

# 苹果自花授粉花粉管生长和花柱保护酶活性与内源激素含量的关系<sup>\*</sup>

张雪梅<sup>1</sup> 李保国<sup>1</sup> 赵志磊<sup>2</sup> 郭素萍<sup>1</sup> 齐国辉<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学林学院 保定 071000; 2. 河北大学质量技术监督学院 保定 071002)

**摘要:** 以自交亲和的苹果品种早红香和自交不亲和的苹果品种斗南、富士、金冠为试验材料,对授粉后花粉管生长情况,花柱 SOD, POD, CAT 活性, MDA, 蛋白质含量及 4 种内源激素含量进行研究。结果表明: 自交不亲和的品种异花授粉和自交亲和的品种自花授粉后花粉管能够正常生长并通过花柱基部。自交不亲和的品种自花授粉后 0~24 h 花粉管能正常生长,当花粉管生长到距柱头 1/2 时停止生长; 自交亲和的苹果品种早红香自花授粉后 0~48 h 花柱 SOD, POD, CAT 活性相对稳定,自交不亲和品种自花授粉后 24~72 h(花粉管已停止生长)3 种酶活性及 MDA 含量变化较大; 自交亲和的苹果品种早红香自花授粉后 24 h 花柱 GA<sub>3</sub> 含量达到峰值而 ABA 含量下降,而自交不亲和的品种自花授粉后 12~48 h 花柱 ABA 含量开始大幅上升,自交亲和品种自花授粉后 12~24 h (IAA + GA<sub>3</sub>) / ABA 值急剧上升,之后开始下降,但 (IAA + GA<sub>3</sub>) / ABA 值高于其他自交不亲和品种。

**关键词:** 苹果; 自交不亲和; 花柱; 酶; 激素

中图分类号: S661.1; S718.43 文献标识码: A 文章编号: 1001-7488(2009)11-0020-06

## Relationship between Compatibility of Self-Pollination and Changes in Protecting Enzyme and Hormone in Different Apple Cultivars

Zhang Xuemei<sup>1</sup> Li Baoguo<sup>1</sup> Zhao Zhilei<sup>2</sup> Guo Suping<sup>1</sup> Qi Guohui<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei Baoding 071000;

2. Supervision College of Quality & Technology, Hebei University Baoding 071002)

**Abstract:** Growth of pollen tube and style physiology characteristic index after pollination were studied for Self-compatible apple cultivar ‘Zaohongxiang’ and self-incompatible apple cultivars ‘Dounan’, ‘Fuji’, ‘Golden Delicious’. The results showed that: pollen tube grew normally and entered into the style base after self-pollination of self-compatible cultivar and cross-pollination of self-incompatible cultivar. Self-pollination pollen tube of self-incompatible cultivars grew normally after self-pollination within 24 h and stopped growing after 48~72 h when the pollen tube reached the 1/2 of the style to stigma. The style SOD, POD and CAT activities of self-compatible cultivar ‘Zaohongxiang’ were relatively stable within 48 h after self-pollination. The SOD, POD, CAT activities and MDA content of self-incompatible cultivars had great changes after self-pollination 24~72 h when the pollen tube stopped growing. Style GA<sub>3</sub> content of self-compatible cultivar ‘Zaohongxiang’ had a peak and the ABA decreased in 24 h after self-pollination. Style ABA content of self-incompatible cultivars increased significantly after self-pollination 12~48 h. The (IAA + GA<sub>3</sub>) / ABA ratio sharply increased at 12~24 h after self-pollination and then decreased in ‘Zaohongxiang’, but it still was higher than that of self-in compatible cultivars.

**Key words:** Apple; self-incompatibility; style; enzyme; hormone

植物自交不亲和性(self-incompatibility, SI)是植物为防止近亲繁殖,促进异花授粉而形成的一种机制,是研究植物细胞间信息传递、细胞间相互识别及基因时空表达的一种理想模型(De Nettancourt, 2001)。荧光显微镜和花柱半离体培养是观察植物花粉管在花柱内生长状态的有效方法,在确定植物是否自交亲和试验中前者较后者更具有直观性,2

种方法测定植物亲和指数与田间授粉方法相同(张绍铃等,2003b)。植物体内 SOD, POD, CAT 是膜保护系统的组成部分,能够在逆境胁迫中清除体内的有害物质维持体内的活性氧代谢平衡、保护膜结构、延迟或阻止细胞结构的破坏使组织保持活力(刘文革等,2003),王保成等(2006)研究芸芥(*Arabis hisuta*)自交亲和性时表明 SOD, POD 和 CAT 3 种酶活性的

变化与自交亲和系所具有的自交亲和基因的调控有关。植物激素和植物生长调节剂影响花粉萌发花粉管生长(张绍铃等, 2003a), 但关于苹果自花授粉后花柱保护酶活性及内源激素含量与自交(不)亲和性关系的研究未见报道。本研究以苹果(*Malus pumila*)自交亲和品种早红香及自交不亲和品种斗南、富士和金冠为试验材料, 研究自花授粉后花粉管生长情况及其与花柱保护酶活性和内源激素含量的关系, 以期为揭示苹果自交亲和机制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

河北省廊坊永清县前店村 5 年生自交亲和苹果品种早红香, 笔者通过 2007 和 2008 年连续 2 年的授粉试验表明其自交授粉坐果率均达 80% 以上, 产种率为 9 粒。河北省内丘县富岗山庄百花园 6 年生自交不亲和苹果品种富士、金冠和斗南。于开花前 1 周将预授粉的花序套玻璃纸袋, 气球期去掉花序中心花, 用事先准备好的花粉进行人工授粉(共包括 5 个授粉组合即: 早红香、富士、金冠和斗南, 金冠 × 富士)后套好纸袋。

### 1.2 试验方法

花粉萌发及花粉管生长的荧光显微镜观察: 授粉后 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 h 分别采集 1.1 中 5 个授粉组合各 25 朵花的花柱用 FAA(70% 酒精: 甲醛: 冰醋酸 = 89:6:5) 固定。将固定的花柱从基部切下复水后, 用 8 mol·L<sup>-1</sup> 的 NaOH 软化 12 h, 蒸馏水冲洗 3 次(共 2 h)后放入事先配制好的过夜的脱色苯胺蓝溶液(0.1% 苯胺蓝 + 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 磷酸钾)中染色 4 h, 然后整体压片, 在 LEICADM4000B 荧光显微镜下观察花粉管在花柱内生长情况并照相。

自花授粉后 0, 4, 8, 12, 24, 48, 72 h 分别采集 1.1 中 4 个自花授粉组合 500 个花序, 采后立即将花柱分离称重(每个样品 0.5 g, 重复 3 次)并置于 -70 °C 冰箱中保存, 用于花柱 SOD, POD, CAT, MDA, 蛋白质及内源激素测定。花柱超氧化物歧化酶(SOD)活性测定参照 NBT(氮蓝四唑)光化还原法(李合生等, 2003); 花柱过氧化物酶(POD)活性测定参照愈创木酚法(李合生等, 2003); 花柱过氧化氢酶(CAT)活性测定参照愈创木酚法(李合生等, 2003); 花柱丙二醛(MDA)含量测定参照 TBA(硫代巴比妥酸)法(邹琦, 2001)。花柱蛋白质含量的测定采取 Bradford 法。花柱蛋白提取: 将 0.5 g 花柱在液氮中研磨后加入 5 ml 提取液(50 mmol·L<sup>-1</sup> Tris-buffer PH8.0, 300 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl, 10 mmol·L<sup>-1</sup> EDTA, 10 mmol·L<sup>-1</sup>

dithiothreitol - DDT, 蛋白酶抑制剂(稀释成 1:100)), 提取混合物在冰上放置 15 min 后 10 000 g 离心 10 min, 收集上清即为花柱蛋白提取物。

花柱内源激素测定参照 HPLC 法(1992)。高效液相色谱仪为 Agilent1100, 液相色谱柱为 Agilent TC - C18。激素标样 IAA, GA<sub>3</sub>, ZT 和 ABA 为 Sigma 公司产品; 除甲醇和乙腈为色谱纯外, 其他所用试剂均为分析纯。色谱条件为: 流动相(甲醇: 水: 冰醋酸 = 45:44.9:0.1), 柱温 30 °C, 流速 0.7 mL·min<sup>-1</sup>, 检测波长 254 nm, 进样量 20 μL。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种授粉后花粉萌发及花粉管生长状况

自交亲和性不同的苹果品种, 自花授粉和异花授粉后不同时间花粉管在花柱内生长的荧光显微观察状况如图 1。大部分花粉粒在授粉后 2 h 萌发, 但斗南苹果花粉直到自花授粉后 12 h 才开始萌发。授粉后 4~8 h 异花授粉(金冠 × 富士)、金冠自花授粉的花粉管生长长度均已达整个花柱的 1/2, 早红香和富士自花授粉花粉管生长长度为整个花柱的 1/5。授粉后 12~48 h 异花授粉(金冠 × 富士)的花粉管穿过花柱 1/2 继续向下生长, 早红香、斗南和富士自花授粉花粉管生长长度达整个花柱的 1/2, 金冠自花授粉花粉管在此时间段内没有生长。而授粉后 48~72 h 只有异花授粉组合(金冠 × 富士)和早红香自花授粉花粉管继续生长并穿过花柱基部, 其他自交组合的花粉管在花柱内均停止生长。

### 2.2 自花授粉后花柱 SOD 活性的动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后花柱 SOD 活性的动态变化如图 2。3 个自交不亲和的苹果品种自花授粉后 0~24 h 花柱 SOD 活性基本稳定, 而此时花粉管在花柱内能正常生长。24 h 以后变化剧烈, 其中斗南、富士 2 个品种在自花授粉后 24 h 花柱 SOD 活性上升, 而金冠苹果花柱 SOD 活性则急剧下降, 并且该品种自花授粉后 0~24 h 其 SOD 活性均高于其他品种, 该品种授粉后 8 h 花粉管长度达到整个花柱长度的 1/2 而且停止生长, 可能是金冠苹果自花授粉后前期花粉管生长过快并且停止生长过早所致, 这种不亲和反应激起体内 SOD 活性的升高。自交亲和的品种早红香自花授粉后 0~48 h SOD 活性缓慢降低, 48~72 h SOD 活性升高。

### 2.3 自花授粉后花柱 POD 活性的动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后花柱 POD 活性的动态变化如图 3。

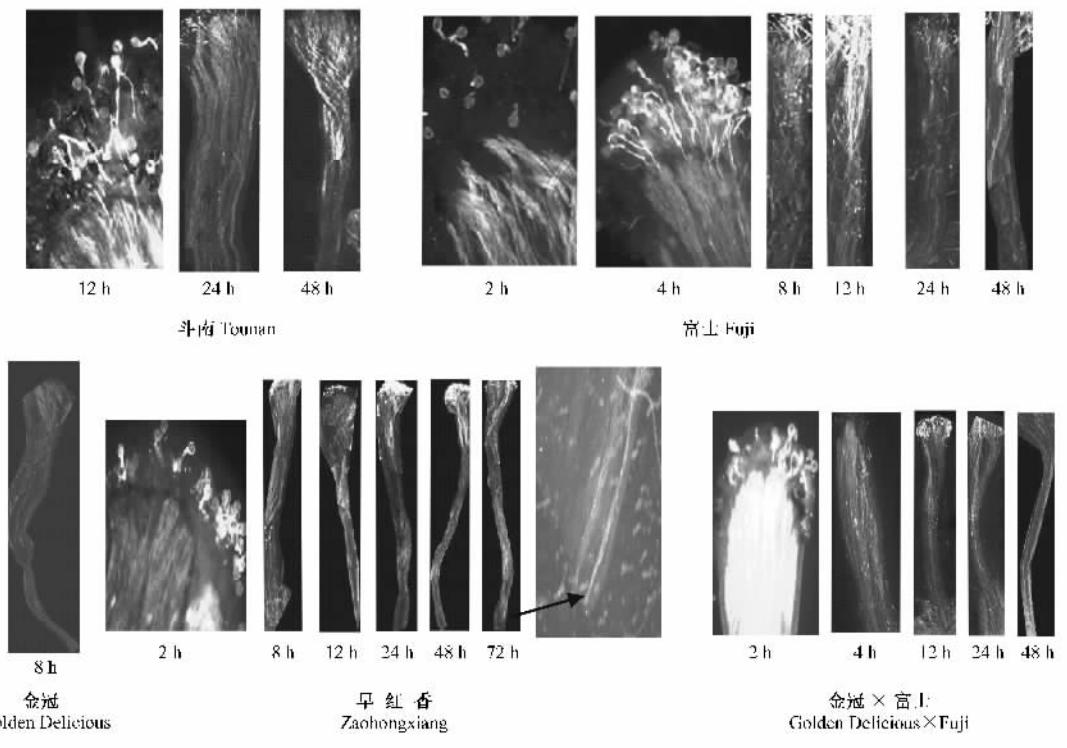


图 1 花粉管在花柱内生长的荧光显微镜观察

Fig. 1 Fluorescence microscope observation of pollen tube in style

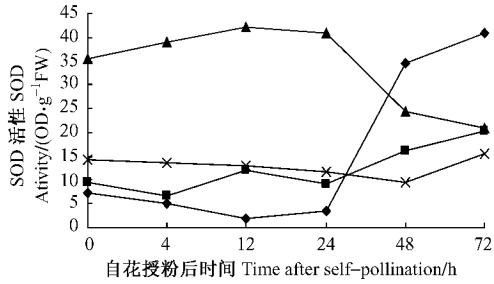


图 2 苹果不同品种自花授粉后花柱 SOD 活性变化

Fig. 2 Changes of style SOD activities after

self-pollination in different apple cultivars

—◆— 斗南 Tounan, —■— 富士 Fuji, —▲— 金冠 Golden Delicious,  
—×— 早红香 Zaohongxiang。下同 The same below.

自花授粉后 0 ~ 48 h 自交亲和品种早红香的花柱 POD 活性无明显变化, 且始终低于其他 3 个品种; 48 ~ 72 h 花柱 POD 活性快速上升, 此时花粉管已通过花柱基部向子房生长, POD 活性升高有利于清除体内有害物质从而顺利受精。自交不亲和品种富士在授粉后 0 ~ 4 h 花柱内 POD 活性开始上升, 4 h 达到最高值  $117.226 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ , 随后逐渐下降。斗南和金冠苹果在自花授粉后 0 ~ 24 h POD 活性较稳定, 授粉后 24 h POD 活性达到顶峰随后开始下降, 到 48 h POD 活性达最低值  $68.424 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ , 48 ~ 72 h 变化不大, 自花授粉后 24 h 自交不亲和苹果品种花粉管已停止生长, POD 活性逐渐减弱表明花柱

抵御有害物质侵入的机能开始减退。

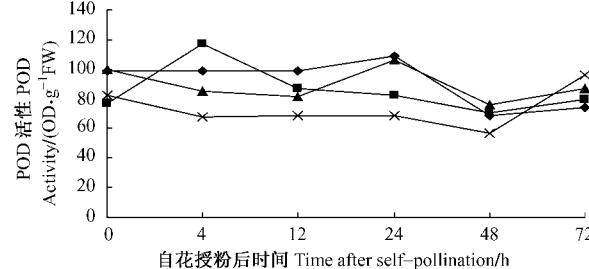


图 3 苹果不同品种自花授粉后花柱 POD 活性变化

Fig. 3 Changes of style POD activities after  
self-pollination in different apple cultivars

## 2.4 自花授粉后花柱 CAT 活性的动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后花柱 CAT 活性的动态变化如图 4。自交亲和品种早红香自花受粉后 0 ~ 48 h CAT 活性基本保持稳定, 且在 4 个苹果品种中处于最低值, 48 ~ 72 h 花柱 CAT 活性急剧上升, 这与 POD 活性变化相似, 保护酶活性的升高可能是花粉管得以继续生长的因素之一。自交不亲和的富士和斗南在自花授粉后 4 ~ 48 h 花柱 CAT 活性处于稳中有升的趋势, 金冠在自花授粉后出现 2 次高峰, 分别在授粉后 4 和 24 h, 这可能与金冠花粉管在自花授粉后开始加长生长最快有关, 而金冠花粉管停止生长后即自花授粉后 48 ~ 72 h CAT 活性急剧下降。

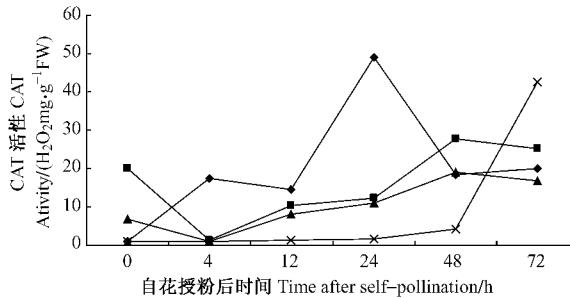


图 4 苹果不同品种自花授粉后花柱 CAT 活性变化

Fig. 4 Changes of style CAT activities after self-pollination in different apple cultivars

## 2.5 自花授粉后不同时间 MDA 含量的动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后不同时间 MDA 含量的动态变化如图 5。自交亲和品种早红香自花授粉后花柱 MDA 含量明显高于其他 3 个自交不亲和品种，并且在 48 h 内 MDA 含量渐次升高后降低。自交不亲和的 3 个苹果品种在自花授粉后 0 ~ 24 h 内花柱 MDA 含量变化较弱，这与花粉管在花柱内能正常生长的时间相一致。而 24 ~ 72 h 斗南和金冠花柱内 MDA 含量均出现上升趋势，24 ~ 48 h 富士花柱内 MDA 含量均出现急剧下降而后又开始上升。早红香苹果 MDA 含量在自花授粉后 48 h 不但没有升高反而下降，而其他 3 个异花结实品种在自花授粉后 48 h 以后 MDA 含量均呈现上升趋势。

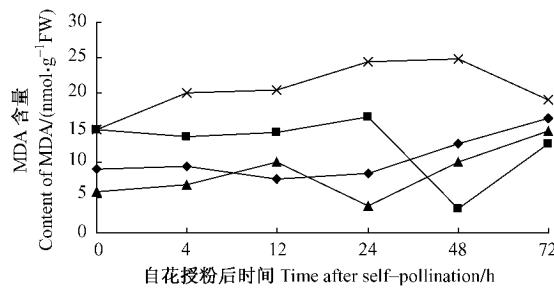


图 5 苹果不同品种自花授粉后花柱 MDA 含量变化

Fig. 5 Changes of style MDA content after self-pollination in different apple cultivars

## 2.6 自花授粉后不同时间花柱蛋白质含量的动态变化

不同品种自花受粉后不同时间花柱蛋白质含量的动态变化如图 6。自花授粉后 0 ~ 72 h 4 个苹果品种花柱蛋白质含量均呈现双峰曲线变化，除自交亲和品种早红香花柱蛋白质含量变化幅度较大外，其他 3 个自交不亲和品种花柱蛋白质含量变化幅度很小；自花授粉后 4 h 4 个苹果品种花柱蛋白质含量出现第 1 次高峰，自交亲和品种早红香花柱蛋白质含量最高，为  $5745.348 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ，此时各个苹果品种

花粉已经大量萌发并开始伸长生长。自花授粉后 24 h 自交亲和品种早红香花柱蛋白质含量出现第 2 次高峰，并且自花授粉后 0 ~ 72 h 自交亲和的苹果品种花柱蛋白质含量均高于自交不亲和的苹果品种。

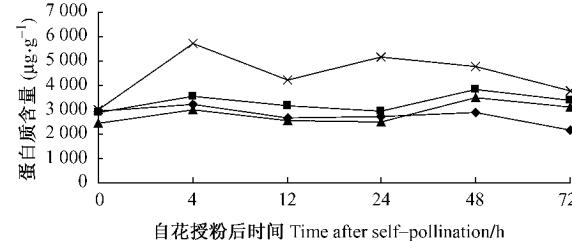


图 6 苹果不同品种自花授粉后花柱蛋白质含量变化

Fig. 6 Changes of style protein content after self-pollination in different apple cultivars

## 2.7 自花授粉后不同时间花柱 GA<sub>3</sub> 含量的动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后花柱 GA<sub>3</sub> 含量动态变化如图 7。自花授粉后 0 ~ 4 h 各苹果品种花柱 GA<sub>3</sub> 含量均有所上升，4 ~ 24 h 自交不亲和的 3 个苹果品种花柱 GA<sub>3</sub> 含量变化不大，之后均缓慢下降；自交亲和的苹果品种早红香自花授粉后 24 h 花柱 GA<sub>3</sub> 含量达到峰值为  $192\,023.259 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ，此时该苹果花粉管在花柱内正常生长，而自交不亲和的苹果品种花粉管已停止生长，表明高水平的 GA<sub>3</sub> 对花粉管生长的促进。自花授粉后 48 h 花柱 GA<sub>3</sub> 含量又下降到自花授粉后 12 h 的水平，直到 72 h 没有明显变化。

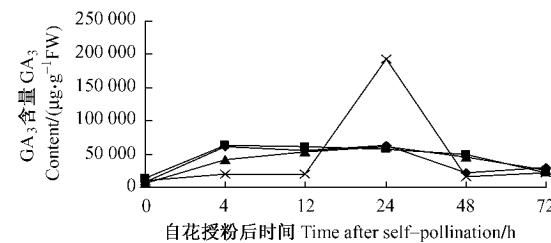
图 7 苹果不同品种自花授粉后花柱 GA<sub>3</sub> 含量变化

Fig. 7 Changes of style GA<sub>3</sub> content after self-pollination in different apple cultivars

## 2.8 自花授粉后不同时间花柱 ZT 含量的动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后花柱 ZT 含量动态变化如图 8。自交不亲和的 3 个苹果品种自花授粉后不同时间花柱 ZT 含量变化趋势与 GA<sub>3</sub> 含量变化趋势相似，但自交亲和的早红香苹果自花授粉后 0 ~ 72 h 变化趋势平缓，没有出现类似于 GA<sub>3</sub> 含量变化的峰值。

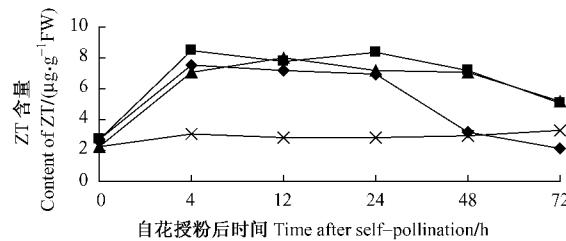


图 8 苹果不同品种自花授粉后花柱 ZT 含量变化

Fig. 8 Changes of style ZT content after self-pollination in different apple cultivars

## 2.9 自花授粉后不同时间花柱 IAA 含量的动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后花柱 IAA 含量动态变化如图 9。4 个苹果品种花柱 IAA 含量均为刚授粉时最高, 随后下降, 自花授粉后 4~24 h 自交不亲和苹果花柱 IAA 含量变化较小, 自花授粉后 24~72 h 花柱 IAA 含量开始缓慢下降, 这可能与自交不亲和品种花粉管在花柱内停止生长有关; 自交亲和品种早红香自花授粉后 4~48 h 花柱 IAA 含量变化不大, 48~72 h 花柱 IAA 含量有所上升。

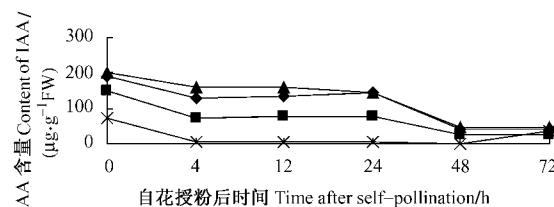


图 9 苹果不同品种自花授粉后花柱 IAA 含量变化

Fig. 9 Changes of style IAA content after self-pollination in different apple cultivars

## 2.10 自花授粉后不同时间花柱 ABA 含量的动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后花柱 ABA 含量动态变化如图 10。自交不亲和品种在自花授粉后 0~4 h 花柱 ABA 含量有所上升, 但变化幅度不大, 自花授粉后 12~48 h 花柱 ABA 含量开始大幅上升, 自交不亲和品种 ABA 含量在自花授粉后出现 2 次高峰可能是抑制其自花花粉管生长的原因之一。自交亲和的早红香自花授粉后 0~12 h 花柱 ABA 含量有所上升但变化不大, 之后又缓慢下降, 72 h 花柱 ABA 含量达到最低值。

## 2.11 自花授粉后不同时间花柱 $(IAA + GA_3)/ABA$ 动态变化与花粉管生长的关系

自花授粉后花柱  $(IAA + GA_3)/ABA$  动态变化如图 11。3 个自交不亲和的苹果品种在自花授粉后 0~12 h  $(IAA + GA_3)/ABA$  值处于上升趋势, 12~24 h  $(IAA + GA_3)/ABA$  值急剧下降, 之后  $(IAA + GA_3)/ABA$  值保持较低的平稳状态。自交亲和品种早红

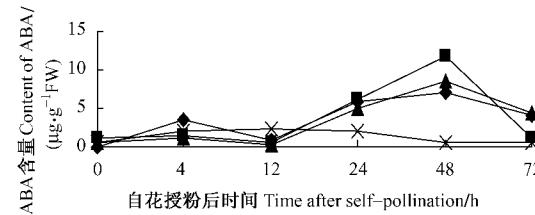


图 10 苹果不同品种自花授粉后花柱 ABA 含量变化

Fig. 10 Changes of style ABA content after self-pollination in different apple cultivars

香在自花授粉后 0~12 h  $(IAA + GA_3)/ABA$  值处于平稳状态, 自花授粉后 12~24 h  $(IAA + GA_3)/ABA$  值急剧上升, 之后开始下降, 但  $(IAA + GA_3)/ABA$  值高于其他品种。 $(IAA + GA_3)/ABA$  值出现的高峰均为自花授粉后花粉管正常生长的时间, 因此认为较高的  $(IAA + GA_3)/ABA$  值有利于花粉管在花柱内正常生长。

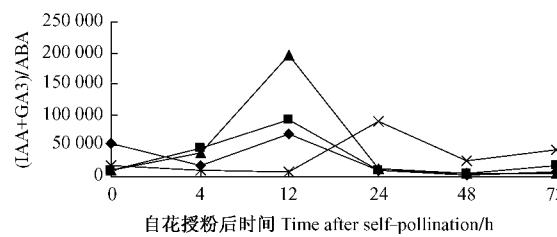
图 11 苹果不同品种自花授粉后花柱  $(IAA + GA_3)/ABA$  值变化

Fig. 11 Changes of style  $(IAA + GA_3)/ABA$  after self-pollination in different apple cultivars

## 3 讨论

苹果自花授粉后花粉在柱头开始萌发的时间不同, 本研究中除斗南苹果为自花授粉后 12 h 花粉开始萌发外, 其他品种自花授粉后 2 h 均能正常萌发, 王浩等(2008)研究寒富苹果自花授粉表明花粉在授粉后 8 h 开始萌发, 因此不同苹果品种自花授粉后花粉开始萌发的时间不同。陶书田等(2004)在研究果梅(*Prunus mume*)自花授粉表明不亲和的花粉管在花柱中部停止生长, 陈迪新等(2004)研究砂梨(*Pyrus pyrifolia*)自花授粉表明不亲和花粉管在花柱 1/3 处停止生长, 本研究表明早红香自花授粉后花粉管停止生长到花柱的 1/2 时停止生长, 这与果梅不亲和花粉管停止生长部位相同, 与砂梨花粉管停止生长部位不同。

齐国辉等(2005)研究表明: 梨自交不亲和品种自花授粉后 0~24 h SOD, CAT 活性呈现上升趋势, 24 h 以后呈现下降趋势。本研究自交亲和及不亲和苹果品种自花授粉后 0~24 h SOD, POD, CAT

活性和 MDA 含量均处于相对稳定的状态, 花粉管能够正常生长; 而自交不亲和品种自花授粉 24 h 后 SOD, POD, CAT 活性和 MDA 含量变化较大, 花粉管停止生长。

自交亲和苹果品种早红香自花授粉后 0~48 h 花柱 SOD, POD, CAT 活性变化不大, 说明花柱内活性氧的产生与清除系统处于动态平衡, 有利于花粉管顺利通过花柱。授粉后 48~72 h 是花粉管穿过花柱进入子房的时间, 此时花柱内 SOD, POD, CAT 活性均升高, MDA 含量下降, 而自交不亲和的苹果品种则花柱内 SOD, POD, CAT 活性变化甚微, MAD 含量升高。SOD 能催化  $O_2^-$  攻击反应生成  $O_2$  和  $H_2O_2$ , 而过多的  $H_2O_2$  对细胞有毒害作用, 需要 POD 和 CAT 清除体内积累及 SOD 催化反应产生的过多  $H_2O_2$ , 使花柱内  $H_2O_2$  处于较低水平, 因此, 自交亲和品种花粉管的正常生长需要各种保护酶之间的协同作用。

本试验中自花授粉后 4~72 h 自交亲和的苹果品种花柱蛋白质含量高于自交不亲和的苹果品种, 其原因不明。Qiao 等(2004)在研究金鱼草 (*Antirrhinum majus*) 自交授粉时得出, 在不亲和授粉中 S-RNase 未被泛素化而降解花粉管中的 RNA 使花粉管停止生长, 而亲和授粉则相反。本研究的苹果是不是因不亲和品种花柱 S-RNase 降解花粉管 RNA, 而亲和品种花柱 S-RNase 则对自身花粉管不起作用, 这还有待进一步验证。

本研究自花授粉后花柱中  $GA_3$  含量升高与 Jensen 等(1977)在棉花胚珠离体培养时发现花粉管在花柱中生长时产生的信号使赤霉素增加(1983)的研究结果一致。自花授粉后 24 h 自交亲和品种花柱  $GA_3$  最高, 自交不亲和品种花柱  $GA_3$  含量则无明显变化, 而此时自交不亲和品种花粉管已停止生长, 因此, 较高的  $GA_3$  利于花粉管的生长。Leopold 等(1980)和 Smith(1985)研究认为 IAA, CTK 和 GA 能促进植物组织中游离多胺的合成, ABA 则对多胺合成有抑制作用(Sasaki *et al.*, 1976), 而多胺可以提高苹果自交亲和指数(徐继忠等, 1998), 本研究中自交亲和的苹果品种早红香自花授粉后 48~72 h(花粉管生进入到花柱基部)花柱促进细胞分裂、伸长生长的内源激素含量均增加, 而加速花柱衰老的 MDA 和 ABA 含量下降, 这与前人研究结果一致。3 个自交不亲和的苹果品种和自交亲和的苹果品种早红香花柱( $IAA + GA_3$ )/ABA 峰值分别出现在自花授粉后 12 和 24 h, 此时自花授粉的花粉管均能正常生长, 之后自交亲和品种早红香( $IAA + GA_3$ )/ABA 值高于自交

不亲和品种, 可能与较高的生长促进类激素和较低水平的 ABA 有利于苹果自花花粉管伸长有关。

## 参 考 文 献

- 陈雪梅, 王沙生. 1992. HPLC 法定量分析植物组织中 ABA, IAA 和 NAA. 植物生理学通讯, 28(5): 368~371.
- 陈迪新, 张绍铃, 陶书田. 沙梨花粉原位萌发与花粉管生长特性. 南京农业大学学报, 2004, 27(3): 34~37.
- 刘文革, 王 鸣, 阎志红. 2003. 不同倍性蜜桃西瓜幼苗在低温胁迫下的生理生化特性. 果树学报, 20(1): 44~48.
- 李合生, 孙 群, 赵世杰, 等. 2003. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- 齐国辉. 2005. 鸭梨自交不亲和与亲和变异的生理生化特性及分子机理研究. 保定: 河北农业大学. 博士学位论文.
- 陶书田, 陈迪新, 张绍铃. 2004. 果梅花粉原位萌发及花粉管生长特性的研究. 果树学报, 21(4): 338~340.
- 王保成, 孙万仓, 范惠玲, 等. 2006. 荔枝自交亲和系与自交不亲和系 SOD, POD 和 CAT 酶活性. 中国油料作物学报, 28(2): 162~165.
- 王 浩, 刘国成, 吕德国, 等. 2008. 寒富苹果授粉花柱的荧光显微观察与自交亲和性分析. 果树学报, 25(2): 162~165.
- 王利英, 侯喜林, 刘 琳, 等. 2008. 甘蓝链格孢菌侵染对白菜保护酶活性和  $H_2O_2$  含量的影响. 园艺学报, 35(7): 1065~1068.
- 徐继忠, 陈海江, 马宝琨, 等. 1998. 外源多胺对苹果花粉管伸长及胚珠寿命的影响. 园艺学报, 25(1): 91~92.
- 张绍铃, 高付永, 陈迪新, 等. 2003a. 植物生长调节物质对丰水梨花粉萌发和花粉管生长的影响. 西北植物学报, 23(4): 586~591.
- 张绍铃, 周建涛, 徐义流. 2003b. 梨花柱半离体培养法及品种自交不亲和基因型鉴定. 园艺学报, (6): 703~706.
- 邹 琦. 2001. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社.
- De Nettancourt D. 2001. Incompatibility and Incongruity in Wild and Cultivated Plants. Berlin Springer – Verlay.
- Jensen W A, Schulz P, Ashton M E. 1977. An ultra structural study of early endosperm development and synergid changes in unfertilized cotton ovules. Planta, 133: 179~189.
- Kao T H. 1994. Gametophytic self-incompatibility a mechanism for self/nonself discrimination during sexual reproduction. Plant Physiol, 91: 1992~1997.
- Leopold D A, Kellman R M, Gould L V. 1980. Retro-orbital hematoma and proptosis associated with chronic sinus disease. Arch Otolaryngol, 106: 442~448.
- McClure B A, Gary J E, Hayashi F, *et al.* 1990. self-incompatibility in *Nicotiana alata* involves degradation of pollen rRNA. Nature, 347: 757~760.
- Qiao H, Wang H, Zhao L, *et al.* 2004. The F-box protein AhSLF-S2 physically interacts with S-RNases that may be inhibited by the ubiquitin/26S proteasome pathway of protein degradation during compatible pollination in *Antirrhinum*. Plant Cell, 16, 582~595.
- Sasaki S M, Chin H F, Enoch I C, *et al.* 1976. Seed Technology in the Tropics. Serdang: Universiti Pertanian Malaysia, 11~15.
- Smith H A. 1985. Stimulation of glutathione synthesis in photorespiring plants by catalase inhibitors. Plant Physiol, 79: 1044~1047.

(责任编辑 王艳娜)