.564	0.800	2.19	0.28	1.36
P2×P5	1 577	33.77	0.051	124.82	0.487	0.775	2.74	0.34	1.53
P2×P6	1 776	37.22	0.039	129.26	0.504	0.811	3.01	0.31	1.66
P3×P4	1 433	36.27	0.045	90.50	0.558	0.828	1.61	0.28	1.49
P3×P6	1 464	38.71	0.070	97.92	0.589	0.813	2.14	0.31	1.69

### 2.3 光合色素含量、 $P_n$ 、 $WUE$ 杂种优势

由表 4 可以看出, Chl. 含量中亲优势均为正优势, 优势率为 1.9% ~ 23.6%; 从超亲优势上看,  $P1 \times P4$ 、 $P1 \times P5$  和  $P2 \times P5$  表现负优势,  $P1 \times P6$  具有微弱正优势, 其他组合均具明显正优势。

8 个组合的 Car. 含量都为正向中亲优势, 优势率为 27.6% ~ 91.7%; 除  $P1 \times P4$  超亲优势为 -2.9% 外, 其他组合均为正优势。

从  $P_n$  中亲优势上看, 仅  $P2 \times P6$  和  $P3 \times P6$  具有正优势, 分别为 1.1% 和 2.9%, 负优势组合占 75%; 除  $P3 \times P6$  超亲优势为 2.8% 外, 其他组合均表现负优势 (占 87.5%)。

此外,  $P1 \times P6$  的  $WUE$  中亲优势为 -12%, 其他组合为正优势, 优势率为 4.1% ~ 42.4%;  $P1 \times P4$  和  $P1 \times P6$  的超亲优势分别为 -1%、-17.2%, 为负优势, 其他组合为正优势, 优势率为 4% ~ 36.9%, 占 75%。

表 4 不同组合桃杂交后代 ( $F_1$ ) 光合色素含量、 $P_n$  和  $WUE$  杂种优势  
Table 4 Heterosis of photosynthetic pigment content,  $P_n$  and  $WUE$  in leaves in filial generation ( $F_1$ ) of different crossbreed peach

$F_1$	Chl.		Car.		$P_n$		$WUE$	
	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势
	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH
$P1 \times P4$	5.6	-3.2	27.6	-2.9	-6.7	-7.1	4.1	-1.0
$P1 \times P5$	1.9	-0.7	85.5	83.9	-10.3	-12.8	6.7	4.0
$P1 \times P6$	13.0	1.2	62.7	38.8	-7.1	-9.7	-12.0	-17.2
$P2 \times P4$	13.9	9.9	38.6	6.6	-6.0	-6.2	25.1	24.6
$P2 \times P5$	2.5	-0.2	91.7	87.0	-6.3	-8.3	10.3	16.6
$P2 \times P6$	23.6	16.4	60.4	38.7	1.1	-1.1	21.2	23.9
$P3 \times P4$	19.9	15.3	49.6	11.6	-17.2	-19.0	42.4	24.2
$P3 \times P6$	21.2	13.7	70.2	41.7	2.9	2.8	41.4	36.9

### 2.4 $LCP$ 、 $LSP$ 、 $LSP_n$ 、 $AQY$ 杂种优势

由表 5 可知,  $LCP$  中亲优势和超亲优势均为负值, 说明桃杂交后代 ( $F_1$ ) 群体利用低光量子通量密度的能力较强。

$P1 \times P4$ 、 $P2 \times P4$  和  $P3 \times P4$  的  $LSP$  为正向中亲优势 (分别为 3%、4%、12%), 其他组合为负优势; 从超亲优势看,  $P3 \times P4$  为 0, 无优势, 其余组合为负优势。

$P1 \times P6$ 、 $P2 \times P6$ 、 $P3 \times P4$  和  $P3 \times P6$  的  $LSP_n$  具有正向中亲优势, 优势率为 4.9% ~ 18.5%, 占 50%; 从超亲优势看, 仅  $P3 \times P4$  的  $LSP_n$  超亲优势为正值 (12.6%)。

$P1 \times P6$ 、 $P2 \times P6$ 、 $P3 \times P4$  和  $P3 \times P6$  的  $AQY$  表现正向中亲优势, 优势率为 3.6% ~ 30.6%, 同时  $P2 \times P6$  和  $P3 \times P6$  还表现正向超亲优势。

表 5 不同组合桃杂交后代 ( $F_1$ )  $LCP$ 、 $LSP$ 、 $LSP_n$  和  $AQY$  杂种优势  
Table 5 Heterosis of  $LCP$ ,  $LSP$ ,  $LSP_n$  and  $AQY$  in leaves in filial generation ( $F_1$ ) of different crossbreed peach

$F_1$	$LCP$		$LSP$		$LSP_n$		$AQY$	
	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势
	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH
$P1 \times P4$	-4.0	-31.0	3.0	-10.0	-22.9	-32.1	-37.2	-37.8
$P1 \times P5$	-78.8	-80.0	-8.0	-13.0	-19.3	-26.6	-29.9	-32.1
$P1 \times P6$	-82.4	-83.0	-5.0	-10.0	4.9	-15.9	18.0	-7.3
$P2 \times P4$	-43.5	-58.0	4.0	-9.0	-2.7	-11.0	-3.5	-8.5
$P2 \times P5$	-66.0	-67.0	-10.0	-14.0	-17.1	-21.6	-2.0	-3.2
$P2 \times P6$	-57.7	-58.0	-4.0	-8.0	11.6	-7.5	25.6	2.0
$P3 \times P4$	-78.3	-86.0	12.0	0	18.5	12.6	3.6	-0.3
$P3 \times P6$	-78.6	-83.0	-5.0	-7.0	11.5	-4.5	30.6	4.7

## 2.5 CCP、CSP、CSP<sub>n</sub>、CE 杂种优势

表 6 表明, 大多数组合 CCP 都具有正向中亲优势和超亲优势, P3 × P6 为负向中亲、超亲优势, P3 × P4 为负向超亲优势, 而以有明白桃和美香为母本的组合中亲、超亲优势都为正优势, 表明母系遗传可能对子代利用低浓度 CO<sub>2</sub> 的能力有较大影响。从中亲优势分析, P1 × P4 和 P2 × P4 的 CSP 为正向中亲优势, 占 25%, 而 8 个组合 CSP 超亲优势均为负优势。从 8 个组合的 CSP<sub>n</sub> 中亲优势和超亲优势分析来看, 只有 P1 × P4 的中亲优势为正优势 (4.3%), 说明该组合具有较中亲高的利用 CO<sub>2</sub> 进行光合生产的潜力。此外, P2 × P4 CE 的中亲优势为正优势, P3 × P6 CE 的中亲、超亲优势也为正优势, 其余组合均为负优势。

表 6 不同组合桃杂交后代 (F<sub>1</sub>) CCP、CSP、CSP<sub>n</sub> 和 CE 杂种优势  
Table 6 Heterosis of CCP, CSP, CSP<sub>n</sub> and CE in leaves in filial generation (F<sub>1</sub>) of different crossbreed peach /%

F <sub>1</sub>	CCP		CSP		CSP <sub>n</sub>		CE	
	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势	中亲优势	超亲优势
	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH
P1×P4	43.9	37.9	13.3	-3.5	4.3	-10.2	-10.8	-16.3
P1×P5	21.2	12.2	-7.2	-8.5	-15.8	-18.7	-3.6	-15.3
P1×P6	49.3	28.5	-31.6	-40.2	-38.7	-42.0	-34.5	-51.3
P2×P4	27.0	15.8	4.8	-10.8	-9.9	-22.1	3.7	-3.4
P2×P5	52.1	48.1	-13.1	-14.3	-43.5	-45.2	-20.1	-20.2
P2×P6	28.8	16.1	-17.5	-27.9	-36.5	-39.6	-25.7	-39.0
P3×P4	3.4	-12.4	-1.4	-11.3	-20.1	-21.0	-24.2	-39.8
P3×P6	-27.3	-29.1	-28.2	-40.6	-23.7	-30.3	63.8	59.1

## 2.6 叶绿素荧光参数杂种优势

从表 7 可以看出, 8 个组合 ETR、NPQ 的中亲、超亲优势均为负优势, 而 Yield 的中亲、超亲优势则相反。P3 × P4 的 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 中亲优势为 1.1%, 超亲优势为 0.1%, 其余组合的 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 中亲、超亲优势均为负优势, 中亲优势率为 -5.4% ~ -0.6%, 超亲优势率为 -5.9% ~ -0.8%, 说明在试验期间多数杂交后代 (F<sub>1</sub>) 受环境条件的干扰较中亲大, 可能午间光抑制程度较中亲重。从 F<sub>0</sub> 中亲优势看, P1 × P6、P2 × P5、P2 × P6、P3 × P4 和 P3 × P6 均为正优势, 但 P3 × P4 的正优势较微弱 (0.4%), 正优势组合占 62.5%; P1 × P6、P2 × P5、P2 × P6 和 P3 × P6 的 F<sub>0</sub> 超亲优势均为正优势, 占组合的 50%。此外, P1 × P6、P2 × P5、P2 × P6 和 P3 × P6 的 F<sub>m</sub> 均具有正向中亲、超亲优势。以上分析表明, 霞晖 5 号对桃杂交后代 (F<sub>1</sub>) F<sub>0</sub>、F<sub>m</sub> 杂种优势的影响表现为父本效应。

表 7 不同组合桃杂交后代 (F<sub>1</sub>) 叶绿素荧光参数杂种优势  
Table 7 Heterosis of chlorophyll fluorescence parameters in leaves in filial generation (F<sub>1</sub>) of different crossbreed peach /%

F <sub>1</sub>	ETR		Yield		F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>		NPQ		F <sub>0</sub>		F <sub>m</sub>	
	中亲	超亲	中亲	超亲	中亲	超亲	中亲	超亲	中亲	超亲	中亲	超亲
	优势	优势	优势	优势	优势	优势	优势	优势	优势	优势	优势	优势
	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH
P1×P4	-12.6	-13.3	43.2	39.8	-2.3	-2.3	-87.8	-88.6	-43.5	-44.8	-49.0	-50.8
P1×P5	-6.1	-7.6	45.5	40.0	-3.8	-4.5	-92.2	-92.2	-40.6	-44.3	-49.0	-49.8
P1×P6	-31.5	-34.2	57.5	48.2	-1.0	-1.4	-43.9	-44.9	11.4	7.3	4.9	3.1
P2×P4	-27.1	-27.4	54.0	53.4	-1.6	-1.8	-39.3	-43.5	-3.0	-6.9	-12.0	-15.1
P2×P5	-1.9	-3.2	31.0	28.7	-5.4	-5.9	-28.9	-29.5	29.1	23.5	4.9	2.6
P2×P6	-0.9	-4.5	32.1	26.7	-0.6	-0.8	-20.6	-22.5	16.4	14.2	13.1	11.4
P3×P4	-23.4	-28.6	63.8	51.7	1.1	0.1	-58.7	-64.0	0.4	-5.5	-4.0	-5.7
P3×P6	-20.1	-27.7	65.7	48.2	-1.1	-1.7	-47.7	-52.3	19.7	19.5	13.4	10.2

## 2.7 光合性能参数的亲子相关分析

由表 8 可见, 桃杂交后代 ( $F_1$ )  $CSP$  与母本值显著正相关,  $F_v/F_m$  与母本值显著正相关, 与双亲差值极显著正相关, 多数性状很难用亲代值来预测  $F_1$  的表现, 其遗传行为较复杂。相对优势指数绝对值 (杂种优势大小) 与双亲差值的相关性分析表明, 相对优势指数绝对值与  $P_n$ 、 $LSP$ 、 $CSP_n$  极显著负相关, 与  $Car.$  含量、 $LSP_n$ 、 $CCP$ 、 $CSP$ 、 $F_o$  显著负相关, 即这些性状双亲差异越大,  $F_1$  值则越接近中亲值, 欲使  $F_1$  值超高亲或低亲, 则应选择双亲值相近的亲本进行杂交。

表 8 光合性能参数的亲子相关系数及优势大小与双亲差值的相关系数

Table 8 Parent-offspring correlation coefficients of photosynthetic parameters and correlation coefficient between heterosis and subtract of parents

指标 Index	亲子相关系数 Parent-offspring correlation						$hp$ 绝对值与双亲差值 相关系数 Correlation coefficient of absolute value of $hp$ and subtract of parents
	母本值 Female parent	父本值 Male parent	低亲值 Value of low parent	中亲值 Average value of parents	高亲值 Value of high parent	双亲差值 Subtract of parents	
Chl.	-0.250	-0.660	-0.570	-0.630	-0.500	0.390	-0.310
Car.	-0.430	0.530	-0.280	0.500	0.530	-0.550	-0.720*
$P_n$	0.160	-0.360	0.170	-0.170	-0.480	0.350	-0.920**
$WUE$	-0.160	0.570	0.140	0.280	0.350	-0.490	-0.560
$LCP$	-0.340	-0.500	-0.500	-0.640	-0.340	0.110	-0.640
$LSP$	-0.280	-0.640	-0.640	-0.660	-0.280	0.550	-0.820**
$LSP_n$	-0.600	-0.410	-0.410	-0.620	-0.600	0.010	-0.774*
$AQY$	-0.650	-0.380	-0.500	-0.490	-0.320	0.260	-0.446
$CCP$	-0.640	0.310	-0.150	-0.060	0.030	-0.600	-0.781*
$CSP$	0.690*	-0.160	0.020	-0.030	-0.060	0.290	-0.727*
$CSP_n$	0.360	-0.430	-0.320	0.010	0.360	0.610	-0.830**
$CE$	0.143	0.416	0.648	0.376	0.004	-0.179	-0.551
$ETR$	0.480	0.080	0.480	0.470	0.080	0.360	-0.467
$Yield$	-0.570	0.250	-0.570	-0.360	0.250	-0.610	-0.566
$F_v/F_m$	0.670*	-0.062	0.080	0.200	0.220	0.810**	-0.580
$NPQ$	0.103	0.236	0.236	0.252	0.103	-0.560	-0.441
$F_o$	-0.590	-0.220	-0.280	-0.470	-0.520	-0.020	-0.717*
$F_m$	0.270	-0.250	-0.090	-0.190	-0.250	0.310	0.105

注: \*表示 0.05 显著水平, \*\*表示 0.01 显著水平。

Note: \* indicates significant at 5% level, \*\* indicates significant at 1% level.

## 3 讨论

### 3.1 亲子代光合能力与杂种优势

有研究表明, 海陆种间杂种棉的 Chl. 含量介于双亲之间, 且略低于双亲平均值 (沈淞海和许馥华, 1992), 表现负向中亲优势; 杂种超高产水稻培矮 64S/E32 的 Chl. 含量与父本相当, 在灌浆期和完熟期都表现超亲优势, 分蘖期和黄熟期为杂交中亲优势 (欧志英 等, 2005); 而本研究中所有组合 Chl. 含量均表现正向中亲优势, 且大多数组合正向超亲优势明显, 这有利于植株光能的吸收、转化和碳固定, 与前人的研究结果不尽一致, 说明 Chl. 含量杂种优势因作物类型、品种和测定时期不同而结果各异。

$Yield$  反映 PS II 的光能转换效率 (Krall & Edward, 1992),  $ETR$  反映 PS II 的活性 (Michal, 2001),  $NPQ$  反映 PS II 天线色素吸收的光能以热的形式耗散掉的部分 (Maxwell & Johnson, 2000)。本研究

结果表明,桃杂交子代的 PS II 活性和热耗散能力都较中亲低,保护 PS II 的能力较中亲弱,但 PS II 光能转换效率相对较高(正向超亲优势),加之超高亲的 Car. 含量优势,从而使  $P_n$  中亲优势虽较低(多为负值)但不至于产生较中亲过重的光合机构破坏,以利于碳同化物质的积累,维持更长的光合功能期。然而,这种特性是否影响到果实的产量和品质需要进一步证实。

### 3.2 育种目标与优势指标选择

根据不同育种目标选择合理的指标进行杂交子代筛选是进行光合优势育种的关键。由于果树杂种苗数量有限,利用常规的逆境处理方法进行植株某些抗逆性(如抗旱性、耐荫性等)筛选并不可行。利用相关光合指标进行抗逆性筛选具有不伤植株、间接评价、方便易行的优点,可以根据育种目标在果树育种和引种上进行应用。

CCP 低的作物品种常具有净光合速率高、产量高的特点,因此低 CCP 常被用作选育高产品种的指标(Medrano et al., 1995)。本研究选取的 8 个桃杂交组合中,  $P3 \times P6$  CCP 的中亲、超亲优势均为明显负优势,  $P_n$  却表现正向中亲、超亲优势,说明  $P3 \times P6$  在群体  $CO_2$  同化能力上具有明显的优越性,存在优质、高产的倾向。

8 个组合 LCP 都具有明显的负向中亲、超亲优势,说明桃杂交后代( $F_1$ )具备耐弱光的潜质,较亲本更适于进行设施栽培,也为向弱光照地区引种提供了可能。同时,  $P3 \times P4$  LSP 还表现出正向中亲优势,超亲优势为 0,  $LSP_n$  具有正向中亲、超亲优势,说明  $P3 \times P4$  比亲本的光适应范围宽,且具备较亲本高的光合潜力,适栽地区较广。

此外,  $P2 \times P4$ 、 $P2 \times P5$ 、 $P2 \times P6$ 、 $P3 \times P4$ 、 $P3 \times P6$  WUE 超亲优势明显,为向干旱地区引种提供了保证。

### 3.3 光合优势与亲本选配

光合性状杂种优势的表现是进行高光效育种的基础。在杂交组合选配中亲本应以双亲自身性状优良为基础,同时注意双亲优良性状的互补性,以便使有利性状得到发挥,不良性状受到抑制,从而使杂种表现出更强的优势(王学芳等, 2009)。本研究 18 个光合性状中有 17 个性状杂种优势大小与双亲差值呈负相关(其中有 8 个性状显著或极显著负相关),说明要提高杂种优势并非都需要扩大双亲遗传差异,应根据育种目标在亲本选配时选择差异适当的双亲,欲使  $F_1$  表现超高亲或低于低亲时,应选择差值小的双亲,欲使  $F_1$  表现在中亲值附近时,应选择差值稍大的双亲(许明辉和王孟宇, 2000)。

## References

- Chen Shuang-jian, Li An-gen. 2006. Inheritance of fruit weight in  $F_1$  hybrids of peach. Chinese Agricultural Science Bulletin, 22 (8): 360 - 364. (in Chinese)
- 陈双建, 李安根. 2006. 桃杂种( $F_1$ )果实重量的遗传研究. 中国农学通报, 22 (8): 360 - 364.
- Chen Z H, Wu F B, Wang X D, Zhang G P. 2005. Heterosis in CMS hybrids of cotton for photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters. Euphytica, 144: 353 - 361.
- Crews C E, Williams S L, Vines H M. 1975. Characteristics of photosynthesis in peach leaves. Planta, 126 (2): 97 - 104.
- Demmig-Adams B, Adams III W W. 1996. Xanthophyll cycle and light stress in nature: Uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. Planta, 198 (3): 460 - 470.
- Deng Zu-hu, Xu Lian-nian, Chen Feng-sen, Chen Ru-kai. 2006. Combining ability analysis of photosynthetic rate and economic traits of seedling sugarcane at nursery stage. Chinese Journal of Tropical Crops, 27 (1): 33 - 38. (in Chinese)



- 邓祖湖, 徐良年, 陈凤森, 陈如凯. 2006. 甘蔗实生苗净光合速率与经济性状配合力分析. 热带作物学报, 27 (1): 33 - 38.
- He Shui-lin, Chen Ru-kai, Li Yu, Zhang Teng-yun. 1997. The study on the photosynthetic characteristics of sugarcane with high biological yield - II. The preliminary study on metabolism of carbohydrate and nitrogen and its correlation with colony photosynthetic capacity in genotypes of sugarcane with high biological yield. Sugarcane, 4 (1): 1 - 6. (in Chinese)
- 何水林, 陈如凯, 李宇, 张腾云. 1997. 能源甘蔗群体光合生产特性研究——II 能源甘蔗碳氮代谢及其与群体光合能力关系的初步研究. 甘蔗, 4 (1): 1 - 6.
- Jiang Wei-bing, Zhuang Meng, Dai Mei-song, Shen Zhi-jun, Du Ping. 2005. Photosynthetic characteristics of different crossbreed peach. Jiangsu Agricultural Sciences, (4): 66 - 68. (in Chinese)
- 姜卫兵, 庄猛, 戴美松, 沈志军, 杜平. 2005. 桃不同杂交组合亲本子代品种的光合特性初探. 江苏农业科学, (4): 66 - 68.
- Jiang Wei-bing, Zhuang Meng, Shen Zhi-jun, Song Hong-feng, Cao Jing, Li Gang. 2006. Study on the photosynthetic characteristics of red-leaf peach and purple-leaf plum in different seasons. Acta Horticulturae Sinica, 33 (3): 577 - 582. (in Chinese)
- 姜卫兵, 庄猛, 沈志军, 宋宏峰, 曹晶, 李刚. 2006. 不同季节红叶桃、紫叶李的光合特性研究. 园艺学报, 33 (3): 577 - 582.
- Jing Shi-xi. 2000. Breeding science of horticultural crops. Beijing: China Agricultural Press: 145. (in Chinese)
- 景士西. 2000. 园艺植物育种学总论. 北京: 中国农业出版社: 145.
- Krall J P, Edwards G E. 1992. Relationship between photosystem II activity and CO<sub>2</sub> fixation in leaves. Physiologia Plantarum, 86: 180 - 187.
- Li Bing, Shen Shu-xing, Chen Xue-ping, Luo Shuang-xia, Wang Yan-hua, Guo Li-juan. 2008. Comparative study on physiological and biochemical properties of male sterile lines and their maintainers in eggplant. Journal of Plant Genetic Resources, 9 (1): 46 - 50. (in Chinese)
- 李冰, 申书兴, 陈雪平, 罗双霞, 王彦华, 郭丽娟. 2008. 茄子雄性不育系与保持系生理生化特性比较分析. 植物遗传资源学报, 9 (1): 46 - 50.
- Li Xia, Ding Zai-song, Li Lian-lu, Wang Mei-yun, Zhao Ming. 2007. Heterosis of photosynthetic performance of maize. Chinese Journal of Applied Ecology, 18 (5): 1049 - 1054. (in Chinese)
- 李霞, 丁在松, 李连禄, 王美云, 赵明. 2007. 玉米光合性能的杂种优势. 应用生态学报, 18 (5): 1049 - 1054.
- Li Ji-hang, Xiang Xun-chao, He Li-bin, Li Ping. 2005. Studies on the photosynthetic characteristics of intersubspecific hybrid F<sub>1</sub> in rice. Chinese Bulletin of Botany, 22 (4): 432 - 438. (in Chinese)
- 李季航, 向珣朝, 何立斌, 李平. 2005. 水稻亚种间杂种 F<sub>1</sub> 光合特性研究. 植物学通报, 22 (4): 432 - 438.
- Malusà E, Buffa G, Ciesielska J. 2001. Effect of different fertilisation management on photosynthesis, yield and fruit quality of peach/Horst W J, Schenk M K, Bürkert A, Claassen N, Flessa H, Frommer W B, Goldbach H, Olfs H W, Römheld V, Sattelmacher B, Schmidhalter U, Schubert S, Wirén N V, Wittenmayer L. Plant nutrition - Food security and sustainability of agro-ecosystems. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers: 332 - 333.
- Maxwell K, Johnson G N. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. Journal of Experimental Botany, 51: 659 - 668.
- Medrano H, Keys A J, Lawlor D W, Parry M A J, Azcon-Bieto J, Delgado E. 1995. Improving plant production by selection for survival at low CO<sub>2</sub> concentrations. Journal of Experimental Botany, 46: 1389 - 1396.
- Michal K. 2001. On the relation between the non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and photosystem I light harvesting efficiency - a repetitive flash fluorescence induction study. Photosynthesis Research, 68: 571 - 576.
- Ou Zhi-ying, Peng Chang-lian, Lin Gui-zhu. 2005. Photosynthetic characteristics in flag leaves of super high-yielding hybrid rice Peiai 64S/E32 and its parents grown in the field. Acta Agronomica Sinica, 31 (2): 209 - 213. (in Chinese)
- 欧志英, 彭长连, 林桂珠. 2005. 田间条件下超高产水稻培矮 64S/E32 及其亲本旗叶的光合特性. 作物学报, 31 (2): 209 - 213.
- Pham C V, Murayama S, Kawamitsu Y, Motomura K, Miyagi S. 2004. Heterosis for photosynthetic and morphological characters in F<sub>1</sub> hybrid rice from a thermo-sensitive genic male sterile line at different growth stages. Japanese Journal of Tropical Agriculture, 48 (3): 137 - 148.
- Powers L. 1952. Gene recombination and heterosis. // Gowen J W. Heterosis. Ames: Iowa State College Press: 298 - 319.
- Shao Jin-wang, Yang Yong-li, Zhang Jia-hua. 1996. The relationship between photochemical character and heterosis in sugarbeet. Journal of Inner

- Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry, 17 (1): 29 - 34. (in Chinese)
- 邵金旺, 杨永利, 张家骅. 1996. 甜菜杂种优势与光化学特性的关系. 内蒙古农牧学院学报, 17 (1): 29 - 34.
- Sheng Ning, Yao Qing-ju, Ren Quan-jin, Xiong Yu-ning, Sun Xiao-fang. 2008. Morphology and photosynthesis of an intergeneric hybrid between *Sinocalycanthus chinensis* and *Calycanthus floridus*. Journal of Zhejiang Forestry College, 25 (6): 728 - 732. (in Chinese)
- 盛 宁, 姚青菊, 任全进, 熊豫宁, 孙小芳. 2008. 夏蜡梅和美国蜡梅属间杂种形态与光合生理特征. 浙江林学院学报, 25 (6): 728 - 732.
- Shen Song-hai, Xu Fu-hua. 1992. Comparison of cotton photosynthetic pigment between hybrid and its parents. China Cotton, (4): 10 - 12. (in Chinese)
- 沈淞海, 许馥华. 1992. 棉花杂种及其亲本光合色素特性比较. 中国棉花, (4): 10 - 12.
- Tang Shi-yun, Liu Hai-bin, Xian Wu. 2008. Correlation between new sugarcane varieties and photosynthetic characteristics. Sugar Crops of China, (3): 7 - 10. (in Chinese)
- 唐仕云, 刘海斌, 贤 武. 2008. 甘蔗新品种 (系) 种性与光合特性的相关关系. 中国糖料, (3): 7 - 10.
- Wang Xue-fang, Zhang Yao-wen, Li Dian-rong, Tian Jian-hua, Zhang Zhi, Wang Zhu-yun, Zhang Yan-feng. 2009. Analysis of heterosis and correlation in non-heading Chinese cabbage. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 29 (10): 1974 - 1979. (in Chinese)
- 王学芳, 张耀文, 李殿荣, 田建华, 张 智, 王竹云, 张彦锋. 2009. 不结球白菜杂种优势及相关分析. 西北植物学报, 29 (10): 1974 - 1979.
- Wu Guang-ying. 1983. Comparison of photosynthesis of Yu White peach and its parents. China Fruits, (3): 42 - 43. (in Chinese)
- 吴光英. 1983. 杂种豫白桃与亲本品种光合速率比较研究. 中国果树, (3): 42 - 43.
- Xu Ming-hui, Wang Meng-yu. 2000. The genetic behavior and correlation analysis between parents and offspring of quality characters in  $F_1$  hybrids of *N. tabacum* L. Seed, (2): 3 - 5. (in Chinese)
- 许明辉, 王孟宇. 2000. 烟草品质性状在杂种一代中的遗传表现与亲子相关分析. 种子, (2): 3 - 5.
- Yang Xiu-yan, Ji Kong-shu, Wang Zhang-rong, Lai Huan-lin. 2005. A study on photosynthetic traits of hybrid *Liriodendron* seedlings. Journal of Northwest Forestry University, 20 (2): 39 - 43. (in Chinese)
- 杨秀艳, 季孔庶, 王章荣, 赖焕林. 2005. 杂交鹅掌楸苗期光合特性的研究. 西北林学院学报, 20 (2): 39 - 43.
- Yu Ming-liang, Ma Rui-juan, Tang Xiu-lian. 1997. Inheritance of ripening season in  $F_1$  hybrids of peach. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 13 (3): 176 - 181. (in Chinese)
- 俞明亮, 马瑞娟, 汤秀莲. 1997. 桃杂种 ( $F_1$ ) 成熟期的遗传研究. 江苏农业学报, 13 (3): 176 - 181.
- Zhang Bin-bin, Jiang Wei-bing, Weng Mang-ling, Han Jian. 2010. Effects of shading on photosynthetic characteristics of red-leaf peach. Acta Horticulturae Sinica, 37 (8): 1287 - 1294. (in Chinese)
- 张斌斌, 姜卫兵, 翁忙玲, 韩 键. 2010. 遮荫对红叶桃叶片光合生理的影响. 园艺学报, 37 (8): 1287 - 1294.
- Zhu Guang-lian, Zhong Hui-wen, Zhang Ai-qin. 1990. Plant physiology experiment. Beijing: Peking University Press: 51 - 54. (in Chinese)
- 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 1990. 植物生理学实验. 北京: 北京大学出版社: 51 - 54.
- Zhuang Meng, Jiang Wei-bing, Ma Rui-juan, Yu Ming-liang. 2005. Comparison of photosynthetic physiological characteristics between two peach varieties Rutgers (red leaf) and Baimangpantao (green leaf). Journal of Nanjing Agricultural University, 28 (4): 26 - 29. (in Chinese)
- 庄 猛, 姜卫兵, 马瑞娟, 俞明亮. 2005. Rutgers 桃 (红叶) 与白芒蟠桃 (绿叶) 光合生理特性的比较. 南京农业大学学报, 28 (4): 26 - 29.