

2,4-D 在柑橘果实留树保鲜中的作用和可能机制研究

祝建¹, 刘本勇², 李述举², 白芝兰², 刘聪¹, 邓晓东¹, 张豫¹,
谢宗周¹, 刘继红^{1,*}

(¹华中农业大学园艺林学学院, 园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070; ²湖北省兴山县特产局, 湖北兴山 443711)

摘要: 以‘锦橙’ (*Citrus sinensis* Osbeck) 为材料, 比较 2,4-D 不同浓度、不同施用时期对锦橙果实落果率和品质的影响, 同时研究 2,4-D 在柑橘果实留树保鲜中的可能机制。结果发现, 在盛花后 200 d (柑橘果实转黄期) 施用 20 mg · L⁻¹ 的 2,4-D, 能显著降低柑橘果实留树越冬的落果率, 且对果实品质无不良影响, 果实能够留树保鲜 50 d 左右。研究还发现, 2,4-D 处理能延缓果蒂离层的形成, 抑制细胞壁降解相关酶基因 *CX16*、*PG2*、*PME1*、*PME2* 的表达。综上所述, 2,4-D 能够用于锦橙果实留树保鲜, 其主要机制可能是抑制细胞壁降解和离层形成。

关键词: 柑橘; 锦橙; 2,4-D; 果实; 留树保鲜; 离层; 细胞壁降解; 乙烯; 果实品质

中图分类号: S 666

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2020) 11-2086-09

Effects of 2,4-D on Keeping Citrus Fruit Fresh on Tree and the Underlying Mechanisms

ZHU Jian¹, LIU Benyong², LI Shuju², BAI Zhilan², LIU Cong¹, DENG Xiaodong¹, ZHANG Yu¹,
XIE Zongzhou¹, and LIU Jihong^{1,*}

(¹Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; ²Xingshan County Special Products of Hubei Province, Xingshan, Hubei 443711, China)

Abstract: In the present study, effects and underlying mechanisms of 2,4-D, applied at different concentrations and at various time points, on fruit dropping rate and fruit quality of Jincheng (*Citrus sinensis* Osbeck) were investigated. The results showed that exogenous application of 2,4-D at 20 mg · L⁻¹ and at 200 days after full blooming could prominently reduce the fruit shedding rate, without influencing the fruit quality. It suggests that 2,4-D treatment could keep fruit fresh on tree for approximately 50 days. Moreover, 2,4-D treatment was found to delay formation of abscission zone and down-regulated expression of genes encoding enzymes involved in cell wall degradation, such as *CX16*, *PG2*, *PME1* and *PME2*. Our finding revealed that the potential mechanism responsible for keeping fruit fresh on tree by 2,4-D is ascribed to inhibition of cell wall degradation and abscission zone formation.

收稿日期: 2020-03-28; **修回日期:** 2020-07-29

基金项目: 湖北省现代农业产业技术体系建设专项资金项目; 湖北省重大创新专项 (2017ABA158); 湖北省创新行动计划项目

* 通信作者 Author for correspondence (Email: liujihong@mail.hzau.edu.cn)

Keywords: *Citrus sinensis*; 2,4-D; keeping fruit fresh on tree; abscission zone; cell wall degradation; ethylene; fruit quality

近 10 年来, 随着柑橘品种结构调整, 中国柑橘早、中、晚熟比例较以前有所改变, 早熟和晚熟类型近年来发展较多, 其经济效益也日益突显。然而中熟品种类型仍然占绝大多数, 其种植面积和产量也远大于早熟和晚熟类型。三峡库区是中国重要的柑橘产区, 种有大量的中熟甜橙和宽皮橘类, 容易导致果品在同一时段成熟采收并集中进入市场, 市场销售压力较大, 经济效益得不到保障, 一定程度上影响了柑橘产业的稳定和持续发展。由于有库区大水体的影响, 冬季温度较为稳定, 有利于开展柑橘留树保鲜从而延缓采收期。柑橘留树保鲜是在果实接近或已处于成熟期时, 利用适宜药剂处理延缓鲜果的成熟(衰老)进程, 使果实延迟采收在树上越冬, 延长生长期并起到保鲜作用的一种技术(陶爱群等, 2012)。

柑橘留树保鲜的关键环节是减少越冬后果实的脱落, 通常是通过外源喷施适宜的植物生长调节剂来完成。2,4-D (2,4-二氯苯氧乙酸) 作为重要的植物生长调节剂已广泛应用于柑橘产区一些中熟品种的留树保鲜(黄永红等, 2009; 李述举, 2010; 王雄等, 2012)。通常认为 2,4-D 能够使果实安全越冬并留在树上较长时间。近年来中国柑橘产区发展了大量的晚熟柑橘, 其果实通常在翌年的 1 月至 5 月成熟, 部分类型(如夏橙)甚至到 7—8 月, 因此也喷施 2,4-D 保证果实能够安全越冬。除 2,4-D 外, 其他物质(如多胺、1-MCP)在柑橘留树保鲜中的作用也有研究(邓晓东等, 2018)。

虽然 2,4-D 应用较多, 但在应用过程中还有很多问题并不明确, 如使用的浓度、时间和适宜的留果量等。此外, 2,4-D 应用于留树保鲜的作用机制也不清楚。在本试验中以‘锦橙’为对象, 研究 2,4-D 在留树保鲜中的作用及机制, 重点探讨 2,4-D 的使用浓度和时间及其在影响离层形成相关基因表达中的作用, 为优化和规范柑橘留树保鲜的技术提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与处理

试验于 2017 年 10 月在湖北省宜昌市兴山县南阳镇营盘村果农万能伟家的锦橙园开展, 所用柑橘品种为 15 年生‘锦橙’, 砧木一致, 树势生长中等, 园地平, 田间正常管理。

2,4-D 处理浓度为 0 (对照)、10、20 和 30 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (本试验所指浓度均为 2,4-D 含量的有效浓度)。第 1 次喷施时间分别在花后 200 d (10 月 20 日)、225 d (11 月 14 日) 和 250 d (12 月 11 日), 随后每处理每隔 25 d 喷施 1 次, 共喷 3 次, 每个处理设有 4 个单株重复。喷药在晴朗上午进行, 自上而下对准果实的果蒂部位喷施。每次处理 25 d 后取样, 果实样品从每棵树的东、西、南、北 4 个方向采集, 每处理随机选取果实 20 个(带约 0.5 cm 长的果柄), 并在采样当天送回实验室测定生理指标。将样品的果皮、果肉和果蒂部分切碎用液氮速冻, 保存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中。

1.2 落果率和果实品质测定

自 2017 年 11 月 14 日(即第 1 次处理后 25 d)起, 至 2018 年 4 月 5 日止, 记录落果情况。

总落果率(%) = (各个时期总落果数/果实总数) \times 100。其中果实总数包括落果、取样果(用于测定各个阶段的果实品质)以及留树保鲜结束后采摘的果实数。

将果肉鲜榨成汁, 每处理设置 3 次重复, 取过滤后的滤液, 用酸碱中和法测定可滴定酸含量,

用手持折光测糖仪测定可溶性固形物含量, 用 2,6 - 二氯酚酚滴定法 (李书静 等, 2011) 测定维生素 C 含量。

1.3 离层石蜡切片制备

用解剖刀将果实离层处厚约 4 mm 部位取下 (邓晓东 等, 2018), 参照王艳芳等 (2014) 的方法制备石蜡切片, 并用番红固绿染色剂染色, 在体视显微镜 (Nikon AZ100) 下观察, 放大倍数均为 40 倍。

1.4 基因表达分析

基因表达材料选取 2018 年 4 月 5 日采摘的新鲜果实, 各处理和对照随机采样 10 个, 保留果实果蒂周围 1 cm³ 大小体积的部位, 用液氮速冻后用研钵研磨后利用 PLANT pure 植物总 RNA 快速提取试剂盒 (TaKaRa 公司) 提取总 RNA, 使用 DNase I (TaKaRa) 在 37 °C 下去除 DNA 污染, 使用 ReverTra Ace-aTM 试剂盒 (Toyobo, Japan) 合成 cDNA。利用 Applied Biosystems QuantStudio 7 Flex Real-Time PCR System (ABI, USA) 进行 qRT-PCR。反应程序为 95 °C 变性 10 s, 60 °C 退火 15 s, 60 °C 延伸 15 s, 40 个循环, 4 °C 终止反应。以 *Actin* 作为内参基因, 采用 2^{-ΔΔCT} 法计算基因相对表达水平。相关基因的引物 (表 1) 基于 NCBI 数据库利用 Primer 5.0 软件合成。

表 1 实时定量 PCR 分析基因表达所用的引物
Table 1 Specific primers used for gene expression analysis by Real time quantitative PCR

基因 Gene name	引物序列 (5' - 3') Primer sequence
<i>Actin</i>	F: CCGACCGTATGAGCAAGGAAA; R: TTCCTGTGGACAATGGATGGA
<i>Pectin methylesterase 1</i>	F: GTGAAGGATTCTTGGCCCGA; R: GGCTGCAGCGTTACCAAAAA
<i>Pectin methylesterase 2</i>	F: CTTTCAAGCGTGGCCTCCTA; R: CCTGCATTTGGAACCAAGCC
<i>Polygalacturonase 2</i>	F: GGGTTGTGATATCCAATCTCAAGG; R: GCCCACAGGCAAAGTTTCTG
<i>Cellulase 17</i>	F: TCTGATGTGGCTGGGGAAAC; R: AACCCATTGCTGTAGGCTCC
<i>Cellulase 16</i>	F: CCAGGCCTTAGCCAACCTTCA; R: TGTTTGGAAGCACATCAGC
<i>1-aminocyclopropane-1-carboxylate 1</i>	F: TGCACATAAACCGAATTGCCG; R: TGAGGAGACATCATGTGCCG
<i>1-aminocyclopropane-1-carboxylate 2</i>	F: GAATTGTCGTAACGGCAGGC; R: GCAGCTTCCAATGCTTGAGG
<i>1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase 1</i>	F: ACCTCGGTGACCAACTTGAG; R: GCCGGGTAGATCACAGCATC
<i>1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase 4</i>	F: TCAACGAGGCCTGTGAGAAC; R: GAGGGAGGTGACGCACATAG

1.5 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 软件进行数据分析, 用 LSD (最小显著差数法) 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 2,4-D 处理对果实落果率的影响

在 ‘锦橙’ 盛花后 200 d (10 月 20 日) 利用 10、20 和 30 mg · L⁻¹ 等 3 种浓度的 2,4-D 溶液进行喷施处理, 由田间落果统计情况 (图 1) 可以看出, 20 mg · L⁻¹ 的 2,4-D 处理果实总落果率最低, 仅为对照的 1/6 左右。对不同时期使用相同浓度 (20 mg · L⁻¹) 2,4-D 处理的效果进行比较, 第 1 次用药时间为 10 月 20 日的处理, 抑制落果的效果最佳 (图 2), 相较于 11 月 14 日和 12 月 11 日的两次处理, 10 月 20 日首次用药的落果率最低 (图 1, B)。上述结果表明, 利用 20 mg · L⁻¹ 的 2,4-D 在

10 月份处理能够有效地抑制果实脱落, 可用于‘锦橙’留树保鲜。

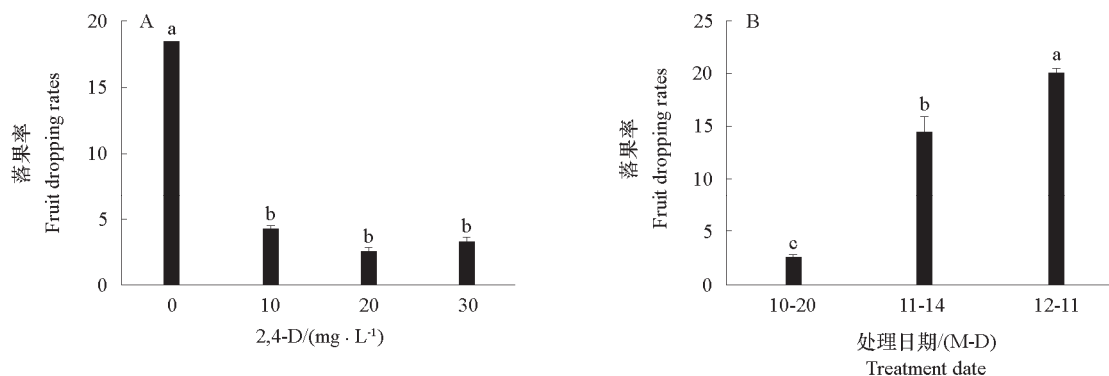


图 1 不同处理的锦橙果实脱落率情况

Fig. 1 Fruit dropping rates of Jincheng orange subjected to different treatments.

$P < 0.05$.

2.2 2,4-D 处理对留树果实内在品质的影响

与对照相比, 不同浓度 2,4-D 处理, 在果实发育期间及留树后可滴定酸含量、可溶性固形物含量和维生素 C 含量均没有显著差异 (图 2)。不同时期利用 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 2,4-D 处理, 3 个品质参数也没有显著差异 (图 3)。表明 2,4-D 处理 (不同浓度和不同时期喷药) 并不会对果实品质产生影响, 尤其没有使果实品质发生劣变。

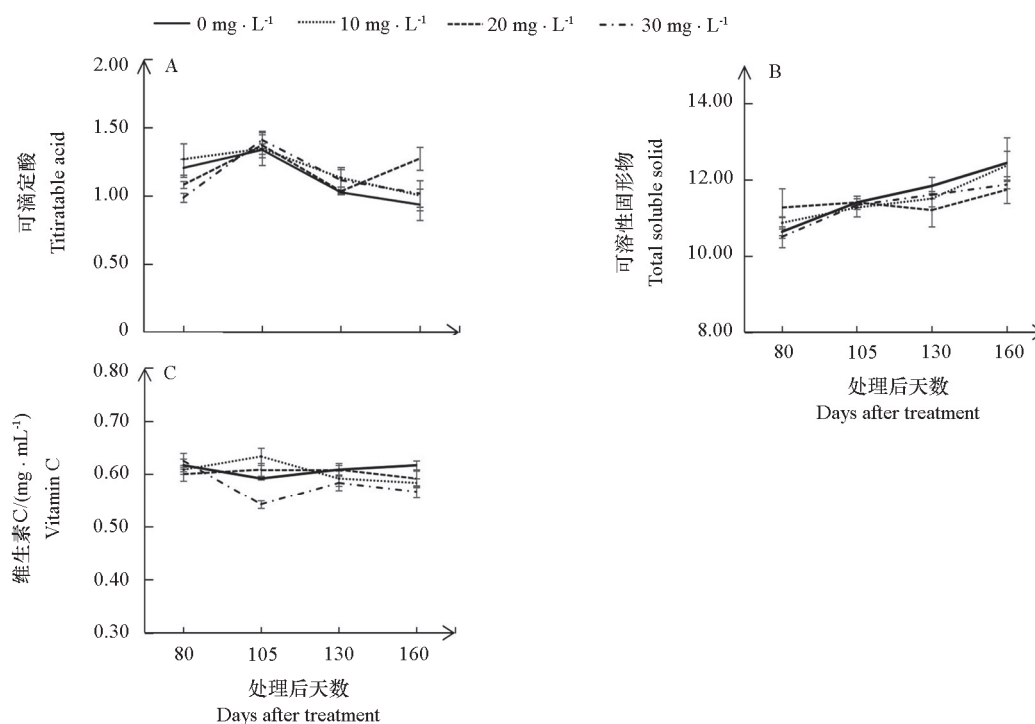


图 2 不同浓度处理后各时期果实品质变化

Fig. 2 Time-course changes in fruit quality after different concentration treatments

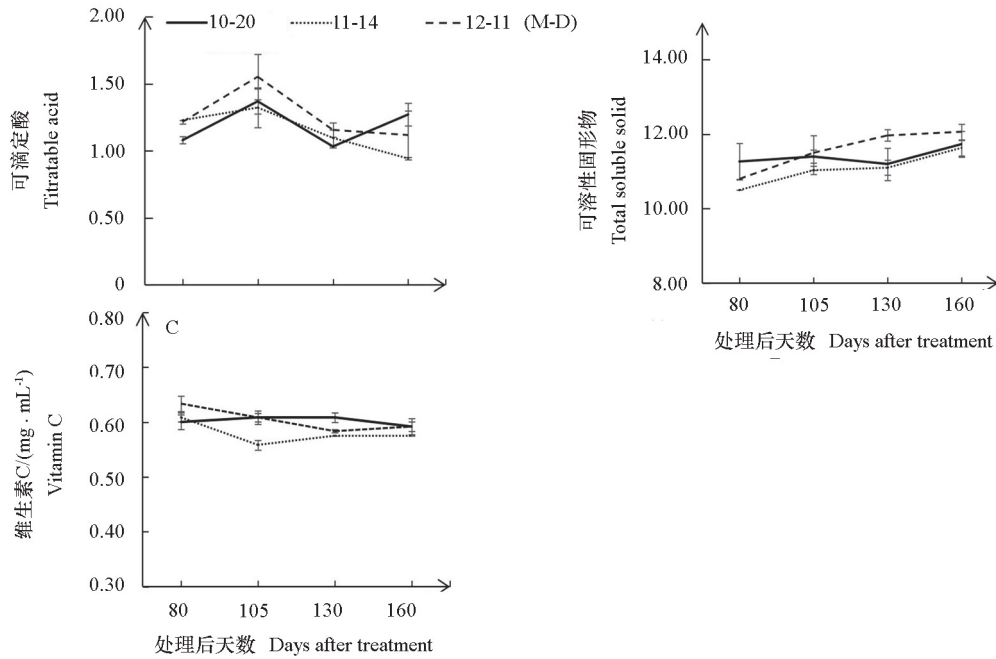


图3 不同时期处理后各时期果实品质变化

Fig. 3 Time-course changes in fruit quality after different period treatments

2.3 2,4-D 处理对果蒂离层组织形成的影响

观察发现, ‘锦橙’盛花后 200 d (10 月 20 日) 喷施不同浓度 2,4-D 处理 50 d 后的果实果蒂离层褐变程度较 25 d 更加明显; 未喷施 2,4-D 对照离层细胞变得紧密, 褐变程度也更重 (图 4), 细胞

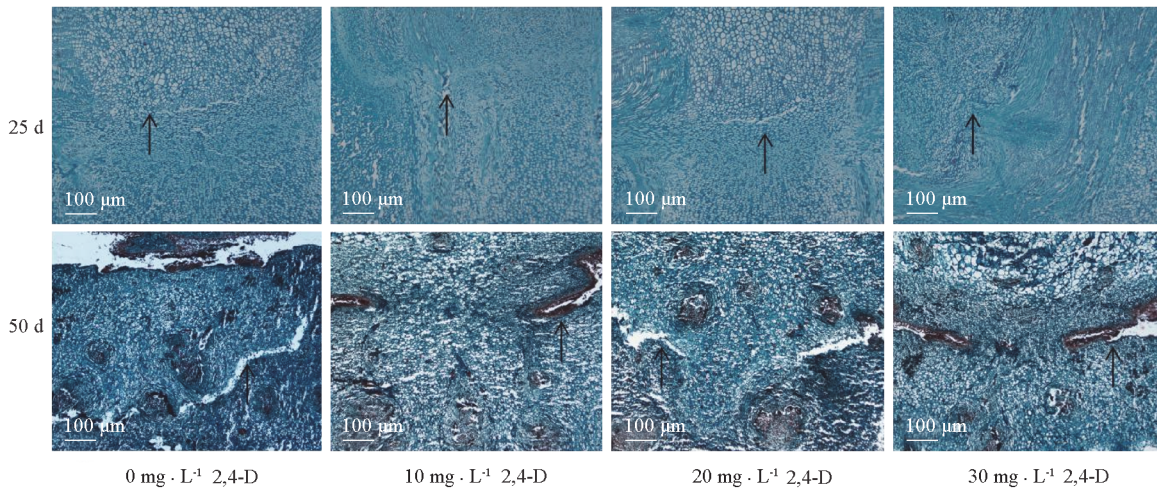


图4 ‘锦橙’盛花后 200 d (10 月 20 日) 用不同浓度 2,4-D 处理果蒂的离层观察

箭头示离层。

Fig. 4 Observation of abscission zones in the fruits treated with 2,4-D at different concentrations after Jincheng Orange flower bloomed 200 d (October 20)

Abscission zones are indicated by the arrowheads.

与细胞之间由于更加紧密而发生断裂形成了间隙, 而喷施 2,4-D 处理组果蒂离层细胞分布均匀。此外还发现, 2,4-D $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理与 10 和 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的对比果蒂离层区域, 褐变程度受到的抑制更强 (图 4)。上述结果表明, 2,4-D 处理抑制了锦橙果实离层形成, 其 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度处理时效果最好。

2.3 2,4-D 处理对离层细胞壁降解基因表达水平的影响

分析了 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 2,4-D 处理和未处理对照果实离层中细胞壁降解基因 (*CX16*、*PG2*、*PME1*、*PME2*) 的表达, 结果表明, 2,4-D 处理抑制了这 4 个基因的表达 (图 5)。

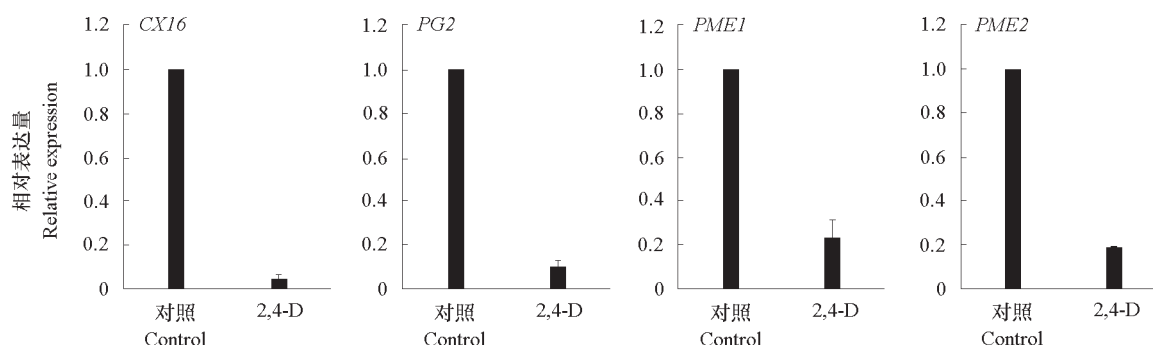


图 5 ‘锦橙’ 2,4-D 处理对离层细胞壁降解基因 (*CX16*、*PG2*、*PME1* 和 *PME2*) 表达量的影响

Fig. 5 Effect of 2,4-D treatment on expression levels of genes, including *CX16*, *PG2*, *PME1* and *PME2*, involved in cell wall degradation in Jincheng Orange's abscission zones

2.4 2,4-D 处理对乙烯合成相关基因表达量的影响

已有研究表明, 在植物器官脱落中, 乙烯通过诱导细胞壁和中间层水解酶的合成与分泌发挥重要作用 (王淼 等, 2009)。分析了 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 2,4-D 处理果实离层中乙烯合成基因 (*ACO1*、*ACO4*、*ACS1* 和 *ACS2*) 的表达量。结果表明, 与未使用 2,4-D 处理的对照组相比, 2,4-D 处理抑制了这 4 个基因的表达 (图 6)。

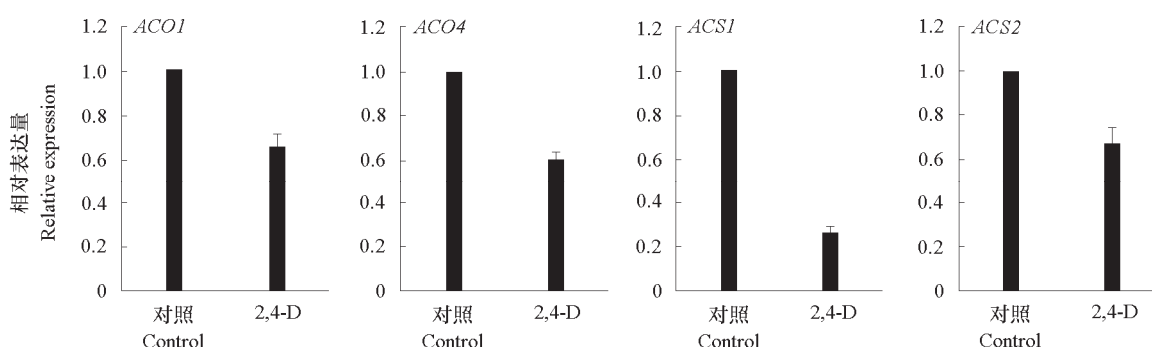


图 6 2,4-D 处理对乙烯合成基因 (*ACO1*、*ACO4*、*ACS1* 和 *ACS2*) 表达量的影响

Fig. 6 Effect of 2,4-D treatment on expression levels of genes involved in ethylene biosynthetic genes, including *ACO1*, *ACO4*, *ACS1* and *ACS2* in the abscission zones

3 讨论

植物的器官脱落是一个复杂的生物学过程, 由植物组织结构、生理生化、代谢及基因表达变化等过程共同作用 (Mao et al., 2000; 齐明芳, 2011; Agustí et al., 2012; Heo et al., 2019; Yu et al., 2019; MacDonald et al., 2020)。在包括果实在内的器官脱落的内外因素 (包括发育、激素和环境) 中, 生长素发挥着重要作用。有研究表明, 生长素能够抑制植物器官脱落, 并且在器官脱落的过程中含量逐渐降低 (Huberman et al., 1997; 高欣欣 等, 2013; Gao et al., 2019)。2,4-D 是生长素类调节物质, 本研究中发现, 2,4-D 处理能够有效地减少柑橘留树果实越冬后的脱落, 研究还发现果实留树后并不会导致品质变劣。这些研究结果表明, 生长素类植物调节物质可以用于柑橘留树保鲜, 为延长果实挂树贮藏时间及缓解市场销售压力提供了一个可以选择和利用的技术。

植物器官脱落伴随着多种细胞学上的变化, 其中一个重要的变化是离层的形成 (Tadeo et al., 2008)。本研究中通过离层石蜡切片显微观察发现, 锦橙果实果蒂离层开始形成大约在花后 200 ~ 225 d 左右, 此时正处于‘锦橙’果实转色期。通过对比不同时期 2,4-D 处理对离层形成的影响发现, 在花后 200 d (10 月 20 日左右) 施用, 留树保鲜 (减少落果率) 效果最佳。其原因可能是此时施用 2,4-D 能更有效地抑制或延缓果实离层形成, 从而保证果实不会脱落。这一研究结果为生产上选择合适的药剂使用时间提供了较好的理论指导。

许多研究表明, 细胞壁降解与植物器官脱落密切相关。细胞壁降解涉及多个酶, 其中起主要作用的酶包括果胶甲酯酶 PME (Burns, 2008)、多聚半乳糖醛酸酶 PG (Liu et al., 2019)、纤维素酶 CX (Mishra et al., 2008) 等。这些酶的活性与器官脱落有关, 如齐明芳 (2011) 研究发现, 番茄花柄离层形成前, PG 在各个组织中表达较少, 随着离层开始形成和脱落启动, PG 含量显著增加, 在脱落后期离层中 PG 大量表达。表明 PG 参与番茄组织脱落, 并在离层形成中发挥重要作用。本研究中, 2,4-D 处理后‘锦橙’果蒂离层中 PME、CX 和 PG 编码基因表达受到抑制, 这与果实不易脱落的结果一致, 表明 2,4-D 使果实留树保鲜的一个机制是抑制组织或器官细胞壁降解, 从而维持较好的细胞结构。

植物器官脱落由生长素和乙烯两种激素的平衡来决定, 乙烯在植物器官衰老和脱落过程中扮演重要的角色 (Agustí et al., 2012; Gao et al., 2019; Meng et al., 2019)。在离区中生长素通过调节乙烯受体活性来影响细胞对乙烯的敏感性, 暗示乙烯与生长素对植物器官脱落的调控存在拮抗作用 (Meir et al., 2011; Gao et al., 2019)。本研究中, 2,4-D 处理果实的离层中乙烯合成关键基因的表达水平被抑制。虽然由于技术原因, 无法测定乙烯含量, 但由于乙烯合成一定程度上受转录水平的调控, 推测 2,4-D 处理果实的离层中乙烯释放量可能比对照低。乙烯减少后可能影响了细胞壁降解酶的活性。这一推论与 Meng 等 (2019) 的研究相吻合, 在他们的研究中发现, 乙烯处理细胞壁降解被激活, 从而加速器官的脱落。然而, 2,4-D 抑制乙烯合成进而影响细胞壁降解酶基因表达的作用机制尚不清晰, 有待进一步的试验验证。

综上所述, 本研究中利用 2,4-D 处理锦橙果实, 可能抑制了离层区乙烯的合成, 进而降低了细胞壁降解酶 (PME、PG 和 CX 等) 活性, 从而延缓或抑制了离层的形成, 降低了果实越冬后的落果率, 在不改变果实品质变化的同时达到留树保鲜的目的。

References

Agustí J, Gimeno J, Merelo P, Serrano R, Cercós M, Conesa A, Talón M, Tadeo F R. 2012. Early gene expression events in the laminar abscission

- zone of abscission-promoted citrus leaves after a cycle of water stress/rehydration: involvement of *CitbHLH1*. *Journal of Experimental Botany*, 63 (17): 6079 - 6091.
- Burns J K. 2008. 1-Methylcyclopropene applications in preharvest systems: focus on citrus. *Hortscience*, 43: 112 - 114.
- Deng Xiao-dong, Jiao Guo-zhu, Liu Cong, Wei Tong-lu, Guo Da-yong, Xie Zong-zhou, Liu Ji-hong. 2018. Role of exogenous spermidine in keeping on-tree ponkan fruits fresh and its effect on formation of abscission zone. *Acta Horticulturae Sinica*, 45 (4): 669 - 677. (in Chinese)
- 邓晓东, 焦国柱, 刘聪, 韦同路, 郭大勇, 谢宗周, 刘继红. 2018. 亚精胺在椪柑果实留树保鲜中的作用及其对离层形成的影响. *园艺学报*, 45 (4): 669 - 677.
- Gao Y, Liu Y, Liang Y, Lu J, Jiang C, Fei Z, Jiang C, Ma C, Gao J P. 2019. *Rosa hybrida* *RhERF1* and *RhERF4* mediate ethylene-and auxin-regulated petal abscission by influencing pectin degradation. *Plant Journal*, 99: 1159 - 1171.
- Gao Xin-xin, Liu Shao-chun, Zhang Yue-bin, Deng Jun, Fan Xian. 2013. Progress in researches on the mechanism of abscission of plant organs. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 29 (33): 17 - 21. (in Chinese)
- 高欣欣, 刘少春, 张跃彬, 邓军, 樊仙. 2013. 植物器官脱落相关激素和酶的研究进展. *中国农学通报*, 29 (33): 17 - 21.
- Heo S, Chung, Yong Suk. 2019. Validation of MADS-box genes from apple fruit pedicels during early fruit abscission by transcriptome analysis and real-time PCR. *Genes & Genomics*, 41 (11): 1241 - 1251.
- Huang Yong-hong, Zeng Ji-wu, Zhou Bi-rong, Xia Rui, Jiang Xiao-wen, Yi Gan-jun. 2009. Effects of rain shelter cultivation on quality of *Citrus reticulata* blanco fruits during the tree storage. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (7): 1049 - 1054. (in Chinese)
- 黄永红, 曾继吾, 周碧蓉, 夏瑞, 姜小文, 易干军. 2009. 避雨栽培对‘龙门年橘’留树保鲜期间果实品质的影响. *园艺学报*, 36 (7): 1049 - 1054.
- Huberman M, Rivov J, Aloni B, Goren R. 1997. Role of ethylene biosynthesis and auxin content and transport in high temperature-induced abscission of pepper reproductive organs. *Journal of Plant Growth Regulation*, 16 (3): 129 - 135.
- Li Shu-jing, Li Ke, Yao Xin-jian, Zhan Xiu-huan. 2011. Determination of vitamin C in fruit juice drinks by 2,6-dichloroindophenol sodium salt. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 28 (5): 2391 - 2394. (in Chinese)
- 李书静, 李可, 姚新建, 詹秀环. 2011. 2,6-二氯靛酚钠法测定果汁饮料中的维生素C. *光谱实验室*, 28 (5): 2391 - 2394.
- Li Shu-ju. 2010. The effect of keeping Jincheng fruits fresh on tree by 2,4-D. *Southeast Horticulture*, (3): 15 - 16. (in Chinese)
- 李述举. 2010. 2,4-D对锦橙留树保鲜的效应. *东南园艺*, (3): 15 - 16.
- Liu N N. 2019. Effects of IAA and ABA on the immature peach fruit development process. *Horticultural Plant Journal*, 5 (4): 145 - 154.
- MacDonald G E, Lada R R, Caldwell C D, Udenigwe C, MacDonald M. 2020. Lipid and fatty acid changes linked to postharvest needle abscission in balsam fir, *Abies balsamea*. *Trees-Structure and Function*, 34: 297 - 305.
- Mao L, Begum D, Chuang H W, Budiman M A, Szymkowiak E J, Irish E E, Wing R A. 2000. JOINTLESS is a MADS-box gene controlling tomato flower abscission zone development. *Nature*, 406: 910 - 913.
- Meir S, Philosophadas S, Sundaresan S, Vijay Selvaraj K S, Burd S. 2011. Microarray analysis of the abscission-related transcriptome in the tomato flower abscission zone in response to auxin depletion. *Plant Signaling & Behavior*, 154 (4): 1929 - 1956.
- Meng J, Zhou Q, Zhou X, Fang H X, Ji S J. 2019. Ethylene and 1-MCP treatments affect leaf abscission and associated metabolism of Chinese cabbage. *Postharvest Biology Technology*, 157: 110963.
- Mishra A, Khare S, Trivedi P K, Nath P. 2008. Effect of ethylene, 1-MCP, ABA and IAA on break strength, cellulase and polygalacturonase activities during cotton leaf abscission. *South African Journal of Botany*, 74: 282 - 287.
- Qi Ming-fang. 2011. Analysis of gene expression in abscission zone and research on characterization of a polygalacturonase related to abscission during tomato pedicel abscission [M. D. Dissertation]. Shenyang: Shenyang Agricultural University. (in Chinese)
- 齐明芳. 2011. 番茄花柄脱落相关基因表达谱分析及多聚半乳糖醛酸酶性质研究 [硕士论文]. 沈阳: 沈阳农业大学.
- Tadeo F R, Cercós M, Colmenero-Flores J M, Iglesias D J, Talon M. 2008. Molecular physiology of development and quality of citrus. *Advances in Botanical Research*, 47: 148 - 202.
- Tao Ai-qun, Yi Gan-jun, Shi Xue-hui, Jiang Xiao-wen. 2012. Overview of citrus storage on tree. *Guangdong Agricultural Sciences*, (24): 45 - 49. (in Chinese)

- 陶爱群, 易干军, 石雪晖, 姜小文. 2012. 柑橘留树保鲜研究进展. *广东农业科学*, (24): 45 - 49.
- Wang Miao, Yang Jia-wei, Wei Zhao-xin, Yan Shu-tang. 2009. Overview of citrus dropping. *South China Fruits*, 38 (2): 61 - 64. (in Chinese)
- 王 淼, 阳佳位, 魏召新, 闫树堂. 2009. 柑桔脱落研究进展概况. *中国南方果树*, 38 (2): 61 - 64.
- Wang Xiong, Chen Jin-yin, Liu Shan jun. 2012. Effect of spraying GA₃ and 2,4-D on fruit drop and endogenous hormone content of navel orange. *Acta Horticulturae Sinica*, 39 (3): 539 - 544. (in Chinese)
- 王 雄, 陈金印, 刘善军. 2012. 喷施 GA₃ 和 2,4-D 对留树保鲜脐橙落果和内源激素含量的影响. *园艺学报*, 39 (3): 539 - 544.
- Wang Yan-fang, Ye Zi, Liu Hao, Liu Qun-long, Zhang Bin, Hao Yan-yan. 2014. Studies of paraffin section manufacture for apple fruits in different development stages. *Journal of Fruit Science*, 31 (5): 973 - 976. (in Chinese)
- 王艳芳, 叶 淄, 刘 昊, 刘群龙, 张 彬, 郝燕燕. 2014. 不同发育时期苹果果实组织石蜡切片制作研究. *果树学报*, 31 (5): 973 - 976.
- Yu Y, Hu, H, Doust A N, Kellogg E A. 2019. Divergent gene expression networks underlie morphological diversity of abscission zones in grasses. *New Phytologist*, 225 (4): 1799 - 1815.

征订

欢迎订阅 2021 年《园艺学报》

《园艺学报》是中国园艺学会和中国农业科学院蔬菜花卉研究所主办的学术期刊, 创刊于 1962 年, 刊载有关果树、蔬菜、观赏植物、茶及药用植物等方面的学术论文、研究报告、专题文献综述、问题与讨论、新技术新品种以及园艺研究动态与信息, 适合园艺科研人员、大专院校师生及农业技术推广部门专业技术人员阅读参考。

《园艺学报》是中文核心期刊, 中国科技核心期刊; 被英国《CAB 文摘数据库》、美国 CA 化学文摘、日本 CBST 科学技术文献速报、俄罗斯 AJ 文摘杂志、CSCD 中国科学引文数据库等多家数据库收录。《园艺学报》荣获“第三届国家期刊奖”及“新中国 60 年有影响力的期刊”、“中国国际影响力优秀学术期刊”、“百种中国杰出学术期刊”、“中国权威学术期刊”、“中国精品科技期刊”等称号。

《中国科技期刊引证报告》核心版 2019 年公布的《园艺学报》核心总被引频次 4844, 核心影响因子 1.25, 综合评价均为学科第 1 位。

《中国学术期刊影响因子年报》2019 年最新数据显示, 《园艺学报》影响力指数学科排名第 1 位, 复合总被引频次为 10 444, 复合影响因子为 1.794。

《园艺学报》为月刊, 每月 25 日出版。每期定价 55 元, 全年 660 元。国内外公开发售, 全国各地邮局办理订阅, 国内邮发代号 82 - 471, 国外发行由中国国际图书贸易总公司承办, 代号 M448。漏订者可直接寄款至编辑部订购。

地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号中国农业科学院蔬菜花卉研究所《园艺学报》编辑部。

邮编: 100081; 电话: 010-82109523。

E-mail: yuanxuebao@126.com。

网址: <http://www.ahs.ac.cn>。

