

四种涂膜材料在芒果贮藏保鲜中的应用研究进展

卫赛超^a, 谢晶^{a,b,c,d}

(上海海洋大学 a.食品学院 b.农业农村部冷库及制冷设备质量监督检验测试中心(上海))

c.上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台

d.食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘要: **目的** 综述 4 种常用涂膜材料在芒果保鲜中的应用与效果。**方法** 通过对比壳聚糖(Chitosan, CTS)、魔芋葡甘聚糖(Konjac Glucomannan, KGM)、海藻酸钠(Sodium Alginate, SA)、羧甲基纤维素(Carboxymethyl Cellulose, CMC)等 4 种涂膜材料在芒果贮藏保鲜中的应用, 阐述单一材料涂膜和复合涂膜对芒果保鲜的效果, 并概括该领域研究存在的问题和发展前景。**结果** 目前芒果涂膜保鲜研究主要集中在利用安全无毒的涂膜材料并结合其他保鲜手段对芒果进行贮藏实验, 研究思路和方法已较为成熟, 但涂膜保鲜材料无统一标准, 其保鲜机理也有待深入研究。**结论** 芒果涂膜保鲜技术具有良好的发展前景, 开发绿色安全可食性的新型复合涂膜是未来的发展方向。

关键词: 壳聚糖; 魔芋葡甘聚糖; 海藻酸钠; 羧甲基纤维素; 芒果; 贮藏保鲜; 进展

中图分类号: TB485.3; S609⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)11-0064-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.11.010

Advances in Application of Four Coating Materials in Storage and Preservation of Mango

WEI Sai-chao^a, XIE Jing^{a,b,c,d}

(a.School of Food Science and Technology b.Quality Supervision, Inspection and Testing Center for Cold Storage and Refrigeration Equipment (Shanghai), Ministry of Agriculture c.Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation d.National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to review the effect and application of four commonly used coating materials in the storage and preservation of mango. By comparing the four most commonly used coating materials in mango preservation, such as chitosan (CTS), konjac glucomannan (KGM), sodium alginate (SA) and carboxymethyl cellulose (CMC), the preservation effects of single material coating and composite coating on mango were clarified, and the existing problems and development prospects in this field were also summarized. At present, the research on fresh keeping coating of mango mainly focused on the use of non-toxic coating materials combined with other preservation methods for storage experiments. The research ideas and methods were mature, but there was no united standard for preservation coating materials, and the preservation mechanism needed to be further studied. The coating preservation technology for mango has a good devel-

收稿日期: 2019-09-18

基金项目: 上海市科委国内科技合作领域项目(19395800100); 上海市科委公共服务平台建设项目(17DZ2293400)

作者简介: 卫赛超(1996—), 男, 上海海洋大学硕士生, 主攻水果保鲜技术。

通信作者: 谢晶(1968—), 女, 上海海洋大学教授、博士, 主要研究方向为食品保鲜技术。

opment prospect, and the development of a new composite coating with green, safe and edible properties is the future development direction.

KEY WORDS: chitosan; konjac glucomannan; sodium alginate; carboxymethyl cellulose; mango; storage preservation; advance

芒果 (*Mangifera indica* L.), 学名杧果, 又称马蒙、闷果、望果等, 是漆树科杧果属的唯一可食种类, 现已有上百个品种。芒果作为热带水果的典型代表, 富有热带水果的独特口感, 其果实肾形圆润、色泽艳丽诱人、营养多样丰富, 备受消费者的喜爱。

鲜芒果中富含的胡萝卜素和维生素 A 有助于维持眼睛和皮肤健康, 果肉里的维生素 C 和纤维素能美化肌肤、预防心血管疾病^[1], 其他微量元素的含量也相对较高。芒果果皮和果核中还含有 10 余种活性成分, 如芒果苷、芦丁、 β -谷甾醇等, 具有抗菌抗炎抗肿瘤、免疫和代谢调节的作用^[2], 可谓是名副其实的“热带水果之王”。

随着居民生活水平的提升, 消费者对芒果的需求持续上升, 芒果的进出口贸易额也在农业农村部公布的数据中不断攀升, 因而其采后保鲜技术研究就显得愈加重要。文中概述了壳聚糖 (Chitosan, CTS)、魔芋葡甘聚糖 (Konjac Glucomannan, KGM)、海藻酸钠 (Sodium Alginate, SA)、羧甲基纤维素 (Carboxymethyl Cellulose, CMC) 4 种常用涂膜保鲜材料在芒果保鲜中的研究进展, 旨在为今后芒果贮藏保鲜技术的研究提供理论参考。

1 芒果保鲜技术概述

芒果采后不仅容易受到细菌或真菌的侵害, 发生角斑病、蒂腐病、炭疽病等造成病理性腐烂^[3-5], 同时因为芒果在 10 °C 的较低温度下就会发生冷害, 加之其属于呼吸跃变型水果^[6], 采收至后熟期间隔时间短, 成熟后易变质, 故使其长距离物流难度大大增加。目前芒果的采后腐败率高达 20%~40%^[7], 造成了大量的经济损失, 也制约了芒果产业的发展。

芒果保鲜常用的物理方法包括气调包装、低温贮藏、臭氧或热处理、减压贮藏、电磁辐照等, 由于芒果容易出现冷害现象, 所以通常将温度结合其他保鲜方式加以研究, 达到在较高温度下对芒果保鲜的预期。魏雯雯等^[8]研究了抑菌气调包装在芒果常温贮藏中的应用, 结果显示气调实验组在第 7 天的质量损失率只有 0.8%, 反映芒果炭疽病发病程度的病情指数也只有 0.3%, 较对照组 (硬质塑料包装盒配合缓冲网袋) 降低了 16.4%。

化学方法对芒果的保鲜研究开始较早, 1-甲基环丙烯、水杨酸、赤霉素、氯化钙等是目前常用的保鲜

剂。据张正科等^[7]报道, 阿魏酸、肉桂醛、脱氢乙酸钠等食品添加剂也可用于芒果的贮藏保鲜, 其对芒果炭疽病和蒂腐病等具有很好的抑制效果, 经过阿魏酸处理的芒果在温度 25~28 °C, 相对湿度 85%~95% 条件下的平均贮藏时间可达 15.5 d。化学试剂容易对芒果造成损伤, 同时其残留物也会对人体造成一定影响, 化学贮藏方法在芒果保鲜中的应用越来越不被追求安全绿色的消费者所接受。

不同品种的芒果果实成分及贮藏特性有较大差异^[9], 采用生物育种的方法培育优质的芒果品种, 可从根本上改善芒果的品质和贮藏特性, 因而具有巨大的研究价值和潜力。同时, 利用微生物拮抗机理, 对芒果致腐菌进行调控或将生物抑菌物质应用于芒果的保鲜研究也值得探索。

近年来, 绿色可食性保鲜涂膜在食品保鲜中的应用越来越多见^[10], 涂膜所使用的原辅料也各有不同。Jeevahan 等^[11]对比了不同纳米涂膜的力学性能, 对融合纳米材料的食品涂膜和可食性包装进行了概括。在芒果的贮藏保鲜中, 回顾已有的研究文献, 利用壳聚糖、魔芋葡甘聚糖、海藻酸钠、羧甲基纤维素 4 种涂膜材料结合其他保鲜剂或方法的研究较多, 保鲜效果也十分明显。

2 单一涂膜材料对芒果贮藏保鲜效果的研究

2.1 壳聚糖及在芒果涂膜保鲜中的应用

壳聚糖又称几丁聚糖, 是甲壳素经过脱 N-乙酰基所得到的天然高分子多糖, 虾蟹昆虫和植物细胞壁等都是其广泛来源^[12]。CTS 因良好的成膜性、吸湿性和广谱的抑菌作用, 故在果蔬保鲜中研究较多^[13-14]。

王伟洲^[15]用不同浓度的壳聚糖对芒果进行涂膜处理, 通过好果率、呼吸强度、总酸度、过氧化物酶活性和淀粉酶活性等指标得出质量分数为 2% 的 CTS 是芒果的最佳涂膜保鲜浓度。姚评佳等^[16]对壳聚糖的降解物——壳寡糖使用 ⁶⁰Co γ 射线进行了辐照聚合, 得到壳寡糖聚合物 (chito-oligosaccharide-based-polymer, COBP), 实验将紫花芒浸入 COBP 溶液中, 晾干后进行保藏实验, 结果表明质量分数为 2% COBP 溶液的保鲜效果更佳, 第 17 天时的好果率仍有 91%。何艾等^[17]以海南澳芒为材料, 利用壳聚糖配合气调包

装在 6 °C 下对芒果果肉进行保鲜实验, 数据分析显示质量分数为 0.75% 的 CTS 能最大程度地保持芒果鲜度, 维持较好果肉品质, 其中气调包装 N_2 , CO_2 , O_2 体积分数分别为 90%, 6%, 4%。

常温下壳聚糖单一涂膜对芒果的最佳保鲜质量分数在 2% 左右, 具有较好的重复性, 如果结合低温等手段就可以在保证芒果鲜度的同时降低壳聚糖用量。芒果 CTS 单一涂膜保鲜的货架期一般为 15~17 d, 贮存期比相应实验的空白处理可延长 6~10 d。

2.2 魔芋葡甘聚糖及在芒果涂膜保鲜中的应用

蒟蒻, 习称魔芋, 球茎可制成魔芋粉, 其中便含有丰富的葡甘聚糖。魔芋葡甘聚糖因其出色的持水性、乳化性、增稠性、成膜性等, 在环境保护、医疗保健、食品化工等领域有广泛使用^[18-19]。KGM 作为一种绿色包装材料, 通过对其成膜性和力学性能的改善^[20], 在食品中的应用研究也逐渐深入。

关玥彤等^[21]利用魔芋葡甘聚糖的成膜性将 KGM 均匀涂布在纸板表面, 并制成保鲜瓦楞纸箱, 同时设定空白纸箱和无纸箱对照组, 对鸡蛋芒进行贮藏实验, 测定了实验期间的质量损失率、硬度和可溶性固形物含量, 结果显示当 KGM 质量分数为 1.50%、涂布量在 0.1 mL/m² 时具有最好的保鲜效果。

目前对芒果魔芋葡甘聚糖单一涂膜的保鲜研究较为少见, 多集中在与其他生物、化学保鲜剂或低温、气调等物理保鲜手段的复合保鲜研究。

2.3 海藻酸钠及在芒果涂膜保鲜中的应用

海藻酸钠是从海藻中经过提取加工所得的一种具有强亲水性的天然多糖高分子物质, 绿色安全, 溶于水后可形成粘稠均匀的溶液, 可用于食品增稠剂、稳定剂, 工业粘合剂, 医用药物基质等^[22]。

Rastegar 等^[23]研究了质量分数为 1%~3% 的海藻酸钠涂膜对芒果的保鲜效果, 结果表明在温度为 (15±1) °C、相对湿度为 (85±1)% 下, 质量分数为 3% 的 SA 涂膜组有更低的质量损失率, 且果实硬度、总酚含量和类黄酮含量分别是对照组的 2 倍、1.3 倍和 1.7 倍, 较好地保持了芒果的营养品质, 提高了商品价值。

刘嘉俊^[24]探究了不同 SA 浓度在 25 °C 和 13 °C 下对芒果的保鲜效果, 测定了芒果质量损失率、转黄率和腐败率, 发现涂膜 SA 可延缓后熟过程, 减少腐败和质量损失程度, 质量分数为 2% 的海藻酸钠保鲜效果最佳, 在 25 °C 和 13 °C 下贮藏 20 d, 涂膜组比对照组腐败率分别降低 19% 和 28%。

海藻酸钠浓度越高, 所制得涂膜就越粘稠, 高粘度的涂膜会阻止乙烯等物质的扩散, 反而加速芒果腐败。在合适浓度下, SA 涂膜对芒果水分蒸发和呼吸

强度的抑制作用占据优势, 就能有效地对芒果进行保鲜。根据现有文献, SA 的浓度没有推荐的最佳值, 可能是因为它实验条件(如贮藏温度、湿度或者评价指标)不同而有所差异。

2.4 羧甲基纤维素及在芒果涂膜保鲜中的应用

羧甲基纤维素是由天然纤维素经过碱化和羧甲基化而制得的高分子化合物, 具有良好的溶解性、吸湿性、稳定性和成膜性, 在医药、化工等领域已有广泛的应用。羧甲基纤维素涂膜在鲜肉^[25]、蔬菜^[26-27]、水果^[28-29]等食品领域的保鲜也有一定研究。同时, 其制备原料来源多样, 储量丰富, 但目前 CMC 单一涂膜在芒果的保鲜研究中较少见, 故作为一种可持续的天然材料物质在果蔬保鲜或其他领域仍具有巨大的应用潜力。

周文化等^[30]对 CMC 涂膜绿色象牙芒果保鲜进行了研究, 发现添加质量分数为 0.8% 的 CMC 具有较好涂布效果, 并且涂膜组在果肉硬度、可溶性固形物、总酸、相对电导率、叶绿素检测指标中均较空白组更优, 表明 CMC 膜能够有效降低芒果的呼吸强度、减少营养成分损失, 维持其品质, 延长货架期, 具有明显的保鲜效果。

上述 4 种涂膜材料均可从天然的动植物或藻类中提取, 具有安全无毒和可降解的特性, 符合如今消费者的健康需求和环保理念。利用上述单一材料的成膜性等对芒果进行涂膜, 可在芒果表面形成较为致密的渗透膜, 有效防止果实中营养成分的消耗, 同时能够减少水分的蒸发和 CO_2 外逸, 形成低氧高二氧化碳的微环境, 有助于降低芒果采后的呼吸强度, 且有一定的抑菌效果, 使芒果的保鲜效果更明显。同时, 由于 4 种材料具有很强的吸湿性, 在芒果涂膜后需要较长的成膜时间, 处于高湿度环境或遇水时也容易溶化脱落, 不利于实际生产流通。另外, 每种单一涂膜材料的成膜性能不同, 成膜后的均一性和厚度差别较大, 故单一涂膜的芒果保鲜效果也不尽相同。

3 复合涂膜材料对芒果贮藏保鲜效果的研究

芒果为热带呼吸跃变型水果, 通常在七八分熟时即进行采摘、运输和售卖, 所以采后有效的保鲜不仅可以保证芒果的营养和风味, 也能减少果实的腐败损失, 增加经济效益。单一涂膜材料虽然能在一定程度上延长芒果的保质期, 缓解营养流失, 但是保鲜效果有限, 涂膜的稳定性也有待提高。有不少的研究是在单一涂膜材料中添加其他物质即形成复合涂膜, 在保证材料食品安全的前提下, 改进单一涂膜的成膜性、

稳定性、保鲜性能,使芒果有更长的保鲜期、更少的营养损失和更优的商品价值。

3.1 壳聚糖复合其他材料对芒果的涂膜保鲜

壳聚糖对芒果的致病病菌具有良好的抑制效果^[31],将其其他物质与 CTS 复合,增强其保鲜性能和力学性能已得到广泛验证。范方方等^[32]向 CTS 中加入膨润土,制备膨润土/壳聚糖/PVC 复合保鲜膜,测定的透光率、吸水率、透氧和二氧化碳率、拉伸强度等性能指标显示三者具有良好的协同作用,复合膜性能优良。对桂七香芒的套袋保鲜效果显示,自制膜能有效降低水分和营养成分损失,显著提高芒果感官品质。

刘荣等^[33]用不同浓度比例的壳聚糖复合赤霉素、CaCl₂对桂热芒 10 号进行了复合涂膜处理,保鲜效果表明质量分数为 0.75%CTS 复配 300 mg/L 赤霉素、质量分数为 3%的 CaCl₂具有最好保鲜效果。杨华等^[34]研究了 CTS 添加纳米 TiO₂对凯特芒果的保鲜作用,电镜扫描显示纳米 TiO₂可较均匀地分散在壳聚糖膜中,实验数据得出质量分数为 1%的 CTS 与质量分数为 0.03%的 TiO₂复配后有最优的保鲜效果。在 13 °C 贮藏 20 d,芒果的质量损失率为 6.72%,硬度为 8.7×10^{-4} kg/m²,与空白组保鲜效果差异显著。

蒋小飞等^[35]利用鱼腥草和中药黄连为原料,提取挥发油和生物碱,并结合 CTS, CaCl₂和吐温-80 配制复合涂膜保鲜液,将其用于芒果的保鲜试验,结果表明复合保鲜液可有效减少病情指数,减少营养流失,具有良好的保鲜效果。

壳聚糖复配 TiO₂、膨润土等材料可以提升涂膜的机械特性,复配 CaCl₂、赤霉素、天然提取物等能增强其抑菌性能,从而达到更佳的保鲜效果。CTS 复合涂膜贮藏期比单一涂膜一般可延长 5 d 以上。

3.2 魔芋葡甘聚糖复合其他材料对芒果的涂膜保鲜

魔芋葡甘聚糖虽然具有良好的成膜性、抗菌性和安全性,能够在果蔬保鲜中发挥一定作用,但单一的 KGM 涂膜材料的力学性能稍显不足^[36],其阻隔性也需要进一步加强,可通过改性或添加其他材料改善其理化特性^[37],扩大 KGM 的应用范围,使其具有更好的发展前景。Wang 等^[38]将玉米醇溶蛋白加入 KGM 中,研究了所得复合膜的结构及力学性能,结果发现复合膜比单一的 KGM 膜具有更好的溶解性、吸湿性,同时水蒸气和氧气的阻隔性增强,力学性能更佳。魔芋葡甘聚糖与玉米醇溶蛋白的最优薄膜质量比为 9:1。

麦馨允等^[39]以无毒的纳米 SiO₂为复合材料加入至 KGM 中,采用单因素实验和正交实验找出适宜浓度范围,并对桂七芒果的硬度、色差、可溶性固形物

含量、pH、维生素 C 等进行了测定,结果发现复合涂膜组能有效延缓芒果后熟及色泽变化,可以使营养成分保持在较高水平。经试验验证,25 °C条件下,最佳的芒果涂膜剂配方为:魔芋葡聚糖质量浓度为 8 g/L、纳米 SiO₂质量浓度为 6 g/L、甘油质量浓度为 4 g/L,可使芒果在贮藏 18 d 后质量损失率小于 10%。

张诚博^[40]探究了 KGM 复配卡拉胶、甘油的保鲜成膜工艺,以试验验证的最佳成膜条件进行芒果常温贮藏保鲜实验,并以聚乙烯薄膜为阳性对照,比较发现复合膜能够很好地防止芒果褐变,减缓活性酶类及总酸、维生素 C 等含量的下降,保持较高的水果品质。李雪晖等^[41]向 KGM 中加入了脂质、增塑剂、乳化剂、抗菌剂及生物抑制剂,制成复配的保鲜涂膜,并对“海顿 1 号”芒果在 25 °C下进行了贮藏实验,结果表明复合涂膜对芒果的保鲜效果优于聚乙烯薄膜,贮藏 15 d 后果实腐烂率仅约 3%。

根据上述实验结果可以看出,魔芋葡甘聚糖复合涂膜的保鲜效果显著,能有效降低腐烂率、减少质量损失,延长芒果的商品货架期。后续可以探索 KGM 复合成膜的新型材料,提升单一薄膜的力学性能;将新型天然活性保鲜成分加入其中,并研究其保鲜机理。

3.3 海藻酸钠复合其他材料对芒果的涂膜保鲜

以海藻酸钠为原料,加入天然植物保鲜活性物质,利用其抗氧化性和抗菌作用对水果进行保鲜研究逐渐得到研究者关注。传统中草药、果实种子、植物活性提取物等都是保鲜物质的优质来源,安全性也很高^[42]。

江敏等^[43]向 SA 中加入高良姜提取物制备复合涂膜剂,并设置空白组和壳聚糖阳性对照组,对象牙芒果进行保鲜实验,得出在温度为 28~30 °C、相对湿度为 85%~90%下复合涂膜剂的保鲜效果比空白组好,但多数指标次于阳性对照组,仅在 Vc 含量指标上有一定优势。这表明壳聚糖在成膜性、减缓呼吸作用及酶活力等方面较 SA 具有更好的表现。

陈俊等^[44]利用益智仁提取物和 SA 复合处理象牙芒果,同样设置空白组和壳聚糖阳性对照,复合涂膜组在感官评定、质量损失率、可滴定酸、总酚、过氧化氢等方面较其他 2 组有较好保鲜效果,室温下芒果可以保鲜 10 d。此研究与江敏等^[43]得到的复合涂膜效果低于壳聚糖阳性对照组不同,其原因可能是由于益智仁提取物具有更强的抗氧化作用,与 SA 可以达到协同保鲜效应,增强 SA 的保鲜性能。

海藻酸钠与天然保鲜物质对芒果的保鲜效果有较大差异,有些效果并不明显,需要进一步筛选能有效延长芒果贮藏期的物质及最佳复配浓度,为实际应

用提供理论依据。此外,将海藻酸钠与常见的安全保鲜剂进行复配,或与物理保鲜手段相结合也具有良好的研究价值。

3.4 羧甲基纤维素复合其他材料对芒果的涂膜保鲜

羧甲基纤维素的成膜研究已有不少报道,但应用于果蔬保鲜中不仅要考虑到实际的保鲜效果,同时对复合膜的力学性能也有一定要求。为获得更加稳定有效的性能,通过将 CMC 复合其他材料进行成膜改善研究,使复合膜具有形态平整完好,透光性、吸潮性和力学性能更加优良的特性^[45-46],同时绿色易降解也是目前的研究热点方向。

Kamthai 等^[47]将羧甲基纤维素(Bleached Bagasse Carboxymethyl Cellulose, CMC_B)加入聚乳酸中制成复合膜,对泰国“Nam Dok Mai”芒果进行保鲜实验,得出 CMC_B 质量分数为 4%时的保鲜效果最好,此时复合膜具有良好的防雾和抗菌效果,芒果的呼吸强度得以减弱,在温度(13±1)°C、相对湿度(90±5)%下,最长贮藏期可达 42 d。

周文化等^[30]研究了 CMC 分别结合柠檬酸、氯化钙以及三者复合膜对绿色象牙芒果的保鲜性能,结果发现 CMC、氯化钙、柠檬酸质量分数分别为 0.8%、0.4%和 0.4%时,芒果的综合保鲜效果更好。张大智等^[48]优化了芒果角斑病致病菌的细胞壁降解酶的反应条件,结果表明羧甲基纤维素酶的最佳诱导效果条件是质量分数为 1.0%的 CMC 在 60 °C、pH 为 4.6 条件下处理 60 min,可据此对芒果的角斑病进行控制,有效延长其货架期。

羧甲基纤维素来源广、储量丰富,是一种重要的纤维素醚类物质,CMC 复合其他材料或保鲜手段对芒果的保鲜效果明显,开发出易推广、安全高效的复合涂膜保鲜技术具有较高的研究意义。

复合涂膜材料因为具有更优的成膜性、力学性能和保鲜效果,在实际研究中颇受关注。向单一材料中添加的物质可大致分为 2 类:用于提高成膜的性能,如添加膨润土、SiO₂、甘油等,能增加复合涂膜的稳定性、均一性和力学性能;提高膜的保鲜性能,如添加柠檬酸、植物活性抗菌物质等,对芒果的保鲜效果有直接作用。多糖类、脂类、蛋白质类等不同类型的涂膜基质特性各异^[49-51],复合涂膜对芒果的保鲜作用机理也是多种并存的,需要根据具体的组成进行探究。复合涂膜材料由于成膜性较好,抗菌抗氧化能力强等,使得芒果的保鲜时间和保鲜效果有了显著提升,在实际应用中也更为广泛。

4 结语

4 种成膜材料安全性高、保鲜效果好,故在芒果

贮藏保鲜中多有应用,其中壳聚糖的应用研究最多。单一涂膜材料的力学性能较差、成膜稳定性也一般,现有研究中多通过添加其他材料制成复合涂膜剂来改善成膜后的综合性能,并进一步提升对芒果保鲜的效果。由于不同研究中使用的芒果种类有差异、实验环境不同、复合涂膜成分比例及货架期的确定也都不一样,所以目前的研究无法得出在这 4 种材料中最佳的物质或同种材料中最佳的复配物及比例。实际生产应用中,需要根据现有条件和实际情况进行试验选定。

虽然目前对芒果涂膜保鲜已有较多研究,但其保鲜机理及 4 种材料之间的复配增效作用仍值得进一步探索。文中所综述的 4 种涂膜保鲜材料均属于多糖基涂膜,蛋白质涂膜保鲜技术和脂质基涂膜材料也具有可食安全、保鲜效果优良的特点,可以运用到芒果贮藏保鲜研究中。另外,对每种原材料的改性和添加天然活性成分的新型复合涂膜剂的研究也是芒果保鲜研究的发展方向。未来需要利用涂膜保鲜的优势,研制出更具广谱性的芒果贮藏保鲜工艺,为消费者提供更新鲜更优质的芒果产品。

参考文献:

- [1] 孙晓东,谭书明,刘芳宏,等.新鲜芒果采后贮藏保鲜综述[J].食品与发酵科技,2017,53(1):78—82.
SUN Xiao-dong, TAN Shu-ming, LIU Fang-hong, et al. Review on Postharvest Storage of Fresh Mango[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2017, 53(1): 78—82.
- [2] 陈仪新,卫智权,陆广利,等.芒果不同部位化学成分和药理作用的研究近况[J].广西中医药大学学报,2015,18(2):102—105.
CHEN Yi-xin, WEI Zhi-quan, LU Guang-li, et al. Recent Research on Chemical Constituents and Pharmacological Effects of Different Parts of Mango[J]. Journal of Guangxi University of Chinese Medicine, 2015, 18(2): 102—105.
- [3] 徐磊磊.芒果生长过程中常见病及其防治建议[J].世界热带农业信息,2016(8):53—54.
XU Lei-lei. Common Diseases in Mango Growth Process and Suggestions for Prevention and Treatment[J]. World Tropical Agriculture Information, 2016(8): 53—54.
- [4] 王萌,陈小莉,赵磊,等.海南芒果蒂腐病可可球二孢抗药性及遗传多样性分析[J].热带作物学报,2016,37(7):1363—1369.
WANG Meng, CHEN Xiao-li, ZHAO Lei, et al. Fungicide-resistance and Genetic Diversity of Botryodiplodia Theobromae from Mango Causing Stem-end Rots in Fruits in Hainan[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(7): 1363—1369.
- [5] 李娇,张燕宁,张兰,等.芒果炭疽病菌对果实主要

- 品质的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(3): 36—39.
- LI Jiao, ZHANG Yan-ning, ZHANG Lan, et al. Effect of Mango Anthracnose on the Fruit Quality[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(3): 36—39.
- [6] 黄辉荣. 膨润土/PVA 保鲜膜的制备及其在芒果保鲜中的应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014: 28—52.
- HUANG Hui-rong. Study on Bentonite/PVA Fresh-Keeping Film and Which Applied in The Preservation of Mango[D]. Nanning: Guangxi University, 2014: 28—52.
- [7] 张正科, 高兆银, 李敏, 等. 食品添加剂对芒果采后病原菌及保鲜效果的影响[J]. 热带作物学报, 2013, 34(11): 2289—2294.
- ZHANG Zheng-ke, GAO Zhao-yin, LI Min, et al. Effect of Food Additives on Postharvest Pathogens and Preservation of Mango Fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(11): 2289—2294.
- [8] 魏雯雯, 吕平, 孙斐, 等. 抑菌气调包装对芒果采后常温贮藏品质的影响[J]. 中国果菜, 2018, 38(1): 1—3.
- WEI Wen-wen, LYU Ping, SUN Fei, et al. Effect of Antibacterial Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Mango Storage in Ambient Temperature[J]. China Fruit & Vegetable, 2018, 38(1): 1—3.
- [9] 石胜友, 马小卫, 许文天, 等. 不同芒果种质果实品质性状多样性分析[J]. 热带作物学报, 2014, 35(11): 2168—2172.
- SHI Sheng-you, MA Xiao-wei, XU Wen-tian, et al. Fruit Quality Characters of Various Mango Germplasms[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(11): 2168—2172.
- [10] 李浩祥, 倪学文, 徐玮键, 等. 魔芋葡甘聚糖/乙基纤维素复合膜对水果保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 248—252.
- LI Hao-xiang, NI Xue-wen, XU Wei-jian, et al. Effect of Konjac Glucomannan and Ethyl Cellulose Blend Films on Fruit Preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(7): 248—252.
- [11] JEEVAHAN J, CHANDRASEKARAN M. Nanoedible Films for Food Packaging: a Review[J]. Journal of Materials Science, 2019, 54(19): 12290—12318.
- [12] MOHAMMED A. Chitosan Application for Active Bio-based Films Production and Potential in the Food Industry: Review[J]. LWT-food Science and Technology, 2010, 43(6): 837—842.
- [13] 朱莉, 李远颂. 壳聚糖在热带水果贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 农产品加工, 2017(12): 40—42.
- ZHU Li, LI Yuan-song. Research Progress of Chitosan in Storage and Freshness Preservation of Tropical Fruits[J]. Farm Products Processing, 2017(12): 40—42.
- [14] JIANG Yong-li, YU Li, HU Yun-wen, et al. Electrostatic Spraying of Chitosan Coating with Different Deacetylation Degree for Strawberry Preservation[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 139: 1232—1238.
- [15] 王伟洲. 壳聚糖涂膜对芒果的保鲜效应[J]. 宁波职业技术学院学报, 2006(2): 105—107.
- WANG Wei-zhou. Effect of Coating Chitosan on Storage of Mango[J]. Journal of Ningbo Polytechnic, 2006(2): 105—107.
- [16] 姚评佳, 岳武, 魏远安, 等. 保鲜剂壳寡糖基聚合物对芒果保鲜试验初报[J]. 中国果树, 2006(2): 15—18.
- YAO Ping-jia, YUE Wu, WEI Yuan-an, et al. Preliminary Report on Preservation Experiment of Mango with Preservative Chitosan Oligosaccharide Polymer[J]. China Fruits, 2006(2): 15—18.
- [17] 何艾, 刘宁彰, 谢辉, 等. 壳聚糖结合气调包装对冷藏期间芒果最少加工品品质的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(3): 24—28.
- HE Ai, LIU Ning-zhang, XIE Hui, et al. Chitosan Modified Atmosphere Combined with Minimal Impact on the Mango Processing Quality During Cold Storage[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(3): 24—28.
- [18] 聂娅娜. 魔芋葡甘聚糖的纯化及在米饭中的应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016: 2—7.
- NIE Ya-na. Study on the Purification of Konjac Glucomannan and its Application in Rice[D]. Changchun: Jilin University, 2016: 2—7.
- [19] 彭述辉, 庞杰. 魔芋葡甘聚糖在环保、医药及食品中的应用[J]. 长江蔬菜, 2006(12): 30—33.
- PENG Shu-hui, PANG Jie. The Application of Konjac Glucomannan in Circumstance Protection, Medicine and Food Industry[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2006(12): 30—33.
- [20] DU Yu, SUN Ji-shuai, WANG Lin, et al. Development of Antimicrobial Packaging Materials by Incorporation of Gallic Acid into Ca²⁺ Crosslinking Konjac Glucomannan/Gellan Gum Films[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 137: 1076—1085.
- [21] 关玥彤, 常善丰, 鄂玉萍. 葡甘聚糖涂布纸箱对芒果保鲜效果的研究[J]. 包装世界, 2016(1): 33—36.
- GUAN Yue-tong, CHANG Shan-feng, E Yu-ping. Effect of Glucomannan Coated Carton on Fresh-keeping of Mango[J]. Packaging World, 2016(1): 33—36.
- [22] SENTURK-PARREIDT T, LINDNER M, ROTHKOPF I, et al. The Development of a Uniform Alginate-based Coating for Cantaloupe and Strawberries and the Characterization of Water Barrier Properties[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2019, 8(6): 203.
- [23] RASTEGAR S, KHANKAHDANI H H, RAHIMZADEH M. Effectiveness of Alginate Coating on Antioxidant Enzymes and Biochemical Changes during Storage of Mango Fruit[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(11): 1—11.
- [24] 刘嘉俊. 海藻酸钠涂膜对芒果保鲜效果的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011: 32—43.
- LIU Jia-jun. Sodium Alginate Film Coating for the Fresh-keeping of Mango Fruit[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011: 32—43.

- [25] 刘莹, 谢峰, 刘义武, 等. 果胶/羧甲基纤维素钠复合涂膜液在冷鲜肉保鲜中的应用效果[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(02): 25—28.
LIU Ying, XIE Feng, LIU Yi-wu, et al. Preservation Effects of Pectin/CMC-Na Complex Coating Solution on Chilled Fresh Meat[J]. Storage and Process, 2015, 15(2): 25—28.
- [26] 周振, 赵立, 郭圣伦, 等. 双孢菇涂膜保鲜技术研究[J]. 中国果菜, 2018, 38(11): 1—5.
ZHOU Zhen, ZHAO Li, GUO Sheng-lun, et al. Technology of Coating Preservation of Agaricus Bisporus[J]. China Fruit & Vegetable, 2018, 38(11): 1—5.
- [27] 张雪婷, 张秀玲, 柳晓晨, 等. CMC和川陈皮素复合涂膜对青椒保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 65—70.
ZHANG Xue-ting, ZHANG Xiu-ling, LIU Xiao-chen, et al. Effect of CMC-incorporated Nobiletin Coating on Green Pepper Preservation[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(9): 65—70.
- [28] 陈妮娜, 曾稍俏, 黄木花, 等. 羧甲基纤维素基可食性复合膜的制备及在葡萄保鲜中的应用[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(06): 96—102.
CHEN Ni-na, ZENG Shao-qiao, HUANG Mu-hua, et al. Preparation of Carboxymethyl Cellulose-Based Edible Composite Film and its Application in Preservation of Grapes[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2016, 37(6): 96—102.
- [29] 张方艳, 朱桂兰, 郭娜, 等. 二氧化氯和羧甲基纤维素联合处理对中华猕猴桃保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(15): 196—201.
ZHANG Fang-yan, ZHU Gui-lan, GUO Na, et al. Effects of Chlorine Dioxide and Carboxymethyl Cellulose on Preserving Actinidia Chinensis[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(15): 196—201.
- [30] 周文化, 李德茂, 明飞平. 芒果涂膜保鲜的研究[J]. 华南热带农业大学学报, 2003(2): 12—16.
ZHOU Wen-hua, LI De-mao, MING Fei-ping. Coating Preservation of Mango[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2003(2): 12—16.
- [31] 钟秋平, 夏文水. 壳聚糖对芒果香蕉腐败病菌的抑菌性能研究[J]. 食品科学, 2005(11): 233—236.
ZHONG Qiu-ping, XIA Wen-shui. Antifungal Activity of Chitosan for Stem-rot Pathogens in Mango and Crown Rot Pathogens in Banana[J]. Food Science, 2005(11): 233—236.
- [32] 范方方, 刘琨. 膨润土/壳聚糖/PVA保鲜膜对芒果保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 54—59.
FAN Fang-fang, LIU Kun. Effects of Bentonite/Chitosan/PVA Fresh-keeping Film on Mango Preservation at Room Temperature[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(3): 54—59.
- [33] 刘荣, 范建新, 黄海, 等. 贵州山地芒果复合保鲜剂的筛选及保鲜效应分析[J]. 热带作物学报, 2018, 39(6): 1200—1205.
LIU Rong, FAN Jian-xin, HUANG Hai, et al. Selection of Compound Fresh-keeping Preservative for Mango in Guizhou[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(6): 1200—1205.
- [34] 杨华, 江雨若, 邢亚阁, 等. 壳聚糖/纳米TiO₂复合涂膜对芒果保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 297—301.
YANG Hua, JIANG Yu-ruo, XING Ya-ge, et al. Effect of Chitosan/Nano-TiO₂ Composite Coating on Fresh-keeping of Mango[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 297—301.
- [35] 蒋小飞, 张小菊, 方荣美. 鱼腥草挥发油与黄连生物碱复合保鲜涂膜液对芒果的保鲜效果[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(8): 195—198.
JIANG Xiao-fei, ZHANG Xiao-ju, FANG Rong-mei. Effect of Volatile Oil From Houttynia Cordata and Flavine Alkaloids Compound Fresh Coating Liquid on Fresh-keeping of Mango[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(8): 195—198.
- [36] CHEN Jian-guang, LIU Chang-hua, CHEN Yanqing, et al. Structural Characterization and Properties of Starch/konjac Glucomannan Blend Films[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74(4): 946—952.
- [37] ZHU Fan. Modifications of konjac Glucomannan for Diverse Applications[J]. Food Chemistry, 2018, 256: 419—426.
- [38] WANG Kai, WU Kao, XIAO Man, et al. Structural Characterization and Properties of Konjac Glucomannan and Zein Blend Films[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 105(1): 1096—1104.
- [39] 麦馨允, 陈庆金, 谭彦妮, 等. 魔芋葡甘聚糖/纳米SiO₂复合涂膜配方及其对芒果贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 177—184.
MAI Xin-yun, CHEN Qing-jin, TAN Yan-ni, et al. Effect of Konjac Glucomannan/Nano-silica Composite Coating on the Quality of Mango Fruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(1): 177—184.
- [40] 张诚博. 魔芋葡甘聚糖生物复配膜的研究及其在芒果保鲜中的应用[D]. 福州: 福建农林大学, 2010: 32—44.
ZHANG Cheng-bo. Konjac Portuguese Kennedy with Chitosan Membrane Biological Research and Application in Fresh Mango[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010: 32—44.
- [41] 李雪晖, 彭述辉, 林好, 等. 魔芋葡甘聚糖复配膜对常温芒果保鲜效果的影响[J]. 热带生物学报, 2012, 3(2): 155—161.
LI Xue-hui, PENG Shu-hui, LIN Hao, et al. Effect of KGM Compound Film on Post-harvest Storage of Mango Fruit at Ambient Temperature[J]. Journal of Tropical Biology, 2012, 3(2): 155—161.
- [42] CHEN Chu-ying, PENG Xuan, ZENG Rong, et al. Ficus Hirta Fruits Extract Incorporated into an Alginate-based Edible Coating for Nanfeng Mandarin Preservation[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 202:

- 41—48.
- [43] 江敏, 胡小军, 赖静方, 等. 高良姜提取物-海藻酸钠涂膜保鲜芒果的研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(8): 152—155.
JIANG Min, HU Xiao-jun, LAI Jing-fang, et al. Effect of Coating with Galangal Extract-sodium Alginate on Mango Fruit during Storage at Room Temperature[J]. Food Research and Development, 2011, 32(8): 152—155.
- [44] 陈俊, 王丹, 陈文学. 益智仁提取物在芒果保鲜中的应用研究[J]. 食品科技, 2015, 40(4): 309—314.
CHEN Jun, WANG Dan, CHEN Wen-xue. Application on *Alpinia Oxyphylla* Extraction as Food Preservative on Mango[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(4): 309—314.
- [45] 陈妮娜. 交联羧甲基纤维素-藕粉复合膜的制备与表征[J]. 中国食品添加剂, 2017(8): 74—82.
CHEN Ni-na. Preparation and Characterization of Composite Membranes of Crosslinked Carboxymethyl Cellulose-lotus Root Starch[J]. China Food Additives, 2017(8): 74—82.
- [46] TAVARES K M, CAMPOS A D, MITSUYUKI M C, et al. Corn and Cassava Starch with Carboxymethyl Cellulose Films and its Mechanical and Hydrophobic Properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 223: 1—10.
- [47] SUTHAPHAT K, RATHANAWAN M. Development of an Active Polylactic Acid (PLA) Packaging Film by Adding Bleached Bagasse Carboxymethyl Cellulose (CMC_B) for Mango Storage Life Extension[J]. Packaging Technology and Science, 2019, 32(2): 103—116.
- [48] 张大智, 詹儒林, 柳凤, 等. 芒果细菌性角斑病菌细胞壁降解酶反应条件优化[J]. 广东农业科学, 2015, 42(8): 72—76.
ZHANG Da-zhi, ZHAN Ru-lin, LIU Feng, et al. Reaction Conditions Optimization of Cell Wall Degrading Enzymes from Mango Bacterial Leaf Spot Pathogen[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(8): 72—76.
- [49] 罗双群, 张彩芳, 赵雅兰, 等. 燕麦 β -葡聚糖-大豆分离蛋白涂膜对芒果保鲜研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(21): 187—191.
LUO Shuang-qun, ZHANG Cai-fang, ZHAO Ya-lan, et al. Effect of Coating with Oat β -glucan-soybean Protein Isolate on Mango Fruit[J]. Food Research and Development, 2016, 37(21): 187—191.
- [50] MARCELA C, MIRIAM D H, CHIUMARELLI M, et al. Evaluation of Edible Films and Coatings Formulated with Cassava Starch, Glycerol, Carnauba Wax and Stearic Acid[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 38(7): 20—27.
- [51] 傅小伟, 黄斌. 微乳化壳聚糖可食用膜在水果保鲜中的应用[J]. 北方园艺, 2016(19): 138—140.
FU Xiao-wei, HUANG Bin. Application of Microemulsion of Edible Chitosan Coating in Fruits Freshness[J]. Northern Horticulture, 2016(19): 138—140.