

壳聚糖基涂膜技术在草莓贮藏保鲜中的应用

曹前荣¹, 孙建明^{1,2*}, 李林林¹, 刘辉^{1,2}, 李昭^{1,2}

(1. 河南科技大学包装工程系, 洛阳 471000; 2. 河南省智能与防护包装设计工程研究中心, 洛阳 471000)

摘要: 随着人们对食品安全问题的重视, 生物基包装材料作用于果蔬保鲜现已成为研究热点之一, 壳聚糖来源广泛、绿色安全, 作为一种天然生物涂膜保鲜剂具有良好的抗氧化性和抑菌活性, 在果蔬保鲜中具有较好的应用前景。文章以草莓为实验模型, 系统梳理了草莓保鲜技术, 重点综述了壳聚糖-植物提取物、壳聚糖-多糖、壳聚糖-酸涂膜材料与技术应用于草莓保鲜包装领域中的应用。通过对草莓采后及贮藏中失重、硬度、可溶性固形物、腐烂率等生理指标的概述对壳聚糖基涂膜在草莓保鲜中的应用研究进行分析和总结, 同时对果蔬保鲜的未来发展进行了展望, 以期壳聚糖基涂膜在果蔬中的广泛应用提供参考。

关键词: 草莓保鲜; 涂膜技术; 壳聚糖

Application of chitosan-based coating technology in strawberry storage and preservation

CAO Qian-Rong¹, SUN Jian-Ming^{1,2*}, LI Lin-Lin¹, LIU Hui^{1,2}, LI Zhao^{1,2}

(1. Department of Packaging Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, China;
2. Henan Intelligent and Protective Packaging Design Engineering Research Center, Luoyang 471000, China)

ABSTRACT: With people's attention to food safety issues, the effect of bio-based packaging materials on fruit and vegetable preservation has become one of the research hotspots. Chitosan has a wide range of sources, green and safe. As a natural biological coating preservative, chitosan has good antioxidant and antibacterial activity, which has a good application prospect in fruit and vegetable preservation. Taking strawberry as the experimental model, this paper systematically sorted out strawberry preservation technology, focusing on the application of chitosan-plant extract, chitosan-polysaccharide, chitosan-acid coating materials and technologies in strawberry preservation packaging field, analyzed and summarized the application of chitosan-based coating in strawberry preservation based on the overview of the physiological indexes such as weight loss, hardness, soluble solids and decay rate during postharvest and storage of strawberry, and prospected the future development of fruit and vegetable preservation, in order to provide references for the extensive application of chitosan-based coating in fruits and vegetables.

KEY WORDS: strawberry preservation; coating technology; chitosan

0 引言

果蔬生长受自然条件的制约, 具有明显的季节性和

地域性, 贮藏时间较短, 采后受呼吸作用和微生物侵害等因素影响极易出现褐变、果肉腐败等现象, 适当的活性包装可以通过改善果蔬周围环境、减少微生物数量、减缓酶

基金项目: 陕西省印刷包装工程重点实验室开放课题项目(2017KFKT-01)

Fund: Supported by the Open Project of Shaanxi Key Laboratory of Printing and Packaging Engineering (2017KFKT-01)

*通信作者: 孙建明, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品保鲜包装和智能包装。E-mail: sunjianming@haust.edu.cn

*Corresponding author: SUN Jian-Ming, Ph.D, Associate Professor, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, China. E-mail: sunjianming@haust.edu.cn

促褐变等来维持果蔬品质, 延长其货架期^[1]。壳聚糖(chitosan, CS)是具有生物可降解性、生物相容性、无毒性、抑菌性等特性的天然多糖, 能够抑制乙烯的产生, 在不破坏食品味道和外观情况下达到保鲜效果, 是延缓果蔬氧化、提高果蔬货架期的良好生物基涂膜包装材料^[2]。壳聚糖基涂膜材料在诸多果蔬应用表现出了优良的保鲜效果, 广泛应用于食品的贴体包装^[3]。

草莓属于蔷薇科(Rosaceae)草莓属(*Fragaria* spp.), 含水量高达 90%、组织娇嫩、风味独特, 营养价值高, 是一种重要的经济作物^[4]。草莓采摘期集中、销售时间短、采后不耐贮藏, 这在一定程度上限制了草莓的经济价值, 因此延长草莓货架期, 保持其商品价值是草莓在储运过程中亟待解决的问题^[5]。果蔬保鲜一直是国内外学者研究的重点, 目前草莓保鲜技术大致可以划分为物理保鲜技术、化学保鲜技术及生物保鲜技术 3 种类型, 主要从降低果蔬自身的呼吸作用、抑制病原微生物的侵害、控制贮藏环境中的温湿度等环境因子 3 方面进行调控^[6]。物理保鲜^[7]是采用温控^[8]、气调^[9]、辐照^[10]、超高压等^[11-14]物理手段对食品进行处理, 能够充分保留食品的营养成分和原有风味, 但存在设备复杂、操作要求高、投资大等问题; 化学保鲜作为传统保鲜技术, 通过采用添加氧化剂、防腐剂或诱导剂等方法来达到防腐效果, 保鲜效果显著, 但亦存在不足之处, 草莓在临采收及采后已经不能满足农药安全间隔期的要求时, 不能再使用农药等化学保鲜剂, 其次化学防腐剂存在诱癌性、致畸性及易引起食物的慢性中毒等不安全问题, 近年来, 由化学保鲜导致的食品安全问题频发^[15]。相比之下, 生物保鲜技术利用拮抗微生物、天然提取物、涂膜保鲜技术对食品进行保鲜是基于生物角度的活性保鲜包装技术, 具有绿色、安全、高效的特点, 引起了人们的兴趣和关注(表 1)。目前学界对果蔬保鲜技术研究的较多, 但基于壳聚糖涂膜对果蔬采后理化特征影响的研究综述鲜少。本文通过梳理国内外最新的文献资料, 以草莓为实验模型综述了壳聚糖涂膜在草莓的贮藏保鲜中的应用, 并从失重、硬度、可溶性固形物、腐烂率等采后理化特征方面分析了壳聚糖基涂膜对草莓贮藏品质的影响, 以期壳聚糖在果蔬保鲜中的应用与发展提供参考。

表 1 草莓生物保鲜技术
Table 1 Biological preservation technology of strawberry

保鲜方法	作用机制	优点	参考文献
拮抗微生物	通过拮抗菌进行营养和空间的竞争、产生抗菌物质等方式抑制果蔬采后病害, 减缓果实腐烂。	抑制率高且不会引入其他成分。	[16]
天然植物提取物	从植物中获得生物活性物质, 合理应用于其他产品中, 阻止病原菌的生长, 灭活病毒达到一定的保鲜效果。	成本低、安全性高、副作用小。	[17]
涂膜保鲜技术	运用具有一定成膜性的材料或与有抑菌等其他作用的物质在果蔬表面形成一层薄膜, 相对降低果蔬的呼吸蒸腾作用以及防止微生物侵袭, 达到抑菌保鲜效果。	绿色环保, 来源广泛, 可降解、无污染。	[18]

1 草莓采后病害

1.1 生理病害

草莓是具有生长发育、休眠、呼吸作用等功能的生命有机体, 采摘一方面切断了果实的母体养分补给, 在没有外界补给的情况下只能利用果实自身贮藏的营养元素维持生命活动, 另一方面采后由于水分胁迫导致信号传导系统紊乱, 果实会发生一系列生理生化变化, 例如细胞壁破损、细胞的衰老和解体、营养流失、免疫力下降等^[19], 进而促成微生物的侵害, 加速了果实腐烂和变质。

1.2 机械伤害

草莓生长受自然条件的制约, 具有明显的季节性和地域性, 草莓属于非呼吸跃变型果实, 采后乙烯含量不会增加, 需在较高成熟度时采收, 过早采收风味和口感不佳。同时草莓属于浆果, 采摘运输过程中产生的摩擦、振动程度、环境的温湿度、气体成分和包装程度都会对草莓的品质和染菌程度产生重要影响。因此, 草莓不适宜长途运输, 最好就近产销, 采后及时进行预冷、贮藏^[20]。

1.3 微生物病害

草莓在生长和采后极易受到致病性微生物的侵袭, 真菌和细菌是造成草莓腐败和营养价值降低的根本原因。真菌是引起草莓采后腐烂和导致其病变的主要病原微生物, 它侵染范围广、危害作用大, 一旦致使果实表现病症就会迅速蔓延, 病害程度难以控制。灰葡萄孢霉、扩展青霉、葡枝根霉、尖孢炭疽菌是草莓采后主要感染的 4 种真菌^[21]。

2 壳聚糖抑菌机制及影响因素

2.1 壳聚糖抑菌机制

壳聚糖是一种由 β -(1 \rightarrow 4)连接的 N-乙酰氨基葡萄糖和氨基葡萄糖残基组成的聚合线性多糖, 国内外学者对壳聚糖的抗菌机制做了大量研究和验证, 目前被广泛认可的机理主要是通过静电相互作用引起膜壁渗透性变化导致内部渗透失衡^[22]; 与微生物的 DNA 相互作用从而抑制其 mRNA 和蛋白质的合成^[23]; 与金属螯和作用^[24]; 吸附在菌体表面形成致密外膜^[25]等 4 个方面抑制细菌的生长^[26]。

2.2 壳聚糖抑菌性的影响因素

(1)壳聚糖抑菌性与其分子量相关^[27],低分子量壳聚糖主要通过抑制微生物的代谢酶活性,破坏菌体细胞膜渗透性改变其正常形态,干扰菌体 DNA 的正常功能来阻碍菌体蛋白质的合成和表达等实现抑菌作用;高分子量的壳聚糖主要通过直接阻断能力阻止营养物和氧气进入细胞内空间来抑制细菌的生长。(2)细菌类型对壳聚糖抗菌效果存在影响^[28],以常见的革兰氏阳性菌与革兰氏阴性菌为例,革兰氏阴性菌的亲水性明显高于革兰氏阳性菌,所带的负电荷多,壳聚糖与细胞膜间发生静电作用增加了细胞膜的渗透性,最终导致菌体的死亡,使得革兰氏阴性菌对壳聚糖的作用更敏感^[29],(3)壳聚糖的抑菌性受 pH 限制,酸性环境条件下抑菌性较强,在中性和碱性条件下的抗菌效果较差^[30]。

3 壳聚糖基复合涂膜技术在草莓中的应用

3.1 壳聚糖基复合涂膜技术在草莓保鲜中的应用

壳聚糖具有较高的生物活性和广谱抑菌性,但其水溶性差限制了这一优势。研究表明,在壳聚糖膜基础上添加不同特性的植物提取物和天然大分子物质能够发挥协同效应,显著改善壳聚糖的溶解性、机械、抗氧化和抗菌性能,被广泛应用于食品保鲜上^[31]。保鲜效果更佳的复合涂膜成为了该领域的创新方向与热点^[5]。

3.1.1 壳聚糖-植物精油涂膜在草莓保鲜中的应用

壳聚糖-植物精油涂膜在草莓采后贮藏保鲜中的应用见表 2。植物精油是从植物的根、叶、花、果实和种子中通过蒸馏、萃取等方法中提取的具有抗菌、抗氧化、抗病毒和多重药理作用的天然抗菌剂^[36]。(1)壳聚糖精油复合涂膜液可以降低复合膜的水蒸气渗透性,原因可能是精油中的一些化合物影响了膜的亲水/疏水平衡^[25]。(2)植物精油含有芳香族的化合物、醛类、酸类和醇类等抑菌成分^[37],与壳聚糖复配能够增强壳聚糖单膜的抑菌性。(3)植物精油在常温的条件下极容易挥发,并伴有强烈的刺激性气味的产生,壳聚糖中的氨基、羟基等活性基团,易于与植物精油相互作用,能有效包埋植物精油,提高精油的稳定性、水

溶性和生物活性,削弱植物精油的刺激性气味,降低对食品风味的影响^[38]。植物精油与壳聚糖复配能够发挥协同效应,具有较好的应用前景,但也有人提出植物中有可能含有多种化学成分,在提纯度不高的情况下将植物提取物应用于果蔬保鲜会影响其安全性^[39],目前这一说法尚需后续验证。

3.1.2 壳聚糖-其他多糖涂膜在草莓保鲜中的应用

魔芋葡甘聚糖是一种无毒,具有较强的吸水性、高膨胀率及高黏度的水溶性高分子多糖,王中伟等^[40]采用魔芋葡甘聚糖/壳聚糖复合涂膜处理草莓发现,复合膜可以有效减少果实与空气接触面积,防止果肉氧化和腐败变质;陈晓涵等^[41]发现所得 CS/魔芋葡甘聚糖复合薄膜的机械性能、阻湿性能优于 CS 薄膜。WANG 等^[42]采用流延法制备壳聚糖/玉米淀粉/肉桂醛活性食品包装膜,肉桂醛与淀粉的加入提高了壳聚糖薄膜对灰霉病菌(*Botrytis cinerea*)、根霉病菌(*Rhizopus*)和大肠杆菌(*Escherichia coli*)的抑菌效果,同时改善了薄膜的力学性能、水蒸气阻隔性能和光学性能,延缓了草莓果实的腐败变质。BONILLA 等^[43]在研究壳聚糖对小麦淀粉/甘油膜物理性能的影响时发现提高壳聚糖/淀粉比可以提高膜的拉伸强度和弹性模量,同时该膜具有良好的杀菌活性。综上所述,多糖涂膜对草莓具有一定保鲜功能,其结构性能受不同多糖复合所影响,这可能与不同多糖分子间氢键相互作用形成的互贯网络结构可提高多糖涂膜的阻隔性能和机械性能有关^[44]。

3.1.3 壳聚糖-酸类涂膜在草莓保鲜中的应用

容易电离成阴离子的酸性成分是改善壳聚糖性能的常用添加剂,众多学者将壳聚糖-酸复合物涂膜用于草莓保鲜,并取得显著成效。闫媛媛等^[45]将壳聚糖与不同浓度柠檬酸复配处理草莓,通过测定其采后生理指标发现,壳聚糖柠檬酸复配可较好维持草莓品质,且 1%壳聚糖/4%柠檬酸涂膜液的保鲜效果最好。侯怀恩等^[46]证实壳聚糖接枝水杨酸能够有效降低果实代谢活性从而抑制草莓腐败。因此,壳聚糖与其他生物保鲜剂复配,能发挥协同增效作用,延长草莓的货架期,在实践中,低温冷藏与壳聚糖复合涂膜同时作用,能够大幅度提升果蔬保鲜效果。

表 2 壳聚糖-植物精油涂膜在草莓保鲜中的应用

Table 2 Application of chitosan-plant essential oil coating in strawberry preservation

壳聚糖复配成分	贮藏温度	效果	参考文献
百里香精油	5℃恒温	抑制果实呼吸速率、保持果实抗氧化活性,增加了草莓至少 15 d 的货架期。	[32]
丁香精油	室温和 4℃	在室温和 4℃下处理草莓,可延长货架期 2~3 d 和 8~10 d。	[33]
肉桂精油	4℃	4℃处理草莓,可延长货架期 8~12 d。	[18]
姜精油	室温(25℃)	有效降低细胞膜的通透性,减少可溶性固形物、维生素 C 和可滴定酸的流失,有效保持草莓品质	[34]
丁香、八角、肉桂的乙醇提取物	室温(25±4)℃	有较高的抑菌活性,室温(25±4)℃下放置,货架期可由 1~2 d 延长到 3~4d。	[35]

3.2 壳聚糖基复合涂膜技术对草莓品质的影响

影响草莓品质的理化特性包括几十个参数^[47], 其中失重率、硬度、可溶性固形物含量、腐烂率是常用且直观评价草莓品质的理化指标。众多研究表明, 壳聚糖涂膜或壳聚糖复合涂膜对维持草莓的品质效果显著, 如表 3 所示, 壳聚糖含量一般在 1%~2.5%之间, 其他复配料含量、贮藏温度不等; 处理方法有薄膜包裹、包装盒包装等。通过壳聚糖基涂膜处理与空白处理在一定贮藏时间内理化对比值可以发现, 壳聚糖与不同保鲜剂复合, 在不同的贮藏条件下均在一定程度上延缓了草莓果实衰老, 延长了草莓的货架期。值得注意的是, 在同一贮藏环境中, 壳聚糖与魔芋葡甘聚糖复合涂膜对于草莓失重率影响较大, 效果优于壳聚糖茶多酚复合涂膜。壳聚糖与甘草复合涂膜在 26°C 恒温贮藏条件下能够显著抑制草莓水分损失, 维持果实维生素 C 含量。

3.2.1 失重率

失重率是反映果蔬贮藏性能的一个重要指标, 水分的散失在影响草莓果实的外观品质与营养含量的同时也为微生物的加速繁殖提供了良好环境^[53]。草莓在贮藏过程中进行的呼吸和蒸腾作用是导致草莓的质量变化的主要原因, 草莓皮薄且表皮的高气孔率导致果实极易失水^[54]。贮藏温度与草莓呼吸强度呈正相关, 呼吸作用所产生的呼吸热会使草莓品温上升, 不仅加速了果实品质劣变, 而且促进了果实水分散失, 缩短了草莓货架期^[55]。事实上, 壳聚糖单一涂膜与壳聚糖复合涂膜对草莓失重率的影响存在分歧。PERDONES 等^[56]研究发现, 与涂有柠檬精油的草莓相比, 用壳聚糖涂膜保存的不含柠檬精油的草莓在水分含量方面没有显著差异, 孙娜等^[48]将壳聚糖单一涂层与壳聚糖复合涂层对于草莓的保鲜效果进行对比发现, 草莓贮藏 6 d 时 1% 壳聚糖单一涂膜处理组水分损失最少, 约为 8%, 2% 柠檬酸/3%CaCl₂ 处理组与 1% 壳聚糖/0.5% 魔芋葡聚糖处理组

次之, 分别约为 8.2% 和 9.5%, 显著低于空白处理组 14.5%。车雨晴等^[57]将不同浓度的玫瑰精油壳聚糖复合涂膜液处理草莓, 草莓采后贮藏第 9 d 时, 复合涂膜组失重率均低于对照组, 且 0.2% 玫瑰精油/壳聚糖复合涂膜液应用于草莓保鲜时失重率最小。这说明玫瑰精油与壳聚糖的复合涂膜液对于草莓的保鲜效果比单独使用壳聚糖的效果好。汪波等^[58]发现在贮藏 6 d 后, 甘草/壳聚糖保鲜剂组失重率约为 5.93%, 显著低于空白对照组的 25.93%。不同成膜物质配比、浓度配比均会对膜的结构和性能产生影响, 壳聚糖单一涂膜与壳聚糖复合涂膜对于草莓失重率影响存在差异, 这可能与不同配比的膜的透水性存在差异有关^[59]。

3.2.2 硬度

果实硬度是指果实表皮及纤维组织在受压时所能承受的力, 是衡量果实成熟度和贮藏品质的重要指标之一, 通过测定果实的硬度, 可以了解果实的成熟程度或后熟软化程度, 确定果实的品质变化特点, 以期正确指导果实的贮藏实践。果实硬度大小与水果的果胶含量有关, 果胶分解酶对果胶和其他细胞壁成分具有溶解作用, 随着贮藏时间的延长果实硬度会因果胶被分解而逐渐降低^[60]。冯云霄等^[61]发现壳聚糖处理能显著减缓草莓果实硬度的下降。关秀杰等^[62]将草莓置于不同浓度壳聚糖与柠檬酸复合膜液中进行保鲜处理, 处理组果实硬度均明显高于不含壳聚糖的空白对照组, 且处理组草莓果实硬度差异不显著。草莓大量失水后会局部软化, 加剧酶促水解, 加速草莓细胞的衰老, 复合保鲜液在一定程度上减弱了草莓的呼吸和氧化, 降低了果胶的分解速率, 延缓了草莓果实硬度变化。

3.2.3 可溶性固形物含量

可溶性固形物含量(soluble solid content, SSC)是一种综合参数, 主要由糖、酸、维生素、矿物质等成分组成, 对果实品质的评价具有重要意义。大量研究表明, 草莓果实的可溶性固形物含量随着储存时间的增加而逐渐降低, 这意味着草莓甜度会随之降低。草莓中主要的可溶性糖是果

表 3 壳聚糖涂膜或壳聚糖复合涂膜对草莓理化特征的影响

Table 3 Effects of chitosan coating or chitosan composite coating on physicochemical characteristics of strawberry

涂膜分类	处理方法	失重率/%	硬度/N	可溶性固形物含量/%	维生素 C 含量%	感官评价	贮藏天数/d	参考文献
1% CS		-5.6	/	+3.8	+5	+4		
1% CS/0.5% 魔芋葡甘聚糖	保鲜膜包裹均匀扎口, 常温贮藏	-4.5	/	+3.8	+2	+4	6	[48]
1% CS/1% 茶多酚		-1.8	/	+3.8	+4	+2		
1% CS/甘草	26°C 恒温箱中保存	-20	/	/	+24	/	6	[49]
1% CS/0.2% 姜油	聚乙烯包装盒内室温贮藏	-2	/	/	+8	+4	6	[50]
2.5% CS/7% 玉米淀粉 /0.5% 甘油	薄膜包裹	-5	+1.5	+4	+16	/	13	[51]
1% CS/3% 淀粉	室温储藏	-9	/	+3	+10	/	4	[7]
1.25% CS/0.6% 辣根素	包装盒内室温储藏	-11.21	+1	+3	+24	/	6	[52]

注: /表示文献中未提及; -表示降低, +表示增加。

糖、葡萄糖和蔗糖。在储存过程中,蔗糖显著减少,可能是由于呼吸作用及糖和其他营养物质被微生物消耗,导致糖分因氧化分解而减少^[63]。吴子龙等^[34]研究发现,壳聚糖复合涂层处理组草莓的可溶性糖含量略高于纯水处理的对照组,其中1% CS/0.2%姜油处理组可溶性糖含量最高,较好地保持了草莓的风味和营养成分。蔡路昀等^[64]在常温下用壳聚糖/维生素 C/植酸复合保鲜剂对草莓进行保鲜处理,经过5 d贮藏发现,复合保鲜剂延缓了草莓果实可溶性固形物含量的下降,且各项指标均优于壳聚糖单一涂膜处理。壳聚糖对于维持草莓可溶性固形物含量具有积极作用,壳聚糖复合涂层处理能够延缓草莓新陈代谢,维持果实的品质、口感、风味,延长草莓的货架期。

3.2.4 腐烂率

草莓自身呼吸消耗、水分损失及腐败菌的侵染是促进果实腐烂的主要因素^[65],随着贮藏时间的延长草莓的腐烂率会逐渐增加。壳聚糖能够通过几丁质酶诱导几丁质(真菌细胞壁的主要成分)的水解,从而抑制真菌生长,降低果实腐烂率^[66]。精油属于典型的释放型抗菌剂,具有广谱抗菌性,其组分中的疏水性化合物能够与微生物细胞膜和线粒体的脂质相互作用,破坏细菌内的多糖、脂肪酸和磷脂结构并使其具有通透性,进而有效灭活微生物^[67]。张文勇等^[68]发现在一定贮藏时间内,1% CS/1%柑橘精油处理的草莓腐烂率远低于1% CS。这与和岳等^[69]得出的壳聚糖复合涂膜保鲜效果优于壳聚糖单一涂膜结论一致,壳聚糖与精油复配可显著提升涂层的抑菌性。壳聚糖的抗菌活性与其分子量存在一定的关系,曾令晋等^[7]在探讨不同分子量壳聚糖与淀粉复合保鲜液对草莓的保鲜效果时发现,空白对照组(CK)的腐烂率远高于壳聚糖与淀粉复合处理组,保鲜效果显著,且相对分子质量较低的壳聚糖涂膜抗菌性能较强,用其处理后的草莓果实腐烂率较低。综上,壳聚糖涂膜能有效延缓草莓果实的腐败变质,复合涂层保鲜效果优于单一涂层。

3.3 存在的问题及建议

壳聚糖基涂膜应用于草莓保鲜时存在的问题:(1)有人提出植物种类繁多,成分复杂,在纯度不高的情况下与壳聚糖复配应用于草莓保鲜极可能在食用中诱发过敏和中毒等不良反应^[70],目前这一说法尚需后续研究验证。(2)壳聚糖基涂膜材料在延缓草莓腐败的同时,也对其他品质成分造成影响,例如,用壳聚糖和橄榄油残基对草莓进行涂膜,在降低腐烂率的同时,也降低了草莓果实总酚、类黄酮和抗氧化酶活性^[71]。WANG等^[72]以0.8%壳聚糖和10%蜂蜡作为涂膜剂处理草莓,虽然提高草莓果实的抗菌能力,延长了货架期,但是对其感官品质产生了不良影响。SANCHO等^[51]通过制备壳聚糖/玉米淀粉/肉桂醛复合涂膜用于草莓保鲜,壳聚糖肉桂醛挥发或者进入了草莓的微孔间隙,防止其被微生物侵染,减缓了草莓呼吸速率,但同

时也降低了草莓硬度。据此,建议:(1)针对壳聚糖与植物提取物复配或存在安全隐患问题,需根据植物提取物的特点健全对其安全评价体系;(2)针对壳聚糖涂膜材料在延缓草莓腐败的同时,也对其他品质成分造成影响这一问题,应对涂膜材料与草莓营养成分间作用关系进行深入研究,或加强对壳聚糖改性及其衍生物的研究。

4 结束语

随着人们对绿色环保和健康问题越来越重视,生物基保鲜材料在现今研究领域及市场受到广泛的关注。壳聚糖以其无毒、无害和无污染等特点已成为国内外研究的热点。近年来,国内外研究逐渐向多功能复合型涂膜材料发展,更好地实现涂膜材料在果蔬上的商品化应用是今后发展的主方向。

适合的保鲜技术能最大限度维持果蔬营养物质、延长货架期。果蔬在储运过程中会受到产地及品种,环境温度、湿度及气体成分等多重因素的影响,单一的物理、化学、生物保鲜技术已经无法满足人们对果蔬质量安全及保鲜期的需求,这也就要求相关研究人员能够加强对涂膜保鲜包装技术的研究力度,强化协同联用研究,充分发挥生物保鲜剂的优势,弥补物理化学技术的不足,从而进一步延长果蔬保鲜期,充分满足消费者的各项需求,对于我国果蔬行业的进一步发展也有着一定的积极意义。

参考文献

- [1] 唐智鹏,陈晨伟,谢晶. 抗菌活性包装膜及其控释技术的研究进展[J]. 包装工程, 2018, 39(5): 99-104.
TANG ZP, CHEN CW, XIE J. Research progress of antibacterial activity packaging film and its controlled release technology [J]. Packag Eng, 2018, 39(5): 99-104.
- [2] ABASALTA M, ASEFNEJAD A, KHORASANI MT, et al. Fabrication of carboxymethyl chitosan/poly(epsilon-caprolactone)/doxorubicin/nickel ferrite core-shell fibers for controlled release of doxorubicin against breast cancer [J]. Carbohydr Polym, 2021, 257: 117631.
- [3] SHI ZJ, WANG F, LU YY, et al. Combination of chitosan and salicylic acid to control postharvest green mold caused by *Penicillium digitatum* in grapefruit fruit [J]. Sci Hortic-Amsterdam, 2018, 2018, 233: 54-60.
- [4] 苏代发,童江云,杨俊誉,等. 中国草莓属植物种质资源的研究、开发与利用进展[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 1261-1276.
SU DF, TONG JY, YANG JY, et al. Advances in research, development and utilization of strawberry germplasm resources in China [J]. J Yunnan Univ (Nat Sci Ed), 2018, 40(6): 1261-1276.
- [5] 钟秋夏,郑海英,朱燕丽,等. 百里香酚微胶囊的制备及其对草莓的保鲜效果[J]. 食品科学: 1-14. [2022-09-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220621.1608.033.html>
ZHONG QX, ZHENG HY, ZHU YL, et al. Preparation of thymol microcapsules and its effect on strawberry fresh-keeping [J]. Food Sci: 1-14. [2022-09-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220621.1608.033.html>

- 1608.033.html
- [6] 吴秀兰, 任诗欣, 何俊杰, 等. 果蔬保鲜技术现状及展望[J]. 山东化工, 2022, 51(12): 111–114.
WU XL, REN SX, HE JJ, *et al.* Status and prospect of fresh-keeping technology of fruits and vegetables [J]. Shandong Chem Ind, 2022, 51(12): 111–114.
- [7] 曾令晋, 李畅, 余晓华, 等. 淀粉/壳聚糖复合保鲜液对草莓保鲜的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 189–193.
ZENG LJ, LI C, YU XH, *et al.* Effect of starch/chitosan composite preservation solution on strawberry preservation [J]. Food Res Dev, 2016, 37(20): 189–193.
- [8] 黄莎, 李伟荣, 王耀松, 等. 贮前温度处理对采后浆果贮藏特性影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 335–340.
HUANG S, LI WR, WANG YS, *et al.* Research progress on effects of pre-storage temperature treatment on storage characteristics of postitive berries [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(4): 335–340.
- [9] 王丹, 杜晓东, 李巧玲, 等. 梨自发气调保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(5): 125–129.
WANG D, DU XD, LI QL, *et al.* Research progress of pear self-regulating gas preservation technology [J]. Storage Process, 2016, 16(5): 125–129.
- [10] 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 T, GAO P, WANG HY, *et al.* Research progress on effects of electron beam irradiation on fruit and vegetable quality [J]. Northern Hortic, 2020, (16): 133–138.
- [11] 傅佳, 平凡, 沈超怡, 等. 等离子体气体连续处理对草莓采后保鲜效果的研究[J]. 中国果菜, 2021, 41(5): 1–6.
FU J, PING F, SHEN CY, *et al.* Study on the effect of plasma gas continuous treatment on strawberry fresh-keeping after harvest [J]. China Fruit Veg, 2021, 41(5): 1–6.
- [12] 黎金鑫, 解新方, 张洁, 等. 光照处理在草莓采后贮藏保鲜中应用研究进展[J]. 北方园艺, 2019, (21): 130–135.
LI JX, XIE XF, ZHANG J, *et al.* Research progress on the application of light treatment in post-harvest storage and fresh-keeping of strawberries [J]. Northern Hortic, 2019, (21): 130–135.
- [13] 唐甜甜, 解新方, 任雪, 等. 草莓贮藏保鲜技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(5): 332–339.
TANG TT, XIE XF, REN X, *et al.* Research progress on storage and fresh-keeping technology of strawberry [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(5): 332–339.
- [14] 朱庆庆, 孙金才, 倪穗. 臭氧在果蔬保鲜及降解农药方面的研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2017, 36(1): 54–57, 71.
ZHU QQ, SUN JC, NI S. Research progress of ozone on fresh-keeping and degradation of pesticides in fruits and vegetables [J]. Chin Wild Plant Resour, 2017, 36(1): 54–57, 71.
- [15] FRECHE E, GIENG J, PIGNOTTI G, *et al.* Applications of lemon or cinnamon essential oils in strawberry fruit preservation: A review [J]. J Food Process Preserv, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16526>
- [16] DUKARE AS, PAUL S, NAMBI VE, *et al.* Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: A review [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2018, 59(2): 1–16.
- [17] 王阳, 佟伟, 张文江, 等. 植物提取物在葡萄保鲜中的应用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(4): 116–120.
WANG Y, TONG W, ZHANG WJ, *et al.* Research progress on the application of plant extracts in grape preservation [J]. Preserv Process, 2022, 22(4): 116–120.
- [18] BOSE SK, HOWLADER P, JIA X, *et al.* Alginate oligosaccharide postharvest treatment preserve fruit quality and increase storage life via abscisic acid signaling in strawberry [J]. Food Chem, 2019, 283: 665–674.
- [19] 张宁, 邵海燕, 房祥军, 等. 草莓采后腐烂真菌病害控制的研究进展[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(3): 396–400.
ZHANG N, GAO HY, PANG XJ, *et al.* Research progress on control of postitive rot fungal diseases in strawberry [J]. Zhejiang Agric Sci, 2016, 57(3): 396–400.
- [20] 杨书珍, 柳丽梅, 彭丽桃, 等. 草莓采后真菌病害控制研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(1): 127–132.
YANG SZ, LIU LM, PENG LT, *et al.* Research progress of strawberry postharvest fungal disease control [J]. J Huazhong Agric Univ, 2012, 31(1): 127–132.
- [21] 连欢, 魏雯雯, 杨相政. 壳聚糖-植物提取物复合涂膜对樱桃番茄保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(9): 1–6.
LIAN H, WEI WW, YANG XH. Effect of composite coating of chitosan and plant extract on preservation effect of cherry tomato [J]. Preserv Process, 2022, 22(9): 1–6.
- [22] COSTA EM, SILVA S, PINA C, *et al.* Evaluation and insights into chitosan antimicrobial activity against anaerobic oral pathogens [J]. Anaerobe, 2012, 18(3): 305–309.
- [23] OBIANOM C, ROMANAZZI G, SIVAKUMAR D. Effects of chitosan treatment on avocodo postharvest diseases and expression of phenylalanine ammonia-lyase, chitinase and lipoxygenase genes [J]. Postharvt Biol Technol, 2019, 147: 214–221.
- [24] LI J, ZHUANG S. Antibacterial activity of chitosan and its derivatives and their interaction mechanism with bacteria: Current state and perspectives [J]. Eur Polym J, 2020, 138: 109984.
- [25] MATICA MA, AACHMANN FL, TNDERVIK A, *et al.* Chitosan as a wound dressing starting material: Antimicrobial properties and mode of action [J]. Int J Mol Sci, 2019, 20(23): 5889.
- [26] 彭俊森, 董晓庆, 田欢, 等. 壳聚糖复合涂膜研究现状及其在果蔬保鲜中的应用[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(1): 61–68, 72.
PENG JS, DONG XQ, TIAN H, *et al.* Research status of chitosan composite coating and its application in fruit and vegetable preservation [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2021, 62(1): 61–68, 72.
- [27] KONG M, CHEN XG, XING K, *et al.* Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review [J]. Int J Food Microbiol, 2010, 144(1): 51–63.
- [28] ZENG LJ, LI C, YU XH, *et al.* Effect of starch/chitosan compound preservative solution on strawberry fresh-keeping [J]. Food Res Dev, 2016, 37(20): 189–193.
- [29] KRAVANJA G, PRIMOŽIČ M, KNEZ Ž, *et al.* Chitosan-based (nano) materials for novel biomedical applications [J]. Molecules, 2019, 24: 1960.
- [30] 朱燕莉, 王正莉, 王卫, 等. 天然食品防腐剂的抑菌机理研究进展[J].

- 中国调味品, 2021, 46(9): 176–180.
- ZHU YL, WANG ZL, WANG W, *et al.* Research progress of antibacterial mechanism of natural food preservatives [J]. *Chin Cond*, 2021, 46(9): 176–180.
- [31] AJIBOYE TO, MOHAMMED AO, BELLO SA, *et al.* Antibacterial activity of *Syzygium aromaticum* seed: Studies on oxidative stress biomarkers and membrane permeability [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2016, 95: 208–215.
- [32] MARTÍNEZ K, ORTIZ M, ALBIS A, *et al.* The effect of edible chitosan coatings incorporated with *Thymus capitatus* essential oil on the shelf-life of strawberry (*Fragaria ananassa*) during cold storage [J]. *Biomolecules*, 2018, 8(4): 155.
- [33] 付振喜. 丁香等天然物质的抑菌成分在果蔬保鲜中的应用研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
- FU ZX. Application of antibacterial components of natural substances such as clove in fruit and vegetable preservation [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2010.
- [34] 吴子龙, 张浩, 王泽熙, 等. 壳聚糖-姜精油涂膜对草莓贮藏品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(22): 169–174.
- WU ZL, ZHANG H, WANG ZX, *et al.* Effects of chitosan-ginger essential oil coating on storage quality of strawberry [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(22): 169–174.
- [35] 陶永元, 舒康云, 蔡晨波, 等. 八角等提取液与壳聚糖复合物对草莓保鲜效果的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2012, (3): 168–172.
- TAO YY, SHU KY, CAI CB, *et al.* Effect of complex of Anise extract and chitosan on fresh-keeping effect of strawberry [J]. *Food Addit China*, 2012, (3): 168–172.
- [36] 徐昊洋, 阮长晴. 基于壳聚糖的绿色抗菌复合涂膜材料及其在水果保鲜应用上的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(14): 295–302.
- XU HY, RUAN CQ. Chitosan based green antibacterial composite coating material and its research progress in fruit preservation [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(14): 295–302.
- [37] PILEVAR Z, HOSSEINI H, ABDOLLAHZADEH E, *et al.* Effect of *Zataria multiflora* Boiss. essential oil, time, and temperature on the expression of *Listeria monocytogenes* virulence genes in broth and minced rainbow trout [J]. *Food Control*, 2020, 109: 106863.
- [38] REHMAN A, JAFARI SM, AADIL RM, *et al.* Development of active food packaging via incorporation of biopolymeric nanocarriers containing essential oils [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2020, 101: 106–121.
- [39] FALLEH H, JEMAA MB, SAADA M, *et al.* Essential oils: A promising eco-friendly food preservative [J]. *Food Chem*, 2020, 330: 127268.
- [40] 王中伟, 李云成, 郑森心, 等. 魔芋葡甘聚糖/壳聚糖复合涂膜对草莓采收后贮藏品质的影响[J]. *食品科技*, 2019, 44(3): 46–50.
- WANG ZW, LI YC, ZHENG MX, *et al.* Effects of konjac glucomannan/chitosan composite coating on storage quality of strawberry after harvest [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(3): 46–50.
- [41] 陈晓涵, 庞杰, 吴春华. 魔芋葡甘聚糖/壳聚糖复合抗菌食品包装膜的制备及其特性[J]. *食品科学*, 2021, 42(7): 232–239.
- CHEN XH, PANG J, WU CH. Preparation and characterization of konjac glucomannan/chitosan composite antibacterial food packaging film [J]. *J Food Sci*, 2021, 42(7): 232–239.
- [42] WANG Y, LI R, LU R, *et al.* Preparation of chitosan/corn starch/cinnamaldehyde films for strawberry preservation [J]. *Foods*, 2019, 8(9): 423.
- [43] BONILLA LJ, ATARÉS ML, VARGAS AC. Properties of wheat starch film-forming dispersions and films as affected by chitosan addition [J]. *J Food Eng*, 2013, 114(3): 303–312.
- [44] 姚妮妮, 孙建明, 李昭, 等. 可食性涂膜在番茄贮藏保鲜中的研究进展[J]. *包装与食品机械*, 2021, 39(5): 55–61.
- YAO YN, SUN JM, LI Z, *et al.* Research progress of edible coating in tomato storage and freshness preservation [J]. *Packag Food Mach*, 2021, 39(5): 55–61.
- [45] 闫媛媛, 齐海萍, 郜玮, 等. 壳聚糖与柠檬酸复配涂膜液对草莓保鲜效果的研究[J]. *大连民族学院学报*, 2015, 17(3): 224–227, 234.
- YAN YY, QI HP, GAO W, *et al.* Study on the preservation effect of chitosan and citric acid compound coating solution on strawberry [J]. *J Dalian Nat Univ*, 2015, 17(3): 224–227, 234.
- [46] 侯怀恩, 侯益民, 李雪菊. 壳聚糖接枝水杨酸对草莓的保鲜作用[J]. *河南科学*, 2009, 27(12): 1533–1535.
- HOU HEN, HOU YM, LI XJ. Effect of chitosan grafted salicylic acid on strawberry fresh-preservation [J]. *Henan Sci*, 2009, 27(12): 1533–1535.
- [47] ABDI S, ROOEIN Z, ERFANIMOGHADAM J, *et al.* Application of pectin coating containing essential oil for increasing quality of strawberry fruit [J]. *J Postharv Technol*, 2017, 7(1): 83–94.
- [48] 孙娜, 王华, 胡文斌, 等. 不同处理方式对五叶草莓贮藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(9): 21–26.
- SUN N, WANG H, HU WB, *et al.* Effect of different treatment methods on storage quality of Wuye strawberry [J]. *Storage Process*, 2021, 21(9): 21–26.
- [49] 墙梦捷, 鲁晓翔. 壳聚糖与植物精油复配在食品保鲜中的应用[J]. *中国食物与营养*, 2020, 26(9): 45–48.
- QIANG MJ, LU XX. Application of chitosan and plant essential oil in food preservation [J]. *Chin J Food Nutr*, 2020, 26(9): 45–48.
- [50] 潘廷跳, 石停凤, 文狄, 等. 魔芋葡甘聚糖复合膜液对樱桃番茄的保鲜效果[J]. *食品工业*, 2020, 41(6): 60–63.
- PAN TT, SHI TF, WEN D, *et al.* Preservation effect of konjac glucomannan composite membrane solution on cherry tomato [J]. *Food Ind*, 2020, 41(6): 60–63.
- [51] SANCHO GG. Effect of maturity stage of papaya maradol on physiological and biochemical parameters [J]. *Am J Agric Biol Sci*, 2010, 5(2): 194–203.
- [52] 宋煌旺, 冯文, 王向辉, 等. 辣根素和壳聚糖复合涂膜对草莓保鲜的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2018, (2): 150–155.
- SONG HW, FENG W, WANG XH, *et al.* Effect of horseradish and chitosan composite coating on strawberry preservation [J]. *China Food Addit*, 2018(2): 150–155.
- [53] 张海园, 宋伊真, 王美艳, 等. 油菜素甾醇对章姬草莓贮藏品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(19): 7710–7715.
- ZHANG HY, SONG YZ, WANG MY, *et al.* Effect of brassinolin on storage quality of Zhangji strawberry [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(19): 7710–7715.
- [54] 杨涛, 郜海燕, 张润光, 等. 加压氮气对草莓采收后生理及贮藏品质的影

- 响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(15): 282–290.
- YANG T, GAO HY, ZHANG RG, *et al.* Effects of pressurized nitrogen on postharvest physiology and storage quality of strawberry [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2020, 36(15): 282–290.
- [55] 严灿, 刘升, 贾丽娥, 等. 不同贮藏温度对草莓呼吸强度及品质的影响[J]. 制冷学报, 2015, 36(5): 37–42.
- YAN C, LIU S, JIA LE, *et al.* Effects of different storage temperatures on respiration intensity and quality of strawberry [J]. *J Refriger*, 2015, 36(5): 37–42.
- [56] PERDONES A, SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, CHIRALT A, *et al.* Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry [J]. *Postharv Biol Technol*, 2012, 70: 32–41.
- [57] 车雨晴, 张红, 赵屹, 等. 玫瑰精油和壳聚糖复合涂膜对草莓保鲜效果的影响[J]. 中国果菜, 2021, 41(6): 61–66.
- CHE YQ, ZHANG H, ZHAO Y, *et al.* Effect of composite coating of rose essential oil and chitosan on the preservation of strawberry [J]. *Chin J Fruits Veget*, 2021, 41(6): 61–66.
- [58] 汪波, 李文芬, 陈宇鹏. 草莓保鲜剂的开发研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 8027–8031.
- WANG B, LI WF, CHEN YP. Research on the development of strawberry preservative [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(21): 8027–8031.
- [59] 胡瀚文, 余雪健, 李旭, 等. 壳聚糖/乳酸链球菌素复合抗菌膜的制备及其性能研究[J]. 食品与发酵工业: 1-10. [2022-12-22]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033732
- HU HW, YU XJ, LI X, *et al.* Preparation and properties of chitosan/*Streptococcus lactate* composite antibacterial membrane [J]. *Food Ferment Ind*: 1-10. [2022-12-22]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033732
- [60] 李漫漫. 二氧化氯控释瓦楞纸箱和微胶囊的制备及其在水果保鲜中的应用[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- LI YY. Preparation of chlorine dioxide controlled release corrugated box and microcapsule and its application in fruit preservation [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [61] 冯云霄, 程玉豆, 何近刚, 等. 壳聚糖对草莓冷藏和货架期间品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(4): 8–12.
- FENG YX, CHENG YD, HE JG, *et al.* Effect of chitosan on strawberry quality during cold storage and shelf life [J]. *Storage Process*, 2015, 15(4): 8–12.
- [62] 关秀杰, 肖彦春, 郝生宏, 等. 可食用微乳化保鲜液对草莓低温冷藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2020, (16): 104–108.
- GUAN XJ, XIAO YC, HAO SH, *et al.* Effect of edible micro-emulsified fresh-keeping solution on the quality of strawberry refrigerated at low temperature [J]. *Northern Hort*, 2020, (16): 104–108.
- [63] 王世芳, 韩平, 崔广禄, 等. SPXY 算法的西瓜可溶性固形物近红外光谱检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(3): 738–742.
- WANG SF, HAN P, CUI GL, *et al.* Detection of watermelon soluble solids by near infrared spectroscopy based on SPXY algorithm [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2019, 39(3): 738–742.
- [64] 蔡路响, 吕艳芳, 李学鹏, 等. 复合生物保鲜技术及其在生鲜食品中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 380–384.
- CAI LY, LV YF, LI XQ, *et al.* Complex biological fresh-keeping technology research progress and application in fresh food [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35 (10): 380–384.
- [65] GUIDARELLI M, CARBONE F, MOURGUES F, *et al.* *Colletotrichum acutatum* interactions with unripe and ripe strawberry fruits and differential responses at histological and transcriptional levels [J]. *Plant Pathol*, 2011, 60(4): 685–697.
- [66] GHAOUTH AE, ARUL J, ASSELIN A, *et al.* Antifungal activity of chitosan on post-harvest pathogens: Induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer* [J]. *Mycol Res*, 1992, 96(9): 769–779.
- [67] KHANEGHAH AM, HASHEMI S, LIMBO S. Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial food active packaging: An overview of approaches and interactions [J]. *Food Bioprod Process*, 2018, 111: 1–19.
- [68] 张文勇, 陈瑶, 任文琪, 等. 柑橘精油和壳聚糖复合物对草莓保鲜效果的研究[J]. 山西化工, 2015, 35(6): 22–24, 35.
- ZHANG WY, CHEN Y, REN WQ, *et al.* Effect of citrus essential oil and chitosan complex on strawberry fresh-keeping [J]. *Shanxi Chem Ind*, 2015, 35(6): 22–24, 35.
- [69] 和岳, 王明力, 张洪, 等. 壳聚糖复合膜的制备及其对草莓的保鲜效果[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(5): 133–137.
- HE Y, WANG ML, ZHANG H, *et al.* Preparation of chitosan composite membrane and its preservation effect on strawberry [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2013, 41(5): 133–137.
- [70] FALLEH H, JEMAA MB, SAADA M, *et al.* Essential oils: A promising eco-friendly food preservative [J]. *Food Chem*, 2020, 330: 127268.
- [71] KHALIFA I, BARAKAT H, EL-MANSY HA, *et al.* Effect of chitosan-olive oil processing residues coatings on keeping quality of cold-storage strawberry (*Fragaria ananassa* Var. Festival) [J]. *J Food Qual*, 2016, 39: 504–515.
- [72] WANG SY, GAO H. Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria ananassa* Duch.) [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2013, 52(2): 71–79.

(责任编辑: 郑丽韩晓红)

作者简介



曹前荣, 硕士研究生, 主要研究方向为食品保鲜包装。
E-mail: cqrl6543@163.com



孙建明, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品保鲜包装和智能包装。
E-mail: sunjianming@haust.edu.cn