

谢 荔,成学慧,陈禹平,等. 采前喷施低浓度 5-氨基乙酰丙酸促进苹果着色与改善品质的效应[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):162-165.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.01.056

采前喷施低浓度 5-氨基乙酰丙酸促进苹果着色与改善品质的效应

谢 荔¹,成学慧¹,陈禹平²,张林森³,张永旺³,王志龙⁴,汪良驹¹

(1. 南京农业大学园艺学院,江苏南京 210095; 2. 94789 部队后勤部军需处,江苏南京 210018;

3. 西北农林科技大学园艺学院,陕西杨凌 712100; 4. 陕西省乾县园艺试验站,陕西咸阳 713300)

摘要:以富士苹果为材料,研究了采前 10 d 用 10 mg/L 外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)处理对果皮花青素合成与果实品质的影响。结果表明,虽然 7 个种植户之间数据存在一定差异,但外源 ALA 处理均能不同程度改善果实着色程度,在一定范围内提高果肉可溶性固形物和可溶性糖含量,并降低可滴定酸含量。与清水对照相比,ALA 处理果实花青素平均值提高 163.22%,固酸比、糖酸比平均值均提高 1/3 左右;但是,ALA 处理对果实大小及硬度无明显影响。

关键词:5-氨基乙酰丙酸(ALA);苹果;花青苷;着色;果实品质

中图分类号:S661.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)01-0162-04

果实外观品质,特别是红色果实着色程度一直是国内外果树工作者普遍关心的重要问题。果实颜色既是一个物种或品种的典型特征,又是果实品质与成熟度的重要指标,还是消费者选购时的重要依据。近年研究表明,果皮花青素可以提高植物抗光氧化性和抗病性,经常食用花青素,对于人体健康具有良好的抗氧化、防衰老甚至抗癌等功效^[1]。由于花青素有利于人体健康,着色好的果品更受消费者欢迎。在果树生

产实践中,套袋、铺反光膜等促进果实花青素合成的生产措施已经在许多地区推广使用;但是,喷布植物生长调节物质更加简便易行。有人提出,赤霉素、脱落酸、乙烯利、茉莉酸等^[2-4]植物生长物质可以促进果实着色,甚至喷施乙醇也能促进葡萄着色;但也有报道认为,GA₃抑制果实花青素合成^[5],而其他植物生长调节物质往往导致果实提早完熟,增加采前落果率,影响果品货架期^[4],不利于果品长期贮藏。王中华等研究发现,外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)可以促进苹果果皮着色^[6-8],适宜浓度为 150~200 mg/L。这个浓度虽然能够很好诱导与果皮花青素合成有关的基因表达,促进苹果着色,但由于果树喷施用水量大,如果 1 hm² 果园需要喷水 6 000 kg,那么 1 hm² 果园需要 ALA 纯品 900~1 200 g。按照目前国内 ALA 纯品最低价 20 元/g 计算,1 hm² 果园使用的最低成本为 18 000~24 000 元,这是绝大多数果农难以承受的。为此,需要进一步调整

收稿日期:2014-07-02

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(10)111]。

作者简介:谢 荔(1984—),女,山东济南人,硕士,从事果树栽培生理研究。E-mail: litchxie@163.com。

通信作者:汪良驹,博士,教授,从事果树生长发育调节研究。Tel: (025)84395265;E-mail: wlj@njau.edu.cn。

[16] Fuentes A, Llorens M, Saez J, et al. Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilised sewage sludges[J]. Journal of Hazardous Materials, 2004, 108(3): 161-169.

[17] Hoekstra N J, Bosker T, Lantinga E A. Effects of cattle dung from farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (*Lepidium sativum* L.)[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2002, 93(1/2/3): 189-196.

[18] 侯晓龙,刘爱琴,蔡丽平,等. Pb 胁迫对富集植物金丝草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 西南林业大学学报,2013,33(5): 54-58.

[19] 何九军,王 瀚,杨小录. 重金属 Zn²⁺ 胁迫对萝卜种子萌发及幼苗生长和叶绿素合成的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(33): 20348-20350.

[20] 莫测辉,吴启堂,周友平,等. 城市污泥对作物种子发芽及幼苗生长影响的初步研究[J]. 应用生态学报,1997,8(6): 645-649.

[21] 宋玉芳,许华夏,任丽萍,等. 重金属对土壤中萝卜种子发芽与根伸长抑制的生态毒性[J]. 生态学杂志,2001,20(3): 4-8.

[22] 申荣艳,郑 正,赵长青,等. 长三角地区城市污泥施入土壤对白菜种子发芽和根伸长的影响[J]. 广东农业科学,2012(18): 43-45.

[23] 王 瀚,何九军,杨小录. 重金属铅 Pb(Ⅱ)胁迫对萝卜种子萌发及幼苗叶绿素合成影响的研究[J]. 种子,2012,31(1): 42-44.

[24] Rogovska N, Laird D, Cruse R M, et al. Germination tests for assessing biochar quality[J]. Journal of Environmental Quality, 2012, 41(4): 1014-1022.

[25] 卢必威. 萝卜的合理施肥[J]. 中国蔬菜,1982(3): 39-42.

[26] McBride M B. Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks[J]. Advances in Environmental Research, 2003, 8(1): 5-19.

[27] Su D C, Wong J C. Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni, and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge[J]. Environment International, 2003, 29: 895-900.

[28] 李 涛,蒲韵婷,王全华,等. Mn、Cu 和 Zn 在植物生长发育中的生理作用[J]. 河北农业科学,2008,12(6): 12-15.

ALA 产品配方,降低 ALA 施用浓度,力求降低农业生产成本,为该产品在农业生产上的实际应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 with 处理

试验地点设在陕西省乾县、凤翔县不同苹果承包户的果园中。其中乾县观察点,分别是阳洪镇南旦村王宽宽家果园,阳洪镇西村殷公社家果园,滇西乡安庄村张小毛、吉必存家果园,新阳乡邵刻村解振平家果园,周城镇黑里村李志敏等 6 家果园。凤翔县试验安排在田家庄刁根虎、刁录堂 2 家果园。不同种植户的生产管理水平不完全相同,但整体上符合无公害优质果品生产要求。

试验材料选用 10 ~ 20 年生富士苹果 (*Malus domestica* Borth cv. Fuji)。采取多点重复试验方式,8 个观察点中,每个观察点处理树体 20 株以上。在苹果采收前 10 d (2011 年国庆节后) 去除纸袋,随即果面喷施 10 mg/L ALA 溶液,并添加 0.05% Silwet 806 作为增效剂,以果面滴水为度;以喷施清水为对照。2011 年 10 月 13 日田间调查果实着色情况,并随机采果 10 个,空运回南京农业大学分析果实内外品质。

1.2 测定指标与方法

果实质量采用称量法测定,纵、横径采用游标卡尺法测定,果皮花青素含量采用马志本等的方法^[9]测定,果皮色差等相关参数 L^* 、 C^* 、 H^* 、 a^* 、 b^* 采用 CR-10 色差计测定,硬度采用 GY-B 果实硬度计测定,果实可溶性固形物含量用 PR-101 数显式糖度计测定,可溶性糖含量用蒽酮比色法^[10]测定,果汁可滴定酸含量用酸碱滴定法测定,最后计算出果实固酸比和糖酸比。

1.3 统计分析

所有数据均为 3 次以上重复平均值,经 SPSS 12.0 双向分组方差分析后,做 Duncan's 显著性测验。

2 结果与分析

2.1 ALA 处理促进苹果着色的田间调查

田间调查表明,8 个试验观察点处理果实的着色程度和着色面均不同程度高于各自对照。虽然在乾县有 2 个种植户反映处理效果不明显,但经所有参与调查人员仔细观察比较后认为,ALA 处理效果是明显的,因为果实背阴面,对照的着色面积小、程度浅,而 ALA 处理果实着色面积大、程度深。乾县 6 个种植户中,李志敏家果实已经采收,因而调查人员没有看到树上的果实,因而也就无法进行室内品质分析(以下统计的试验数据均为其他 5 户的),但据户主反映,ALA 处理效果明显,而且还有录像,可以证明试验效应。

田间调查还发现,试验点内富士苹果存在着多个不同的株系。有的株系,如短枝富士,本身就非常容易着色,而普通的长富 2 号,着色难度较大。虽然 ALA 处理普通长富 2 号的果实着色程度比不上短枝富士,但无论是短枝型还是普通型,ALA 处理果实着色程度均高于各自品种对照。

调查中还了解到,试验地区在药剂施用之后,先后遭遇 2 次连续阴雨过程。虽然降水量不大,但是日照时间和光照度明显不足,不利于苹果着色,特别是普通富士;因而,在这种不利于苹果着色的环境条件下,ALA 处理仍然可以促进果实

着色。

2.2 ALA 对果实外在品质的影响

表 1 结果显示,不同种植户生产的苹果果实大小,包括单果质量和纵、横径都存在明显差异,其中张小毛、吉必存、刁录堂、刁根虎家生产的果实较大,而解振平、殷公社、王宽宽家生产的果实较小,两组之间存在显著差异 ($P < 0.05$)。但是,ALA 处理几乎不影响到苹果大小,这可能与处理时苹果果实已经长足有关。从果实硬度上看,不同种植户之间果实也存在着明显差异,其中王宽宽家生产的果实硬度明显高于其他几户,但大多数种植户果实硬度之间没有显著差异。ALA 处理在多数观察点上没有影响果实硬度,只有在殷公社家显著提高了苹果果实硬度 ($P < 0.05$)。以上结果说明,采收前 10 d 左右喷施 ALA 对苹果果实的质量以及组织硬度没有太大影响。

表 1 ALA 对苹果果实大小及硬度的影响

种植户	处理	单果质量 (g)	果实横径 (cm)	果实纵径 (cm)	硬度 (kg/cm ²)
张小毛	对照	238.03abc	8.35abc	6.98abcd	8.29bc
	ALA	263.23a	8.49ab	7.39a	8.53b
吉必存	对照	219.30bcd	8.10abcd	6.75bcd	8.40b
	ALA	213.63cd	8.10abcd	6.78abcd	7.95bc
解振平	对照	196.37d	7.67de	6.59bcd	8.55b
	ALA	194.56d	7.80cde	6.42cd	8.26bc
殷公社	对照	185.56d	7.43e	6.36d	8.07bc
	ALA	188.74d	7.51e	6.71bcd	9.43a
王宽宽	对照	189.08d	7.54e	6.64bcd	9.24a
	ALA	183.85d	7.58e	6.48cd	8.68ab
刁录堂	对照	218.02bcd	7.97bede	7.04abc	8.23bc
	ALA	251.66ab	8.52ab	7.15ab	7.61c
刁根虎	对照	245.14abc	8.25abc	7.04abc	8.68ab
	ALA	251.65ab	8.57a	7.13ab	8.35b

注:同列数据后标有不同小写字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 ALA 对苹果果实表皮色泽的影响

表 2 结果显示,不同种植户生产的苹果亮度 (L^*) 没有明显差异,但是 ALA 处理显著降低果实表皮亮度 ($P < 0.05$)。在所有 ALA 处理果实中,张小毛、刁根虎家果实 L^* 最低,其次为殷公社、吉必存家果实,然后是刁录堂、解振平家果实,相比而言,王宽宽家果实 L^* 值最高。由于刁录堂、刁根虎同属于凤翔县,其余 5 户属于乾县,因而可见,苹果果实 L^* 值与地域之间没有明显关系。

从表 2 还可以看出,不同种植户生产苹果的色饱和度 (C^*) 存在明显差异,其中殷公社家生产苹果的 C^* 略大于张小毛、吉必存、解振平、王宽宽、刁录堂、刁根虎家果实。ALA 处理可以显著提高苹果色饱和度 ($P < 0.05$),这不是表现在某一家生产的苹果,而是表现在所有观察点的果实,因而,ALA 处理提高苹果色饱和度 C^* 是一种普遍性效应。不同观察点调查的 ALA 处理果实 C^* 平均值比对照高出 41.9%。

从色度角 (H^*) 上看,不同种植户间存在明显差异。其中 H^* 值较低的有张小毛、吉必存家果实,而解振平、王宽宽、刁根虎家较高,其余几家居于中间。ALA 处理后,所有果实 H^* 均明显下降,其中最低的是吉必存、解振平、张小毛和殷公社家果实,王宽宽、刁录堂家果实相对较高,只有刁根虎家果

实 H^* 仍然最高。

从红绿色差(a^*)上看,所有 7 个观察点对照果实的 a^* 值没有明显差异,但是 ALA 处理可以显著提高苹果 a^* 值水平($P<0.05$),说明 ALA 提高富士苹果的红色度也是一种普遍性效应。不同观察点 ALA 处理果实 a^* 平均值比对照高出 97.7%。

从黄蓝色差(b^*)上看,不同种植户生产的苹果存在着明显差异,其中乾县 5 户除了吉必存外,其余种植户生产的对照及大部分 ALA 处理果实 b^* 显著高于凤翔县 2 户果实。因而可能存在着乾县苹果黄蓝色差大于凤翔县的趋势,即乾县果

实更加偏黄。ALA 处理明显降低苹果果皮 b^* 值,果实偏蓝。7 个观测点 ALA 处理果实 b^* 平均值仅为对照果实的 64%。

从苹果果实色泽度(a^*/b^*)上看,所有对照果实间没有 ALA 显著差异,而 ALA 处理除王宽宽家果实与对照差异未达到显著水平外,其余观察点的差异均达到 0.05 显著水平。从平均值上看,所有 7 点处理果实 a^*/b^* 平均值比对照高出 2.33 倍,显然,ALA 处理提高了苹果果实的色泽度。

从花青素含量测定结果上看,所有观察点对照果实花青素含量间没有明显差异,然而 ALA 处理显著提高了所有观察点果实花青素含量,平均增加量为 163%,这与 a^*/b^* 结果类似。

表 2 ALA 对苹果果实色泽的影响

种植户	处理	亮度(L^*)	色饱和度(C^*)	色度角(H^*)	红绿色差(a^*)	黄蓝色差(b^*)	色泽比(a^*/b^*)	花青素含量 (nmol/cm ²)
张小毛	对照	71.60a	28.22ef	36.38cd	17.75c	21.67ab	0.85e	3.22e
	ALA	50.75d	41.90a	15.40fg	40.72a	9.43e	4.43ab	12.00b
吉必存	对照	67.28ab	25.73f	42.18bc	18.13c	17.85cd	1.04e	5.23cde
	ALA	54.37cd	40.77ab	12.05g	39.00a	11.13e	3.78b	11.12b
解振平	对照	70.65a	28.00ef	50.08a	17.33c	21.82ab	0.80e	3.77de
	ALA	58.47c	36.60bc	13.11g	33.22b	14.65d	2.38cd	6.29c
殷公社	对照	68.93ab	32.12de	44.65ab	20.92c	23.85a	0.92e	4.11de
	ALA	53.88cd	42.08a	16.09fg	38.90a	15.52d	2.56c	11.51b
王宽宽	对照	72.70a	28.95ef	51.52a	18.02c	22.38ab	0.82e	3.69de
	ALA	63.90b	35.40cd	24.44e	29.45b	19.33bc	1.54de	6.97c
刁录堂	对照	67.42ab	27.57f	48.61ab	22.00c	16.12cd	1.44e	4.66cde
	ALA	58.35c	40.22ab	22.03ef	41.35a	11.37e	3.89b	15.22a
刁根虎	对照	69.52ab	26.45f	51.00a	19.50c	17.12cd	1.18e	5.01cde
	ALA	50.85d	42.57a	33.42d	41.50a	8.78e	4.96a	15.04a

注:同列不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

2.4 ALA 处理对苹果果实糖酸含量的影响

表 3 表明,不同种植户生产的苹果可溶性固形物存在明显差异。其中吉必存、王宽宽家果实固形物含量最高,平均达 15°以上,其他几户则只有 13°左右,说明不同种植户管理水平不同,果实固形物含量不同。ALA 处理对多数种植户果实固形物含量没有明显影响,但是显著提高了解振平、殷公社家果实固形物含量($P<0.05$)。类似地,ALA 处理没有明显提

高多数种植户苹果可溶性糖含量,但是显著降低了 5 户果实可滴定酸含量,因而吉必存、解振平、殷公社、刁录堂、刁根虎家苹果固酸比显著提高,解振平、殷公社、刁录堂、刁根虎 4 户果实糖酸比显著提高。平均看来,ALA 处理苹果果实固酸比或糖酸比均可提高 1/3 左右。由于固酸比或糖酸比显著提高,苹果鲜食风味品质明显改善。

表 3 ALA 对苹果果实糖酸含量的影响

种植户	处理	可溶性固形物 (°)	可溶性糖 (%)	可滴定酸 (%)	固酸比	糖酸比
张小毛	对照	13.94c	8.26abcd	0.360a	38.60f	22.96j
	ALA	13.76c	8.70a	0.344a	39.83f	25.29ij
吉必存	对照	15.74ab	8.67a	0.223g	70.63b	38.93cd
	ALA	15.84a	8.48ab	0.199h	80.01a	42.65c
解振平	对照	10.98g	6.69g	0.279cd	39.29f	23.98j
	ALA	13.12de	7.77cdef	0.255ef	51.74d	30.54fgh
殷公社	对照	12.88ef	7.71def	0.264de	47.60de	29.31ghi
	ALA	13.62c	7.66ef	0.210gh	64.88bc	36.53de
王宽宽	对照	15.38b	8.18abcde	0.26ef	60.10c	31.85fg
	ALA	15.38b	8.35abc	0.24f	63.18c	34.31ef
刁录堂	对照	12.94ef	8.05bcde	0.297b	43.57ef	27.13hij
	ALA	12.54f	7.21fg	0.154i	82.08a	47.24b
刁根虎	对照	13.46cd	8.06bcde	0.284bc	47.43de	28.50ghi
	ALA	13.78c	8.33abc	0.163i	84.76a	51.17a

注:同列不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

3 结论

ALA 作为所有生物体内吡啶化合物生物合成的关键前体,早就引起人们的重视^[11],但是,作为一种新的植物生长调节剂,Hotta 等首先报道它具有促进植物生长、提高作物产量的功能^[12-13]。以后的研究又逐渐发现,ALA 具有提高植物抵抗低温弱光^[14]、盐渍^[15]、强光^[16]能力等功效,因而在农业生产上有重要的潜在应用价值^[17]。在果树上,汪良驹等最早报道,ALA 能够明显促进富士苹果果皮花青素积累,提高果实的固酸比且不影响果实耐贮性^[7],在 100 ~ 500 mg/L 试验浓度中,300 mg/L ALA 处理效果最明显。王中华等证实,无论是大田还是离体条件下,300 mg/L ALA 都能促进苹果果皮花青苷积累^[6]。2010 年 12 月,农业部批准笔者关于 ALA 作为 1 种天然苹果增色剂而开展新农药(植物生长调节剂)田间试验的申请(试验编号:SY 201005006),并且于 2012 年 3 月获准登记(编号:LS20120111)。在“5 省 10 点”田间试验中,笔者采用的 ALA 浓度幅度为 75 ~ 300 mg/L,其中最适宜的浓度为 150 ~ 200 mg/L^[8];但是,如果真正按照这个浓度推广于果树生产中,农业成本仍然超过绝大多数农民可以接受的范围。因而,必须调整 ALA 产品配方,降低 ALA 实际使用浓度,增加 ALA 施用效果。在本研究中,笔者在 10 mg/L ALA 溶液中添加 0.05% Silwet 806 增效剂,在陕西省乾县、凤翔县共 8 户苹果承包户中进行喷布试验,其效果表明,这样低浓度 ALA 仍然可以较好促进苹果着色,并且提高可溶性固形物和可溶性糖含量,降低可滴定酸含量,因而固酸比和糖酸比均明显增大。这与汪良驹等用 300 mg/L ALA 处理的效果^[7]相似,说明在生产中可以将 ALA 实际施用浓度降得更低,以减少农民生产成本,促进这种天然苹果增色剂在果树生产上的推广应用。如果按照现有浓度,即使 1 hm² 果园喷水 6 000 kg,ALA 纯品用量为 60 g,农业生产成本约 1 500 元,这是绝大多数种植户都可以承担的,因此,ALA 作为一种新的促进苹果着色的天然氨基酸类物质有广泛的应用前景。在葡萄上,Watanabe 等曾报道,利用 10 mg/L ALA 可以提高玫瑰露葡萄浆果含糖量和着色程度^[18],但他们提出的方法是土壤浇灌。若是叶面喷布,则需要 30 300 mg/L。因而,本试验所涉及的方法与结果均未见报道,只是用 10 mg/L ALA 处理苹果的效果与 75 300 mg/L ALA 处理相比,虽然降低了农业生产成本,但果实花青素含量增幅仅为 1 ~ 2 倍,明显低于高浓度时的 4 ~ 5 倍,因而,是否能够在降低 ALA 浓度的同时提高处理效果还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 韩海华,梁名志,王 丽,等. 花青素的研究进展及其应用[J]. 茶叶,2011,37(4):217-220.
- [2] 刘淑娴,蒋跃明,李月标,等. GA₃ 对三华李采后色泽的影响[J]. 园艺学报,1994,21(4):320-322.

- [3] 尹金华,高飞飞,胡桂兵,等. ABA 和乙烯对荔枝果实成熟和着色的调控[J]. 园艺学报,2001,28(1):65-67.
- [4] Wei Z Y, Zhang Z P, Lee M R, et al. Effect of 5-aminolevulinic acid on leaf senescence and nitrogen metabolism of pakchoi under different nitrate levels[J]. Journal of Plant Nutrition, 2012, 35(1): 49-63.
- [5] Martinez G A, Chaves A R, Añón M C. Effect of exogenous application of gibberellic acid on color change and phenylalanine ammonia-lyase, chlorophyllase, and peroxidase activities during ripening of strawberry fruit (*Fragaria × ananassa* Duch) [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1996, 3: 139-146.
- [6] 王中华,汤国辉,李志强,等. 5-氨基乙酰丙酸和金雀异黄酮促进苹果果皮花青素形成的效应[J]. 园艺学报,2006,33(5): 1055-1058.
- [7] 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.
- [8] Xie L, Wang Z H, Cheng X H, et al. 5-Aminolevulinic acid promotes anthocyanin accumulation in Fuji apples [J]. Plant Growth Regulation, 2013, 69(3): 295-303.
- [9] 马志本,程玉娥. 关于苹果果实表面花青素含量的化学测定方法[J]. 中国果树,1984(4):49-51.
- [10] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:192-195.
- [11] von Wettstein D, Gough S, Kananagura C G. Chlorophyll biosynthesis [J]. Plant Cell, 1995, 7: 1039-1105.
- [12] 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]. Biosci Biotech Biochem, 1997, 61: 2025-2028.
- [13] Hotta Y, Tanaka T, Takaoka H, et al. Promotive effects of 5-aminolevulinic acid on the yield of several crops [J]. Plant Growth Regulation, 1997, 22: 109-114.
- [14] 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.
- [15] Wang L J, Jiang W B, et al. Promotion of 5-aminolevulinic acid of germination of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* var. *communis* Tsen et Lee) seeds under salt stress [J]. J Integrative Plant Biol, 2005, 47: 1084-1091.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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 Regulation, 2006, 49(1): 35-42.