

# 辣椒单倍体与双单倍体植株叶片光合作用研究

杜胜利, 魏惠军, 魏爱民, 王艳飞, 庞金安

(天津市黄瓜研究所, 天津 300192)

**摘要:** 对辣椒单倍体和双单倍体植株的光合作用进行了研究。结果表明, 在不同光照条件下, 单倍体植株净光合速率均明显比双单倍体低。在弱光照下, 气孔的限制作用是单倍体植株净光合速率较低的主要原因; 而在正常光照下, 非气孔限制因素是净光合速率降低的主要原因。单倍体植株在强光下受到明显的光抑制, 单倍体植株净光合速率、气孔导度和表观量子效率均较低, 在正常光照条件下羧化效率较低; 光补偿点和细胞间隙  $\text{CO}_2$  补偿点较高等均是单倍体植株的重要特征。

**关键词:** 辣椒; 单倍体; 双单倍体, 光合作用

中图分类号: S601 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2001) 03- 0052- 04

利用花药、花粉小孢子培养获得单倍体和双单倍体植株, 对作物育种及理论研究具有极其重要的意义。前人对单倍体和双单倍体的植株形态、气孔的大小、保卫细胞的长度及叶绿体数量等进行了广泛研究<sup>[1,2]</sup>, 在辣椒(*Capsicum annuum* L.) 上, 以气孔保卫细胞叶绿体数量作为一种简单有效的方式对单倍体和双单倍体植株进行鉴别, 但是对其光合作用的研究国内外尚没有报道。本试验以辣椒单倍体和双单倍体植株为材料, 研究比较了二者的光合作用, 并试图为通过活体鉴定双单倍体提供一种更为简单有效的方式。

## 1 材料和方法

试验采用京研 11 号辣椒游离花粉小孢子培养获得的单倍体和自然加倍的双单倍体植株为供试材料。植株栽植于  $20\text{ cm} \times 15\text{ cm}$  的塑料花盆中, 内装日本产有机肥与土混合的基质(混合比例 2: 1), 置于日本产三洋多功能培养箱中培养。培养箱内条件为: 温度  $25\text{ }^{\circ}\text{C}/18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (光/暗), 光量子通量密度(PFD)  $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 光/暗时间 12 h/12 h, 空气相对湿度(RH) 80%。当单倍体处于盛花期、双单倍体开始结果时, 选旺盛生长的功能叶测定其光合作用。

用 Li6400 型便携式光合测定仪测定叶片的光合作用, 测定时利用 6400 PS 提供光照, 温度为  $(23 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度为  $(390 \pm 10)\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , RH 为 25% ~ 30%, PFD 选用培养箱内辣椒生长的  $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  弱光照和  $1\text{ }000\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  的正常光照。净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、细胞间隙  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ ) 都由光合测定仪直接读出。各测定 3 个叶片, 每个叶片重复 6~ 10 次。

收稿日期: 2000- 10- 09

作者简介: 杜胜利(1963- ), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事黄瓜育种和生物技术研究工作。

按高辉远等<sup>[3]</sup>的方法计算羧化效率(CE)和细胞间隙CO<sub>2</sub>补偿点(Γ)及光呼吸速率,按Farquhar和Sharkey的方法<sup>[4]</sup>计算气孔限制值(Ls)。按许大全等<sup>[5]</sup>的方法计算表观量子效率(AQE)和光补偿点。测定均重复3~4次。

2 结果与分析

2.1 辣椒单倍体和双单倍体叶片的光合速率

无论在辣椒生长的弱光照(200 μmol•m<sup>-2</sup>•s<sup>-1</sup>)下,还是在正常光照(1 000 μmol•m<sup>-2</sup>•s<sup>-1</sup>)下,单倍体植株净光合速率明显低于双单倍体(表1)。同时,单倍体植株气孔导度明显比双单倍体低,这造成单倍体蒸腾速率较低。在弱光条件下,单倍体细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度比双单倍体略低;而在正常光照条件下,单倍体却比双单倍体略高。

表1 辣椒单倍体和双单倍体叶片光合作用比较

植株类型	光照强度 (μmol•m <sup>-2</sup> •s <sup>-1</sup> )	净光合速率 (CO <sub>2</sub> μmol•m <sup>-2</sup> •s <sup>-1</sup> )	气孔导度 (H <sub>2</sub> Omol•m <sup>-2</sup> •s <sup>-1</sup> )	细胞间隙CO <sub>2</sub> 浓度 (CO <sub>2</sub> μmol•mol <sup>-1</sup> )	蒸腾速率 (H <sub>2</sub> Ommol•m <sup>-2</sup> •s <sup>-1</sup> )
单倍体	200	2.72±0.78 c*	0.0274±0.0058 d	235.8±17.3 b	0.702±0.207 c
	1 000	6.67±1.20 b	0.0697±0.0186 bc	230.2±9.8 bc	1.727±0.324 b
双单倍体	200	6.28±0.84 b	0.0952±0.0355 b	253.2±7.1 a	2.198±0.640 ab
	1 000	10.94±1.14 a	0.1152±0.0696 a	221.3±7.5 c	2.778±1.078 a

注:英文字母表示5%差异显著性,下同

2.2 辣椒单倍体和双单倍体叶片的表观量子效率和羧化效率

在光量子通量密度200 μmol•m<sup>-2</sup>•s<sup>-1</sup>内,单倍体和双单倍体叶片光合作用P<sub>tr</sub>-PFD为一直线关系(图1),直线斜率为表观量子效率,它代表叶片对光能的利用能力。试验表明,单倍体叶片表观量子效率(0.0253)明显比双单倍体(0.0399)低,说明单倍体叶片光反应较弱。同时,单倍体植株光补偿点也较高,其利用弱光的能力较差(表2)。

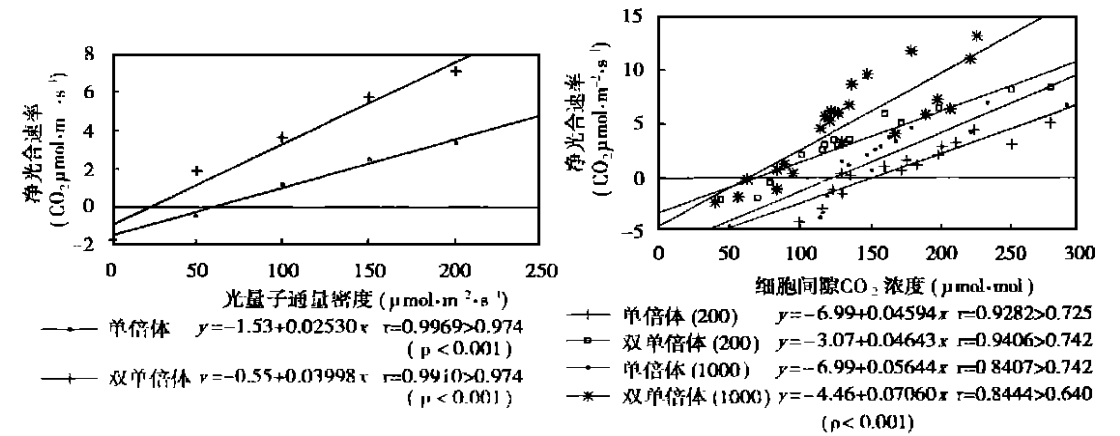


图1 辣椒单倍体和双单倍体叶片的表观量子效率      图2 辣椒单倍体和双单倍体叶片的羧化效率

在光量子通量密度200 μmol•m<sup>-2</sup>•s<sup>-1</sup>和1 000 μmol•m<sup>-2</sup>•s<sup>-1</sup>条件下,辣椒叶片的净光

合速率对细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度的响应基本为直线关系。直线的斜率为羧化效率，它代表植物叶片对 CO<sub>2</sub> 的羧化能力，其高低可以反映活体叶片中活化的 RuBPCase 含量的多少<sup>[6]</sup>。图 2 表明，在 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 条件下，单倍体和双单倍体羧化效率基本相似。而在 1 000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 条件下，单倍体羧化效率明显比双单倍体低。

表 2 辣椒单倍体和双单倍体叶片光合作用相关指标比较

植物类型	光呼吸速率 (CO <sub>2</sub> μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )		Ci 补偿点 (CO <sub>2</sub> μmol·mol <sup>-1</sup> )		光补偿点 (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	气孔限制值 (%)	
	弱光照	正常光照	弱光照	正常光照		弱光照	正常光照
单倍体	4.33±0.23 a	4.23±0.32 a	152.2±10.23 a	123.8±5.68 a	60.5±3.15 a	75.11±2.13 a	58.19±1.11 a
双单倍体	2.15±0.15 b	3.21±0.11 b	66.1±5.31 b	63.2±4.78 b	13.8±2.11 b	55.65±1.23 b	52.58±0.78 b

表 2 可见，单倍体植株光呼吸速率明显比双单倍体高。同时，细胞间隙 CO<sub>2</sub> 补偿点明显比双单倍体高，说明单倍体利用低浓度 CO<sub>2</sub> 能力也较差。单倍体气孔限制值亦比双单倍体略高，说明单倍体的气孔对光合作用的限制能力较强。

2.3 辣椒单倍体和双单倍体叶片的 Pn-PFD 曲线

单倍体和双单倍体的光饱和点没有明显差异，光量子通量密度在 600 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 时净光合速率达到最高峰(图 3)。但是，在达到最高峰后，随着光照强度的进一步增加，双单倍体植株光合速率没有明显变化；而单倍体植株却明显下降。

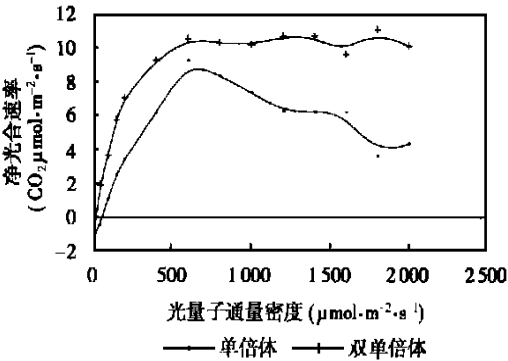


图 3 辣椒叶片的 Pn-PFD 曲线

3 讨论

试验表明，在各种光照条件下，单倍体植株净光合速率均明显比双单倍体低。由于 CO<sub>2</sub> 只有进入细胞间隙才能够参与光合作用，因此细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度的高低是影响光合速率的直接原因之一。在光量子通量密度为 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 的弱光照下，单倍体叶片细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度较低，而气孔限制值较高，羧化效率和双单倍体相似，这说明气孔的限制作用是单倍体植株净光合速率较低的主要原因。气孔导度低可能是由于气孔数量较少、气孔较小(材料另文发表)造成的；同时，表观量子效率较低、光补偿点较高也是其净光合速率较低的重要原因。在光量子通量密度为 1 000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 的正常光照下，虽然单倍体植株气孔导度较低，但是细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度并没有因此比双单倍体低。因此，气孔限制值较高只能说明气孔的限制作用较高，并不能说明气孔限制因素就是净光合速率降低的主要原因。细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度升高说明非气孔限制因素对光合作用的限制能力增加，这可以从表观量子效率和羧化效率同时较低得到佐证。

试验测得单倍体和双单倍体的光饱和点为 600 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>，比我们测得的露地辣椒低<sup>[7]</sup>，说明植株长期在弱光下生长，较低的光照就发生光抑制。单倍体受到的抑制程度更明显，在光照强度继续上升的条件下，净光合速率不但不上升而明显下降，出现明显的抑制

现象。

单倍体植株净光合速率、气孔导度、表观量子效率均较低，在正常光照条件下羧化效率较低；光补偿点和细胞间隙 CO<sub>2</sub> 补偿点较高等均是单倍体植株的典型特征，可以作为双单倍体鉴别的指标，在不破坏植株的条件下简便、快速地鉴别出单倍体植株。

参考文献：

[ 1 ] Qin X, Rotino G L. Chloroplast number in guard cells as ploidy indicator of *in vitro*-grown androgenic pepper plantlets[ J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 1995, 41: 145– 149.

[ 2 ] Jacobs J P, Yoder J I. Ploidy levels in transgenic tomato plants determined by chloroplast number[ J]. Plant Cell Rep, 1989, 7: 662– 664.

[ 3 ] 高辉远, 邹琦, 程炳高. 甘薯光合活力、羧化效率日变化与光合午休的关系[ J]. 作物学报, 1997, 23( 1): 62– 65.

[ 4 ] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[ J]. Ann Rev Plant Physiol, 1982, 33: 317.

[ 5 ] 许大全, 李德耀, 邱国雄, 等. 毛竹叶光合作用的气孔限制研究[ J]. 植物生理学报, 1987, 13( 2): 154– 160.

[ 6 ] 薛崧, 汪沛洪, 许大全, 等. 水分胁迫对冬小麦同化作用的影响[ J]. 植物生理学报, 1992, 18( 1): 1– 7.

[ 7 ] 霍振荣, 庞金安, 杜胜利. 辣椒光合作用研究[ J]. 华北农学报, 1998, 13( 3): 121– 124.

A Study on Photosynthesis in  
Leaves of Haploid and Doubled Haploid Pepper

DU Sheng-li, WEI Hui-jun, WEI Ai-min, WANG Yan-fei, PANG Jin-an  
(Tianjin Cucumber Research Institute, Tianjin 300192, China)

**Abstract:** Photosynthesis of haploid and doubled haploid pepper derived from microspore( *Cap-sicum annuum* L. ) was investigated. The net photosynthetic rate( Pn ) of haploid plant was lower than that of doubled haploid in any photo flux density( PFD ). Under lower light, the stomatal fac-tor was the main cause of the Pn decrease in haploid plant leaves, whereas under normal light, the non-stomatal factors were the main causes. A remarkable photoinhibition of photosynthesis was observed in the haploid plant leaf under high light conditions. When plants were exposed to normal light, Pn, stomatal conductance( Gs ), apparent quantum efficiencies( AQE ) and carboxylation effi-ciencies( CE ) in haploid leaves were lower than those in doubled haploid, but the intercellular CO<sub>2</sub> compensation point(  $\Gamma$  ) and light compensation point of haploid plant leaves were higher than those of doubled haploid. These might be the important features of the differences between haploid and doubled haploid plant.

**Key words:** Pepper; Photosynthesis; Haploid; Doubled haploid