

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.016247

引用格式:王智荣,郑力榕,吕新刚,等.化学处理在鲜切苹果保鲜中的应用研究进展[J].食品与发酵工业,2018,44(10):275-282.

WANG Zhi-rong, ZHENG Li-rong, LYU Xin-gang, et al. Advance in studies of chemical treatments on preservation of fresh-cut apples[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(10):275-282.

# 化学处理在鲜切苹果保鲜中的应用研究进展

王智荣<sup>1</sup>, 郑力榕<sup>2</sup>, 吕新刚<sup>3</sup>, 阚建全<sup>1, 4, 5\*</sup>

1(西南大学 食品科学学院, 重庆, 400715) 2(中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京, 100083)

3(西北大学 化工学院, 陕西 西安, 710069) 4(农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(重庆), 重庆, 400715)

5(中匈食品科学联合研究中心, 重庆, 400715)

**摘要** 鲜切苹果具有新鲜、安全、方便、营养等特点, 深受消费者喜爱。但切分过程造成的机械损伤会破坏苹果的组织结构, 极易引起切片褐变、软化、腐烂等问题。化学处理, 因其操作简单、成本低廉、保鲜效果好, 在鲜切苹果贮藏保鲜中应用广泛。该文综述了新型杀(抑)菌剂、钙盐溶液处理、褐变抑制剂、涂膜处理及化学方法和物理技术结合处理在提高鲜切苹果贮藏品质方面的研究进展, 分析了这些处理在抑制酶促褐变、强化切片硬度、抑制微生物生长繁殖、保持和提高鲜切苹果品质方面的可能机理。随着保鲜技术的应用和发展, 鲜切苹果的贮藏品质将得到保障。

**关键词** 鲜切苹果; 化学处理; 贮藏保鲜

鲜切果蔬, 又名半处理果蔬、最小或轻(浅)度加工果蔬, 是对新鲜果蔬进行分级、整理、清洗、切分、去心(核)、修整、保鲜、包装等程序处理, 提供给消费者的一种营养丰富、食用方便、新鲜卫生的 100% 可食用的产品<sup>[1]</sup>。因其具有方便快捷、营养安全等特点, 鲜切果蔬倍受世界各国消费者的青睐, 然而, 相对于完整的新鲜果蔬, 鲜切果蔬更易产生生理衰老、水分和营养损失、切片表面变色、质地软化、微生物侵染严重等问题, 大大缩短了这类产品的货架寿命<sup>[1-2]</sup>。苹果, 富含多种糖、酸、维生素、矿物质、膳食纤维等营养成分, 是举世公认的营养程度最高的健康水果之一。近年来, 国内外科研人员在如何保持鲜切苹果的品质及延长货架寿命等方面进行了大量的研究。化学处理, 因其具有操作简单、成本低廉、保鲜效果好等特点, 在鲜切苹果贮藏保鲜中应用广泛。因此, 本文对备受关注的化学处理方法在鲜切苹果中的应用进行了综述, 以期为其在本领域的深入发展及生产中的进一步应用提供借鉴。

## 1 化学处理

化学处理是指在切分处理前/后添加一定量的安全无毒副作用的化学物质, 以改变果蔬的生理活性, 维持或改善切片的组织质地, 控制褐变, 抑制病原微生物的生长繁殖, 以提高鲜切产品的食用品质和销售价值<sup>[2]</sup>。抗氧化剂如植酸、(D-异)抗坏血酸(盐)、磷脂、乳酸钙(钠)等, 酸度调节剂如乳酸、碳酸氢钠、L-苹果酸、柠檬酸(钾、钠)等, 增稠剂如果胶、黄原胶、卡拉胶、阿拉伯胶、海藻酸钠/钾、羧甲基纤维素钠、淀粉等, 防腐剂如  $\epsilon$ -聚赖氨酸盐酸盐等, 因其安全、高效, 被允许用于我国的加工水果, 包括鲜切水果中<sup>[3]</sup>。

## 2 化学处理在鲜切苹果中的应用进展

### 2.1 新型杀(抑)菌剂

水果切分后的清洗操作是鲜切苹果加工过程中唯一能直接减少微生物污染的步骤, 过去常用含有 50 ~ 120 mg/L 自由氯的溶液浸泡杀菌, 但氯及其化合物会形成致癌的氯化副产物<sup>[4-5]</sup>。近年来, 更加安全、健康、环保的新型杀(抑)菌剂得到了极大的发展(表 1)。

亚氯酸钠是一种安全的高效杀菌剂, 其氧化性比次氯酸高, 美国食品药品监督管理局 (United States Food and Drug Administration, FDA) 允许使用 0.5 ~ 1.2 g/L

第一作者: 硕士研究生 (阚建全教授为通讯作者, E-mail: gan-jq1965@163.com)。

基金项目: 中国同匈牙利政府间国际科技创新合作重点专项 (国家重点研发计划资助, 中国编号为 2016YFE0130600, 匈牙利编号为 TET\_16\_CN-I-2016-0004); 中华人民共和国农业部财政专项项目 (农质发[2017]4号, GJFP201701102); 陕西省自然科学基金基础研究计划 (2017JQ3042)

收稿日期: 2017-11-10, 改回日期: 2018-01-01

的亚氯酸钠对果蔬和鲜切果蔬进行喷洒或浸泡<sup>[4-5]</sup>。LUO 等<sup>[6]</sup>研究发现,亚氯酸钠可使鲜切“红元帅”表面的大肠杆菌数量下降 3 ~ 3.6 个对数值,和氯化钙联用时可保持切片良好品质达 14 d,此外,亚氯酸钠还能有效抑制多酚氧化酶 (Polyphenol oxidase, PPO) 活性,从而减轻褐变程度<sup>[7]</sup>。

过氧乙酸是由过氧化氢和醋酸混合而成的一种绿色、环保强氧化型杀菌剂,质量浓度在 50 mg/L 以下就能达到良好的杀菌效果<sup>[4]</sup>。ABADIAS 等<sup>[8]</sup>研究表明,80 mg/L 过氧乙酸处理能使苹果切片表面的病原菌数量降低 2 ~ 3 个对数值。

臭氧也是一种强氧化型杀菌剂,其氧化强度是氯的 1.5 倍,杀菌速度是氯的 600 ~ 3 000 倍,其反应产物为水和氧气,不会污染环境<sup>[4, 9]</sup>。侯玉茹等<sup>[9]</sup>报道,9 d 后,经臭氧水处理的切片的表面菌落总数仅为对照的 1.7%;刘程惠<sup>[10]</sup>的研究也表明臭氧能有效延长鲜切苹果的货架期。然而,臭氧化学性质不稳定,在实际利用中,需要实时监控臭氧的浓度,另外,臭氧可能会造成抗坏血酸、胡萝卜素等营养物质的损失<sup>[4]</sup>。

酸性电解水是指通过电解稀盐溶液,产生氯气和各种次氯酸盐,有效杀灭各种微生物,且对人体安全无害<sup>[4-5]</sup>。张秋婷等<sup>[11]</sup>研究表明,微酸电解水对大肠杆菌具有明显的致死效应;GRACA 等<sup>[12]</sup>指出酸性

电解水杀菌效果最好,其次是中性电解水,而次氯酸钠杀菌效果最差;于晓霞<sup>[13]</sup>优化的酸性电解水杀菌工艺,可使减菌率高达 91.84%。然而,酸性电解水需要持续通电,且溶液中的有效氯浓度极易受光照、温度等影响,因而在使用中应特别注意控制外界环境<sup>[13]</sup>。

随着消费者安全意识和要求的提高,许多天然物质由于具有明显的抑菌作用而备受关注(表 1)。TORNUEK 等<sup>[14]</sup>报道,百里香、小茴香、迷迭香、月桂叶的植物水溶胶都能有效降低大肠杆菌 O157: H7 和鼠伤寒沙门氏菌的数量,尤以百里香水溶胶抑菌作用最好;SALVIA 等<sup>[15]</sup>研究指出柠檬草香精油能有效抑制鲜切“富士”苹果天然菌和大肠杆菌的生长繁殖;银杏叶和种皮提取液也能有效控制切片表面的微生物数量<sup>[16]</sup>。除此之外,一些果蔬的香气成分如己醛、2-E-己烯醛、乙酸己酯等能通过被动扩散透过细胞质膜,发挥抑菌作用<sup>[2]</sup>。但是,天然抑菌剂在水中的溶解度一般较低,其自身所带的强烈味道会对苹果切片的气味和口感造成不良影响<sup>[2]</sup>;而且,天然抑菌剂的提取或生产通常需要先先进的设备和操作技术,价格昂贵。因此,虽然天然抑菌剂是未来发展的必然趋势,但距离大规模商业应用还很遥远。

表 1 新型杀(抑)菌剂在鲜切苹果保鲜中的应用

Table 1 The application of novel fungicides ( bacteriostatic agent) on preservation of fresh-cut apples				
方法	品种	处理条件	保鲜效果	文献
亚氯酸钠	红元帅	300 mg/L 亚氯酸钠 + 20 g/L 氯化钙浸渍 1 min, 5 ℃ 贮藏	能有效减少切片表面的大肠杆菌数量,维持较高的硬度,保持良好品质达 14 d	[7]
过氧乙酸	金冠	80 mg/L 过氧乙酸浸渍 2 min, 10 ℃ 贮藏	贮藏 6 d 后,切片表面的大肠杆菌、沙门氏菌、李斯特菌等病原菌的数量下降了 2 ~ 3 个对数值	[8]
臭氧	红富士	15 ℃ 下, 10 mg/L 臭氧水处理 15 min, 5 ℃ 贮藏	贮藏 9 d 后,切片的菌落总数仅为对照的 1.7%	[9]
	富士	饱和臭氧水处理切片 2.5、10 min, 4 ℃ 贮藏	能有效减少切片表面的微生物,臭氧水处理 5 min 可将鲜切苹果的货架期延长至 10 d	[10]
酸性电解水	富士	微酸性电解水结合 400 MPa 超高压处理苹果切片	微酸性电解水对大肠杆菌具有致死效应,处理后,仅在鲜切苹果的脑心浸出液琼脂培养基中检出少量大肠杆菌	[11]
	嘎啦	苹果切片接种病原菌后,分别用酸性、中性电解水和次氯酸钠溶液处理, 4 ℃ 贮藏	抑菌效果为酸性电解水 > 中性电解水 > 次氯酸钠	[12]
	富士	最佳杀菌工艺条件为: 45 g/L NaCl, 杀菌温度 25 ℃, 杀菌时间 6.45 min, 料液比 6:1 (mL/g)	细菌总数由 1.14 × 10 <sup>5</sup> CFU/g 降至 9.3 × 10 <sup>3</sup> CFU/g, 减菌率高达 91.84%	[13]
天然抑菌剂	——	分别用含有百里香、小茴香、迷迭香、月桂叶的植物水溶胶清洗接种后的苹果切片	植物水溶胶能显著降低切片表面的大肠杆菌 O157: H7 和鼠伤寒沙门氏菌的数量,尤以百里香水溶胶效果最为突出	[14]
	富士	20 g/L 氯化钙 + 10 g/L 柠檬酸浸渍后,分别用 0、1.5、10 g/L 柠檬草香精油的纳米乳剂浸渍 2 min	柠檬草香精油浓度为 5 g/L 和 10 g/L 时,切片表面天然菌和大肠杆菌数量最少,能保持较好品质达 14 d	[15]
	红富士	分别用不同浓度的银杏叶提取液、银杏外种皮提取液浸渍 5 min, 保鲜膜包裹, 8 ℃ 贮藏	各提取液能有效抑制切片软化和表面微生物生长繁殖,抑制花青素、总酚以及类黄酮含量的下降	[16]

注:—表示文献中未指明苹果品种。

2.2 钙盐溶液处理

苹果经机械切分后,切面组织被破坏,释放果胶

甲酯酶 (Pectin methylesterase, PME)、多聚半乳糖醛酸酶 (Polygalacturonase, PG) 等水解酶,降解细胞壁,进而引起苹果切片软化<sup>[2]</sup>。钙离子可以和果胶上的自由羧基交联形成交叉聚合体或钙桥,从而维持整体结构的稳定性,且钙盐溶液处理还能有效降低果实的膜透性,延缓衰老<sup>[1-2]</sup>。氯化钙是使用最广泛的钙盐,能有效提高苹果切片的硬度,如杨巍等<sup>[17]</sup>报道氯

化钙能推迟苹果切片 PPO、过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 活性高峰的到来; VARELA 等<sup>[18]</sup>指出,10 g/L 氯化钙处理可保持苹果切片可接受硬度和良好品质达 8 d,但会造成不良风味和苦涩口感。因而,目前越来越多的学者转向氯化钙替代物的研究(表 2),一些有机酸钙如丙酸钙、乳酸钙、抗坏血酸钙等保鲜作用显著<sup>[2, 19]</sup>,有望取代氯化钙,应用于鲜切苹果的保鲜中。

表 2 钙盐处理在鲜切苹果保鲜中的应用

Table 2 The application of calcium salt treatment on preservation of fresh-cut apples

方法	品种	处理条件	保鲜效果	文献
钙盐溶液处理	富士	10 g/L CaCl <sub>2</sub> 溶液浸泡 5 min, 25 °C 贮藏	能有效延迟 PPO、POD 活性高峰的到来, 延缓褐化进程	[17]
	富士	10 g/L CaCl <sub>2</sub> 溶液浸泡切片 3 min	能保持可接受硬度达 8 d, 但会引起不良风味和口感	[18]
	布瑞本	分别用 0、20、60、120、200 g/L 抗坏血酸钙溶液浸渍 2 min, 4 °C 低温贮藏或气调贮藏	200 g/L 抗坏血酸钙处理效果最好, 可延长货架期至 4 周	[19]

2.3 褐变抑制剂

褐变是影响鲜切苹果货架期最主要的因素,鲜切苹果的褐变主要由酶促褐变引起,现已明确,酶促褐变是在有氧存在的情况下,酚类底物和 PPO 反应形成醌类物质所致<sup>[2, 4]</sup>。因而,褐变抑制剂的作用机理主要包括螯合 PPO 辅基 Cu<sup>2+</sup>、改变酶作用的酸碱环境、与酶产生竞争性抑制而降低酶活、还原酚的氧化产物、与褐变底物酚类结合、改变酚类底物的结构等,从而实现抑制或减轻褐变<sup>[1-2]</sup>。过去常用的褐变抑制剂是亚硫酸盐,但是亚硫酸盐会破坏食品组织营养,并会引发哮喘病人过敏反应, FDA 已禁止使用<sup>[1, 20]</sup>。由此,探索和开发健康安全的褐变抑制剂备受世人关注。

2.3.1 新型褐变抑制剂

目前,使用最广泛的褐变抑制剂是(异)抗坏血酸(表 3),抗坏血酸能将醌还原为酚类底物,进而有效抑制酶促褐变。在过去很长一段时间里,抗坏血酸常和钙盐联用,在抑制褐变的同时,能明显提高鲜切苹果的硬度<sup>[2]</sup>。CRISTIANE 等<sup>[21]</sup>联用抗坏血酸和氯化钙,保持鲜切苹果的良好品质达 11 d。然而,抗坏血酸不稳定,且当抗坏血酸被完全氧化成脱氢抗坏血酸时,就会丧失抑制褐变的能力<sup>[2]</sup>。另外,有报道指出,抗坏血酸可能会引起鲜切苹果的氧化损伤<sup>[22]</sup>。

羧酸如柠檬酸、植酸等能通过降低 pH 和螯合铜离子等途径抑制 PPO 活性,因而也被广泛用于鲜切苹果的保鲜(表 3)。柠檬酸浓度为 3 g/L 时对鲜切“富士”苹果就有很好的保鲜效果<sup>[20]</sup>,而对于鲜切“寒富”苹果,柠檬酸浓度为 15 g/L 护色效果最好,能保持切片良好品质达 8 d<sup>[23]</sup>;植酸的作用效果和其浓

度有关,较高浓度能有效抑制褐变,浓度较低时,会加速切片的软化<sup>[24]</sup>。

近年来,卤化盐的抗褐变能力颇受关注。LI 等<sup>[25]</sup>比较了各种卤化盐的护色效果,结果表明,氟化盐 > 氯化盐 ≈ 溴化盐 > 碘化盐,随后,他们用抗坏血酸钙混合 NaCl 浸泡苹果切片,发现处理后的切片, PPO 活性大为降低,可保持较好品质达 30 d。用廉价的卤化盐尤其是氯化钠取代或部分取代高价的抗坏血酸(盐),能在显著抑制褐变的同时有效降低成本<sup>[26]</sup>。

用含氮气体如 N<sub>2</sub>、NO 熏蒸鲜切苹果,也是最近几年的研究热点(表 3)。AMISSAH 等<sup>[27]</sup>研究表明, NO 处理能显著抑制醇脱氢酶(alcohol dehydrogenase, ADH)的活性,且苹果切片越小,作用效果越好;朱珍等<sup>[28]</sup>发现 NO 缓释熏蒸处理能有效抑制切片褐变、软化、失重和 PPO 活性,并能维持较高的可溶性固形物(total soluble solid, TSS)、可滴定酸(titratable acid, TA)、V<sub>C</sub> 和总酚含量。

从植物中提取有效活性成分,作为天然保鲜剂,抑制鲜切苹果的褐变,近年来备受关注和重视。目前研究最多的是生姜提取液(表 3),生姜提取液浓度过高或过低都会影响苹果切片的感官品质,胡艳超等<sup>[29]</sup>发现用 0.1 g/L 生姜提取液和氯化钙复合液浸泡,更能抑制切片的 PPO 和 POD 活性,并能有效减少失重。有研究报道,雪松松针提取物对鲜切苹果也有较好的保鲜效果<sup>[30]</sup>。虽然这些活性成分安全、健康,但是植物提取物会很快扩散到苹果切片中,在切片表面的浓度迅速下降,会削弱抑菌效果,而且,植物提取物成分复杂,浸涂处理后可能会影响鲜切苹果的感官品质<sup>[6]</sup>。

2.3.2 复合护色液

单一的褐变抑制剂只具有一条或少数几条作用途径,往往护色效果或护色时间极为有限,联用多种褐变抑制剂是解决这一问题的有效途径(表3)。目前最常用的是(异)抗坏血酸(盐)混合钙盐或/和羧酸。张芳等<sup>[31]</sup>报道,用5 g/L D-异抗坏血酸钠+10 g/L柠檬酸+8 g/L NaCl+1.6 g/L EDTA-2Na

复合液处理,贮藏12 d后,切片仍能保持较好品质。4-己基间苯二酚,是PPO的竞争性抑制剂,复合液中添加少量的4-己基间苯二酚,能显著提高护色效果<sup>[20]</sup>。此外,含硫醇化合物如N-乙酰半胱氨酸、还原型谷胱甘肽能和醌反应形成无色物质或还原醌为二元酚<sup>[2]</sup>,也常常用于配制高效的复合护色液。

表3 褐变抑制剂在鲜切苹果保鲜中的应用

Table 3 The application of browning inhibitors on preservation of fresh-cut apples			
品种	处理条件	保鲜效果	文献
嘎啦	10 g/L 氯化钙+20 g/L 抗坏血酸浸渍 5 min,2 ℃ 贮藏	切片的呼吸速率和失重均较低,能保持较好品质达 11 d	[21]
红富士	用不同浓度植酸浸泡切片,保鲜膜封口,4℃ 贮藏	低浓度植酸会加速软化,高浓度植酸具有较好的保鲜效果	[24]
澳洲青苹	分别用相同浓度的卤化盐溶液浸渍 5 min,4 ℃ 贮藏	对切片的褐变抑制效果为:氟化盐 > 氯化盐 ≈ 溴化盐 > 碘化盐,4.2 g/L NaF 处理可延长货架期至 15 d	[25]
澳洲青苹	9.76 g/L 抗坏血酸钙+29.2 g/L NaCl 溶液浸渍 5 min,于 4 ℃ 贮藏	切片 PPO 活性显著下降,可延长货架期至 30 d	[26]
红元帅	苹果 8 或 16 等分,后将切片分别置于体积分数为 100% N <sub>2</sub> 和 0.25、0.5、0.75、1.0% NO 气体中处理 20 min	体积分数为 1% NO 处理能显著抑制 ADH 活性,且切片越小,抑制效果越好,可将货架期延长至 6 周	[27]
红富士	将鲜切苹果片与 NO 气体缓释剂共置于密闭容器中,4 ℃ 贮藏	能有效抑制切片褐变、果肉软化、失重和 PPO 活性,维持较高的 TSS、TA、V <sub>c</sub> 和总酚含量	[28]
富士	0.1 g/L 生姜提取液+1.5 g/L CaCl <sub>2</sub> 浸泡 4 min	失重最少,PPO 和 POD 活性最低,能有效抑制褐变	[29]
富士	用 0、0.25、0.50、1.0、2.0 g/L 雪松松针提取物处理苹果切片	切片总酚和类黄酮含量较高,提取物具有较强的自由基清除能力,能有效抑制褐变和延长货架期	[30]
富士	5 g/L D-异抗坏血酸钠+10 g/L 柠檬酸+8 g/L NaCl+1.6 g/L EDTA-2Na,浸泡 10 min	贮藏 12 d 后仍能保持较好品质	[31]

2.4 涂膜处理

涂膜处理是指在苹果切片表面添加一层可食性薄膜,该薄膜可以减少水分蒸发和营养流失,限制溶质迁移和气体交换,抑制呼吸作用,延缓乙烯生成,降低生理生化反应速度,推迟鲜切苹果组织衰老和腐败<sup>[1-2]</sup>。而且,成膜剂可作为抗氧化剂、褐变抑制剂和营养成分等添加剂的载体,可有效控制苹果切片的褐变,抑制微生物的生长繁殖,因而被认为是对鲜切苹果保鲜最有效的方法之一<sup>[2]</sup>。

2.4.1 多糖类涂膜剂

壳聚糖,因其具有抑菌、保鲜和成膜性好等特点,是目前应用最广泛的多糖涂膜剂。然而,壳聚糖溶解度不高,因而,壳聚糖的分解产物、溶解度更高的壳寡糖引起众多学者的兴趣。萨仁高娃等<sup>[32]</sup>研究发现,壳寡糖涂膜能有效降低切片质量损失,抑制脂氧合酶活性,延缓衰老。此外,利用化学、生物等方法对壳聚糖进行改性,也能有效提高壳聚糖溶解度和保鲜效果。吴昊等<sup>[33]</sup>用漆酶催化壳聚糖与没食子酸反应,制成的壳聚糖-没食子酸衍生物有更好的护色和抑菌作用。单一成分涂膜的作用效果有限,混合抗氧化剂

或/和抑菌剂往往能有效提高苹果切片的安全性和货架期,如WU等<sup>[34]</sup>用壳聚糖混合普鲁兰糖和谷胱甘肽浸渍“富士”切片可延长货架期达10 d。除了壳聚糖,海藻酸钠也是常用的多糖涂膜剂,被广泛地用于复合涂膜液中。郭宇欢等<sup>[35]</sup>指出,1.0 g/L生姜提取物+10 g/L海藻酸钠浸渍涂膜在减少水分损失、维持硬度、抑制褐变和微生物侵染等方面有较好效果;刘永等<sup>[36]</sup>通过响应面法,确定茶树油/海藻酸钠涂膜的最佳制备工艺为:13.0 g/L海藻酸钠+19.9 g/L甘油+2.6 g/L茶树油。除此之外,淀粉<sup>[37]</sup>、羧甲基纤维素<sup>[38]</sup>等也常常作为复合涂膜液的成膜成分(表4)。

2.4.2 蛋白类涂膜剂

蛋白类涂膜剂主要是溶菌酶、白蛋白等(表4)。冯叙桥等<sup>[39]</sup>研究发现,在一定范围内,溶菌酶的浓度越高,对鲜切“寒富”苹果的保鲜效果越好,当浓度达0.8 g/L时,切片的感官评价、色泽、硬度、TSS和抗坏血酸含量均处于较高水平,在4 ℃条件下可延长切片货架期达8 d;蔡景胜等<sup>[40]</sup>报道,蚕茧中的丝素蛋白能有效降低“红富士”切片失重,抑制PPO活性,延缓

褐变,并维持较高的 Vc 含量。不含褐变抑制剂的白蛋白膜却能有效控制鲜切苹果的褐变,一般认为,是

膜内的半胱氨酸起主要作用,而蛋白形成的膜阻止氧的进入可能也是抑制褐变的原因之一<sup>[41]</sup>。

表 4 涂膜处理在鲜切苹果保鲜中的应用

Table 4 The application of coating on preservation of fresh-cut apples

方法	品种	处理条件	保鲜效果	文献
多糖类涂膜剂	——	壳寡糖涂膜液 + 2.5 g/L 百里香油 + 0.6 g/L 肉桂油浸渍 2 min, 无菌保鲜膜包裹, 4 ℃ 贮藏	较好地维持了切片的颜色、硬度和抗坏血酸含量, 且 PPO 和 POD 活性最低, 贮藏期间(18 d)能保持切片较好品质	[32]
	红富士	制备壳聚糖-没食子酸衍生物, 用 10 mg/mL 壳聚糖-没食子酸衍生物溶液浸泡 2 min	在 4 d 的 14 ℃ 恒温贮藏期间, 硬度损失最小, TSS、V <sub>c</sub> 、谷胱甘肽、总酚含量维持较高水平, 切片表面含菌量最低	[33]
	富士	10 g/L 壳聚糖 + 10 g/L 普鲁兰糖 + 8 g/L 谷胱甘肽浸渍 5 min, 5 ℃ 贮藏	能显著抑制褐变, 减少失重、微生物数量, 降低呼吸速率, 并保持较高的硬度, 可延长切片货架期长达 10 d	[34]
	——	涂膜液成分为: 海藻酸钠含量 13 g/L、甘油含量 19.9 g/L 和茶树油含量 2.6 g/L	是抑制鲜切苹果褐变的茶树油/海藻酸钠涂膜最佳制备工艺, 此条件下, 吸光度仅为 0.015	[36]
	富士	10 g/L 抗坏血酸 + 10 g/L 氯化钙 + 2 g/L 肉桂油 + 木薯淀粉/脱色仙草叶胶涂膜液浸渍 1 min, 4 ℃ 贮藏	货架期长达 12 d, 远高于对照的 2 d 和 120 ppm 氯溶液处理的 2~5 d	[37]
	嘎啦	5 g/L 氯化钙 + 20 g/L 抗坏血酸 + 10 g/L 羧甲基纤维素浸渍 5 min, 4 ℃、90~95% RH 贮藏	切片的褐变最轻, 硬度最高, 抗坏血酸、总酚、类黄酮含量最高, 生理活性最弱, 可保持较好品质达 12 d	[38]
蛋白质类涂膜剂	寒富	分别用 0.1、0.5、0.8 g/L 溶菌酶溶液浸渍 2 min, 保鲜膜包装, 4 ℃ 贮藏	贮藏 8 d 后, 0.8 g/L 处理的切片的感官评价、色泽、硬度、TSS 和抗坏血酸含量均处于较高水平	[39]
	红富士	15 g/L 护色保鲜-丝素蛋白溶液浸渍	能有效降低失重, 抑制 PPO 活性, 维持 V <sub>c</sub> 含量	[40]
纳米涂膜液和微乳液	红元帅	用含 20 g/L α-生育酚的纳米乳剂处理切片, 4 ℃ 贮藏	呼吸速率仅为 35 mL O <sub>2</sub> /kg h, 显著抑制 PME 和 PPO 活性, 切片硬度较高, 褐变较轻, 能保持较好品质达 21 d	[42]
	红元帅	10 g/L 氯化钙浸渍 + 生育酚微胶囊/黄原胶涂膜, 4 ℃、85% RH 贮藏	和对照相比, 呼吸速率降低了 63%, PPO 和 PAL 活性明显降低, 褐变较轻, 可保持较好品质达 21 d	[43]
	——	10 g/L 抗坏血酸浸渍 10 min + 海藻酸钠/纳米 SiO <sub>2</sub> 涂膜液处理 20 s + 20 g/L CaCl <sub>2</sub> 浸泡 20 s	能有效保持鲜切苹果的品质, 减缓切片的生理变化, 将货架期由 3 d(空白对照)延长至 5 d	[44]
	红富士	分别用 2.5、5、10 g/L 柠檬精油微乳液处理切片, 4 ℃ 冷藏	能有效维持切片的色泽和 TSS, 显著抑制微生物的生长繁殖, 但对硬度影响甚微, 综合效果以 5 g/L 处理最好	[45]
	红富士	分别用含不同浓度 α-生育酚的 PE/PVA 薄膜包裹苹果切片, 20 ℃ 贮藏	含 α-生育酚的 PE/PVA 薄膜能有效抑制切片的褐变和 PPO 活性, 抑制硬度、V <sub>c</sub> 含量和 TA 下降	[46]
活性包装	红富士	分别用含 0、10、20、30、40 g/L 柠檬酸的聚乙烯醇改性薄膜密封包装鲜切苹果, 室温贮藏	柠檬酸含量为 20 g/L 时效果最好, 6 d 后, 切片的各项指标均优于对照组和其他处理组	[47]

注: —表示文献中未指明苹果品种。

2.4.3 纳米涂膜液和微乳液

纳米技术及纳米涂膜液在鲜切果蔬中的应用是近年来的研究热点。ZAMBRANO 等<sup>[42]</sup>报道, 含 α-生育酚的纳米乳剂处理后的切片, 其呼吸速率仅为 35 mL O<sub>2</sub>/(kg · h), 能保持较好品质达 21 d; GALINDO 等<sup>[43]</sup>发现, 和对照相比, 经生育酚微胶囊/黄原胶涂膜的鲜切苹果, 其呼吸速率下降了 63%, PPO 和苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonialyase, PAL)活性也明显降低; 类似地, 刘永等<sup>[44]</sup>研究发现, 用纳米 SiO<sub>2</sub>/海藻酸钠涂膜处理 20 s, 能有效减缓切片的生理变化, 保持鲜切苹果的品质。微乳液, 由于能显著提高精油在水油两相中的溶解能力, 也常作为植物精油涂膜液的载体, 应用于鲜切苹果的保鲜<sup>[2, 45]</sup>。

2.4.4 活性包装

此外, 在包装薄膜上涂布或在成膜剂中加入抗氧化剂或/和抑菌剂, 制成活性保鲜包装薄膜, 也是目前

的研究方向之一<sup>[1]</sup>。陈晨伟等<sup>[46]</sup>在 PE/PVA 薄膜上涂布不同浓度的 α-生育酚, 而后包裹“红富士”切片, 结果发现, 含 α-生育酚的薄膜能有效抑制切片的褐变和 PPO 活性, 抑制硬度、V<sub>c</sub> 和 TA 含量下降; 张燕等<sup>[47]</sup>在聚乙烯醇流延成膜过程中加入不同质量分数的柠檬酸, 并用改性薄膜密封包裹鲜切“红富士”, 结果表明, 柠檬酸浓度为 2% 时保鲜效果最好, 室温下 6 d 后, 切片的各项指标均优于对照和其他处理组。

虽然涂膜处理能有效保持鲜切苹果的品质, 但切片表面形成的膜会造成厌氧环境, 可能会削弱苹果的香气, 影响挥发性成分的生成<sup>[1-2]</sup>。

2.5 化学方法和物理技术结合处理

化学处理虽然较好地保持了鲜切苹果的营养品质, 但对切片的品质特征仍有或多或少的不利影响, 联合多种处理方法是鲜切苹果保鲜的发展方向, 目前, 最常用的是化学处理结合物理保鲜技术如紫外

辐照、脉冲光、(超)高压等(表5)。CHEN等<sup>[50]</sup>发现,联用柠檬酸浸渍和紫外线辐照处理的切片褐变较轻,失重较少,表面微生物数量较少,可食性和贮藏品质较好;MOREIRA等<sup>[51]</sup>联用涂膜和脉冲光处理,切片表面的嗜温菌、嗜冷菌、酵母菌和霉菌显著减少,而DPPH自由基清除活性、质构和感官品质几乎不变;VERCAMMEN等<sup>[52]</sup>将鲜切苹果在护色

液中浸渍后,用450 MPa超高压处理10 min,结果将切片的微生物货架期由空白的15 d延长至90 d,这可能是因为超高压对微生物具有亚致死和致死效应<sup>[11]</sup>。此外,低温、热处理、电离辐射、超声波处理、气调贮藏等<sup>[1, 20]</sup>也是化学处理常常联用的物理方法。

表5 化学方法和物理技术结合处理在鲜切苹果保鲜中的应用

Table 5 The application of combination of chemical treatments and physical methods on preservation of fresh-cut apples			
品种	处理条件	保鲜效果	文献
富士	5 g/L 柠檬酸浸渍 5 min + 15 W 紫外线辐照 5 min	联合处理的切片褐变程度最轻,失重最低,表面微生物数量最少	[48]
金冠	5 g/L 吉兰糖胶浸渍 2 min + 12 J/cm <sup>2</sup> 脉冲光处理, 4 ℃ 贮藏	切片表面的嗜温菌、嗜冷菌、酵母菌和霉菌显著减少,DPPH 自由基清除活性、质构和感官品质几乎不变	[49]
乔纳金冠	1.5 g/L 抗坏血酸 + 250 g/L 果糖浸渍 + 450 MPa 超高压处理 10 min	经超高压处理的鲜切苹果硬度几乎不变,褐变较轻,能将微生物货架期从空白的 15 d 延长至 90 d	[50]

3 结语

随着科学技术的快速发展和对鲜切苹果贮藏期间生理生化变化的深入研究,化学处理通过钝化酶活、抑制褐变、阻止软化、控制微生物生长繁殖等作用效应,有效延长了鲜切苹果的货架期。而且,化学处理简单快速,成本低廉,便于大规模操作,在鲜切果蔬的产业应用中占有重要地位。然而随着消费者对新鲜、方便、健康、卫生食品要求的不断提高,化学处理的安全性始终备受关注和质疑。因此,未来应加强以下研究以推进化学处理的产业化应用:(1)探索和开发更加安全、高效的天然杀(抑)菌剂、褐变抑制剂;(2)针对各种保鲜效应,着重研究各化学处理的作用机制和影响因素,强化各方法的作用优势;(3)联合使用多种化学处理方法,优化各种化学处理剂的配比,研究和发挥其协同作用;(4)综合使用化学处理方法和物理保鲜技术,强化研究其相互协同的作用条件和机制,实现优势互补。相信随着保鲜技术的发展与成熟,鲜切苹果的品质将得到有效保障。

参 考 文 献

[1] VELDERRAIN R G R, QUIROS S A E, GONZALEZ A G A, et al. Technologies in Fresh-Cut Fruit and Vegetables [M]. Minimally Processed Foods. Springer International Publishing, 2015: 6 - 11.

[2] OMSOLIU G, ROJASGRAU M A, ALANDES G L, et al. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review[J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 57(3): 139 - 148.

[3] 中华人民共和国卫生部,GB 2760—2014,食品安全国家标准,食品添加剂使用标准[S]. 北京:中国标准出版社,2014.

[4] 罗婵,陈安均,崔慧玲,等. 鲜切果蔬清洗杀菌剂的研究现状[J]. 食品与发酵科技,2013(3): 84 - 88.

[5] MEIRELES A, GIAOURIS E, SIMOES M. Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry[J]. Food Research International, 2016, 82: 71 - 85.

[6] LUO Ya-guang, LU Sheng-min, ZHOU Bin, et al. Dual effectiveness of sodium chlorite for enzymatic browning inhibition and microbial inactivation on fresh-cut apples[J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(7): 1 621 - 1 625.

[7] LU Sheng-min, LUO Ya-guang, FENG Hao. Inhibition of apple polyphenol oxidase activity by sodium chlorite[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2006, 54(10): 3 693 - 3 696.

[8] ABADIAS M, ALEGRE I, USALL J, et al. Evaluation of alternative sanitizers to chlorine disinfection for reducing foodborne pathogens in fresh-cut apple[J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 59(3): 289 - 297.

[9] 侯玉茹,牛琳,王宝刚,等. 鲜切苹果臭氧水杀菌工艺研究[J]. 食品工业,2017,38(2): 121 - 125.

[10] 刘程惠. 鲜切苹果腐败霉菌侵染生物学机理及其臭氧防控研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.

[11] 张秋婷,林素丽,朱松明,等. 超高压与微酸性电解水结合对鲜切果蔬的杀菌效果研究[J]. 农业机械学报,2017,48(3): 338 - 344.

- [12] GRACA A, NUNES C, QUINTAS C, et al. Efficacy of electrolyzed water to inactivate foodborne pathogens on fresh-cut apples [J]. *Acta Horticulturae*, 2012, 934 (934): 405–411.
- [13] 于晓霞. 酸性电解水对鲜切果蔬杀菌和保鲜效果的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- [14] TORNUK F, CANKURT H, OZTHRK I, et al. Efficacy of various plant hydrosols as natural food sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium on fresh cut carrots and apples[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2011, 148(1): 30–35.
- [15] SALVIA T L, ROJAS G M A, SOLVIA F R, et al. Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut Fuji apples[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2015, 105: 8–16.
- [16] 冯金霞, 何玲, 蒲雪梅. 银杏叶提取液对鲜切‘红富士’苹果品质的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(20): 302–306.
- [17] 杨巍, 刘晶, 吕春晶, 等. 氯化钙和抗坏血酸处理对鲜切苹果品质和褐变的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(16): 3 402–3 410.
- [18] VARELA P, SALVADOR A, FISZMAN S M. The use of calcium chloride in minimally processed apples: A sensory approach[J]. *European Food Research & Technology*, 2007, 224(4): 461–467.
- [19] AGUAYO E, REQUEJO JACKMAN C, STANLEY R, et al. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2010, 57(1): 52–60.
- [20] 魏敏. 鲜切苹果酶促褐变及品质控制技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [21] CARAFOLI F, BIHAN D, STATHOPOULOS S, et al. Estimate of respiration rate and physicochemical changes of fresh-cut apples stored under different temperatures [J]. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*, 2013, 33(1): 60–67.
- [22] CHRISTIAN L, DOLORS U, YOLANDA S, et al. Oxidative behaviour of fresh-cut Fuji apples treated with stabilising substances[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 88(10): 1 770–1 776.
- [23] 范林林, 赵文静, 赵丹, 等. 柠檬酸处理对鲜切苹果的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2014, 35(18): 230–235.
- [24] 王海燕, 冯美琴. 不同浓度植酸对鲜切苹果保鲜效果的研究[J]. *金陵科技学院学报*, 2016, 32(1): 89–92.
- [25] LI Yong-xin, WILLS R B H, GOLDING J B, et al. Effect of halide salts on development of surface browning on fresh-cut Granny Smith (Malus × domestica Borkh) apple slices during storage at low temperature[J]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95(5): 945–952.
- [26] LI Yong-xin, WILLS R B H, GOLDING J B. Sodium chloride, a cost effective partial replacement of calcium ascorbate and ascorbic acid to inhibit surface browning on fresh-cut apple slices[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 64(1): 503–507.
- [27] AMISSAH J G N, HOTCHKISS J H, WATKINS C B. Nitric oxide inhibition of alcohol dehydrogenase in fresh-cut apples (Malus domestica Borkh)[J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(46): 11 076–11 081.
- [28] 朱珍, 丁洋, 聂莹, 等. 一氧化氮缓释熏蒸处理对鲜切苹果片品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(3): 246–251, 299.
- [29] 胡艳超, 齐海苹, 王艳颖, 等. 生姜和氯化钙处理对鲜切苹果生理品质的影响[J]. *现代园艺*, 2015(19): 7–9.
- [30] YU Zhi-long, ZHANG Zeng, ZENG Wei-cai. Investigation of antibrowning activity of pine needle (*Cedrus deodara*) extract with freshcut apple slice model and identification of the primary active components[J]. *Eur Food Res Technol*, 2014, 239(4): 269–278.
- [31] 张芳, 张永茂, 康三江. 鲜切苹果褐变抑制的研究[J]. *中国食物与营养*, 2011, 17(7): 58–60.
- [32] 萨仁高娃, 胡文忠, 修志龙, 等. 活性壳寡糖涂膜处理对鲜切苹果品质的影响[J]. *包装工程*, 2017, 38(17): 25–30.
- [33] 吴昊, 甄天元, 陈存坤, 等. 壳聚糖没食子酸衍生物酶法制备及对鲜切苹果的保鲜效果[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(4): 285–292.
- [34] WU Sheng-jun, CHEN Jin-hua. Using pullulan-based edible coatings to extend shelf-life of fresh-cut Fuji apples [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 55: 254–257.
- [35] 郭宇欢, 何玲, 张美芳, 等. 生姜提取液涂膜对鲜切苹果贮藏品质的动态变化[J]. *北方园艺*, 2015(11): 119–123.
- [36] 刘永, 郑丽怡, 韦寿莲. 茶树油/海藻酸钠涂膜抑制鲜切苹果褐变的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2016(12): 164–168.
- [37] PAN S Y, CHEN C H, LAI L S. Effect of tapioca starch/ decolorized hsian-tsao leaf gum-based active coatings on the qualities of fresh-cut apples [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2013, 6(8): 2 059–2 069.
- [38] SABA M K, SOGVAR O B. Combination of carboxymethyl cellulose-based coatings with calcium and ascorbic acid

- impacts in browning and quality of fresh-cut apples [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 165 – 171.
- [39] 冯叙桥, 范林林, 韩鹏祥, 等. 溶菌酶涂膜对鲜切“寒富”苹果的贮藏保鲜作用研究 [J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 125 – 132.
- [40] 蔡景胜, 巩巍, 施晓慧. 丝素蛋白溶液对鲜切苹果的保鲜作用研究 [J]. 现代农业科技, 2017(2): 248 – 250.
- [41] 庞坤, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 鲜切苹果保鲜技术的研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2008, 29(6): 122 – 125.
- [42] ZAMBRANO Z M L, GUTIERREZ C E, REAL A D, et al. Fresh-cut Red Delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion; Effect of coating on polyphenol oxidase and pectin methylesterase activities [J]. Food Research International, 2014, 62(8): 974 – 983.
- [43] GALINDO P M L, QUINTANAR G D, MERCADO S E, et al. The Effects of tocopherol nanocapsules/xanthan gum coatings on the preservation of fresh-cut apples; Evaluation of phenol metabolism [J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(8): 1 791 – 1 799.
- [44] 刘永, 梁楚彬, 蔡俊莲, 等. 海藻酸钠/纳米  $\text{SiO}_2$  涂膜对鲜切苹果保鲜效果的影响 [J]. 中国食品添加剂, 2016(7): 145 – 149.
- [45] SALVIA T L, ROJAS G M A, SOLIVA F R, et al. Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut Fuji, apples [J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 105: 8 – 16.
- [46] 陈晨伟, 谢晶, 贺璇璇, 等. 含  $\alpha$ -生育酚的 PE/PVA 活性包装膜对鲜切苹果品质的影响 [J]. 包装工程, 2015, 36(21): 17 – 21, 33.
- [47] 张燕, 杨福馨, 蒋硕, 等. 聚乙烯醇柠檬酸改性薄膜对鲜切苹果保鲜性能的影响 [J]. 包装工程, 2014, 35(9): 32 – 35.
- [48] CHEN Chen, HU Wen-zhong, HE Yu-bo, et al. Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples [J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 111: 126 – 131.
- [49] MOREIRA M R, TOMADONI B, MARTIN B O, et al. Preservation of fresh-cut apple quality attributes by pulsed light in combination with gellan gum-based prebiotic edible coatings [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(2): 1 130 – 1 137.
- [50] VERCAMMEN A, VANOIRBEEK K G A, LEMMENS L, et al. High pressure pasteurization of apple pieces in syrup; Microbiological shelf-life and quality evolution during refrigerated storage [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16(39): 259 – 266.

## Advance in studies of chemical treatments on preservation of fresh-cut apples

WANG Zhi-rong<sup>1</sup>, ZHENG Li-rong<sup>2</sup>, LYU Xin-gang<sup>3</sup>, KAN Jian-quan<sup>1, 4, 5\*</sup>

1(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

2(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

3(Collage of Chemical Engineering, Northwest University, Xi'an 710069, China)

4(Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-Products on Storage and Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400715, China)

5(Chinese-Hungarian Cooperative Research Centre for Food Science, Chongqing 400715, China)

**ABSTRACT** Fresh-cut apples are become very popular in recently years due to its freshness, safe, nutrition and convenience. However, some problems such as browning, softening and decay may occur during their storage due to mechanical damages during cutting apples. Chemical treatments are widely used on fresh-keeping of fresh-cut apples because of its convenient operation and low cost. This paper reviewed applications of some chemical treatments on keeping the quality of fresh-cut apples, such as novel fungicides, calcium treatments, browning inhibitors, edible coatings and chemical and physical combined treatment. Probable mechanisms of inhibiting browning, enhancing slice hardness and controlling the growth and reproduction of microorganism were also analyzed and discussed. The quality of fresh-cut apples can be well kept by these techniques during storage.

**Key words** fresh-cut apples; chemical treatments; storage and fresh-keeping