

1-MCP可控缓释包装纸对杏果实贮藏品质的影响

周嘉佳, 吴艳明, 张文乐, 李学文, 包晓玮, 王 英

Effect of 1-MCP Controlled Release Packaging Paper on Storage Quality of Apricot Fruit

ZHOU Jiajia, WU Yanming, ZHANG Wenle, LI Xuewen, BAO Xiaowei, and WANG Ying

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050127>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

1-甲基环丙烯对蓝靛果贮藏品质的影响

Effect of 1-Methylcyclopropene on the Storage Quality of *Lonicera caerulea* L.

食品工业科技. 2021, 42(19): 321-328

1-MCP处理对低温贮藏鲜姜品质和活性成分的影响

Effect of 1-MCP Treatment on the Quality and Active Ingredient of Ginger During Low Temperature Storage

食品工业科技. 2020, 41(12): 281-285

1-MCP处理对库尔勒香梨货架期香气成分及品质的影响

Effects of 1-MCP Treatment on Aroma Components and Quality of Korla Fragrant Pear Fruits during Shelf Life

食品工业科技. 2018, 39(18): 230-237

1-MCP结合PVC对小包装青脆李果实常温贮藏品质的影响

Effects of 1-MCP Combined with PVC on Storage Quality of Small Package of 'Qingcui' Plum Fruit at Room Temperature

食品工业科技. 2021, 42(5): 275-281

1-MCP结合生物保鲜剂对富士苹果贮后货架品质和生理变化的影响

Effects of 1-MCP Combined with Bio-preservatives on Shelf Life Quality and Physiological Changes of Fuji Apples after Storage

食品工业科技. 2018, 39(19): 266-271

1-MCP结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响

Effect of 1-MCP coupling with ethylene adsorbent treatment on storage quality and physiological of blueberry

食品工业科技. 2017(19): 265-271



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

周嘉佳, 吴艳明, 张文乐, 等. 1-MCP 可控缓释包装纸对杏果实贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 248–254. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050127

ZHOU Jiajia, WU Yanming, ZHANG Wenle, et al. Effect of 1-MCP Controlled Release Packaging Paper on Storage Quality of Apricot Fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 248–254. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050127

· 包装与机械 ·

1-MCP 可控缓释包装纸对杏果实 贮藏品质的影响

周嘉佳¹, 吴艳明², 张文乐¹, 李学文¹, 包晓玮¹, 王 英^{1,*}
(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052;
2. 新疆农业大学化学工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘 要: 本文以 1-甲基环丙烯 (1-Methylcyclopropene, 1-MCP) 为保鲜剂, 将其与不同比例的乙基纤维素 (Ethyl cellulose ether, EC) 和聚丙烯酸 (Polyacrylic acid, PAA) 混合匀浆后涂布至纸基上制成 1-MCP 可控缓释包装纸, 研究其释放机制, 并利用制作的 1-MCP 可控缓释包装纸处理在 2 °C 下贮藏的赛买提杏, 研究 1-MCP 可控缓释包装纸对杏果实贮藏过程中呼吸强度、硬度、可滴定酸、可溶性固形物、果皮颜色、商品率的影响, 以期得到一种能有效延长杏果实贮藏期的保鲜纸。结果表明, 在 95% RH, 2 °C 和 80% 聚丙烯酸的条件下, 1-MCP 粉末的颗粒塌陷使气体缓慢释放, 释放机制参数为 0.49, 释放速率随着 PAA 含量的升高而增大。1-MCP 可控缓释包装纸能抑制杏果实呼吸强度高峰的到来, 延缓硬度和可滴定酸和可溶性固形物含量的降低, 并保持果皮颜色。说明 1-MCP 可控缓释包装纸能有效保持在低温环境下贮藏的杏果实品质, 并为 1-MCP 可控缓释包装纸运用到其它果蔬的贮藏中提供一定的参考。

关键词: 活性包装, 1-甲基环丙烯, 缓释包装纸, 品质, 贮藏

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)02-0248-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050127

本文网刊:



Effect of 1-MCP Controlled Release Packaging Paper on Storage Quality of Apricot Fruit

ZHOU Jiajia¹, WU Yanming², ZHANG Wenle¹, LI Xuewen¹, BAO Xiaowei¹, WANG Ying^{1,*}

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. School of Chemical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In this paper, 1-methylcyclopropene (1-MCP) controlled release packaging paper was prepared by mixing 1-methylcyclopropene with different proportions of ethyl cellulose ether (EC) and polyacrylic acid (PAA) and then coating it on the paper base. The release mechanism was studied. Saimaiti apricot fruits stored at 2 °C were treated with 1-MCP controlled release packaging paper. The effects of 1-MCP controllable slow-release packaging paper on respiratory intensity, hardness, titratable acid, soluble solids, peel color and commodity rate of apricot fruit during storage were studied in order to obtain a kind of fresh-keeping paper which could effectively prolong the storage period of apricot fruit. The results showed that under the conditions of 95% RH, 2 °C and 80% polyacrylic acid (PAA), the particle collapse of 1-MCP powder made the gas release slowly, and the release mechanism parameter was 0.49, and the release rate increased with PAA content. Controlled release 1-MCP-coated paper could inhibit the arrival of the peak of respiration intensity of apricot fruit, delay the decrease of hardness, titratable acid and soluble solid content, and maintain the color of peel. The results showed that controlled release 1-MCP-coated paper could effectively maintain the quality of apricot fruits stored in low

收稿日期: 2021-05-17

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD1002300, 2019YFD1002301)。

作者简介: 周嘉佳 (1996-) (ORCID: 0000-0002-8142-239X), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: 1252565653@qq.com。

* 通信作者: 王英 (1984-) (ORCID: 0000-0001-7679-7800), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: wangying0926@xjau.edu.cn。

temperature environment, and would provide some reference for the application of controlled release 1-MCP-coated paper to the storage of other fruits and vegetables.

Key words: active coated; 1-methylcyclopropene; release coated paper; quality; storage

杏(*Prunus armeniaca* L.)是一种典型的呼吸跃变型水果,采收后能很快达到呼吸高峰,并迅速软化,从而限制了杏果实的采后贮藏期^[1-2]。如今,使用乙烯抑制剂来延缓果实的成熟是现在的普遍做法,1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)作为一种乙烯受体的抑制剂,具有延缓果实成熟和采后软化、减少冷害、提高抗病性等多种功能^[3-5]。研究发现,用 $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 熏蒸处理杏果实并冷藏可抑制杏果实的呼吸速率,延缓呼吸强度峰值的到来,延缓杏果实的软化过程并保持杏果实可接受的硬度,有效延长杏果实的采后贮藏期^[6-7]。

目前,1-MCP 主要是通过熏蒸的方式来处理果蔬,而将 1-MCP 与包装材料相结合的简便易行的活性包装方法也正在研究中,含 1-MCP 的水果保鲜活性包装的开发也获得了越来越多的关注^[8]。1-MCP 粉末可以嵌入包装材料中,从而提高 1-MCP 对氧气、温度和水分稳定性^[9]。Vicente 等^[10]开发了一种含有 1-MCP 的大豆蛋白可降解生物膜,发现这种生物膜延迟了番茄的软化和果胶的增溶作用,减少了腐烂率和番茄红素的积累,这使得其可以作为一种合适的番茄采后包装方法。Ariyanto 等^[8]使用紫胶作为涂料生产了一种 1-MCP 涂层纸,研究发现,在 4°C 时,将苹果存储在放入 1-MCP 涂层纸后的带孔膨胀聚苯乙烯(EPS)盒中会抑制乙烯的产生并延长苹果的保质期。

将 1-MCP 做成缓释包装材料,并通过果蔬自身呼吸作用产生的湿度使 1-MCP 从包装材料中缓慢释放出来的方法,是一种经济又方便的做法。可控缓释包装纸中 1-MCP 的动态释放主要受湿度的影响,湿度通过吸湿机制影响 1-MCP 的释放速率常数^[8,10]。但是,关于包装纸中 1-MCP 释放规律、释放速率的研究及其对果蔬等农产品质量影响的研究非常有限^[11]。因此,通过简易的方法制造一种能结合各种水果在贮藏期间不同要求来调控缓释速率的 1-MCP 可控缓释包装纸,能有望改善水果的常规包装方式,并在水果贮藏的经济和时间方面做出贡献。

本项工作将 1-MCP 粉末和不同比例的聚丙烯酸(Polyacrylic acid, PAA)、乙基纤维素(Ethyl cellulose ether, EC)混合匀浆后涂布制成 1-MCP 涂布纸,通过观察 1-MCP 在纸基上的持续释放行为和释放过程来选取一种合适比例制成 1-MCP 可控缓释包装纸应用于赛买提杏果实的冷藏,并分析 1-MCP 可控缓释包装纸对杏果实在低温贮藏期间品质的影响。探讨 1-MCP 可控缓释包装纸应用于杏果实采后贮运的可行性,同时为 1-MCP 可控缓释包装纸应用于其他呼吸跃变型果实提供一定依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

赛买提杏 于 6 月 20 日在新疆伊宁市当地的果园采摘,采摘时挑选没有受到损伤且大小形状相似的杏果实,以确保杏果实的形状、颜色和大小的一致性,杏果实在采摘后于 24 h 内运输至实验室,并在冷藏室(5°C , 95% RH)中预冷 24 h 后开始进行后续处理;1-MCP 为有效成分 0.14% 的 1-MCP/ α -环糊精复合物,美国 AgroFresh 公司;乙基纤维素 化学纯,国药集团化学试剂有限公司;无水乙醇、异丙醇 分析纯,天津市鑫铂特化工有限公司;过硫酸铵、丙烯酸 分析纯,天津市福晨化学试剂厂;氢氧化钠 分析纯,天津市致远化学试剂有限公司。

FEI Quanta 250 扫描电子显微镜 美国俄勒冈州希尔斯伯勒 FEI 公司;SP-3240A 气相色谱仪 北京北分瑞利分析仪器(集团)有限公司;ASU-2 超声波清洗机 日本 ASONE 株式会社;KFC-20 型全自动微量水分测定仪 山东淄博艾吉电气有限公司;三恩驰 SC-10 色差仪 深圳市三恩驰科技有限公司;GY-4 硬度计 中国乐清市艾德堡仪器有限公司;折光仪 日本爱宕光学工厂有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 1-MCP 可控缓释包装纸的制作 前期实验表明,直接使用乙基纤维素成膜时,1-MCP 乙基纤维素膜干燥时间较长,会导致有效成分 1-MCP 损失较大,而直接使用聚丙烯酸制成的缓释膜极脆易碎,导致缓释膜不易保存,所以考虑将其涂布在纸上制成 1-MCP 可控缓释包装纸。

分别将 0.5 g 的 1-MCP/ α -环糊精复合物添加到 1.6 g 不同比例的乙基纤维素和聚丙烯酸中(20%、40%、60%、80%,以 PAA 含量计算),溶于 40 mL 的 99% 乙醇(V/V),然后使用超声波清洗机溶解并分散以制成 1-MCP 浆液。

使用常规辊将 1-MCP 浆液均匀涂布到 200 cm^2 含 90% 以上纤维素的牛皮纸上,使每张 $2 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 牛皮纸中包含 0.025 g 1-MCP 粉末。然后将 1-MCP 涂布纸放入干燥箱中,在 50°C 下干燥 75 min 以蒸发掉溶剂,从而制得 1-MCP 可控缓释包装纸。真空包装 1-MCP 可控缓释包装纸,并将其存放在干燥器中直至使用。

1.2.2 1-MCP 可控缓释包装纸形态的观察 通过扫描电子显微镜分别观察刚干燥完成时(0 h)和在相对湿度为 95% 的密闭空间内放置 24 h 后的 1-MCP 可控缓释包装纸中 1-MCP 粉末形态。喷涂金后,将 1-MCP 可控缓释包装纸的样品放置在样品架上,调

节样品高度(样品不应高于样品架的上边缘),然后将其固定,抽真空后开始拍摄。通过扫描电镜图进行对比,观察 1-MCP 粉末前后的形态变化。

1.2.3 1-MCP 在纸基上的释放行为 1-MCP 响应湿度变化的释放实验方法参考 Ariyanto 等^[8]和 Rodríguez-Pérez 等^[12]的方法并进行改进。处理组:分别将包含约 0.025 g 1-MCP 粉末不同 PAA 含量(20%、40%、60%、80%)的 1-MCP 可控缓释包装纸(2 cm×5 cm)放在密封容器中的样品架上。对照组:将 0.025 g 1-MCP 粉末加入到含有 10 mL 蒸馏水的培养皿中,将培养皿放在密封容器中的样品架上作为熏蒸处理。密闭容器底部放置饱和硝酸钾溶液使密闭容器空间中产生所需的 95% RH,并使用 KFC-20 型全自动微量水分测定仪测量相对湿度。将所有密闭容器置于 2 ℃ 的温度下存储。

1-MCP 使用顶空气相色谱检测法检测:每隔 6 h 用气密注射器通过密闭容器顶部的橡胶隔垫将容器中部的的气体抽出,然后将其快速注入到配备有火焰电离检测器(FID)和 KB-TVOC 毛细管柱(100% 二甲基聚硅氧烷(PDMS),30 m×320 μm,1 μm)的气相色谱仪中,测定 1-MCP 含量。进样器、检测器及柱温分别为 130、150 和 100 ℃,载气流速为 25 mL/min,氢气流速为 20 mL/min,空气流速为 300 mL/min,进样量为 0.2 mL。

1-MCP 从纸基上释放的释放动力学行为可通过数学模型 Avrami 方程进行模拟^[8,13-14]:

$$R = \frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \exp[-(kt)^n] \quad \text{式 (1)}$$

式中: M_t 和 M_∞ 是在时间 t (s) 和无限时间处转移的物质的总量, g; R 是释放率, %; 为了缩短实验时间,将蒸馏水中释放的 1-MCP 粉末的量用作实验中转移的物质总量。 k 是 1-MCP 释放速率常数 [s^{-1}]; t 是释放时间 [s]; n 是释放机制的参数 [-]。 k 越大, 1-MCP 的释放过程越快^[15-16]。

1.2.4 1-MCP 可控缓释包装纸处理杏果实 将杏果实随机分组并放入密封袋中,每袋杏果实重 1 kg。基于前人对 1-MCP 处理杏果实的研究^[6,17],在装有杏果实的密封袋中放入 1-MCP 可控缓释包装纸(2 cm×5 cm, 1.0 μL·L⁻¹ 1-MCP)作为处理组;对照组则在含有杏果实的密封袋中放入同样规格的牛皮纸。将各组在 2 ℃ 和 95% 的相对湿度的环境中密封放置 4 d 后,在密封袋两侧各打一个直径为 1 mm 的小孔并继续贮藏过程。

贮藏期间每 7 d 取样一次,分析 1-MCP 可控缓释包装纸对储存期间杏果实理化性质的影响。

1.2.5 杏果实呼吸速率和理化指标的测定

1.2.5.1 杏果实呼吸速率的测定 根据程曦等^[18]的研究,使用“静置”方法,根据 CO₂ 吸收的基础,将杏果实贮藏期间的呼吸速率变化确定为 CO₂ mg·kg⁻¹·h⁻¹。

1.2.5.2 杏果实理化指标的测定 果实硬度的测定:参照张梦媛等^[19]的方法,沿每个果实赤道线取 3 个隔着相同距离的点,用装有标准硬度计探针(SS,直径 5 mm)的硬度计测量每个杏果实 3 个点的硬度,取平均值。

可溶性固形物含量的测定:参考张鹏等^[20]的方法并做修改,将杏果实打浆后取匀浆用 4 层纱布过滤,取滤液 0.2 mL 使用折光仪直接测量可溶性固体 SSC,结果表示为 °Brix。

可滴定酸含量的测定:参考曹建康等^[21]的方法,用 0.1 mol/L NaOH 滴定分析可滴定酸度(TA)。

每个处理中使用 10 个水果,重复 3 遍。

1.2.6 杏果实色泽的测定 用比色计测量杏果实表面的颜色。每组随机取 10 个杏果实沿赤道以 120° 的间隔选择 3 个点进行测量,重复 3 次。水果的颜色由 L^* (亮度)、 a^* (a^* 值表示红绿色度, a^* 值为正代表红色, a^* 值越大表示颜色越红)和 b^* (b^* 值表示黄蓝色度, b^* 值为正代表黄色, b^* 值越大表示颜色越黄)评估。

1.2.7 杏果实商品率的测定 杏果实中具有商业价值的杏果实数量定义为杏果实的商品率,具有商业价值的杏果实标准:腐烂率<10%[腐烂率(%)=(腐烂个数/总个数)×100],褐变面积<20%(褐变面积按果皮已经褐变的面积占果皮面积的百分比计算),并具有独特的杏果实味(成立 10 人的品评小组,评价两种处理杏果实香气和味感特征)。

1.3 数据处理

所有实验均进行三次重复实验,数据表示为平均值和标准差。使用 Tukey 的 HSD(显著差异)检验对数据进行分析,采用 SPSS ver. 18.0 软件进行统计分析(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 可控缓释包装纸的微观形态

图 1 显示了在 95% RH 湿度下不同时间时 1-MCP 可控缓释包装纸的结构和形态。图 1(a) 显示了 1-MCP 粉末的颗粒在开始时仍保持完整的形态,但是在 24 h 后,1-MCP 粉末在 95% RH 时变成聚集颗粒图 1(b)。这种聚集塌陷现象表明,水分渗透到 1-MCP 粉末中并改变其结构。

聚丙烯酸通常用作吸水剂,其通过吸收水分而引起环糊精表面的破裂,从而引起 1-MCP 的释放^[22-23]。Ariyanto 等^[8]的研究也有着类似的发现,水分子影响 1-MCP 涂布纸基紫胶溶液的变化结构,水分的吸收改变并破裂了环糊精的表面,并且 1-甲基环丙烯包合物粉末(1-methylcyclopropene inclusion complex, 1-MCP IC)的颗粒在 80% RH 下变成聚集颗粒。说明 PAA 作为一种吸水剂,它吸收环境中的水分会导致 α 环糊精表面破裂,从而改变 1-MCP 可控缓释包装纸中封装的 1-MCP 粉末的形态结构,从

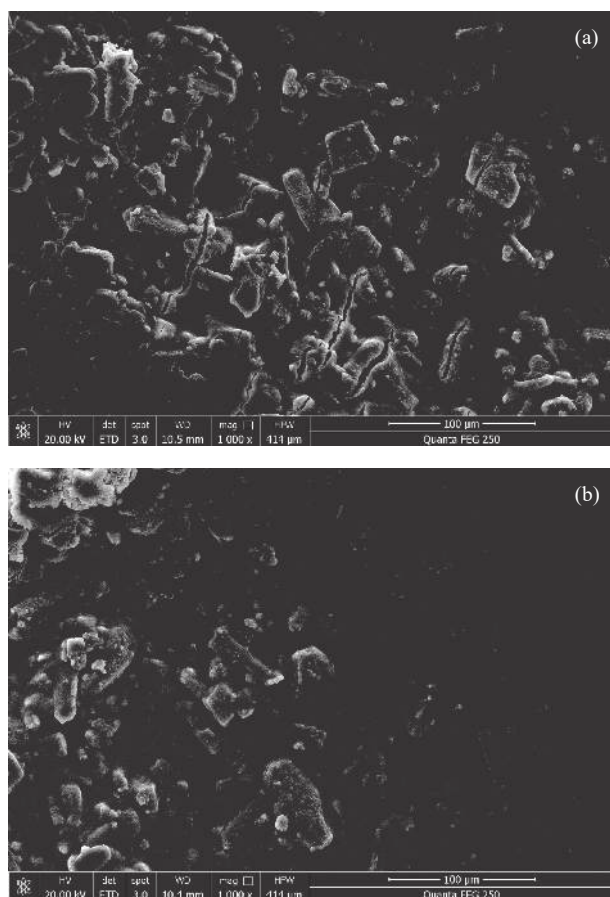


图 1 涂有 1-MCP 的纸张在不同时间的形态

Fig.1 Morphology of paper coated with 1-MCP at different time

注: (a): 0 h(1000×); (b): 24 h(1000×)。

而触发 1-MCP 的释放。而不同 PAA 和 EC 比例的涂层可以控制水分的吸附和渗透,因此可以利用不同 PAA 比例控制 1-MCP 的释放速率,从而制造出符合需要的 1-MCP 可控缓释包装纸。

2.2 1-MCP 可控缓释包装纸的释放特性

图 2 显示了 1-MCP 从涂布纸中的释放特性,在 95% RH 和 2 ℃ 的冷库条件下。1-MCP 粉末在遇到水后会迅速释放出来,而涂布纸中 1-MCP 会随着时间的推移而逐步释放出来,最终 80% 含量及丙烯酸

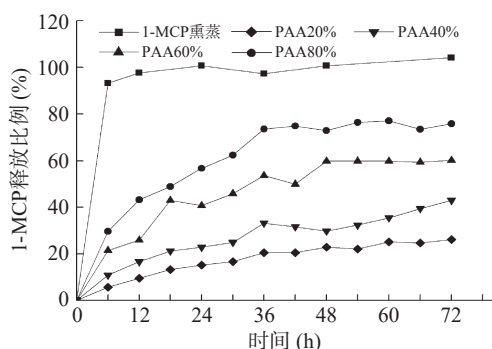


图 2 1-MCP 熏蒸和不同 PAA 含量可控缓释包装纸中 1-MCP 的累计释放率

Fig.2 1-MCP cumulative release rate of 1-MCP fumigation and different PAA content controlled release paper

的涂布纸在 95% RH 下 36 h 会达到释放终点(6 h 内浓度变化不超过 5%),其释放总量为粉末释放总量的 83%,这可能是由于生产涂布纸时涂布和分散等操作过程中造成的损失以及测试过程中的损耗。

在 RH 95% 和 2 ℃ 下 1-MCP 的释放参数机制 n 约为 0.49,通过绘制从 Avrami 方程中获得的 $\lg k$ 与 PAA 含量的关系,图 3 拟合了在不同 PAA 含量条件下 1-MCP 气体从缓释纸中释放的速率常数。 $\lg k=0.017x-4.24$ ($R_{Adj}^2=0.90$)。较高的 PAA 浓度将增加牛皮纸的 1-MCP 气体释放速率^[23-24]。Sootittanawat 等^[15] 获得了类似的结果,其发现水分活度对胶囊风味剂的释放速率有影响,随着颗粒表面水分含量的增加,风味物质从基质中的释放速率也随之增加。1-MCP 缓释纸纸基溶液的释放行为响应吸水分子聚丙烯酸的逐渐变化,从而可以开发出可控制的水果缓释功能包装。

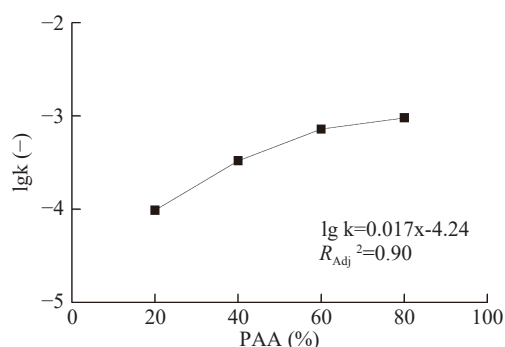


图 3 不同 PAA 含量可控缓释包装纸中 1-MCP 的释放速率常数

Fig.3 Release rate constants of 1-MCP controlled-release packaging paper with different PAA contents

2.3 1-MCP 可控缓释包装纸对杏果实呼吸强度的影响

杏果实是一种呼吸跃变型果实,呼吸强度是反映该果实食用品质和贮藏特性的关键指标^[25]。如图 4 所示,对照组(CK)和 1-MCP 可控缓释包装纸处理组的杏果实均出现了呼吸跃变,但是开始时间和呼

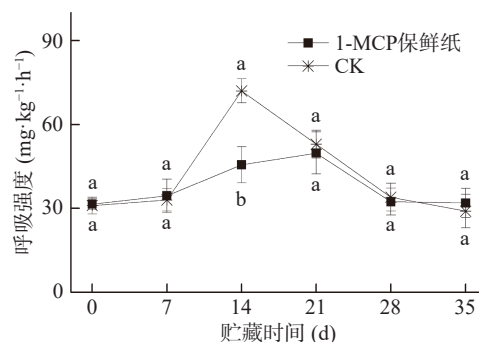


图 4 1-MCP 缓释纸处理对冷藏期间杏果实呼吸速率的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP sustained-release paper treatment on the respiration rate of apricot fruits during cold storage

注: 对于同一贮藏时间,不同小写字母表示不同样品数据存在显著性差异($P<0.05$);图 5~图 7 同。

吸高峰不同。对照组的杏子呼吸高峰出现在第14 d, 而1-MCP可控缓释包装纸处理组的杏子呼吸峰出现在第21 d, 该峰比对照组的峰值低31.4%(在第14 d)。说明处理组既可以抑制杏果实呼吸代谢速率, 又可以推迟呼吸高峰的到来。王瑞庆等^[26]的研究表明, 1-MCP熏蒸处理可以延迟赛买提杏果实贮藏期间呼吸速率, 推迟呼吸高峰的出现。1-MCP可控缓释包装纸处理也可以释放出1-MCP, 延缓杏果实的衰老。

2.4 1-MCP可控缓释包装纸对杏果实硬度、可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

硬度是评价果实品质的重要基础指标, 可作为衡量杏果实贮运特性的重要参数^[27]。图5(a)显示, 在冷藏期间, 杏的硬度显示出逐渐降低的趋势。对照杏的硬度从存储开始时的12.86 N降低到第35 d的4.2 N, 用1-MCP可控缓释包装纸处理的杏果实的硬度为7.2 N, 比对照提高了71.43%。结果表明在

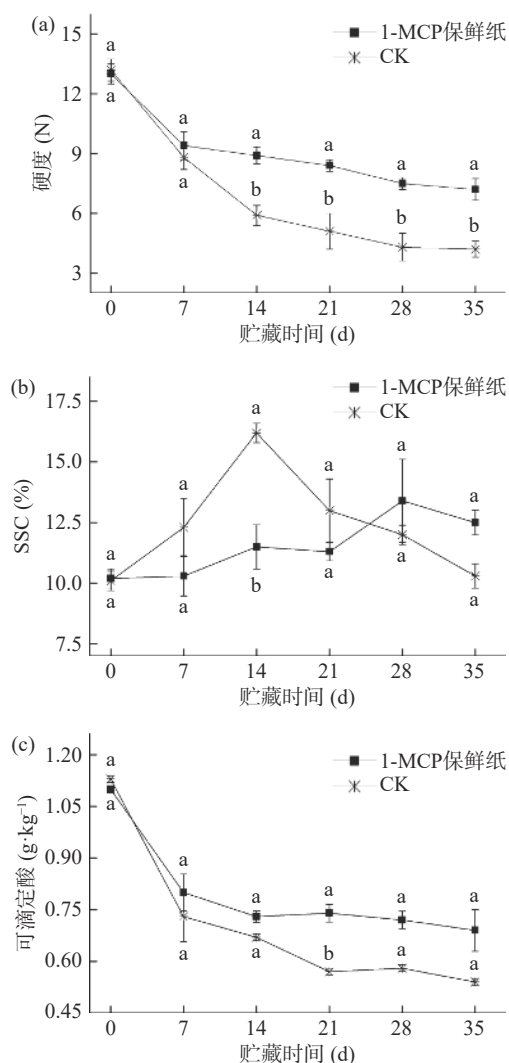


图5 1-MCP可控缓释包装纸对杏果实贮藏期间硬度(a)、SSC(b)和可滴定酸(c)含量的影响

Fig.5 Effect of 1-MCP controlled-release packaging paper on the hardness(a), SSC(b) and titratable acid(c) content of apricot fruit during storage

2℃下处理35 d后, 1-MCP可控缓释包装纸处理能显著抑制水果硬度的降低($P < 0.05$)。范新光等^[6]和吴斌等^[28]在1-MCP对杏紧实度的研究中有着相类似的结果, 因为1-MCP处理抑制了杏果实的乙烯生成并延迟了软化过程。

图5(b)显示了在各种处理下的杏果实储存过程中可溶性固体的变化模式是相似的。SSC在预存储期间逐渐增加, 然后在达到最大值后逐渐减少。1-MCP可控缓释包装纸处理的杏果实贮藏时可溶性固形物变化范围小于对照组, 贮藏期末可溶性固形物的含量为12.5%。在第14 d, 1-MCP可控缓释包装纸处理组与对照组的果实之间可溶性固形物含量的差异达到了显著水平($P < 0.05$)。贮藏结束时, 1-MCP保鲜纸组与对照组的果实可溶性固形物无显著性差异($P > 0.05$)。说明1-MCP可控缓释包装纸处理能有效地延迟了SSC的降低。

可滴定酸含量直接影响果实的酸度和口感, 其主要来源于果实中的有机酸, 一般果实发育完成后有机酸含量最高, 随着成熟与衰老其含量呈下降趋势, 主要原因是由于有机酸的分解大于合成, 作为基质参与呼吸和糖异生作用等^[29]。如图5(c)所示, 在整个贮藏期间, 杏的TA显示出总体下降的趋势。1-MCP可控缓释包装纸处理组中TA的降低率低于对照组, 表明1-MCP可控缓释包装纸处理组中TA的降低被从纸基中释放出来的1-MCP有效抑制, 这与Serradilla等^[30]用1-MCP熏蒸甜樱桃和Melnik等^[31]熏蒸苹果的结果类似。

2.5 1-MCP可控缓释包装纸对杏果实颜色的影响

果皮色泽的变化是反映果实的成熟度及新鲜度, 也是消费者在购买时衡量的重要指标。而果蔬在采后贮藏中, 往往由于呼吸作用, 外观表皮颜色会出现失绿发黄、果皮颜色暗淡等现象^[7]。 L^* 值反映为杏的果皮光泽度。杏 L^* 值的变化示于图6(a)。冷藏到第7 d时, 对照组杏果实的 L^* 值显著增加($P < 0.05$), 1-MCP可控缓释包装纸处理的杏无明显变化。7 d后, 对照杏的 L^* 值明显下降, 而1-MCP处理杏的 L^* 值变化相对较小。在储存结束时(35 d), 经1-MCP可控缓释包装纸处理后, 杏的 L^* 显著高于对照($P < 0.05$)。这表明1-MCP可控缓释包装纸处理可以保持杏皮的亮度。

a^* 值可表示果实成熟衰老过程颜色由绿到红的变化。 b^* 值表示从蓝到黄的变化。图6(b)~6(c)可见, 随着果实贮藏时间的延长, 对照杏的 a^* 和 b^* 值显著增加($P < 0.05$), 表明果实颜色经历了从绿色到红色的过程。1-MCP可控缓释包装纸处理延迟了 a^* 和 b^* 值的上升速度($P < 0.05$), 表明其对水果颜色的保存(绿色)具有显著影响。

2.6 1-MCP可控缓释包装纸对杏果实商品率的影响

商品率是储存和保存的最终含义。图7显示,

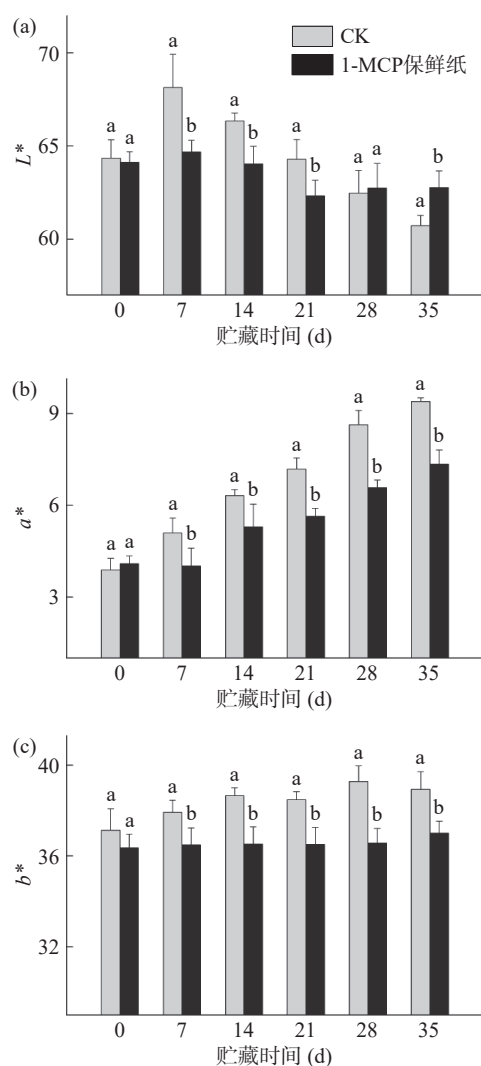


图 6 1-MCP 可控缓释包装纸对杏果实表面色度 L^* 值(a)、 a^* 值(b)和 b^* 值(c)的影响

Fig.6 Effect of 1-MCP controlled-release packaging paper on the L^* value (a), a^* value (b) and b^* value (c) of the surface color of apricot fruit

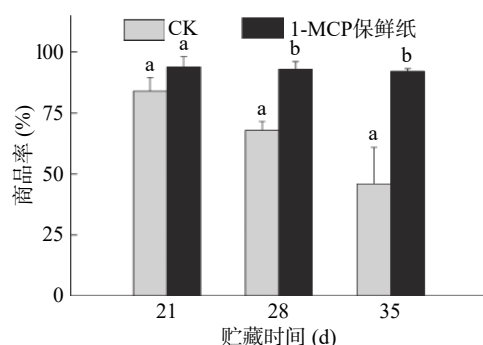


图 7 1-MCP 涂布纸处理对冷藏期间杏的商品率的影响

Fig.7 Effect of 1-MCP coated paper treatment on rate of apricot during cold storage

杏果实储存 35 d 后,对照组的商品率是 45.7%,而 1-MCP 可控缓释包装纸处理的商品率大于 92%。表明 1-MCP 可控缓释纸处理可以有效地保持杏在冷藏期间的商业价值。

3 结论

1-MCP 可控缓释包装纸在 95%RH 和 2 ℃ 的冷藏条件下,缓释纸上 1-MCP 粉末的结构会逐渐崩溃形成聚集颗粒,同时缓慢释放 1-MCP 气体。通过研究不同 PAA 含量制作的 1-MCP 可控缓释包装纸中 1-MCP 的释放过程发现,在 PAA 含量为 80% 的情况下,1-MCP 气体从纸基中释放的释放机制参数为 0.49;其释放速率随着 PAA 含量的升高而增大,其原因可能是由于聚丙烯酸的吸水性能比乙基纤维素更好。研究发现,1-MCP 可控缓释包装纸在杏果实的低温贮藏过程中有效释放了 1-MCP 气体,并能显著抑制杏果实的呼吸代谢速率,延缓杏果实硬度以及 TSS 和 TA 的降低,有效减缓杏果实果皮颜色 (L^* 、 a^* 、 b^*) 的变化,并保持商品率,提高杏果实的贮藏品质,综上所述,1-MCP 可控缓释包装纸可以替代 1-MCP 熏蒸来提升杏果实的贮藏品质。且可以依据 1-MCP 可控缓释包装纸中聚丙烯酸含量变化对 1-MCP 释放速率的影响,根据果蔬的具体情况将 1-MCP 可控缓释包装纸的释放速率进行相应调整,从而有望成为一种更加简便快捷的方法应用到更多呼吸跃变型果蔬的贮运中。1-MCP 处理浓度的选择基于前人使用 1-MCP 熏蒸杏时采用的参数^[6,17],为了获得最佳和/或最经济的商业保存效果,应进一步研究 1-MCP 处理不同果蔬时的时间和浓度。

参考文献

- [1] MORSY N E, RAYAN A M. Effect of different edible coatings on biochemical quality and shelf life of apricots (*Prunus armenica* L. cv Canino)[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, 13(4): 3173–3182.
- [2] 崔宽波, 范新光, 杨忠强, 等. 近冰点贮藏对小白杏采后品质和抗氧化能力的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(3): 238–244. [CUI K B, FAN X G, YANG Z Q, et al. Improved postharvest quality and antioxidant capacity of apricot (*Prunus armeniaca* L. cv. Xiaobai) during storage at near freezing temperature[J]. *Food Science*, 2019, 40(3): 238–244.]
- [3] SAKHALE B K, GAIKWAD S S, CHAVAN R F. Application of 1-methylcyclopropene on mango fruit (cv. Kesar): Potential for shelf life enhancement and retention of quality[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(2): 776–781.
- [4] ZHI H, DONG Y. Effect of 1-methylcyclopropene on superficial scald associated with ethylene production, α -farnesene catabolism, and antioxidant system of over-mature ‘d’Anjou’ pears after long-term storage[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2018, 11(9): 1775–1786.
- [5] BISWAS M S, NIWAS M H. Post-harvest shelf-life of banana and guava: Mechanisms of common degradation problems and emerging counteracting strategies[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 49: 20–30.
- [6] FAN X G, SHU C, ZHAO K, et al. Regulation of apricot ripening and softening process during shelf life by post-storage treatments of exogenous ethylene and 1-methylcyclopropene[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 232: 63–70.
- [7] LI L, LIANG L Y, LIANG L, et al. Effects of different

- treatments on pearl oil apricot during storage[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, 42(8): e13632.
- [8] ARIYANTO H D, CHIBA M, OGUMA K, et al. Release behavior of 1-methylcyclopropene coated paper-based shellac solution in response to stepwise humidity changes to develop novel functional packaging for fruit[J]. *Packaging Technology and Science*, 2019, 32(10): 523–533.
- [9] RIBEIRO SANTOS R, ANDRADE M, SANCHES SILVA A. Application of encapsulated essential oils as antimicrobial agents in food packaging[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2017, 14: 78–84.
- [10] VICENTE A R, ORTIZ C M, MAURI A N. Use of soy protein based 1-methylcyclopropene-releasing pads to extend the shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013, 20: 281–287.
- [11] CHEN M, CHEN X, RAY S, et al. Stabilization and controlled release of gaseous/volatile active compounds to improve safety and quality of fresh produce[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 95: 33–44.
- [12] RODRÍGUEZ PÉREZ L C, HARTE B, AURAS R, et al. Measurement and prediction of the concentration of 1-methylcyclopropene in treatment chambers containing different packaging materials[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2009, 89(15): 2581–2587.
- [13] NEOH T L, YAMAUCHI K, YOSHII H, et al. Kinetics of molecular encapsulation of 1-methylcyclopropene into α -cyclodextrin[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(26): 11020–11026.
- [14] HO T M, HOWES T, BHANDARI B R. Encapsulation of CO₂ into amorphous α -cyclodextrin powder at different moisture contents—Part 1: Encapsulation capacity and stability of inclusion complexes[J]. *Food Chemistry*, 2016, 203: 348–355.
- [15] SOOTTITANTAWAT A, YOSHII H, FURUTA T, et al. Effect of water activity on the release characteristics and oxidative stability of D-limonene encapsulated by spray drying[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(5): 1269–1276.
- [16] LI H, ZHANG B, LI C, et al. CO₂ inclusion complexes of granular v-type crystalline starch: Structure and release kinetics[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 145–151.
- [17] MORADINEZHAD F, JAHANI M. Effect of potassium permanganate, 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on postharvest losses and quality of fresh apricot cv. shahrودي[J]. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 2019, 2(Special Issue-Postharvest Losses): 39–48.
- [18] 程曦, 王英, 许禄鼎, 等. 模拟运输振动胁迫对赛买提杏果品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(14): 340–344, 349. [CHENG X, WANG Y, XU L D, et al. Effect of simulating transportation vibration stress on the quality of “Saimaiti” apricot fruits[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(14): 340–344, 349.]
- [19] 张梦媛, 白琳, 吕静祎, 等. 1-甲基环丙烯对采后南果梨果实软化的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(17): 206–211. [ZHANG M Y, BAI L, LV J Y, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on the postharvest softening of Nanguo pear fruits[J]. *Food Science*, 2018, 39(17): 206–211.]
- [20] 张鹏, 秦骅, 李江阔, 等. 1-MCP、乙烯吸收剂双控对富士苹果贮藏后货架品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(9): 179–188. [ZHANG P, QIN H, LI J K, et al. Effect of 1-MCP combined with ethylene absorbent on the shelf quality of Fuji apple after cold storage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(9): 179–188.]
- [21] 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: 28–30. [CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Guidelines for post-harvest physiological and biochemical experiments of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 28–30.]
- [22] YAMAMOTO C, NEOH T L, HONBOU H, et al. Kinetic analysis and evaluation of controlled release of D-limonene encapsulated in spray-dried cyclodextrin powder under linearly ramped humidity[J]. *Drying Technology*, 2012, 30(11–12): 1283–1291.
- [23] KUREK M, GUINAULT A, VOILLEY A, et al. Effect of relative humidity on carvacrol release and permeation properties of chitosan based films and coating[J]. *Food Chemistry*, 2014, 144(2): 9–17.
- [24] NEOH T L, YAMAUCHI K, YOSHII H, et al. Kinetic study of thermally stimulated dissociation of inclusion complex of 1-methylcyclopropene with α -cyclodextrin by thermal analysis[J]. *Journal of Physical Chemistry B*, 2008, 112(49): 15914–15920.
- [25] 吴芳, 周江, 朱允可, 等. 水杨酸和 1-甲基环丙烯处理对赛买提杏冷藏后货架期品质的影响[J]. *食品科技*, 2016, 41(3): 52–57. [WU F, ZHOU J, ZHU Y K, et al. Effect of SA and 1-MCP treatment on quality of the colded apricot (Saimaiti) fruits during shelf-life[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(3): 52–57.]
- [26] 王瑞庆, 冯建华, 魏雯雯, 等. 1-MCP 处理和气调贮藏对赛买提杏冷藏效果的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(20): 287–290. [WANG R Q, FENG J H, WEI W W, et al. Effect of 1-MCP and controlled atmosphere storage on preservation of apricot (*Prunus armeniaca* L. cv. Saimaiti)[J]. *Food Science*, 2013, 34(20): 287–290.]
- [27] 班兆军, 张晶琳, 刘海东, 等. 1-MCP 结合硅窗 MAP 对新疆木杏贮藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(3): 1–7, 14. [BAN Z J, ZHANG J L, LIU H D, et al. Effects of 1-MCP and MAP with silicone rubber film window on storage quality of Xinjiang apricot[J]. *Storage and Process*, 2018, 18(3): 1–7, 14.]
- [28] WU B, GUO Q, WANG G, et al. Effects of different postharvest treatments on the physiology and quality of ‘Xiaobai’ apricots at room temperature[J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2015, 52(17): 2247–2255.
- [29] 蒋依辉, 钟云, 曾继吾, 等. 杨梅成熟期间有机酸、糖的动态变化分析[J]. *食品科学*, 2013, 34(18): 235–238. [JIANG N H, ZHONG Y, ZENG J W, et al. Dynamic change of organic acids and sugars in bayberry fruits during ripening[J]. *Food Science*, 2013, 34(18): 235–238.]
- [30] SERRADILLA M J, FALAGÁN N, BOHMER B, et al. The role of ethylene and 1-MCP in early-season sweet cherry ‘Burlat’ storage life[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 258: 108787.
- [31] MELNYK O, DROZD O, MELNYK I. Storage and quality of apples ‘reinette simirenko’, depending on the dose of post-harvest treatment with ethylene inhibitor 1-MCP[J]. *Journal of Horticultural Research*, 2018, 26(2): 95–102.