

外源 ALA 处理对‘丰水’梨疏花与果实品质的影响

申明¹, 段春慧¹, 张治平¹, 程云², 汪良驹^{1,*}, 李百健²

(¹南京农业大学园艺学院, 南京 210095; ²南京傅家边果业有限公司, 南京 211221)

摘要: 在‘丰水’梨 (*Pyrus pyrifolia*) 盛花后期, 喷布 600、900 和 1 200 mg · L⁻¹ 5-氨基乙酰丙酸 (5-aminolevulinic acid, ALA) 溶液, 可以起到疏花作用, 降低坐果率, 提高采收期果实单果质量, 改善果实品质。高浓度 ALA 处理, 可明显降低梨花柱头可授性, 提高花器官超氧阴离子的产生速率, SOD 和 CAT 活性则显著下降。离体条件下, 高浓度 ALA 可抑制梨花粉萌发。研究中还发现, 花期喷施 ALA 至少可以在 3 个月内显著提高梨树叶片光合性能。

关键词: 梨; 5-氨基乙酰丙酸; 化学疏花; 果实; 品质; 光合作用

中图分类号: S 661.2

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2011) 08-1515-08

Effects of Exogenous ALA on Thinning and Fruit Quality in ‘Hosui’ Pear (*Pyrus pyrifolia*)

SHEN Ming¹, DUAN Chun-hui¹, ZHANG Zhi-ping¹, CHENG Yun², WANG Liang-ju^{1,*}, and LI Bai-jian²

(¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Fujiabian Fruit Ltd. of Nanjing, Nanjing 211221, China)

Abstract: Spraying with exogenous 5-aminolevulinic acid (ALA) in high concentrations (600, 900 and 1 200 mg · L⁻¹) at the late of full blooming could significantly thin flowers of pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai. ‘Hosui’), and then promote fruit weight and quality at harvest. High concentrations of ALA treatment significantly reduced the stigma fertilizability of pear but increased the production rate of superoxide anion of floral organ, meanwhile, the activities of SOD and CAT were decreased greatly. *In vitro*, high concentrations of ALA inhibited pollen germination. Measurements of chlorophyll fluorescence showed that although the ALA solution was applied at blooming, leaf photosynthesis was obviously promoted in at least three months.

Key words: pear; 5-aminolevulinic acid; chemical thinning; fruit; quality; photosynthesis

为达到优质丰产稳产的目的, 绝大多数果树生产都需要疏花疏果。据报道, 日本每年在苹果人工疏除上的花费约占果园管理成本的 20% ~ 25% (王学府 等, 2006)。在中国, 近年来农村劳力价格急剧攀升, 许多地区因承受不起昂贵费用而减少了人工疏除, 这样不利于中国果品品质提高。

20 世纪 30 年代, 美国学者开始研究果树化学疏除技术。50 年代, 日本学者也开展了相应研究。

收稿日期: 2011-05-23; 修回日期: 2011-07-07

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程 (PAPD) 项目

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wlj@njau.edu.cn)

从 1970 年起, 中国开始这项研究 (罗国光, 1980), 但一直存在着药效不稳定或果实畸形等问题 (王学府 等, 2006)。寻找新的天然的环境友好型果树化学疏花剂仍是一个重要的研究课题。

5-氨基乙酰丙酸 (5-aminolevulinic acid, ALA) 是生物体内所有卟啉化合物生物合成的关键前体。低浓度 ($< 500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 时, 可促进植物叶片光合作用, 大幅度提高多种作物产量, 并增强植物抗逆性 (汪良驹 等, 2003); 高浓度 ($> 1\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 时, 可作为天然的、可自然降解的农田除草剂 (Rebeiz et al., 1984; 闫宏涛 等, 1995)。然而, 适当浓度的 ALA 能否作为果树疏花剂, 迄今未见报道。本试验中以 ‘丰水’ 梨为材料, 研究了花期喷施 $600 \sim 1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA 对坐果, 果实品质以及叶片光合作用的影响, 发现 ALA 可明显降低梨树坐果率, 提高果实品质, 具有生产应用前景。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2010 年 3—8 月在江苏省南京市傅家边农业科技园区中日友好梨园内进行, 主栽品种有 ‘丰水’、‘幸水’、‘高新’、‘明水’ 等, 每品种 1 行, 自然授粉, 树龄 10 年, 株行距 $4 \times 5 \text{ m}$, 主干疏层形整枝。黄棕壤, 肥水管理较好。选 ‘丰水’ 梨 (*Pyrus pyrifolia* Nakai. ‘Hosui’) 用于试验。

1.2 离体梨花粉萌发试验

采集 ‘丰水’ 梨开花前 1~2 d 花蕾的花药, 用硫酸纸包好, 置于变色硅胶中干燥, 待花粉散出后贮于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中备用。花粉萌发培养基的配制按照张绍铃等 (2003) 的方法进行。待培养基冷却后, 表面涂布 600 、 900 和 $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 ALA 溶液, 然后将花粉均匀撒播在培养基上, 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下培养 24 h 后, 在显微镜下观察花粉萌发率并拍照记录。

1.3 田间处理及效果测定

选取树势健壮, 生长良好, 相对一致的 ‘丰水’ 梨 4 株, 在每株树上选取 4 个相对一致的主枝。在盛花后期先调查总花朵数并标记未开放的花朵, 然后用小喷雾器分别喷布 600 、 900 和 $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 ALA 溶液于花朵上, 并以喷布清水为对照。4 次重复, 单株区组。4 个处理随机分布于东南西北 4 个不同方向。

柱头可授性的测定: ALA 处理后 4 d, 取处理时未开放梨花的花柱, 按照 Dafni 和 Maués (1998) 的方法, 将其浸入含有联苯胺—过氧化氢反应液的凹面载片的凹陷处。10~20 min 后用显微镜观察柱头的变化, 并拍照记录。每个处理重复 10 根花柱。

坐果率调查与疏果定果: 处理后 3 周, 第 1 次调查每个大枝的坐果数; 处理后 6 周, 再次调查坐果数, 并计算出各个处理的坐果率。然后, 按照梨树无公害果品生产要求 (杨洪强, 2003), 人工定果, 每个果台留 1 个果, 每 25~30 cm 留 1 个果, 同时套上外黄内黑色果套, 直到果实成熟采收。

花器官抗氧化酶活性及超氧阴离子生成速率的测定: ALA 喷布后 3 d, 采集不同处理花朵, 分别测定雄蕊和雌蕊的超氧化物歧化酶 (李合生, 2000)、过氧化氢酶、过氧化物酶 (Chances & Maehly, 1955)、抗坏血酸过氧化酶 (Asada, 1984) 活性以及超氧阴离子生成速率 (汤章诚, 2004)。每处理重复测定 8 次, 取平均值。

叶片气体交换参数和叶绿素荧光参数测定: ALA 喷布后 55、98 和 132 d, 用 CIRAS-2 (PP Systems, UK) 光合作用测定系统和植物效率分析仪 (PEA, Hansatech, UK) 分别测定叶片气体交换参数 (汪良驹 等, 2005) 和叶绿素快速诱导荧光参数 (孙永平等, 2009), 并按照 Srivastava 等 (1997) 介绍的方法进行 JIP-test 分析。光合速率测定时每处理重复 20 次, 荧光参数测定时每处理重复 15 次。

表观量子效率测定按照汪良驹等（2004）方法测定并计算表观量子效率（AQY）。每处理重复 4 次。

果实品质的测定：ALA 喷布后 132 d 采收果实，并用 PAL-1 手持折光仪（Atago, JPN）测定可溶性固形物含量，重复 10 次，取平均值；用蒽酮比色法（李合生，2000）测定可溶性糖含量，用酸碱滴定法（龙淑珍和何永群，2002）测定可滴定酸含量，用碘显色法（徐昌杰 等，1998）测定淀粉含量，用 Mishra 等（1993）的方法测定维生素 C 含量，用考马斯亮蓝 G-250 染色法（Bradford, 1976）测定可溶性蛋白含量。

2 结果与分析

2.1 ALA 对离体梨花粉萌发的影响

‘丰水’梨离体花粉在不含 ALA 的对照培养基上萌发率达 90% 以上，但在含有 $600 \sim 1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA 培养基上，基本没有萌发，说明高浓度 ALA 抑制梨花粉萌发。

2.2 盛花后期喷布 ALA 溶液对梨花朵外观形态与柱头可授性的影响

外源 ALA 溶液喷布于梨花表面，当日没有出现任何可见症状。次日下午， $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理花瓣出现褐色条斑，其他处理与对照间没有差异。3 d 时，所有处理花瓣均出现褐色条斑，其中以 $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的最为严重。4 d 时， $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的花瓣褐斑扩大，而 900 和 $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的花瓣上出现大面积褐斑，花瓣边缘干枯、卷曲，并出现脱落，对照（清水）花瓣依然正常（图 1）。ALA 处理花朵部分花药干缩褐变，不能正常开裂，柱头变褐，逐渐向下扩展，严重者可达到花柱的 $1/5 \sim 1/4$ 。表明高浓度 ALA 处理造成了梨花器官伤害，影响了授粉受精进程。

由图 2 可以看出，对照（清水）柱头周围存在大量气泡，而 $600 \sim 1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA 处理 4 d 后柱头周围气泡显著减少，暗示柱头可授性下降，并逐渐萎缩褐变。



图 1 不同浓度 ALA 处理对梨花外观形态的伤害（处理后 4 d）

Fig. 1 Injured symptoms of pear flowers 4 d after ALA treatment with different concentrations

A: H_2O ; B: $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA; C: $900 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA; D: $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA.

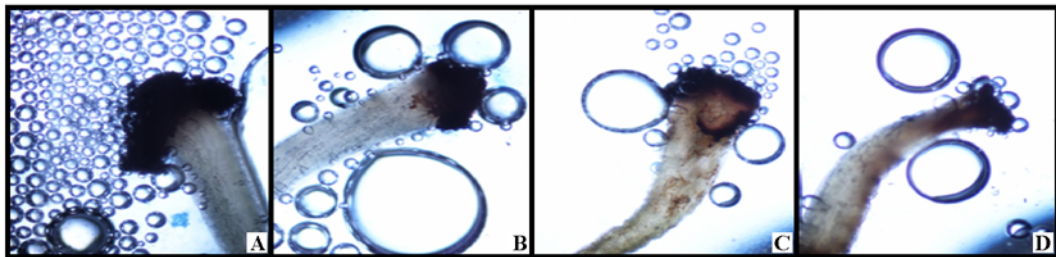


图 2 不同浓度 ALA 处理对梨花柱头可授性的影响（处理后 4 d）

Fig. 2 Stigma receptivity of pear flowers 4 d after ALA treatment with different concentrations

A: H_2O ; B: $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA; C: $900 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA; D: $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ALA.

2.3 盛花后期喷布 ALA 对梨花器官超氧阴离子生成与活性氧清除酶活性的影响

从图 3, A 可以看出, 雌蕊超氧阴离子生成速率总是高于雄蕊, 外源 ALA 能够诱导雌、雄蕊超氧阴离子生成速率显著提高 ($P < 0.05$), 而且, 两者间存在着显著正相关关系, r 分别为 0.9825 ($P < 0.05$) 和 0.9994 ($P < 0.01$), 说明高浓度 ALA 可能是梨性器官超氧阴离子大量积累的重要原因。

从图 3, B 可以看出, 雄蕊超氧化物歧化酶 (SOD) 活性远高于雌蕊, 而 ALA 处理显著降低雄蕊和雌蕊 SOD 活性。雌、雄蕊 SOD 活性与 ALA 处理浓度之间的相关系数分别为 -0.9695 和 -0.9570 ($P < 0.05$), 说明高浓度 ALA 可能是梨花 SOD 活性下降的诱因。

从图 3, C 可以看出, 外源 ALA 处理后, 雌蕊 CAT 活性显著下降 ($P < 0.05$), 而雄蕊无明显变化。相反, ALA 处理将诱导梨花雄蕊和雌蕊过氧化物酶 (POD) 活性明显上升 (图 3, D)。ALA 还诱导雄蕊抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性上升, 而对雌蕊无明显影响 (资料未列出), 说明 POD 和 APX 活性与梨花受伤害没有直接关系, 而雌蕊 CAT 活性下降可能与花器官受氧化伤害有关。

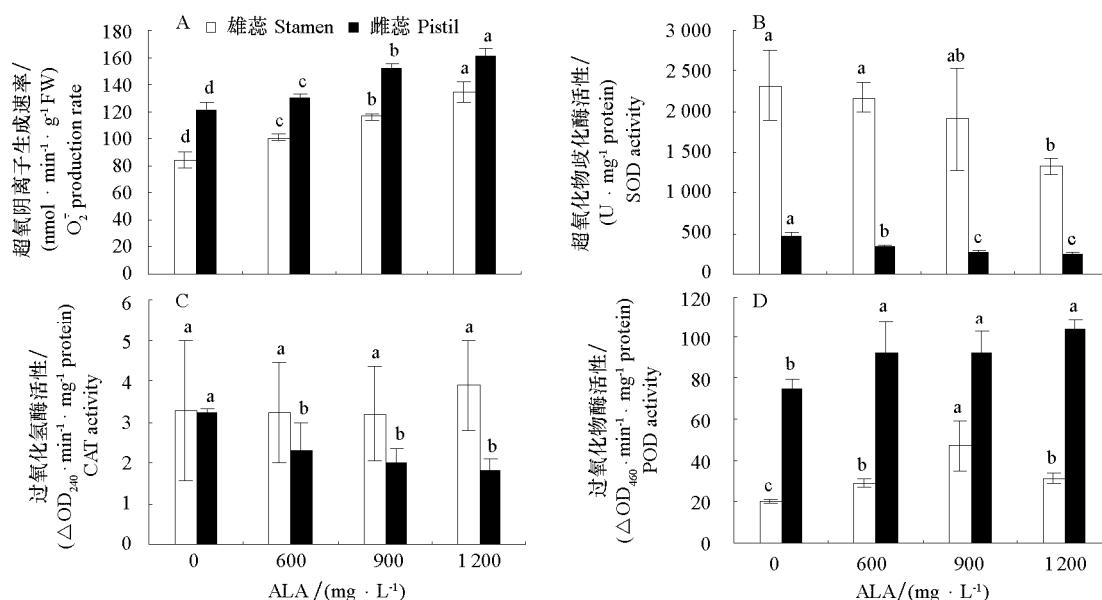


图 3 ALA 处理对梨花器官超氧阴离子生成速率 (A) 以及超氧化物歧化酶 (B)、过氧化氢酶 (C) 和过氧化物酶 (D) 活性的影响

Fig. 3 Effects of ALA treatment with different concentrations on superoxide anion production rate (A), superoxide dismutase (B), catalase (C) and peroxidase (D) activities in pear flowers

$P = 0.05$.

2.4 盛花后期喷布 ALA 处理对梨坐果率的影响

从图 4 中可以看出, 花后 3 周, 自然坐果率约为 45%, 6 周后降低为 25% 左右。

用 600 ~ 1200 mg · L⁻¹ ALA 处理, 则 3 周后坐果率为 20% ~ 30%, 6 周后降低为 10% ~ 13%, 极显著低于对照 ($P < 0.01$), 而且不同浓度之间无差异。

上述结果说明盛花后期喷布 600 mg · L⁻¹ ALA 就具有明显的疏花效应。

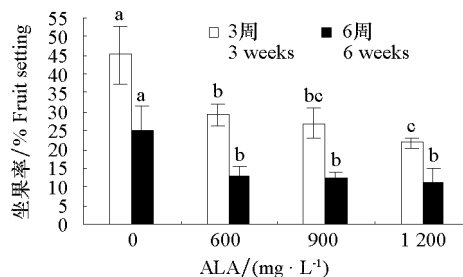


图 4 ALA 处理对‘丰水’梨坐果率的影响

Fig. 4 Effects of ALA treatment on fruit setting of ‘Hosui’ pear

$P = 0.05$

2.5 盛花后期喷布 ALA 对梨果实品质的影响

600 ~ 1 200 mg · L⁻¹ 外源 ALA 处理均能显著提高丰水梨果实大小，增加果实纵横径，其幅度约为 7% ~ 9% ($P < 0.05$)，但对果形指数没有明显影响（数据未列出）。不同浓度之间没有显著差异。

表 1 显示，不同浓度外源 ALA 处理显著提高丰水梨单果质量，其增幅为 22% ~ 27% ($P < 0.05$)。此外，ALA 处理还提高了果实内在品质，其中果实可溶性固形物含量提高 5% ~ 10%，可溶性糖含量提高 4% ~ 17%，可滴定酸含量提高 6% ~ 30%，维生素 C 含量提高 9% ~ 11%，可溶性蛋白质含量提高 5% ~ 11%。但是 ALA 处理降低了果实淀粉含量 ($P < 0.05$)，说明 ALA 可能促进了丰水梨果实中淀粉转化成可溶性糖。

表 1 盛花后期外源 ALA 处理对‘丰水’梨果实采收品质的影响

Table 1 Effects of ALA treatment at the late of full blooming on the harvested fruit quality of ‘Hosui’ pear

ALA/(mg · L ⁻¹)	单果质量/g	可溶性固形物/%	可溶性糖/%	可滴定酸/%	淀粉/(mg · g ⁻¹)	维生素 C/ (μg · g ⁻¹)	可溶性蛋白/ (mg · g ⁻¹)
Concentration	Fruit mass	Soluble solid	Soluble sugar	Titrateable acid	Starch content	Vitamin C	Soluble protein
0	187.82 ± 26.05 b	11.27 ± 0.47 b	9.22 ± 0.81 b	0.30 ± 0.01 c	0.18 ± 0.01 a	46.00 ± 1.82 b	23.57 ± 1.46 b
600	228.60 ± 28.68 a	11.83 ± 0.78 a	9.61 ± 0.47 b	0.32 ± 0.01 c	0.17 ± 0.02 ab	50.91 ± 2.28 a	25.11 ± 1.11 ab
900	229.56 ± 32.13 a	12.29 ± 0.85 a	10.14 ± 0.90 ab	0.37 ± 0.01 b	0.17 ± 0.01 ab	49.94 ± 1.20 a	24.74 ± 1.36 ab
1 200	238.57 ± 34.13 a	12.35 ± 0.70 a	10.82 ± 0.62 a	0.39 ± 0.01 a	0.15 ± 0.02 b	50.24 ± 1.07 a	26.09 ± 1.07 a

$P = 0.05$.

2.6 盛花后期喷布外源 ALA 对梨树生长期叶片光合作用的影响

盛花后期喷布高浓度 ALA 溶液除对花器官有明显的杀伤作用外，对新展幼叶也有一定的药害，但对花后生长叶片没有不良影响，相反还促进叶片的光合性能。处理后第 55、98 和 132 天，分别测定不同处理叶片光合气体交换参数和叶绿素快速诱导荧光参数，结果（图 5）表明，处理叶片净光合速率 (P_n)、表观量子效率 (AQY)、PS II 最大光化学速率 (F_v/F_m) 以及光合性能指数 (PI_{ABS}) 至少在处理第 98 天后都高于对照，其中大多数处理都达到 $P = 0.05$ 的显著水平，说明盛花后期外源 ALA 处理至少可以在 3 个月内提高梨树叶片光合能力。即使到果实采收时（盛花后 132 d），900 和

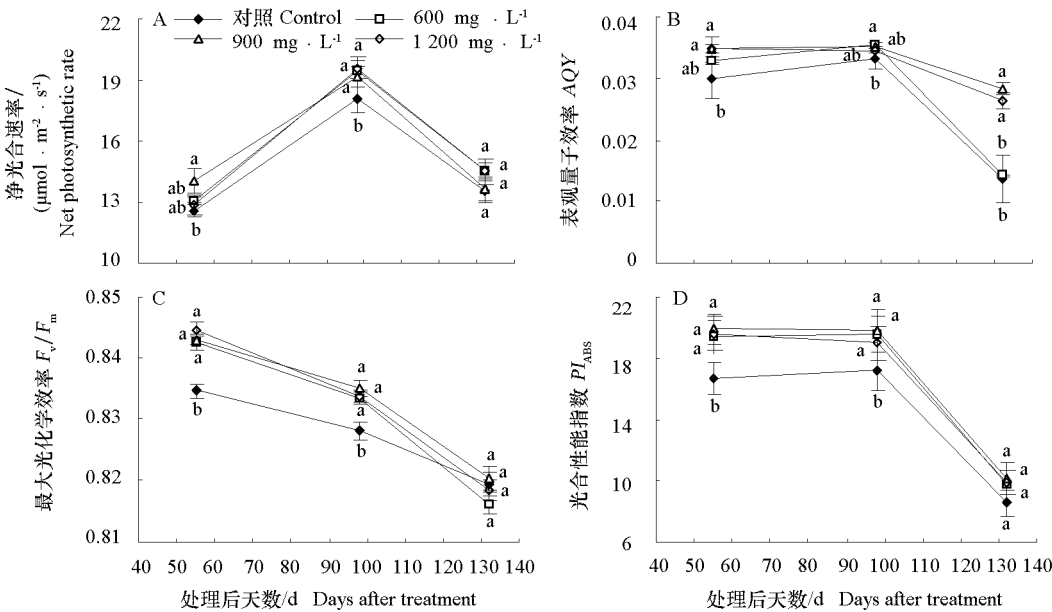


图 5 盛花后期喷布外源 ALA 对生长季节梨树叶片光合作用的影响

Fig. 5 Effects of ALA treatment at the late of full blooming on photosynthesis of pear leaves during growth season

$P = 0.05$.

1 200 mg · L⁻¹ ALA 处理叶片的 *AQY* 仍然显著高于对照 ($P < 0.05$), 说明 ALA 处理对梨树叶片光能利用效率的提高是一种长久的效应。

3 讨论

5-氨基乙酰丙酸(ALA)作为一种植物生长促进剂(Hotta et al., 1997)或者抗逆增强剂(Watanabe et al., 2000; Nishihara et al., 2003; 汪良驹 等, 2004; Wang et al., 2005)都已经大量的研究报道。此外, ALA 还可以促进苹果着色(王中华 等, 2006), 或者作为农田除草剂(Rebeiz et al., 1984; 闫宏涛 等, 1995)。本试验首次提出 ALA 具有果树疏花疏果的效应。

虽然 ALA 作为植物生长促进剂的生物学基础尚未完全阐明, 但是作为一种农田除草剂, 其除草效应可能与其转化为光敏性卟啉化合物有关, 即植物组织吸收的 ALA 在黑暗中转化为叶绿素生物合成的前体物质如原卟啉IX等, 并且在体内积累, 一旦转到光照条件下, 卟啉环上的电子云受光激活, 诱导产生大量活性氧, 引起光氧化反应, 导致植物细胞破坏, 组织枯死(闫宏涛 等, 1995)。本试验在盛花后期喷布 600 ~ 1 200 mg · L⁻¹ ALA, 可提高花器官超氧阴离子的生成速率, 同时雌蕊与雄蕊活性氧清除酶的活性也发生了变化, 特别是 SOD 和 CAT 活性下降(图 3)。这可能是柱头产生过氧化反应的重要原因。然而, 一般研究认为, ALA 提高植物抗氧化酶活性(刘卫琴 等, 2006; 刘芳 等, 2008)。这可能与 ALA 浓度有关。前人所用 ALA 一般不高于 300 mg · L⁻¹, 本研究中最低浓度为 600 mg · L⁻¹, 因而, 低浓度 ALA 处理刺激抗氧化酶活性, 高浓度 ALA 导致抗氧化酶活性下降。

观察 ALA 对离体‘丰水’梨花粉萌发的影响, 发现 24 h 内对照花粉几乎全部萌发, 而 600 ~ 1 200 mg · L⁻¹ ALA 处理的花粉基本没有萌发, 说明高浓度 ALA 对梨树花粉萌发有严重的抑制效应。然而, ‘丰水’梨是一个严格异花结实品种(邵明灿 等, 2002), ALA 抑制‘丰水’梨花粉萌发并不是其坐果率下降主要原因。相反, ALA 处理后, 梨花萎蔫, 柱头可授性明显下降, 可能是‘丰水’梨授粉受精不良乃至落花落果的重要原因。从花后幼果脱落部位上看, 花序基部幼果坐果较好, 而上中部幼果脱落较多, 说明盛花后期喷布 ALA 对已经完成授粉受精的幼果没有影响, 而对尚未受精的花朵影响较大。因此, 花后适当推迟喷布, 可以减少 ALA 的疏果量。本试验中用 600 ~ 1 200 mg · L⁻¹ ALA 处理, 最终坐果率为 12%, 能够满足优质梨果品生产的要求。不过整体上浓度偏高, 虽然尚未见明显副作用, 但今后尚需适当降低浓度, 以便取得更好经济效益。另外, 鉴于 ALA 对花粉萌发有抑制效应, 互为授粉品种的果园不应喷布高浓度 ALA, 或者降低 ALA 使用浓度。

ALA 处理过的树体仍然有少量果实需要人工疏除, 但是人工疏除量远远低于对照树体。经人工补疏后, 对照与处理间的果实数量基本一致。另外, ALA 处理可以显著提高果实单果质量、可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、维生素 C 和可溶性蛋白质含量, 果实内在品质明显提高。ALA 之所以能够改善果品品质, 除了减少了前期养分消耗外, 还可能与其提高叶片光合性能有关。ALA 提高叶片光合速率的报道已经很多(Hotta et al., 1997; 孙永平等, 2009), 但有效期能够持续百日之久的报道尚未见到。最近发现, 将 0.05 mg · L⁻¹ ALA 喷布于菜豆植株, 2 个月后, 其叶片仍然保持较高的光合性能(孙新娥 等, 2011)。这与本试验结果相似, 说明 ALA 对光合作用的促进效应可以保持相当长的时间。

ALA 处理显著降低采收时梨果淀粉含量, 似乎意味着 ALA 处理促进果实提早成熟。然而, 采收后试验表明, ALA 处理并不影响丰水梨耐贮性。在常温(4℃)冰箱中贮藏 3 个月后, 处理果实的风味品质并不低于对照(数据未列出), 说明 ALA 处理果实虽然淀粉含量下降, 但并未导致果实早衰而影响耐贮性。

综上所述, 盛花后期外源喷布 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (甚至以下) ALA 可以疏除梨树花朵, 减少人工疏果量, 不仅可以提高果实外观品质, 并且改善内在品质。与化学合成的萘乙酸、乙烯利或西维因等传统疏花剂不同 (张建国和姬延伟, 2004), ALA 是生物体内普遍存在的内源物质。本试验中所用的产品为微生物发酵生产获得, 是一种全天然产品, 因而既可以用于无公害果品生产, 也可以用于有机果品生产。

References

- Asada K. 1984. Chloroplast: Formation of active oxygen and its scavenging. *Methods Enzymol*, 105: 422 - 429.
- Bradford M M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, 72: 248 - 254.
- Chances B, Maehly A C. 1955. Assay of catalase and peroxidase. *Methods Enzymol*, 2: 764 - 775.
- Dafni A, Maués M M. 1998. A rapid and simple procedure to determine stigma receptivity. *Sexual Plant Reproduction*, 11 (3): 177 - 180.
- Hotta Y, Tanaka T, Takaoka H, Takeuchi Y, Konnai M. 1997. New physiological effects of 5-aminolevulinic acid in plants: The increase of photosynthesis, chlorophyll content, and plant growth. *Biosci Biotech Biochem*, 61 (12): 2025 - 2028.
- Li He-sheng. 2000. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press: 167 - 169, 195 - 197. (in Chinese)
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社: 167 - 169, 195 - 197.
- Liu Fang, Guo Jing-jing, Gong Li-li, Xu Xiao-ming. 2008. Increasing resistance of rice to low temperature photoinhibition by spraying 5-aminolevulinic acid was associated with activities of antioxidant enzymes. *Chinese J Rice Sci*, 22 (4): 411 - 415. (in Chinese)
- 刘 芳, 郭晶晶, 龚丽丽, 许晓明. 2008. 5-氨基乙酞丙酸促进水稻耐低温光抑制与抗氧化酶活性有关. *中国水稻科学*, 22 (4): 411 - 415.
- Liu Wei-qing, Kang Lang, Wang Liang-ju. 2006. Effects on strawberry photosynthesis and relation to anti-oxidant enzymes of ALA. *Acta Bot Boreal-occident Sin*, 26 (1): 57 - 62. (in Chinese)
- 刘卫琴, 康 琅, 汪良驹. 2006. ALA 对草莓光合作用的影响及其与抗氧化酶的关系. *西北植物学报*, 26 (1): 57 - 62.
- Long Shu-zhen, He Yong-qun. 2002. Titratable acid and vitamin C determination and correlation of lychee. *Guangxi Agric Sci*, (4): 188 - 189. (in Chinese)
- 龙淑珍, 何永群. 2002. 荔枝可滴定酸与维生素 C 的测定及其相关性. *广西农业科学*, (4): 188 - 189.
- Luo Guo-guang. 1980. Chemical thinning on ‘Yali’ pear. *J Beijing Agric Univ*, (2): 53 - 59. (in Chinese)
- 罗国光. 1980. 鸭梨化学疏花疏果试验. *北京农业大学学报*, (2): 53 - 59.
- Mishra N P, Mishra R K, Singhal C S. 1993. Changes in the activities of anti-oxidant enzymes during exposure of intact wheat leaves to strong visible light at different temperatures in the presence of protein synthesis inhibitors. *Plant Physiol*, 102 (3): 903 - 910.
- Nishihara E, Kondo K, Parvez M M, Takahashi K, Watanabe K, Tanaka K. 2003. Role of 5-aminolevulinic acid (ALA) on active oxygen-scavenging system in NaCl-treated spinach (*Spinacia oleracea*). *J Plant Physiol*, 160 (9): 1085 - 1091.
- Rebeiz C A, Montazer-Zouhool A, Hopen H, Wu S M. 1984. Photodynamic herbicides I: Concepts and phenomenology. *Enzyme Microb Technol*, 6: 390 - 401.
- Shao Ming-can, Shen Bao-long, Lin Jing, Zhu Yong-zhi. 2002. Preliminary screening of pollination varieties of ‘Hosui’ pear. *Jiangsu Agric Sci*, (2): 55 - 56. (in Chinese)
- 邵明灿, 盛宝龙, 蔺 经, 诸永志. 2002. 丰水梨授粉品种筛选初报. *江苏农业科学*, (2): 55 - 56.
- Srivastava A, Guissé B, Greppin H, Strasser R J. 1997. Regulation of antenna structure and electron transport in PS II of *Pisum sativum* under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll a fluorescence transient: OKJIP. *Biochim Biophys Acta*, 1320: 95 - 106.
- Sun Xin-e, Shen Ming, Wang Zhong-hua, Li Cui, Zhang Zhi-ping, Wang Liang-ju. 2011. Effects of two leaf fertilizers on photosynthesis and fruit quality of kidney bean in solar greenhouse. *J Nanjing Agri Univ*, 34 (3): 37 - 42. (in Chinese)
- 孙新娥, 申 明, 王中华, 李 翠, 张治平, 汪良驹. 2011. 两种叶面肥对日光温室芸豆叶片光合作用和果实品质的影响. *南京农业大学学报*, 34 (3): 37 - 42.

- Sun Yong-ping, Zhang Zhi-ping, Xu Cheng-xiang, Shen Chun-miao, Gao Chong, Wang Liang-ju. 2009. Effect of ALA on fast chlorophyll fluorescence induction dynamics of watermelon leaves under chilling stress. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (5): 671 - 678. (in Chinese)
- 孙永平, 张治平, 徐呈祥, 申春苗, 高 充, 汪良驹. 2009. 5 - 氨基乙酰丙酸处理对低温下西瓜叶片快速叶绿素荧光诱导曲线的影响. *园艺学报*, 36 (5): 671 - 678.
- Tang Zhang-cheng. 2004. Experimental guide of modern plant physiology. Beijing: Science Press: 305 - 309. (in Chinese)
- 汤章诚. 2004. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社: 305 - 309.
- Wang Liang-ju, Jiang Wei-bing, Gao Guang-lin, Han Hao-zhang, Kuang Yi-ling, Liang Sheng-qin. 2005. Studies on leaf photosynthesis of young pear trees with various cultivars. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (4): 571 - 577. (in Chinese)
- 汪良驹, 姜卫兵, 高光林, 韩浩章, 邝易玲, 梁声琴. 2005. 幼年梨树品种光合作用的研究. *园艺学报*, 32 (4): 571 - 577.
- Wang Liang-ju, Jiang Wei-bing, Huang Bao-jian. 2004. Promotion of photosynthesis by 5-aminolevulinic acid (ALA) during and after chilling stress in melon seedlings grown under low light condition. *Acta Horticulturae Sinica*, 31 (3): 321 - 326. (in Chinese)
- 汪良驹, 姜卫兵, 黄保健. 2004. 5 - 氨基乙酰丙酸对弱光下甜瓜幼苗光合作用和抗冷性的促进作用. *园艺学报*, 31 (3): 321 - 326.
- Wang Liang-ju, Jiang Wei-bing, Zhang Zhen, Yao Quan-hong, Matsui H, Ohara H. 2003. Biosynthesis and physiological activities of 5-aminolevulinic acid (ALA) and its potential application in agriculture. *Plant Physiol Commun*, 39 (3): 185 - 192. (in Chinese)
- 汪良驹, 姜卫兵, 章 镇, 姚泉洪, 松井弘之, 小原均. 2003. 5 - 氨基乙酰丙酸生物合成和生理活性及其在农业生产中的潜在应用. *植物生理学通讯*, 39 (3): 185 - 192.
- Wang L J, Jiang W B, Liu H, Liu W Q, Kang L, Hou X L. 2005. Promotion by 5-aminolevulinic acid of germination of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* var. *communis* Tsen et Lee) seeds under salt stress. *J Integr Plant Biol*, 47: 1084 - 1091.
- Wang Zhong-hua, Tang Guo-hui, LI Zhi-qiang, Wang Liang-ju. 2006. Promotion of 5-aminolevulinic acid and genistein on anthocyanin accumulation in apples. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (5): 1055 - 1058. (in Chinese)
- 王中华, 汤国辉, 李志强, 汪良驹. 2006. 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. *园艺学报*, 33 (5): 1055 - 1058.
- Wang Xue-fu, Meng Yu-ping, Cao Qiu-fen, Zhang Yu-ping, Han Ming-yu. 2006. Advances in research on chemical thinning for apple trees. *J Fruit Sci*, 23 (3): 437 - 441. (in Chinese)
- 王学府, 孟玉平, 曹秋芬, 张玉萍, 韩明玉. 2006. 苹果化学疏花疏果研究进展. *果树学报*, 23 (3): 437 - 441.
- Watanabe K, Tanaka T, Hotta Y, Kuramochi H, Takeuchi Y. 2000. Improving salt tolerance of cotton seedlings with 5-aminolevulinic acid. *Plant Growth Regulation*, 32: 99 - 103.
- Xu Chang-jie, Chen Wen-jun, Chen Kun-song, Zhang Shang-long. 1998. A simple method for determining the content of starch-iodine colorimetry. *Biotechnology*, 8 (2): 41 - 43. (in Chinese)
- 徐昌杰, 陈文峻, 陈昆松, 张上隆. 1998. 淀粉含量测定的一种简便方法——碘显色法. *生物技术*, 8 (2): 41 - 43.
- Yan Hong-tao, Wang Bang-fa, Li Hang-jie. 1995. Studies on the synergist of photoactivation pesticide δ -aminolevulinic acid. *Bull Sci Technol*, 11 (4): 228 - 231. (in Chinese)
- 闫宏涛, 王邦法, 李汉杰. 1995. 光活化农药 δ -ALA 除草增效剂的研究. *科技通报*, 11 (4): 228 - 231.
- Yang Hong-qiang. 2003. Collection of fruit production in green and environmental friendly methods. Beijing: China Agriculture Press: 368 - 408. (in Chinese)
- 杨洪强. 2003. 绿色无公害果品生产全编. 北京: 中国农业出版社: 368 - 408.
- Zhang Jian-guo, Ji Yan-wei. 2004. Technique of chemical flower and fruit thinning of fruit trees. *Hebei Fruits*, (2): 3 - 4. (in Chinese)
- 张建国, 姬延伟. 2004. 果树化学疏花疏果技术综述. *河北果树*, (2): 3 - 4.
- Zhang Shao-ling, Xie Wen-nuan, Chen Di-xin, Gao Fu-yong. 2003. The differences of pollen content and pollen germination and tube growth among eight species of fruit trees. *Acta Agriculturae Shanghai*, 19 (3): 67 - 69. (in Chinese)
- 张绍铃, 谢文暖, 陈迪新, 高付永. 2003. 8 种果树花粉量及花粉萌发与生长的差异. *上海农业学报*, 19 (3): 67 - 69.