

文章编号: 1008 - 2786 - (2018)1 - 143 - 10

DOI: 10.16089/j.cnki.1008 - 2786.000311

# 川中丘陵区碱性土对 GF677 和毛桃叶片光合特性 及叶绿素荧光参数的影响

涂美艳, 宋海岩, 陈栋, 李靖, 孙淑霞, 江国良

(四川省农业科学院园艺研究所·农业部西南地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 成都 610066)

**摘 要:** 川中丘陵区桃栽培历史悠久, 该地区土壤多为紫色页岩碱性土, 桃树黄化问题突出, 严重影响了桃树生长发育。为探明桃抗性砧木 GF677 与普通毛桃在碱性土上光合能力差异, 以两年生 GF677 扦插苗和毛桃实生苗为材料, 使用 LI6400 - XT 便携式光合作用测量系统, 对其光合特性及叶绿素荧光参数进行比较, 为今后筛选高光效、抗黄化桃种质资源提供理论依据。结果表明: (1) GF677 的表现量子效率和 CO<sub>2</sub> 饱和点均极显著高于毛桃, 光下最大净光合速率和 CO<sub>2</sub> 下最大净光合速率均显著高于毛桃。毛桃的光补偿点和 CO<sub>2</sub> 补偿点均极显著高于 GF677。(2) GF677 叶片 F<sub>m</sub>/F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>、φPSII、F<sub>v</sub>'/F<sub>m</sub>' 和 ETR 在多个时期均极显著高于毛桃, 尤其是在进入夏季后差异更加明显, 而 GF677 叶片 NPQ 在多个时期极显著低于毛桃。(3) GF677 可降低 PSII 反应中心非化学能量耗散和天线热耗散, 将过剩的激发能用于光化学反应, 提高叶绿素荧光产额, 保护光合器官, 其 PSII 系统热稳定性较毛桃强。综合本试验研究结果, 认为 GF677 与传统毛桃砧木相比具有更合理的光能分配机制及更强的光合系统稳定性, 具有在川中丘陵碱性土地地区做抗黄化资源的推广潜力。

**关键词:** GF677; 毛桃; 川中丘陵; 碱性土; 光合特性; 叶绿素荧光参数

**中图分类号:** S662.1

**文献标志码:** A

川中丘陵区位于四川盆地中部, 占盆地面积 35.50%, 海拔 300 ~ 500 m, 是四川省最大的桃区<sup>[1]</sup>。该区域东南、西南面有低山环绕, 为典型的方山红岩丘陵区, 土壤类型以紫色页岩碱性土为主<sup>[2-4]</sup>, 生态系统较单一, 农业种植结构简单, 种植果树(尤其是桃树)一直是丘区农民的主要收入来源。但该区域种植桃树黄化问题突出, 发病率达 30% 以上<sup>[5]</sup>, 严重制约了丘区农村经济发展。加之该地区桃树龄偏大, 园区改土重建成本极高, 缺少抗黄化栽培品种与砧木资源。因此, 筛选适宜川中丘区推广的抗黄化桃砧木以克服丘陵区碱性土上的植株黄化问题成为产业能否

持续健康发展的关键<sup>[6,7]</sup>。

砧木对改善土壤性状、改变接穗长势、延长树龄和抵抗病虫害至关重要<sup>[8-9]</sup>。四川作为我国南方重要桃产区之一, 长期以来毛桃作为桃主要砧木广泛应用于生产, 其耐涝性中等<sup>[10]</sup>, 但抗黄化能力较差。桃砧木 GF677 (*P. amygdalus* × *P. persica*) 是由法国 INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) 于 20 世纪 60 年代杂交选育而成, 根系发达, 长势健壮, 且与桃、油桃品种间嫁接亲和力强, 并具有抗钙质碱性土缺铁性黄化、抗重茬、抗旱等优良特性<sup>[11]</sup>。四川省近年来逐步引入一系列抗盐碱、抗黄化能力突出的砧木

**收稿日期** (Received date): 2016 - 12 - 07; **改回日期** (Accepted date): 2017 - 04 - 17

**基金项目** (Foundation item): 国家桃产业技术体系成都综合试验站 (CARS - 31 - Z - 12); 四川省科技支撑计划 (2014NZ0046); 四川省育种攻关专项 (2016NYZ0034)。[ Peach Industry Technical System of Comprehensive Experimental Station in Chengdu (CARS - 31 - Z - 12); Science and Technology Support Plan of Sichuan Province (2014NZ0046); Breeding Research Projects of Sichuan Province (2016NYZ0034) ]

**作者简介** (Biography): 涂美艳 (1983 - ), 男, 江西峡江县人, 博士研究生, 副研究员, 主要从事果树新品种选育及栽培技术研究, 电话 028 - 84504786。[ Tu Meiyang (1983 - ), male, born in Xiajiang, Jiangxi Province, Ph. D. candidate, associate professor, research on fruit tree varieties breeding and cultivation technique ] E - mail: 95688237@qq.com

\* **通讯作者** (Corresponding author): 江国良 (1962 - ), 四川都江堰市人, 博士, 研究员, 主要从事果树遗传育种和栽培技术研究。[ Jiang Guoliang (1962 - ), born in Dujiangyan, Sichuan Province, Ph. D., professor, research on fruit tree genetics and breeding and cultivation technique ] E - mail: jgl22@hotmail.com

品种,如 GF677、筑波 3 号和筑波 4 号等,但目前关于此类抗性资源的研究主要集中于组培快繁技术或抗性评价上<sup>[12~15]</sup>,为 GF677 的大规模推广提供了生产条件,但 GF677 此类抗性资源作为栽培所需的桃砧木品种,其在碱性土壤或重茬园区的应用表现缺乏系统研究。因此本研究重点比较川中丘陵区碱性土立地条件下对 GF677 与毛桃叶片光合特性及叶绿素荧光特性的影响,以期找出其光合能力差异和抗黄化的生理机制,为未来抗性桃砧木育种中山地高光效亲本资源的选择和优良品种筛选提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料与试验地点

供试材料为桃砧木 GF677(1 年生扦插苗),以普通毛桃(1 年生实生苗)为对照。

试验地位于四川省简阳市周家乡南冲堰村晚熟桃示范基地(30°30'50.97"N, 104°26'35.21"E),属亚热带湿润气候,年平均气温 17℃,年降雨量 900 mm。试验地块上茬作物为桃树,已种植 20 余年,园区土壤为侏罗系和白垩系紫色沙页岩发育而成的碱性紫色土<sup>[16]</sup>。土壤背景值:pH 值 8.44,有机质 6.53 g/kg,全氮 0.60 g/kg,全磷 0.631 g/kg,全钾 20.03 g/kg,阳离子交换量 19.2 cmol<sup>(+)</sup>/kg,全铁 63.3 g/kg,有效锌 0.54 mg/kg,有效铁 19.4 mg/kg,有效锰 5.5 mg/kg,交换性钙 81.0 cmol<sup>1/2</sup>Ca<sup>2+</sup>/kg,交换性镁 1.6 cmol<sup>1/2</sup>Mg<sup>2+</sup>/kg。2014 年采取聚土起垄方式改土重建,株行距为 1×4.5 m,2015 年栽植时 GF677 和毛桃均为 1 年生苗,本试验测定时间为 2016 年 5 月至 2016 年 10 月。

### 1.2 试验方法

选取生长势一致的 GF677 与毛桃实生苗,单株为 1 重复,每个处理设置 5 个重复。自 5 月 5 日起每隔 1 个月左右,选择晴朗天气上午 9 至 11 点测定 GF677 和毛桃树体南向、无病虫害新梢中部成熟功能叶的叶绿素荧光参数,每株测定 10 片叶。其中充分暗适应的叶片为当天用锡箔纸包裹 30 min 以上的叶片,并做好标记,之后用于暗适应测试。完成后在强光下充分活化 30 min 以上,再测定光活化状态下的叶绿素荧光参数。

选择 6 月 3 日至 6 月 8 日天气晴朗时,上午 9 至 11 点测定 GF677 和毛桃树体南向、无病虫害新梢中部成熟功能叶的光响应曲线和 CO<sub>2</sub> 响应曲线(每次测定 10 片叶)。

试验仪器采用美国 LI-COR 公司的 LI-6400XT 便携式光合作用测量系统,叶室为 6400-40 荧光叶室。具体测试参数如下:

(1)于 2016 年 5 月 5 日至 9 月 2 日期间测定光合作用相关指标,每隔 4 周测定一次(共测定 5 次,以下将测定时期分别标注为 T1 ~ T5),为避免过高光强所导致的光抑制现象,设置 PARin 为 1000(μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>),蓝光比例 10%,采用开放的 CO<sub>2</sub> 注入系统,样品室与参比室 CO<sub>2</sub> 浓度为 380 ± 3(μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>),H<sub>2</sub>O 浓度为 20 ± 1(mmol H<sub>2</sub>O mol<sup>-1</sup>),样品室流速 Flow 为 300(μmol·s<sup>-1</sup>),空气大气压约为 95.55 ± 0.02 kPa,测定结果包括:蒸腾速率(Tmmol)、净光合速率(Photo)、气孔导度(Cond)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)。

(2)在 0 ~ 2000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 光强范围内测定光响应曲线,设置 PARin = 0、20、50、100、200、500、1000、1500、2000 共九个有效光强梯度,其余参数同(1)。

(3)在 50 ~ 2000 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> 范围内测定 CO<sub>2</sub> 响应曲线,设置 50、100、200、300、400、600、800、1000、1200、1400、1600、1800、2000(μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>) 共十三个 CO<sub>2</sub> 浓度梯度,PARin 1000(μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>),蓝光比例 10%,采用外接 CO<sub>2</sub> 注入系统,其余参数同(1)。

(4)测定叶绿素荧光参数,暗适应设置 PARin 为 Off 状态,其余参数同(1),随后加一个饱和和脉冲光(11300 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,脉冲时间 0.8 s),测定稳态荧光(Fs),最小初始荧光(Fo)和暗适应下最大荧光(Fm)。按照 Rohacek<sup>[17]</sup> 公式计算光化学量子效率 Fv/Fm = (Fm - Fo)/Fm。此后所有叶片于强太阳光下光活化 30 min 以上,待所有叶片结束并充分光活化之后进行光活化后的叶绿素荧光参数测定,此时设置 PARin 为 1000(μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>),其余参数同(1)。

参照朱云娜等<sup>[18]</sup> 测定以下指标:光下最小荧光(Fo'),光下最大荧光(Fm'),PS II 反应中心的激发能捕捉效率[Fv'/Fm' = (Fm' - Fo')/Fm'],PS II 电子传递量子效率 PhiPS2[φPS II = (Fm - Fs)/Fm'],非光化学淬灭系数 NPQ = (Fm - Fm')/Fm' = Fm/Fm' - 1,电子传递速率[ETR = PPFD × φPS II × 0.84 × 0.5],光合功能相对限制值 L<sub>(PPFD)</sub> = 1 - (qP \* Fv'/Fm')/0.83,叶片吸收光能分配:天线热耗散 Hd = 1 - Fv'/Fm',光化学反应 Fc = qP \* Fv'/Fm',PSII 反应中心非化学能量耗散 Ex = (1 - qP) \* Fv'/Fm'。

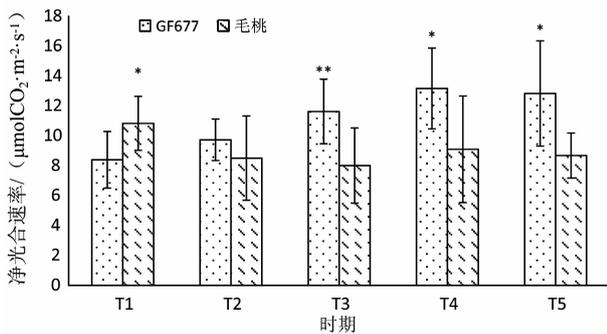
所有测量结果制作成 Excel 表格并使用

SPSS22.0 软件进行统计分析,采用 Duncan's 新复极差法进行显著性检验。光响应曲线及 CO<sub>2</sub> 响应曲线参照叶子飘等<sup>[19-21]</sup>使用光合助手 3.3 进行拟合,选用双曲线修正模型,并根据光响应曲线拟合结果计算:表观量子效率、最大净光合速率、光饱和点、光补偿点、光下呼吸速率、决定系数。根据 CO<sub>2</sub> 响应曲线拟合结果计算:羧化效率(CE)、最大净光合速率、CO<sub>2</sub> 饱和点、CO<sub>2</sub> 补偿点、暗呼吸速率、决定系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 川中丘陵碱性土上 GF677 和毛桃不同时期光合作用参数比较

净光合速率反映了植物光合作用固定二氧化碳(或产生氧气)的速度。由图 1 可知,碱性土立地条件下不同时期 GF677 叶片净光合速率呈现先上升后略微下降的变化趋势,而毛桃叶片的净光合速率呈先下降后略微上升最后再下降的趋势。毛桃叶片净光合速率最低值出现在 T3 时期,表明这一时期可能是碱胁迫对桃树光合作用受抑制最严重的时期。



注:图中\* \*表示该时期同一指标在 P≤1% 水平上差异显著,\*表示该时期同一指标在 P≤5% 水平上差异显著,下同。

图 1 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片净光合速率 Pn 变化

Fig. 1 Pn in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

而蒸腾速率是指植物在一定时间内单位叶面积蒸腾作用所散失的水量,与植物气孔开张的状态有很大关系。由图 2 可知,毛桃叶片和 GF677 叶片的蒸腾速率都呈现先下降后上升最后又下降的趋势,最低谷均出现在 T2 时期,但上升幅度不同,表明从这一时期开始植株叶片开始受到碱胁迫的影响。

气孔导度表示的是气孔张开的程度,影响光合作用,呼吸作用及蒸腾作用。由图 3 可知,不同时期

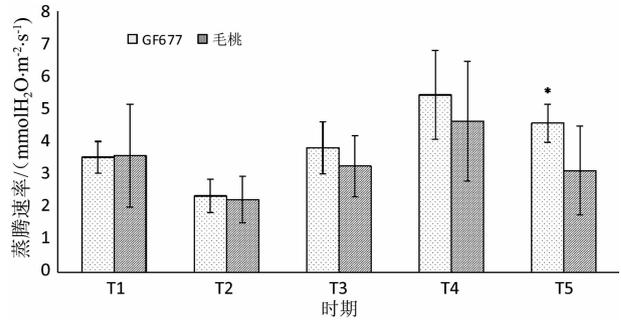


图 2 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片蒸腾速率 Trmmol 变化

Fig. 2 Trmmol in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

GF677 叶片气孔导度呈现平稳上升的趋势,而毛桃叶片的气孔导度在各个时期变化不大。在光合作用的气孔限制分析中,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的变化方向是确定光合速率变化的主要原因和是否为气孔因素的必不可少的判断依据。由图 4 可知,不同时期毛桃和 GF677 叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化幅度不大,表明碱胁迫对毛桃与 GF677 叶片气孔张开程度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度影响不大。

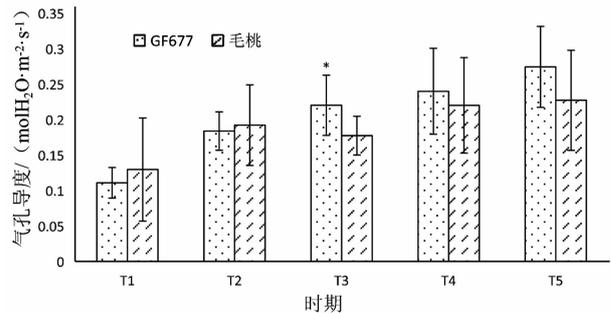


图 3 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片气孔导度 Cond 变化

Fig. 3 Cond in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

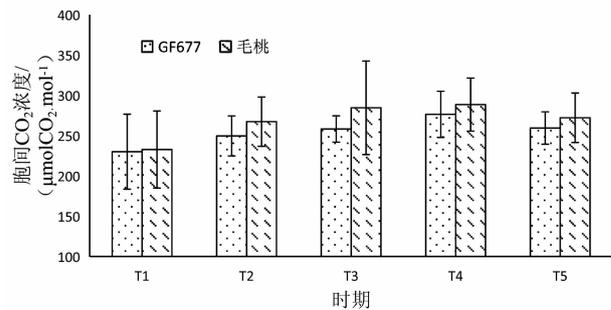


图 4 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化

Fig. 4 Intercellular CO<sub>2</sub> concentration in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

### 2.2 川中丘陵碱性土上 GF677 和毛桃对光强的响应曲线及相关参数比较

由图 5 和表 1 可知,GF677 光响应曲线呈先上升后趋于平缓的趋势,而毛桃光响应曲线随光照强度的增加呈现先上升后下降的趋势。GF677 的表观量子效率极显著高于毛桃,最大净光合速率显著高于毛桃。GF677 的光饱和点、光呼吸速率均大于毛桃,但差异不显著。毛桃的光补偿点极显著高于 GF677 的光补偿点。表明 GF677 植株与毛桃相比呼吸作用消耗有机物量更小,不仅可以在更低的光照强度条件下产生光合产值,又可以利用高光照强度条件,从而达到更高的净光合速率。

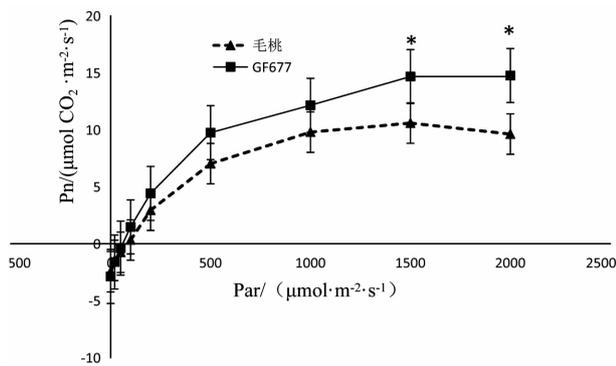


图 5 碱性土上 GF677 和毛桃对光照强度的响应曲线  
Fig. 5 Response curves of Pn-PAR for GF677 and wild peach on alkaline soil

### 2.3 川中丘陵碱性土上 GF677 和毛桃对 CO<sub>2</sub> 浓度的响应曲线及相关参数比较

由图 6 和表 2 可知,在碱性土上 GF677 和毛桃

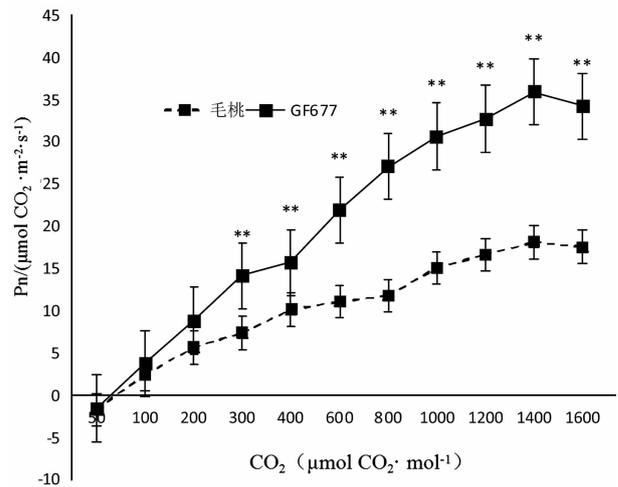


图 6 碱性土上 GF677 和毛桃对二氧化碳浓度的响应曲线  
Fig. 6 Response curves of Pn - CO<sub>2</sub> concentration for GF677 and wild peach on alkaline soil

叶片对 CO<sub>2</sub> 的响应曲线都呈现先上升后稍缓再上升达最高峰后略微下降的趋势。GF677 的 CO<sub>2</sub> 饱和点极显著高于毛桃的 CO<sub>2</sub> 饱和点,GF677 的最大净光合速率显著高于毛桃实生苗的最大净光合速率。此外,GF677 叶片的羧化效率高于毛桃实生苗的羧化效率,但差异不显著。表明 GF677 植株与毛桃相比,不仅可以在更低的 CO<sub>2</sub> 浓度条件下产生光合产值,又可以利用高 CO<sub>2</sub> 浓度条件,从而达到更高的净光合速率。

### 2.4 川中丘陵碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶绿素荧光参数比较

叶片最小初始荧光 Fo 又被称为初始荧光和固

表 1 川中丘陵碱性土上 GF677 和毛桃光响应曲线 (Pn-PAR) 相关参数比较

Tab. 1 Comparison of related parameters of response curves of Pn-PAR of GF677 and wild peach on alkaline soil

试验材料	表观量子效率	最大净光合速率 /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光饱和点 /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光补偿点 /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光呼吸速率 /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
毛桃	0.0338 ± 0.0092	10.86 ± 3.13	1463.09 ± 184.74	102.75 ± 11.42 * *	2.34 ± 0.51
GF677	0.0592 ± 0.0046 * *	17.58 ± 2.11 *	1590.10 ± 92.09	52.89 ± 11.99	2.77 ± 0.49

注:表中 \* \* 表示该时期同一指标在 P ≤ 1% 水平上差异显著, \* 表示该时期同一指标在 P ≤ 5% 水平上差异显著,下同。

表 2 川中丘陵碱性土上 GF677 和毛桃 CO<sub>2</sub> 响应曲线 (Pn-CO<sub>2</sub>) 相关参数比较

Tab. 2 Comparison of related parameters of response curves of Pn-CO<sub>2</sub> of GF677 and wild peach on alkaline soil

试验材料	羧化效率 /( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	最大净光合速率 /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	CO <sub>2</sub> 饱和点 CO <sub>2</sub> /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	CO <sub>2</sub> 补偿点 /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	暗呼吸速率 /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
毛桃	0.0443 ± 0.0120	21.67 ± 1.24	1412.20 ± 165.71	99.68 ± 7.68 * *	4.15 ± 1.02
GF677	0.0589 ± 0.0096	33.94 ± 5.00 *	1873.53 ± 182.93 * *	68.64 ± 7.39	3.79 ± 1.32

定荧光,指经过充分暗适应的 PSII 反应中心完全开放时的叶绿素荧光产值,与植物叶绿素浓度有一定关系。由图 7 可知,不同时期碱性土上 GF677 叶片的最小初始荧光  $F_0$  变化幅度不大,而毛桃叶片的最小初始荧光  $F_0$  呈现先上升后下降至趋于平缓的趋势。GF677 叶片在 T1 至 T2 时期最小初始荧光  $F_0$  均极显著低于毛桃叶片,这可能是品种特性所导致的结果。表明随着碱胁迫的加深,毛桃 PSII 反应中心全部开放时的叶绿素荧光发射强度逐渐减弱,直至低于 GF677。

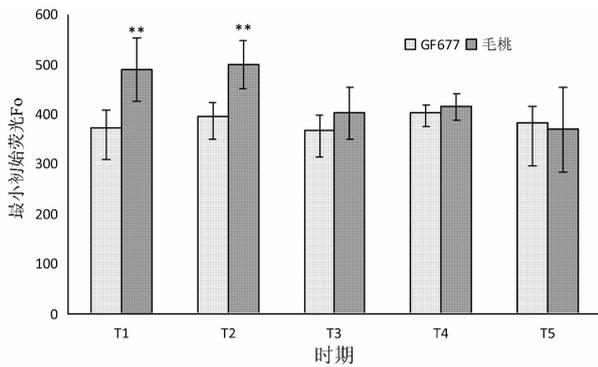


图 7 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片最小初始荧光  $F_0$  变化

Fig. 7  $F_0$  in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

暗适应下最大荧光  $F_m$  指经过充分暗适应的 PSII 反应中心完全关闭时的叶绿素荧光产值。由图 8 可知,在碱性土上 GF677 和毛桃实生苗叶片的暗适应下最大荧光  $F_m$  均呈现先上升后下降再上升又下降的趋势,但变化幅度不同。毛桃在受到碱胁迫后 PSII 反应中心电子传递受阻,且受阻最严重时期出现在 T3 时期。

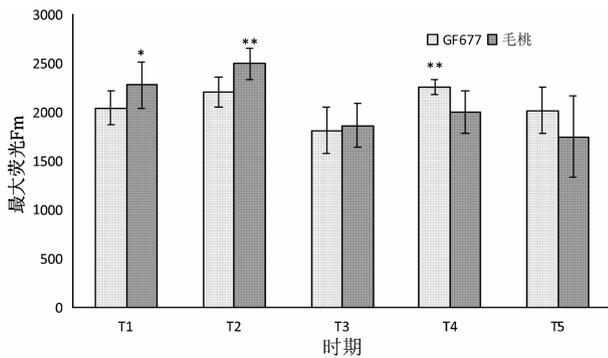


图 8 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片暗适应下最大荧光  $F_m$  变化

Fig. 8  $F_m$  in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

光化学量子效率  $F_v/F_m$ ,又被称为内禀光能转换效率,指充分暗适应的叶片其 PSII 反应中心最大的(潜在)光能转换效率。多数植物该值在 0.75 ~ 0.85 左右,胁迫条件下该值会出现明显下降。由图 9 可知,在碱性土上 GF677 和毛桃实生苗叶片  $F_v/F_m$  均呈现先上升后下降再上升最后又下降的趋势,最低谷均出现在 T3 时期。结合图 7 与图 8,进一步证明了在碱性土上 T3 时期是桃叶片受碱胁迫最严重的时期。

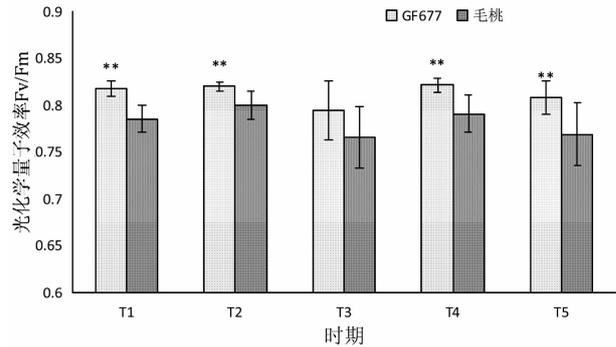


图 9 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片光化学量子效率  $F_v/F_m$  变化

Fig. 9  $F_v/F_m$  in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

$\phi PS II$  是光活化状态下 PSII 反应中心实际的光化学量子效率,反映了光化学反应途径所消耗的激发能占 PSII 反应中心总激发能的比例。由图 10 可知,GF677 叶片的  $\phi PS II$  在 T2 时期至 T5 时期期间始终极显著高于毛桃。表明 GF677 的 PSII 反应中心能够将更多的激发能用于光化学反应,与毛桃相比,这种机制更有利于其利用光能。

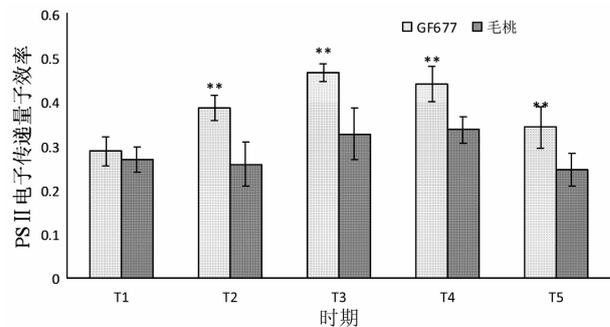


图 10 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片电子传递量子效率  $\phi PS II$  变化

Fig. 10  $\phi PS II$  in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

稳态荧光  $F_s$ (或  $F_t$ )指植物光反应与暗反应达到平衡时的荧光产值。由图 11 可知,毛桃的叶片稳

态荧光  $F_s$  呈现先急剧上升后急剧下降最后趋于平缓的趋势。表明 GF677 在受到碱胁迫后各个时期在较低的荧光产值水平下即能达到光反应与暗反应平衡,其光合系统稳定性比毛桃更强。

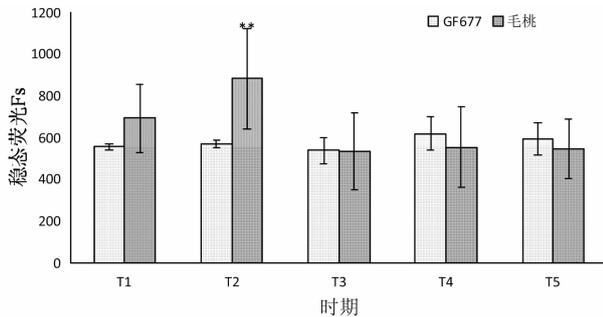


图 11 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片稳态荧光  $F_s$  变化

Fig. 11  $F_s$  in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

PS II 反应中心光能捕获效率(或  $F_v'/F_m'$ )是指植物在光活化条件下 PS II 反应中心对所吸收的激发能的捕获效率。由图 12 可知,碱性土上随时间变化 GF677 与毛桃叶片的  $F_v'/F_m'$  均呈现先上升后下降的趋势,且自 T3 时期至 T5 时期 GF677 叶片的  $F_v'/F_m'$  均极显著高于毛桃。表明 GF677 的 PS II 反应中心对光能捕获效率更强。

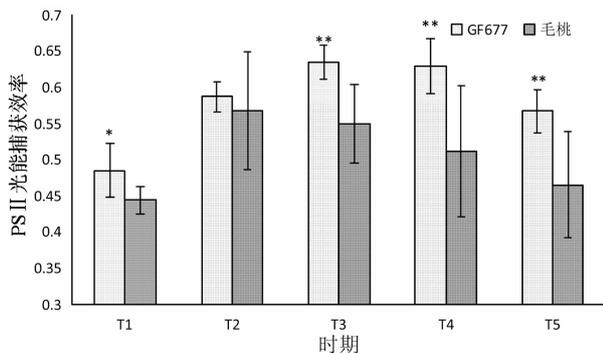


图 12 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片 PS II 激发能捕获效率变化

Fig. 12  $F_v'/F_m'$  in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

NPQ(非光化学淬灭系数)反映了植物用于热耗散途径消耗激发能的能力,由图 13 可知,不同时期 GF677 叶片的 NPQ 呈现先下降后上升的趋势,且在 T1 时期 GF677 叶片的 NPQ 极显著高于毛桃,但随后明显下降,并在 T3 时期至 T5 期间显著或极显著低于毛桃。表明 GF677 能够通过热耗散途径消散过剩的激发能,从而避免对其光合系统的损伤。

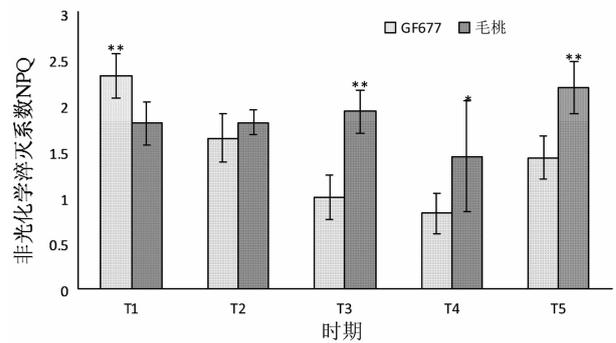


图 13 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片非光化学淬灭系数 NPQ 变化

Fig. 13 NPQ in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

ETR 是植物 PS II 反应中心的表观量子传递效率。由图 14 可知,GF677 叶片的 ETR 呈现先上升后下降的趋势,且 GF677 的 ETR 在 T2 至 T5 期间均极显著高于毛桃叶片。表明 GF677 与毛桃相比 PS II 反应中心对光量子的传递更高效。

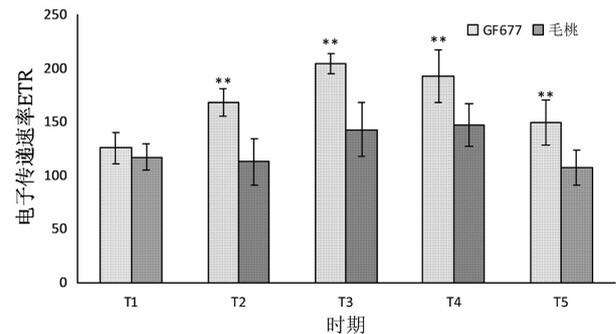


图 14 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片电子传递速率 ETR 变化

Fig. 14 ETR in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

$L_{(PFD)}$  是某一特定光强下植物叶片光合功能的相对限制,可作为评价光合能力或是否受到限制的指标。由图 15 可知,GF677 叶片光合功能相对限制值  $L_{(PFD)}$  呈现先下降后上升再下降最后又上升的趋势,且在 T2 至 T5 时期均极显著低于毛桃。本试验所设定的 PFD 为  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,表明毛桃叶片在碱性土上在  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  条件下光合作用受到限制且受限程度大于 GF677,GF677 具有更大的光合作用潜力。

由图 16 可知,GF677 和毛桃叶片天线热耗散能量均呈现先下降后上升的趋势,且 GF677 叶片天线热耗散能量始终低于毛桃。GF677 叶片天线热耗散能量前两次测定结果与毛桃差异不显著,但 T3 至

T5 时期 GF677 叶片的天线热耗散能量均极显著低于毛桃。

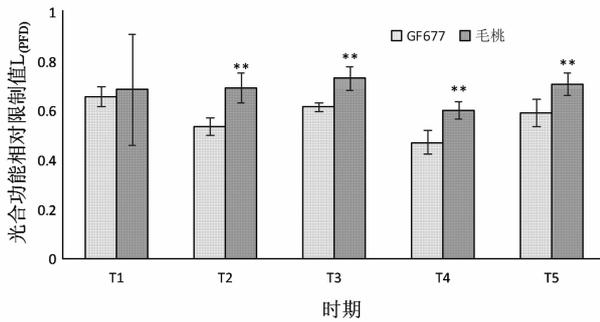


图 15 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片光合功能相对限制值  $L_{(PFD)}$  变化

Fig. 15 Limiting value of photosynthesis in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

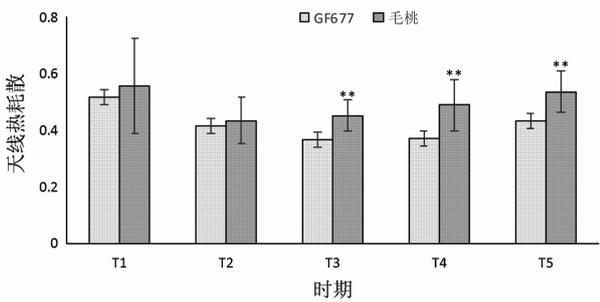


图 16 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片天线热耗散能量变化

Fig. 16 Heat dissipation in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

由图 17 可知,GF677 叶片化学反应能量呈现先上升后下降的趋势,而毛桃叶片化学反应能量先略微下降后上升最后再下降,且 GF677 叶片化学反应能量始终高于毛桃,自 T2 至 T5 时期极显著高于毛桃。

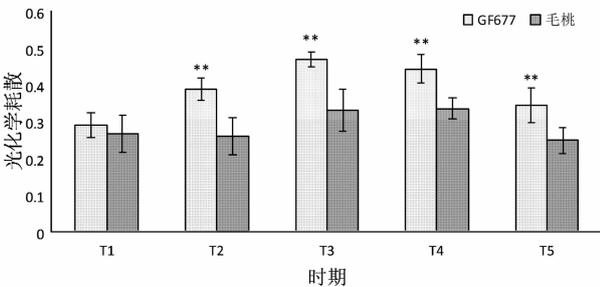


图 17 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片光化学耗散变化

Fig. 17 Photochemistry dissipation in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

由图 18 可知,GF677 叶片 PS II 反应中心非化学能量耗散变化幅度不大,而毛桃叶片 PS II 反应中心非化学能量耗散呈现先上升后下降最后趋于平缓的趋势。其中 T2 至 T3 时期 GF677 叶片 PS II 反应中心非化学能量耗散均极显著低于毛桃,GF677 叶片 PS II 反应中心非化学能量耗散更少,结合图 13、图 16、图 17 与图 18,表明 GF677 叶片能够减少热耗散和 PS II 反应中心非化学能量耗散,提高光化学反应耗散,将更多的光能用于光化学反应,并提高了叶绿素荧光产额。

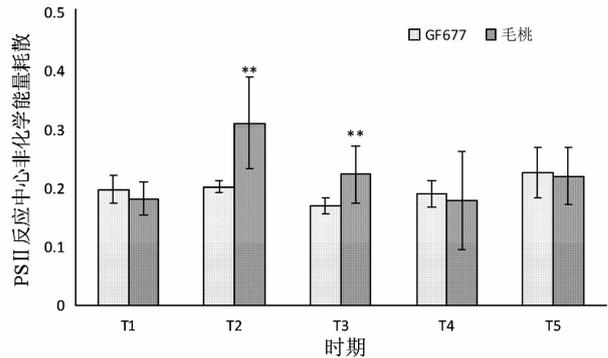


图 18 碱性土上 GF677 和毛桃不同时期叶片 PS II 反应中心非化学能量耗散变化

Fig. 18 PS II reaction center non - photochemical energy dissipation in leaves of GF677 and wild peach on alkaline soil at different stages

### 3 讨论

植物通过光合作用同化  $CO_2$  是能量流动和物质循环的基础,而植物光合能力的差异可以通过一系列光合和叶绿素荧光参数来反映<sup>[22]</sup>。植物在受到不良环境胁迫下,其光合能力将大大降低<sup>[23~25]</sup>。本试验表明,在川中丘陵区碱性土壤上,毛桃叶片净光合速率随时间变化逐渐降低,生长季后期叶片蒸腾速率急剧下降,而 GF677 受到碱胁迫后叶片净光合速率并没有下降,反而在多个时期极显著高于毛桃,相比毛桃表现出更强的适应能力。GF677 的表现量子效率和  $CO_2$  饱和点均极显著高于毛桃,光下最大净光合速率和  $CO_2$  下最大净光合速率均显著高于毛桃。毛桃的光补偿点和  $CO_2$  补偿点均极显著高于 GF677。表明 GF677 不仅可以在低光、低  $CO_2$  浓度条件下更快的产生光合产值,又可以利用高  $CO_2$  浓度条件,从而达到更高的净光合速率。

正常情况下,植物叶片叶绿素吸收的光能主要通过光合电子传递、叶绿素荧光发射和热耗散三种途径来消耗,这三种途径之间存在着此消彼长关系,

光合作用和热耗散的变化会引起荧光的相应变化。因此,可以通过对叶绿素荧光的观测来探究植物光合作用和热耗散的情况<sup>[26]</sup>。本试验中,GF677 叶片  $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $\phi PS II$  和  $F_v'/F_m'$  在多个时期均极显著高于毛桃,尤其是在进入夏季后差异更加明显,表明 GF677 叶片的反应中心比毛桃开放程度更高,具有更高的电子传递活性和光能转换效率。且 GF677 叶片 NPQ 在多个时期低于毛桃,表明其 PS II 系统在碱性土的叶片热耗散更少,避免了过剩光能对其光合机构可能造成的损伤,与刘建新等人<sup>[27]</sup>对盐、碱胁迫对燕麦幼苗光合作用的影响所得出的结论相一致。此外,GF677 叶片 ETR 在生长季多个时期极显著高于毛桃,一般来说,ETR 越高形成的活跃化学能(ATP 和 NADPH)就越多,可以为暗反应的光合碳同化积累更多所需的能量,以促进碳同化的高效运转和有机物的积累,这也是 GF677 抗黄化能力强于毛桃的原因之一。

从光能的分配的角度来看,GF677 在多个时期叶片光合功能相对限制值  $L_{(PFD)}$ 、天线热耗散能量 Hd 以及 PS II 反应中心非化学能量耗散极显著低于毛桃,而光化学反应能量 Pc 多个时期极显著高于毛桃,这说明 GF677 能有效分配所吸收的光能用于光化学反应(Pc),而降低 PS II 反应中心非化学能量耗散( $E_x$ )和天线热耗散(Hd),提高叶绿素荧光产额,另一方面有效地处理过剩的激发能,从而保护了光合器官。

综上所述,GF677 在川中丘陵碱性土上光合和叶绿素荧光参数特性更加利于其吸收不同强度的光源以及不同浓度的  $CO_2$ ,对光源和  $CO_2$  的利用效率更高。GF677 叶片的反应中心开放程度比毛桃更高,具有更高的电子传递活性和光能转换效率,且 GF677 叶片 NPQ 低于毛桃,表明其 PS II 系统在碱性土的叶片热耗散较少,避免了过剩光能对其光合机构可能造成的损伤。此外,GF677 叶片 ETR 在生长旺季始终高于毛桃,可以为暗反应的光合碳同化积累更多所需的能量,以促进碳同化的高效运转和有机物的积累。GF677 能够合理地分配叶片所吸收的光能,提高叶绿素荧光产额,PS II 系统热稳定性更强。GF677 作为引入我国的桃抗碱抗黄化砧木资源,对解决川中丘陵紫色碱性土上桃树黄化问题具有重要意义,今后在生产中的表现值得进一步探究。

## 参考文献 (References)

- [1] 江国良. 四川桃生产现状、问题与发展建议[G]//江国良,等. 中国园艺学会桃分会第二届学术年会论文集. 成都:中国园艺学会桃分会出版,2009:4. [JIANG Guoliang. Production status, problems and development proposal of peach in Sichuan [G]//JIANG Guoliang. The second academic essays of peach branch of china horticulture institute. Chengdu: Peach branch of China horticulture institute, 2009:4]
- [2] 何毓蓉,杨昭琮,陈学华,等. 四川盆地西部灌口组(K2g)紫色锥形土的特征与分类[J]. 山地学报, 1999, 17(1):29~34[HE Shurong, YANG Zhaozong, CHEN Xuehua, et al. Characteristics and classification of K2g purple cambisol in the west of Sichuan Basin[J]. Mountain Research, 1999, 17(1):29~34]
- [3] 宫阿都,何毓蓉. 四川紫色锥形土的蒸发性及其与土壤结构性的关系[J]. 山地学报, 2001, 19(增刊1):42~45[GONG Adu, HE Shurong. The water evaporation propertier and the relationship between them and the soil structure property of purple cambisols in Sichuan[J]. Mountain Research, 2001, 19(Suppl 1):42~45]
- [4] 马世五,高雪松,邓良基,等. 不同母质发育的紫色水稻土腐殖质分布特征[J]. 山地学报, 2008, 26(1):45~52[MA Shiwu, GAO Xuesong, DENG Liangji, et al. Distribution of humus in purple paddy soils derived from different parent materials [J]. Mountain Research,2008, 26(1):45~52]
- [5] 吕世华. 石灰性紫色土桃树黄化病的诊断[J]. 四川农业大学学报, 1994, 12(02):223~226[LV Shihua. Diagnosis of xanthosis of purple peach tree [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1994, 12(02):223~226]
- [6] 涂美艳,陈栋,孙淑霞,等. 桃树黄化程度与土壤理化指标的关系[J]. 西南农业学报, 2014, 27(2):705~709[TU Meiyang, CHEN Dong, SUN Shuxia, et al. Relationship between peach yellowing degree and soil physical and chemical index[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(2):705~709]
- [7] 陈栋,涂美艳,李靖,等. 不同黄化程度桃叶片生理指标及矿质养分含量差异研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(4):1522~1526 [CHEN Dong, TU Meiyang, LI Jing, et al. Study on differences of physiological indicators and mineral nutrient content of different yellowing degree of peach leaves [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(4):1522~1526]
- [8] BACIU A, COSMULESCU S, BOTU I, et al. Research on new generative rootstocks for peach trees (*Prunus persica* L. Batsch) [J]. Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary, 2009(1):115~119
- [9] 郁万文,蔡金峰,高长忠. 不同桃砧木类型对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价[J]. 北方园艺, 2016(12):1~6[YU Wanwen, CAI Jinfeng, GAO Changzhong. Physiological responses of different peach rootstocks to salt stress and their salt tolerance evaluation[J]. Northern Horticulture, 2016(12):1~6]
- [10] 郁万文,蔡金峰,高长忠. 不同桃砧木类型对淹水胁迫的生理响应及耐涝性评价[J]. 中国果树, 2016(3):1~6[YU Wanwen, CAI Jinfeng, GAO Changzhong. Physiological responses of different peach rootstocks to flooding stress and their flooding tolerance evaluation[J]China Fruits, 2016(3):1~6]
- [11] 李洪雯,刘建军,邓家林,等. 桃砧木 GF677 离体快繁技术体系研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(11):2226~2230 [LI Hongwen, LIU Jianjun, DENG Jialin, et al. In vitro rapid propagation of GF677 peach rootstock[J]. Acta Botanica Boreali-

- occidentalia Sinica, 2008, **28**(11): 2226 - 2230]
- [12] 李果果. 桃砧木 GF377 叶片离体再生和愈伤组织诱导保存 [D]. 武汉:华中农业大学, 2011 [LI Guoguo. Studies on plant regeneration, callus induction and conservation of peach rootstock GF677[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011]
- [13] TSVETKOV I, DZHAMBANOVA T, MARKOV E, et al. Mineral uptake and dry matter accumulation of Biotized GF677/‘Royal Glory’ nursery plants [J]. Acta Horticulturae, 2015, **1084** (1084):525 - 531.
- [14] ARAB M R, SHEKAFANDEH A. In vitro propagation of Gf677 hybrid rootstock (Prunus Persica × Prunus amygdalus) from mature cotyledons [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2016, **91**(3):236 - 242.
- [15] 赵剑波, 郭继英, 姜全, 等. 桃抗重茬砧木 GF677 组培快繁技术[J]. 江苏农业科学, 2016, **45**(5):60 - 61 [ZHAO Jianbo, GUO Jiying, JIANG Quan, et al. Technique of tissue culture and rapid propagation of peach rootstock “GF677” [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, **45**(5):60 - 61.]
- [16] 傅伟军. 龙泉桃树缺铁黄化的研究[D]. 成都:四川大学, 2006 [FU Weijun. A study on iron deficiency chlorosis of peach in Longquan[D], Chengdu: Sichuan University, 2006]
- [17] ROHACEK K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning and mutual relationships. Photosynthetica, 2002, **40**(1):13 - 29.
- [18] 朱云娜, 王中华, 汪良驹, 等. 金雀异黄酮对蟠桃叶片叶绿素荧光特性和抗氧化酶活性的影响[J]. 江西农业学报, 2007, **19** (6): 57 - 60 [ZHU Yunna, WANG Zhonghua, WANG Liangju, et al. Effects of genistein on chlorophyll fluorescence characteristics and antioxidant enzymes in flat peach leaves[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2007, **19**(6):57 - 60]
- [19] 叶子飘, 于强. 光合作用对胞间和大气 CO<sub>2</sub> 响应曲线的比较 [J]. 生态学杂志, 2009, **28**(11):2233 - 2238. [YE Zipiao, YU Qiang. A comparison of response curves of winter wheat photosynthesis to flag leaf intercellular and air CO<sub>2</sub> concentrations [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, **28**(11):2233 - 2238.]
- [20] 叶子飘, 高峻. 光响应和 CO<sub>2</sub> 响应新模型在丹参中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, **37**(1):129 - 134 [YE Zipiao, GAO Jun. Application of a new model of lightresponse and CO<sub>2</sub> response of photosynthesis in salvia miltiorrhiza[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2009, **37**(1):129 - 134]
- [21] 叶子飘, 于强. 光合作用光响应模型的比较[J]. 植物生态学报, 2008, **32**(6): 1356 - 1361 [YE Zipiao, YU Qiang. Comparison of new and several classical models of photosynthesis in response to irradiance [J]. Journal Of Plant Ecology (Chinese Version), 2008, **32**(6): 1356 - 1361]
- [22] JONES H. Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. Horticultural reviews, 1985, **7**(2):301 - 344.
- [23] 潘晓云, 曹琴东, 王根轩, 等. 扁桃与桃光合作用特征的比较研究[J]. 园艺学报, 2002, **29**(5):403 - 407 [PAN Xiaoyun, CAO Qindong, WANG Genxuan, et al. Comparative study on photosynthetic characteristics between almond and peach[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, **29**(5):403 - 407]
- [24] 张川红, 沈应柏, 尹伟伦, 等. 盐胁迫对国槐和核桃幼苗光合作用的影响[J]. 林业科学研究, 2002, **15**(1): 41 - 46 [ZHANG Chuanhong, SHEN Yingbai, YIN Weilun, et al. Comparison study on photosynthesis of pagoda tree and walnut seedlings under salinity [J]. Forest Research, 2002, **15**(1): 41 - 46]
- [25] 牛陆. 盐、碱胁迫对大豆属植物的结构演化及生理特性的影响 [D]. 长春:东北师范大学, 2013 [NIU Lu. The responses of structural evolvement and physiological in Glycine under salt stress and alkali stress[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2013]
- [26] 吴长艾, 孟庆伟, 邹琦, 等. 小麦不同品种叶片对光氧化胁迫响应的比较研究[J]. 作物学报, 2003, **29**(3):339 - 344 [WU Changai, MENG Qingwei, ZOU Qi, et al. Comparative study on the photooxidative response in different wheat cultivar Leaves [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, **29**(3):339 - 344]
- [27] 刘建新, 王金成, 王瑞娟, 等. 盐、碱胁迫对燕麦幼苗光合作用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, **33**(6):155 - 160 [LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Ruijuan, et al. Effects of salt and alkali stresses on photosynthesis in Avena nuda seedlings[J]. Agricultural Research In The Arid Areas, 2015, **33**(6):155 - 160]

## Comparison of Photosynthetic Characteristics and Chlorophyll Fluorescence Parameters Between GF677 and Wild Peach on Alkaline Soil in Sichuan Hilly Basin

TU Meiyang, SONG Haiyan, CHEN Dong, LI Jing, SUN Shuxia, JIANG Guoliang\*

(Horticulture Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences & Southwestern key laboratory of horticultural crops biology and germplasm enhancement, ministry of agriculture, Chengdu, Sichuan province, 610066)

**Abstract:** There is a long history of peach cultivation in the hilly area of central Sichuan. The soil in this area is purple shale rock alkaline soil, which causes peach yellowing and thereby seriously affects the growth and development of peach trees. To identify the difference in photosynthetic capacity between the resistant material GF677 and common wild peach growing in alkaline soil, biennial GF677 cutting seedlings and wild peach seedlings were chosen as materials, and their photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters were compared by LI6400-XT portable photosynthesis measurement system in this paper. These data could provide the theoretical basis for screening high-photosynthetic-efficiency and anti-yellowing peach germplasm resources in the future. The results showed that: (1) the apparent quantum yield and CO<sub>2</sub> saturation point were markedly higher for GF677 than for wild peach, and the maximum net photosynthetic rate under light and the maximum net photosynthetic rate under CO<sub>2</sub> were also significantly higher for GF677 than for wild peach. The light compensation point and CO<sub>2</sub> compensation point were significantly higher for wild peach than for GF677. (2) The chlorophyll fluorescence parameters F<sub>m</sub>, F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>, photochemical yield of photosystem II, F<sub>v</sub>'/F<sub>m</sub>', and electron transport rate were markedly higher in GF677 leaves than in wild peach leaves at multiple stages, and these differences between the two peach lines were greater in summer. Non-photochemical quenching was markedly lower in GF677 leaves than in wild peach leaves at multiple stages. (3) GF677 was able to dissipate non-chemical energy and antenna heat in the photosystem II reaction center, and direct excess excitation energy to the photochemical reaction to increase the yield of chlorophyll fluorescence and protect the photosynthetic organs. Therefore, the thermal stability of photosystem II was greater in GF677 than in wild peach. Generally, these results indicated that GF677 had more efficient light energy distribution mechanism and more stable photosynthetic system than traditional wild peach. Thus, GF677 had potential as an anti-yellowing root stock in the Sichuan Hilly Basin.

**Key words:** GF677; wild peach; alkaline soil; photosynthetic characteristics; chlorophyll fluorescence parameters