

# 5-氨基乙酰丙酸对番茄果实品质及采后生理的影响

王 婷, 饶景萍, 宋永令, 张海燕, 邹志荣

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

**【摘要】**【目的】探讨采前外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)处理对番茄果实品质及采后生理的影响,为 ALA 在生产中的推广应用及进一步研究提供理论指导。【方法】以“金鹏超冠”番茄品种为试材,采前用 ALA(0.06 g/m<sup>2</sup>)对番茄植株进行叶面喷施处理,以喷清水为对照,研究叶面喷施 ALA 对番茄果实硬度及相关营养成分含量的影响,以及 0~1 °C 冷藏条件下果实的呼吸速率、硬度、细胞膜相对透性、丙二醛含量和过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化。【结果】ALA 可明显提高果实品质,经 ALA 处理的番茄果实可溶性固形物含量较对照提高 20.9%;果实蛋白质含量提高 31.4%;可滴定酸含量显著低于对照,果实固酸比明显提高;但对果实硬度、维生素 C 含量无明显影响。ALA 处理不影响番茄冷藏过程中呼吸高峰出现的时间,但可降低其高峰值,并维持果实硬度;ALA 处理降低了 MDA 含量和细胞膜相对透性,抑制膜脂过氧化程度;ALA 处理冷藏后期 SOD、POD、CAT 活性整体上高于对照,但差异不显著。【结论】采前 ALA 处理可提高番茄果实的品质,同时不会降低其耐贮性。

**【关键词】** 5-氨基乙酰丙酸(ALA);番茄果实;果实品质;采后生理

**【中图分类号】** S641.2

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2008)10-0127-05

## Effects of 5-aminolevulinic acid on the quality and post harvest physiology of tomato fruit

WANG Ting, RAO Jing-ping, SONG Yong-ling, ZHANG Hai-yan, ZOU Zhi-rong

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** 【Objective】 This research was conducted to study the effects of exogenous 5-aminolevulinic acid(ALA) treatment on the quality and post harvest physiology of tomato fruit to provide theoretical guidance for the development and application of ALA. 【Method】 Using ‘Jinpeng ultra-crown’ tomato as the experimental material, using ALA (0.06 g/m<sup>2</sup>) for foliar application before harvest, spraying water as a control, the effects of 5-aminolevulinic acid on fruit firmness and related nourishment composition content of tomato fruits were studied, such as soluble solid content(SSC), titratable acidity (TA), vitamin C content and protein content. The changes in respiration rate, firmness, the relative membrane permeability, MDA content, SOD, POD and CAT activities of tomatoes under 0-1 °C were investigated. 【Result】 The results indicated that application of ALA may promote the quality of tomato fruit. Compared with the control, ALA significantly improved the soluble solid content by 20.9%, decreased acid content; protein content of the fruit increased by 31.4%, but no significant effect on the firmness and vitamin C content of fruit. In addition, ALA treatment did not affect the process of the emergence of respiratory peak time, but could reduce the peak and keep the firmness of fruit during cold storage; it could decrease the MDA content

\* [收稿日期] 2007-10-15

[基金项目] 中日合作项目“ALA 在园艺作物上的应用”(14230304)

[作者简介] 王 婷(1982-),女,山西离石人,在读硕士,主要从事园艺产品采后生理与贮藏机理研究。E-mail: sxlswt@163.com

[通讯作者] 饶景萍(1957-),女,陕西城固人,教授,博士生导师,主要从事园艺产品采后生理与贮藏机理研究。  
E-mail: dqr0723@163.com

and the relative membrane permeability, inhibited the action of lipid peroxidation; but ALA treatment had little influence on SOD, POD and CAT activities. 【Conclusion】 ALA treatment before harvest can improve the quality of tomato fruit and will not reduce its storability.

**Key words:** 5-aminolevulinic acid(ALA); tomato; quality; post harvest physiology

5-氨基乙酰丙酸(5-aminolevulinic acid, ALA)是所有生物体内卟啉化合物生物合成的第一个关键前体<sup>[1]</sup>。ALA 是植物生命活动必需的、代谢活跃的生理活性物质,具有提高植物叶绿素生物合成,增强光合作用能力,提高植物对环境的适应性,增强其耐寒性和耐盐性<sup>[2-3]</sup>等优点。目前,对 ALA 的研究主要集中在植物光合效率、植株生长发育及盐胁迫上,有关其对果实品质的影响和果实采后生理及相关酶的变化研究很少,尤其 ALA 对果蔬采后耐贮性的研究尚未见报道。因此,为了探讨 ALA 对果实品质及耐贮性的影响,本试验以番茄为试材,初步研究了外源 ALA 处理对采后番茄果实品质及冷藏过程中生理变化的影响,探讨了其与植物组织抗氧化酶活性的关系,以期为 ALA 在生产中的推广应用及进一步研究提供理论依据和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料及其处理

供试番茄(*Lycopersicon esculentum*)品种为“金鹏超冠”,采前试验在陕西省杨凌示范区胡家底村温室大棚进行。番茄于 2006-08-25 播种育苗,2006-10-15 定植,植株株行距为 40 cm×60 cm,定植 1 周后开始用日本 COSMO 公司提供的外源 ALA 进行叶面喷施处理(喷施量 0.06 g/m<sup>2</sup>),以喷清水为对照(CK),每隔 2 周喷施 1 次,至果实采收时为止,其间共处理 10 次,每次处理以叶背湿润为度。每个小区面积约为 25 m<sup>2</sup>,随机区组设计,每个处理 3 次重复,共 6 个小区。

采后试验在西北农林科技大学园艺学院采后实验室分两部分进行:2007-02-26,处理和对照分别从每个小区内各选取 10 个完熟果实,每一个小区采的

果实为 1 次重复,运回实验室用于相关品质分析;2007-03-01,选择色泽均匀、大小均一、果实着色率为 70%~80%的果实,每个小区采收的果实为 1 个重复,每个重复为 10 kg 左右。采收后立即运回实验室,用聚乙烯塑料袋包装,贮藏于 0~1 ℃、相对湿度 85%~90%的冷库中。整个贮藏期间每 3 d 随机取样 1 次,用于冷藏期间相关生理指标的测定,每个重复测定 3 次,取平均值。

### 1.2 测定项目及方法

果实硬度用 FT<sub>327</sub> 型硬度计测定,可溶性固形物含量用手持折光仪测定,可滴定酸含量用酸碱滴定法测定,维生素 C 含量用钼蓝比色法测定<sup>[4]</sup>,蛋白质含量用考马斯亮蓝比色法测定<sup>[4]</sup>,呼吸速率采用 ETONG-7001 型 CO<sub>2</sub> 分析仪测定,细胞膜相对透性采用 DDX-11AT 型电导仪测定,丙二醛含量采用硫代巴比妥酸比色法测定<sup>[4]</sup>,过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性参照陈建勋等<sup>[5]</sup>的方法测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性参照高俊凤<sup>[4]</sup>的方法测定,其中 SOD 活性以抑制 NBT 光化学反应 50%为 1 个酶活性单位。以上测定均重复 3 次,取平均值,采用 EXCEL 及 DPS 数据处理系统进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 ALA 对番茄果实品质的影响

表 1 表明,采前用外源 ALA 处理,番茄果实硬度较对照高,但差异不显著;ALA 处理果实的可溶性固形物(TSS)含量为 5.2%,较对照高 20.9%,两者差异显著;ALA 处理可滴定酸(TA)含量极显著低于对照,使果实固酸比明显提高;ALA 处理果实蛋白质含量较对照高 31.4%,差异极显著;ALA 处理对果实维生素 C 含量影响不大,二者差异不显著。

表 1 ALA 对番茄果实硬度及相关营养成分含量的影响

Table 1 Effects of 5-aminolevulinic acid on fruit firmness and related nourishment composition content of tomato fruits

处理 Treatment	硬度/(kg·cm <sup>-2</sup> ) Firmness	可溶性固形物/% Soluble solid content	可滴定酸/% Acid content	维生素 C 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Vitamin C content	蛋白质含量/(μg·g <sup>-1</sup> ) Protein content
CK	2.16 Aa	4.3 Ab	0.26 Aa	171.5 Aa	3.09 Bb
ALA	2.35 Aa	5.2 Aa	0.16 Bb	178.7 Aa	4.06 Aa

注:同列数据后标不同大写字母表示差异达到  $P<0.01$  显著水平,标不同小写字母表示差异达到  $P<0.05$  显著水平。

Note: The different capital letters in the same column represent significance at  $P<0.01$ , and the different small letters represent significance at  $P<0.05$ .

## 2.2 ALA 对冷藏期间番茄果实采后生理的影响

2.2.1 呼吸速率和硬度 由图 1-A 可以看出,冷藏初期,番茄呼吸速率相对较高,而后缓慢下降,12 d 之后又缓慢上升,至冷藏 24 d 时,处理和对照同时出现了呼吸峰值,但处理的呼吸速率较对照低 11.1%。可见,ALA 处理对番茄果实呼吸高峰的出

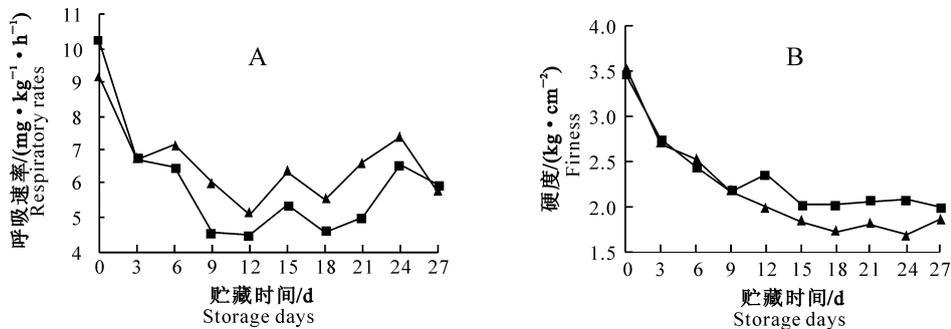


图 1 ALA 对冷藏期间番茄果实呼吸速率和硬度的影响

—▲— CK; —■— ALA

Fig. 1 Effects of ALA treatment on respiratory rates and fruit hardness of tomatoes during cold storage period

2.2.2 细胞膜相对透性和丙二醛含量 由图 2-A 可知,随着冷藏期的延长,ALA 处理和对照番茄果实的细胞膜相对透性均呈现逐渐上升趋势,其中在冷藏前期(0~21 d)变化较缓慢,处理与对照差异不显著( $P>0.05$ );贮藏至 24 d 时,对照果实的细胞膜相对透性急剧增大,由最初的 13.08% 增至 63.17%;而 ALA 处理果实的细胞膜相对透性在整个贮藏过程中变化相对平稳,且低于对照,经方差分析,贮藏 24 d 时二者差异极显著( $P<0.01$ )。

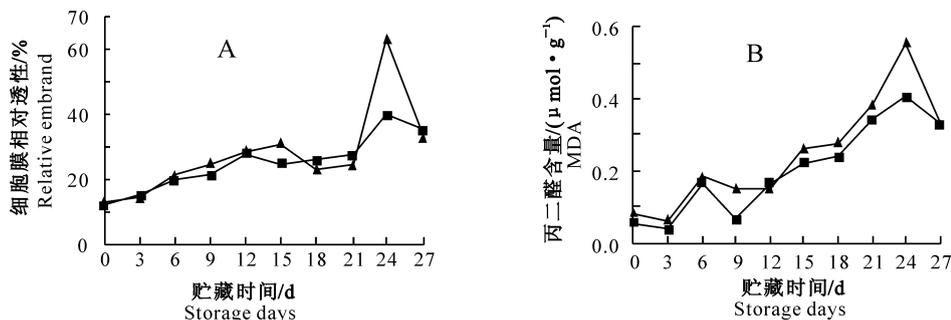


图 2 ALA 对冷藏期间番茄果实细胞膜相对透性和丙二醛含量的影响

—▲— CK; —■— ALA

Fig. 2 Effects of ALA treatment on relative membrane permeability and MDA content of tomatoes during cold storage period

2.2.3 SOD、CAT 和 POD 活性 SOD 是细胞内清除活性氧、维持氧化代谢平衡的关键酶,其活性变化常与植物受到胁迫、损伤及衰老过程联系在一起。由图 3-A 可见,在冷藏期间,ALA 处理与对照番茄果实的 SOD 活性变化趋势相似,在冷藏后 0~6 d,二者均随冷藏时间的延长而逐渐升高,这可能与低

温胁迫有关;冷藏 6 d 时,二者 SOD 活性均达最高值,且 ALA 处理较对照高 1.5%,但二者差异不显著。随后 SOD 活性又有所下降,对照于冷藏 18 d 时又上升至较高水平,达到 376.9 U/(min·g),ALA 处理的 SOD 活性也于冷藏 21 d 时上升至次峰值,方差分析结果表明,二者 SOD 活性次峰值差

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的产物之一,其能影响细胞膜结构,积累过多会对膜和细胞造成一定伤害。由图 2-B 可以看出,在整个贮藏过程中,经外源 ALA 处理的番茄果实 MDA 含量均低于对照。随着贮藏时间的延长,ALA 处理和对照果实的 MDA 含量逐渐升高,贮藏 24 d 时,二者 MDA 含量均达到峰值,对照果实的 MDA 含量迅速增加到 0.55 μmol/g,而 ALA 处理仅为 0.41 μmol/g,显著低于对照( $P<0.05$ )。

异未达显著水平( $P>0.05$ )。

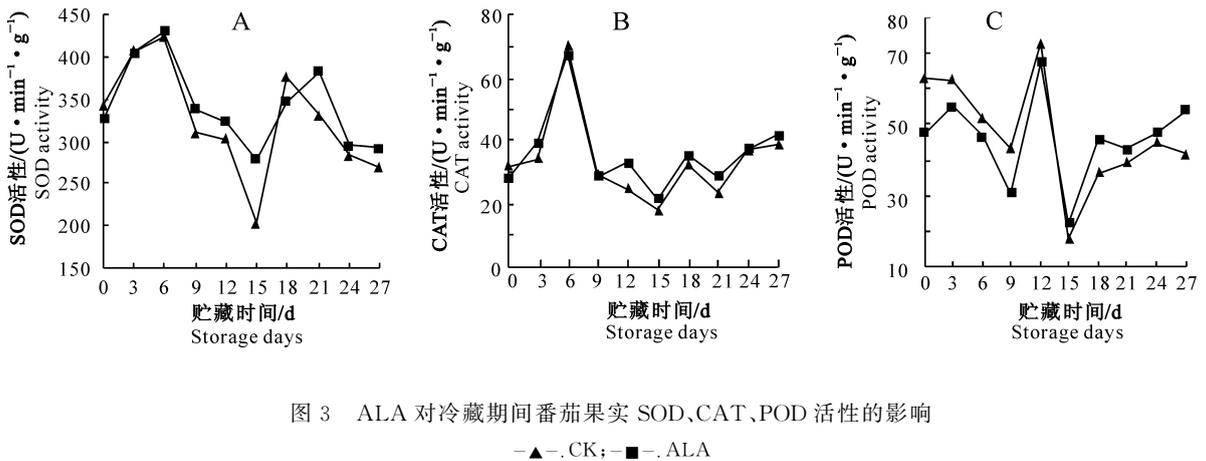


图 3 ALA 对冷藏期间番茄果实 SOD、CAT、POD 活性的影响

—▲—, CK; —■—, ALA

Fig. 3 Effects of ALA treatment on SOD, CAT and POD activities of tomatoes during cold storage period

CAT 是植物体内以  $H_2O_2$  为底物的酶,对  $H_2O_2$  分解有重要作用。由图 3-B 可以看出,在冷藏期间,ALA 处理和对照的番茄果实 CAT 活性变化趋势相似,即在冷藏前期呈上升趋势,二者均于第 6 天达到峰值,对照 CAT 活性峰值为  $69.77 U/(min \cdot g)$ ,ALA 处理为  $67.52 U/(min \cdot g)$ ,略低于对照;冷藏后期,二者 CAT 活性均呈波动变化,但 ALA 处理的 CAT 活性一直高于对照。方差分析结果表明,ALA 处理与对照的 CAT 活性仅在第 12 天时差异达到显著水平( $P<0.05$ ),其余时间差异均不显著。

由图 3-C 可以看出,在冷藏期间,ALA 处理和对照的番茄果实 POD 活性的变化趋势相似,即在冷藏前期呈上升趋势,二者均于冷藏第 12 天时出现高峰,对照的峰值高于处理,但差异不显著( $P>0.05$ );冷藏后期,二者的 POD 活性又缓慢上升,但 ALA 处理的番茄果实 POD 活性高于对照。冷藏末期番茄果实 POD 活性的上升可能是由于果实衰老引起的伤害效应。在整个冷藏过程中,ALA 处理的果实 SOD、CAT 和 POD 活性在冷藏后期整体上高于对照,但差异不显著。说明 ALA 处理在番茄果实衰老后期提高了抗氧化酶活性,但效果不明显。

### 3 讨论

糖度、酸度以及合适的固酸比是构成果实风味品质的主要因素。汪良驹等<sup>[6]</sup>在苹果上的研究发现,无论套袋与否,ALA 处理明显增加果实可溶性固形物含量,降低酸度,提高固酸比。Watanabe 等<sup>[7]</sup>在葡萄上的研究发现,经 ALA 处理后葡萄的糖含量适中,酸含量降低。本研究结果表明,采前用外源 ALA 处理,可明显改善番茄果实的品质,经

ALA 处理后番茄果实可溶性固形物含量增加,酸度减少,固酸比明显提高,能维持较好的品质,与上述结论一致。Bingshan 等<sup>[8]</sup>研究认为,ALA 可增加果聚糖含量,并认为 ALA 可能与碳水化合物的转运和贮存有关,也有助于形成多糖<sup>[9]</sup>。另外,外源 ALA 可极显著提高番茄果实蛋白质含量,这可能与 ALA 本身作为一种氨基酸类生长调节剂,参与蛋白质合成有关;但 ALA 处理对果实硬度和维生素 C 含量影响不大。

有关 ALA 对植物呼吸系统作用的研究,汪良驹等<sup>[10]</sup>认为,ALA 处理极显著提高了小白菜种子的呼吸速率,并因此促进盐胁迫下的种子萌发。另外,Hotta 等<sup>[11]</sup>认为,ALA 可在黑暗条件下出现类似抑制呼吸的现象,可使双子叶植物的小型四季萝卜在黑暗条件下呼吸量下降。本研究表明,ALA 处理对番茄果实冷藏过程中呼吸高峰出现的时间影响不大,但能有效抑制番茄果实的呼吸速率,同时维持了果实硬度。但 ALA 对植物呼吸系统的作用机理研究还不很清楚。目前,在对小球藻和高等植物的研究上认为,可能是  $\mu M$  次序的血红素阻碍了 ALA 的合成<sup>[12]</sup>,由于 ALA 是血红素合成的前体,后者是呼吸酶的一个非蛋白性辅基,推测外源 ALA 的作用可能与血红素合成有关<sup>[13]</sup>。

组织衰老与活性氧对膜的破坏密切相关,SOD、CAT 和 POD 三者相互协调,可有效清除果实代谢过程中产生的活性氧,这些酶类共同作用维持细胞内活性氧代谢的平衡,使果实内活性氧维持在一个较低水平,从而防止了活性氧引起的膜脂过氧化及其他伤害过程。Nishihara 等<sup>[14]</sup>报道,外源 ALA 处理促进了盐胁迫菠菜幼苗中 SOD、POD、抗坏血酸过氧化物酶(APX)和 CAT 等酶活性的提高;康琅

等<sup>[15]</sup>认为,ALA 处理对西瓜叶片 SOD 和 POD 活性有明显的促进作用,而与 CAT 和 APX 活性的关系不明显;刘卫琴等<sup>[16]</sup>观察发现,ALA 处理可促进草莓 SOD 和 POD 活性的提高,并降低膜脂质过氧化产物 MDA 的含量。本试验表明,ALA 处理对番茄果实保护酶活性的影响不显著,冷藏后期,SOD、POD 和 CAT 3 种保护酶活性略高于对照。关于 ALA 与 SOD、CAT 的关系还需进一步深入研究。POD 是以亚铁血红素为辅基的酶类,而 ALA 是亚铁血红素生物合成的前体,有关 ALA 诱导植物抗氧化酶活性提高的原因,目前认为,ALA 可能先转化为亚铁血红素<sup>[17]</sup>,从而提高细胞抗氧化酶活性,减少膜脂质过氧化作用,维持膜系统的完整性。由此推测,ALA 抑制番茄果实贮藏后期细胞膜相对透性和丙二醛含量的增加,可能与其提高了抗氧化酶活性有关,这有利于在一定时间内维持果实细胞内自由基代谢的稳定性,从而增强果实的抗衰老能力。

## [参考文献]

- [1] Castelfranco P A, Beale S I. Chlorophyll biosynthesis: recent advances and areas of current interest [J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1983, 34: 241-278.
- [2] Watanabe K, Tanaka T, Hotta Y, et al. Improving salt tolerance of cotton seedlings with 5-aminolevulinic acid [J]. *Plant Growth Regul*, 2000, 32: 99-103.
- [3] Hotta Y, Tanaka T, Bingshan L, et al. Improvement of cold resistance in rice seedlings by 5-aminolevulinic acid [J]. *Pest Sci*, 1998, 23: 29-33.
- [4] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.  
Gao J F. Experimental technique of plant physiology [M]. Xi'an: World Publishing Corporation, 2000. (in Chinese)
- [5] 陈建勋, 王小峰. 植物生理学实验指导 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.  
Chen J X, Wang X F. Experimental guide of plant physiology [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2001. (in Chinese)
- [6] 汪良驹, 王中华, 李志强, 等. 5-氨基乙酰丙酸促进苹果果实着色的效应 [J]. *果树学报*, 2004, 21(6): 512-515.  
Wang L J, Wang Z H, Li Z Q, et al. Effect of 5-aminolevulinic acid on enhancing apple fruit coloration [J]. *Journal of Fruit Science*, 2004, 21(6): 512-515. (in Chinese)
- [7] Watanabe K, Nishihara E, Watanabe S, et al. Enhancement of growth and fruit maturity in 2-year-old grapevines cv. Delaware by 5-aminolevulinic acid [J]. *Plant Growth Regul*, 2006, 49: 35-42.
- [8] Bingshan L, Hotta Y, Yinglan Q, et al. Effects of 5-aminolevulinic acid on the growth and ripening of wheat [J]. *Pest Sci*, 1998, 23: 300-303.
- [9] Yoshida R, Tanaka T, Hotta Y. Physiological effects of 5-aminolevulinic acid in vegetable crops [G]. Abstract of the 15th International Conference on Plant Growth Substances. Minneapolis, USA; [s. n.], 1995: 417.
- [10] 汪良驹, 石伟, 刘晖, 等. 外源 5-氨基乙酰丙酸处理对小白菜叶片光合作用的效应 [J]. *南京农业大学学报*, 2004, 27(2): 34-38.  
Wang L J, Shi W, Liu H, et al. Effects of exogenous 5-aminolevulinic acid treatment on leaf photosynthesis of pakchoi [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2004, 27(2): 34-38. (in Chinese)
- [11] 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 Biotech Biochem*, 1997, 61: 2025-2028.
- [12] 汪良驹, 姜卫兵, 章镇, 等. 5-氨基乙酰丙酸生物合成、生理活性及其在农业上的潜在应用 [J]. *植物生理学通讯*, 2003, 39(3): 185-192  
Wang L J, Jiang W B, Zhang Z, et al. Biosynthesis and physiological activities of 5-aminolevulinic acid (ALA) and its potential application in agriculture [J]. *Plant Physiol Comm*, 2003, 39(3): 185-192. (in Chinese)
- [13] 宋士清, 郭世荣. 5-氨基乙酰丙酸的生理作用及其在农业生产中的应用 [J]. *河北科技师范学院学报*, 2004, 18(2): 54-57.  
Song S Q, Guo S R. Physiological function of 5-aminolevulinic acid and its application in agriculture [J]. *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*, 2004, 18(2): 54-57. (in Chinese)
- [14] Nishihara E, Takahashi K, Nakata N, et al. Role system in NaCl treated spinach of 5-aminolevulinic acid (ALA) on active Oxygen-Scavenging (*Spinacia oleracea* L.) [J]. *Plant Physiol*, 2003, 160: 1085-1091.
- [15] 康琅, 陈云, 汪良驹. 5-氨基乙酰丙酸对秋冬季大棚西瓜叶片光合作用及抗氧化酶活性的影响 [J]. *西北植物学报*, 2006, 26(11): 2297-2301.  
Kang L, Chen Y, Wang L J. Effects of 5-aminolevulinic acid on the photosynthesis and anti-oxidative enzymes activities of the leaves of greenhouse watermelon in Summer and Winter [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2006, 26(11): 2297-2301. (in Chinese)
- [16] 刘卫琴, 康琅, 汪良驹. ALA 对草莓光合作用的影响及其与抗氧化酶的关系 [J]. *西北植物学报*, 2006, 26(1): 57-62.  
Liu W Q, Kang L, Wang L J. Effects of ALA on photosynthesis and relations to anti-oxidant enzymes of strawberry [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2006, 26(1): 57-62. (in Chinese)
- [17] Wang L J, Jiang W B, Liu H. Promotion of 5-aminolevulinic acid (ALA) on germination of pakchoi seeds under salt stress [J]. *J Integrative Plant Biol*, 2005, 47(9): 1084-1091.