

# 苹果采后热空气处理对表面伤口愈合的影响

邵兴锋<sup>1,2</sup>, 屠康<sup>1\*</sup>, 赵妍<sup>1</sup>, 苏晶<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学食品科技学院, 南京 210095; <sup>2</sup>宁波大学生命科学与生物工程学院, 浙江宁波 315211)

**摘要:** 以‘嘎拉’和‘红富士’苹果为对象, 研究热空气处理 (38 ℃, 4 d) 对苹果伤口愈合的影响。扫描电镜观察发现, 38 ℃热空气处理 4 d 的苹果表面果蜡融化, 封堵微小伤口, 并使真菌菌丝体胶囊化而失活, 阻止病原菌的入侵。与人工刺伤后立即接种病原菌相比较, 苹果伤口在 38 ℃或者 20 ℃下处理 4 d 后再接种病原菌能显著提高伤口的抵抗能力, 降低伤口处病害的发生和发展。与 20 ℃处理相比, 38 ℃热处理有利于‘红富士’苹果人工刺伤伤口的愈合, 但是不利于‘嘎拉’的伤口愈合。

**关键词:** 苹果; 采后; 热处理; 果蜡; 伤口; 愈合

**中图分类号:** S 661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 03-0405-04

## Effect of Post-harvest Hot Air Treatments on the Wound Healing in Apple Fruit

SHAO Xing-feng<sup>1,2</sup>, TU Kang<sup>1\*</sup>, ZHAO Yan<sup>1</sup>, and SU Jing<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup>Faculty of Life Science and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

**Abstract:** The effects of hot air treatment (38 ℃, 4 d) on the wound healing of ‘Gala’ and ‘Red Fuji’ apple fruits were studied. SEM (scanning electron microscopy) analysis found that the epicuticular wax was melted by heat treatment, and then filled in the micro-wounds and encapsulated the hyphae, thereby, prevented the invasion by fungi. Artificial wounds cured for 4 days either at 20 ℃ or 38 ℃ before inoculation could decrease susceptibility to infection, and thereby, the decay development was reduced. But the effects of heating on the wound healing in apples were cultivar dependent. Compared to curing at 20 ℃, curing at 38 ℃ accelerated the wound healing in ‘Red Fuji’ apple, but retarded the wound healing in ‘Gala’ apple.

**Key words:** apple; post-harvest; heat treatment; wax; wound; healing

果实在生长、采摘和贮运阶段, 由于昆虫的叮咬或外界的机械伤害, 会在表面形成微小伤口或较大的机械伤口, 这些伤口成为病原菌入侵的途径, 易造成腐烂, 形成经济损失 (Spotts et al, 1998; Schirra et al, 2000)。研究表明, 合适的热处理能使多种果蔬表面的果蜡融化, 在高温处理结束后果蜡重新分布, 从而封闭表面的裂纹、微伤口和气孔等潜在的病原菌入侵位点 (Schirra et al, 2000; Plaza et al, 2003)。这一作用成为热处理提高果蔬抗病能力的一个重要方面。

有研究发现热处理能加速梨果实人工刺伤伤口的愈合, 即使在 28 ℃处理 1 d 也有作用 (Spotts & Chen, 1987; Spotts et al, 1998)。但是, ‘嘎拉’苹果的伤口在 38 ℃下愈伤处理 4 d 的效果与 1 ℃下处理 4 d 一致 (Leverentz et al, 2000)。Lurie 等 (1998) 报道金冠苹果伤口在 38 ℃下愈合处理 4 d 后再接种 *Penicillium expansum* 菌, 几乎无病害发生; 但没有其它温度 (如 20 ℃) 的处理作为对照,

收稿日期: 2008 - 10 - 03; 修回日期: 2009 - 03 - 03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30771512); 国际科学基金项目 (IFS, E/4412-1); 浙江省教育厅科研项目 (Y200803822)

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: kangtu@njau.edu.cn)

因此无法判断热处理是否有利于金冠苹果伤口的愈合。热处理对苹果机械伤口的影响还不甚明确,不同品种间之间是否存在差异也需要进一步研究。

本课题组前期的研究已经表明,苹果刺伤接种后进行 38 ℃ 4 d 热处理能控制苹果青霉病和灰霉病的发生 (Shao et al, 2007),但是伤口处的 *P. expansum* 孢子没有完全被杀死;经 38 ℃ 热处理 4 d 的 *P. expansum* 孢子仍具有致病性,能使苹果发生腐烂 (Tu et al, 2006)。我们推测,该热处理对苹果病害的控制可能是热处理对孢子的影响和对伤口愈合影响的协同作用。因此以‘嘎拉’和‘红富士’苹果为研究对象,着重研究 38 ℃ 热处理 4 d 对伤口愈合的影响。

## 1 材料与方法

试验在 2006 和 2007 的 8 月—翌年 4 月进行。

供试‘嘎拉’和‘红富士’苹果采收于江苏省徐州丰县大沙河,采后立即装车运回南京农业大学实验室。选择色泽相近、大小一致、无机械损伤、无自然病害的果实用于试验。扩展青霉 (*P. expansum*) 和灰葡萄孢霉 (*Botrytis cinerea*) 的来源、活化及制备参考文献 (Shao et al, 2007; 邵兴锋等, 2007),制成  $10^5$  个  $\cdot \text{mL}^{-1}$  的孢子悬浮液备用。

‘嘎拉’苹果和‘红富士’苹果采后经 38 ℃ 热处理 4 d,在 0 ℃ 分别贮藏 2 个月或 4 个月,再在 20 ℃ 贮藏 1 周模拟货架;对照组直接在 0 ℃ 贮藏后再加 1 周货架 (Shao et al, 2007)。货架期后,每组取 5 个果实用于电镜观察。从果实赤道部位取表皮数块,迅速放置于铜块上并在液氮中冷冻,冷冻的样品在冷冻真空干燥机中逐步干燥脱水,然后使用离子溅射仪在表面喷涂 Pt,最后使用日立 S-3000N 扫描电子显微镜观察。

另外,采用人工刺伤的方式模拟果实的机械伤口。‘嘎拉’和‘红富士’苹果各 90 个,用 2% 次氯酸钠浸泡 2 min,清水冲洗后晾干。在每个果实上刺 2 个伤口 (直径 2~3 mm、深 2~3 mm),后随机分为 3 部分,每部分 30 个果。第 1 部分 (W D),刺伤后立即分别接种  $15 \mu\text{L}$   $10^5$  个  $\cdot \text{mL}^{-1}$  的或 *B. cinerea* 孢子悬浮液 (各 15 个果实);第 2 部分 (W C D),刺伤果实在 20 ℃ 愈伤处理 4 d,再分别接种;第 3 部分 (W H D),刺伤果实在 38 ℃ 愈伤处理 4 d,再分别接种。20 ℃ 贮藏 8 d 观察发病情况。

数据为重复测定 2 次的平均值。用 SAS 9.0 Duncan's Multiple Range Test ( $P = 0.05$ ) 进行方差分析,比较处理间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 热空气处理对苹果自然微小伤口的影响

扫描电镜结果显示,热处理对‘嘎拉’和‘红富士’苹果微小伤口的影响一致,现以‘红富士’苹果为例来说明。

经过 4 个月冷藏和 1 周货架后,未经热处理的红富士苹果表面存在微小伤口 (图 1, A);伤口处清晰可见大量真菌生长 (图 1, B)。但是,在经过热处理的苹果果皮上,表面果蜡较为均匀,微小伤口几乎被抹平 (图 1, C);在高倍镜下观察发现,经热处理的果实表面的伤口被融化的果蜡充填,且没有生长的真菌,一些先前存在的菌丝体也被融化的果蜡包裹而失活 (图 1, D)。由此可见,这些微小伤口在热处理前已经存在,且已经感染病原菌。热处理能使果蜡融化从而封堵易于病原菌入侵的微小伤口或裂纹,并使早期萌发的病菌孢子胶囊化,抵抗病害的发生,这与 Roy 等 (1994) 和 Schirra 等 (2000) 的研究结果相吻合。

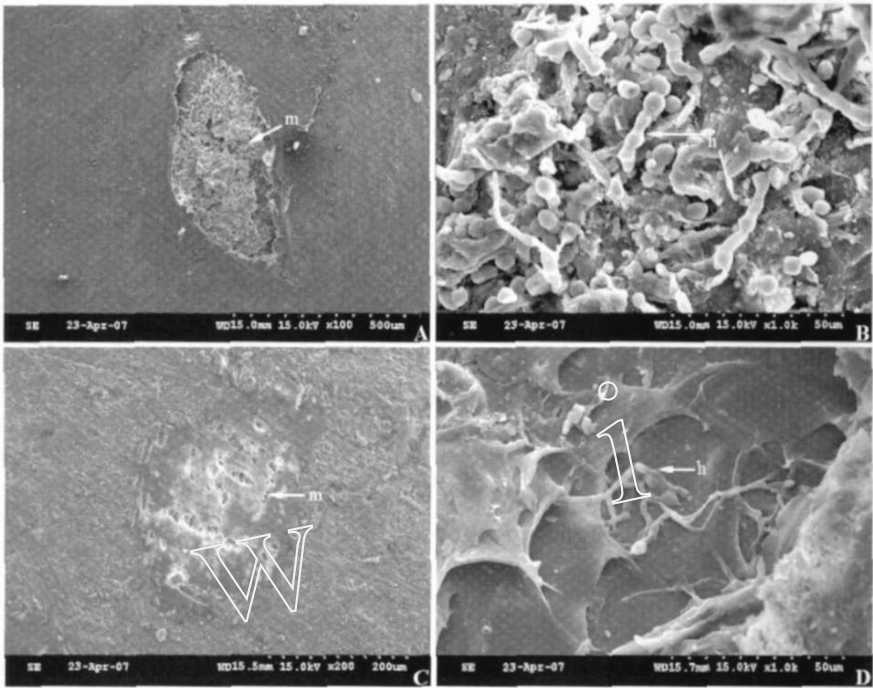


图 1 扫描电镜观察未处理 (A、B) 和热处理 (C、D) ‘红富士’苹果表面果蜡结构  
m: 微伤口; h: 菌丝。

Fig 1 SEM images of micro-wound on the ‘Red Fuji’ apple fruits surface,  
apples non-heated (A, B) or heat-treated (C, D)  
m: Micro-wound; h: Hypha

2.2 热空气处理对苹果机械伤口处病害的影响

有研究表明，新鲜伤口在愈伤处理数日后表现出更强的防御能力，从而减少病害的发生或发展，建议可以以病害的发生情况作为指标，反映伤口愈合的效果（Lakshminarayana et al，1987；Leverentz et al，2000；Schirra et al，2000）。由表 1 可知，无论是‘嘎拉’或‘红富士’苹果，人为刺伤后立即接种 *P. expansum* 或 *B. cinerea* 孢子悬浮液，在 20℃ 下贮藏 8 d 后，均有严重的病害发生，尤其是 *B. cinerea* 引发的灰霉病更为严重。与之相比，刺伤后 20℃ 愈伤 4 d 和刺伤后 38℃ 愈伤 4 d 的青霉病和灰霉病的发生率和病斑直径显著降低。可见，在常温或者高温下愈伤处理 4 d 后，对 2 种病原菌的抵抗能力提高。

表 1 热处理（38℃，4 d）对‘嘎拉’和‘红富士’苹果伤口愈合的影响

Table 1 The effect of heat treatment (38℃，4 days) on the wound healing of ‘Gala’ and ‘Red Fuji’ apples

品种 Cultivar	处理 Treatment	扩展青霉 / ( $\times 10^5 \cdot \text{mL}^{-1}$ ) <i>P. expansum</i>		灰葡萄孢霉 / ( $\times 10^5 \cdot \text{mL}^{-1}$ ) <i>B. cinerea</i>	
		病害发生率 / % Decay incidence	病斑直径 / cm Lesion diameter	病害发生率 / % Decay incidence	病斑直径 / cm Lesion diameter
嘎拉 Gala	WI	85.0 $\pm$ 6.0 a	2.38 $\pm$ 0.17 a	100.0 $\pm$ 0.0 a	5.38 $\pm$ 0.41 a
	WCI	5.0 $\pm$ 0.4 c	1.00 $\pm$ 0.07 b	67.5 $\pm$ 4.7 c	3.75 $\pm$ 0.26 b
	WHI	42.5 $\pm$ 3.0 b	2.34 $\pm$ 0.16 a	97.5 $\pm$ 1.8 b	3.91 $\pm$ 0.25 b
红富士 Red Fuji	WI	100.0 $\pm$ 0.0 a	3.25 $\pm$ 0.23 a	100.0 $\pm$ 0.0 a	6.68 $\pm$ 0.47 a
	WCI	50.0 $\pm$ 3.5 b	2.05 $\pm$ 0.14 b	36.8 $\pm$ 2.6 b	3.42 $\pm$ 0.24 b
	WHI	35.0 $\pm$ 2.8 c	1.90 $\pm$ 0.18 b	22.5 $\pm$ 1.6 c	3.24 $\pm$ 0.23 b

注：邓肯氏新复极差法检验，不同小写字母表示不同处理间差异显著（ $P=0.05$ ）。  
Note: Different small letters show significant difference ( $P=0.05$ ) by Duncan’s new multiple range test

另外, 常温愈伤和高温愈伤相比, 其效果在品种间有一定的差异。对‘红富士’而言, 高温愈伤处理更有利于其伤口愈合, 显著降低了青霉病和灰霉病的发生率; 而对于‘嘎拉’苹果, 高温愈伤效果不如常温 (20℃) 愈伤。

### 3 讨论

本研究发现, 热处理能使苹果表面的果蜡融化, 从而使孢子胶囊化、封堵微小伤口, 这种封堵作用可以在贮藏过程中抵抗病原菌的入侵。对人工刺伤的苹果伤口, 与 20℃ 愈伤 4 d 相比较, 38℃ 热处理显著的有利于‘红富士’苹果的伤口愈合, 但是不利于‘嘎拉’苹果的伤口愈合及防病, 热处理对苹果伤口愈合的作用效果存在品种上的差异。本课题组先前的研究发现, 热处理对苹果后熟的影响也存在品种上的差异, 这主要是由于热处理对两种苹果乙烯释放量的影响不同, 热处理能降低‘嘎拉’苹果贮藏前期的乙烯释放量, 但对‘红富士’未产生显著的影响 (Shao et al, 2007)。van Loon 等 (2006) 认为乙烯是重要的信号物质, 能调节伤口愈合等病害防御反应从而形成抵抗力。我们推测, 热处理降低了‘嘎拉’苹果的乙烯释放, 可能抑制了乙烯作为信号物质诱发伤口防御反应, 从而不利于伤口愈合。热处理对苹果伤口愈合的不同影响是否与热处理对乙烯的不同影响等因素有关, 值得在今后进一步深入研究。

### References

- Lakshminarayana S, Sommer N F, Polio V, Fortlage R J. 1987. Development of resistance to infection by *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* in wounds of mature apple fruits. *Phytopathology*, 77: 1674 - 1678.
- Leverenz B, Janisiewicz W J, Conway W S, Janisiewicz W J, Saffner A, Camp M J. 2000. Combining yeasts or a bacterial biocontrol agent and heat treatment to reduce postharvest decay of ‘Gala’ apples. *Postharvest Biology and Technology*, 21: 87 - 94.
- Lurie S, Fallik E, Klein J D, Kozar F, Kovacs K. 1998. Post-harvest heat treatment of apples to control San Jose Scale (*Quadraspidiotus perniciosus* Comstock) and blue mold (*Penicillium expansum* Link) and maintain fruit firmness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1: 110 - 114.
- Plaza P, Usall J, Torres R, Lamacra N, ASENSIO À, Viñas I. 2003. Control of green and blue mould by curing on oranges during ambient and cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 28: 195 - 198.
- Roy S, Conway W S, Watada A E. 1994. Heat treatment affects epicuticular wax structure and postharvest calcium uptake in ‘Golden Delicious’ apples. *HortScience*, 29: 1056 - 1058.
- Schirra M, D’Hallenwin G, Ben-Yehoshua S, Fallik E. 2000. Host-pathogen interaction modulated by heat treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 21: 71 - 85.
- Spotts R A, Chen P M. 1987. Pre-storage heat treatment for control of decay of pear fruit. *Phytopathology*, 77: 1578 - 1582.
- Spotts R A, Sanderson P G, Lennox C L, Sugar D, Cervantes L A. 1998. Wounding, wound healing and staining of mature pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 13: 27 - 36.
- Shao X F, Tu K, Zhao Y Z, Chen L, Chen Y Y, Wang H. 2007. Effects of pre-storage heat treatment on fruit ripening and decay development in different apple cultivars. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82: 297 - 303.
- Shao Xing-feng, Tu Kang, Jing Wei, Wang Hai, Chen Yu-yan, Chen Li. 2007. The effect of pre-storage hot air treatment on the blue mold rot of Red Fuji apple fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (3): 743 - 746. (in Chinese)
- 邵兴锋, 屠康, 静玮, 王海, 陈育彦, 陈莉. 2007. 热空气处理对红富士苹果贮藏期间青霉病的抑制效果. *园艺学报*, 34 (3): 743 - 746.
- Tu K, Shao X F, Chen L, Jing W, Chen Y Y, Wang H, Pan L Q. 2006. Effects of pre-storage hot air treatment on the post-harvest quality and blue mold control of ‘Red Fuji’ apple fruit. *Acta Horticulturae*, 712: 793 - 798.
- van Loon L C, Geraats B P J, Linthorst H J M. 2006. Ethylene as a modulator of disease resistance in plants. *Trends Plant Science*, 11: 84 - 91.