

苹果幼果果胶涂膜处理对冬枣保鲜效果的影响

王早兰¹ 夏文慧¹ 侯满伟² 宋 辉² 李佳雪³ 王 飞² 薛 佳^{1,4}

(1. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710119; 2. 陕西省果业研究发展中心, 陕西 西安 710018; 3. 安塞区果业技术服务中心, 陕西 延安 717499; 4. 西部果品资源高值利用教育部工程研究中心, 陕西 西安 710119)

摘要: [目的] 研究苹果幼果果胶(YAP)涂膜处理对冬枣贮藏期间的保鲜效果。[方法] 以大荔冬枣为试材, 分别采用质量分数为1%的YAP、商品柑橘果胶(CP)和商品苹果果胶(AP)对其进行涂膜, 并对冬枣在贮藏期间的品质及生理指标进行分析。[结果] 果胶涂膜处理组果实的失重率、腐烂率、转红率和抗坏血酸损耗等均低于对照组, 其中YAP处理组的效果最为显著, 尤其是在降低果实失重率、硬度、腐烂率以及转红率等方面。[结论] YAP能有效延缓冬枣的腐败变质。

关键词: 冬枣; 苹果幼果; 果胶; 保鲜; 品质

Effect of young apple pectin coating on preservation of winter jujube

WANG Zaolan¹ XIA Wenhui¹ HOU Manwei² SONG Hui² LI Jiaxue³ WANG Fei² XUE Jia^{1,4}

(1. College of Food Engineering & Nutritional Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China; 2. Shaanxi Fruit Industry Research and Development Center, Xi'an, Shaanxi 710018, China; 3. Ansai Fruit Industry Technical Service Center, Yan'an, Shaanxi 717499, China; 4. Engineering Research Centre of High-value Utilization of Western Fruit Resources, Ministry of Education, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

Abstract: [Objective] To research the preservation effects of young apple pectin (YAP) coating treatment on winter jujubes during storage. [Methods] Dali winter jujubes were used as the experimental material, and they were coated with 1% (mass fraction) YAP, commercial citrus pectin (CP), and commercial apple pectin (AP). The quality and physiological indicators of the winter jujubes during storage were measured and analyzed. [Results] The weight loss, decay rate, reddening rate, and ascorbic acid loss in the pectin-coated groups are all lower than those in the control group, with the YAP treatment group showing the most significant effects, particularly in reducing the weight loss, firmness, decay rate, and reddening rate of the fruit. [Conclusion] YAP can effectively delay the rotting and deterioration of winter jujubes.

Keywords: winter jujube; young apple; pectin; preservation; quality

冬枣(*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao)由于果皮薄、肉质脆, 采后极易出现失水皱缩、软化腐烂等现象。涂膜保鲜是采后防腐保鲜的重要手段之一, 近年来, 天然生物大分子材料如多糖类物质因其独特优势被广泛应用于果蔬涂膜保鲜研究中^[1]。果胶是一种结构复杂的阴离子多糖, 可根据结构差异分为同型半乳糖醛酸聚糖(HG)、鼠李半乳糖醛酸聚糖 I(RG-I)和鼠李半乳糖醛酸聚糖 II(RG-II)等^[2], 商业果胶主要来源于柑橘皮和苹果渣, 通常

在果胶生产过程中为提升凝胶性能会去除RG-I区域, 因此商品果胶中HG区域占比较高(>65%)^[3]。然而, 越来越多研究表明富含RG-I区域的果胶具有更优异的生理活性^[4], 且在新型优质天然乳化剂^[5]和凝胶剂^[6]开发中展现出巨大潜力。目前, 用于涂膜的果胶多为HG型果胶^[7], 富含RG-I区域的果胶在涂膜保鲜中的应用仍鲜有报道。

中国苹果产量和种植面积均居世界首位, 每年疏除的苹果幼果数量巨大。为了对苹果疏除幼果资源进行开

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:32001754); 陕西省重点研发计划项目(编号:2021NY-149); 国家现代农业产业技术体系建设项目(编号:CARS-30-ZZ-20); 国家重点研发计划资助(编号:2023YFD2301000)

通信作者: 薛佳(1986—), 女, 陕西师范大学副教授, 博士。E-mail: cathyxue0727@snnu.edu.cn

收稿日期: 2025-05-07 **改回日期:** 2025-11-16

引用格式: 王早兰, 夏文慧, 侯满伟, 等. 苹果幼果果胶涂膜处理对冬枣保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2026, 42(4): 130-135.

Citation: WANG Zaolan, XIA Wenhui, HOU Manwei, et al. Effect of young apple pectin coating on preservation of winter jujube[J]. Food & Machinery, 2026, 42(4): 130-135.

发利用, Younis 等^[8]将从富士苹果幼果中提取的果胶(YAP)与商品柑橘果胶(CP)和商品苹果果胶(AP)进行结构和性能对比分析,发现富士苹果幼果果胶富含RG-I区域,其相对分子质量显著高于商品果胶,而高相对分子质量可降低果胶分子流动性、增加成膜厚度,且抗拉伸强度和热稳定性优于商品果胶。在表面水接触角与水蒸气阻隔性能方面,YAP的水接触角 $>100^\circ$,呈现较强的疏水性,商品果胶的水接触角约为 90° ,呈现较强的亲水性,且YAP与CP的水蒸气透过率均高于AP,具有优良的成膜性能。

目前,有关研究多围绕果胶与其他物质复合(壳聚糖等)^[9]或直接以含果胶的木质纤维素纳米纤维^[10]等对果蔬进行涂膜包装,并未直接研究YAP对果蔬的涂膜贮藏效果,因此其在果蔬涂膜保鲜中的应用效果尚不清楚。研究拟以大荔冬枣为试材,分别采用YAP和两种市售果胶(AP和CP)进行涂膜处理,综合评价富含RG-I区域的YAP涂膜对冬枣的保鲜效果,为冬枣采后贮藏保鲜提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

冬枣:挑选大小均一、无机械损伤与病虫害,色泽相对一致的白熟期青枣,常温(25°C 左右)贮藏,采摘于陕西大荔地区果园;

富士苹果幼果:于 -20°C 贮藏,采收于陕西省白水;

商品苹果果胶(AP):美国Sigma公司;

商品柑橘果胶(CP):上海笛医生物科技有限公司;

盐酸、三氯乙酸、氢氧化钠、硫代巴比妥酸、无水乙酸钠:分析纯,天津福裕化工有限公司;

亚油酸钠:分析纯,源叶生物科技有限公司;

戊二醛:分析纯,阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.1.2 仪器与设备

恒温磁力搅拌器:DF-101S型,郑州杜甫仪器厂;

pH计:FE-28 Standard型,美国梅特勒-托利多公司;

全波长酶标仪:SpectraMax ABS Plus型,美国Molecular Devices公司;

质构分析仪:TA-XT Plus型,英国Stable Micro Systems公司;

离心机:SC-3610型,安徽中科中佳科学仪器有限公司;

手持折光仪:AL-1型,日本Atago公司。

1.2 试验方法

1.2.1 YAP的制备 参照Zhou等^[2]的方法稍作修改。取40 g经冷冻干燥并去除脂肪类和醇溶性杂质的苹果幼果果粉,与600 mL柠檬酸溶液(pH 1.5)混匀, 85°C 、240 W超声处理40 min, $4\ 000\times g$ 离心10 min,向上清液中加入4倍体积95%乙醇,静置过夜,收集沉淀物,于 45°C 重新溶解, 50°C 旋转蒸发浓缩,蒸馏水中透析72 h,冷冻干燥

48 h,得到苹果幼果果胶样品。

1.2.2 样品处理 将冬枣清洗干净,自然晾干后随机分为4组,分别于质量分数为1%的YAP、AP和CP溶液中浸泡3 min,以蒸馏水作为对照组(CK),晾干,装入保鲜袋,于 $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度85%贮藏35 d,每5 d随机取40颗果实进行贮藏生理、品质指标测定。

1.2.3 苹果幼果果胶纯度测定 参照梁伟等^[11]的方法,苹果果胶与柑橘果胶纯度均为65%。

1.2.4 苹果幼果果胶多酚含量测定 参照翟玉梅等^[12]的方法并稍作修改。取0.03 g果胶于10 mL容量瓶中,用蒸馏水定容。取0.5 mL果胶溶液,依次加入Folin-Ciocalteu显色剂及 Na_2CO_3 溶液,用蒸馏水定容,室温反应2 h,测定760 nm处吸光度值,根据标准曲线计算苹果幼果果胶中总多酚含量,结果以没食子酸当量(GAE)(mg GAE/g)表示。

1.2.5 腐烂率测定 参照周慧娟等^[13]的方法,随机取35颗冬枣进行观察,若出现机械损伤、腐烂变质、菌斑、霉点等现象,则为坏果,统计烂果数量,按式(1)计算腐烂率,重复3次取平均值。

$$R = \frac{N_0 - N_1}{N_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y ——腐烂率,%;

N_0 ——初始果数,个;

N_1 ——好果数,个。

1.2.6 失重率测定 随机抽取4组样品,每组15颗,常温单果贮藏,每5 d称重,按式(2)计算失重率,结果取平均值。

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

W ——失重率,%;

m_1 ——初始果实质量,g;

m_2 ——取样当天果实质量,g。

1.2.7 转红率测定 参照Zhang等^[14]方法并稍作修改。每组选取35颗冬枣,按照红色表皮面积分为5个等级,0:红色面积 $\leq 1/8$;1: $1/8 <$ 红色面积 $\leq 1/4$;2: $1/4 <$ 红色面积 $\leq 1/2$;3: $1/2 <$ 红色面积 $\leq 3/4$;4: $3/4 <$ 红色面积,重复3次取平均值。按式(3)计算转红率。

$$R = \frac{\sum m_i \times n_i}{M \times N} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

R ——转红率,%;

m_i ——转红级数,级;

n_i ——该级别果实转红个数,个;

M ——最高转红级别,级;

N ——果实总数,个。

1.2.8 硬度测定 采用质构仪进行分析。探针速度 1 mm/s, 穿刺深度 5 mm。每次取 5 个果实, 选取 3 个位置点测量硬度。

1.2.9 可溶性固形物含量测定 随机取 5 颗冬枣, 去核后榨汁, 用 200 目纱布挤出果汁, 用手持式折光仪进行测定, 重复测定 5 次取平均值。

1.2.10 可滴定酸含量测定 参照高育文等^[15]的方法并稍作修改。称取 5.0 g 冬枣果肉, 榨汁后转移至 100 mL 容量瓶, 用蒸馏水冲洗榨汁机 2~3 次, 一并转移到容量瓶定容, 静置 30 min 后过滤。吸取 20.0 mL 滤液, 加入 2 滴 1% 酚酞溶液作为指示剂, 用 0.1 mol/L NaOH 溶液进行滴定, 记录 NaOH 溶液消耗量, 重复试验 3 次, 以蒸馏水代替滤液作为空白。

1.2.11 抗坏血酸含量测定 参照曹建康等^[16]的方法稍加改动。称取 10.0 g 冬枣果肉于研钵, 加少许 2% 盐酸溶液, 冰浴下研磨成浆, 转移至 100 mL 容量瓶, 用 2% 盐酸溶液冲洗研钵 2~3 次, 转移至容量瓶, 定容, 静置 10 min 后过滤, 取滤液备用。加入 0.5 mL 1% 的 KI 溶液, 2.0 mL 0.5% 淀粉溶液, 5.0 mL 滤液和 2.5 mL 蒸馏水, 摇匀, 用 1 mmol/L 碘酸钾溶液进行滴定, 重复试验 3 次, 以 5.0 mL 2% 盐酸溶液代替滤液作空白。

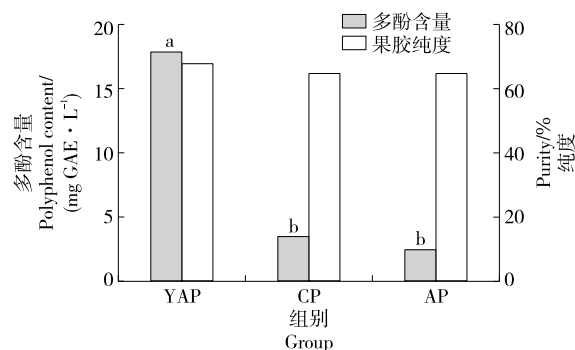
1.3 数据处理

所有试验均重复 3 次。采用 Origin 2018 软件作图, 使用 SPSS 22.0 软件进行数据统计学分析, 组间采用单因素方差分析 (ANOVA) 和 Duncun's 多重比较方法检验 ($P < 0.05$) 进行比较。

2 结果与分析

2.1 苹果幼果果胶纯度及多酚含量

由图 1 可知, YAP 的纯度为 68.1%, 而 AP 和 CP 纯度均为 65.0%; YAP 的多酚含量显著高于 AP 和 CP。这可能源于苹果幼果中多酚含量的天然优势, 其多酚含量约为成熟苹果的 10 倍^[17]。



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

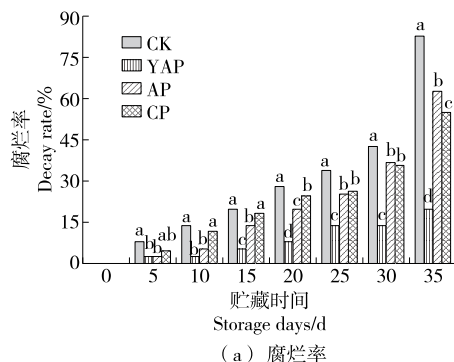
图 1 果胶纯度及多酚含量

Figure 1 Pectin purity and polyphenol content

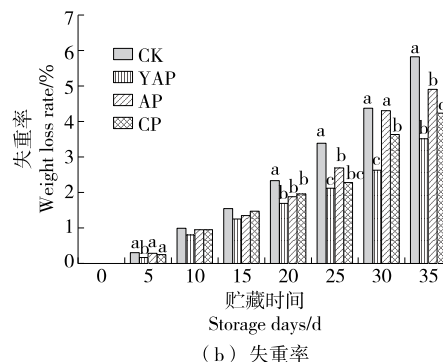
2.2 苹果幼果果胶对冬枣贮藏品质的影响

2.2.1 腐烂率和失重率 腐烂率是衡量果实保鲜效果的重要指标之一^[18]。由图 2(a)可知, 随着贮藏时间的延长, 果实腐烂率逐渐增大。贮藏前 20 d, 果实腐烂率增长速度相对缓慢, 贮藏后期, 果实腐烂率快速上升。贮藏第 35 天, CK 的腐烂率已达 82.9%, 而 YAP 的腐烂率降低了 62.9%, AP 和 CP 的腐烂率分别为 62.9% 和 55.2%。因此, YAP 涂膜对冬枣腐烂率的影响更显著, 可能是 YAP 中的抗菌物质如多酚含量更高, 有助于减少冬枣的腐烂。

贮藏过程中, 由于蒸腾作用和呼吸作用, 果品会出现失水现象^[19]。由图 2(b)可知, 随着贮藏时间的延长, 果实失重率增大。贮藏前 15 d, 果实失重率差异不显著; 贮藏第 20 天, 果胶涂膜组果实失重率明显低于 CK ($P < 0.05$), 同比下降了 15.6~27.0 个百分点; 贮藏第 35 天, CK 的失重率为 5.9%, 而 YAP、CP 和 AP 的失重率分别为 3.6%、4.9%、4.3%; 贮藏第 30 天, 与 CP 和 AP 相比, YAP 的涂膜效果更显著 ($P < 0.01$), 该果实失重率与 CK 相比下降了 39.4%, 而 CP 和 AP 仅下降了 15.7% 和 16.4%。这可能与 YAP 富含 RG-I 区域, 具有大量的中性糖侧链, 侧链缠结能够促进更紧密的分子排布, 有助于增强分子间作用力, 从而形成



(a) 腐烂率



(b) 失重率

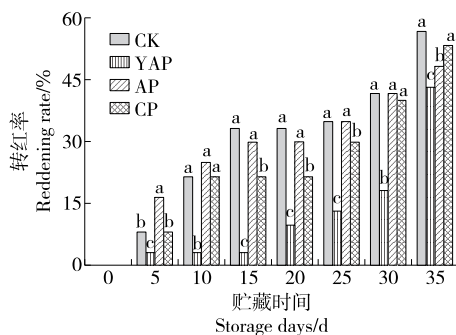
小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 不同涂膜处理对果实腐烂率和失重率的影响

Figure 2 Effect of different coating treatments on decay rate and weight loss rate of jujube fruits

更为致密的三维网络结构有关^[20]。

2.2.2 转红率 冬枣在后熟过程中颜色逐渐转红,因此转红率能直观地反映果实的成熟度^[21]。由图3可知,随着贮藏时间的延长,果实转红率逐渐增加,但涂膜处理对果实转红程度影响存在差异。贮藏前15 d,AP可促进果实转红,与CK相比,AP的转红率提高了15.4%~100.1%,而YAP的降低了60.0%~90.0%。贮藏后期(20~35 d),AP和CP对果实转红效果不明显,而YAP的果实转红率降低了23.5%~61.9%,明显低于CK($P<0.01$),可能是YAP对果实呼吸具有抑制作用,延缓了果实的转红速率,同时YAP中的多酚类物质抑制了果实表皮的氧化,减缓了果实表皮氧化褐变速率。因此,YAP处理能够延缓果实色泽转红。



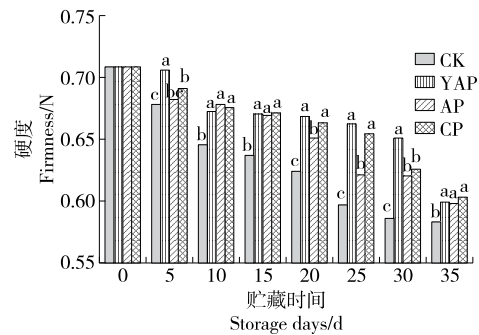
小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图3 不同涂膜处理对果实转红率的影响

Figure 3 Effect of different coating treatments on reddening rate of jujube fruits

2.2.3 硬度 硬度是评价果实质地、衡量贮藏效果的重要指标^[22]。贮藏过程中,果实细胞壁中的原果胶会逐渐转化分解,同时淀粉酶、纤维素酶等多种酶类参与代谢,促使果胶结构物质分解,以及水分的流失等均会导致果实硬度降低^[23]。由图4可知,贮藏开始时,果实硬度为0.7 N,随着贮藏时间的延长,果实硬度逐渐降低。与CK相比,果胶涂膜组果实硬度降低趋势相对平缓,说明果胶涂膜处理能有效减缓果实硬度下降,其中YAP对于维持果实硬度的效果更显著($P<0.01$);贮藏第30天,YAP果实硬度为0.6 N,比CK高11.0%。这可能是涂膜处理在果实表面形成的物理屏障能够限制内外气体交换,降低果实的生理代谢活动,延缓果实硬度的降低^[24];此外,涂膜处理可能会干扰与水果软化相关的酶促过程,并通过降低衰老过程中的代谢速率来保持水果的硬度^[25]。

2.2.4 可溶性固形物和可滴定酸 可溶性固形物含量是影响果实风味的重要指标^[26]。由图5(a)可知,随着贮藏时间的延长,可溶性固形物含量先升高后降低。贮藏前10 d,果实可溶性固形物含量均呈上升趋势,贮藏第10天,CP、AP、YAP和CK的可溶性固形物含量分别上升



小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

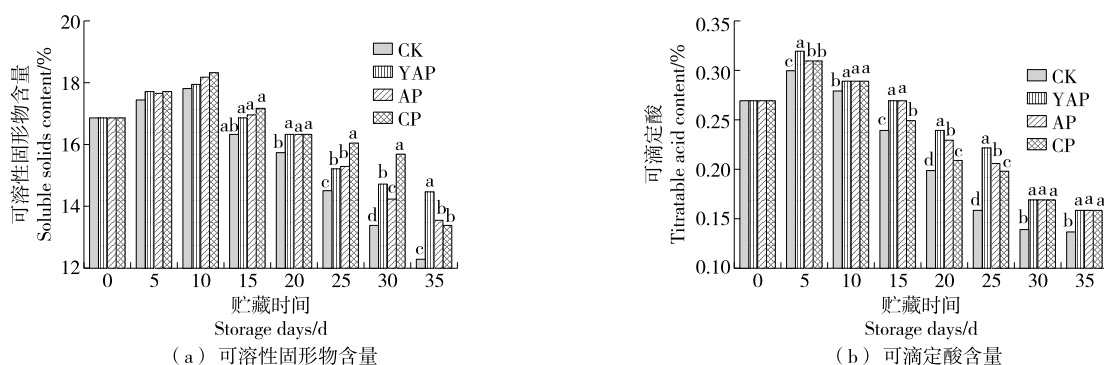
图4 不同涂膜处理对果实硬度的影响

Figure 4 Effect of different coating treatments on firmness of jujube fruits

至18.4%,18.2%,18.0%,17.9%,与第0天相比,CP和CK分别增加了8.9%和5.9%,但各组间无显著性差异。随后可溶性固形物含量开始下降,贮藏第20天,果胶涂膜组可溶性固形物含量均为16.4%,CK为15.8%;贮藏第20~30天,CP的可溶性固形物含量高于两种苹果果胶,从总体趋势来看,果胶涂膜组的可溶性固形物含量高于CK,可能是果胶涂膜能够降低果实的呼吸强度。

果实采后一些有机酸会分解为可滴定酸,导致其含量上升,随着呼吸强度的升高,可滴定酸会被消耗,含量降低^[27]。由图5(b)可知,随着贮藏时间的延长,各处理组可滴定酸含量先升高后降低。贮藏第5天,各处理组果实可滴定酸含量达到峰值,其中YAP的可滴定酸含量为0.3%;贮藏5~25 d,CK的可滴定酸含量下降速度高于其他3种处理组,下降了0.14个百分点,相比之下,YAP的仅下降了0.09个百分点;贮藏后期(25~35 d),各处理组下降趋势较为平缓,这是因为后期果实逐渐衰老,呼吸代谢减缓,可滴定酸消耗速度也因此减缓。总体来看,各处理组果实的可滴定酸含量高于CK,尤其是YAP,可能是YAP涂膜降低了冬枣的呼吸和其他代谢速率,从而减缓了可滴定酸分解成二氧化碳和水的速度^[28]。

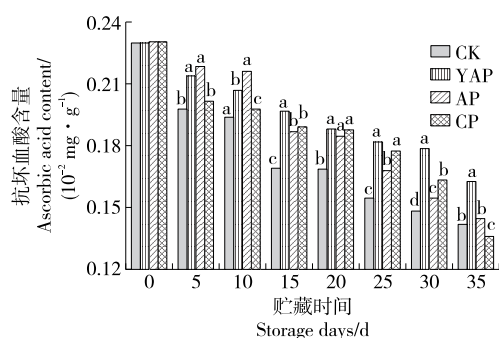
2.2.5 抗坏血酸 抗坏血酸与果实的色泽、风味等密切相关^[29],其能够清除植物代谢产生的自由基,减少细胞在膜脂过氧化作用下受到的损伤^[30]。由图6可知,贮藏期间,果实的抗坏血酸含量总体呈下降趋势。贮藏前10 d,CK的抗坏血酸含量下降了0.04 mg/100 g,为AP的1.57倍;贮藏10~35 d,YAP的抗坏血酸含量下降趋势较为平缓,下降了0.04 mg/100 g,比CK高11.3%~14.1%;贮藏第35天,YAP的抗坏血酸含量为0.16 mg/100 g,而CK、AP和CP的抗坏血酸含量分别为0.14、0.15、0.14 mg/100 g。综上,贮藏前35 d,各处理组果实抗坏血酸含量均高于CK,说明果胶涂膜对果实抗坏血酸含量下降有一定的延缓作用,表明果胶涂膜能有效抑制抗坏血酸的氧化分解。



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 5 不同涂膜处理对果实可溶性固形物含量和可滴定酸含量的影响

Figure 5 Effect of different coating treatments on soluble solids content and titratable acid content of jujube fruits



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 6 不同涂膜处理对果实抗坏血酸含量的影响

Figure 6 Effect of different coating treatments on ascorbic acid content of jujube fruits

3 结论

采用苹果幼果果胶、苹果果胶和柑橘果胶对冬枣果实进行了保鲜研究。结果表明,果胶涂膜处理能延缓冬枣果实软化,显著降低果实失重率、腐烂率、转红率和抗坏血酸损耗。其中,苹果幼果果胶处理组在保持冬枣果实品质及营养价值方面表现出明显的优势,贮藏 35 d 后,苹果幼果果胶涂膜组冬枣果实腐烂率、失重率和转红率最低,可溶性固形物含量高达 14.5%,抗坏血酸含量为 0.16 mg/100 g。综上,与商品果胶相比,苹果幼果果胶具有更优的综合性能,可以有效延缓冬枣的腐败变质,对冬枣具有更好的保鲜效果。该研究未明确苹果幼果果胶对冬枣保鲜的分子机制,后续可研究苹果幼果果胶对果蔬保鲜的分子机制及抑菌机制。

参考文献

[1] OLAWUYI I F, KIM S R, LEE W Y. Application of plant mucilage polysaccharides and their techno-functional properties' modification for fresh produce preservation[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 272: 118371.

[2] ZHOU J B, LIU D, XIA W H, et al. Physicochemical and functional properties of RG-I enriched pectin extracted from thinned-young apples[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 236: 123953.

[3] YANG J S, MU T H, MA M M. Optimization of ultrasound-microwave assisted acid extraction of pectin from potato pulp by response surface methodology and its characterization[J]. Food Chemistry, 2019, 289: 351-359.

[4] HU W W, CHEN S G, WU D M, et al. Physicochemical and macromolecule properties of RG-I enriched pectin from citrus wastes by manosonication extraction[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 176: 332-341.

[5] NECKEBROECK B, VERKEMPINCK S H E, VAES G, et al. Advanced insight into the emulsifying and emulsion stabilizing capacity of carrot pectin subdomains[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102: 105594.

[6] NIU H, DOU Z M, HOU K K, et al. A critical review of RG-I pectin: sources, extraction methods, structure, and applications [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2024, 64 (24): 8 911-8 931.

[7] NASTASI J R, KONTOGIORGOS V, DAYGON V D, et al. Pectin-based films and coatings with plant extracts as natural preservatives: a systematic review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 120: 193-211.

[8] YOUNIS H G R, ABDELLATIF H R S, YE F Y, et al. Tuning the physicochemical properties of apple pectin films by incorporating chitosan/pectin fiber[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 159: 213-221.

[9] SUN J J, CHEN R Q, ZHANG S, et al. Pectin-containing lignocellulosic nanofibers isolated from young apples enhance chitosan preservation film with robust mechanical and barrier properties[J]. Food Hydrocolloids, 2025, 162: 110978.

[10] ZHANG S, CHEN R Q, DING C F, et al. Fabrication of edible bio-nanocomposite coatings from pectin-containing lignocellulosic nanofibers isolated from apple pomace[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024,

- 279: 135030.
- [11] 梁伟, 矫继峰, 何赓源, 等. 柚子皮中果胶提取与纯度鉴定[J]. 当代化工研究, 2022(13): 28-30.
- LIANG W, JIAO J F, HE G Y, et al. Extraction and purity identification of pectin from pomelo peel[J]. Contemporary Chemical Research, 2022(13): 28-30.
- [12] 翟玉梅, 汤晓娟, 付晓, 等. 金银花无硫护色工艺优化及干燥技术比较[J]. 食品与机械, 2025, 41(7): 120-129.
- ZHAI Y M, TANG X J, FU X, et al. Optimization of sulfur-free color protection process and comparison of drying techniques for honeysuckle[J]. Food & Machinery, 2025, 41(7): 120-129.
- [13] 周慧娟, 周讯, 叶正文, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 D44 对桃采后病害及贮藏特性的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(1): 140-148.
- ZHOU H J, ZHOU X, YE Z W, et al. Effects of *Bacillus velezensis* D44 on postharvest diseases and storage characteristics of different peach fruit[J]. Food & Machinery, 2025, 41(1): 140-148.
- [14] ZHANG S Y, LI N. Effects of carbon monoxide on quality, nutrients and antioxidant activity of post-harvest jujube[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(5): 1 013-1 019.
- [15] 高育文, 陈国刚, 郭敏瑞, 等. “金花蜜 25 号”哈密瓜在不同贮藏温度下的品质变化[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 36-46.
- GAO Y W, CHEN G G, GUO M R, et al. Quality change of 'Jinhuami 25' cantaloupe under different storage temperatures[J]. Food Research and Development, 2022, 43(8): 36-46.
- [16] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 34.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experimental guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 34.
- [17] 杨雅利, 周雪如, 陈磊, 等. 苹果幼果果胶对体外模拟人体结肠微生物群的影响[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(5): 81-92.
- YANG Y L, ZHOU X R, CHEN L, et al. Effects of young apple powder on simulated human colonic microbiota *in vitro* [J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(5): 81-92.
- [18] 曹森, 李江阔, 马超, 等. ^{60}Co - γ 辐照结合 1-MCP 处理对蓝莓贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(8): 1 519-1 526.
- CAO S, LI J K, MA C, et al. Effects of ^{60}Co - γ irradiation combined with 1-MCP on storage quality of blueberry[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(8): 1 519-1 526.
- [19] CHANG X J, LIANG Y G, SHI F, et al. Biochemistry behind firmness retention of jujube fruit by combined treatment of acidic electrolyzed water and high-voltage electrostatic field[J]. Food Chemistry: X, 2023, 19: 100812.
- [20] WANG L M, ZHANG J, YUN X Y, et al. Effect of poly(L-lactic acid)/poly(ethylene glycol)-poly(L-lactic acid) block copolymer blend film on preservation of Chinese winter jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao)[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253: 126216.
- [21] JIANG Y X, ZHAO G Y, YANG X L, et al. Preparation and characterization of nano-SiO₂-modified emulsified film and its application for strawberry preservation[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2023, 40: 101181.
- [22] LI Q F, CHEN Q, YANG K, et al. ϵ -Poly-L-lysine/rhamnolipid bifunctional coating based on green electrostatic assembly technology for fruit packaging and preservation[J]. Chemical Engineering Journal, 2025, 503: 158425.
- [23] 王琼, 魏一娜, 郭慧慧, 等. INA 处理对冬枣采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 301-304.
- WANG Q, WEI Y N, GUO H H, et al. Effect of pretreatment with 2, 6-dichloroisonicotinic acid (INA) on postharvest physiology and quality of winter jujube during storage[J]. Food Science, 2014, 35(2): 301-304.
- [24] DOU J F, KOU X H, WU C E, et al. Recent advances and development of postharvest management research for fresh jujube fruit: a review[J]. Scientia Horticulturae, 2023, 310: 111769.
- [25] WANG C, CHEN C K, ZHAO X Y, et al. Propyl gallate treatment improves the postharvest quality of winter jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) by regulating antioxidant metabolism and maintaining the structure of peel[J]. Foods, 2022, 11(2): 237.
- [26] 周讯, 周慧娟, 黄灵湘, 等. 不同成熟度黄桃非冷害温度下耐贮性及风味差异性分析[J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 116-125.
- ZHOU X, ZHOU H J, HUANG L X, et al. Analysis of difference in storability and flavor of yellow peaches with different maturities at non-chilling injury temperatures[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 116-125.
- [27] 武继芸. 不同涂膜处理对冬枣贮藏品质和抗氧化活性的影响[D]. 天津: 天津大学, 2016: 21-22.
- WU J Y. Effects of coating treatments on storage quality and antioxidant capacity of *Ziziphus jujuba* Miller cv. Dongzao [D]. Tianjin: Tianjin University, 2016: 21-22.
- [28] LAN Y S, LIU Y, LI X, et al. Fucoidan-based coatings extend the shelf-life of nectarines[J]. Food Chemistry: X, 2024, 22: 101479.
- [29] 吴若臣, 应瑞峰, 邓智文, 等. 阿拉伯木聚糖、 β -D-葡聚糖和 α -纤维素涂层对杏果活性氧代谢的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(16): 204-212.
- WU R C, YING R F, DENG Z W, et al. Effects of arabinoxylan, β -D-glucan, and α -cellulose coating on reactive oxygen species metabolism in apricot fruits[J]. Food Science, 2024, 45(16): 204-212.
- [30] CELI G E A, GRATÃO P L, LANZA M G D B, et al. Physiological and biochemical roles of ascorbic acid on mitigation of abiotic stresses in plants[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2023, 202: 107970.