

# 矮化型观赏植物 B9、N29 光合特性的研究

张光弟<sup>1</sup>, 俞晓艳<sup>2</sup>, 徐庆林<sup>3</sup>

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 银川艾依河公园管理处, 银川 750004; 3. 银川银西防护林管理处)

**摘要:** 对具有观花、观果特点的苹果矮化砧 B9 和 N29 的光合速率日变化规律、光合补偿点等生理指标测定表明: B9、N29 的光合速率高峰出现在上午的 10 时左右。但是 B9 表现为明显的一降不起的单峰趋势, N29 呈现不明显的第二峰特点。峰值时 N29 的光合速率较新疆野苹果之光合速率高出 21.78%, B9 的光合速率值较新疆野苹果的光合速率只高出 6.32%。B9、N29 的  $P_n- PAR$  响应规律较为相似。在弱光和暗光下, N29 的呼吸速率 (Respiration rate) 为  $0.8651\text{ CO}_2\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ , 小于 B9 的呼吸速率 ( $1.3697\text{ CO}_2\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )。N29、B9 的光补偿点 (LCP) 分别为  $64\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  和  $127\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  说明 N29 的弱光利用能力高于 B9。B9、N29 的光饱和点 (LSP) 分别为  $1412\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  和  $1380\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  表明 B9 的高光适应能力较强。在果树矮化栽培和园林景观配置栽培时应考虑 B9、N29 光合营养需求特点, 以便达到果树增产和景观中的观花、观果、观叶效果。

**关键词:** 苹果矮化砧; B9 和 N29; 光合指标

**中图分类号:** S661.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0009(2006)06-0099-03

B9、N29 是苹果矮化砧, 但具有良好的观花、观果、观叶的特点和抗逆性<sup>[1~3]</sup>, 其中 B9 还具备彩叶植物的观赏特性并具备应用于微景观配置、分车带的优势而开始被逐步采纳<sup>[4]</sup>。刘飞虎等<sup>[5]</sup>对 4 种野生报春花的光合作用特性的研究发现, 不同的种间的光合速率、蒸腾日变化呈现单峰曲线并存在高低的差异, 体现了种间的特点, 表明种间对光的利用能力存在差别, 说明了在植物引种、景观配置中应考虑园林的耐阴性问题。王中英<sup>[6]</sup>对 M9 (Malling 系列矮化砧木的一种) 自根砧矮化红星苹果树的光合日变化的研究已经发现, 其光合日变化曲线呈现单峰状态, 且光合速率值高于乔砧红星苹果树, 而中间砧红星苹果树则呈现出双峰态势, 且光合速率的最高值出现在上午的 10 时左右, 说明苹果矮化中间砧的应用对树体光合生理有影响, 进而影响到产量。在干旱条件下, 板栗的光合速率的最高值提前出现<sup>[7]</sup>, 表明环境条件的变化也影响着植物的光合生理指标。对 B9、N29 的光合指标的研究, 旨在为苹果的矮化栽培和拓展在景观配置中应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

采用 B9 (Budagovsky, Bud-9)、N29 (*M. prunifolia* borkh.) 的高干 (干高 1.5 m 左右嫁接移栽苗, 高干基砧为: 新疆野苹果, 3 a 生)。对照为新疆野苹果 (*M. sieversii* L. sieve.) 实生苗。供试苗木均为圃地移栽后第 2 a。测定时选择群体中生长势中等的植株, 每砧类 3 株。

### 1.2 方法

用英国 PP System CIRAS-1 型便携式光合测定系统测定 B9、N29 的净光合速率 (net photosynthetic rate,  $P_n$   $\text{CO}_2\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )、光合有效辐射 (photosynthetically active radiation,  $PAR$ ,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )、蒸腾速率 (transpiration rate,  $Tr$   $\text{mmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )、气孔导度 (stomatal conductance,  $G_s$   $\text{mmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )、空气  $\text{CO}_2$  浓度 ( $\text{CO}_2$  concentration of atmosphere,  $C_a$ ,  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )、

细胞间隙  $\text{CO}_2$  浓度 (intercellular  $\text{CO}_2$  concentration,  $C_i$ ,  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ) 和呼吸速率 (Respiration rate) 等指标, 测定叶面积为  $2.5\text{ cm}^2$ 。数据分析采用 Excel 等软件完成。

1.2.1 B9、N29 光合作用日变化测定 于 5 月下旬选择晴天, 分别选择 B9、N29 新疆野苹果每砧种 3~4 株, 取树冠中部向阳发育营养生长枝条 (30 cm 左右), 自枝条基部选第 4~7 片功能叶 (中部叶片) 挂牌 (每株 3 叶) 进行光合日变化测定。自 8:00 时至 18:00 时每隔 2 h 测定一次, 其中午 11:00 时至 14:00 时每隔 1 h 测定一次。每叶测定 2 次。

1.2.2 B9、N29 的光合作用的光响应曲线测定 同月内选择晴天中午。利用自然光, 以不同层纱布对测叶的叶面遮光控制照射到叶面上的光强度, 测定 B9、N29 的光合响应指标。测定期间的日平均气温  $32.5\text{ }^\circ\text{C}$ , 其它环境指标见文中图 7、8。每砧类测定 3 叶, 取其平均值做曲线加以分析。利用  $PAR$  在  $0\sim600\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  范围内的数据, 采用线性回归计算  $P_n- PAR$  的曲线斜率, 得到表观量子效率 (Appraent quantum yield AQY)。光响应进程用  $P_n=aPAR^2+bPAR+c$  方程拟合, 求出光补偿点 (Light compensation point, LCP) 和光饱和点 (Light saturation point, LSP)。

## 2 结果与分析

### 2.1 B9、N29 光合作用日变化特点

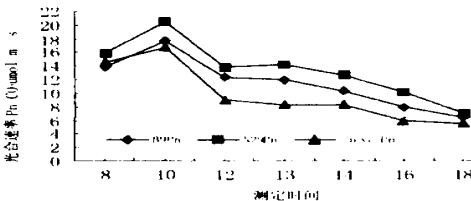


图 1 B9、N29 和新疆野苹果的光合日变化图

对 B9、N29 的光合日变化的趋势 (图 1) 分析认为, B9、N29 和新疆野苹果 (*sieve.*) 的光合日变化趋势呈现单峰曲线, 高峰出现在上午的 10 时左右。除 8 时的 *sieve.*  $P_n$  居 N29、B9 的  $P_n$  值之间, 其余各测定时点值均小于 N29、B9 的  $P_n$  值; 三者光合速率  $P_n$  为:  $N29> B9> sieve.$  以 *sieve.* 为对照,

\* 基金项目: 宁夏大学自然科学基金、银川市科委色叶植物联合研究项目内容之一。

收稿日期: 2006-06-10

峰值时 N29 的  $P_n = 20.48 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  较 *sieve* 的  $P_n$  高出 21.78 百分点, 表明其光合系统对环境(强光及湿度变幅)的适应性相对较强。B9 的光合速率值较 *sieve* 的光合速率高出

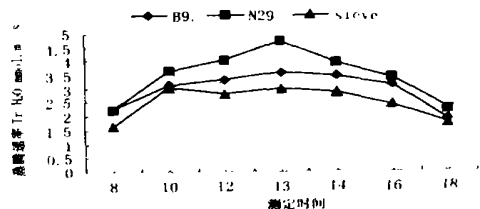


图2 B9、N29 和新疆野苹果的蒸腾速率日变化

6.32 百分点。B9 较 N29  $P_n$  峰值时段低约 15 个百分点。12~13 时期间的 N29、B9 的  $P_n$  变化较为稳定, N29 略显“抬头”, 13 时后开始下降。B9 的  $P_n$  则为“一降不起”; 而 *sieve* 在 12~14 时期间的  $P_n$  变化平稳, 14 时有再升现象而后开始下降。3 砧类均体现出明显的“午休”或称“日中低落”现象, N29、*sieve* 显然有别于 B9 的日  $P_n$  特点。从 B9、N29 和 *sieve* 的蒸腾速率( $Tr$ )日变化曲线(图 2)中可以直观看出, 蒸腾失水的旺盛的时间段出现在 13 时左右。  $Tr$  随空气温度( $A.T.$ )上升而增大, 有滞后现象。种类间存在差别。以 N29 的  $Tr$  值最高, 值为:  $4.717 \text{ H}_2\text{O mmol/m}^2 \cdot \text{s}$  B9、*sieve* 的  $Tr$  值从上午 10 时至下午 15 时的变幅不大, 13 时的 B9 的  $Tr$  值为  $3.60 \text{ H}_2\text{O mmol/m}^2 \cdot \text{s}$  略高于 *sieve* 的  $2.968 \text{ H}_2\text{O mmol/m}^2 \cdot \text{s}$ 。

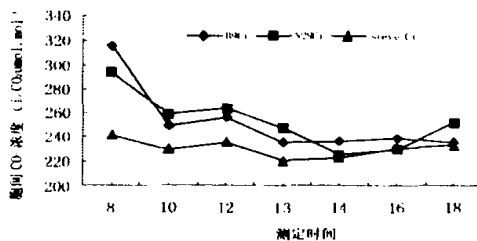


图3 B9、N29 and M *sieve* 胞间  $\text{CO}_2$  浓度的日变化

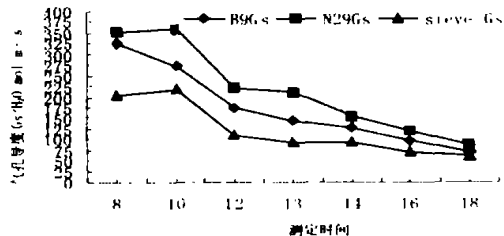


图4 B9、N29 and M *sieve* 气孔导度( $G_s$ )的日变化

对胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )的日变化观测发现, 尽管 B9 在上午 8 时的光合速率  $P_n$  较 N29 的低, 但是此时的  $C_i$  较 N29 的  $C_i$  高出 7.48 百分点(图 3), 光合峰值时又低 3.5 百分点。8 时至 10 时, 随光合速率的加强, B9、N29、*sieve* 的  $C_i$  呈现下降趋势, 降幅最大的是 B9。 *Sieve* 的  $C_i$  始终在相对较低的水平下变化。除 B9 外, N29、*sieve* 的  $C_i$  变化在测定时区内呈现逆向抛物线。此外, *sieve* 的气孔导度( $G_s$ )小于 B9、N29(图 4)。  $G_s$  随时间变化的线性回归方程分别表示为: *sieve*,  $G_{s-sieve} = -26.321t + 227.43$  ( $R^2 = 0.8061$ ); B9,  $G_{s-B9} = -41.507t + 339.1$  ( $R^2 = 0.9263$ ); N29,  $G_{s-N29} = -47.629t + 405.77$  ( $R^2 = 0.9333$ )。相关性均达到显著水平。

除 B9 外, N29、*Sieve* 的 8 时至 10 时的  $G_s$  变化与光合  $P_n$  日变化相似。然而 *Sieve* 的气孔限制值  $L_s$  大于 B9、N29 (图 5), 表明 *Sieve* 种类具有低  $G_s$ 、低  $Tr$  及高  $L_s$  的耐旱特

点。

光合羧化效率( $CE$ )值可以体现光合过程中电子传递活性及光合磷酸化的状况<sup>[8,9]</sup>。对 B9、N29、*Sieve* 的  $CE$  值日变化(图 6)的分析认为, 3 种类羧化效率日变化趋势与其光合日变化的趋势相吻合, 羧化效率的高峰值也出现在上午的 10 时左右。值得一提的是, 上午 8 时尽管 *Sieve* 此时的  $P_n$  低于 N29 但其  $CE$  大于 N29、B9。而 10 时 N29 的  $CE$  最高, *Sieve* 居中, 仅比 B9 高出 2.7%。但此时的 B9 光合速率比 *Sieve* 高出 6.32%。总体来说, N29 较 B9、*Sieve* 能够维持更高的  $P_n$  和  $CE$ 。

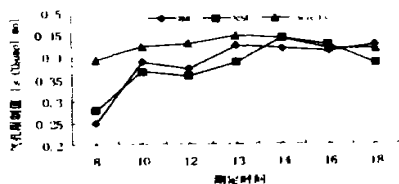


图5 B9、N29 和新疆野苹果的气孔限制值( $L_s$ )日变化

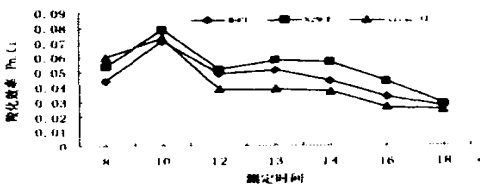


图6 B9、N29 和新疆野苹果的羧化效率日变化

## 2.2 B9、N29 光合作用测定相关因子的日变化

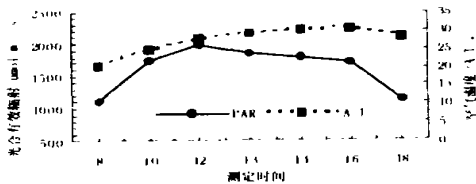


图7 指标测定日光合有效辐射及气温日变化

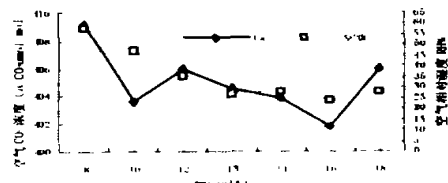


图8 指标测定日空气  $\text{CO}_2$  浓度( $C_a$ )及相对湿度日变化

## 2.3 B9、N29 的光合作用的光响应特点

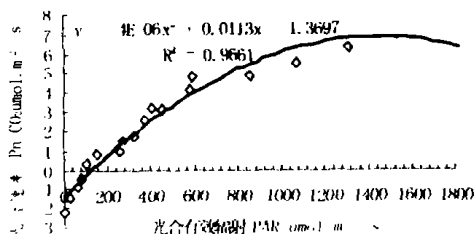


图9 B9  $P_n$ -PAR 响应特点

B9、N29、*sieve* 的  $P_n$ -PAR 响应特点 对 B9、N29、*sieve* 的  $P_n$ -PAR 数据分析(图 9、10、11)表明, 3 种砧木间的  $P_n$ -PAR 响应存在较大差别; 表观量子效率(AQY)也存在差别。

许大全<sup>[8]</sup>认为, 表观量子效率AQY在一定程度上可以体现植物光合作用时对弱光的反应能力。AQY值较大说明对弱光的反应与利用能力较强。通过对3砧类光合有效辐射PAR在0~600 μmol/m<sup>2</sup>·s范围内的Pn正值(含Pn=0 CO<sub>2</sub> μmol/m<sup>2</sup>·s)的Pn- PAR线性回归方程得到:

$$Pn-B9 = 0.0085 PAR - 0.7183, R^2 = 0.9593$$
 则AQY-B9=0.0085;

$$Pn-N29 = 0.0205 PAR - 1.6212, R^2 = 0.9587$$
 则AQY-N29=0.0205;

$$Pn-sieve = 0.0029 PAR - 0.4594, R^2 = 0.9594$$
 则AQY-sieve=0.0029。

方程斜率可用于代表砧类的表观量子效率(AQY或Φi), 3砧类的AQY值为AQY-N29>AQY-B9>AQY-sieve., 预示弱光利用能力N29>B9>sieve.。同时也说明B9、sieve比N29的喜光性更强。

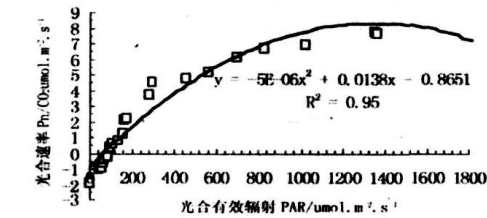


图10 N29 Pn- PAR 响应特点

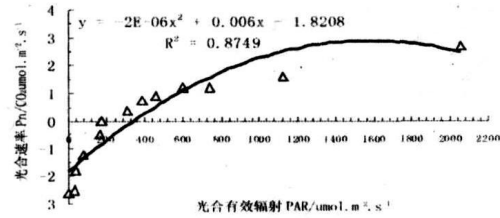


图11 新疆野苹果 Pn- PAR 响应特点

LCP是对植物适应弱光能力的表达<sup>[8]</sup>, 即利用弱光的极限值或称植物在低光强下保持净光合速率的能力, 其因植物种类不同等因素而不同<sup>[10]</sup>。而植物的Pn随光强的增加而上升, 当达一定光强后则Pn不再增高, 也即达到了光的饱和点LSP。不同的种类或品种的LSP有区别, 表明对光强的适应与利用能力的差异。

多项式方程拟合的B9、N29、sieve光响应曲线的回归方程可以表达为:

$$B9 Pn = -4E-06 PAR^2 + 0.0113 PAR - 1.3697, R^2 = 0.97;$$

$$N29 Pn = -5E-06 PAR^2 + 0.0138 PAR - 0.8651, R^2 = 0.95;$$

$$sieve. Pn = -2E-06 PAR^2 + 0.006 PAR - 1.8208, R^2 = 0.8749.$$

拟合方程显示, 3个种的Pn- PAR响应相关性显著, 通过方程得知: 光补偿点LCP值为LCP-N29=64 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s; LCP-B9=127 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s; LCP-sieve.=343 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s。数据表明了N29的弱光利用能力在三者中是最强的, 比B9高出一倍, 而sieve. 弱光利用能力最低。计算的光饱和点LSP值分别为LSP-N29=1380 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s; LSP-B9=1412 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s; LSP-sieve.=1500 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s。说明B9的高光利用能力比N29高出2.3%; sieve则比N29高出8.6%。在弱光和暗光下, N29的呼吸速率(Respiration rate)

为0.8651 CO<sub>2</sub> μmol/m<sup>2</sup>·s, 小于B9的呼吸速率(1.3697 CO<sub>2</sub> μmol/m<sup>2</sup>·s)。

综上可知, N29的弱光利用能力在三者中是最强的, 比B9高出一倍; 但B9的高光利用能力比N29高出2.3%。N29较B9具有高Tr、Gs、低Ci品种特性。

3 讨论与结论

综上3个种类的光合特点认为, B9、N29、sieve的光合日变化趋势呈现单峰曲线, 峰值值出现在上午的10时左右。光合速率为N29>B9>sieve.。峰值时N29的光合速率较sieve的Pn高出21.78%, 表明其光合系统对环境(强光及湿度变幅)的适应性较强。B9的Pn较sieve的高出6.32%。同时发现sieve. 砧类的低Gs、Ci、低Tr及高Ls的特点, 这可能是sieve. 砧类由于气孔的限制因素使其Pn较B9、N29低的原因之一。

对B9、N29、sieve的Pn- PAR响应分析认为, B9、N29的Pn- PAR响应关系较为相似, 光补偿点LCP值为LCP-N29=64 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s; LCP-B9=127 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s; LCP-sieve.=343 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s。数据表明了N29的弱光利用能力比B9高出一倍, 而sieve. 弱光利用能力最低。光饱和点LSP值分别为LSP-N29=1380 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s; LSP-B9=1412 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s; LSP-sieve.=1500 μmolCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>·s。说明B9的高光利用能力比N29高出2.3%; sieve则比N29高出8.6%。在弱光和暗光下, N29的呼吸速率为0.8651 CO<sub>2</sub> μmol/m<sup>2</sup>·s, 小于B9的呼吸速率(1.3697 CO<sub>2</sub> μmol/m<sup>2</sup>·s)。N29的物质积累相对高于B9, 实际也发现N29圃地生长量高于B9。

在果树的矮化栽培中使用的中间砧的光合效率会影响品种的生产能力, 所以N29可能比B9更具增产潜质。在园林景观配置中, 从理论上来说, 在考虑光合因素时, 以高干嫁接的B9光合有效辐射PAR>150 μmol/m<sup>2</sup>·s、N29的PAR>100 μmol/m<sup>2</sup>·s基本可以满足光合生理的要求, 但这对它们的生殖生长、果实色泽、彩叶叶色的影响程度有待进一步验证研究。

参考文献:

[1] Roy C. Rom, Robert F. Carlson Rootstocks for Fruit Crops[M] US. Jhon Wiley & Sons, Inc 1987, 108-140.  
[2] 杨进《中国苹果砧木资源》[M]. 山东: 山东科学技术出版社, 1990. 725-26.  
[3] Czynczyk, A., T. Houbowicz. Hardy, productive apple tree rootstocks in Poland[J]. Compact Fruit tree, 1984, 17: 19-31.  
[4] 张光弟, 俞晓艳, 徐庆林, 等. 观花、观果型苹果矮化砧B9、N29的引种表现[J]. 宁夏农林科技, 2005, 315(6).  
[5] 刘飞虎, 梁雪妮, 刘小莉. 四种野生报春花光合作用特性的比较[J]. 园艺学报, 2004, 31(4): 482-486.  
[6] 王中英. 矮化苹果树营养生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 2-16.  
[7] 张继亮, 孙海伟, 马玉敏, 等. 土壤干旱条件下板栗品种光合指标的差异性与耐寒力分析[J]. 河北果树, 2004, 19(4): 330-333.  
[8] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002. 192.  
[9] 沈允钢, 施教耐, 许大全. 动态光合作用[M]. 北京: 北京科学出版社, 1998. 130-134.  
[10] 吕忠恕. 果树生理[M]. 上海: 上海科技出版社, 1984. 32-33.  
注: 致谢宁夏大学农学院许强教授、康建宏副教授、曹兵博士、马文礼硕士的帮助。