

柑橘类水果贮藏保鲜技术研究进展

梁攀^a, 李悦妍^a, 黄少云^a, 陈良哲^a, 易庆平^b

(荆楚理工学院 a.电子信息工程学院 b.生物工程学院, 湖北 荆门 448000)

摘要: **目的** 旨在通过系统综述现有采后贮藏保鲜技术, 以期找到更适合产业应用的高效保鲜技术。**方法** 基于不同原理系统介绍现有的物理、化学、生物保鲜技术以及综合保鲜方法, 分析探讨现有技术的作用机理及存在的优缺点, 通过相关研究对其在柑橘类水果采后贮藏保鲜上的应用实效进行比较。**结论** 对于柑橘青、绿霉病的防治, 目前普遍采用的化学杀菌剂是最有效的手段, 安全性更高的天然提取物和可食性涂膜等绿色保鲜剂是主要发展方向; 相比化学方法, 热处理、辐照、气调、臭氧等物理方法具有更绿色、安全的优点; 生物保鲜物质虽然在体外实验具有一定效果, 但在实际应用时往往效果不佳; 同时, 单一的保鲜技术无法达到工业应用时所要求的高效, 因此, 结合多种保鲜技术的综合防治保鲜方法将成为未来研究重点。

关键词: 柑橘类水果; 天然提取物; 可食性涂膜; 保鲜技术

中图分类号: S609⁺.3; S379.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)13-0057-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.13.008

Research Progress of Postharvest Storage and Preservation Technology of Citrus Fruits

LIANG Pan^a, LI Yue-yan^a, HUANG Shao-yun^a, CHEN Liang-zhe^a, YI Qing-ping^b

(a.School of Electronic Information Engineering b.School of Bioengineering, Jingchu University of Technology, Jingmen 448000, China)

ABSTRACT: The aim of this study is to seek efficient preservation technology which is more suitable for industrial application through systematically reviewing the existing postharvest storage and preservation technology. Based on different principles, the existing physical, chemical and biological preservation technologies and comprehensive preservation methods, were systematically introduced in this paper. The action mechanism and advantages and disadvantages of the existing technologies were analyzed and discussed, and their application effects on the postharvest storage and preservation of citrus fruits were compared through related research. For the control of citrus blue mold and green mold, the chemical fungicide is the most effective method, and the safer natural extract and edible coating are the main development direction. Compared with chemical methods, physical methods such as heat treatment, irradiation, controlled atmosphere and ozone are greener and safer technologies. Although biological preservatives have certain effects in vitro, they are often ineffective in practical application. At the same time, a single preservation technology can not achieve the high efficiency required by industrial application. Therefore, the integrated control and preservation methods combined with a variety of preservation technologies will become the focus of future research.

KEY WORDS: citrus fruits; natural extract; edible coating; preservation technology

收稿日期: 2021-04-04

基金项目: 校级科研基金重点项目 (ZD201901); 国家级大学生创新创业训练计划 (202111336005); 湖北省教育厅科研计划 (Q20204306); 中央财政支持地方高校发展专项资金 (2021TD001); 荆门市东宝区科技计划 (2020YB007)

作者简介: 梁攀 (1996—), 女, 荆楚理工学院本科生, 主攻功能性印刷包装材料及技术。

通信作者: 黄少云 (1986—), 男, 博士, 荆楚理工学院讲师, 主要研究方向为智能包装与农产品保鲜包装技术。

柑橘是无患子目芸香科 (*Rutaceae*) 内柑橘属 (*Citrus* L.)、枳属 (*Poncirus* Raf.) 和金柑属 (*Fortunella* Swing.) 水果的总称, 包括橘、柑、橙、柚、柠檬、来檬、枸橼、金柑等数十个品种。柑橘类水果由于口感优良且营养丰富, 备受消费者青睐, 在全球 100 多个国家和地区均有种植^[1]。据统计, 全球柑橘年产量超过 1.5 亿 t, 已成为名副其实的第一大水果家族。柑橘类水果在田间及采后极易受到微生物侵染而产生病害, 最终导致果实腐烂, 在我国因此造成的柑橘腐烂损失率高达 20%~25%^[2]。发生在柑橘采后贮藏阶段的主要病害有青霉病 (Blue mold rot)、绿霉病 (Green mold rot)、酸腐病 (Sour rot)、黑腐病 (Black rot)、褐腐病 (Brown rot)、蒂腐病 (Stem-end rot) 等^[3-4], 其中以青霉病和绿霉病最为普遍和严重, 在全球柑橘主要产区均有发生。

青霉病、绿霉病分别由意大利青霉菌 (*Penicillium italicum* Wehmer) 和指状青霉菌 (*Penicillium digitatum* Sacc.) 引起, 2 种致病菌是同属半知菌亚门青霉属 (*Penicillium* spp.) 的 2 个种, 它们最大的危害在于其分生孢子呈微小粉末状, 在空气中很容易传播, 且生长繁殖能力超强, 这就造成果实一旦感染这 2 种致病菌, 在几天时间内即将面临整果腐烂的结局^[5]。在柑橘类水果采后贮运中由青、绿霉病造成的果实腐烂占总腐果的 80% 以上, 对于青霉病和绿霉病的防控是柑橘类水果采后保鲜的重点。同时, 果实在采后的呼吸代谢、水分蒸腾与流失、酶代谢等也是影响其贮藏品质的重要因素, 因此, 在柑橘类水果采后贮藏过程中保鲜不仅要控制主要病害, 还要从降低呼吸和水分代谢, 抑制相关酶活性, 维持营养品质等多方面入手^[6]。

当前, 应用于柑橘类水果采后贮藏保鲜的常用技术按原理主要分为物理、化学、生物等方法, 以及结合以上 2 个或多个技术的综合保鲜方法。

1 物理保鲜方法

1.1 热处理技术

热处理技术 (Heat Treatment) 采用具有一定温度的热介质 (如热水、热蒸汽和热空气等) 对果蔬进行处理, 利用热力杀死或抑制果蔬病原菌等微生物的生长, 调节其生理代谢作用, 从而达到果蔬保鲜目的, 它是一种在果蔬采后贮前常用的物理保鲜方法^[7]。热处理技术用于柑橘杀菌保鲜最早可以追溯到 1922 年 Fawcett^[8]进行的第 1 次柑橘热处理实验, 他将加州柑橘置于 30~36 °C 饱和空气中处理 1~3 d, 以抑制褐腐病的发生。这种基于热空气的热孵化 (Curing) 技术由于气相介质传导热力慢, 处理时间较长 (一般为数天), 因此不适合商业化应用。相较而言, 以热水为介质的热水处理技术 (Hot water

treatment, HWT) 具有更为方便快捷、高效低廉的优点, 目前已经被市场广泛采用。按其具体操作方式不同, HWT 技术主要分为热水浸渍 (Hot water dip, HWD) 和热水冲洗 (Hot water rinsing and brushing, HWRB) 等, HWD (45~55 °C, 2~5 min) 和 HWRB (55~65 °C, 10~30 s) 的处理条件与现有的加工包装线具备良好的兼容性, 同时它们易与其他保鲜方法结合使用^[9]。

HWT 技术对柑橘抑菌保鲜的作用机制在于: 能使病原菌的蛋白质及酶变性凝固; 能使微生物细胞壁和细胞膜受到损伤; 能使微生物的新陈代谢受阻; 抑制果实呼吸作用, 降低果实内部诱导劣变的相关酶活性。研究证实, 采用 52 °C 的热水处理 2.5 min, 对宽皮柑橘在采后抑制指状青霉生长、维持营养及物理化学特性等方面具有明显的效果^[10]。热水温度和持续处理时间是热水处理技术两大核心参数条件。程玉娇等^[11]研究了 6 种热处理条件 (48 °C, 1 min; 52 °C, 1 min; 56 °C, 1 min; 48 °C, 2 min; 52 °C, 2 min; 56 °C, 2 min) 对‘塔罗科’血橙在变温储运环境下抑菌保鲜效果的影响, 结果显示, 温度过高 (56 °C) 会使血橙发生不可逆的热损伤; 适宜的温度和处理时间 (52 °C, 2 min) 下血橙的保鲜效果最佳。近年来, 热处理相关的新技术如间歇式热处理^[12-13], 结合臭氧^[14]或杀菌剂^[15]的综合热处理技术也相继在柑橘类水果采后贮前保鲜上得到应用。

1.2 辐照技术

研究报道蓝光 ($390\text{ nm} < \lambda < 540\text{ nm}$)、远紫外光 ($100\text{ nm} < \lambda < 280\text{ nm}$) 和离子辐照 ($\lambda < 100\text{ nm}$) 均可以控制柑橘青霉病和绿霉病, 从而有效减小腐烂率。例如, Alferez 等^[16]研究表明, 波长为 390~500 nm, 强度为 $40\text{ }\mu\text{mol}/\text{m}^2$ 的蓝光可以有效减少由于柑橘指状青霉引起的果实腐烂。Palou^[17]的研究成果显示, 将柑橘属水果暴露在 $0.5\sim 8\text{ kJ}/\text{m}^2$ 的远紫外光下可以控制采后绿霉病和青霉病的发生。相比蓝光及紫外光等非电离辐照技术, 离子辐照是应用在果蔬保鲜上较成熟的电离辐照技术, 其基本原理采用放射源产生的离子射线或电子加速器产生的高能电子束对果蔬进行辐照处理, 通过抑制其生理代谢活动, 减少乙烯的合成, 杀灭果蔬中的害虫, 消除病原微生物和其他细菌, 从而起到保鲜的作用^[18]。目前, 被美国 FDA 认可的允许用于食品处理的离子辐照源主要包括 ^{60}Co 或 ^{137}Cs 产生的 γ -射线, 以及电子加速器产生的 β 粒子射线和 X-射线, 其允许的最大安全辐照剂量为 1 kGy ^[17]。

辐照技术 (Irradiation Treatment) 具有安全高效、操作简单、无化学残留等诸多优点, 同时由于其是冷杀菌技术, 通常在常温下即可进行, 能够较好地保持辐照对象本身的营养和风味^[19-20]。近年来, 辐照技

术在食品加工、杀菌消毒、果蔬保鲜等方面得到了广泛应用。当前应用最广的辐照源是 γ -射线,它具有穿透力强、辐照剂量易调节等特点,其对特殊病原菌等微生物的抑制效果也极其显著。例如,刘红等^[21]的研究表明, γ -辐照可以有效抑制指状青霉的生长,抑制率与辐照强度呈正相关,其作用机理在于, γ -辐照能增加菌丝体细胞膜的渗透性,降低菌丝体总糖、可溶性蛋白的含量,以及与能量代谢的相关酶活性,进一步扰乱指状青霉正常的生理代谢。罗梦等^[22]采用不同剂量(0.25~1.0 kGy)的 γ -射线对椪柑进行辐照处理,实验结果显示,剂量为0.50 kGy的 γ -辐照处理对降低贮藏过程中椪柑果实质量损失率,抑制呼吸强度和丙二醛含量的升高,延缓可溶性固形物、可滴定酸和抗坏血酸含量的下降,维持椪柑果实细胞内过氧化物酶(POD)的活性效果最佳。辐照处理除了抑制主要病害、降低呼吸作用、维持品质,还被证实在柑橘锈螨、柑橘全爪螨、大实蝇等害虫的清杀上有作用^[23-25]。

1.3 气调技术

气调技术又叫气氛控制技术,主要分为人工气调(Controlled atmosphere, CA)和自发气调(Modified atmosphere, MA)2种,人工气调是通过主动调节改变贮藏环境中的 O_2 、 CO_2 、 N_2 等气体组成,而自发气调则是利用果蔬机体自身的呼吸作用结合保鲜袋选择性透过的作用实现贮藏环境中 O_2 、 CO_2 的比例,二者的目标均是达到一个利于贮藏的微环境气氛(高 CO_2 、低 O_2),人工气体的气氛组成可以做到精准匹配,而自发气调则难以控制^[26]。气调技术对果蔬抑菌保鲜的机理在于:通过改变贮藏环境气氛,降低果蔬的呼吸作用,减少其自身营养物质消耗;抑制蒸发作用,降低果蔬水分流失速率;通过调节包装内气氛可抑制 O_2 、 CO_2 敏感性微生物的生长,有效延缓果蔬的腐败速度^[27]。

对于气调技术在柑橘类水果贮藏保鲜上的应用,国内外一些学者进行了积极探索。杜玉宽等^[28]采用脱乙烯自发气调贮藏技术对脐橙进行商业性贮藏实验,结果表明,在适当降温和脱除乙烯的基础上,改变贮藏环境的气体成分有利于脐橙的长期贮藏。李义东等^[29]研究了用自发气调和单氧指标人工气调2种贮藏方式,在9℃条件下对金柑进行采后保鲜,结果显示,相比自发气调,氧气体积分数为2%~3%的人工气调对金柑的保鲜效果更优。王鹏跃等^[30]研究了不同体积分数的 O_2 、 CO_2 、 N_2 混合气调包装,在低温(5℃)贮藏条件下对成熟椪柑保鲜效果的影响。实验结果表明,当保鲜袋内混合气体体积分数配比 O_2 为5%, CO_2 为3%, N_2 为92%时,保鲜效果最好,能较好地保持椪柑的各项营养品质。Montesinos-Herrero等^[31]的研究证实采用气调贮藏对于延缓柑橘

青、绿霉病的发生有一定的作用,但实验结果同时也显示这种作用仅仅是一定时间内的抑制,而并非彻底杀死,这是因为气调技术无实际抗菌作用,只是在一定程度上延缓了真菌的繁殖速度。最近,一些更适用的综合气调技术(如低温气调协同臭氧间歇处理^[32],MA气调结合1-甲基环丙烯处理^[33]等)也相继被开发应用,这些方法均可较大程度地延长柑橘类果实的贮藏期,达到保鲜目的。

1.4 臭氧技术

臭氧是一种具有特殊气味的强氧化性气体,经研究发现它具有消毒、灭菌等作用,在美国,其是被FDA认可允许与食品直接接触的食品加工技术^[34]。对于果蔬保鲜,臭氧的作用机制主要有:抑制乙烯、乙醇等有害气体的产生,进而抑制果蔬的后熟作用;有一定的杀菌作用,抑制果蔬呼吸作用,降低果蔬体内糖和淀粉代谢,提高抗氧化酶体系活性,减缓膜脂过氧化作用,从而防止果蔬霉变腐烂;诱导果蔬表皮的气孔收缩,可减少果蔬的水分蒸发,降低质量损失。此外,还可促进创伤愈合,增加对霉菌传染的抵抗力^[35-36]。

近年来采用臭氧对柑橘类水果进行采后熏蒸处理在学术界和工业界均受到了前所未有的重视。乔勇进等^[37]的研究结果表明,臭氧处理能有效地降低温州蜜柑果的实质量损失率,对果实腐烂的抑制作用比较明显,同时能维持果实的营养品质,起到了良好的保鲜效果。在实际生产时,臭氧技术常常与其他保鲜技术结合起来应用,折弯弯等^[38]通过臭氧结合间歇热处理对‘塔罗科’血橙进行处理,结果证实综合处理能够延缓果蔬代谢进程,维持其营养品质,降低血橙的腐烂率,具有较好的保鲜效果。对于臭氧处理来说,适宜的浓度至关重要,浓度过小起不到明显的效果,而浓度过大容易引起果实表面质膜损害,进而加速果实衰败。周慧娟等^[39]采用3种浓度臭氧对宫川柑橘进行采后处理,结果表明,适宜的臭氧浓度处理可有效抑制柑橘的呼吸强度,减少果实的质量损失,显著抑制果实可溶性固形物(TSS)、酸、糖和Vc含量的下降,以及丙二醛含量的累积,减缓膜脂过氧化作用,达到延缓果实衰老进程的效果。Palou等^[40]考察了臭氧处理后意大利青霉菌和指状青霉菌体外生长情况,同时将人工接种2种致病菌的柑橘在臭氧暴露后柑橘青、绿霉病的发病率进行了对比,发现臭氧处理后果实2种典型病害发生明显减少,腐烂率也明显降低。

2 化学保鲜方法

2.1 化学杀菌剂

长期以来,化学合成的抗真菌保鲜剂由于抑菌效果好、使用方便,在柑橘类水果采后抑菌保鲜方面发

挥了积极作用。在我国,使用在柑橘类水果上的杀菌剂主要有咪唑类、苯并咪唑类和双胍盐类等3种类型,市场上常用的咪鲜胺、多菌灵和百可得分别属于以上3类。传统的抑霉唑(Imazalil, IMZ)、噻苯咪唑(Thiabendazole, TBZ)、邻苯基苯酚钠(Sodium Ortho-Phenylphenate, SOPP)等抗菌剂被证实对柑橘类水果采后抑制青绿霉病的发生、保持营养品质、减少质量损失率以及降低腐烂率有效^[41-43]。抗真菌剂存在抗药性问题,由于长期使用会产生耐药性菌株,最终导致抑菌效率下降,因而需要不断寻求新的替代产品。

近年来,新型的杀菌剂(如咯菌腈(Fludioxonil, FLU)、嘧霉胺(Pyrimethanil, PYR)、嘧菌酯(Azoxystrobin, AZX)、丙环唑(Propiconazole, PCZ))相继被批准上市。FLU, PYR, AZX和PCZ的类型分别属于吡咯类、嘧啶类、甲氧基丙烯酸酯类和三唑类杀菌剂,不同类型的杀菌剂在作用机制、防治病害种类、最大残留限量标准等方面有所区别^[44]。例如,采用质量浓度为500~1200 mg/L的FLU处理能使佛罗里达州柑橘蒂腐病的发生率从80%减少至10%以内^[45],而PCZ被证实对于防治柑橘酸腐病有奇效^[46]。同时,各国对于化学合成杀菌剂使用时的稀释浓度、安全间隔期等均有严格规定,但在实际生产中不乏有些商家为了追求保鲜效果而增大用量,以及不严格执行安全间隔期提前上市,这些不规范操作都会增加消费者食用水果后的安全风险。就化学合成保鲜剂来说,高效、安全、低残留仍是其研发重点。

2.2 食品添加剂及GRAS物质

研究证实,某些食品添加剂(如碳酸钠、碳酸氢钠及山梨酸钾等)对降低柑橘绿霉病和青霉病发生率有一定的效果^[47]。另外一些GRAS(Generally recognized as safe)物质(如丙酸钠、苯甲酸钠、尼泊金甲酯钠、羟苯乙酯钠、尼泊金丙酯钠等)也常被实验用于与传统的抗菌剂做对比。食品添加剂上市使用前必须经FDA严格审批,而GRAS物质的安全性已得到认可,无需再审批^[48]。食品添加剂和GRAS物质对柑橘类水果的功效主要有:降低柑橘的营养消耗,延长其贮藏期;抑制微生物生长,防止柑橘病害发生,引起腐败变质;改善柑橘的外观性状,同时维持内部的营养价值^[49]。

近年来,大量研究人员就食品添加剂和GRAS物质对柑橘类水果防腐保鲜效果进行了研究。如柳丽梅等^[50]以柑橘青霉病的致病菌——意大利青霉为研究对象,运用体外试验和体内试验测定碳酸铵和碳酸氢铵对病菌的抑菌活性。实验表明,质量分数为0.8%的碳酸铵和碳酸氢铵溶液能显著降低接种意大利青霉的柑橘果实和自然贮藏条件下柑橘青霉病的发病率。刘莉等^[51]用一定浓度的碳酸钠、碳酸氢钠和山梨

酸钾对柑橘酸腐病菌的抑制效果进行了研究,得出碳酸钠、碳酸氢钠和山梨酸钾对柑橘酸腐病有很好的防治效果。陈兆星等^[52]研究了次氯酸钠结合磷酸在不同时间、不同方式对早熟蜜橘进行处理,并在常温贮藏库中贮存10 d后的效果。结果表明,次氯酸钠结合磷酸处理早熟蜜橘效果优于浸泡处理,且当次氯酸钠与磷酸杀菌液适宜时,淋洗1 min即可取得较好的杀菌效果。该课题组还以赣南脐橙为实验材料,研究了质量分数为2%碳酸氢钠对采后贮藏期果实腐烂率的影响。实验表明,与对照组相比,碳酸氢钠能显著降低赣南脐橙贮藏期果实的腐烂率^[53]。盖智星等^[54]的研究表明肉桂酸钾对柑橘采后主要病原真菌有较强的抑制作用和杀伤作用,且对柑橘有较好的保鲜效果。

2.3 天然提取物

采用天然提取物在成本上优于物理保鲜技术,还具有操作简单、安全环保的特点,同时能克服化学保鲜剂毒性风险、环境污染的缺点。目前应用在柑橘类水果保鲜应用的天然提取物主要有精油、中草药提取物、有机酸等几类,其中以植物精油较多^[55]。虽然精油类提取物在体外试验表现出对柑橘病原菌具有极高的抗菌活性,但在体内试验时表现为低效或者无效。尽管精油挥发可以通过微胶囊缓释加以改进,但其在果蔬上应用的障碍还有:高浓度植物精油会破坏果蔬组织结构,使其软化加剧,更易侵染致腐;附加地增加了一些不同于果实本身的气味,从而破坏果蔬原有的香味;有效抑菌成分有差异,导致抑菌机理不全面^[56]。

大量研究表明一些中草药提取物对柑橘病原菌有抑制作用,且对柑橘类水果采后贮藏有保鲜效果^[57]。近年来,天然提取物在柑橘类水果杀菌保鲜上的应用越来越多。万春鹏等^[58]以“纽荷尔”赣南脐橙为实验对象,研究了肉桂乙醇提取物对赣南脐橙果实的保鲜效果,结果表明,肉桂乙醇提取物对赣南脐橙具有较好的保鲜效果,是一种有潜在开发利用价值的天然保鲜剂。周梦娇等^[59]研究了中草药提取物对柑橘意大利青霉抑菌活性和作用机理,结果表明,桂枝等11种中药提取物均对意大利青霉菌有不同程度的离体抑菌效果,且桂枝的抑菌效果最佳。曾晓房等^[60]以紫金春甜桔为实验材料,研究了室温贮藏条件下,3种不同浓度肉桂精油浸洗处理后果实生理生化及营养成分的变化规律,试验结果表明,肉桂精油的含量为15 $\mu\text{L/L}$ 时对紫金春甜桔的保鲜效果最好。陈楚英等^[61]研究对比了21种药用植物提取物对柑橘青霉病的抑菌作用,通过筛选得出,白薇醇提取物对柑橘采后青霉病菌有良好的抑菌活性。天然提取物来源广泛,且绝大多数对柑橘青、绿霉病都有抑菌保鲜作用,具有替代化学保鲜剂,开发为新型农药的潜在价值。

2.4 可食性涂膜

涂膜一层果蜡是柑橘属水果上市前一项常规操作,不但可以减少水分散失、降低质量损失、防止萎缩,还有助于提升果皮外观,利于销售。目前,寻找一种天然可食性的涂膜层材料是研究方向,现有的涂膜保鲜材料主要有多糖类、蛋白类、脂质类、复合类^[62]。涂膜保鲜通过在果实表面涂覆一层可以形成高分子膜的涂膜保鲜剂,达到果蔬保鲜的目的。涂膜保鲜机理在于:隔离保护,通过高分子膜对细菌等微生物起到物理屏障的作用;抑制失水,通过这层膜减少蒸腾和呼吸作用引起的水分流失;调节呼吸,通过减少膜内外气体交换,减缓呼吸作用,降低营养物质的消耗;抑菌抗菌,涂膜保鲜剂还具有抗菌作用,防止环境中微生物的侵染,阻止微生物进入果蔬内部。

多糖类涂膜剂主要包括壳聚糖、淀粉、改性纤维素等,其中壳聚糖是应用最广泛的多糖类果蔬保鲜材料,它具有安全无毒、可生物降解、成膜性好、透气性好、一定的抗菌性等特点,可在果蔬表面形成一层透明薄膜,抑制呼吸作用和生理代谢,在一定程度上能够延缓果实衰老,减少腐烂,保持果蔬品质^[63]。在常温保存条件下,壳聚糖涂膜处理能抑制新余蜜橘果实的腐烂,保持果实贮藏品质,同时能较好地保护酶的活性^[64]。蛋白类涂膜保鲜剂包括醇溶蛋白、乳清蛋白、大豆分离蛋白等,欧阳小艳等^[65]采用玉米醇溶蛋白对柑橘表面进行涂膜实验,发现玉米醇溶蛋白膜能阻碍柑橘内部水分和糖分等营养物质的消耗,对柑橘感官性能、质量损失率、总糖含量都产生了较大影响。脂质类涂膜保鲜剂(例如蜂蜡涂膜处理)可在果蔬表面形成一层透明薄膜,这层膜能抑制果实的呼吸强度,减少营养物质的损耗,抑制水分蒸发,减少因病原菌污染而造成的腐烂。研究表明,采用马来海松酸聚乙二醇柠檬酸酯(MRPC)对椪柑进行涂膜处理,可有效抑制硬度和可溶性固形物含量的变化,维持SOD, POD和CAT等酶活性^[66]。复合类是将多种涂膜保鲜剂按一定比例进行复配,不同种类的保鲜剂具有不同的作用和特点,可以取长补短,达到更好的保鲜效果。叶青青等^[67]采用聚赖氨酸+壳聚糖复合溶液对柑橘进行涂膜处理,结果显示,聚赖氨酸的加入能提高壳聚糖膜的抑菌性能,复合涂膜能有效防止柑橘果实糖分和维生素C的损失,降低腐烂发生率。

3 生物保鲜方法

柑橘青霉病和绿霉病的致病菌孢子在环境中无处不在,在果蔬采收贮运期间,它们很容易通过伤口侵入,引起水果的腐烂。生物保鲜方法是基于对柑橘绿霉病和青霉病的致病菌具有一定的拮抗作用的细菌等微生物,利用拮抗菌体与病原菌在营养和空间上

的竞争作用,以及有害微生物争夺营养物质,进而抑制有害微生物的生长,达到保鲜的目的。拮抗菌体常以吸附生长、缠绕侵入、消解等多种形式达到对病原菌的抑制作用,它能对其他的微生物生长起到抑制作用或将其杀死,来达到延长果蔬保质期的作用^[68]。

近年来,采用微生物及其代谢产物控制果蔬采后病害,进行生物保鲜已成为研究热点^[69]。一些酵母菌和细菌均被证实对柑橘绿霉病和青霉病的致病菌具有一定的拮抗作用,如阎然等^[70]研究发现解淀粉芽孢杆菌NCPSJ7可作为一种有效防治采后脐橙绿霉病的微生物拮抗剂。王博等^[71]经实验证实,采用浓度为 2×10^6 CFU/mL的柠檬形克勒克酵母(*Kloeckera apiculata*)悬浮液处理可以抑制或减缓青霉、绿霉和蒂腐病等病害的产生。黄雪梅等^[72]的研究结果表明,*Pichia membranaefaciens* Hansen和*Rhodotorula rubra* Demme Lodder 2种酵母能显著抑制绿霉菌孢子萌发生长,有效减少砂糖橘绿霉病的发生率及病斑数,因此二者可作为防治砂糖橘病害的拮抗菌种。王勇等^[73]发现酵母菌YC-5和YC-9对柑橘青霉病具有较高拮抗活性,抑菌率均可达到70%左右。耿鹏等^[74]研究了马克斯克鲁维酵母菌(*K.marxianus*)与钼酸铵混合使用对柑橘绿霉病的防治效果,结果显示,当*K.marxianus*与浓度为1 mmol/L钼酸铵混合使用时对控制柑橘果实绿霉病的效果较好,在3 d和6 d的发病率显著低于对照组的发病率。研究证实,在柑橘青、绿霉病防治方面具有有效的拮抗微生物还包括*Metschnikowia andauensis*^[75], *Streptomyces* spp.^[76], *Saccharomyces cerevisiae*和*Wickerhamomyces anomalus*^[77]等。这些生物材料尽管在实验中取得了较好的表现,但应用的案例非常有限,这是因为它们特异性过强,而应用活性较低,在实际应用时往往起不到很好的效果,因此,需要开发更加可靠、稳定、经济的替代产品。

4 综合方法

对于工业界来说,要他们接受新的防治措施,难免会与传统抗菌剂的使用效果作对比,而结果往往是单一的某种新措施无法达到传统抗菌剂的效果,这就需要结合多种措施提出新的综合防治方法,以达到柑橘采后的防腐保鲜目的。综合方法比单一方法具有更好的防治效果。目前,国内外在果蔬采后领域应用的保鲜手段主要是物理和化学两大类,而随着果蔬保鲜基础研究的不断深入,化学与物理的结合保鲜技术逐渐发展了起来。例如化学保鲜剂处理结合低温贮藏、化学保鲜剂与热处理结合、化学保鲜剂处理结合MAP包装贮藏、化学保鲜剂结合 γ -射线辐射、紫外线照射处理等综合抗菌保鲜方法^[78]。

近年来,国内对柑橘类水果综合防治技术也有不少研究,促进了柑橘类水果杀菌保鲜方面的发展。冯吉睿等^[79]研究了膜醭毕赤酵母与低剂量化学杀菌剂相结合处理对柑橘采后病害的防治效果。结果表明,膜醭毕赤酵母与低剂量的多菌灵或甲基硫菌灵结合,有增效的作用,可以很好地控制夏橙和锦橙采后侵染性病害的发生。黄家红等^[32]以柑橘为实验材料,将其置于温度为3~5℃、相对湿度为85%~90%的气调贮藏箱内进行3 min的臭氧处理,研究低温气调协同臭氧间歇处理对柑橘贮藏品质的影响,实验结果显示,低温气调协同臭氧处理组能有效控制柑橘果皮上的微生物数量。陈晓彤等^[14]采用热水、臭氧以及热水结合臭氧综合技术3种方法对沃柑进行处理,研究表明,“热水+臭氧”综合处理组在降低腐烂率、维持营养指标以及POD, SOD酶活性等方法优于单一的热水处理组和臭氧处理组。林旭东等^[33]采用聚乙烯膜、微孔膜2种自发气调包装(MAP)结合1-甲基环丙烯(1-MCP)对冷藏柑橘“红美人”进行处理,实验得出,微孔膜结合1-MCP可以较好地保持柑橘的外观(果梗鲜绿、稳固)、色泽、硬度和风味品质,贮藏60 d内柑橘的商品价值可以维持在较好水平。柑橘贮藏期容易发生病菌感染腐败现象,同时呼吸作用、水分蒸腾等对其货架品质也产生了一定影响,对柑橘贮藏保鲜应用综合防治方法已成为该领域重点研发方向。

5 结语

在我国,化学杀菌剂还是工业界普遍采用的柑橘类水果采后贮藏保鲜方法,但其长期使用引起的抗药性及本身毒性残留的问题制约了其进一步发展应用。寻求毒性更低、杀菌效果更好的替代品是目前化学保鲜方法方面的主要研究方向,例如一些新型的低毒抗菌剂,对柑橘青、绿霉病致病菌有特性抑菌作用的天然提取物,以及综合保鲜效果更优的可食性涂膜材料正成为此领域的研究热点。相较于化学方法,热处理、辐照、气调、臭氧等物理方法具有更加绿色、安全的优点。在人们食品安全意识普遍提升的背景下,势必会为工业界提供一些新的选择。生物保鲜物质虽然在体外实验具有一定效果,但在实际应用时往往效果不佳,这是因为其应用时活性降低所致,这也是造成其未得到真正应用的原因所在。综合来看,单一的保鲜技术往往无法达到工业应用时所要求的高效,因此,结合多种保鲜技术的综合防治保鲜方法将成为未来研究重点。

参考文献:

[1] PALOU L. *Penicillium Digitatum*, *Penicillium Italicum* (Green Mold, Blue Mold)[M]. Cambridge: Academic Press, 2014: 45—102.

[2] 马亚琴, 贾蒙, 周心智. 柑橘采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 290—297.
MA Ya-qin, JIA Meng, ZHOU Xin-zhi. Research Advances in Postharvest Preservation Techniques of Citrus Fruits[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(22): 290—297.

[3] 朱丽华. 柑橘类水果采后病害及其防治[J]. 世界农药, 2005, 27(2): 18—21.
ZHU Li-hua. Postharvest Diseases of Citrus Fruits and their Control[J]. World Pesticides, 2005, 27(2): 18—21.

[4] 张小凤, 郭雁君, 郭丽英, 等. 柑橘贮藏期病害及常用保鲜技术研究进展[J]. 植物学研究, 2018, 7(2): 130—136.
ZHANG Xiao-feng, GUO Yan-jun, GUO Li-ying, et al. Citrus Storage Disease and Preservation Technology of Postharvest Fruits[J]. Botanical Research, 2018, 7(2): 130—136.

[5] LADANIYA M S. Postharvest Diseases and Their Management[M]. San Diego: Academic Press, 2008: 417—449.

[6] TALIBI I, BOUBAKER H, BOUDYACH E H, et al. Alternative Methods for the Control of Postharvest Citrus Diseases[J]. J Appl Microbiol, 2014, 117: 1—17.

[7] LURIE S. Postharvest Heat Treatments[J]. Postharvest Biology and Technology, 1998, 14: 257—269.

[8] FAWCETT H S. Packing House Control of Brown Rot[J]. Cofif Citrogo, 1922, 7: 232—234.

[9] FALLIK E. Prestorage Hot Water Treatments (Immersion, Rinsing and Brushing)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(2): 125—134.

[10] QUEB-GONZALEZ D B, LOPEZ-MALO A, SOSA-MORALE M E, et al. Postharvest Heat Treatments to Inhibit *Penicillium Digitatum* Growth and Maintain Quality of Mandarin (*Citrus Reticulata* Blanco)[J]. Heliyon, 2020, 6: 1—8.

[11] 程玉娇, 李云云, 张敏. 热处理对‘塔罗科’血橙物流变温环境下的保鲜效果[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 254—260.
CHENG Yu-jiao, LI Yun-yun, ZHANG Min. Effect of Hot Water Treatment on the Quality Preservation of 'Tarocco' Oranges in Logistic Environments under Varying Temperature Conditions[J]. Food Science, 2016, 37(6): 254—260.

[12] 陈晓彤, 叶先明, 潘艳芳, 等. 间歇热处理对柑橘冷害调控研究[J]. 包装工程, 2019, 40(17): 8—13.
CHEN Xiao-tong, YE Xian-ming, PAN Yan-fang, et al. Regulation of Cold Damage of Citrus by Intermittent Heat Treatment[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(17): 8—13.

[13] 程玉娇, 秦文霞, 赵霞, 等. 间歇热处理对血橙变温物流保鲜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 42(10): 196—203.
CHENG Yu-jiao, QIN Wen-xia, ZHAO Xia, et al. Preservation Properties of 'Tarocco' Oranges with Intermittent Heating Treatment on Temperature-Shift

- Transportation[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 42(10): 196—203.
- [14] 陈晓彤, 潘艳芳, 郑桂霞, 等. 热处理协同臭氧对沃柑贮藏品质调控研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(12): 21—25.
- CHEN Xiao-tong, PAN Yan-fang, ZHENG Gui-xia, et al. Study on the Control of Storage Quality of Brgamot by Heat Treatment Co-Ozone[J]. Food Research and Development, 2020, 41(12): 21—25.
- [15] 熊宇. 热水结合杀菌剂处理对‘纽荷尔’脐橙果实采后生理及贮藏效果的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015: 28—30.
- XIONG Yu. Effects of Hot Water Combined with Fungicide Treatment on Postharvest Physiology and Storage of 'Newhall' Navel Orange[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2015: 28—30.
- [16] ALFERE F, LIAO H L, BURNS J K. Blue Light Alters Infection by *Penicillium Digitatum* in Tangerines[J]. Postharvest Biol Technol, 2012, 63: 11—15.
- [17] PALOU L. Control of Citrus Postharvest Diseases by Physical Means[J]. Tree Forestry Sci Biotechnol, 2009, 3: 127—142.
- [18] 刘泽松, 史君彦, 王清, 等. 辐照技术在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(4): 236—242.
- LIU Ze-song, SHI Jun-yan, WANG Qing, et al. Research Advance on Application of Irradiation Technology in Storage and Preservation of Fruits and Vegetables[J]. Storage and Process, 2020, 20(4): 236—242.
- [19] 郭一丹, 李奎, 蔚江涛, 等. 电子束辐照对果蔬采后保鲜效果的研究进展[J]. 中国果菜, 2020, 40(7): 10—15.
- GUO Yi-dan, LI Kui, YU Jiang-tao, et al. Research Progress of Electron Beam Irradiation on Postharvest Preservation of Fruits and Vegetables[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(7): 10—15.
- [20] 董婷, 高鹏, 汪菡月, 等. 电子束辐照对果蔬品质影响的研究进展[J]. 北方园艺, 2020(16): 133—138.
- DONG Ting, GAO Peng, WANG Han-yue, et al. Research Progress on the Effects of Electron Beam Irradiation on Quality of Fruits and Vegetables[J]. Northern Horticulture, 2020(16): 133—138.
- [21] 刘红, 黎琴, 胡尚连, 等. γ -辐照对指状青霉的抑制作用及在椪柑果实保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 127—133.
- LIU Hong, LI Qin, HU Shang-lian, et al. Inhibition Effect of Gamma Irradiation on *Penicillium digitatum* and Its Application in Ponkan Fruit Perservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(14): 127—133.
- [22] 罗梦, 赵博, 陈浩, 等. γ -辐照对椪柑果实保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 135—138.
- LUO Meng, ZHAO Bo, CHEN Hao, et al. Effects of γ -Irradiation on the Preservation of Ponkan Fruit[J]. Food & Machinery, 2019, 35(6): 135—138.
- [23] 周利娟, 胡美英, 黄继光, 等. γ -射线辐照处理对柑橘锈螨卵和若螨的影响[J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2006, 25(2): 48—50.
- ZHOU Li-juan, HU Mei-ying, HUANG Ji-guang, et al. Effect of Gamma Irradiation on Eggs and Nymphs of Citrus Rust Mite (*Phyllocoptruta Oleivora* Ashmead)[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Natural Science Edition), 2006, 25(2): 48—50.
- [24] 朱富伟, 邓乐晔, 翁群芳, 等. 辐照对不同虫态柑橘全爪螨杀灭效果的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 57—61.
- ZHU Fu-wei, DENG Le-ye, WENG Qun-fang, et al. Study on Elimination Effect of Irradiation against Different Stages of Citrus Red Mites (*Panonychus Citri* McGregor)[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2012, 40(5): 57—61.
- [25] 赵学谦, 范京安, 朱军, 等. ^{60}Co - γ 射线辐照结合冷藏处理柑橘和柚对柑桔大实蝇幼虫存活的影响[J]. 西南农业学报, 1995, 8(3): 85—88.
- ZHAO Xue-qian, FAN Jing-an, ZHU Jun, et al. Effects of ^{60}Co - γ Rays Combined with Cold Storage on the Survival Rates of *Teradacus Citri* Hosted in Sweet Orange[J]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 1995, 8(3): 85—88.
- [26] 李莹. 果蔬气调贮藏的优势及发展前景[J]. 食品工程, 2006(2): 8—10.
- LI Ying. Advantage of Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables and Its Development Prospect[J]. Food Engineering, 2006(2): 8—10.
- [27] 何伟. 果蔬气调保鲜技术及其在冷链物流中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 228—232.
- HE Wei. Research on Application of Modified Atmosphere in Fresh-Keeping Technology of Fruits and Vegetables[J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 228—232.
- [28] 杜玉宽, 孙晓珍, 杨德兴, 等. 脐橙的脱乙烯自发气调贮藏[J]. 中国南方果树, 2004(4): 8—9.
- DU Yu-kuan, SUN Xiao-zhen, YANG De-xing, et al. Spontaneous Controlled Atmosphere Storage of Navel Orange[J]. South China Fruits, 2004(4): 8—9.
- [29] 李义冬, 沈勇根, 上官新晨, 等. 金柑气调保鲜的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(4): 345—347.
- LI Yi-dong, SHEN Yong-gen, SHANGGUAN Xin-chen, et al. Study on the Air Conditioning and Fresh Keeping of Citrus[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(4): 345—347.
- [30] 王鹏跃, 陈忠秀, 庞林江. 气调包装对椪柑贮藏及保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 124—127.
- WANG Peng-yue, CHEN Zhong-xiu, PANG Lin-jiang. Effect on Preservation of Ponkan by Modified Atmosphere Packaging (MAP) during Storage[J]. Food & Machinery, 2014, 30(6): 124—127.
- [31] MONTESINOS-HERRERO C, DEL RIO M A, ROJAS-ARGUDO C, et al. Short Exposure to High CO_2 and O_2 at Curing Temperature to Control Postharvest Diseases of Citrus Fruit[J]. Plant Dis, 2012, 96:

- 423—430.
- [32] 黄家红, 梁芸志, 李少华, 等. 低温气调协同臭氧间歇处理对柑橘贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(3): 28—32.
HUANG Jia-hong, LIANG Yun-zhi, LI Shao-hua, et al. Effects of Low Temperature Modified Atmosphere and Intermittent Ozone Treatment on the Storage Quality of Citrus[J]. Storage and Process, 2018, 18(3): 28—32.
- [33] 林旭东, 沈波涛, 朱麟, 等. MAP结合1-MCP处理对“红美人”柑橘冷藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(2): 74—78.
LIN Xu-dong, SHEN Bo-tao, ZHU Lin, et al. Effect of Different Modified Atmosphere Packagings and 1-MCP Treatment on Quality of 'Hongmeiren' Citrus during Cold Storage[J]. Storage and Process, 2020, 20(2): 74—78.
- [34] 励建荣. 生鲜食品保鲜技术研究进展[J]. 中国食品学报, 2010, 10(3): 1—12.
LI Jian-rong. Research Progress of Fresh-Keeping Technique for Fresh Food[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(3): 1—12.
- [35] 王文生, 罗云波, 石志平. 臭氧在果蔬贮藏保鲜中的研究与应用[J]. 保鲜与加工, 2004, 4(1): 4—7.
WANG Wen-sheng, LUO Yun-bo, SHI Zhi-ping. Research and Application of Ozone in Storage of Fruit and Vegetable[J]. Storage and Process, 2004, 4(1): 4—7.
- [36] 邓义才, 赵秀娟. 臭氧的保鲜机理及其在果蔬贮藏中的应用[J]. 广东农业科学, 2005(2): 67—69.
DENG Yi-cai, ZHAO Xiu-juan. Preservation Mechanism of Ozone and its Application in Storage and Transportation of Fruits and Vegetables[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2005(2): 67—69.
- [37] 乔勇进, 王海宏, 叶正文, 等. 臭氧处理对温州蜜柑果实贮藏品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007(33): 72—75.
QIAO Yong-jin, WANG Hai-hong, YE Zheng-wen, et al. The Interrelated Studies between Storage Qualities of Satsuma Mandarin Fruit and Ozone Treatment[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2007(33): 72—75.
- [38] 折弯弯, 程玉娇, 唐彬, 等. 臭氧结合间歇热处理对‘塔罗科’血橙变温物流保鲜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(4): 272—279.
SHE Wan-wan, CHENG Yu-jiao, TANG Bin, et al. Effect of Combined Ozone and Intermittent Heat Treatment on Quality of 'Tarocco' Oranges in Logistic Environment under Different Temperatures[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(4): 272—279.
- [39] 周慧娟, 乔勇进, 王海宏, 等. 臭氧处理对宫川柑橘保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(3): 12—16.
ZHOU Hui-juan, QIAO Yong-jin, WANG Hai-hong, et al. Effects of Qzone Treatment on Fresh-Keeping Effectiveness of Gongchuan Orange[J]. Storage and Process, 2010, 10(3): 12—16.
- [40] PALOU L, SMILANICK J L, CRISOSTO C H, et al. Effect of Gaseous Ozone Exposure on the Development of Green and Blue Molds on Cold Stored Citrus Fruit[J]. Plant Dis, 2001, 85: 632—638.
- [41] 熊件妹, 姜亚君, 郑卫民, 等. 500 g/L 抑霉唑乳油对柑橘青霉和绿霉病菌的抑制作用与防治效果[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 70—72.
XIONG Jian-mei, JIANG Ya-jun, ZHENG Wei-min, et al. Inhibitory Effects of Imazalil EC on *Penicillium italicum* and *Penicillium Digitatum* of Orange[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2006, 18(5): 70—72.
- [42] 郝卫宁, 李辉, 杨柳, 等. 茶皂素和噻菌灵混配对沙糖橘采后青绿霉菌的防治效果及品质的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(2): 348—352.
HAO Wei-ning, LI Hui, YANG Liu, et al. Control Efficacy against Citrus Green and Blue Mold and Effects on Postharvest Storage Quality of Shatang Mandarin Fruit by Tea Saponin Combined with Triabendazole[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(2): 348—352.
- [43] 夏更寿, 郭圣荣. β -环糊精邻苯基苯酚包合物对瓯柑缓释保鲜研究[J]. 核农学报, 2012, 26(9): 1265—1270.
XIA Geng-shou, GUO Sheng-rong. Slow-Releasing Preservation Effect of β -CD-OPP Clathrate Compounds on Citrus Fruits[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(9): 1265—1270.
- [44] 戴素明, 邓子牛. 新型柑橘采后杀菌剂研究进展[J]. 果树学报, 2014, 31(2): 320—323.
DAI Su-ming, DENG Zi-niu. Advances in the Research of New Fungicides for Postharvest Use of Citrus[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(2): 320—323.
- [45] ZHANG J. The Potential of a New Fungicide Fludioxonil for Stem-end Rot and Green Mold Control on Florida Citrus Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46(3): 262—270.
- [46] MCKAY A H, FORSTER H, ADASKAVEG J E. Efficacy and Application Strategies for Propiconazole as a New Postharvest Fungicide for Managing Sour Rot and Green Mold of Citrus Fruit[J]. Plant Disease, 2012, 96(2): 235—242.
- [47] 雷国风, 李至敏, 王小琴, 等. 柑橘果实采后绿霉病防治研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(21): 27—30.
LEI Guo-feng, LI Zhi-min, WANG Xiao-qin, et al. Research Progress on Control of Green Mold of Postharvest Citrus Fruits[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(21): 27—30.
- [48] 史晓伟. 美国“公认安全使用物质”(GRAS)法规简介[J]. 中国食品添加剂, 2009(S1): 42—47.
SHI Xiao-wei. Introduction for US GRAS Regulation[J]. China Food Additives, 2009(S1): 42—47.
- [49] 许永凤. 浅谈如何正确认识“食品添加剂”[J]. 食品研究与开发, 2004(5): 33—35.
XU Yong-feng. How to Correctly Understand "Food Additives"[J]. Food Research and Development,

- 2004(5): 33—35.
- [50] 柳丽梅, 张强, 杨书珍, 等. 碳酸铵和碳酸氢铵对柑橘青霉病的抑制作用[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(2): 65—69.
- LIU Li-mei, ZHANG Qiang, YANG Shu-zhen, et al. Inhibitory Effect of Ammonium Carbonate and Ammonium Hydrogen Carbonate on Blue Mold of Citrus Fruits[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2014, 33(2): 65—69.
- [51] 刘莉, 刘霞, 包永华. 碳酸钠、碳酸氢钠和山梨酸钾对柑橘采后酸腐病菌的抑制作用[J]. 北方园艺, 2011(23): 145—147.
- LIU Li, LIU Xia, BAO Yong-hua. Inhibition Effects on Sour Rot of Citrus Fruits by Application of Sodium Carbonate, Sodium Bicarbonate and Potassium Sorbate[J]. Northern Horticulture, 2011(23): 145—147.
- [52] 陈兆星, 吴武, 张洪铭, 等. 次氯酸钠结合磷酸不同方式处理对早熟蜜橘防腐保鲜的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(1): 66—69.
- CHEN Zhao-xing, WU Wu, ZHANG Hong-ming, et al. Effect of Sodium Chlorate with Phosphoric Acid on the Antisepsis and Preservation of Early Matured Citrus Unshiu Marc[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(1): 66—69.
- [53] 陈兆星, 胡居吾, 严翔, 等. 碳酸氢钠对赣南脐橙级外果贮藏性能的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(8): 43—48.
- CHEN Zhao-xing, HU Ju-wu, YAN Xiang, et al. Effect of Sodium Bicarbonate on the Storage Performance for Out-grading Fruits of Gannan Navel Orange[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(8): 43—48.
- [54] 盖智星, 王日葵, 贺明阳, 等. 肉桂酸钾对柑橘采后主要病原真菌的抑制作用[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(3): 109—113.
- GAI Zhi-xing, WANG Ri-kui, HE Ming-yang, et al. Antifungal Activity of Potassium Cinnamate against the Main Postharvest Fungal Pathogens of Citrus Fruits[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(3): 109—113.
- [55] 单显阳, 杨林聪. 天然植物提取物在水果保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业, 2016, 37(12): 233—236.
- SHAN Xian-yang, YANG Lin-cong. Research Progress Application Status of Natural Plant Extracts in the Preservation of Fruit[J]. The Food Industry, 2016, 37(12): 233—236.
- [56] 龙娅, 胡文忠, 李元政, 等. 植物精油对果蔬霉菌的抑制及在果蔬保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 311—317.
- LONG Ya, HU Wen-zhong, LI Yuan-zheng, et al. Inhibition of Plant Essential Oils on Mold of Fruits and Vegetables and Its Application in Preservation of Fruits and Vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(6): 311—317.
- [57] 周梦娇, 万春鹏, 陈金印. 植物提取物对柑橘采后病害抑制及保鲜效果的研究进展[J]. 北方园艺, 2014(2): 186—190.
- ZHOU Meng-jiao, WAN Chun-peng, CHEN Jin-yin. Research Progress on Inhibition of Citrus Postharvest Diseases and Preservation Effects of Plant Extraction[J]. Northern Horticulture, 2014(2): 186—190.
- [58] 万春鹏, 陈楚英, 陈明, 等. 肉桂提取物对赣南脐橙的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 317—321.
- WAN Chun-peng, CHEN Chu-ying, CHEN Ming, et al. Effect of Cinnamomum Cassia Extractions on Fresh-Keeping of 'Newhall' Navel Orange[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 317—321.
- [59] 周梦娇, 万春鹏, 陈金印. 11 种中草药提取物对柑橘意大利青霉抑菌活性及机理研究[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(4): 37—41.
- ZHOU Meng-jiao, WAN Chun-peng, CHEN Jin-yin. Antifungal Activity and Antifungal Mechanism of Chinese Herbs Extracts against *Penicillium Italicum*[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(4): 37—41.
- [60] 曾晓房, 高苏娟, 林衍宗, 等. 肉桂精油对紫金春甜桔贮藏保鲜的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(10): 1281—1284.
- ZENG Xiao-fang, GAO Su-juan, LIN Yan-zong, et al. Preservation Effect of Cinnamon Essential Oil on Zijin Sweet Orange[J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(10): 1281—1284.
- [61] 陈楚英, 彭旋, 陈玉环, 等. 21 种药用植物提取物对柑橘青霉病抑菌作用的筛选及白薇醇提物对脐橙青霉病的防治效果[J]. 植物保护学报, 2016, 43(4): 614—620.
- CHEN Chu-ying, PENG Xuan, CHEN Yu-huan, et al. Screening of Antifungal Activity of Extracts from 21 Species of Medicinal Plants against *Penicillium Italicum* of Citrus Fruits and the Efficacy of *Cynanchum Atratum* Ethanol Extracts for Control[J]. Journal of Plant Protection, 2016, 43(4): 614—620.
- [62] 杨青, 顾颖慧. 常见可食性涂膜保鲜剂研究进展[J]. 现代食品, 2020(22): 81—83.
- YANG Qing, GU Ying-hui. Research Progress of Edible Coating Preservatives[J]. Modern Food, 2020(22): 81—83.
- [63] 吴友根, 陈金印. 壳聚糖与果蔬保鲜生理生化效应的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(6): 865—868.
- WU You-gen, CHEN Jin-yin. Physiological and Biochemistry Effect of Chitosan on Fruit and Vegetable Fresh-Keeping[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2002, 30(6): 865—868.
- [64] 陈楚英, 陈明, 陈金印, 等. 壳聚糖涂膜对新余蜜橘常温贮藏保鲜效果的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(6): 1112—1117.

- CHEN Chu-ying, CHEN Ming, CHEN Jin-yin, et al. Effects of Chitosan Coating on Post-Harvest Quality of Xinyu Tangerine during Ambient Temperature Storage[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2012, 34(6): 1112—1117.
- [65] 欧阳小艳, 吴正奇, 万端极, 等. 玉米醇溶蛋白成膜在柑橘保鲜中的应用[J]. *湖北工业大学学报*, 2015, 30(5): 20—23.
- OUYANG Xiao-yan, WU Zheng-qi, WAN Duan-ji, et al. Film Forming of Zein and its Application in Citrus Preservation[J]. *Journal of Hubei University of Technology*, 2015, 30(5): 20—23.
- [66] 许嘉琰, 姚姝凤, 高宏, 等. 马来海松酸聚乙二醇柠檬酸酯对椪柑的保鲜性能[J]. *林业工程学报*, 2020, 5(6): 76—81.
- XU Jia-li, YAO Shu-feng, GAO Hong, et al. Study on Property Fresh-Keeping of Rosin-Based Preservatives for Ponkan[J]. *Journal of Forestry Engineering*, 2020, 5(6): 76—81.
- [67] 叶青青, 李亚娜, 侯温甫. 壳聚糖/聚赖氨酸对柑橘的保鲜性研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(17): 52—57.
- YE Qing-qing, LI Ya-na, HOU Wen-fu. Freshness of Citrus by Chitosan/Poly-Lysine[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(17): 52—57.
- [68] JENNIFER C, MONTVILLE T J, NES I F, et al. Bacteriocins: Safe, Natural Antimicrobials for Food Preservation[J]. *Inter J Food Microbiol*, 2001, 71(4): 1—20.
- [69] 蔡文韬, 夏延斌, 夏波, 等. 黏质红酵母的鉴定及链格孢菌抑菌机制的研究[J]. *食品与机械*, 2013, 29(2): 54—59.
- CAI Wen-tao, XIA Yan-bin, XIA Bo, et al. Identification of *Rhodotorula Mucilaginosa* Strain-39 and its Antagonistic Activity against *Alternaria Alternata*[J]. *Food & Machinery*, 2013, 29(2): 54—59.
- [70] 阎然, 傅茂润, 陈蕾蕾, 等. 解淀粉芽孢杆菌 NCPSJ7 对采后脐橙绿霉病的防治作用及机制[J/OL]. *食品科学*: [2020-12-08]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201207.1424.072.html>.
- YAN Ran, FU Mao-run, CHEN Lei-lei, et al. Effect of *Bacillus Amyloliquefaciens* NCPSJ7 against Green Mold in Navel Oranges and its Involved Mechanisms[J/OL]. *Food Science*: [2020-12-08]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201207.1424.072.html>.
- [71] 王博, 李亮, 龙超安, 等. 柠檬形克勒克酵母对温州蜜柑“国庆一号”采后贮藏的防腐效果[J]. *菌物学报*, 2008(3): 385—394.
- WANG Bo, LI Liang, LONG Chao-an, et al. *Kloeckera Apiculata* Preparation for Biocontrol of Postharvest Decay of Citrus Unshiu Fruits[J]. *Mycosystema*, 2008(3): 385—394.
- [72] 黄雪梅, 汪跃华, 徐兰英, 等. 拮抗酵母菌对沙糖橘采后绿霉病的抑制作用[J]. *中国南方果树*, 2011, 40(1): 4—8.
- HUANG Xue-mei, WANG Yue-hua, XU Lan-ying, et al. Inhibition Effect of Antagonist Yeasts on Postharvest Green Mold (*Penicillium Digitatum*) of Shatangju Mandarin[J]. *South China Fruits*, 2011, 40(1): 4—8.
- [73] 王勇, 程根武, 杨秀荣, 等. 利用拮抗酵母菌防治柑桔青霉病的初探[C]// 新世纪(首届)全国绿色环保农药技术论坛暨产品展示会论文集, 中国腐植酸工业协会, 2002: 210—213.
- WANG Yong, CHENG Gen-wu, YANG Xiu-rong, et al. Postharvest Biological Control of Blue Mold in Citrus Fruit by Antagonistic Yeast[C]// The first National Forum on Green and Environmental Protection Pesticide and the Product Exhibition Conference in the New Century, China Humic Acid Industry Association, 2002: 210—213.
- [74] 耿鹏, 陈少华, 胡美英, 等. 马克斯克鲁维酵母对柑橘采后绿霉病的抑制效果[J]. *华中农业大学学报*, 2011, 30(6): 712—716.
- GENG Peng, CHEN Shao-hua, HU Mei-ying, et al. Combination of *Kluyveromyces Marxianus* and Ammonium Molybdate for Control of Green Mold Caused by *Penicillium Digitatum* on Citrus Fruits[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2011, 30(6): 712—716.
- [75] MANSO T, NUNES C. *Metschnikowia Andauensis* as a New Biocontrol Agent of Fruit Postharvest Diseases[J]. *Postharvest Biol Technol*, 2011, 61: 64—71.
- [76] MALDONADO M C, OROSCO C E, GORDILLO M A, et al. In Vivo and in Vitro Antagonism of *Streptomyces* sp. RO3 Against *Penicillium Digitatum* and *Geotrichum Candidum*[J]. *Afri J Microbiol Res*, 2010, 4: 2451—2456.
- [77] PLATANIA C, RESTUCCIA C, MUCCILLI S, et al. Efficacy of Killer Yeasts in the Biological Control of *Penicillium Digitatum* on Tarocco Orange Fruits (*Citrus Sinensis*)[J]. *Food Microbiol*, 2012, 30: 219—225.
- [78] 李萍, 韩涛, 李丽萍, 等. 化学结合物理技术在果蔬贮藏中的研究与应用[J]. *食品工业科技*, 2007(9): 236—240.
- LI Ping, HAN Tao, LI Li-ping, et al. Research and Application of Chemical Combined with Physical Technology on the Storage of Fruits and Vegetables[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2007(9): 236—240.
- [79] 冯吉睿, 周雅涵, 曾凯芳. 膜醭毕赤酵母结合杀菌剂对柑橘果实采后病害的控制效果[J]. *食品科学*, 2015, 36(12): 249—254.
- FENG Ji-rui, ZHOU Ya-han, ZENG Kai-fang. Combination of *Pichia Membranaefaciens* with Fungicides for Control of Postharvest Diseases of Citrus Fruit[J]. *Food Science*, 2015, 36(12): 249—254.