

高灌蓝莓光合作用对若干环境因子的响应

孙 山^{1,2}, 李鹏民¹, 刘庆忠², 高辉远^{1*}

(¹ 山东农业大学生命科学学院, 山东泰安 271018; ² 山东省果树研究所, 山东泰安 271000)

摘 要: 研究了 4 个高灌蓝莓品种 (‘泽西’、‘日出’、‘乔治亚吉姆’和‘里维尔’) 的光合作用启动过程, 及其光合作用对环境因子的响应。结果表明: 4 个品种的光合启动时间均较长 (46 ~ 75 min), 其中‘里维尔’的光合启动最快, ‘日出’最慢。这 4 种蓝莓的 CO_2 补偿点均较高 ($89 \sim 121 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$), 是典型的 C_3 植物。相对南高灌蓝莓品种, 北高灌品种‘日出’和‘泽西’具有较高的光合能力、羧化效率、PS 最大光化学效率和饱和光强, ‘日出’的光补偿点最低 ($18.22 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 具备耐阴生树种的特征。北高灌品种的光合最适温度较低, 范围也较窄 ($23 \sim 25$), 不适宜在南方高温地区种植; 相比之下, 南高灌品种‘里维尔’具有较高和较宽的光合最适温范围 ($23 \sim 35$), 适宜引种的区域范围较宽。

关键词: 蓝莓; 光合作用; 光合启动; 表观量子效率; 羧化效率

中图分类号: S 663 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2007) 01-0067-04

Response of Photosynthesis to Some Environmental Factors of High-bush Blueberry Cultivars

SUN Shan^{1,2}, LI Peng-min¹, LIU Qing-zhong², and GAO Hui-yuan^{1*}

(¹ College of Life Science, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; ² Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract: The photosynthetic induction and response of photosynthesis to environmental factors were investigated in 4 high-bush blueberry cultivars. The results showed that the time of photosynthetic induction was quite long (46 - 75 min), the photosynthetic induction was the fastest in Reveille, whereas it was the slowest in Sunrise. The CO_2 compensation points were rather high ($89 - 121 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) in the 4 cultivars, indicating that all of the 4 cultivars are typical C_3 plants. Compared to southern high-bush blueberries, the northern high-bush blueberries Sunrise and Jersey had higher photosynthetic ability, carboxylation efficiency, the maximal photochemical efficiency of PS and saturation light intensity. In addition, the Sunrise had the lowest light compensation point and characteristics of shade tolerant plant. However, the optimum photosynthetic temperature was lower and the range of it was narrower ($23 - 25$), indicating that these cultivars were not suitable to grow in southern region with high temperature. The southern high-bush blueberries Reveille, as compared with northern high-bush blueberries, had a wider range ($23 - 35$) of optimum photosynthetic temperature, which extended its range of introduction and cultivation.

Key words: Blueberry; Photosynthesis; Photosynthetic induction; Apparent quantum yield; Carboxylation efficiency

我国的蓝莓生产起步较晚, 目前尚处于引种试验阶段 (苑兆和, 2003; 李亚东 等, 2003, 2005)。我们从引入山东进行生态适应性试验的蓝莓品种中选取 4 个高灌蓝莓品种, 对它们光合特性、光合作用对环境因子的响应以及光合启动过程进行了系统的比较研究, 以明确不同品种对生态环境条

收稿日期: 2006 - 06 - 30; 修回日期: 2006 - 09 - 12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30671451)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: gaohy@sdau.edu.cn)

件的要求及其生态适应性, 为引种和发展蓝莓生产, 制订合理的栽培技术提供理论依据。

1 材料与方 法

试材为山东省果树所实验园内盆栽 2 年生的北高灌蓝莓品种 ‘泽西’ (Jersey)、‘日出’ (Sunrise) 和南高灌蓝莓品种 ‘乔治亚吉姆’ (Georgia Gem)、‘里维尔’ (Reveille)。塑料盆直径 30 cm, 高 30 cm。盆栽土以腐烂锯末与土壤土按 1:1 比例混合。

2005 年 8 月下旬, 每品种从 5 盆中选择生长势一致的营养新梢, 以顶部下数第 3 片完全展开的功能叶进行各种参数的测定。以 CRAS-1 便携式光合系统 (PP Systems, 英国) 测定各种气体交换参数和光合启动过程。各种响应曲线的测定及相关参数计算参考李鹏民等 (2005) 的方法。测定光合启动过程时, 光强为 $1\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, CO_2 浓度为 $360\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 叶温 (25 ± 0.2), 相对湿度 75%。将充分暗适应的叶片夹入叶室, 打开 $1\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 饱和光, 待净光合速率 (P_n) 大于 0 时, 利用 CRAS-1 的自动记录模式, 每分钟记录一次气体交换参数, 直至 P_n 不再随时间延长而增加。

用 H-PEA 植物效率仪 (Hansatech, 英国) 测定充分暗适应叶片的最大光化学效率 F_v/F_m 。均测 3 个叶片, 取平均值。

2 结果分析与讨论

2.1 高灌蓝莓的光合作用启动过程

充分暗适应的蓝莓叶片突然暴露在光下后, P_n 缓慢上升, 需要相当长一段时间 (46 ~ 75 min) 才能达到稳态 (图 1)。4 种高灌蓝莓光合启动达到稳定光合所需的时间不同。‘里维尔’启动最快, 需 46 min, ‘日出’启动最慢, 需要 75 min, 而 ‘乔治亚吉姆’和 ‘泽西’分别需要 57 和 56 min。虽然二者相差无几, 但在照光后的最初 30 min 内, ‘乔治亚吉姆’仅用 17 min 便到达稳态光合速率的一半, 而 ‘泽西’则需要 26 min 才能达到。

在光合启动过程中, 气孔导度 (G_s) 与 P_n 以大致相同的方式增加, 但是这并不表明光合的启动是由于 G_s 的增加造成的, 因为细胞间隙 CO_2 浓度 (C_i) 随着 G_s 的增加不但没有升反而下降, 说明光合启动过程中 P_n 的增加是叶肉光合能力增加造成的。随着光合启动时间的延长, 光合能力和 G_s 都逐渐上升, 但是 G_s 的增加速率不能满足光合能力的增加速率, 因而导致了 C_i 随光合启动时间延长而急剧下降的事实。大约 20 min 后, 4 种蓝莓的 C_i 都达到稳定, 不再随光合和 G_s 的增加而变化, 说明此时光合能力的增加速率与 G_s 的增加速率基本相同, 已达到了协调。

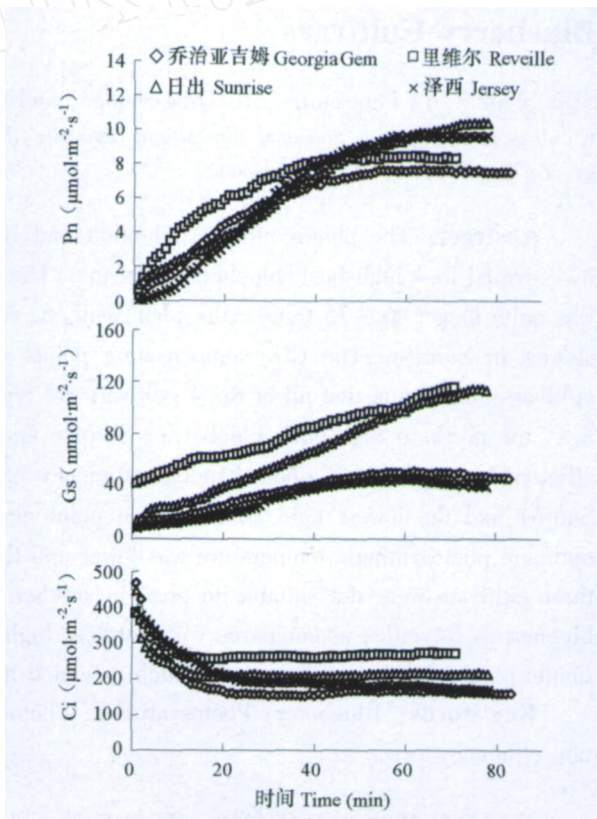


图 1 高灌蓝莓叶片由黑暗转到 $1\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光下的光合启动过程

Fig. 1 Photosynthetic induction of fully dark adapted leaves in high-bush blueberry upon exposure to a PAR of $1\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

2.2 高灌蓝莓光合作用对几种环境因子的响应

由图 2 可以看出, ‘里维尔’的饱和光强为 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 其余 3 个品种均为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右; 在饱和光强下, ‘日出’的 P_n 最高, ‘乔治亚吉姆’最低。‘泽西’和‘乔治亚吉姆’光补偿点均较高, ‘日出’最低(表 1)。

在低 CO_2 浓度范围内, ‘泽西’的 P_n 随 CO_2 浓度升高, 上升速度最快, 其次是‘日出’、‘乔治亚吉姆’、‘里维尔’, 在低 CO_2 浓度范围内 P_n 的差异是由它们的羧化效率的差异造成的(表 1)。

在高 CO_2 浓度时, ‘里维尔’ P_n 上升速度显著快于其余 3 个品种, 说明其对高浓度的 CO_2 有较高的利用能力。

在饱和光强及饱和 CO_2 下的 P_n 是由光合机构 RuBP 最大再生能力决定的, 根据图 2 可以推算出‘里维尔’有较高的 RuBP 最大再生速率。

这 4 种蓝莓的 CO_2 补偿点均较高(表 1), 是典型的 C_3 植物。

从图 2 中看出, 4 个品种的光合最适温度‘里维尔’最高, 为 30°C , 其余品种均在 23°C 左右。光合适温范围, ‘里维尔’极宽, 为 $23 \sim 35^\circ\text{C}$; ‘泽西’最窄, 为 $20 \sim 25^\circ\text{C}$; ‘日出’、‘乔治亚吉姆’为 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 。

由表 1 可看出, ‘泽西’的光合能力最大, 但 P_n 不是最高, 这是其较高的气孔限制所致。

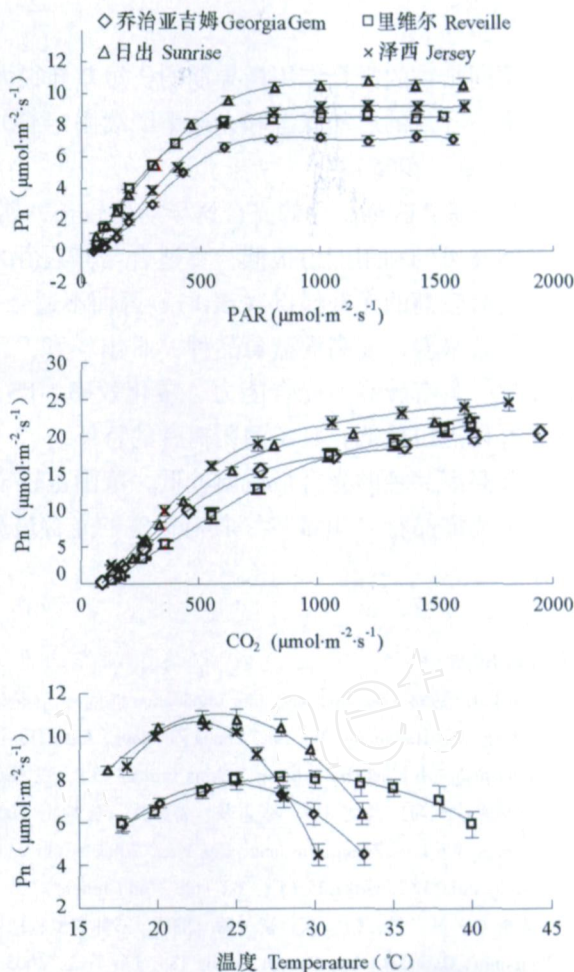


图 2 蓝莓光合—光强、光合— CO_2 、光合—温度响应曲线

Fig. 2 Responses of net photosynthetic rate in high-bush blueberry to different photosynthetic active radiation, CO_2 concentrations and leaf temperatures

表 1 高灌蓝莓品种的主要光合参数

Table 1 Photosynthetic parameters in four cultivars of high-bush blueberry

品种 Cultivars	P_n ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光合能力 Photosynthetic capacity ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔限制值 Stomatal limitation value (%)	表观量子效率 Apparent quantum yield	羧化效率 Carboxylation efficiency	PS 最大光化学效率 Maximal photochemical efficiency of PS	CO_2 补偿点 CO_2 compensation point ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光 Light ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 饱和光强 补偿点 Saturation light Compensation point
乔治亚吉姆 Georgia Gem	7.29 \pm 0.4	12.8 \pm 0.6	43.04 \pm 3.2	0.0131 \pm 0.002	0.1045 \pm 0.03	0.81 \pm 0.023	89.44 \pm 13	800 67.42 \pm 11
里维尔 Reveille	8.40 \pm 0.3	10.1 \pm 0.5	16.83 \pm 1.2	0.0248 \pm 0.003	0.1059 \pm 0.04	0.82 \pm 0.007	121.25 \pm 14	600 43.91 \pm 11
日出 Sunrise	10.47 \pm 0.8	14.4 \pm 0.9	27.29 \pm 2.8	0.0198 \pm 0.004	0.1476 \pm 0.01	0.83 \pm 0.011	110.51 \pm 8	800 18.22 \pm 10
泽西 Jersey	9.20 \pm 0.6	15.2 \pm 0.7	39.42 \pm 3.1	0.0180 \pm 0.003	0.1828 \pm 0.02	0.83 \pm 0.014	101.62 \pm 17	800 79.52 \pm 13

3 讨论

不同植物的光合作用诱导期的长短差异很大,短的仅几分钟,长的可达1 h以上,它们的光合活化速率、叶片的启动状态和光斑下继续固定 CO_2 的能力差别很大(Chazdon, 1988; Mott et al, 1997; 李鹏民等, 2005)。

4个高灌蓝莓品种的光合诱导期均较长,属光合诱导较慢型植物,它们在多云天气对瞬间的阳光和林间光斑的利用能力很低,不适合与其它乔木树种间作。此外,除‘日出’品种外,其它的3个品种均有较高的光补偿点(表1),因而不适合在遮阴处栽培及密植。

综合来看,北高灌蓝莓品种‘日出’和‘泽西’与南高灌蓝莓‘里维尔’和‘乔治亚吉姆’品种相比,具有较高的光合能力、羧化效率、PS 最大光化学效率和较高的饱和光强,此外‘日出’的光补偿点也最低,具备耐阴树种的特征。

北高灌品种的光合最适温较低,范围也较窄(23~25),不适合在南方高温地区引种。相比之下,南高灌品种‘里维尔’具有极宽的光合最适温度范围(23~35),这拓宽了该品种引种的区域范围。

References

- Chazdon R L. 1988. Sunfleck and their importance to forest understory plants. *Adv. Ecol. Res.*, 18: 1 - 63.
- Li Ya-dong, Liu Hai-guang, Wu Lin, Zhang Zhi-dong, Jiang Hui-tie, Li Chun-lei. 2005. Preliminary report on regional trial of highbush and semi-highbush blueberry cultivars. *China Fruits*, (3): 17 - 20. (in Chinese)
- 李亚东, 刘海广, 吴林, 张志东, 姜惠铁, 李春雷. 2005. 高丛和半高丛越桔品种区域试验初报. *中国果树*, (3): 17 - 20.
- Li Ya-dong, Wu Lin, Zhang Zhi-dong, Cui Ying. 2003. Cultivar evaluation of three different Introduced types of blueberry. *Journal of Jilin Agricultural University*, 25 (1): 62 - 65. (in Chinese)
- 李亚东, 吴林, 张志东, 崔营. 2003. 三种类型越桔引种栽培品种评价. *吉林农业大学学报*, 25 (1): 62 - 65.
- Li Pengmin, Gao Hui-yuan, Zou Qi, Wang Tao, Liu Yong. 2005. The photosynthetic characteristics of five species of *Cymbidium*. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (1): 151 - 154. (in Chinese)
- 李鹏民, 高辉远, 邹琦, 王滔, 刘永. 2005. 五种国兰光合特性. *园艺学报*, 32 (1): 151 - 154.
- Mott K A, Snyder G W, Woodrow I E. 1997. Kinetics of Rubisco activation as determined from gas-exchange measurements in antisense plants of *Arabidopsis thaliana* containing reduced levels of Rubisco activase. *Aust. J. Plant physiol.*, 24: 811 - 818.
- Yuan Zhao-he. 2003. Production history and development tendency of blueberry in the world. *Deciduous Fruit*, 35 (1): 49 - 52. (in Chinese)
- 苑兆和. 2003. 世界蓝莓生产历史与发展趋势. *落叶果树*, 35 (1): 49 - 52.