

DOI:10.11937/bfyy.201712011

设施栽培条件下桃品种光合作用与叶绿素荧光特性

冯 涛, 李子建, 任志雨

(天津农学院 园艺园林学院, 天津 300384)

摘 要:以日光温室栽培的桃品种“津柳早红”“巨佳”“春雪”“中油 16 桃”为试材,使用便携式光合仪测定了光合作用和叶绿素荧光参数,并拟合得到各品种的光响应曲线、二氧化碳响应曲线。结果表明:“津柳早红”“巨佳”“春雪”“中油 16 桃”光合作用及叶绿素荧光特性差异明显,其中“津柳早红”饱和光强最小,光能利用率较高; CO_2 补偿点最低,最耐 CO_2 亏缺,于适宜设施条件下栽培,生产潜力大。

关键词:温室;光合作用;叶绿素荧光;“津柳早红”桃

中图分类号:S 662.128 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)12-0046-05

桃(*Prunus persica*)原产我国,营养丰富,成熟上市早,是深受广大群众喜爱的传统水果之一。桃的设施促早栽培技术研究始于 20 世纪 70 年代,经历了塑料大棚、日光温室等设施形式,目前应用较广的是节能型日光温室和连栋大棚。设施内环境条件与露地条件差异很大,主要是可见光和紫外线减弱,湿度增加,二氧化碳浓度降低等,导致树体徒长,同化作用减弱,病害加重,果实品质下降等问题。光合作用是植物生长发育的基础生物化学过程,高效的光合作用是果树高产优质的前提^[1-5]。桃为喜光树种,对光照要求较高。朱清华^[6]研究发现“曙光”油桃在设施栽培条件下光饱和点和光补偿点降低,说明设施环境影响桃光合性能。张斌斌等^[7]研究表明,人工遮阴降低“红叶”桃净光合速率日积分值,降低光

补偿点、表观量子效率和羧化效率,而且随着遮阴程度增加,降低程度加剧。李瑛等^[8]基于光合作用特性对设施栽培耐弱光葡萄品种进行了筛选。刘文海等^[9]研究表明遮荫处理降低日光温室栽培的“春捷”桃的光补偿点的光饱和点、 CO_2 补偿点、 CO_2 饱和点以及羧化效率。张淑云等^[10]发现设施内栽培的“早露”蟠桃比露地条件下植株的光饱和点和光补偿点均降低。张安宁等^[11]研究结果表明设施内栽培的“凯特”杏比较露地条件,光、 CO_2 的补偿点和饱和点都有所降低。

但目前关于桃树在设施栽培条件下光合作用和叶绿素荧光特性的研究所涉及的品种较少^[12-13],限制了研究者对桃品种在设施条件的表现进行客观的评价,进而影响适合品种的筛选。该试验以 4 个在设施栽培中推广的新优桃品种为试材,采用国际先进的无损光合仪,开展光合作用及叶绿素荧光特性测定分析,以期生产中为生产中选择适宜的设施栽培桃品种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2014 年 3 月在天津西青区杨柳青镇宏宇蔬菜种植专业合作社基地选取日光温室内种植的 3 年生“津柳早红”“巨佳”“春雪”“中油 16 桃”健壮植株。其中“津柳早红”是 2014 年通过天津市农作物审定委员会审定的特早熟硬肉桃新品种^[14]。

第一作者简介:冯涛(1978-),男,山东郯城人,博士,副教授,现主要从事果树种质资源和生物技术育种等研究工作。E-mail:tkfg@163.com.

责任作者:任志雨(1968-),男,内蒙古商都人,博士,教授,现主要从事园艺植物栽培及无土栽培等研究工作。E-mail:2550644180@qq.com.

基金项目:天津市应用基础与前沿技术研究计划一般资助项目(14JCYBJC30100);天津市高等学校科技发展基金计划资助项目(20130617);国家大学生创新创业训练计划资助项目(201410061007);天津市 2014 年度“131”创新型人才培养工程资助项目;天津市高校第二批“优秀青年教师资助计划”资助项目。

收稿日期:2017-02-28

1.2 试验方法

从所选桃植株中部选取健壮枝条,选择枝条中部叶片作为测试样品。使用美国 PP systems 公司生产的 ciras-2 便携式光合仪(整合有荧光仪模块)测定功能叶片的光合作用参数。

1.3 项目测定

1.3.1 光响应曲线的测定 将光合仪环境 CO_2 浓度设定为 $300 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,而后按光合有效辐射(PAR)大小设定 11 个梯度,分别为:1 400、1 200、1 000、800、600、400、300、200、100、50、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。测定完成后,使用井冈山大学编写的“光合计算 2.5”软件,以光合有效辐射(PAR)为横坐标,净光合速率(P_n)为纵坐标,利用直角双曲线修正模型进行数据的拟合,以得到饱和光强(I_m),最大净光合速率(P_{max}),光补偿点(I_c),暗呼吸速率(R_d)和相关系数(R^2)。该模型表达式:

$$P_n = \alpha \frac{1 - \beta I}{1 + \gamma I} I - R_d \quad (1),$$

式中, α 是光响应曲线的初始斜率(无量纲), β 和 γ 为系数, I 为光合有效辐射, R_d 为暗呼吸^[15]。

1.3.2 二氧化碳响应曲线的测定 将光合仪的光合有效辐射(PAR)固定为 $1\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而后按供给 CO_2 量设定 11 个梯度,分别为 1 000、800、600、400、200、150、120、100、80、50、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。测定完毕使用“光合计算 2.5”软件,以胞间 CO_2 浓度(C_i)为横坐标,净光合速率(P_n)为纵坐标,用直角双

曲线修正模型进行数据的拟合。得到初始羧化效率(α),饱和胞间 CO_2 浓度(C_i), CO_2 补偿点(Γ),光呼吸速率(R_p),相关系数(R^2)。该模型表达式:

$$P_c = a \frac{1 - b C_i}{1 + c C_i} C_i - R_p \quad (2),$$

式中, C_i 是胞间 CO_2 浓度, a 是 CO_2 响应曲线的初始羧化效率, b 和 c 为系数^[15]。

1.3.3 叶绿素荧光特性测定 每个品种选取 5 片功能叶片,用锡纸包裹进行暗处理 30 min。处理结束后,取下锡箔纸,立即夹取叶片进行测定。得到初始荧光(F_0),最大可变荧光(F_v),最大光化学量子产量(F_v/F_m),光化学淬灭系数(q_p),非光化学淬灭系数(NPQ)。

1.4 数据分析

采用 Excel 对试验数据进行整理和制图。

2 结果与分析

2.1 桃品种光响应曲线

植物光合作用光响应曲线描述的是光强与植物净光合速率之间的关系,通过该曲线能得出各种生理参数(最大净光合速率、光补偿点、光饱和点、暗呼吸速率等)^[16]。利用光合计算程序对数据进行拟合,获得的拟合曲线及光合作用参数。“津柳早红”: $y = -1E-05x^2 + 0.0271x - 3.9023$;“巨佳”: $y = -7E-6x^2 + 0.0213x - 2.5998$;“春雪”: $y = -9E-06x^2 + 0.025x - 4.1102$;“中油 16”: $y = -9E-06x^2 + 0.025x - 3.3397$ (图 1)。

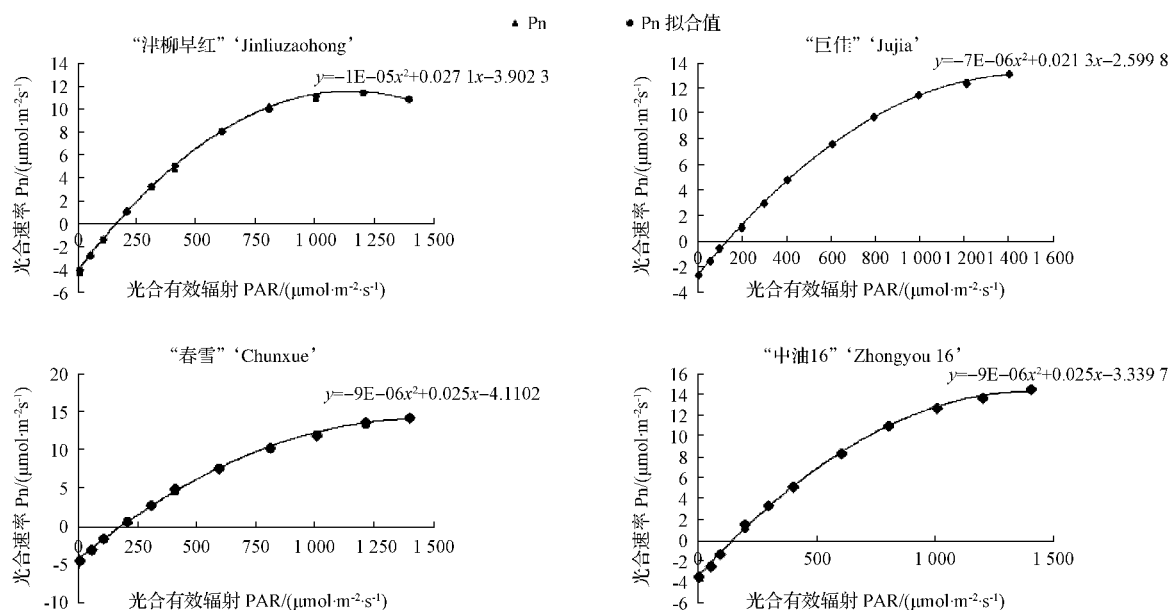


图 1 桃品种光响应曲线

Fig. 1 Light density responding curve of peach cultivars

由表 1 可知,4 个桃品种光响应模型相关系数分别为 0.998、0.999、0.998、0.997。 R^2 均大于 0.99,直接地说明光响应模型的拟合程度很高^[17]。4 个桃品种中“春雪”的饱和光强最大,为 1 934.18 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,”中油 16”最低,为 1 614.22 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;“春雪”的净光合速率

最高,为 15.22 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,”津柳早红”最低,为 11.49 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;“春雪”的光补偿点最高,为 168.26 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,”巨佳”最低,为 127.01 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;“春雪”的暗呼吸速率最大,为 4.37 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,”巨佳”最低,为 2.62 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表 1

桃品种光响应参数

Table 1

Light density responding parameters of peach cultivars

品种 Cultivars	饱和光强 I_m /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	最大净光合速率 P_{max} /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点 I_c /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率 R_d /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	相关系数 R^2
“春雪”‘Chunxue’	1 934.18	15.22	168.26	4.37	0.998
“津柳早红”‘Jinliuzhaohong’	1 163.10	11.49	152.00	4.02	0.999
“巨佳”‘Jujia’	1 499.14	13.17	127.01	2.62	0.998
“中油 16”‘Zhonyou 16’	1 614.22	14.70	137.93	3.51	0.997

“春雪”对于光强要求较高(光饱和点与补偿点均最高,暗呼吸速率也最高);而“津柳早红”光饱和点、净光合速率较低,说明其光能利用率高,耐弱光能力强,栽培中可以采用密植方式,如纺锤型树形,同时应注意适当多保留叶片,提高叶面积指数,获得较高的群体同化效率。“巨佳”和“中油 16”光饱和点居中,净光合速率较高,暗呼吸速率低,是适宜保护地栽培的品种。

2.2 桃品种 CO_2 响应曲线

CO_2 响应曲线是直观显示植物净光合速率和细

胞间隙 CO_2 浓度之间关系的图形,根据该曲线的数学函数,可以计算 CO_2 饱和点、 CO_2 补偿点、初始羧化效率等参数,从而了解植物对 CO_2 的利用效率^[18]。采用直角双曲线修正模型进行拟合后,得到 CO_2 光合响应曲线,“津柳早红”: $y = -4E - 05x^2 + 0.071\ 3x - 7.027$;“巨佳”: $y = -3E - 05x^2 + 0.055\ 3x - 6.462\ 8$;“春雪”: $y = -6E - 05x^2 + 0.101\ 3x - 13.707$;“中油 16”: $y = -5E - 05x^2 + 0.087\ 4x - 9.822\ 2$ 。并计算获得初始羧化效率、 CO_2 饱和点、 CO_2 补偿点、光呼吸速率和相关系数(图 2)。

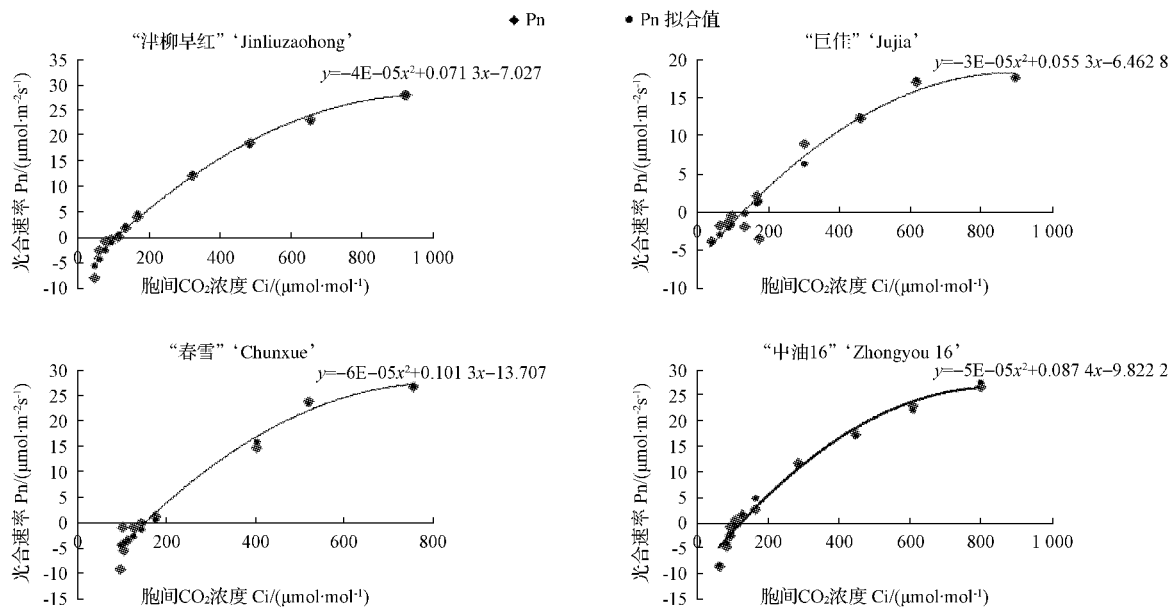


图 2 桃品种 CO_2 响应曲线

Fig. 2 Carbodioxide responding curve of peach cultivars

由表 2 可知,相关系数均在 0.97 以上,表明各品种的 CO₂ 响应模型拟合程度很高。4 个桃品种中“巨佳”的 CO₂ 饱和点最高,为 795.39 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,”津柳早红”最低,为 306.17 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$;“春雪”CO₂ 补偿点最高,为 158.56 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,”津柳早

红”最低,为 98.65 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$;“中油 16”的光呼吸速率最高,为 53.09 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,”巨佳”最低,为 5.24 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;“中油 16”的初始羧化效率最高,为 2.35 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,”巨佳”最低,为 0.04 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表 2 桃品种叶片的 CO₂ 响应参数

Table 2 Carbondioxide responding parameters of peach cultivars					
品种 Cultivars	初始羧化效率 α /($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	CO ₂ 饱和点 C_i /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	CO ₂ 补偿点 Γ /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	光呼吸速率 R_p /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	相关系数 R^2
“春雪”‘Chunxue’	0.07	736.49	158.56	10.41	0.985
“津柳早红”‘Jinliuzaohong’	0.14	306.17	98.65	10.66	0.996
“巨佳”‘Jujia’	0.04	795.39	131.90	5.24	0.972
“中油 16”‘Zhonyou 16’	2.35	527.19	107.13	53.09	0.996

“津柳早红”CO₂ 饱和点与补偿点都低,对 CO₂ 水平要求低,是优良的耐 CO₂ 亏缺品种,适合设施栽培。与之形成对比,其它 3 个品种如在设施内栽培,需注意人工补充 CO₂,防止 CO₂ 亏缺影响树木生长发育。

2.3 桃品种叶绿素荧光特性

叶绿素荧光是利用叶绿素产生的荧光为参照物,来研究和测量植物光合作用生理的状况。相关研究表明,植物体内发出的叶绿素荧光信号包含丰富的光合作用信息,直接反映植物的营养状况和胁迫程度。因此,叶绿素荧光分析技术广泛应用于

光合作用机理、植物抗逆生理和作物增产潜力预测等领域^[5]。

由表 3 可知,“巨佳”平均初始荧光最高,为 666.6;“中油 16”最大光化学量子产量最高,为 0.706 4;4 个品种的光化学淬灭系数比较接近;“巨佳”的非光化学淬灭系数最高,为 0.460 3;实际光化学效率的差异较大,“中油 16”最高,为 0.665 2,“春雪”最低,为 0.554 5。最大光化学量子产量与净光合速率密切相关,与光响应曲线的结果基本对应。实际光化学效率反映了光系统传递能量的效率,其中“中油 16”和“津柳早红”较高。

表 3 桃品种叶绿素荧光参数

Table 3 Chlorophyll fluorescence parameters of peach cultivars						
品种 Cultivars	初始荧光 Fo	可变荧光 Fv	最大光化学量子产量 Fv/Fm	光化学淬灭系数 qP	非光化学淬灭系数 NPQ	实际光化学效率 ΦPSII
“春雪”‘Chunxue’	562.6	1 387	0.699 8	0.850 5	0.353 2	0.554 5
“津柳早红”‘Jinliuzaohong’	620.2	1 260	0.670 1	1.063 0	0.343 1	0.634 5
“巨佳”‘Jujia’	666.6	1 311	0.659 7	1.012 2	0.460 3	0.582 1
“中油 16”‘Zhonyou 16’	572.8	1 391	0.706 4	1.033 7	0.377 8	0.665 2

3 讨论与结论

该试验中 4 个桃品种的光拟合曲线和 CO₂ 拟合曲线的相关系数均大于 0.97,说明数据的拟合程度非常高。在此前提下,4 个桃品种的光补偿点在 168.26~126.94 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,朱运钦等^[12]研究中测定的不同生长型桃品种的光补偿点在 30.71 ~ 82.63 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 测量值与该试验相比偏小,而光饱和点与该试验结果相近。说明桃的品种、土壤的酸碱度、空气的温湿度还有叶绿素含量和叶片厚度等都会影响到 Pn 值的变化,温度升高同样会使光合作用的补偿点与饱和点升高^[19]。从饱和光强与光补偿点综合来看,“巨佳”的各项数值偏低,说明“巨佳”在弱光下更容易达到最大光合速率,适应光线较弱的环境。

马瑞娟等^[13]的研究表明,CO₂ 补偿点与羧化效率的趋势相反,与该试验一致。CO₂ 补偿点低的品种通常具有净光合速率高、产量高的特点^[20],低 CO₂ 补偿点经常被选为选育高产量品种的指标,但是桃的产量与 CO₂ 补偿点的关系还有待研究。

植物叶片中叶绿素吸收的光能释放出 3 种形态,分别为荧光、热量、光化学能。光合作用的各个步骤都会影响到光合作用系统 II,以此来引起荧光的变化,也就是表明由叶绿素荧光的变化几乎可以探测所有光合作用过程的变化。初始荧光(Fo)代表这最原始的状态下荧光的最小产量值。可变荧光(Fv)就是最大荧光量和最小荧光量的差值,这些都是由植物自身所决定的。由表 3 可知,一般初始荧光值越小,可变荧光值就越大。然而 4 个桃品种的

最大光化学量子产量(F_v/F_m)均在 0.65~0.78, 差异较小, 说明最大光化学量子产量(F_v/F_m)在非胁迫条件下受物种和生活环境的影响较小, 与许大全等^[21]的研究结果一致。

光化学淬灭系数(q_P)反映了植物光合活性的强弱; 非光化学淬灭系数(NPQ)反映了植物散失光能转化为热能的能力。“津柳早红”植物光合活性最高, 光化学淬灭系数(q_P)为 1.063; 非光化学淬灭系数(NPQ)为 0.6。实际光化学效率(Φ_{PSII})通常是用来分析光合速率下降的根本原因, 因为在胁迫的条件下光合机制中的 PSII 受到了破坏, 导致光下 PSII 的实际光化学效率的降低, 所以进一步影响光合速率。

“津柳早红”饱和光强最小, 说明该品种光能利用率高; CO_2 补偿点最低, 最耐 CO_2 亏缺, 比较适宜设施条件栽培, 生产潜力大。

参考文献

- [1] 许大全. 光合速率、光合效率与作物产量[J]. 生物学通报, 1999, 34(8): 8-10.
- [2] 温国胜, 田海涛, 张明如, 等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1973-1977.
- [3] 尤鑫, 龚吉蕊. 叶绿素荧光动力学参数的意义及实例辨析[J]. 西部林业科学, 2012, 41(5): 90-94.
- [4] 康华靖, 陶月良, 权伟, 等. 植物光合 CO_2 响应模型对光下(暗)呼吸速率拟合的探讨[J]. 植物生态学报, 2014, 38(12): 1356-1363.
- [5] 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186-2196.
- [6] 朱清华. 设施油桃生长发育规律及氮素营养特性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2003.

- [7] 张斌斌, 姜卫兵, 翁忙玲, 等. 遮荫对红叶桃叶片光合生理的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(8): 1287-1294.
- [8] 李瑛, 张睿佳, 张伟. 基于光合特性的设施栽培耐弱光葡萄品种筛选[J]. 果树学报, 2015, 32(5): 885-893.
- [9] 刘文海, 高东升, 束怀瑞. 不同光强处理对设施桃树光合及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 2069-2075.
- [10] 张淑云, 徐继忠, 陈海江, 等. 设施内外早露蟠桃光合特性的比较研究[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(3): 41-44.
- [11] 张安宁, 秦栋, 薛晓敏, 等. 设施环境因子对凯特杏光合特性的影响[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(2): 246-249.
- [12] 朱运钦, 王志强, 李靖. 不同生长型桃光合作用特性研究[J]. 果树学报, 2007, 24(6): 737-741.
- [13] 马瑞娟, 张斌斌, 俞明亮, 等. 6 个桃品种光合特性及叶绿素荧光特性比较[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(6): 1334-1341.
- [14] 冯涛, 王庆龙, 卢兴霞, 等. 桃极早熟新品种‘津柳早红’的选育[J]. 中国果树, 2016(1): 72-74.
- [15] 叶子飘. 光合作用对光和 CO_2 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 727-740.
- [16] 陈卫英, 陈真勇, 罗辅燕, 等. 光响应曲线的指数改进模型与常用模型比较[J]. 植物生态学报, 2012, 36(12): 1277-1285.
- [17] 余诚棋, 程鹏, 季琳琳, 等. 油茶光合作用光响应曲线的拟合[J]. 经济林研究, 2012, 30(1): 118-120.
- [18] 叶子飘, 于强. 光合作用对胞间和大气 CO_2 响应曲线的比较[J]. 生态学杂志, 2009, 28(11): 2233-2238.
- [19] HU X L, ZHANG S L. Advances in photosynthesis of fruit trees in foreign countries[J]. Horticulture Science, 1983(5): 1-9.
- [20] JIANG H, XU D Q. The cause of the difference in leaf net photosynthetic rate between two soybean cultivars[J]. Photosynthetica, 2001, 39(3): 453-459.
- [21] 许大全, 张玉忠, 张荣铎. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(4): 237-243.

Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of Peach Cultivars Under Facility Cultivation

FENG Tao, LI Zijian, REN Zhiyu

(College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384)

Abstract: The four peach cultivars, ‘Jinliuzaohong’, ‘Jujia’, ‘Chunxue’ and ‘Zhongyou 16’, which grown in solar greenhouse were used as materials, and photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters were measured with a portable photosynthesis detecting system, respectively. The results showed that all the cultivars had significant differences in photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics. Interestingly, ‘Jinliuzaohong’ showed minimum saturation intensity, thus its light energy utilization rate was higher, and so the production potential. Furthermore, its CO_2 compensation point was the lowest, so it was the most resistant to CO_2 deficiency, thus it was suitable for culture in device.

Keywords: greenhouse; photosynthesis; chlorophyll fluorescence; ‘Jinliuzaohong’ peach