

# 香茅精油及其复配精油微胶囊对红香酥梨 常温保鲜效果

曹嘉玥<sup>1</sup>,李慧敏<sup>1</sup>,李玲<sup>1,2</sup>,尤玲玲<sup>1,2</sup>,丁润锁<sup>3</sup>,闫师杰<sup>1,2\*</sup>

(1. 天津农学院 食品科学与生物工程学院,天津 300392;2. 天津市农副产品深加工技术工程中心,天津 300392;3. 天津市农业发展服务中心,天津 300061)

**摘要:**以红香酥梨为研究对象,β-环糊精(β-cyclodextrin)为壁材,香茅、香茅-月桂中草药精油为芯材,用喷雾干燥法将精油微胶囊化,作为保鲜剂应用于红香酥梨的常温保鲜,探究两种保鲜剂对红香酥梨生理生化指标的影响。结果表明,两种中草药精油微胶囊处理可以延缓红香酥梨采后的硬度、可溶性固形物含量的下降;减缓红香酥梨贮藏过程中色差、失重率、菌落总数的上升,推迟乙烯高峰的出现,保持较高的好果率,具有较好的保鲜效果。因此,香茅、香茅-月桂中草药精油微胶囊可以作为一种天然保鲜剂应用于红香酥梨的保鲜。

**关键词:**红香酥梨;中草药精油;β-环糊精;微胶囊;保鲜效果

## Effect of Citronella Essential Oil and Its Compound Essential Oil Microcapsules on Storage of Red Fragrant Pears at Normal Temperature

CAO Jiayue<sup>1</sup>, LI Huimin<sup>1</sup>, LI Ling<sup>1,2</sup>, YOU Lingling<sup>1,2</sup>, DING Runsuo<sup>3</sup>, YAN Shijie<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Food Science and Biological Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300061, China; 2. Tianjin Engineering and Technology Research Center of Agricultural Products Processing, Tianjin 300392, China; 3. Tianjin Agricultural Development Service Center, Tianjin 300061, China)

**Abstract:** β-cyclodextrin (β-CD) as wall material and citronella and citronella-laurel essential oils as core materials, the essential oils were microencapsulated by spray drying and used as fresh-keeping agents for red fragrant pears at normal temperature, to explore the effects of the two fresh-keeping agents on physiological and biochemical indicators of red fragrant pears. The results showed that microcapsules of the two Chinese herbal essential oils delayed the decrease in hardness and soluble solid of red fragrant pears after harvest, slowed down the increase in color difference, weight loss, and total bacterial count during the storage process of red fragrant pears, and delayed the appearance of ethylene peak, maintaining high good fruit rates and presenting desirable preservation effects. Therefore, citronella and citronella-laurel essential oil microcapsules could be used as natural preservatives for red fragrant pears.

**Key words:** red fragrant pear; Chinese herbal essential oil; β-cyclodextrin; microcapsules; preservation effect

引文格式:

曹嘉玥,李慧敏,李玲,等.香茅精油及其复配精油微胶囊对红香酥梨常温保鲜效果[J].食品研究与开发,2024,45(7):88-93.

CAO Jiayue, LI Huimin, LI Ling, et al. Effect of Citronella Essential Oil and Its Compound Essential Oil Microcapsules on Storage of Red Fragrant Pears at Normal Temperature[J]. Food Research and Development, 2024, 45(7): 88-93.

红香酥梨是以‘库尔勒香梨’和‘鹅梨’杂交培育而成的中晚熟型红皮梨品种<sup>[1]</sup>,其肉质酥脆、石细胞少、

汁多味甜、营养颇丰。研究发现,红香酥梨在采后贮藏期间或货架期内果皮易转黄且返糖油腻化,甚至出现

基金项目:天津市科技计划项目应用基础研究重点项目(20JCZDJC00420);2021年天津市研究生科研创新项目(2021XY004)

作者简介:曹嘉玥(1997—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品加工与安全。

\*通信作者:闫师杰(1971—),男,教授,博士,研究方向:农产品贮藏与加工、食品质量与安全。

果心褐变现象<sup>[2]</sup>,由链格孢菌引起的梨黑斑病是世界范围内的重要病害<sup>[3-5]</sup>,引起红香酥梨贮藏期病害的链格孢菌属于细链格孢,在贮藏过程中会引起果实组织腐烂,造成品质损失,这严重制约了红香酥梨产业的健康发展<sup>[6]</sup>。

目前,红香酥梨的保鲜方法有气调贮藏法、低温保鲜法、化学保鲜法等<sup>[7]</sup>,这些方法在一定程度上可延长红香酥梨的贮藏期,但存在成本高、化学剂残留等问题,不利于人体健康。因此,研发高效、无毒的中草药天然防腐保鲜剂已成为果蔬保鲜领域中的研究热点<sup>[8-9]</sup>。中草药精油不仅可用作天然真菌生长抑制剂、杀菌剂,还具有一定的生理功能,如香茅精油具有温中止痛、疏风通络、醒脑、抗癌等作用<sup>[10]</sup>;月桂精油具有抗氧化作用,可清除游离基,用作食品添加剂<sup>[11]</sup>,但由于中草药精油易挥发、不稳定、难溶于水等原因,一定程度上限制了精油的应用。因此可以通过微胶囊技术对中草药精油进行包埋,从而提高中草药精油的稳定性、水溶性,扩展中草药精油的应用范围<sup>[12]</sup>。

$\beta$ -环糊精( $\beta$ -cyclodextrin,  $\beta$ -CD)生物相容性好、无毒副作用,因此可广泛应用于医药、化妆品、食品等领域<sup>[13-14]</sup>。据研究报道,精油经 $\beta$ -CD包合后,提高了其有效成分的稳定性、抗微生物活性、抗氧化活性<sup>[15-16]</sup>。因此,将 $\beta$ -CD作为壁材对中草药精油进行微胶囊具有应用前景。Ge等<sup>[17]</sup>制备薄荷油- $\beta$ -CD-壳聚糖复合微胶囊,运用喷雾干燥的方法对其进行包埋,发现两种壁材结合包埋的薄荷油提高了微胶囊对精油的释放能力和保留能力。杨艳红等<sup>[18]</sup>以 $\beta$ -CD为壁材,利用4种包埋方法包埋山苍子精油,发现喷雾干燥法包埋的精油得率最高。喷雾干燥是将高压均质后的中草药精油乳液雾化成细小的喷雾再经高温蒸发水分后得到精油微胶囊粉末的一种工艺方法<sup>[19]</sup>。喷雾干燥生产成本低、可连续生产,是一种工业生产常用的干燥方式<sup>[20]</sup>。

本研究选择对链格孢菌有较强抑制效果的香茅精油、香茅-月桂精油为芯材, $\beta$ -CD为壁材,采用喷雾干燥法制备中草药精油微胶囊,用制备好的保鲜剂在常温下保鲜红香酥梨,通过菌落总数、失重率、可溶性固形物含量、硬度、色差、乙烯释放量等生理生化指标探讨天然保鲜剂对红香酥梨的保鲜效果,本研究结果将为 $\beta$ -CD包埋中草药精油保鲜红香酥梨提供参考,促进中草药精油微胶囊的保鲜应用及工业化生产。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

红香酥梨:于2022年10月采自天津市蓟州区罗庄子优质梨示范基地,选大小均匀、无病虫害,光滑无机械损伤的果实,当天运回天津农学院放置冷库内( $0.0\pm 0.5$ ) $^{\circ}\text{C}$ 低温贮藏。

香茅精油(纯级:99%)、月桂精油(纯级:99%):江西利康香料有限公司; $\beta$ -环糊精:上海源叶生物科技有限公司;谷氨酰胺转氨酶(180 U/g):郑州瑾创食品添加剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

电热恒温水浴锅(XMTD-7000):北京市永光明医疗仪器有限公司;小型喷雾干燥仪(B-290):青岛佳鼎分析仪器有限公司;电子分析天平(ME203/02):梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;显数型分散机(T25):通用机械有限责任公司;质构仪(TA.XT Plus):英国Stable Micro System公司;色差仪(CR-400):日本柯尼卡美能达公司;手持糖度计(PAL-1):北京阳光亿事达科技有限公司;气相色谱仪(GC-14C):日本岛津公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 中草药精油微胶囊的制备

准确称取一定比例的 $\beta$ -环糊精,缓慢加入50~60 $^{\circ}\text{C}$ 的蒸馏水中,置于水浴锅中加热搅拌至物料完全溶解,然后加入一定量精油和乳化剂(谷氨酰胺转氨酶),继续搅拌乳化,混合溶液在高速剪切条件下(10 000 r/min)剪切10 min,得到稳定的水包油(oil in water, O/W)型乳白色乳液,待喷雾干燥。

#### 1.3.2 喷雾干燥的条件

筛选稳定性较好的精油乳液,使用小型喷雾干燥仪对其进行干燥,参照Ren等<sup>[21]</sup>的方法及预试验结果进行参数设置:进风温度为( $150\pm 5$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,蠕动泵速度为15 r/min,收集喷雾干燥精油微胶囊粉,储存于密封袋中备用。

#### 1.3.3 红香酥梨的保鲜试验

将经过低温贮藏一段时间后的红香酥梨,在常温条件下回温24 h后再进行试验,梨果分为3组,每组合约160个,分别为不做任何处理的对照组(CK)、香茅精油微胶囊组(CEOM)、香茅-月桂精油微胶囊组(CLEOM),所有样品先放于0.02 mm聚乙烯微孔保鲜袋再置于纸箱中,综合考虑外观颜色、内在品质、口感风味以及果实衰老程度等因素选择保鲜剂添加量为每箱果实质量的1%。将精油微胶囊粉末装入用无纺布制成的透气茶袋中,每箱分装多袋分散放置,在( $20\pm 5$ ) $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏,每隔4 d定期随机取样进行果实各项生理指标的测定。

#### 1.3.4 测定指标与方法

##### 1.3.4.1 菌落总数的测定

参照GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[22]</sup>的方法测定红香酥梨果皮的菌落总数,采用倒平板法测定微生物菌落总数。

##### 1.3.4.2 硬度的测定

从3个处理组中各挑选15个果,每个处理分成3组,平行3次测量共45个果,取其平均值为测量值。采用

质构仪进行穿刺试验,采用P/2探头,探头直径为2 mm,位移为10 mm。

### 1.3.4.3 色差的测定

每个处理预先选定12个作为定果,采用色差仪测定 $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值,在每个红香酥梨果实赤道中央相对部位进行测定,每组平行3次测量,结果取平均值。

### 1.3.4.4 失重率的测定

参照李远颂等<sup>[23]</sup>的方法测定样品失重率( $S, \%$ ),每个处理固定12个果实,每隔4 d用电子分析天平称量一次质量,平行3次测量,取其平均值。

$$S = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

式中: $m_1$ 为初始果实质量,kg; $m_2$ 为贮藏后果实质量,kg。

### 1.3.4.5 可溶性固形物含量的测定

参照Tappi等<sup>[24]</sup>的方法,从每个处理中随机选取15个果实,每5个为一组,在果实赤道附近取直径约5 cm厚的果肉,用刀切成大小一致的小块后榨汁,用糖度计测定可溶性固形物含量,平行3次测量后取平均值。

### 1.3.4.6 乙烯释放量的测定

从每个处理中随机挑选大小一致的12个红香酥梨,分成3组,每组4个,作好标记后作为定果使用,将分好组的红香酥梨放于4 500 mL密封盒中,与各处理组在相同的温度条件下密封1 h,之后用1 mL注射器抽取盒内气体,每盒抽取4针,平行3针测定乙烯释放量,1针作为备用,采用气相色谱仪测定,单位为 $\text{mL}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。

### 1.3.4.7 好果率的测定

在红香酥梨贮藏末期,从各处理组随机抽取35个进行观察,以果形完整、果面光滑、无腐烂斑块或机械损伤的果实作为评判好果的标准,计算好果率( $H, \%$ )。

$$H = X/Y$$

式中: $X$ 为符合好果标准的果实数量; $Y$ 为抽取的果实数量。

## 1.4 数据处理

本试验用Excel进行数据处理及分析,用Origin 2021软件进行作图,采用SPSS 23.0软件进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 中草药精油微胶囊对红香酥梨菌落总数的影响

中草药精油微胶囊对红香酥梨菌落总数的影响见图1。

由图1可知,随着贮藏时间的延长,红香酥梨果皮所含菌落总数整体呈现不断上升趋势,CEOM处理组、CLEOM处理组的菌落总数在贮藏期间明显低于CK组,CK组在贮藏20 d时有明显腐烂现象,菌落总数高

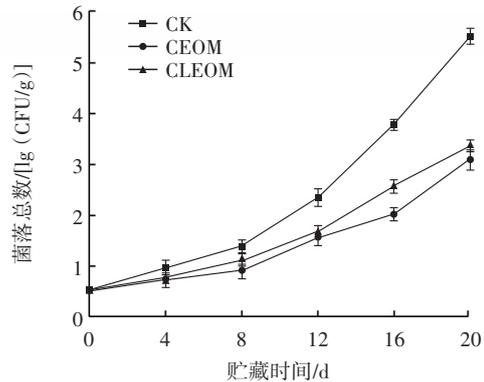


图1 中草药精油微胶囊对红香酥梨菌落总数的影响

Fig.1 Effect of Chinese herbal essential oil microcapsules on total bacterial count of red fragrant pears

达 $5.52 \lg(\text{CFU}/\text{g})$ ,CLEOM处理组为 $3.36 \lg(\text{CFU}/\text{g})$ ,CEOM处理组为 $3.09 \lg(\text{CFU}/\text{g})$ ,因此采用两种精油微胶囊处理可以有效抑制红香酥梨中微生物的生长,抑制菌落总数的提高,保持果实品质。

### 2.2 中草药精油微胶囊对红香酥梨硬度的影响

硬度是衡量果实贮藏衰老程度与耐贮性的重要指标,硬度主要与细胞壁中纤维素和原果胶含量有关<sup>[25]</sup>,随着果实不断进行生理代谢,纤维素和原果胶逐渐被分解,果实软化。中草药精油微胶囊对红香酥梨硬度的影响见图2。

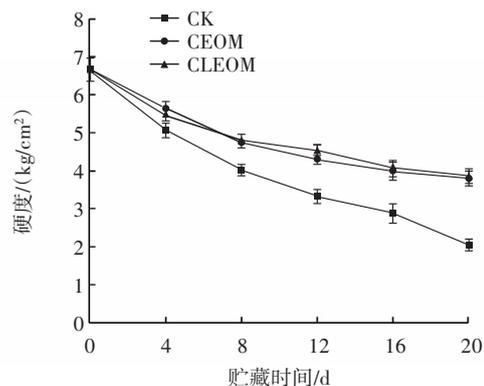


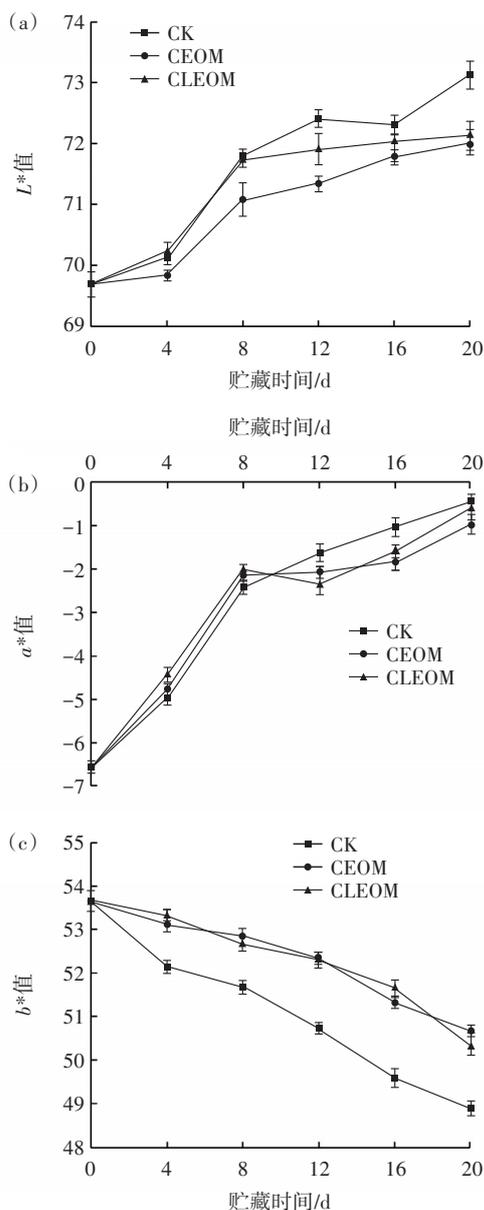
图2 中草药精油微胶囊对红香酥梨硬度的影响

Fig.2 Effect of Chinese herbal essential oil microcapsules on hardness of red fragrant pears

由图2可知,CK组硬度下降最明显,第20天果实硬度为 $2.06 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ,可能与CK组红香酥梨生理代谢旺盛、果实细胞壁中纤维素和原果胶被快速分解导致果实软化较快有关。而精油微胶囊处理组硬度下降缓慢,CEOM处理组为 $3.82 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ,CLEOM处理组为 $3.88 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ,这可能是因为香茅精油、香茅-月桂精油中所含小分子物质在贮藏期间释放缓慢<sup>[26]</sup>,抑制细胞壁降解,从而减缓硬度的下降。说明精油微胶囊处理可以有效减缓果实硬度的下降。

## 2.3 中草药精油微胶囊对红香酥梨色差的影响

中草药精油微胶囊对红香酥梨色差的影响见图3。



(a)  $L^*$ 值;(b)  $a^*$ 值;(c)  $b^*$ 值。

图3 中草药精油微胶囊对红香酥梨色差的影响

Fig.3 Effect of Chinese herbal essential oil microcapsules on color difference of red fragrant pears

果实表皮颜色是评价果实感官品质的重要指标之一,在一定程度上能反映其保鲜效果。由图3(a)可知,随着贮藏时间的延长,各组的 $L^*$ 值呈上升趋势,CEOM、CLEOM处理组梨果的 $L^*$ 值明显低于CK组,这表明在贮藏期间,红香酥梨果皮发亮且返糖油膩化,底色由绿逐渐转黄,预示果实衰老,而两种中草药精油微胶囊处理组能够有效延缓 $L^*$ 值上升和果色的变化。

$a^*$ 值表示红绿颜色指标,+ $a^*$ 表示红色指标,- $a^*$ 表示绿色指标,+ $a^*$ 值越大果皮颜色越红,- $a^*$ 值越大

果皮颜色越绿。由图3(b)可知, $a^*$ 值随贮藏时间的延长而增大,由于成熟度提高,叶绿素降解,红香酥梨果皮绿色逐渐变少,预示着果实逐渐趋于成熟,其中CK组的 $a^*$ 值最大,在贮藏12d时,2个处理组变化明显,CK组 $a^*$ 值为-1.63,CEOM、CLEOM处理组分别-2.06、-2.33,延缓了采后色泽变化,与感官观察结果基本一致。

$b^*$ 值表示黄蓝颜色指标,+ $b^*$ 表示黄色指标,- $b^*$ 表示蓝色指标,+ $b^*$ 值越大果皮颜色越黄,- $b^*$ 值越大果皮颜色越蓝。由图3(c)可知,在贮藏时期中,红香酥梨的 $b^*$ 值随贮藏时间的延长而呈下降趋势,色泽总体呈黄色并伴有下降趋势,而CK组明显低于2个处理组,在第20天时,CK组 $b^*$ 值为48.89,CEOM、CLEOM处理组分别为50.67、50.32。以上结果说明精油处理组可有效减缓红香酥梨色差 $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值的变化,保持其色泽。

## 2.4 中草药精油微胶囊对红香酥梨失重率的影响

中草药精油微胶囊对红香酥梨失重率的影响见图4。

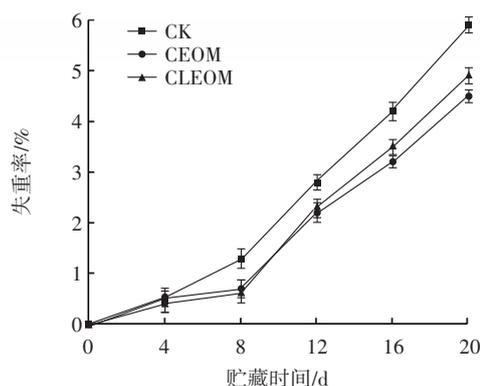


图4 中草药精油微胶囊对红香酥梨失重率的影响

Fig.4 Effect of Chinese herbal essential oil microcapsules on weight loss of red fragrant pears

红香酥梨果实由于采后呼吸与蒸腾作用持续发生,导致果实中水分含量逐渐下降,失重率上升,影响商品的食用价值。由图4可知,各组红香酥梨果实失重率随贮藏时间的延长逐渐上升,贮藏前期3种处理组梨果失重率差异不明显。贮藏12d时,CK组梨果水分散失严重,失重率达2.8%,高于两个精油处理组;到贮藏末期,CK组失重率为5.9%,CEOM、CLEOM处理组的失重率分别为4.5%、4.9%。整个贮藏期间,CEOM、CLEOM处理组失重率低于对照组,这可能是香茅及其复配精油具有杀菌抑菌和保鲜作用,能够抑制红香酥梨中微生物的生长,减少腐烂导致的汁液流失所致。说明两种精油微胶囊处理较好地抑制了梨果的失重和失水,具有较好保鲜作用。

## 2.5 中草药精油微胶囊对红香酥梨可溶性固形物含量的影响

中草药精油微胶囊对红香酥梨可溶性固形物含量

的影响见图5。

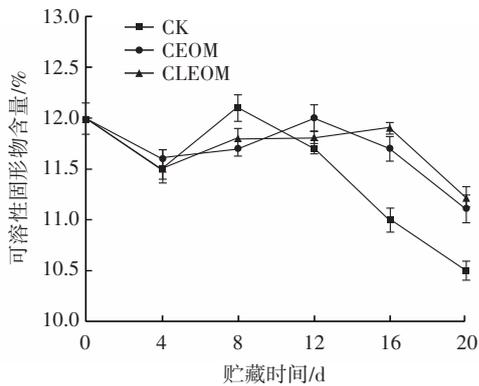


图5 中草精油微胶囊对红香酥梨可溶性固形物含量的影响  
Fig.5 Effect of Chinese herbal essential oil microcapsules on soluble solids of red fragrant pears

可溶性固形物含量是反映果实成熟度和口感品质的一项重要指标。由图5可知,贮藏前期,各组红香酥梨生理代谢缓慢,可溶性固形物含量变化不明显,贮藏中后期,红香酥梨果可溶性固形物含量随贮藏时间的延长总体呈现下降趋势。贮藏20d时,CK组梨果的可溶性固形物含量下降至10.5%,可能由于呼吸及生理代谢速度较快,后期微生物入侵导致果实腐烂率高。而同期CEOM、CLEOM处理组可溶性固形物含量分别为11.1%、11.2%,高于CK组,说明两种精油微胶囊处理抑制了部分微生物的生长,延缓糖类物质的消耗,有效缓解了可溶性固形物含量下降。

## 2.6 中草精油微胶囊对红香酥梨乙烯释放量的影响

中草精油微胶囊对红香酥梨乙烯释放量的影响见图6。

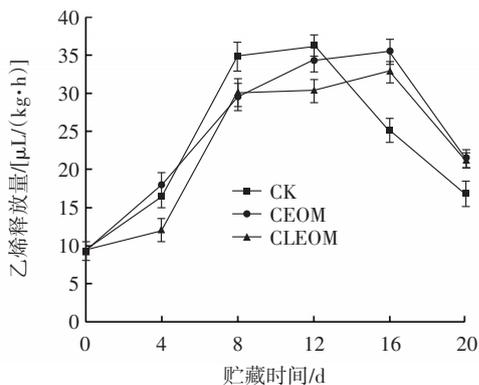


图6 中草精油微胶囊对红香酥梨乙烯释放量的影响  
Fig.6 Effect of Chinese herbal essential oil microcapsules on release of ethylene in red fragrant pears

乙烯释放量可作为判断贮藏期间果实成熟与衰老的标志。由图6可知,随着贮藏时间的延长,红香酥梨乙烯释放量不断上升,到达乙烯高峰后降低,是典型的呼吸跃变型水果。CK组在贮藏12d时达到乙烯释放量高峰,为36.31 μL/(kg·h);而CEOM、CLEOM处理组的乙烯释放量均在16d达到峰值,分别为35.55、

32.91 μL/(kg·h),可能因为精油处理会降低红香酥梨果实生理代谢速率,降低乙烯释放量,表明两种精油微胶囊处理可以推迟乙烯高峰的出现,延缓果实衰老,有良好的保鲜作用。

## 2.7 中草精油微胶囊对红香酥梨好果率的影响

中草精油微胶囊对红香酥梨好果率的影响见图7。

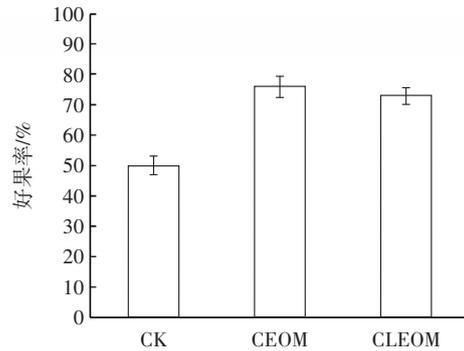


图7 中草精油微胶囊对红香酥梨好果率的影响  
Fig.7 Effect of Chinese herbal essential oil microcapsules on good fruit rate of red fragrant pears

好果率是判断贮藏保鲜效果的重要指标。由图7可知,在贮藏20d时,CEOM处理组的好果率最高,为76%,CLEOM处理组的好果率为73%,而CK组好果率为50%,两个处理组的好果率均高于CK组,在贮藏末期,CK组的红香酥梨果实表面出现褐斑病,致病菌导致果实表面出现圆形或不规则形中间凹陷的黑褐色病斑,而CEOM、CLEOM处理组的果实表面没有明显黑褐色病斑,说明精油微胶囊处理可以抑制链格孢菌生长,起到较好的防腐保鲜作用,保持果实良好的品质。

## 3 结论

本试验用香茅精油及其复配精油微胶囊作为天然保鲜剂对红香酥梨进行保鲜处理,在常温条件下贮藏20d,结果可知CEOM、CLEOM处理组比CK组更有效地延缓红香酥梨采后的硬度、可溶性固形物含量的下降;减缓红香酥梨贮藏过程中色差、失重率、菌落总数的上升,推迟乙烯高峰的出现,保持较高的好果率,具有较好的保鲜效果。综上所述,中草精油微胶囊能减少红香酥梨果实腐烂现象,提高感官品质,达到长效抑菌、保鲜作用,延缓果实衰老,其保鲜效果可能与中草精油的抗氧化性和抑菌机理有关,但有待进一步研究。

## 参考文献:

- 王颖. 浅析红香酥梨丰产栽培管理技术[J]. 农业开发与装备, 2021(8): 191-192.  
WANG Ying. Analysis on high-yield cultivation and management techniques of Hongxiangsu pear[J]. Agricultural Development &

- Equipments, 2021(8): 191-192.
- [2] 王志华, 王文辉, 杜艳民, 等. 红香酥梨采后果面褐斑发生原因及防控技术[J]. 果树实用技术与信息, 2020(5): 43-45.  
WANG Zhihua, WANG Wenhui, DU Yanmin, et al. Causes and control techniques of brown spot on postharvest surface of Hongxiangsu pear[J]. Fruit Tree Practical Technology and Information, 2020(5): 43-45.
- [3] PAN T T, CHYNGYZ E, SUN D W, et al. Pathogenetic process monitoring and early detection of pear black spot disease caused by *Alternaria alternata* using hyperspectral imaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 154: 96-104.
- [4] 袁慧君. 梨黑斑病原链格孢菌生物学特性与致病性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.  
YUAN Huijun. Study on biological characteristics and pathogenicity of *Alternaria alternata*, the pathogen of pear black spot[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.
- [5] 卢春珍, 万传星. 梨黑斑链格孢菌次生代谢产物的分离鉴定及毒素含量分析[J]. 塔里木大学学报, 2020, 32(3): 14-20.  
LU Chunzhen, WAN Chuanxing. Isolation and identification of secondary metabolites from *Alternaria gaisen* as well as biotoxins content analysis[J]. Journal of Tarim University, 2020, 32(3): 14-20.
- [6] 卫颖儒. 红香酥梨生产存在问题及对策[J]. 果树资源学报, 2021, 2(3): 74-75.  
WEI Yingru. Problems and countermeasures in the production of Hongxiangsu pear[J]. Journal of Fruit Resources, 2021, 2(3): 74-75.
- [7] 谌馥佳, 燕照玲, 李恩中. 现代果蔬保鲜技术及植物源果蔬保鲜剂研究进展[J]. 河南农业科学, 2016, 45(12): 7-12, 44.  
CHEN Fujia, YAN Zhaoling, LI Enzhong. Progress of modern preservation technology and botanical preservatives for fruits and vegetables[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(12): 7-12, 44.
- [8] 闫师杰, 梁丽雅, 郑伟. 中草药提取液贮藏青椒试验[J]. 食品科学, 2002, 23(3): 138-140.  
YAN Shijie, LIANG Liya, ZHENG Wei. Experiment of the green pepper storage with Chinese herbal medicine extracts[J]. Food Science, 2002, 23(3): 138-140.
- [9] MOU L Y, DU X L, LU X F, et al. Component analysis and antifungal activity of three Chinese herbal essential oils and their application of postharvest preservation of peach fruit[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 151: 112089.
- [10] 杨辉祥, 黄小芹, 潘磊, 等. 香茅精油的抑菌和抗氧化活性研究[J]. 亚热带植物科学, 2021, 50(2): 92-95.  
YANG Huixiang, HUANG Xiaoqin, PAN Lei, et al. Antibacterial and antioxidant activities of *Citronella* essential oil[J]. Subtropical Plant Science, 2021, 50(2): 92-95.
- [11] TOLEDO D, MUTIS A, HORMAZÁBAL E, et al. Chemical composition and antibacterial activity of *Laureliopsis philippiana* (Looser) essential oil[J]. Latin American and Caribbean Bulletin of Medicinal and Aromatic Plants, 2014, 13: 117-125.
- [12] 孟一, 张玉华, 陈东杰, 等. 植物精油微胶囊的制备及其抑菌性能研究[J]. 食品工业, 2023, 44(1): 26-31.  
MENG Yi, ZHANG Yuhua, CHEN Dongjie, et al. Preparation of plant essential oil microcapsule and its antibacterial property[J]. The Food Industry, 2023, 44(1): 26-31.
- [13] LIU T, GAO Z P, ZHONG W M, et al. Preparation, characterization, and antioxidant activity of nanoemulsions incorporating lemon essential oil[J]. Antioxidants, 2022, 11(4): 650.
- [14] WANG J, ZHANG H H, LIU F X, et al. Preparation, characterization and antimicrobial activity of inclusion complexes of *Myristica fragrans* Hott. essential oil in  $\beta$ -cyclodextrins[J]. Die Pharmazie, 2019, 74(10): 590-594.
- [15] HUANG H H, HUANG C X, YIN C, et al. Preparation and characterization of  $\beta$ -cyclodextrin-oregano essential oil microcapsule and its effect on storage behavior of purple yam[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(13): 4849-4857.
- [16] 殷诚, 黄崇杏, 张波波, 等. 牛至精油- $\beta$ -环糊精微胶囊制备工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(2): 51-54.  
YIN Cheng, HUANG Chongxing, ZHANG Bobo, et al. Study on preparation technology of oregano essential oil- $\beta$ -cyclodextrin microcapsules[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(2): 51-54.
- [17] GE X H, DU Y H, HUANG X L, et al. The preparation of peppermint oil/2-hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin/chitosan composite microcapsule and their prolonged retaining ability[J]. Microfluidics and Nanofluidics, 2021, 25(2): 18.
- [18] 杨艳红, 李湘洲, 周军, 等. 山苍子油微胶囊的制备技术比较及其释放动力学[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(7): 78-84.  
YANG Yanhong, LI Xiangzhou, ZHOU Jun, et al. Comparative analysis of preparation methods and release kinetic of *Litsea cubeba* essential oil microcapsules[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(7): 78-84.
- [19] GHARSALLAOUI A, ROUDAUT G, CHAMBIN O, et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview[J]. Food Research International, 2007, 40(9): 1107-1121.
- [20] 袁路阳, 杨帅帅, 邓德伟, 等. 喷雾干燥对花椒精油成分及应用的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(10): 243-248.  
YUAN Luyang, YANG Shuaishuai, DENG Dewei, et al. Effects of spray drying on the composition and application of essential oil from *Zanthoxylum bungeanum* maxim[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(10): 243-248.
- [21] REN W B, TIAN G F, ZHAO S J, et al. Effects of spray-drying temperature on the physicochemical properties and polymethoxyflavone loading efficiency of citrus oil microcapsules[J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 133: 109954.
- [22] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
National Health Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Food microbiological examination Aerobic plate count: GB 4789.2—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [23] 李远颂, 朱莉, 邱月丰. 壳聚糖-植物精油复合保鲜液对圣女果保鲜效果的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(8): 10-13.  
LI Yuansong, ZHU Li, QIU Yuefeng. Study on the effect of chitosan and plant essential oil composite solution on fresh preservation of cherry tomatoes[J]. The Food Industry, 2017, 38(8): 10-13.
- [24] TAPPI S, BERARDINELLI A, RAGNI L, et al. Atmospheric gas plasma treatment of fresh-cut apples[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 21: 114-122.
- [25] 吴媛媛, 刘瑞玲, 郜海燕, 等. 灰霉菌侵染对蓝莓采后品质变化及抗氧化性的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 148-155.  
WU Yuanyuan, LIU Ruiling, GAO Haiyan, et al. Effects of *Botrytis cinerea* infection on post-harvest quality and antioxidant activities in blueberry fruits[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 148-155.
- [26] 李彦虎, 负建民, 毕阳, 等. 两种精油熏蒸处理对双孢蘑菇贮藏特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(11): 191-198.  
LI Yanhu, YUN Jianmin, BI Yang, et al. Effects of two essential oils fumigation on storage characteristics of *Agaricus bisporus*[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(11): 191-198.