

# 草莓采后真菌病害控制研究进展

杨书珍<sup>1</sup> 柳丽梅<sup>1</sup> 彭丽桃<sup>1</sup> 周厚成<sup>2</sup> 潘思轶<sup>1</sup> 张丽华<sup>3</sup>

1. 华中农业大学食品科技学院, 武汉 430070; 2. 中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009;  
3. 杭州娃哈哈集团有限公司, 杭州 310033

**摘要** 草莓采后极易受病原真菌的侵染, 使果实腐烂变质、品质下降, 给生产带来重大的经济损失。随着我国草莓种植面积的扩大, 草莓采后的防腐保鲜已经成为急需解决的问题。本文从物理途径、化学途径、生物途径等方面对草莓采后真菌病害控制方法的研究进展进行综述, 为有效控制草莓采后真菌病害和延长货架期提供思路。

**关键词** 草莓; 真菌病害; 采后; 控制方法

**中图分类号** S 668.4; TS 255.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)01-0127-06

草莓(*Fragaria ananassa* Duchesne) 属蔷薇科草莓属, 果实色泽亮丽、柔软多汁、营养价值高, 是一种深受消费者喜爱的高档水果<sup>[1]</sup>; 因其组织娇嫩, 在采收和贮运过程中易受机械损伤和微生物侵染, 采收后 1~2 d 即腐烂变质。近年来, 随着我国草莓种植规模的不断扩大和产量的迅猛上升, 草莓的防腐保鲜问题已经成为制约草莓产业发展的瓶颈, 迫切需要开发一些高效、安全、绿色的草莓防腐保鲜新技术。

由病原真菌侵染引起的果实腐烂是造成草莓采后损失的重要原因之一。草莓果实采后容易发生的真菌病害主要有草莓灰霉病、草莓软腐病、草莓炭疽病、草莓疫病、草莓白粉病等, 分别由灰葡萄孢 *Botrytis cinerea* Pers. ex Fr.、黑根霉 *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb. ex Fr.) Vuill.、尖孢炭疽菌 *Colletotrichum acutatum* J. H. Simmonds、恶疫霉 *Phytophthora cactorum* (Leb. et Cohn) Schroet、粉孢霉属 *Oidium* sp. 等侵染所致。此外, 侵染采后草莓果实的病原真菌还有 *Mucor piriformis*、*Mucor nucedo*、*Rhizopus* spp.、*Cladosporium* spp.、*Gloeosporium* spp.、*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz)、*Colletotrichum fragariae* (Brooks)、*Rhizopus sexualis* (Smith) Call、*Colletotrichum* spp.、*Phomopsis obscurans* (Ellis & Everhl) 等<sup>[2]</sup>。由于病原真菌侵染是导致采后草莓腐烂霉变的重要原因, 因此, 寻找高

效、安全、操作方便且成本低的采后草莓病害的防控技术, 一直是草莓采后贮藏保鲜研究的重要领域之一, 且对延长草莓的货架期具有重要意义。本文从物理途径、化学途径、生物途径等方面对近年来草莓采后真菌病害防控技术的研究进展做一综述, 旨在为今后研究开发草莓保鲜技术提供参考。

## 1 物理途径

### 1.1 低温冷藏

温度是影响贮藏时间、控制腐烂的主要因素。大量研究表明, 低温对延缓腐烂有明显的作用。低温贮藏可以分为低温冷藏、冰温保鲜和速冻贮藏。草莓果实采收后及时进行强制通风冷却, 使果温降低至冷藏温度, 再进行冷藏, 效果较好。一般认为草莓适宜的冷藏温度为 0℃, 相对湿度 90%~95%。冰温保鲜是指在 0℃ 以下冰点以上的温度区域保鲜果蔬, 是降低草莓腐烂率的另一重要方法。冰温保鲜技术可以有效地降低草莓的呼吸强度, 抑制微生物生长, 减弱草莓的蒸腾作用, 草莓的冰点温度为 -0.8~-1℃。张桂等<sup>[3]</sup>采用 -0.5℃ 冰温保存“达赛莱克特”草莓, 最长可保存 31 d, 并保持良好的色、香、味。低温速冻是长时间贮藏草莓的有效方法, 草莓果实置于 -40~-35℃ 下速冻, 然后在 -18℃ 低温冷库中贮存, 可以达到长时间贮藏草莓的目的, 但低温速冻贮藏草莓易使草莓产生再结晶的问题, 影

收稿日期: 2010-12-03

基金项目: 河南省重点科技攻关项目(092102110038)

杨书珍, 博士, 讲师. 研究方向: 食品贮藏与保鲜. E-mail: yszhen@mail.hzau.edu.cn

通讯作者: 彭丽桃, 博士, 副教授. 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜. E-mail: penglt12@mail.hzau.edu.cn

响商品品质,同时速冻的成本高,不适合大规模贮藏草莓<sup>[4]</sup>。

## 1.2 温度预处理

贮藏前预温处理作为一种安全、无公害的保鲜技术,具有无毒、无污染和易操作等特点,渐渐受到人们的关注。有关草莓的防腐保鲜的研究中,温度预处理主要包括高温热处理和低温处理。目前报道的高温热处理方法主要有热空气、热水、热蒸汽等 3 种处理方式。48℃热空气处理采后草莓 3 h 能有效控制草莓腐烂<sup>[5]</sup>。陈爱平等<sup>[6]</sup>比较了不同温度热水和热空气处理,发现 42℃热水处理 15 min 优于 42℃热空气处理 30 min,果实出现腐烂的时间推迟,贮藏期延长。热蒸汽处理 7~8 成熟的“丰香”草莓果实 10、20 s,可以明显抑制贮藏期间果实的花青素积累,降低果实失重率、腐烂指数和呼吸速率,有效延长果实贮藏时间<sup>[7]</sup>。热处理控制草莓病害的作用机制不仅在于热处理对病原真菌有直接的抑制作用,还在于可以激发一些与水果自身抗病性相关的酶(如过氧化物酶、过氧化氢酶、苯丙氨酸解氨酶等)的活性,从而有效地减少果实的腐烂<sup>[8]</sup>。此外,草莓贮藏前低温预冷处理也是有效保持产品品质的方法之一,在 5~15℃的预冷温度处理条件下,处理温度与果实腐烂率具有显著正相关,以 5℃处理 30 min 的果实腐烂率最低<sup>[9]</sup>。采用水冷和强制通风冷却方式将 Sweet charlie 草莓和 Camarosa 草莓分别冷却到 0 和 4℃,可有效降低草莓果实的腐烂率,延长果实的贮藏时间,因此低温预处理在草莓防腐保鲜上表现出潜在的应用价值<sup>[10-11]</sup>。

## 1.3 辐照处理

食品辐照是利用原子能射线的辐射能量对食品进行杀菌、抑制发芽、延缓成熟等加工处理,以达到延长食品保藏期的方法和技术。 $\gamma$ 射线辐照处理能够显著降低“丰香”草莓贮藏期间的腐烂率,适宜的辐照剂量为 2.5~3.5 kGy<sup>[12]</sup>。紫外短波辐射处理对草莓具有良好的防腐保鲜效果,0.05~1.5 J/cm<sup>2</sup>紫外短波处理可以显著地延缓草莓真菌病害的生长,但剂量高于 1.00 J/cm<sup>2</sup>会导致草莓萼片的褐变和失水<sup>[13]</sup>。其作用机制可能与紫外短波处理抑制果实细胞降解酶活性,延缓果实的软化,增强抗氧化能力和抗氧化酶活性,从而提高草莓自身的抗病性<sup>[13]</sup>。

## 1.4 涂膜保鲜

可食性被膜能在果蔬表面形成一层对水分和气

体具有半透性的屏障,从而降低果蔬的呼吸作用,对抑制果蔬贮藏期间病原微生物的生长和果蔬品质保持具有良好作用。目前,用于草莓保鲜的被膜材料主要有蛋白被膜(玉米醇溶蛋白、大豆蛋白、面筋蛋白)、多糖被膜(壳聚糖、魔芋葡甘聚糖、海藻酸钠)、油脂被膜等。4%的甘薯淀粉涂膜可以显著减少草莓腐烂,4℃下可贮藏 14 d<sup>[14]</sup>;1.5%壳聚糖被膜处理草莓后,20℃下贮藏 4 d,果实未发生真菌腐烂,且延缓了果实成熟,添加油酸可以进一步增强壳聚糖被膜抗菌性能与保水性能<sup>[15-16]</sup>;海藻酸钠被膜处理对草莓保鲜也有较好的效果<sup>[17]</sup>。另外,可食性膜还是防腐剂的良好载体,将防腐剂添加到被膜材料中,然后对草莓果实涂膜处理,可以显著提高被膜的抑菌防腐效果。段丹萍等<sup>[18]</sup>在 1%壳聚糖涂膜液中添加纳他霉素,显著降低了草莓果实的腐烂率,其中含 0.04%纳他霉素的涂膜液的防腐效果最好。在大豆蛋白复合膜中添加 0.3%的亚硫酸钠也可以降低草莓果实腐烂率。

## 1.5 其他物理方法

超声波具有机械效应、热效应和空化效应等特殊的物理性能,可以通过扰乱微生物细胞的生命活动来达到杀菌的目的,具有无化学残留、安全性高、简便有效等优点,被广泛用于控制果实采后病害。采用频率为 40 kHz,功率为 250 W 的超声波处理“丰香”草莓 9.8 min,可以显著降低果实冷藏期间的发病率,同时可以保持果实的品质<sup>[19]</sup>。高压静电场和交变磁场处理在草莓防霉保鲜中也表现出潜在的应用价值,以 100 kV/m 静电场处理草莓 30 min,果实贮藏期间的腐烂指数最低<sup>[20]</sup>;4.22 A/m 的交变磁场对草莓果实的霉变发生率有显著的抑制作用,同时对果实食用品质无不良影响<sup>[21]</sup>。物理方法处理采后果实无农药残留,安全性能高,具有较好的发展前景。

## 2 化学途径

### 2.1 气体处理

气体熏蒸处理操作简单易行、成本低廉,是果实采后常用的防腐保鲜手段。目前报道的用于控制草莓采后真菌病害的气体主要有臭氧、氧气、二氧化碳、一氧化二氮、一氧化氮、氯气等。臭氧在果蔬贮藏保鲜中除了具有杀灭或抑制微生物生长、防止腐烂的作用外,还可以氧化分解乙烯,具有延缓衰老的保鲜作用。在 20℃下,4.50×10<sup>-7</sup>或 6.00×10<sup>-7</sup>

mol/L 臭氧浓度处理 48 h, 灰霉菌孢子死亡率达到了 99.5%, 气生菌丝长度由对照的 4.6 mm 下降到 1 mm, 同时孢子形成能力也受到显著抑制, 显示臭氧对病原真菌具有直接杀灭能力<sup>[22]</sup>。Nadas 等<sup>[23]</sup>发现臭氧处理还可以提高果实的诱导抗病性, 经过低温臭氧处理 3 d 的 Camarosa 草莓接种灰霉菌后, 在常温下放置 2 d, 果实的腐烂率仅为 20%, 而对照腐烂率达到 75%, 表明臭氧处理的草莓果实诱导抗病性显著提高。但是, 臭氧对草莓果实的防腐保鲜效果不稳定, 有报道<sup>[24]</sup>发现臭氧水处理对 20 °C 下贮藏的 Camarosa 草莓采后病原真菌没有抑制作用; 同时臭氧胁迫降低了对臭氧敏感的草莓品种贮藏期间的抗坏血酸含量、果实的甜度, 提高草莓果实的脂质过氧化程度。因此, 臭氧对于草莓的防腐保鲜效果尚需进一步验证。

活性氯在草莓防腐保鲜上表现出良好的应用前景。Avis 等<sup>[25]</sup>评价了活性氯气体对草莓真菌病害的防治效果, 结果表明: 10 mg/L 活性氯处理灰霉菌和根霉菌 6 h, 可以完全抑制病菌孢子的萌发, 20 mg/L 活性氯可以完全抑制根霉菌和灰霉菌菌丝体生长; 用 20 mg/L 的氯气处理接种病原菌的草莓果实 6 h, 果实发病率下降 60%, 产品的色泽和硬度没有显著改变。此外, O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、NO 等气体在草莓防腐保鲜中也有研究报道。用 60~100 kPa 高 O<sub>2</sub> 包装草莓可以增强果实抗病性, 有效降低果实贮藏期间真菌病害的发病率, 提高果实的抗氧化能力, 保持草莓的食用品质, 但贮藏后草莓果实的挥发性成分有所下降<sup>[26]</sup>。在 3 °C, 10% CO<sub>2</sub>、11% O<sub>2</sub> 气调环境可以显著降低贮藏过程中由灰霉病引起的果实腐烂。研究<sup>[27]</sup>发现, 在 4 °C 下用 100 kPa CO<sub>2</sub> 处理草莓果实 4 h, 显著增加 Akihime、Seolhyang 和 Maehyang 草莓品种的抗病性和果实硬度; 但 CO<sub>2</sub> 浓度对草莓果实的保鲜效果有重要影响, 浓度过低对草莓保鲜没有显著效果, 浓度过高(>15%时), 果实品质严重下降, 腐烂率迅速增加。Al-Jamali 等<sup>[28]</sup>报道在 100 kPa 的 N<sub>2</sub>O 气体环境中贮藏草莓, 果实发病率明显降低, 即使将经气体处理后的果实转移至正常气体状态, 草莓贮藏期间的真菌病害发病率显著低于对照, 同时对草莓果实的品质没有不良影响。5~10 μL/L 的 NO 熏蒸处理也可以降低草莓贮藏期间的腐烂变质, 延长草莓货架期<sup>[29]</sup>。

## 2.2 水杨酸

水杨酸是一种内源激素, 可以抑制采后果实成

熟过程中乙烯的合成, 延缓组织衰老; 同时水杨酸与果实的诱导抗病性有密切联系, 能够降低多种果实贮藏期间的腐烂率<sup>[30]</sup>。杨书珍等<sup>[31]</sup>用不同浓度的水杨酸处理草莓, 发现可以降低果实贮藏期间的腐烂率, 延长草莓的贮藏时间, 但浓度偏高会导致草莓果实出现不同程度的药害。Barbalar 等<sup>[32]</sup>发现采前和采后用水杨酸处理 Selva 草莓, 均能抑制果实中乙烯产生和真菌引起的腐烂, 其最适宜处理浓度为 2 mmol/L, 用 4 mmol/L 水杨酸则造成果实腐烂。因此, 使用水杨酸处理草莓, 应控制在适宜的浓度范围内。

## 2.3 化学合成杀菌剂

采后杀菌剂处理是果蔬采后常用的处理方法之一。近年来人们研究了二氯乙氰酸钠、二水合二氯异氰尿酸钠、异菌脲、啶酰菌胺、啞菌环胺、咯菌腈、环酰菌胺等商业化应用的化学合成杀菌剂对草莓的防腐保鲜效果。贮前用异菌脲(iprodione)结合克菌丹(captan)、福美双(thiram)处理草莓果实, 可以减少采前草莓果实的腐烂率, 提高了草莓的产量<sup>[33]</sup>。开花期至采收期间喷洒啞酰菌胺(boscalid)或啞酰菌胺, 果实采收后在 5 或 20 °C 下贮藏, 可以减少 Camarosa 草莓果实贮藏期间匍枝根霉和灰霉的发病率。环酰菌胺(fenhexamid)对草莓灰霉病有一定的防治作用, 但对匍枝根霉没有效果。采后用啞酰菌胺(600~700 mg/L)或啞菌环胺(cyprodinil)结合咯菌腈 fludioxonil 浸泡处理也可以降低草莓果实贮藏期间匍枝根霉和灰霉的发病率, 有效控制草莓采后果实的腐烂。化学合成杀菌剂虽然是传统的果实采后处理方法, 但随着人们健康意识的增强以及化学杀菌剂带来的药剂残留、环境污染以及抗性菌株等问题, 化学合成杀菌剂将逐渐被其他更安全有效的生物杀菌剂所取代。

## 2.4 其他化学处理

经过苯乙醇处理的草莓果实在 4 °C 下贮藏, 果实真菌病害发病率显著低于对照果实, 且贮藏 15 d 后, 其香气成分与新鲜草莓相差很小, 果实的失水及营养成分的下降均低于对照, 说明苯乙醇可延长草莓的贮藏期<sup>[34]</sup>。采前 50% 乙醇处理草莓果实, 可以显著抑制草莓贮藏期间的果实灰霉菌病害发病率<sup>[35]</sup>; 采后乙醇和茉莉酸甲酯处理, 增加果实抗氧化性、总酚含量和花色素含量及芳香物质成分, 贮藏寿命大幅度提高<sup>[36]</sup>。草莓采前 3 d 喷洒 100 μL/L 过氧乙酸溶液, 能显著减少果实腐烂, 而采前 1 d 喷

酒,效果不佳<sup>[37]</sup>。醋酸熏蒸也可抑制根霉和灰霉真菌引起的腐烂,6 mg/L 醋酸熏蒸 30 min 效果最佳,腐烂抑制率达到 56%,该处理可以将霉菌数量降低 2 个数量级,但对好氧细菌影响较小<sup>[38]</sup>。

### 3 生物途径

#### 3.1 天然产物防腐保鲜

安全、健康的天然保鲜剂和生物保鲜剂是草莓保鲜的发展方向和研究热点。很多天然植物含有活性抗菌成分,是研究天然防腐保鲜剂的重要材料。李学红等<sup>[39]</sup>、Bautista-banos 等<sup>[40]</sup>研究发现,以丁香和肉桂提取液为主要成分的天然防腐剂对草莓果实表面的黑根霉具有显著的抑制作用,将这种天然防腐剂加入到涂膜液中,可以有效地降低草莓果实在贮藏过程中的腐烂率,而开口箭叶子提取物对草莓灰霉病有显著的抑制作用。甘瑾等<sup>[41]</sup>研究了 8 种天然植物提取液对草莓采后病原真菌的抑制作用,发现连翘、大黄的乙醇提取液及高良姜素、黄连的水提液对草莓采后病害具有显著的抑制作用。此外,寡糖中科 6 号、金担子素 A、2-己烯醛、S-甲基苯并[1,2,3]噻二唑-7-硫代羧酸酯甚至牡蛎酶解多肽片段 CgPep33 等天然产物对草莓采后真菌病害具有控制作用,可延缓草莓的腐败和延长草莓的货架期<sup>[42-43]</sup>。

植物精油对草莓病原真菌也表现出良好的抑菌作用,如桉树和桂皮精油熏蒸处理采后草莓,果实贮藏期间腐烂率大幅度下降,而果实硬度、糖度、酸度和总酚含量没有影响<sup>[44]</sup>。Hadian 等<sup>[45]</sup>在研究薄荷、熏衣草、小茴香、孜然 4 种精油对草莓果实的防腐保鲜效果时,发现 4 种精油对离体培养的灰霉菌、根霉菌和黑曲霉有良好的抑制效果,其中 750  $\mu\text{L/L}$  的孜然精油能完全抑制 3 种菌在马铃薯培养基上的生长;含 36.2%薄荷醇和 32.4%薄荷酮的薄荷精油处理采后草莓后,草莓果实腐烂率最低,效果甚至优于化学药剂 TBZ 处理。此外,麝香草酚、薄荷醇、丁香油酚、大蒜精油的活性组分异硫氰酸烯丙酯对草莓真菌病害也表现出良好的抑制作用<sup>[46]</sup>。植物精油安全、使用方便,因此,在草莓保鲜中有潜在的应用及研究价值。

#### 3.2 拮抗微生物

自 1953 年首次报道枯草芽孢杆菌对柑橘果实病原菌具有拮抗作用以来,国内外学者对拮抗菌防治采后果实病害进行了广泛的研究。目前从草莓果

实中分离的拮抗微生物主要有罗伦隐球酵母、酿酒酵母菌、粘红酵母、出芽短梗霉菌、中度嗜盐菌、多粘类芽孢杆菌、哈茨木霉等<sup>[47-52]</sup>。克氏酵母在草莓采前使用后,能有效控制灰霉病引起的腐烂,采后施用控制效果与扑灭宁相似;粘红酵母对草莓灰霉病菌具有拮抗作用,一定浓度的水杨酸和壳聚糖能增强粘红酵母的抑菌效果。不同拮抗菌对草莓病原真菌的抑菌机制有所差异<sup>[48]</sup>。粘红酵母、中度嗜盐菌主要通过分泌体外抗真菌水解酶(几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶、纤维素酶和蛋白酶)来抑制草莓采后病原真菌的生长。酿酒酵母、出芽短梗霉主要通过提高绿熟期草莓的诱导抗病性来控制霉菌引起的腐烂<sup>[49]</sup>。尽管拮抗微生物对草莓真菌病害表现出一定的控制效果,但由于拮抗微生物生长受多种因素影响,其在生产中的应用,尚需时日。

### 4 展望

长期以来,我国生产的草莓多数就近销售或短期贮藏,容易造成“旺季烂、淡季断”的现象。随着我国草莓种植面积的迅猛增加,草莓贮藏保鲜的问题日益突出;但相对苹果、香蕉、柑橘等大宗水果来说研究报道较少,草莓采后贮藏保鲜技术的研究严重滞后于生产。要解决草莓的贮藏保鲜问题,重点需要做好以下几方面的工作:一是有针对性地选育更多的抗病、耐贮运品种,从根本上解决草莓的腐烂变质问题;二是将诱导果实抗病性和抑制果实病害的措施相结合,寻找适合草莓贮藏保鲜的生物防腐保鲜剂;三是物理、化学熏蒸方法对果实表皮结构损伤较小,更有利草莓病害控制和货架期延长,具有潜在的研究和应用价值;四是深入研究草莓采后病害侵染过程及不同处理对控制草莓病害的作用机制,将有利于开发适合草莓贮藏保鲜的新技术和新方法。

### 参 考 文 献

- [1] 张喜才,谢晶,韩志. 草莓的保鲜现状研究[J]. 农产品加工学刊,2006,64(5):36-39.
- [2] 李艳萍,郑服从. 草莓果实采后病害及保鲜技术[J]. 热带农业科学,2002,22(2):64-69.
- [3] 张桂,赵国群. 草莓冰温保鲜技术的研究[J]. 食品科技,2008(3):237-239.
- [4] 乔勇进,王海宏,方强,等. 草莓采后处理及贮藏保鲜研究进展[J]. 上海农业学报,2007,23(1):109-113.
- [5] VICENTE A R, MARTINEZ G A, CHAVES A R, et al. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage[J]. Postharv Biol Technol, 2006,

- 40;116-122.
- [6] 陈爱平, 史辉, 王莉, 等. 热处理与贮藏温度对草莓果实储存期和品质的影响[J]. 西南大学学报, 2010, 32(8): 48-52.
- [7] 杜正顺, 巩惠芳, 汪良驹, 等. 贮前热蒸汽处理对草莓果实保鲜效应的研究[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(4): 37-42.
- [8] WANG K T, CAO S F, JIN P, et al. Effect of hot air treatment on postharvest mould decay in Chinese bayberry fruit and the possible mechanisms[J]. Inter J Food Microbiol, 2010, 141: 11-16.
- [9] 钱玉梅, 高丽萍, 张玉琼. 采后预温处理对草莓果实贮藏保鲜效果的影响[J]. 生物学杂志, 2006, 23(2): 50-53.
- [10] FERREIRA M D, BRECHT J K, SARGENT S A, et al. Hydrocooling as an alternative to forced-air cooling for maintaining fresh-market strawberry quality [J]. Hort Technol, 2006, 16: 659-666.
- [11] 祖智波, 李文革. 辐照对草莓保鲜的效果研究[J]. 食品科技, 2006, 31(5): 114-116.
- [12] MARQUENIE D, MICHIELS C W, GEERAERD A H, et al. Using survival analysis to investigate the effect of UV-C and heat treatment on storage rot of strawberry and sweet cherry [J]. Inter J Food Microbiol, 2002, 73: 187-196.
- [13] POMBO M A, DOTTO M C, MARTINEZ G A. UV-C irradiation delays strawberry fruit softening and modifies the expression of genes involved in cell wall degradation[J]. Postharv Biol Technol, 2009, 51: 141-148.
- [14] MALI S, GROSSMANN M V E. Effects of yam starch films on storability and quality of fresh strawberries (*Fragaria × ananassa*) [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51: 7005-7011.
- [15] HERNANDEZ-MUNOZ P, ALMENAR E, OCIO M J, et al. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria × ananassa*) [J]. Postharv Biol Technol, 2006, 39: 247-253.
- [16] VARGAS M, ALBORS A, CHIRALT A, et al. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings[J]. Postharv Biol Technol, 2006, 41: 164-171.
- [17] FAN Y, XU Y, WANG D F, et al. Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria × ananassa*) preservation quality [J]. Postharv Biol Technol, 2009, 53: 84-90.
- [18] 段丹萍, 乔勇进, 鲁莉莎, 等. 纳他霉素壳聚糖复合涂膜对草莓保鲜的影响[J]. 湖南农业大学学报, 2010, 36(2): 237-241.
- [19] CAO S F, HU Z C, PANG B. Optimization of postharvest ultrasonic treatment of strawberry fruit[J]. Postharv Biol Technol, 2010, 55: 150-153.
- [20] 肖艳辉, 何金明, 张贵虹. 高压静电场对草莓贮藏效果的影响[J]. 江苏农业科学, 2007(1): 175-177.
- [21] 高梦祥, 王春萍. 交变磁场对草莓保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(1): 155-158.
- [22] SHARPE D, FAN L H, MCRAE B K, et al. Effects of ozone treatment on *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum* in relation to horticultural product quality[J]. J Food Sci, 2009, 74: 250-257.
- [23] NADAS A, OLMO M, GARCIA J M. Growth of *Botrytis cinerea* and strawberry quality in ozone-enriched atmospheres[J]. J Food Sci, 2003, 68: 1798-1802.
- [24] KEUTGEN A J, PAWELZIK E. Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under simulated retail conditions[J]. Postharv Biol Technol, 2008, 49: 10-18.
- [25] AVIS T J, MARTINEZ C, TWEDDELL R J. Effect of chlorine atmospheres on the development of rhizopus rot (*Rhizopus stolonifer*) and gray mold (*Botrytis cinerea*) on stored strawberry fruits [J]. Can J Plant Path, 2006, 28: 526-532.
- [26] AYALA-ZAVALA J F, WANG S Y, WANG C Y, et al. High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit [J]. Food Tech Biotechnol, 2007, 45: 166-173.
- [27] MATSUMOTO K, HWANG Y S, LEE C H, et al. Changes in firmness and pectic polysaccharide solubility in three cultivars of strawberry fruit following short-term exposure to high CO<sub>2</sub> [J]. J Food Qual, 2010, 33: 312-328.
- [28] AL-JAMALI, A F, BANI-HANI M T. Improving postharvest strawberry fruit quality by inhibiting fungal growth with carbon dioxide and nitrous oxide at high ambient temperatures [J]. Acta Horticulture, 2007, 741: P16038.
- [29] 李卫琼, 李自强, 吴增程. 一氧化氮熏蒸对延长草莓货架期的影响[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(5): 719-722.
- [30] 王瑞霞, 王振中, 纪春艳, 等. 水杨酸诱导水稻抗菌物质对稻瘟病菌的抑制作用[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(2): 193-196.
- [31] 杨书珍, 饶景萍, 彭丽桃. 草莓保鲜试验研究初报[J]. 西北园艺, 2001(1): 8-10.
- [32] BABALAR M, ASGHARI M, TALAEIA, et al. Effect of pre- and postharvest salicylic on ethylene production, fungal decay acid treatment and overall quality of Selva strawberry fruit[J]. Food Chem, 2007, 105: 449-453.
- [33] BLACHARSKI R W, BARTZ J A, XIAO C L, et al. Control of postharvest *Botrytis* fruit rot with preharvest fungicide applications in annual strawberry[J]. Plant Dis, 2001, 85: 596-602.
- [34] MO E K, SUNG C K. Phenylethyl alcohol (PEA) application slows fungal growth and maintains aroma in strawberry[J]. Postharv Biol Technol, 2007, 45: 234-239.
- [35] KARABULUT O A, ARSLAN U, KURUOGLU G. Control of postharvest diseases of organically grown strawberry with preharvest applications of some food additives and postharvest hot water dips[J]. J Phytopathol, 2006, 152: 224-228.
- [36] AYALA-ZAVALA J F, WANG S Y, WANG C Y, et al. Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit[J]. Eur Food Res Technol, 2005, 221: 731-738.
- [37] NARCISO J A, BALDWIN E A, PLOTTO A, et al. Preharvest peroxyacetic acid sprays slow decay and extend shelf life of strawberries [J]. Hort Sci, 2007, 42: 617-621.
- [38] HASSENBERG K, GEYER M, HERPPICH W B. Effect of

- acetic acid vapour on the natural *Microflora* and *Botrytis cinerea* of strawberries [J]. *Eur J Hort Sci*, 2010, 75: 141-146.
- [39] 李学红, 马庆一, 彭雪萍. 香辛料抑菌活性研究及其在草莓保鲜中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2003, 24: 96-99.
- [40] BAUTISTA-BANOS S, GARCIA-DOMINGUEZ E, BARREIRA-NECHA L L, et al. Seasonal evaluation of the postharvest fungicidal activity of powders and extracts of huamuchil (*Pithecellobium dulce*): action against *Botrytis cinerea*, *Penicillium digitatum* and *Rhizopus stolonifer* of strawberry fruit [J]. *Postharv Biol Technol*, 2003, 29: 81-92.
- [41] 甘瑾, 马李一, 石雷. 草莓采后病原菌分离及天然物对其抑制作用[J]. *广东农业科学*, 2006(5): 85-88.
- [42] 张兴悦, 徐大明, 赵晓丹. 不同种类寡糖对草莓保鲜效果的影响[J]. *保鲜与加工*, 2006(4): 13-14.
- [43] CAO S F, HU Z C, ZHENG Y H, et al. Effect of post-harvest treatment with BTH on fruit decay, microbial populations, and the maintenance of quality in strawberry [J]. *J Hort Sci Biotechnol*, 2010, 85: 185-190.
- [44] TZORTZAKIS N G. Maintaining postharvest quality of fresh produce with volatile compounds [J]. *Inn Food Sci Emerg Technol*, 2007(8): 111-116.
- [45] HADIAN J, GHASEMNEZHAD M, RANJBAR H, et al. Antifungal potency of some essential oils in control of postharvest decay of strawberry caused by *Botrytis cinerea*, *Rhizopus stolonifer* and *Aspergillus niger* [J]. *J Essent Oil Bear Plants*, 2008, 11: 553-562.
- [46] WANG C Y, WANG S Y, YIN J J, et al. Enhancing antioxidant, antiproliferation, and free radical scavenging activities in strawberries with essential oils [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55: 6527-6532.
- [47] FAN Y, XU Y, WANG D F, et al. Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria × ananassa*) preservation quality [J]. *Postharv Biol Technol*, 2009, 53: 84-90.
- [48] ZHANG H Y, MA L C, JIANG S, et al. Enhancement of biocontrol efficacy of *Rhodotorula glutinis* by salicylic acid against gray mold spoilage of strawberries [J]. *Inter J Food Microbiol*, 2010, 141: 122-125.
- [49] DE-GOUVEA A, KUHN O J, MAZARO S M, et al. Control of leaf and flower diseases and postharvest quality of strawberry plants treated with *Saccharomyces cerevisiae* [J]. *Hort Brasil*, 2009, 27: 527-533.
- [50] BATTA Y A. Control of postharvest diseases of fruit with an invert emulsion formulation of *Trichoderma harzianum* Rifai [J]. *Postharv Biol Technol*, 2007, 43: 143-150.
- [51] LONG C A, YUAN G. *Kloeckera apiculata* strain (34-9) to control *Botrytis cinerea* during the pre-and postharvest handling of strawberries [J]. *Ann Microbiol*, 2009, 59: 77-81.
- [52] GE L L, ZHANG H Y, CHEN K P, et al. Effect of chitin on the antagonistic activity of *Rhodotorula glutinis* against *Botrytis cinerea* in strawberries and the possible mechanisms involved [J]. *Food Chem*, 2010, 120: 490-495.

## Advances in controlling of pathogenic fungi infections in post-harvest strawberry

YANG Shu-zhen<sup>1</sup> LIU Li-mei<sup>1</sup> PENG Li-tao<sup>1</sup>  
ZHOU Hou-cheng<sup>2</sup> PAN Si-yi<sup>1</sup> Zhang Li-hua<sup>3</sup>

1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Zhengzhou Fruit Research Institute; Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China;

3. Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310033, China

**Abstract** Post-harvest strawberries are susceptible to the decay of fruit and deterioration of quality due to pathogenic fungi infections, a main factor leading to economic losses for both growers and retailers. With the increase of strawberries planting in China, it is urgent to effectively reduce post-harvest rots of strawberry fruits. In this review, new management developments for controlling fungal diseases in post-harvest strawberry were summarized in terms of physical, chemical and biological approaches, which can help to extend the on-shelf time of strawberry fruits.

**Key words** strawberry; fungal diseases; postharvest; control methods

(责任编辑: 陆文昌)