

朱昌春,管 铭,李月灵.不同品种牡丹光合生理特性及叶绿素荧光参数比较[J].江苏农业科学,2015,43(6):143-147.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.047

# 不同品种牡丹光合生理特性及叶绿素荧光参数比较

朱昌春<sup>1</sup>,管 铭<sup>2</sup>,李月灵<sup>2</sup>

(1.台州市农业科学院,浙江临海 317000; 2.台州学院生态研究所,浙江台州 318000)

**摘要:**采用 Li-6400 便携式光合作用系统等,对中原乌龙捧盛、江南红芙蓉和日本岛锦等 3 个牡丹(*Paeonia suffruticosa*)品种的光合生理特性及叶绿素荧光参数进行测定。结果表明,中原乌龙捧盛具有较高净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、水分利用效率(WUE)、光能利用效率(LUE)、相对叶绿素含量与较低的蒸腾速率( $T_r$ ),江南红芙蓉与日本岛锦之间差异不显著。相关性分析结果表明,不同品种牡丹的  $G_s$  与  $P_n$ 、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )、WUE、LUE 呈极显著正相关。与江南红芙蓉、日本岛锦相比,中原乌龙捧的光补偿点(LCP)较低,光饱和点(LSP)、最大羧化速率( $V_{cmax}$ )、磷酸丙糖利用率(TPU)较高,对光适应的生态幅较宽,碳同化能力较强;中原乌龙捧的最大净光合速率( $P_{nmax}$ )高,暗呼吸速率( $R_d$ )低,有利于有机物的积累;中原乌龙捧盛的  $F_v/F_m$  值较高,其光合机构的破坏程度较低,具有较高光能转化效率。说明中原乌龙捧盛的光合能力较强。

**关键词:**牡丹;光合特性;叶绿素含量;叶绿素荧光参数

**中图分类号:** Q945.11;S685.110.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)06-0143-04

绿色植物光合作用是生态系统中能量流动的基本环节,植物的生长发育和形态结构特征均与光合特性有着直接或者间接的联系<sup>[1]</sup>。在长期的进化过程中,不同品种群植株在形态结构、生理生化等方面形成了对不同环境的适应能力,在形态学方面表现出不同的叶片结构特征、分枝数、株高等差异,在生理生化方面则表现为净光合速率、光饱和点、光补偿点、叶绿素含量及叶绿素荧光参数等变化。植物体中叶绿素含量是反映叶片光合生理活性的重要指标之一。在正常情况下,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 3 种途径来消耗,而光合作用和热耗散的变化会引起荧光发射相应变化,因此通过对荧光的探测可探究植物光合作用的情况<sup>[2]</sup>。叶绿素荧光是光合作用的探针,叶绿素荧光参数可反映光合机构内一系列重要的适应调节过程<sup>[3]</sup>。不同品种植物的生长发育与其自身的生理生态学特点密不可分,而光合作用又是植物最重要的生理过程,研究植物的光合生理具有十分重要的理论意义。因此,明确植物的生长发育规律和花芽分化过程的光合特性以及与温度、光照等环境因子的关系是科学栽培的重要内容。

牡丹(*Paeonia suffruticosa*)为毛茛科(Ranunculaceae)芍药属(*Paeonia*)的多年生落叶灌木。花单生枝顶,色泽艳丽,根据其颜色,可分上百品种,花期一般在 5 月,果期为 6 月<sup>[4]</sup>。牡丹产于中国,有着悠久的自然生长和人工栽培的历史,主要分布于中部、西北部和西南部,享有“花中之王”的美誉。作为世界上比较早栽培的花卉之一,牡丹具有重要的园艺观赏价值<sup>[5]</sup>、药用价值<sup>[6]</sup>和经济价值<sup>[7]</sup>。近年来,由于人们对于

不同品种牡丹园艺观赏需求逐渐增加,多样化的品种群栽培以及引种已较为广泛。目前关于牡丹的研究主要集中在生理生化<sup>[7]</sup>、分子机理<sup>[5]</sup>以及栽培繁殖技术等方面;有关光合特性的研究的报道多在于盆栽与地栽<sup>[8]</sup>、大田栽培<sup>[9]</sup>、高温强光<sup>[10]</sup>、侵染性病害<sup>[11]</sup>等不同处理的影响,而对生长发育中不同品种群花芽分化期的报道较少。为了解不同品种群在南移栽培中对生态环境条件的要求,本试验对中原品种、江南品种、日本品种的牡丹品种光合特性及叶绿素荧光参数进行了比较,为长江中下游地区制定科学的引种栽培措施提供依据,筛选出适合栽培的牡丹品种。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

牡丹花基地位于浙江省临海市江南街道西南面上江村。以中原牡丹常见品种乌龙捧盛、江南牡丹主要品种红芙蓉、日本牡丹主要品种岛锦为研究对象,随机选取生长健壮的不同牡丹品种植株进行光合生理指标和叶绿素荧光参数的测定。

### 1.2 测定方法

光合参数于 2013 年 8 月 18 日晴朗的天气进行测定。采用 Li-6400XT 便携式光合测定系统(LI-COR, Inc, USA)测定不同品种牡丹叶片的净光合速率[ $P_n$ ,  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]、气孔导度[ $G_s$ ,  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ ,  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )、蒸腾速率[ $T_r$ ,  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]等。测定时间为 09:00—11:00,设定叶面光合有效辐射(PAR)为 1 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,叶室温度为 25  $^{\circ}\text{C}$ ,空气相对湿度为 70%, $CO_2$  浓度为 400  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。测定时每个品种随机选取 3 个典型植株,以顶部以下第 1 张完全展开的叶为测量部位,并据此计算:气孔限制值( $L_s$ ) =  $(1 - C_i/C_a) \times 100\%$  ( $C_a$  为大气  $CO_2$  浓度),瞬时水分利用效率(WUE) =  $P_n/T_r$ <sup>[12]</sup>,光能利用效率(LUE) =  $P_n/\text{PAR}$ <sup>[13]</sup>。

收稿日期:2014-10-03

基金项目:浙江省台州市科技项目(编号:121KY17)。

作者简介:朱昌春(1959—),男,浙江临海人,工程师,从事花卉研究和开发工作。E-mail:zuchun@126.com。

利用 Li-6400XT 便携式光合作用测定系统测定植株的光合-光响应曲线。使用开放气路,空气流速为 0.5 L/min,叶片温度 25 ℃,叶室中相对湿度 70%~75%,CO<sub>2</sub> 浓度 400 μmol/mol。诱导照度约为 2 000 μmol/(m<sup>2</sup>·s),诱导时间 30 min。测定时照度由强到弱依次设定光量子通量密度(PFD),为 1 500、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50、20、0 μmol/(m<sup>2</sup>·s),测定时每一照度下最大等待时间为 4 min。每个品种随机选取 3 株,共 3 个重复。

利用 Li-6400XT 便携式光合作用测定系统的红蓝光源,设定叶室中接近叶片饱和照度 1 000 μmol/(m<sup>2</sup>·s)为测定照度,控制环境条件与光响应相同,以小钢瓶内液态 CO<sub>2</sub> 为气源,设置 CO<sub>2</sub> 浓度梯度为 1 500、1 200、1 000、800、600、400、200、150、120、100、80、50 μmol/mol,测定时每一浓度下最大等待时间为 5 min。每个品种随机选取 3 株,共 3 个重复。

1.3 叶片相对叶绿素含量和叶绿素荧光的测定

用 CCM-200 手持式叶绿素仪(OPTI-SCIENCES,USA)测定其相对叶绿素含量,测定植株、叶片及部位同光合作用。为保证读数的可靠性,对每张叶子等间距读取 10 个数值,取平均值作为相对叶绿素含量。

叶绿素荧光参数的测定时间同光合作用,选取与测定光合作用相同的 3 株。采用 OS-30P 便携式叶绿素荧光仪(OPTI-SCIENCES,USA),在叶片自然生长角度不变的情况下测定叶绿素荧光基本参数:初始荧光(*F*<sub>0</sub>)、最大荧光(*F*<sub>m</sub>)和光系统Ⅱ(PSⅡ)最大光化学效率(*F*<sub>v</sub>/*F*<sub>m</sub>)。每株植物选取与测定光合作用位置相近的 3 张叶片,测定前叶片暗适应 30 min,以暗适应后第 1 次测定值为相关叶绿素荧光参数,结果取平均值。

1.4 数据处理

采用 SPSS 16.0 数据处理软件对试验数据进行方差分析、计算标准差,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和 LSD 多重比较分析不同品种牡丹之间光合参数、光响应参数、CO<sub>2</sub> 响应参数、相对叶绿素含量和叶绿素荧光参数的差异,显著性检验水平均设置为 0.05。用皮尔逊相关分析对光合参数之间进行相关性分析。用 Excel 和 Origin 8.5 对所测数据进行整理和绘图。

依据非直角双曲线模型<sup>[14]</sup>,拟合 *P*<sub>n</sub>-PFD 的曲线方程,并据此用 Photosyn Assistant 软件计算最大净光合速率[*P*<sub>nmax</sub>, μmol/(m<sup>2</sup>·s)]、表观量子效率(AQY, μmol/mol)、光饱和点[LSP, μmol/(m<sup>2</sup>·s)]、光补偿点[LCP, μmol/(m<sup>2</sup>·s)]及暗呼吸速率[*R*<sub>d</sub>, μmol/(m<sup>2</sup>·s)]等光合参数。采用 Photosyn Assistant 软件拟合 CO<sub>2</sub> 曲线,并计算出最大羧化速率(*V*<sub>cmax</sub>)、最大电子传递速率(*J*<sub>max</sub>)和磷酸丙糖利用率(TPU)<sup>[15]</sup>。

2 结果与分析

2.1 不同品种牡丹光合参数特征值

不同牡丹品种的光合参数值见表 1。3 种牡丹中原乌龙捧盛的净光合速率(*P*<sub>n</sub>)、气孔导度(*G*<sub>s</sub>)、水分利用效率(WUE)、光能利用效率(LUE)值最大,分别是江南红芙蓉的 1.46、1.41、1.86、1.46 倍;为日本岛锦的 1.52、1.69、1.85、1.52 倍,差异显著。而江南红芙蓉与日本岛锦之间的各光合参数值差异均不显著。

相关性分析结果(表 2)表明,不同品种的牡丹 *P*<sub>n</sub> 与 *G*<sub>s</sub>、WUE、LUE 呈极显著正相关。*G*<sub>s</sub> 与 *C*<sub>i</sub>、WUE、LUE 呈极显著正相关,与 *L*<sub>s</sub> 呈极显著负相关。*C*<sub>i</sub> 与 *L*<sub>s</sub> 呈极显著负相关。

表 1 不同品种牡丹气体交换参数的比较

品种	光合参数						
	净光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	气孔导度 [mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 (μmol/mol)	蒸腾速率 [mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	水分利用效率 (μmol/mmoll)	光能利用效率	气孔限制值 (%)
中原乌龙捧盛	7.18 ± 0.15a	133.58 ± 9.46a	289.93 ± 4.87a	2.29 ± 0.11a	3.16 ± 0.13a	8.95 ± 0.20a	25.77 ± 1.26a
江南红芙蓉	4.91 ± 0.21b	94.72 ± 4.40b	289.51 ± 3.33a	2.91 ± 0.19b	1.70 ± 0.08b	6.13 ± 0.26b	26.19 ± 0.84a
日本岛锦	4.72 ± 0.17b	78.94 ± 10.85b	270.97 ± 10.41a	2.78 ± 0.17b	1.71 ± 0.04b	5.90 ± 0.22b	31.23 ± 2.71a

注:表中数据为“平均值±标准差”,同列不同字母表示差异显著(*P*<0.05)。

表 2 不同品种牡丹主要光合生理指标的相关性分析

光合参数	相关系数						
	净光合速率	气孔导度	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度	蒸腾速率	水分利用率	光能利用率	气孔限制值
净光合速率	1	0.869 **	0.410	-0.430	0.912 **	0.999 **	-0.450
气孔导度		1	0.773 **	-0.068	0.644 **	0.867 **	-0.798 **
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度			1	0.318	0.153	0.408	-0.999 **
蒸腾速率				1	-0.750 **	-0.430	-0.291
水分利用率					1	0.912 **	-0.195
光能利用率						1	-0.448
气孔限制值							1

注: \*、\*\* 表示显著(*P*<0.05)、极显著(*P*<0.01)相关。

2.2 不同品种牡丹光合-光响应参数

不同品种牡丹净光合速率随照度的变化有着相似的规律。由图 1 可知,在 0~200 μmol/(m<sup>2</sup>·s)照度范围内,随着光合有效辐射(PAR)的增加,不同品种牡丹的 *P*<sub>n</sub> 均几乎呈线性增加;当 PAR 达到一定的强度时,*P*<sub>n</sub> 达到最大值,即达

到光饱和点。总体来说,随着 PAR 的增强,不同品种牡丹的 *P*<sub>n</sub> 均先增加后趋向稳定。

不同品种牡丹的光饱和点从大到小依次为中原乌龙捧盛>日本岛锦>江南红芙蓉,它们之间的差异均显著(表 3)。中原乌龙捧盛光补偿点(LCP)、暗呼吸速率(*R*<sub>d</sub>)显著低于江

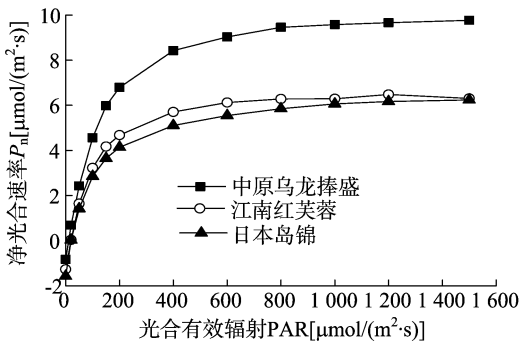


图1 不同品种牡丹叶片光合-光响应曲线

南红芙蓉和日本岛锦,江南红芙蓉与日本岛锦之间差异不显著。中原乌龙捧盛最大净光合速率( $P_{nmax}$ )显著高于江南红芙蓉和日本岛锦,江南红芙蓉与日本岛锦之间差异不显著。表观量子效率(AQY)在不同品种之间差异均不显著。

2.3 不同品种牡丹光合- $CO_2$  响应参数

牡丹叶片的光合- $CO_2$  响应如图 2 所示,植物叶片的  $P_n$  均随着  $CO_2$  浓度升高而升高。当  $CO_2$  浓度在 0~200  $\mu mol/mol$  范围内时,3 种牡丹植株叶片的  $P_n$  上升的幅度较小,随着  $CO_2$  浓度升高, $P_n$  加速上升,几乎呈线性增长;当达到  $CO_2$  浓度饱和点后, $P_n$  开始趋于稳定;当  $CO_2$  浓度大于 600  $\mu mol/mol$  时, $P_n$  从大到小依次为中原乌龙捧盛>江南红芙蓉>日本岛锦。

表 3 不同品种牡丹的光响应参数的比较

品种	光饱和点 [ $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ ]	光补偿点 [ $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ ]	最大净光合速率 [ $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ ]	暗呼吸速率 [ $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ ]	表观量子效率 ( $\mu mol/mol$ )
中原乌龙捧盛	922.50 $\pm$ 37.24a	6.67 $\pm$ 0.94a	11.63 $\pm$ 0.53a	0.83 $\pm$ 0.12a	0.133 $\pm$ 0.027a
江南红芙蓉	579.00 $\pm$ 12.12b	15.00 $\pm$ 1.73b	7.89 $\pm$ 0.26b	1.28 $\pm$ 0.12b	0.085 $\pm$ 0.002a
日本岛锦	744.00 $\pm$ 20.78c	16.50 $\pm$ 0.87b	8.44 $\pm$ 0.02b	1.58 $\pm$ 0.11b	0.137 $\pm$ 0.028a

注同表 1。

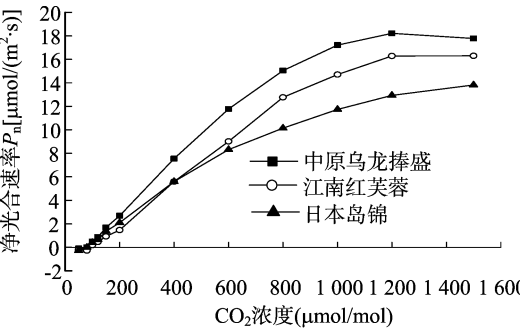


图2 不同品种牡丹叶片光合- $CO_2$ 响应曲线

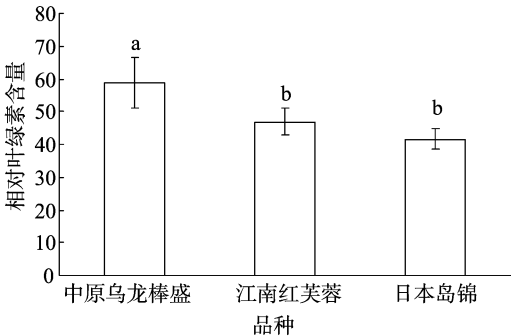


图3 不同品种牡丹相对叶绿素含量的比较

中原乌龙捧盛的最大羧化速率显著高于江南红芙蓉和日本岛锦,而江南红芙蓉与日本岛锦之间差异不显著。磷酸丙糖利用率从大到小依次为中原乌龙捧盛>江南红芙蓉>日本岛锦,三者之间差异显著。中原乌龙捧盛和日本岛锦的最大电子传递效率显著高于江南红芙蓉,中原乌龙捧盛和日本岛锦之间差异不显著(表 4)。

表 4 不同品种牡丹光合- $CO_2$  响应参数的比较结果

品种	最大羧化速率 ( $V_{cmax}$ )	最大电子传递 速率( $J_{max}$ )	磷酸丙糖利用率 (TPU)
中原乌龙捧盛	37.14 $\pm$ 0.61a	69.86 $\pm$ 1.26a	6.80 $\pm$ 0.09a
江南红芙蓉	31.25 $\pm$ 0.44b	56.13 $\pm$ 0.87b	6.19 $\pm$ 0.19b
日本岛锦	30.97 $\pm$ 2.79b	64.29 $\pm$ 3.51a	5.28 $\pm$ 0.21c

注同表 1。

2.4 不同品种牡丹相对叶绿素含量

相对叶绿素含量别称绿色度,用数值大小定量描述叶片的绿色度,与叶绿素含量有显著相关性。从图 3 可以看出,3 种牡丹处于花芽分化期的相对叶绿素含量有一定差异,中原乌龙捧盛含量最高,显著高于江南红芙蓉、日本岛锦,而江南红芙蓉与日本岛锦之间差异不显著。

2.5 不同品种牡丹叶绿素荧光参数

叶绿素荧光是表示光抑制的良好指示和探针,通过对荧

光参数的分析可以得到有关光能利用的信息,测定结果见图 4。 $F_0$  是 PS II 反应中心全部开放时的荧光水平; $F_m$  是 PS II 反应中心全部关闭时的荧光水平; $F_v/F_m$  是植物经过充分暗适应的叶片 PS II 最大或潜在的光化学效率指标。3 种牡丹之间的  $F_0$ 、 $F_m$  和  $F_v/F_m$  有不同程度的差异,江南红芙蓉的  $F_0$  和  $F_v/F_m$  值处于中原乌龙捧盛和日本岛锦之间,但与其差异不显著( $P>0.05$ );中原乌龙捧盛的  $F_m$ 、 $F_v/F_m$  值高于日本岛锦,且  $F_0$  值显著低于日本岛锦( $P<0.05$ )。

3 结论与讨论

不同牡丹品种的叶片光合特性既与自身遗传因素密切相关,又受到照度等环境因子的影响。有研究表明,牡丹光合速率与植株的培育和成花质量以及花期的时间密切相关<sup>[16]</sup>。石颜通等对催花牡丹品种乌龙捧盛和紫二乔进行研究发现,其叶绿素含量与净光合速率的变化呈正相关性<sup>[17]</sup>。3 个牡丹品种在  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、WUE、LUE 等光合生理特性上有较明显的差异。中原品种乌龙捧盛具有较高的  $P_n$ 、 $G_s$ 、WUE、LUE 和相对叶绿素含量,表明中原品种乌龙捧盛的光合组织结构和功能状况较好,具有较高的生产潜力。因此从光合特性角度来说,与江南品种红芙蓉和日本品种岛锦的品种相比,中原品种乌龙捧盛更适宜在高温强光地区推广。有研究报道,气孔

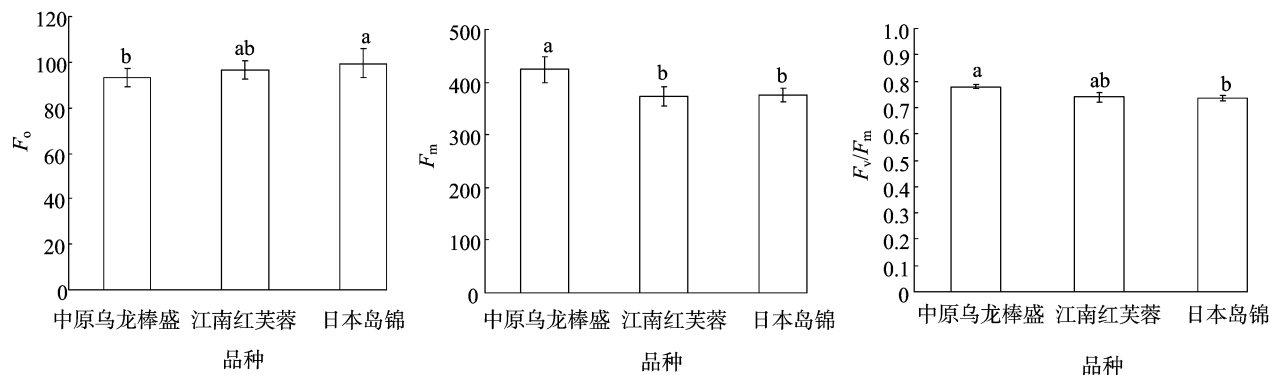


图4 不同品种牡丹叶绿素荧光参数的比较

因素是限制牡丹花前  $P_n$  提高的原因之一<sup>[9]</sup>。本试验中相关性分析结果表明,3种牡丹的  $G_s$  与  $P_n$ 、 $C_i$ 、WUE、LUE 存在极显著正相关,说明这3种不同品种群之间的  $G_s$  差异是导致  $P_n$ 、 $C_i$ 、WUE、LUE 显著差异的原因之一。这与刘晓青等对高山杜鹃 (*Rhododendron delavayi*) 光合特性的研究结果<sup>[18]</sup> 一致。

光饱和点与光补偿点是反映植物对强光和弱光利用能力的指标。一般植物的 LSP 与 LCP 均较低,是典型的阴性植物,反之为阳性植<sup>[19]</sup>。本试验中中原品种乌龙捧盛具有较高的 LSP、较低 LCP,说明其对光能利用范围相较于其他2个品种宽,对光环境的适应能力较强,但在夏季高温、强光下仍须注意遮阴防护工作,且中原品种乌龙捧盛植株的最大净光合速率显著增加,而暗呼吸速率却偏低,这时植株产生的光合产物较高,对光合产物消耗较低,有助于植株在不利环境条件下更多的物质积累。最大羧化效率主要受到核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶 (rubisco) 的活性、数量的影响。而 rubisco 是植物光合作用固定  $CO_2$  的关键调控酶,反映了植物对  $CO_2$  的利用能力<sup>[20]</sup>。最大电子传递速率为核酮糖-1,5-二磷酸 (RuBP) 再生的电子传递速率,代表着 RuBP 再生能力。在本研究中,中原乌龙捧盛具有较高  $V_{max}$ 、 $J_{max}$ 、TPU,说明植株在光合作用过程中催化 RuBP 固定  $CO_2$  的 rubisco 的活性和数量明显增强,较高的电子传递速率促进了光合磷酸化作用和 NADPH 的合成,从而使 RuBP 再生能力得到提高,这些特性有利于它们充分利用光能进行碳同化。

叶绿素荧光包含十分丰富的光合作用过程变化的信息,被视为植物光合作用与环境关系的内在探针。初始荧光 ( $F_0$ ) 反映的是光系统 (PS II) 所有反应中心处于完全开时的荧光产量,在胁迫条件下,  $F_0$  的升高间接地反映了 PS II 反应中心受到破坏或 PS II 反应中心电子传递受阻。  $F_v/F_m$  值变化表示 PS II 的最大光能转化效率,常被用来作为环境胁迫程度的指标和探针<sup>[21]</sup>。在没有环境胁迫的情况下,植物暗适应后的  $F_v/F_m$  值通常在 0.8 以上<sup>[22]</sup>。中原乌龙捧盛的  $F_m$ 、 $F_v/F_m$  值高于日本岛锦,且  $F_0$  值低于日本岛锦,但与江南红芙蓉差异不显著。说明在荧光参数方面中原乌龙捧盛较日本岛锦品种有明显优势,其光合机构的破坏程度较低,具有较高光能转化效率,从而有助于植株光合能力的提高。

综上所述,中原品种乌龙捧盛在3个牡丹品种中光合能力最强,其净光合速率等光合参数、光饱和点和、最大羧化速率、磷酸丙糖利用率较高,且光补偿点较低,对光的适应范围

较宽。在相对叶绿素含量和叶绿素荧光参数中的最大光化学效率上也表现出明显优势,说明该品种具有较高的光合能力,较适宜于该地区引种栽培。但本研究仅从光合生理特性角度来比较阐述了中原品种乌龙捧盛的优势,在品种选育中,对于表现出较强的适应生长环境能力的日本岛锦品种机制还须更进一步探讨和研究。

#### 参考文献:

- [1] Feng Y L, Wang J F, Sang W G. Biomass allocation, morphology and photosynthesis of invasive and noninvasive exotic species grown at four irradiance levels [J]. Acta Oecologica, 2007, 31: 40-47.
- [2] 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.
- [3] Lichtenthaler H K, Babani F, Langsdorf G. Chlorophyll fluorescence imaging of photosynthetic activity in sun and shade leaves of trees [J]. Photosynthesis Research, 2007, 93: 235-244.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1977: 27.
- [5] Zhou L, Dong L, Jia P Y, et al. Expression of ethylene receptor and transcription factor genes, and ethylene response during flower opening in tree peony (*Paeonia suffruticosa*) [J]. Plant Growth Regulation, 2010, 62: 171-179.
- [6] He C N, Peng Y, Xu L J, et al. Three new oligostilbenes from the seeds of *Paeonia suffruticosa* [J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 2010, 58 (6): 843-847.
- [7] Zhang S R, Ma K P, Chen L Z. Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments [J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49: 121-133.
- [8] 翟 敏, 李永华, 杨秋生. 盆栽和地栽牡丹光合特性的比较 [J]. 园艺学报, 2008, 35 (2): 251-256.
- [9] 张桂荣, 田给林, 周天华, 等. 几种大田栽培牡丹花前光合作用特性初探 [J]. 中国农学通报, 2007, 23 (6): 358-362.
- [10] 刘春英, 陈大印, 盖树鹏, 等. 高、低温胁迫对牡丹叶片 PS II 功能和生理特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23 (1): 133-139.
- [11] 杨德翠, 刘 超, 盖树鹏, 等. 牡丹柱枝孢叶斑病 (*Cylindrocladium canadense*) 对叶片光合系统功能的影响 [J]. 园艺学报, 2013, 40 (3): 515-522.
- [12] Nijs I, Ferris R, Blum H. Stomatal regulation in a changing climate: a field study using free air temperature increase (FATI) and free air  $CO_2$  enrichment (FACE) [J]. Plant Cell and Environment, 1997, 20 (8): 1041-1050.

赵方华,姜 波. 加工番茄的施肥模型[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):147-149.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.048

# 加工番茄的施肥模型

赵方华,姜 波

(新疆大学电气工程学院,新疆乌鲁木齐 830047)

**摘要:**在土壤条件一定的情况下,获得加工番茄最大产量下的合理施肥量,为加工番茄种植提供施肥模型和施肥量确定方法,采用传统的肥料效应函数法模型和本研究提出的基于 BP 神经网络的施肥模型 2 种方法,对氮磷钾施肥配比和最大产量下的关系进行分析与研究。结果表明,BP 神经网络施肥模型下的施肥方案优于传统的肥料效应函数施肥模型方案。由此可见,BP 神经网络方法建立的施肥模型,在解决土壤养分含量、施肥量、最终产量三者之间复杂非线性关系上具有优势,同时由于它考虑了土壤养分含量,所得的施肥方案更加准确、合理。

**关键词:**加工番茄;“3414”;肥料效应函数;BP 神经网络;施肥模型

**中图分类号:**S641.206 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)06-0147-03

全球种植加工番茄的区域主要集中在地中海沿岸、美国加州河谷和以新疆为代表的中国西部地区。新疆已成为世界重要的加工番茄种植与加工基地之一,其番茄产量位居世界前三,番茄酱出口量约占全球贸易总量的 1/4<sup>[1]</sup>。然而,在加工番茄产业链发展过程中,要做到现代化栽培管理、均衡生产、提高产业整体效益水平,建立科学的平衡施肥体系是关键要素之一<sup>[2]</sup>。王新等提出了最佳施氮量对加工番茄作物的影响<sup>[3]</sup>;张国红等提出了不同施肥水平下对番茄品质的影响<sup>[4]</sup>;何传龙等提出了减量施肥对番茄产量的影响<sup>[5]</sup>。目前,针对加工番茄在最大产量下最佳氮磷钾施肥配比关系研究未见报道;而对于传统的肥料效应函数施肥模型,由于没有考虑土壤养分含量因素,并且它的三元二次多项式进行施肥量拟合时经常遭到失败而表现出较明显的局限性。以新疆天山北坡的 T9 种质加工番茄为研究对象,提出了一种基于 BP

神经网络的施肥模型建模方法,以氮磷钾 3 种元素的土壤养分含量、施用量共 6 项指标作为输入层,加工番茄产量作为输出层进行训练,得到氮磷钾施肥配比和最大产量的关系,以期能在土壤条件一定的情况下对加工番茄施肥进行有效指导。

## 1 材料与方

### 1.1 试验材料

为确定施肥量对加工番茄产量的影响,应先进行土壤固有养分含量对产量影响的试验,试验于 2012 年在新疆天山北坡某加工番茄主产区试验田中进行。番茄品种采用新疆某加工番茄生产企业旗下种业公司提供的 T9 种质材料。试验地块土质为地势平坦、排水良好、土层深厚的壤土土质。

### 1.2 试验方法

2011 年 11 月联合整地机整地后 3 d 深松起垄,2012 年 4 月初扶垄。试验采用双行铺膜栽种模式,沟心距 150 cm,沟深 20 cm,垄背宽 100~110 cm。2012 年 4 月 13 日开始人工移栽,移栽深度 10 cm 左右,以掩埋下端子叶节为准,深栽后及时补水,提高成活率,株距 22 cm,保苗 30 180 株/hm<sup>2</sup>,灌溉方式为河水滴灌,水泵功率 45 kW,扬程 50 m,额定流量 306 m<sup>3</sup>/h。试验前为保证科学严谨性,充分证明土壤养分含量对产量的作业,应先得出不同试验点的土壤养分含量及基

收稿日期:2014-06-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:61064005)。

作者简介:赵方华(1988—),男,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为智能控制与系统开发。Tel:(0991)8592280;E-mail:258994041@qq.com。

通信作者:姜 波,教授,研究方向为智能控制与系统开发。E-mail:jiangbo@xju.edu.cn。

[13] Long S P, Baker N R, Rains C A. Analyzing the responses of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation to long-term elevation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration[J]. *Vegetatio*, 1993, 104: 33-45.

[14] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. Models of photosynthesis[J]. *Plant Physiology*, 2001, 125: 42-45.

[15] Long S P, Bernacchi C J. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2003, 392(54): 2393-2402.

[16] 何秀丽. 大田牡丹光合特性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.

[17] 石颜通, 张秀新, 薛璟祺, 等. 四个催花牡丹品种复壮栽培后光合特性比较[J]. *华北农学报*, 2013, 28(增刊1): 172-176.

[18] 刘晓青, 苏家乐, 李 畅. 高山杜鹃品种光合特性比较[J]. *江苏农业学报*, 2009, 25(5): 1132-1136.

[19] 蒋高明, 常 杰, 高玉葆, 等. 植物生理生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 65-66.

[20] Ichikawa K, Miyake C, Iwano M, et al. Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit translation is regulated in a small subunit-independent manner in the expanded leaves of tobacco[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2008, 49(2): 214-225.

[21] Figueroa M E, Fernández-Baco L, Luque T, et al. Chlorophyll fluorescence, stress and survival in populations of mediterranean grassland species[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1997, 8(6): 881-888.

[22] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(345): 659-668.