

5-氨基乙酰丙酸对兔眼蓝莓光合性能及果实产量和品质的影响

韦继光, 於虹, 张晓娜, 姜燕琴, 曾其龙

(江苏省中国科学院植物研究所, 江苏省植物迁地保护重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要:以 12 年生兔眼蓝莓品种‘园蓝’为试材, 研究了花后喷施 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对植株光合性能及果实产量和品质的影响。结果表明:喷施 300 mg/L ALA 处理对兔眼蓝莓光合能力和产量的促进作用最大, 叶片叶绿素含量相对值、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率分别比对照提高 4.5%、19.8%、19.4%和 19.5%, PSII 最大光化学效率(F_v/F_m)和 PSII 的有效光量子产额[Y(II)]分别比对照上升 0.7%、10.9%, 果实纵径、横径、单果重和单株产量分别比对照高 3.0%、3.3%、8.3%和 8.1%。适量外源 ALA 可在一定程度上提高兔眼蓝莓果实可溶性糖含量, 降低果实酸度, 果实维生素 C 含量因果实变大而降低, 低浓度和高浓度 ALA 处理果实总酚和总黄酮含量较高。由此推测适量 ALA 通过增强兔眼蓝莓光合效能, 提高果实大小, 从而提高产量, 并改善部分品质指标。

关键词:5-氨基乙酰丙酸;兔眼蓝莓;光合性能;产量;果实;大小;品质;指标

中图分类号:S 663.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)16-0009-04

兔眼蓝莓(*Vaccinium ashei* Reade)属杜鹃花科(Ericaceae)越桔属(*Vaccinium* L.)多年生灌木类小浆果果树, 原产美国东南部, 是适合我国长江以南地区种植的栽培类群^[1]。因其果实具有极高的营养保健价值和经济价值而受到越来越广泛的关注^[2]。在我国长江以南地区, 由于夏季高温强辐射, 兔眼蓝莓在 7 月上中旬至 9 月上中旬期间光合作用降低, 生长缓慢, 产量下降。因此, 探索克服或缓解夏季高温减产的物理或化学途径, 对于兔眼蓝莓栽培实践具有重要意义。

5-氨基乙酰丙酸(5-aminolevulinic acid, ALA)是所有卟啉化合物生物合成的关键前体^[3]。ALA 除了与植物光合作用有关外, 它还具有调节植物生长发育的功能, 因而被看作是一种新的植物生长调节物质^[4]。研究证实 ALA 可以调节叶绿素的合成, 提高叶绿素和 PSII 的稳定性, 提高光合效率, 促进作物生长^[5], 并能增强植物

对低温^[6]、盐碱^[7]、弱光^[8]、干旱^[9]等逆境的抗性, 提高作物产量并改善品质。但花后喷施 ALA 对兔眼蓝莓植株光合能力、果实产量及品质的影响的相关研究国内外尚鲜见报道。该研究以 12 年生兔眼蓝莓品种‘园蓝’为试材, 探讨花后外源 ALA 喷施对兔眼蓝莓光合性能及果实相关指标的影响, 以期 ALA 在兔眼蓝莓栽培调控中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2013 年 6 月在江苏省南京市六合区瓜埠镇蓝莓果园进行, 北纬 32°26'53", 东经 118°91'54", 土壤为黄棕壤, 0~15 cm 土层 pH 5.2, 有机质含量 1.9%, 土壤总氮、速效磷、速效钾含量分别为 1.05 g/kg、13.7 mg/kg 和 81.7 mg/kg。

1.2 试验材料

供试材料为 12 年生兔眼蓝莓‘园蓝’品种。

1.3 试验方法

试验设置 ALA 浓度 150、300、450、600 mg/L 共 4 种处理, 以清水处理为对照(CK)。单株小区, 3 次重复。各处理溶液中均含 0.01%(V/V)吐温。ALA 喷施时间在光线较弱的傍晚, 喷洒叶背与叶面均全部被湿润, 液体开始下滴为度。于花后坐果期全株喷施, 每隔 7 d 喷施 1 次, 于每次喷施后第 5 天测定取样, 共喷施 3 次。灌溉、施肥、除草等按正常田间管理进行。

第一作者简介:韦继光(1978-), 男, 广西都安人, 博士, 助理研究员, 现主要从事蓝浆果栽培生理等研究工作。E-mail: wjg728@126.com.

责任作者:於虹(1968-), 女, 博士, 研究员, 现主要从事小浆果引种驯化和利用等研究工作。E-mail: njyuhong@vip.sina.com.

基金项目:江苏省科技厅产学研联合创新资金-前瞻性联合研究资助项目(BY2012212);国家农业部公益性行业(农业)科研专项资助项目(201103037);江苏省基础研究计划(自然科学基金)资助项目(BK20130733)。

收稿日期:2014-04-16

1.4 项目测定

1.4.1 叶片光合特性测定 于每次喷施后第5天,选取晴朗无云、阳光充足的上午8:30~10:30,采用便携式气体交换系统 LI-6400XT(LI-COR, USA)测定株丛外围同一部位延长枝中部功能叶片的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间二氧化碳浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)等气体交换参数。测定时叶室温度控制在(25±1)℃,光照强度控制在1500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,大气环境 CO_2 浓度为(380±10) $\mu\text{mol}/\text{mol}$,相对湿度(RH)为50%~60%。采用便携式调制荧光仪 OS1p(OPTI-SCIENCES, USA)测定叶绿素荧光诱导动力学参数。叶片叶绿素含量利用便携式叶绿素测定仪 CCM-200(OPTI-SCIENCES, USA)测定。

1.4.2 产量估测 于第1次喷施 ALA 后统计单株果实总数,于盛果期选取树体外围东、西、南、北4个方位采收成熟果实,每处理每重复随机取30个果实用于测定果实大小及品质,测定重复2次。单株产量=单株果实总数×单果重。

1.4.3 果实品质测定 果实可溶性固形物含量用 WYT 型手持折射仪测定;维生素C含量采用钼蓝比色法测定;果实可滴定酸含量用酸碱滴定法测定。从15~

20个蓝莓果实中准确称取果肉5.00g,用20mL 60%乙醇研磨匀浆,超声波浸提0.5h,4000 r/min 离心10min,剩余残渣用10mL 60%乙醇重新悬浮离心,重复2次,合并上清液,定容至50mL,即为样品提取液,用于总酚及总黄酮含量测定。总酚含量采用 Folin-Cioealtea 法^[10]测定;总黄酮含量参照 Chang 等^[11]的方法测定。

1.5 数据分析

试验数据使用 Excel 2003、Sigmaplot 10.0 软件进行处理、绘图,用 SPSS 16.0 软件进行统计分析,使用 Duncan 新复极差法检验不同处理间的差异显著性($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 ALA 处理对兔眼蓝莓叶片光合特性的影响

2.1.1 ALA 处理对兔眼蓝莓叶片气体交换的影响 由表1可知,与对照相比较,喷施300mg/L ALA 处理下叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)分别升高了19.8%、19.4%和19.5%,而胞间二氧化碳浓度(Ci)下降了2.7%($P>0.05$),表明喷施300mg/L 处理有利于提高叶片气体交换性能,从而使叶片合成并输出较多的光合产物。

表1 ALA 处理对兔眼蓝莓叶片气体交换的影响

Table 1 Effect of ALA treatments on the gas exchange parameters of *Vaccinium ashei* Reade

ALA 处理 ALA treatment /mg · L ⁻¹	净光合速率 Net photosynthetic rate / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔导度 Stomatal conductance / $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	胞间二氧化碳浓度 Interacellular CO ₂ concentration / $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	蒸腾速率 Transpiration rate / $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
0(CK)	8.32 a	0.108 a	224 a	2.97 a
150	5.93 b	0.061 b	193 c	1.90 b
300	9.97 a	0.129 a	218 ab	3.55 a
450	8.57 a	0.105 a	208 b	2.91 a
600	8.81 a	0.118 a	227 a	3.21 a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在0.05水平上显著差异。以下同。

Note: Values within a column followed by different lowercase letters mean significantly different at $P \leq 0.05$. The same below.

2.1.2 ALA 处理对兔眼蓝莓叶片叶绿素含量相对值的影响 从表2可以看出,第2、3次喷施300mg/L ALA 处理下叶片叶绿素含量相对值分别比对照提高了11.6%和2.8%($P>0.05$),过高浓度 ALA 处理则会降低叶片叶绿素含量相对值,表明适宜浓度 ALA 喷施处理可以在一定程度上促进叶绿素的合成,从而提高叶片

表2 ALA 处理对兔眼蓝莓叶片
叶绿素含量相对值的影响Table 2 Effect of ALA treatments on
the chlorophyll content index of *Vaccinium ashei* Reade

ALA 处理 ALA treatment/mg · L ⁻¹	叶绿素含量相对值 Relative chlorophyll content		
	第1次喷施	第2次喷施	第3次喷施
0(CK)	43.6 a	38.8 a	36.1 a
150	40.6 a	40.8 a	35.7 a
300	43.4 a	43.3 a	37.1 a
450	42.6 a	40.9 a	34.9 ab
600	39.7 a	31.9 b	27.6 b

叶绿素含量。

2.1.3 ALA 处理对兔眼蓝莓叶片叶绿素荧光参数的影响 由表3可知,各 ALA 处理中,喷施300mg/L ALA 处理最有利于提高 PSII 最大光化学效率(F_v/F_m)和 PSII 的有效光量子产额[Y(II)],分别比对照增高了0.7%、

表3 ALA 处理对兔眼蓝莓叶片
叶绿素荧光参数的影响Table 3 Effect of ALA treatments on
the chlorophyll fluorescence parameters of *Vaccinium ashei* Reade

ALA 处理 ALA treatment /mg · L ⁻¹	最大光化学效率 F_v/F_m			有效光量子产额 Y(II)		
	第1次 喷施	第2次 喷施	第3次 喷施	第1次 喷施	第2次 喷施	第3次 喷施
0(CK)	0.812 a	0.788 a	0.748 ab	0.713 a	0.593 a	0.452 a
150	0.805 b	0.788 a	0.759 ab	0.726 a	0.600 a	0.494 a
300	0.811 ab	0.790 a	0.765 ab	0.729 a	0.648 a	0.572 a
450	0.806 ab	0.790 a	0.766 a	0.726 a	0.480 b	0.506 a
600	0.807 ab	0.789 a	0.739 b	0.724 a	—	0.513 a

10.9% ($P>0.05$), 表明适宜浓度 ALA 处理可以改善 PSII 的光合性能, 提高植株光合效率。

2.2 喷施 ALA 对兔眼蓝莓果实大小及产量的影响

从表 4 可以看出, 随 ALA 处理的浓度升高, 兔眼蓝莓果实纵径、横径、单果重和单株产量均呈现先升后降的趋势, 其中喷施 300 mg/L ALA 处理时果实纵径、横径、单果重和单株产量最高, 分别比对照高 3.0%、3.3%、8.3% 和 8.1% ($P>0.05$), 表明适宜浓度 ALA 处理可以促进果实生长, 提高单果重量和单株产量。而 ALA 施用浓度过高则会对果实大小和产量产生不利影响。

表 4 ALA 处理对兔眼蓝莓果实大小及产量的影响

Table 4 Effect of ALA treatments on the berry size and yield of *Vaccinium ashei* Reade

ALA 处理 ALA treatment /mg · L ⁻¹	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/mm	果实横径 Fruit equatorial diameter/mm	单果重 Single fruit weight/g	单株产量 Yield of per plant/kg
0(CK)	11.48 a	13.53 a	1.21 a	8.27 ab
150	11.68 a	13.79 a	1.27 a	8.53 ab
300	11.82 a	13.97 a	1.31 a	8.94 a
450	11.45 a	13.50 a	1.21 a	8.29 ab
600	11.47 a	13.46 a	1.19 a	8.11 b

表 5 ALA 处理对兔眼蓝莓果实品质的影响

Table 5 Effect of ALA treatments on the fruit quality of *Vaccinium ashei* Reade

ALA 处理 ALA treatment /mg · L ⁻¹	可溶性固形物含量 Soluble solid content/%	可溶性总糖含量 Total sugar content/%	维生素 C 含量 Vitamin C content /mg · (100g) ⁻¹ FW	可滴定酸含量 Titratable acid content/%	总酚含量 Total phenols content /mgGAE · g ⁻¹ FW	总黄酮含量 Total flavonoid content /mgQE · g ⁻¹ FW
0(CK)	13.4 a	9.24 a	34.25 a	0.63 a	3.15 a	0.59 ab
150	13.7 a	10.13 a	30.04 a	0.51 b	3.43 a	0.60 ab
300	13.5 a	10.17 a	29.65 a	0.47 b	3.14 a	0.54 b
450	13.8 a	10.48 a	31.26 a	0.46 b	3.05 a	0.59 ab
600	13.0 a	9.13 a	32.33 a	0.62 a	3.42 a	0.66 a

注: 总酚含量以没食子酸当量值(GAE)表示, 总黄酮含量以槲皮素当量值(QE)表示。

Note: Total phenolic content was expressed as mg GAE(gallic acid equivalent)FW. Total flavonoid content was expressed as mg QE(Quercetin equivalents)FW.

3 讨论与结论

多数研究表明, 不管是在正常栽培条件下^[12]还是在逆境下^[13-15], 外源施用适量 ALA 可增强植物的光合性能, 促进植物生长。该研究中喷施 300 mg/L ALA 处理时叶片叶绿素含量最高, 气体交换性能最强, 并且 PSII 最大光化学效率(F_v/F_m)和 PSII 有效光量子产额[Y(II)]值最大, 说明适宜浓度外源 ALA 处理通过提高叶片叶绿素含量、提高 PSII 光能转换效率和 PSII 潜在活性、降低光抑制程度, 从而增强兔眼蓝莓叶片光合能力, 有利于合成积累较多光合同化产物。

在该试验中, 喷施 300 mg/L ALA 处理时果实纵径、横径、单果重和单株产量最高, 表明适量 ALA 处理可以促进兔眼蓝莓果实生长, 提高单果重量和单株产量。这与对枣树和番茄的研究结果相似^[16-17]。结合叶片光合性能进行分析, 可以推测适量 ALA 处理下光合

2.3 ALA 处理对兔眼蓝莓果实品质的影响

由表 5 可知, 喷施 150~450 mg/L ALA 处理果实可溶性固形物含量略高于对照, 而 600 mg/L ALA 处理则降低了果实可溶性固形物含量($P>0.05$)。果实可溶性总糖含量表现为随 ALA 浓度增加呈先升后降趋势, 450 mg/L ALA 处理下果实可溶性总糖含量最高, 与对照相比提高了 13.4% ($P>0.05$)。维生素 C 含量和可滴定酸含量均表现出随 ALA 浓度升高呈先降后升的趋势, 300 mg/L ALA 处理的维生素 C 含量最低, 果实可滴定酸含量在 450 mg/L ALA 处理时最低。上述结果表明, 喷施 ALA 可在一定程度上提高糖等可溶性物质的含量, 从而显著降低果实酸度, 但果实维生素 C 含量因果实变大而降低。

随喷施 ALA 处理浓度的升高, 果实总酚和总黄酮含量呈“N”型变化, 喷施低浓度和高浓度 ALA 处理有利于提高果实总酚和总黄酮含量, 而中等浓度 ALA 处理时果实总酚和总黄酮含量有所降低, 其中 450 mg/L ALA 处理时果实总酚含量最低, 300 mg/L ALA 处理时果实总黄酮含量最少, 但与对照无显著差异($P>0.05$)。

效能增强, 果实增大是兔眼蓝莓产量提高的主要原因。

在枣树^[16]、番茄^[18]、梨^[19]等植物上的研究表明, 外源 ALA 施用不仅能提高果实产量, 而且能改善其品质。该试验结果表明, 适量外源 ALA 可在一定程度上提高兔眼蓝莓果实可溶性糖等可溶性物质的含量, 从而显著降低果实酸度, 但果实维生素 C 含量因果实变大而降低。该研究喷施低浓度和高浓度 ALA 有利于提高兔眼蓝莓果实总酚和总黄酮含量, 而中等浓度 ALA 处理果实总酚和总黄酮含量较低, 表明 ALA 对总酚和总黄酮的影响较为复杂。上述指标除果实酸度外均没有达到显著差异水平, 这可能与喷施时期及施用次数有关, 有待进一步研究。

参考文献

- [1] 於虹, 顾娟, 贺善安. 我国南方地区越橘栽培现状与发展展望[J]. 中国果树, 2009(3): 68-70, 72.
- [2] Sun L Q, Ding X P, Qi J, et al. Antioxidant anthocyanins screening

through spectrum-effect relationships and DPPH-HPLC-DAD analysis on nine cultivars of introduced rabbiteye blueberry in China [J]. Food Chemistry, 2012, 132: 759-765.

[3] Castelfranco P A, Beale S I. Chlorophyll biosynthesis: recent advances and areas of current interest [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1983, 34: 241-278.

[4] 汪良驹, 姜卫兵, 章镇, 等. 5-氨基乙酰丙酸的生物合成和生理活性及其在农业中的潜在应用[J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(3): 185-192.

[5] Hotta Y, Tanaka T, Takaoka H, et al. New physiological effects of 5-aminolevulinic acid in plants: the increase of photosynthesis, chlorophyll content, and plant growth [J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1997, 61(12): 2025-2028.

[6] Balestrasse K B, Tomaro M L, Batlle A, et al. The role of 5-aminolevulinic acid in the response to cold stress in soybean plants [J]. Phytochemistry, 2010, 71(17-18): 2038-2045.

[7] 李翠, 冯新新, 张治平, 等. 转 YHem1 番茄植株耐盐性的研究[J]. 园艺学报, 2012, 39(10): 1937-1948.

[8] 孙永平, 魏震宇, 张治平, 等. ALA 对遮荫条件下西瓜幼苗强光抑制的保护效应[J]. 西北植物学报, 2008, 28(7): 1384-1390.

[9] 张春平, 何平, 袁凤刚, 等. 外源 5-氨基乙酰丙酸对干旱胁迫下甘草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(8): 1603-1610.

[10] 胡君萍, 杨建华, 王新玲, 等. 新疆沙枣果实不同部位总酚的含量测定[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 220-222.

[11] Chang C C, Yang M H, Wen H M, et al. Estimation of total flavonoid

content in propolis by two complementary colorimetric methods [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2002, 10(3): 178-182.

[12] Memon S A, Hou X L, Wang L J, et al. Promotive effect of 5-aminolevulinic acid on chlorophyll, antioxidative enzymes and photosynthesis of Pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* var. *communis* Tsen et Lee) [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2009, 31(1): 51-57.

[13] Wang L J, Jiang W B, Huang B J. Promotion of 5-aminolevulinic acid on photosynthesis of melon (*Cucumis melo*) seedlings under low light and chilling stress conditions [J]. Physiologia Plantarum, 2004, 121(2): 258-264.

[14] Naeem M S, Jin Z L, Wan G L, et al. 5-aminolevulinic acid improves photosynthetic gas exchange capacity and ion uptake under salinity stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Plant and Soil, 2010, 332(1-2): 405-415.

[15] Liu D, Pei Z F, Naeem M S, et al. 5-aminolevulinic acid activates antioxidative defence system and seedling growth in *Brassica napus* L. under water-deficit stress [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2011, 197(4): 284-295.

[16] 郭珍, 徐福利, 汪有科. 5-氨基乙酰丙酸对枣树生长发育、产量和品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 93-96.

[17] 郭晓青, 李超汉, 李青竹, 等. 叶面喷施 5-氨基乙酰丙酸对遮阴条件下番茄生长、光合特性和产量的影响[J]. 山东农业科学, 2011(9): 30-34.

[18] 徐铭, 徐福利. 5-氨基乙酰丙酸对日光温室番茄生长发育和产量品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(9): 128-132.

[19] 申明, 段春慧, 张治平, 等. 外源 ALA 处理对‘丰水’梨疏花与果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(8): 1515-1522.

Effect of Exogenous 5-aminolevulinic Acid on Photosynthetic Capacity, Yield and Fruit Quality of *Vaccinium ashei* Reade

WEI Ji-guang, YU Hong, ZHANG Xiao-na, JIANG Yan-qin, ZENG Qi-long

(Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Jiangsu Province Key Laboratory for Plant Ex-situ Conservation, Nanjing, Jiangsu 210014)

Abstract: With 12-year old *Vaccinium ashei* Reade cultivar ‘Gardenblue’ as materials, the effect of growth regulator of 5-aminolevulinic acid (ALA) on photosynthetic capacity, berry size, yield and fruit quality were studied. The results showed that the most effective levels of ALA for promoting photosynthetic capacity and yield were 300 mg/L. Application of 300 mg/L ALA resulted in the increase of chlorophyll content index, net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate by 4.5%, 19.8%, 19.4% and 19.5%, respectively compared with control. An increase of 0.7% in the maximal photochemical efficiency of PSII (F_v/F_m) and 10.9% in the effective quantum yield of PSII [$Y(II)$] in comparison with control was registered with the treatment of 300 mg/L ALA. The increase in longitudinal diameter, fruit diameter, fruit weight and total yield per plant with 300 mg/L ALA was 3.0%, 3.3%, 8.3% and 8.1%, respectively compared with control. Appropriate exogenous ALA increased soluble sugar content, but decreased fruit titratable acid content. The decrease in fruit vitamin C content mainly caused by enlargement of berry. Low and high level ALA-treated plants accumulated higher fruit total phenolic and total flavonoids content. These results suggested that adequate exogenous ALA application improved yield of *Vaccinium ashei* Reade mainly through increasing photosynthetic capacity and berry size. Several quality parameters also improved by appropriate exogenous ALA application.

Key words: 5-aminolevulinic acid; *Vaccinium ashei* Reade; photosynthesis; yield; fruit; size; quality; index