

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80533

壳聚糖—黄精精油复合涂膜对苹果果实的保鲜功效

曲梦锐 刘雨辰 王东营

(河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

摘要: [目的] 提高苹果果实在采后贮藏期间的品质并延长货架期。[方法] 以富士苹果为试验对象, 采用涂膜法制备含有 1.5% 壳聚糖和不同浓度黄精精油的复合保鲜液, 将苹果果实在复合保鲜液中进行浸泡涂膜, 分析苹果果实采后贮藏期间的腐烂率、可滴定酸含量、多酚氧化酶活性、总酚含量、细胞质膜透性以及感官品质等指标。[结果] 与空白对照组和纯壳聚糖处理组相比, 添加黄精精油的保鲜组能更好地保持苹果果实的感官品质。贮藏 120 d 后, 2.0% 黄精精油处理组的腐烂率仅为 9.18%, 可滴定酸含量下降幅度小, 总酚含量高达 26.5 mg/100 g, 相对电导率为 38.5%, 且显著抑制了多酚氧化酶活性的上升, 并减缓了感官品质评分的下降。[结论] 含有 1.5% 壳聚糖和 2.0% 黄精精油的复合涂膜能显著延长富士苹果的贮藏期, 并有效保持其品质和感官属性。

关键词: 壳聚糖; 黄精精油; 苹果; 涂膜; 保鲜

Preservation performance of chitosan-*Polygonatum* essential oil composite coating film on apple fruits

QU Mengrui LIU Yuchen WANG Dongying

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: [Objective] This study aims to improve the quality of apple fruits during postharvest storage and prolong the shelf life. [Methods] Fuji apple fruits were soaked in the composite preservative solution containing 1.5% chitosan and different concentrations of *Polygonatum* essential oil for coating. During postharvest storage, the decay rate, titratable acid content, polyphenol oxidase activity, total phenol content, cytoplasmic membrane permeability, and sensory quality of the treated apple fruits were determined and evaluated. [Results] Compared with the blank control group and the pure chitosan group, the group with the addition of *Polygonatum* essential oil well maintained the sensory quality of apple fruits. After 120 days of storage, the 2.0% essential oil group showed a decay rate of only 9.18%, a slight decrease in the titratable acid content, high total phenol content of 26.5 mg/100 g, relative conductivity of 38.5%, and significant inhibition of the increase in polyphenol oxidase activity, slowing down the decline in sensory quality score. [Conclusion] A composite coating containing 1.5% chitosan and 2.0% *Polygonatum* essential oil significantly extended the shelf life and maintained the quality and sensory attributes of apple fruits.

Keywords: chitosan; *Polygonatum* essential oil; apple; coating; preservation

苹果 (*Malus pumila* Mill.) 为蔷薇科苹果属植物, 每年 5 月开花, 7~10 月结果^[1]。据国家统计局公布的最新数据, 2022 年全国苹果总产量达 4 757.2 万 t, 同比增长 3.5%。苹果果实中富含必需脂肪酸、膳食纤维、维生素、抗氧化剂和多种植物化学物质, 这些成分赋予了其独特

的营养价值和健康益处^[2]。但苹果在采后极易受到病原体微生物的侵袭, 导致品质下降。因此, 维持苹果的新鲜品质并控制采后微生物的生长, 成为水果行业面临的一大挑战^[3]。

目前, 苹果的采后处理方法主要有使用化学防腐剂、

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 32001744)

通信作者: 王东营 (1985—), 男, 河南工业大学副教授, 博士。E-mail: dywang@haut.edu.cn

收稿日期: 2024-06-11 **改回日期:** 2024-11-05

气调贮藏和冷藏等^[4-5],其主要目标是减缓果实的品质劣变。然而,随着社会经济的蓬勃发展以及健康观念的转变,人们对于传统化学防腐剂在食品保鲜及其生产、处理过程中可能带来的健康隐患和环境风险表示担忧,越来越倾向于采用更为天然、环保的保鲜方法,如利用蛋白质、多糖、植物精油或天然植物提取物等生物技术手段进行水果保鲜^[6-7]。

壳聚糖为甲壳类动物(如虾、蟹)外壳或部分高等植物细胞壁的阳离子多糖^[8],具有良好的生物相容性、可降解性以及显著的抑菌特性,被视为极具潜力的活性生物降解膜制备材料^[9]。相关研究表明,在壳聚糖薄膜中引入植物提取物,如迷迭香提取物^[10]、多酚^[11]和植物精油^[12]等活性物质,能有效增强其抗菌性能。黄精精油是一种常用的植物源食品添加剂,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、肠型点状产气单胞菌等微生物具有广泛的抑制能力^[13],可作为生物保鲜剂应用于果蔬保鲜。

研究拟采用浸泡涂膜法,将 1.5%壳聚糖与黄精精油复合制备成保鲜液,以苹果为试验对象,分析贮藏前后苹果果实的感官品质及营养品质,评估该保鲜液对苹果果实的保鲜效果,以期苹果的生物保鲜技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

富士苹果:采摘于河南省灵宝市寺河山苹果小镇,当天运回实验室,剔除病虫果,挑选大小均匀、成熟度一致、无机械损伤的苹果进行试验;

黄精:市售;

黄精精油:采用陈鑫沛等^[14]的方法实验室自提,提取率为 1.47 mL/100 g;

壳聚糖:国药集团化学试剂有限公司;

吐温 80、冰乙酸、硫代巴比妥酸、氢氧化钠等:郑州轩之城化工科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:JA2003 型,上海精密科学仪器有限公司;

数显恒温磁力搅拌器:SN-MS-H280D 型,上海尚仪仪器设备有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-6000 型,上海元析仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 壳聚糖—黄精精油复合涂膜液的制备 参考曲梦锐等^[15]的方法稍作修改。用体积分数为 0.8%的冰乙酸溶液配制 1.5 g/100 mL 的壳聚糖溶液,依次加入吐温 80、

甘油、丙三醇,混匀,添加黄精精油继续搅拌使其充分混合,分别配制 0、0.5%、1.0%、2.0%的壳聚糖—黄精精油复合涂膜液,分别标记为纯壳聚糖保鲜组(B)、0.5%保鲜组(C)、1.0%保鲜组(D)和 2.0%保鲜组(E),以超纯水为空白组(A)。

1.2.2 低温贮藏试验 参考姚悦等^[11]的方法稍作修改。苹果采收后即刻转移至 4℃恒温冷库内预冷 24 h。选取 250 枚外观均匀、成熟度一致的苹果,分成 5 组,每组 50 枚,每组进一步细分为每盒 10 枚,分别于对应的保鲜液中浸泡 3 min,自然晾干,装盒,密封贮藏于 8℃的恒温环境中。

1.3 指标测定

1.3.1 腐烂率 参考钟秋夏等^[16]的方法。根据果实腐烂面积对苹果的腐烂程度进行分级,0 级:无任何腐烂;1 级:腐烂面积小于果实面积的 1/4;2 级:腐烂面积为果实面积的 1/2~1/4;3 级:腐烂面积为果实面积的 1/2~3/4;4 级:腐烂面积大于果实面积的 3/4。按式(1)计算果实腐烂率。

$$R = \frac{\sum m_i \times n_i}{M \times N} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R ——腐烂率,%;

m_i ——腐烂级数,级;

n_i ——该级别果实腐烂个数,个;

M ——最高腐烂级别,级;

N ——果实总数,个。

1.3.2 可滴定酸度 参考 Belay 等^[17]的方法。

1.3.3 多酚氧化酶活性 参考 Huque 等^[18]的方法。

1.3.4 总酚含量 参考李阳^[19]的方法。

1.3.5 细胞质膜透性 参考刘香军^[20]的方法。

1.3.6 感官评价 挑选 10 名经过专业培训的人员组成感官评价小组,按表 1 从苹果外形、气味、口感、质地等方面进行感官评价。评价标准参考栗博文^[21]的方法并稍作修改。

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 软件进行数据处理,采用 Origin 2018 和 SPSS 25 软件绘图。每组试验重复 3 次,结果用平均值±标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 复合涂膜对苹果果实腐烂率的影响

由表 2 可知,腐烂率随贮藏时间的延长逐渐增加。贮藏中期(40~80 d),未经处理的空白对照组与纯壳聚糖涂膜处理组的腐烂率显著增加;贮藏第 120 天,空白对照组

表1 苹果感官品质评分标准
Table 1 Sensory quality evaluation criteria of apple fruits

外观	气味	口感	质地	评分
外形饱满,颜色鲜艳,无腐烂	具有苹果香味	酸甜可口	脆	6~9
外形较饱满,颜色一般,轻微的斑点或腐烂	香味较淡	酸甜适中,口感尚佳	沙(面)	3~6
外形皱缩,颜色暗淡,出现大面积腐烂	几乎没有苹果香味或有异味	腐烂变质,不能食用	绵软	0~3

的腐烂率高达25.78%,显著高于1.0%和2.0%黄精精油保鲜组($P<0.05$),说明适量(1.0%~2.0%)黄精精油与壳聚糖复合处理可有效延缓苹果果实腐烂率的升高,试验采用的复合涂膜处理技术在苹果果实表面成功构建了一层均匀且稳定的保护膜,能够显著减少外界环境中微生物对果实的侵染,有效延缓果实的腐烂速度^[22]。

表2 涂膜处理对苹果果实腐烂率的影响[†]
Table 2 Effects of different treatments on the decay rate of apple fruits

样品	腐烂率/%					
	第0天	第20天	第40天	第60天	第80天	第120天
A	0	5.97±0.46 ^a	8.78±0.39 ^a	13.52±0.46 ^a	18.33±0.76 ^a	25.78±0.58 ^a
B	0	5.40±0.36 ^{ab}	8.09±0.28 ^{ab}	12.34±0.37 ^a	17.66±0.42 ^a	24.89±0.48 ^a
C	0	5.05±0.56 ^b	7.58±0.31 ^b	10.17±0.46 ^c	15.10±0.43 ^a	19.58±0.56 ^b
D	0	4.16±0.50 ^c	6.25±0.47 ^c	8.67±0.41 ^d	12.07±0.67 ^c	15.29±0.38 ^c
E	0	3.20±0.32 ^d	5.19±0.53 ^d	6.48±0.64 ^e	8.76±0.56 ^d	9.18±0.42 ^d

[†] 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 复合涂膜对苹果果实可滴定酸含量的影响

由图1可知,随着贮藏时间的延长,可滴定酸含量逐步降低,这一变化与苹果的呼吸代谢活动密切相关。贮藏前中期,各处理组的可滴定酸含量迅速下降,贮藏后期,下降趋势则相对平缓。贮藏第80天,含有黄精精油的处理组的可滴定酸含量均高于未添加精油的对照组,表明黄精精油的加入能够有效抑制可滴定酸含量的下降。贮藏第120天,E组的可滴定酸含量为0.31%,较初始含量下降了0.25个百分点;相比之下,空白对照组的可滴定酸含量下降了0.44个百分点,表明精油处理降低了苹果果实的呼吸代谢速率,从而延缓了可滴定酸含量的降低^[20]。

2.3 复合涂膜对苹果果实多酚氧化酶活性的影响

苹果在贮藏过程中极易发生酶促褐变反应,这是由于苹果中的内源性酚类物质在多酚氧化酶的作用下氧化为醌类物质,醌类与蛋白质、氨基酸等物质络合形成黑色素,进而导致苹果果实颜色变化^[23]。由图2可知,随着贮藏时间的延长,多酚氧化酶活性逐渐降低,且对照组及低浓度精油处理组的酶活性始终高于1.5%,2.0%精油处理组。贮藏第60天,A、B、C组的酶活性约维持在26 U/g,而D、E组的酶活性已降至18.6、15.1 U/g;贮藏第120天,

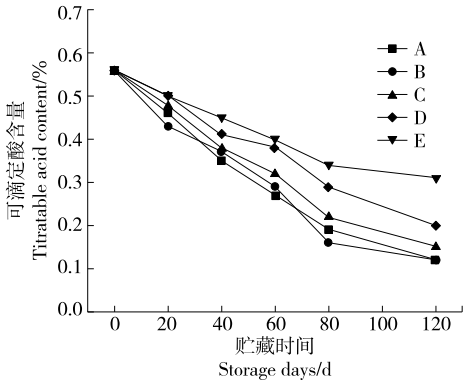


图1 涂膜处理对苹果果实可滴定酸含量的影响
Figure 1 Effect of coating treatment on the titratable acid content in apple fruits

2.0%精油处理组的酶活性最低,约为空白对照组的50%。综上,使用较高浓度的精油处理可能抑制了多酚氧化酶的活性^[24],从而有助于保持苹果在贮藏过程中的品质。

2.4 复合涂膜对苹果果实总酚含量的影响

苹果果实内部丰富的酚类物质,如原花青素、类黄酮等,是重要的活性物质,具有抗氧化、抗炎和抗癌等多种生物活性^[25]。由图3可知,随着贮藏时间的延长,总酚含量呈上升趋势。其中,对照组的生长趋势相对平缓,经黄

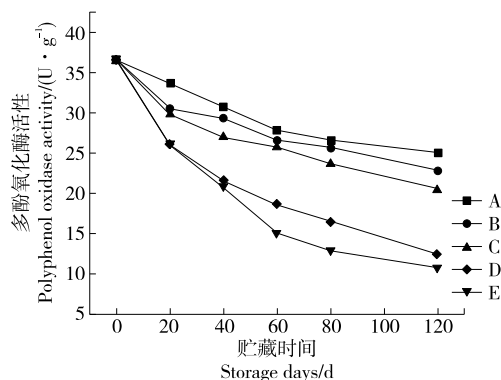


图2 涂膜处理对苹果果实多酚氧化酶活性的影响
Figure 2 Effect of coating treatment on the polyphenol oxidase activity in apple fruits

精油处理的保鲜组在贮藏中后期表现出更为显著的增长趋势。8℃下贮藏120 d,经2.0%精油处理的保鲜组的总酚含量高达26.5 mg/100 g,分别为空白对照组和纯壳聚糖处理组的1.5,1.3倍,说明精油中的某些物质可能触发了苹果中苯丙氨酸解氨酶的活性,促进了酚类物质的合成^[26-27],进而有效延缓了苹果果实的褐变反应,延长了保鲜期。

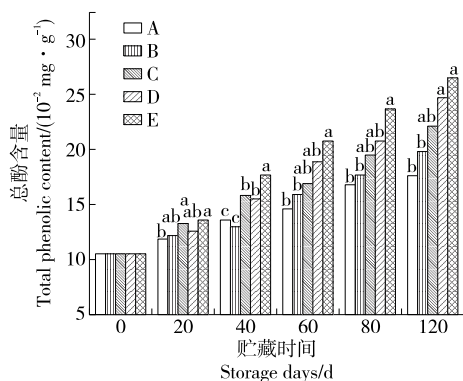


图3 涂膜处理对苹果果实总酚含量的影响
Figure 3 Effect of coating treatment on the total phenol content in apple fruits

2.5 复合涂膜对苹果果实细胞质膜透性的影响

细胞质膜透性作为衡量细胞膜对物质通透性的一项关键指标,通过相对电导率来量化评估。相对电导率值越大,电解质的渗漏量越多,细胞膜受损害程度越重^[28]。由图5可知,随着贮藏时间的延长,各处理组的相对电导率呈上升趋势。空白对照组的相对电导率增长趋势尤为显著,表明其细胞膜受损速率较快。经2.0%黄精精油处理的保鲜组的相对电导率的增长趋势相对平缓,说明该

处理对于维持细胞膜完整性具有积极作用。贮藏第120天,2.0%黄精精油处理的保鲜组的相对电导率为38.5%,较初始状态仅增加了9.6个百分点,而空白对照组和纯壳聚糖处理组在相同贮藏期内,相对电导率分别增加了27.8,29.2个百分点。表明壳聚糖与黄精精油复合涂膜能够有效减缓苹果果实细胞膜的衰老过程,减少电解质的渗漏,从而维持果实的新鲜度和品质,与高保卫等^[29]的研究结果一致。

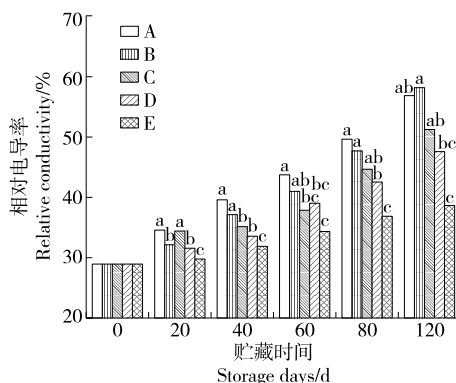


图4 涂膜处理对苹果果实细胞质膜透性的影响
Figure 4 Effect of coating treatment on the cytoplasmic membrane permeability of apple fruits

2.6 复合涂膜对苹果果实感官评分的影响

由图5可知,随着贮藏时间的延长,感官评分逐渐下降。贮藏第120天,空白对照组与纯壳聚糖处理组的感官评分分别降至3.7,3.9分。相较之下,经精油处理的保鲜组的感官评分仍保持在4~6分,显示出中等水平的感官品质。综上,壳聚糖与黄精精油处理在维持苹果外观、口感、质地等方面表现出较好的效果。

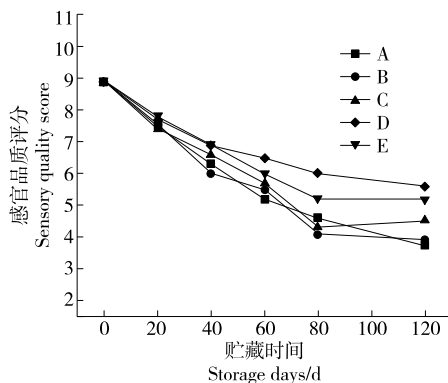


图5 涂膜处理对苹果果实感官评分的影响
Figure 5 Effect of coating treatment on the sensory quality score of apple fruits

3 结论

考察了1.5%壳聚糖与不同用量(0, 0.5%, 1.0%, 2.0%)黄精精油复合保鲜液对富士苹果果实采后贮藏品质的影响。结果表明,与空白对照组和纯壳聚糖处理组相比,添加了黄精精油的保鲜组在保持苹果果实感官品质及营养价值方面表现出明显优势。贮藏120 d后,2.0%黄精精油处理组的苹果果实腐烂率最低,可滴定酸含量下降幅度较小,总酚含量高达26.5 mg/100 g,细胞质膜的相对电导率为38.5%,感官评分较高,说明该复合涂膜在提高果实贮藏品质方面具有较好的效果。后续可进一步分析黄精精油和壳聚糖协同作用机理,探究长期贮藏效果及实际应用可行性。

参考文献

- [1] CORNILLE A, GIRAUD T, SMULDERS M J M, et al. The domestication and evolutionary ecology of apples[J]. Trends in Genetics, 2014, 30(2): 57-65.
- [2] 李凤霞, 雷清玉, 盛红叶, 等. 工艺参数对苹果果脯护色效果的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 207-211, 215.
LI F X, LEI Q Y, SHENG H Y, et al. Effects of different processing parameters on the color protecting of candied apple [J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 207-211, 215.
- [3] GUPTA S, SAXENA S. Endophytes: saviour of apples from post-harvest fungal pathogens[J]. Biological Control, 2023, 182: 105234.
- [4] 王志华, 贾朝爽. 瑞雪苹果贮藏保鲜技术要点[J]. 果树实用技术与信息, 2023(1): 43-44.
WANG Z H, JIA Z S. Technical points for storage and preservation of Ruixue apples[J]. Fruit Tree Practical Technology and Information, 2023(1): 43-44.
- [5] 王震. 鲁丽苹果贮藏品质评价与包装保鲜技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2024: 1-9.
WANG Z. Study on storage quality evaluation and packaging fresh-keeping technology of Luli apple[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2024: 1-9.
- [6] ÁLVAREZ-MARTÍNEZ F J, BARRAJÓN-CATALÁN E, HERRANZ-LÓPEZ M, et al. Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: an updated review on their effects and putative mechanisms of action[J]. Phytomedicine, 2021, 90: 153626.
- [7] LI S, JIANG S, JIA W, et al. Natural antimicrobials from plants: recent advances and future prospects[J]. Food Chemistry, 2024, 432: 137231.
- [8] CHEUNG R C F, NG T B, WONG J H, et al. Chitosan: an update on potential biomedical and pharmaceutical applications [J]. Marine Drugs, 2015, 13(8): 5 156-5 186.
- [9] LIAN H, PENG Y, SHI J, et al. Effect of emulsifier hydrophilic-lipophilic balance (HLB) on the release of thyme essential oil from chitosan films[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 97: 105213.
- [10] DE LIMA A F, LEITE R H D L, PEREIRA M W F, et al. Chitosan coating with rosemary extract increases shelf life and reduces water losses from beef[J]. Foods, 2024, 13(9): 1 353.
- [11] 姚悦, 余庭庭, 张瑞, 等. 茶叶提取物对富士苹果耐贮藏性的影响[J]. 北方园艺, 2023(21): 93-100.
YAO Y, YU T T, ZHANG R, et al. Effects of tea leaf extracts on the storability of Fuji apple[J]. Northern Horticulture, 2023 (21): 93-100.
- [12] AMOR G, SABBAAH M, CAPUTO L, et al. Basil essential oil: composition, antimicrobial properties, and microencapsulation to produce active chitosan films for food packaging[J]. Foods, 2021, 10(1): 121.
- [13] 尤新军. 黄精中低极性部分化学成分及其抑菌活性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2009: 16-27.
YOU X J. Study on the chemical constituents of the low polarity and antibacterial activities of *Polygonatum sibiricum* red[D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2009: 16-27.
- [14] 陈鑫沛, 董颖, 杨浩铎, 等. 薤菜精油对葵花籽油氧化稳定性的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(3): 49-52.
CHEN X P, DONG Y, YANG H D, et al. Effect of the essential oils of *Ipomoea aquatica* forsskal on the oxidation stability of sunflower seed oils during storage[J]. China Condiment, 2022, 47(3): 49-52.
- [15] 曲梦锐, 刘雨辰, 曹恺洋, 等. 壳聚糖与芫荽精油复合涂膜在草莓常温贮藏中的应用[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(6): 114-119.
QU M R, LIU Y C, CAO K Y, et al. Application of chitosan and coriander essential oil composite coating in ambient storage of strawberries[J]. Food Research and Development, 2024, 45(6): 114-119.
- [16] 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, 2023, 44(11): 167-176.
ZHONG Q X, ZHENG H Y, ZHU Y L, et al. Preparation of thymol-containing microcapsules and its application in strawberry preservation[J]. Food Science, 2023, 44(11): 167-176.
- [17] BELAY Z A, MASHELE T G, BOTES W J, et al. Effects of zein-nisin edible coating on physicochemical and microbial load of 'granny smith' apple after long term storage[J]. CyTA-Journal of Food, 2023, 21(1): 334-343.
- [18] HUQUE R, WILLS R B H, PRISTIJONO P, et al. Effect of nitric oxide (NO) and associated control treatments on the

- metabolism of fresh-cut apple slices in relation to development of surface browning[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 78: 16-23.
- [19] 李阳. 负载肉桂精油 Pickering 乳液的壳聚糖/鱼明胶膜的制备、理化性能及对鲜切苹果的保鲜研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2023: 12-23.
LI Y. Preparation and physicochemical properties of chitosan/fish gelatin films loaded with cinnamon essential oil Pickering emulsion and fresh-cut apple preservation[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2023: 12-23.
- [20] 刘香军. 壳聚糖精油生物涂膜剂对苹果保鲜效果的研究[J]. *中国果菜*, 2015, 35(4): 12-16.
LIU X J. Effect of chitosan oil biological coating agent on apple preservation[J]. *China Fruit & Vegetables*, 2015, 35(4): 12-16.
- [21] 栗博文. 贮藏前不同涂膜处理对糖心苹果货架期品质的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2024: 8-36.
LI B W. Effect of different coating treatment on shelf life quality of candy apple before storage[D]. Alar: Tarim University, 2024: 8-36.
- [22] 梁迪, 杨曦, 郭玉蓉. 不同浓度苹果多酚对壳聚糖复合膜液理化性质的影响[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(14): 2 799-2 813.
LIANG D, YANG X, GUO Y R. Effects of different concentrations of apple polyphenols on the physicochemical properties of chitosan membrane fluids[J]. *Chinese Agricultural Science*, 2018, 51(14): 2 799-2 813.
- [23] 陈刚, 马晓, 谢梦淑. 富士苹果多酚氧化酶特性及褐变抑制研究[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(6): 1 107-1 110.
CHEN G, MA X, XIE M S. Study on the polyphenol oxidase properties and browning inhibition of Fuji apple[J]. *Hubei Agricultural Science*, 2017, 56(6): 1 107-1 110.
- [24] 普红梅, 李宏, 杨芳, 等. 一种熏蒸生菜保鲜方法: CN111011475A[P]. 2020-04-17.
PU H M, LI H, YANG F, et al. A method of preserving lettuce by fumigation: CN111011475A[P]. 2020-04-17.
- [25] FENG S H, YI J Y, LI X, et al. Systematic review of phenolic compounds in apple fruits: compositions, distribution, absorption, metabolism, and processing stability[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(1): 7-27.
- [26] 杜津. 柚子精油微胶囊的制备及其在鲜切苹果保鲜中的应用[D]. 重庆: 西南大学, 2021: 46-57.
DU J. Preparation of pomelo essential oil microcapsule and its application on the preservation of fresh-cut apples[D]. Chongqing: Southwest University, 2021: 46-57.
- [27] GUERREIRO A C, GAGO C M L, FALEIRO M L, et al. The effect of edible coatings on the nutritional quality of 'bravo de esmolfe' fresh-cut apple through shelf-life[J]. *LWT*, 2017, 75: 210-219.
- [28] SUN R, HAN Y N, SWANSON J M J, et al. Molecular transport through membranes: accurate permeability coefficients from multidimensional potentials of mean force and local diffusion constants[J]. *The Journal of Chemical Physics*, 2018, 149(7): 072310.
- [29] 高保卫, 廖珏, 董艳玲, 等. 不同中药提取物对苹果采后保鲜活性筛选[J]. *天然产物研究与开发*, 2016, 28(11): 1 718-1 723.
GAO B W, LIAO J, DONG Y L, et al. Evaluation of fresh-keeping activity of Chinese herbal medicine extracts on postharvest apple fruits[J]. *Natural Product Research and Development*, 2016, 28(11): 1 718-1 723.