

薛明珂, 张迪, 张雯. 羟丙基甲基纤维素混合蜂蜡和精油制备可食用涂层对甜樱桃的保鲜效果[J]. 山西农业科学, 2025, 53(3): 151-158.

XUE M K, ZHANG D, ZHANG W. The influence of edible coatings prepared by mixing HPMC with beeswax and essential oil on the preservation effect of sweet cherries[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(3): 151-158.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.03.19

## 羟丙基甲基纤维素混合蜂蜡和精油制备可食用 涂层对甜樱桃的保鲜效果

薛明珂, 张迪, 张雯

(杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**传统甜樱桃保鲜方法难以有效延长其货架期,因此,开发一种环保、高效的可食用保鲜涂层具有重要意义。通过将不同比例的羟丙基甲基纤维素(HPMC)、蜂蜡、吐温-80、甘油和精油混合制备成C1、C2、C3共3种可食用涂层,并分析3种可食用涂层的粒径、Zeta电位、SEM和抗菌性,同时将3种涂层均匀地涂在美早甜樱桃表面并以不施加涂层为对照,在4℃下贮存35d后,测定樱桃的生理生化指标。结果显示,与C2和C3处理相比,C1处理的可食用涂层质地较光滑,抗细菌效果较好,但稳定性不如C2和C3处理;C2处理的抗真菌效果最好。C1涂层贮存的甜樱桃的可溶性固形物含量、可滴定酸、硬度、色泽、质量损失率、呼吸速率、总酚含量、感官特性等方面的效果均优于C2和C3处理。综上,C1处理对甜樱桃的保鲜效果最佳,可为甜樱桃保鲜提供一种安全高效的方法。

**关键词:**甜樱桃;保鲜;可食用涂层;羟丙基甲基纤维素;蜂蜡;精油

中图分类号:S662.5 文献标识码:A 文章编号:1002-2481(2025)03-0151-08

### The Influence of Edible Coatings Prepared by Mixing HPMC with Beeswax and Essential Oil on the Preservation Effect of Sweet Cherries

XUE Mingke, ZHANG Di, ZHANG Wen

(Yangling Vocational & Technical College, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The traditional preservation method of sweet cherry is difficult to effectively extend its shelf life, so it is of great significance to develop an environmentally friendly and efficient edible preservation coating. In this study, three kinds of edible coatings(C1, C2, and C3) were prepared by mixing different proportions of hydroxypropyl methyl cellulose(HPMC), beeswax, Tween 80, glycerin, and essential oil. The particle size, Zeta potential, SEM, and antibacterial properties of the three edible coatings. The three kinds of coatings were evenly applied on the surface of Meizao sweet cherry with no coating applied as the control, and the physiological and biochemical indexes of cherry were measured after storage at 4℃ for 35 days. The results showed that compared with C2 and C3, the edible coating treated with C1 was smoother in texture and better in anti-bacterial effect, but the stability was not as good as that of C2 and C3. The C2 treatment had the best antifungal effect. The sweet cherry stored under the C1 coating had better preservation effects on soluble solid content, titratable acid, hardness, color, weight loss rate, respiration rate, total phenol content, and sensory properties than those of C2 and C3. In conclusion, C1 treatment could play a positive role in the preservation of sweet cherries, and the effect was the best, which could effectively provide a safe and efficient method for the preservation of sweet cherries.

**Keywords:** sweet cherry; preservation; edible coating; HPMC; beeswax; essential oil

甜樱桃原产于西亚和欧洲东南部,因其形状小巧、色泽鲜艳,且富含营养元素(钙、镁、磷和铁)

收稿日期:2024-07-31

基金项目:杨凌职业技术学院自然科学基金(ZK24-37)

作者简介:薛明珂,讲师,硕士,主要从事园艺产品保鲜技术教学及研究,E-mail: xmkcoco@163.com

和碳水化合物而闻名<sup>[1]</sup>。此外,樱桃中含有能够抗氧化的褪黑素,其能通过清除自由基防止细胞氧化衰老<sup>[2]</sup>。甜樱桃果皮薄、多汁,易腐性高,采后品质会迅速下降。除了机械损伤外,在运输或储存过程中也易受腐烂病原体的影响,这些对于樱桃贮藏保鲜是一个重大挑战<sup>[3]</sup>。因此,采用高效、实用和经济有效的方法延长甜樱桃的保质期已成为当下樱桃产业发展必须研究的课题。

羟丙基甲基纤维素(HPMC)是一种半合成、不活跃、黏弹性的聚合物,属于非离子型纤维素混合醚<sup>[2]</sup>。HPMC能够在果品表面形成一层均匀且坚韧的薄膜,有效隔绝空气和水分,从而减缓果实的呼吸作用和水分流失。根据世界卫生组织(WHO)、欧洲食品安全局(EFSA)、美国食品药品监督管理局(FDA)、加拿大卫生部等机构的数据和评估,羟丙基甲基纤维素作为食品添加剂或药用辅料使用时,在正常剂量下对人体是安全的<sup>[4]</sup>。通过添加抗菌成分,HPMC涂层还能抑制微生物的生长,延长果实的货架期。这些特性使得 HPMC 成为水果保鲜涂层的理想材料<sup>[5]</sup>。但 HPMC 的亲水性导致涂层表面特性较弱,阻碍了其有效防止水分蒸发和保持水果硬度的能力<sup>[6]</sup>,因此,多数研究将 HPMC 与其他物质结合起来用做可食用涂层,来改善这一特性。FORMIGA 等<sup>[3]</sup>将 HPMC 和蜂蜡作为可食用涂层来保存绿番石榴,结果表明,番石榴在 22℃ 下保存 8 d 后,仍能维持较好的果实性状。同样,VALENCIA-CHAMORRO 等<sup>[7]</sup>将 HPMC、蜂蜡和紫胶组合作为纳米乳液涂层用于小柑橘的保鲜,结果表明,经过涂层处理的小柑橘先在 5℃ 下贮存 30 d,然后在 20℃ 下贮存 7 d 后,仍能保持较好的果实性状。FERNÁNDEZ-CANCELO 等<sup>[8]</sup>将 HPMC 可食用纳米乳液涂层应用于各种苹果品种的保鲜。ZHOU 等<sup>[9]</sup>使用 HPMC 与不同的壳聚糖组合来延长柑橘类水果的货架期。FAGUNDES 等<sup>[10]</sup>的研究发现,使用 HPMC、蜂蜡和食品防腐剂可以延长樱桃、番茄在冷藏期间的保鲜期。此外,HPMC 和蜂蜡作为可食用涂层能在 21℃ 下贮存芒果 15 d<sup>[11]</sup>。HPMC 与精油、HPMC 与凝胶多糖、HPMC 与玉米醇溶蛋白/羧甲基罗望子胶、HPMC 与壳聚糖-木薯基薄膜也被用于各种水果的保鲜<sup>[12]</sup>。

蜂蜡是一种天然的蜡质物质,具有优良的防水、防潮和抗氧化性能。在可食用涂层中,蜂蜡能

够增强涂层的致密性和韧性,进一步提高涂层的保鲜效果<sup>[13]</sup>。精油是从植物中提取的具有挥发性的油状次生代谢物质,具有多种生物活性成分和香气。在可食用涂层中,精油不仅能够赋予果实独特的香气,还能增强涂层的抗菌性能<sup>[14]</sup>。此外,精油能够为果实增添自然香气,提升消费者的感官体验。

目前,研究人员不断探索 HPMC、蜂蜡和精油在果蔬可食用涂层中的最佳配比和制备工艺。因此,本研究以美早甜樱桃为材料,将 HPMC、蜂蜡、吐温 80、甘油和精油(百里香、肉桂和薄荷)按照不同配比制成可食用涂层纳米乳液,用于甜樱桃贮藏,测定了可食用涂层的主要表征参数,如粒径、Zeta 电位、SEM 分析和抗菌性,以及涂覆在甜樱桃上的质量控制指标,如可溶性固形物含量(TSS)、可滴定酸(TA)、颜色、质量损失率、硬度、呼吸速率、总酚含量、感官评价等,以期选出保鲜效果最佳的可食用涂层纳米乳液配方,供后期生产使用。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

美早甜樱桃于 2024 年 5 月购自陕西省咸阳市武功县一樱桃种植园,购回后剔除有病害或有机损伤的樱桃,挑选大小形状均匀的作为试验材料,并随机分为 3 组,储存在聚氯乙烯(PVC)盒中。羟丙基甲基纤维素(HPMC,取代度为 90%,分子量为 300 ku)购至山东天峰化工科技有限公司,蜂蜡购自西安格林生物科技有限公司;苹果酸标准品购自西格玛奥德里奇贸易有限公司;吐温 80 购自西格玛奥德里奇贸易有限公司;含有肉桂、百里香和薄荷的精油纯度为 100%,食品级,购自山东天峰化工科技有限公司。

### 1.2 可食用涂层的制备

采用 FAGUNDES 等<sup>[10]</sup>的方法,制备由 HPMC、蜂蜡和精油等不同配比组成的 3 种可食用涂层(C1-C3),具体的配比见表 1。将亲水相(HPMC)与疏水相(蜂蜡)结合,悬浮在水中制备出 HPMC-蜂蜡可食用复合乳液后,加入甘油和吐温 80 作为增塑剂和乳化剂,再加入精油,在 1 200 r/min 的连续磁力搅拌下溶解 1 h,消除蜂蜡的所有团块,获得质地均匀的溶液。随后将混合溶液在微波炉中加热至 90℃,使用高压均质机(T25 数字 Ultra-Turrax,

IKA,德国)均质 15 min,在超声探头机(VCX 500, Vibra-Cell,美国)中超声处理 1 h,形成油包埋纳米

乳液。最后将溶液在水浴(20℃)中搅拌冷却,静置 45 min,直至不出现分层,冷藏保存。

表 1 各处理的不同配比

Tab.1 Different proportions of each treatment

涂层组别 Coating group	HPMC/g	蜂蜡/g Beeswax	吐温-80/% Tween 80	甘油/mL Glycerin	肉桂油/mL Cinnamon	百里香精油/mL Thyme	薄荷油/mL Oleum menthae
C1	3.5	1.0	0.3	1.5	0.7	0.7	0.7
C2	4.5	2.5	0.4	1.5	1.0	1.0	1.0
C3	6.5	3.5	0.6	3.0	1.2	1.2	1.2

注:表中各组分含量为每 100 g 可食用涂层中的含量。

Note: The content of each component in the table was the content per 100 g of edible coating.

### 1.3 试验设计

用分析天平(Precisa 系列 520,美国)称量每个樱桃的质量,并进行感官分析,观察色泽和质地。随后,樱桃用去离子水冲洗 30 min,风干 1 h。设 4 个涂层处理,分别为空白对照(CK)、C1、C2 和 C3,每组 60 枚樱桃。将 4 组樱桃在相对应的纳米乳液中浸泡处理至少 2 min,然后风干 30 min,放于尺寸为 40 cm×18 cm×7 cm 的聚丙烯托盘中,置于 4℃冰箱下贮存 35 d。

### 1.4 可食用涂层性质测定

1.4.1 平均粒径和 Zeta 电位测定 在 25℃和计数率为 1 111.4(kcps)的条件下,使用激光粒度分析仪(Nano ZS,马尔文,英国)测定可食用涂层的平均粒径和 Zeta 电位,分别于 10、20、30、60、90、120 min 各测定一次。

1.4.2 形态学分析 使用扫描电子显微镜(徕卡显微系统,DM/LP 型号,德国)观察可食用涂层悬浮液液滴的形状。

1.4.3 抗菌活性测定 采用牛津杯法<sup>[15]</sup>测定可食用涂层对大肠杆菌 O157:H7(革兰氏阴性菌)和黑曲霉(真菌)的抗细菌和抗真菌性能。细菌和真菌培养物均匀分散在装有琼脂溶液的玻璃培养皿中,取小圆盘浸入新制备的可食用涂层中,然后将其转移到含有细菌和真菌培养物的玻璃培养皿中进行观察,评估可食用涂层的抗菌性。

### 1.5 甜樱桃品质测定

1.5.1 感官特性测定 在杨凌职业技术学院随机选取 50 人(25 名男性和 25 名女性,年龄在 18~50 岁),按照 FARCUH 等<sup>[16]</sup>的方法对甜樱桃果实贮藏期间的感官特性进行评估。

1.5.2 颜色 使用便携式分光测色仪(型号 DS-

700A,彩谱,浙江)测定樱桃的颜色标度(L:亮度/暗度;a\*:红度/绿度;b\*:黄度/蓝度),每 5 d 测定一次,每个处理取 5 个甜樱桃测定,测定时选取果面中部区域。甜樱桃的颜色用下列公式计算。

$$h = \arctan(b^*/a^*) \quad (1)$$

式中,h 表示色相角(°)。

1.5.3 甜樱桃理化性质测定 使用梅特勒-托利多 ME 精密天平测定甜樱桃质量,使用托普云农 GY-4 硬度计测定甜樱桃硬度,使用爱拓 PAL-BX|ACID F5 测定甜樱桃可溶性固形物含量和可滴定酸含量,使用霍尔德 HED-HX10 测定甜樱桃的呼吸速率<sup>[7]</sup>,采用 Folin 酚法测定甜樱桃总可溶性酚类含量<sup>[10]</sup>。每 5 d 测定 1 次,每个处理设 3 组重复,取平均值。

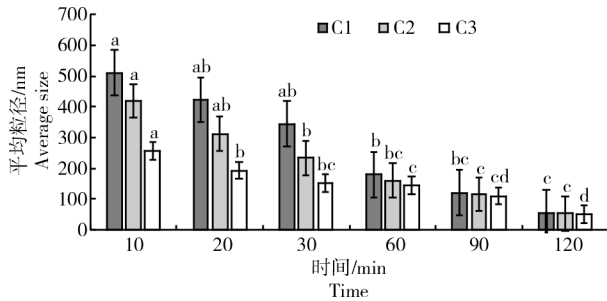
### 1.6 统计分析

使用 OriginPro 8 应用程序进行数据分析与图表制作,采用单向方差分析确定不同成分之间的差异,再对其进行 Bonferroni 校正检验( $P < 0.05$ ),最终结果以均值±标准差的形式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 可食用涂层粒径和 Zeta 电位分析

可食用涂层在制备过程中,随着时间的延长,粒径在逐渐减小。由图 1 可知,在制备初期 C1 涂层的粒径为 512.3 nm,C2 涂层的粒径为 425.2 nm,C3 涂层的粒径为 257.5 nm;10~120 min,C1 涂层的粒径减小至 55.1 nm,C2 涂层的粒径减小至 53.4 nm,C3 涂层的粒径减小至 50.2 nm。此外,随着 HPMC 浓度的增加,可食用涂层的平均粒径减小。



不同小写字母表示可食用涂层粒径在不同制备时间下差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different lowercase letters indicated significant differences ( $P < 0.05$ ) in edible coating particle sizes at different preparation times

图 1 3种可食用涂层粒径随制备时间的变化

Fig.1 Particle size change of three edible coatings over the preparation time

Zeta 电位分析试验结果显示, C1 涂层的 Zeta 电位值为  $-23.3$  mV, C2 涂层的 Zeta 电位值为  $-22.1$  mV, C3 涂层的 Zeta 电位值为  $-19.8$  mV。结果表明, 增加可食用涂层的浓度能提高可食用涂

层的稳定性。这与 PANDEY 等<sup>[17]</sup>的研究结果相同, 他们观察到 Zeta 电位的稳定性随着聚合物和油浓度增加而增加, 表面活性剂与聚合物存在协同作用, 有助于提高纳米溶液稳定性。

### 2.2 SEM 分析

SEM(扫描电子显微镜图像)能展示纳米乳液的微观结构水平组分的排列和分布, 从而直观反映可食用涂层的表现特性。可食用涂层 C1、C2、C3 的 SEM 图像如图 2 所示, C1 涂层质地较光滑, 表面出现裂纹、孔隙和斑点, 可能是由于纳米乳液含蜂蜡和精油所导致的。C2 涂层表面出现分层, 海绵状斑点增多, 这可能是由于蜂蜡和精油浓度升高, 导致质地变得粗糙。C3 涂层的质地显得更加海绵状, 并呈现出明显的沟壑。因此, SEM 结果表明, 溶液浓度变化可引起其形态变化, 随着 HPMC、蜂蜡、精油含量的增加, 其各组分间的相互作用增加, 可食用涂层质地粗糙度增加, 孔隙度增加, 吸附力增强。

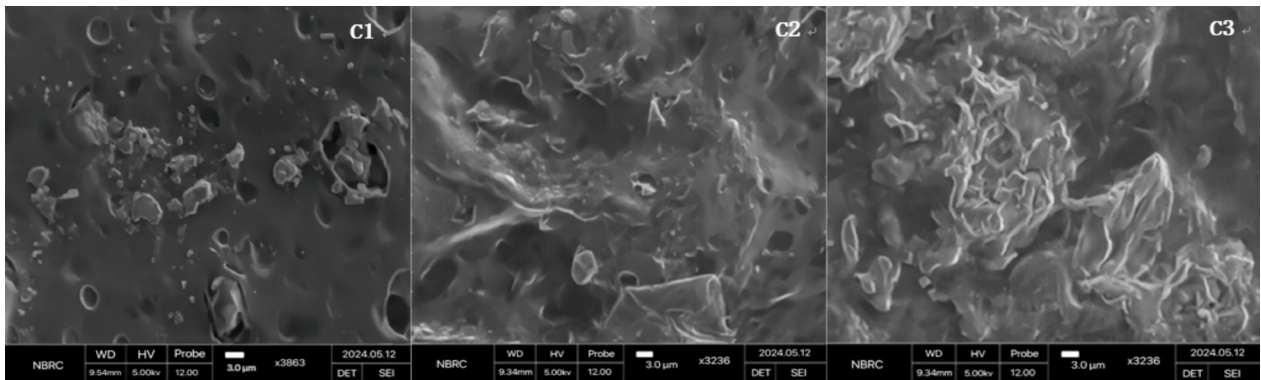
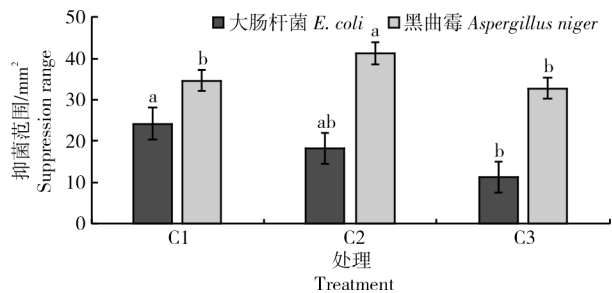


图 2 3种可食用涂层的微观结构特征

Fig.2 Microstructure characteristics of three edible coatings

### 2.3 可食用涂层的抗细菌和抗真菌活性分析

3种不同涂层对大肠杆菌和黑曲霉的生长抑制范围结果表明(图 3), 可食用涂层纳米乳液对真菌(黑曲霉)的抗菌效果强于细菌(大肠杆菌)。其中, 纳米乳液 C1 对大肠杆菌的抑制区域为  $24$  mm, 对真菌的抑制区域为  $32$  mm。随着可食用涂层纳米乳液浓度的增加, 大肠杆菌的生长抑制范围逐渐缩小, 抗细菌效果逐渐下降。但在抗真菌过程中, 可食用涂层乳液没有表现出浓度与抗菌性的线性关系, 其中, 涂层 C2 对黑曲霉的平均抑制区域最大, 为  $40$  mm, 抗真菌效果最好。以上结果表明涂层 C1 的抗细菌效果最佳, 涂层 C2 的抗真菌效果最佳。



不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different lowercase letters indicated significant differences ( $P < 0.05$ ) among different treatments

图 3 3种可食用涂层对大肠杆菌和黑曲霉的生长抑制效应分析

Fig.3 Growth inhibition effect of three edible coatings on *E. coli* and *Aspergillus Niger*

#### 2.4 可食用涂层总可溶性固形物(TSS)和可滴定酸含量(TA)分析

在4℃下贮存35d,甜樱桃中TSS水平的变化如图4所示,在贮存刚开始时,各处理的TSS均为17.8%,随着贮存期延长,所有处理的可溶性固形物含量均逐渐下降。到贮存的第25天,TSS降至最低点,CK、C1、C2和C3处理的TSS含量分别为13.1%、14.3%、14.1%和13.9%。随后又缓慢上升,在贮藏期结束时,CK的TSS含量最低,C1处理的TSS含量最高。从TSS变化趋势可知,CK甜樱桃TSS变化幅度最大,其次依次为C2和C3处理,C1处理的变化趋势最缓,这表明可食用涂层处理可影响甜樱桃内部的化合物反应速率,抑制与可溶性固形物含量变化有关的反应,提高甜樱桃对外界环境变化影响的适应力,从而延长贮存时间。其中,C1涂层处理对甜樱桃的保鲜效果最好。

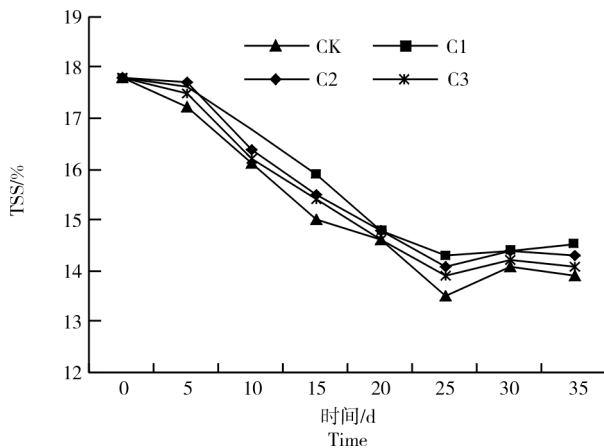


图4 4种处理下的甜樱桃在贮藏期间TSS含量分析

Fig.4 Analysis of TSS contents of sweet cherries under four treatments during storage

从图5可以看出,随着贮藏期延长,所有处理的可滴定酸含量在逐渐下降,CK的可滴定酸含量从0.61%降至0.28%,C1处理的TA含量降至0.43%,C2处理的TA含量降至0.38%,C3处理的TA含量降至0.36%。与CK相比,可食用涂层样品中的有机酸损失较少。这是由于涂层可抑制甜樱桃果实内部的生理生化反应,减缓代谢速率,从而降低有机酸的分解速率<sup>[18]</sup>,达到较好的保鲜效果。在3种涂层中,C1处理的甜樱桃可滴定酸含量降低的最慢,果实理化性质维持效果较好。

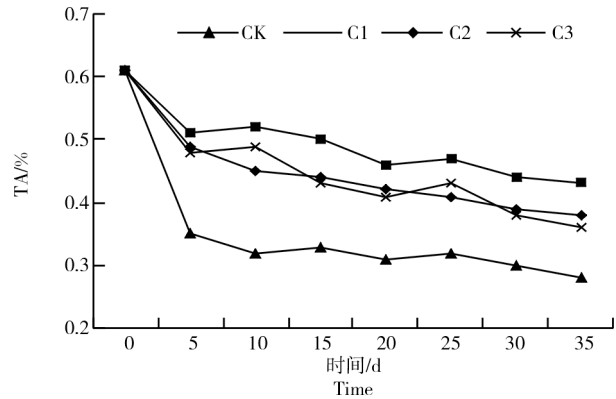


图5 4种处理下的甜樱桃在贮藏期间的酸度分析  
Fig.5 Analysis of TA of sweet cherries under four treatments during storage

#### 2.5 不同处理的甜樱桃质量损失率分析

4种处理下甜樱桃在贮藏期间的质量损失率分析如图6所示。

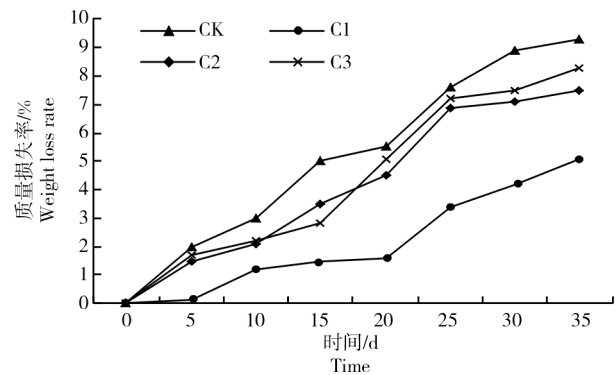


图6 4种处理下甜樱桃在贮藏期间的质量损失率分析  
Fig.6 The analysis of weight loss rate of sweet cherries under four treatments during storage

从图6可以看出,樱桃果实的质量损失率随着贮存时间的延长而增加。在35d贮藏期内,CK的甜樱桃质量损失率增加最大,C1处理的甜樱桃质量损失率最低,C2和C3处理较为相近。贮存期间果品质量的下降是由于水分从果实内部向外部周围环境迁移,这种水分迁移受到呼吸作用、物质运输、多糖含量等因素的影响<sup>[11]</sup>。当可食用涂层特别是与精油结合涂在果品表面时,能够增加果品表面的疏水性,增强了果品抗失水能力。此外,涂层C2和C3中的精油浓度增加,但并未降低甜樱桃的质量损失率。这可能是由于纳米乳液涂层C2和C3的浓度较高,导致涂层不易均匀地附着在果品表面,涂层较薄的部分抑制水分蒸腾的效果较差。这一发现与之前ZHOU等<sup>[9]</sup>的研究一致,

在草莓上涂羧甲基纤维素与大蒜精油混合涂层,当精油浓度超过一定水平时,会增加质量损失,这可能是由于精油浓度的增加可削弱分子间相互作用,导致涂层乳液结构失去完整性,从而促进水分传输。

### 2.6 不同处理甜樱桃硬度分析

甜樱桃在不同涂层处理下贮藏期间的硬度变化结果如图 7 所示。与 CK 相比,3 种可食用纳米乳液涂层的样品硬度水平降低速率较缓,其中,C1 处理在保持甜樱桃样品硬度方面表现出显著的功效 ( $P < 0.05$ )。此外,3 种涂层处理的甜樱桃硬度在贮藏的第 20 天左右硬度下降较为迅速,对照甜樱桃从贮藏期第 15 天开始硬度便迅速下降。果实硬度下降是由于果实的蒸腾失水、呼吸作用或表面损伤,让皮质薄壁细胞壁中层的渗透性增加,果实细胞的水分含量降低,细胞膨压降低,从而导致果实变软进而萎蔫<sup>[10]</sup>。由 HPMC、蜂蜡和精油组成的纳米乳液涂层表现出屏障效应,有效地降低了水分的流动与损失,减缓硬度下降的速率。因此,可食用涂层在贮藏期间能有效保持甜樱桃果实的质量和质地,C1 涂层处理效果最好。

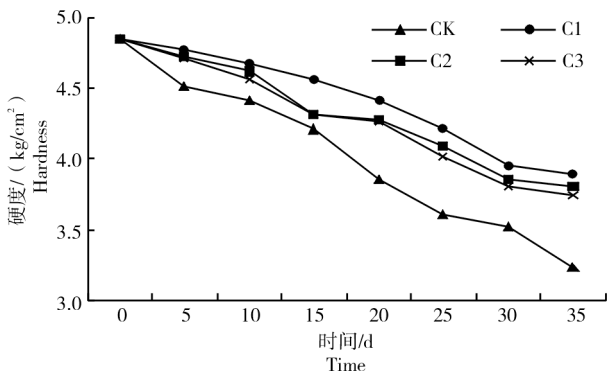


图 7 4 种处理下的甜樱桃在贮藏期间的硬度分析  
Fig.7 The analysis of hardness of sweet cherries under four treatments during storage

### 2.7 感官特性分析

不同处理甜樱桃在 4 °C 下未进行任何涂层处理的甜樱桃被评为最低等级,且在贮藏的第 9 天开始,出现了中度脱水和褐变。相比之下,在相同贮藏条件下,用可食用纳米乳液涂层 C1、C2 和 C3 处理的甜樱桃在感官属性的保存方面表现更好,尤其在脆度上,贮藏后几乎与处理前樱桃的脆度差别不大。由图 8 可知,可食用纳米乳液涂层 C1 在硬度、脆度、多汁性、甜度、酸度和果实整体评价均

优于 C2 和 C3 处理,这表明 C1 涂层在甜樱桃贮存期间保持果实感官质量方面具有较强的优越性。

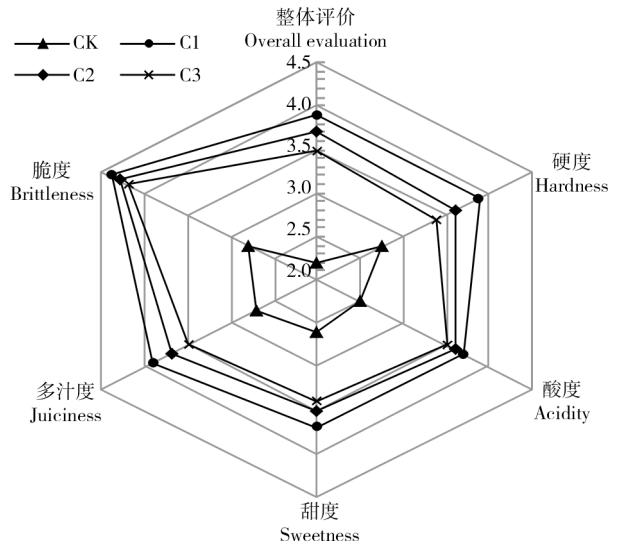


图 8 4 种处理下甜樱桃的感官特性分析  
Fig.8 Sensory analysis of sweet cherries under four treatments during storage

### 2.8 不同处理甜樱桃果皮颜色属性分析

由图 9 可知,相比未涂层样品,可食用纳米乳液涂层在保存果皮颜色方面具有更好效果,直至贮藏期结束均能保持较高的色相角,这与周枫等<sup>[19]</sup>在油桃上使用涂膜的效果相似。在 3 种涂层处理中,C1 处理的甜樱桃色相角呈现逐渐缓慢下降的趋势,而 C2 和 C3 处理从贮藏期第 20 天开始则下降较为明显。对比 3 种涂层处理,C1 处理在保存果皮颜色方面的效果要优于 C2 和 C3 处理。

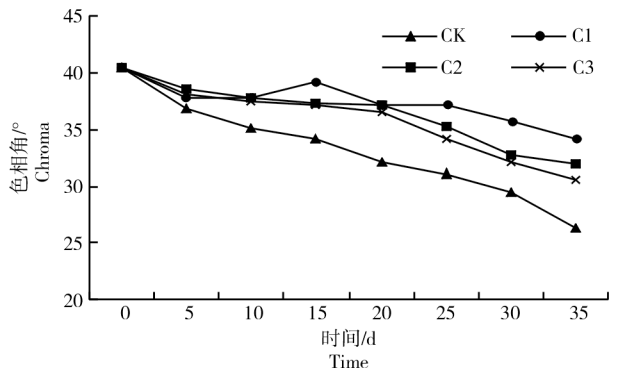


图 9 4 种处理下甜樱桃在贮藏期间色相角的分析  
Fig.9 The analysis of chroma of sweet cherries under four treatments during storage

### 2.9 不同处理甜樱桃呼吸速率分析

从图 10 可以看出,在贮藏第 5 天,各处理甜樱

桃的呼吸速率明显下降;随着贮存时间的推进,呼吸速率逐渐增加,在贮存期结束时达到峰值。与CK相比,使用可食用涂层处理的3组甜樱桃在整个贮存期的呼吸速率均明显较低;第35天,C1处理的呼吸速率最低,且差异显著( $P < 0.05$ ),C2次之,C3处理的呼吸速率较高。这一结果与MAHFOUDHI等<sup>[20]</sup>的研究结果一致,其研究结果表明甜樱桃在使用杏仁胶或阿拉伯胶作为涂层材料处理后,呼吸速率显著降低。

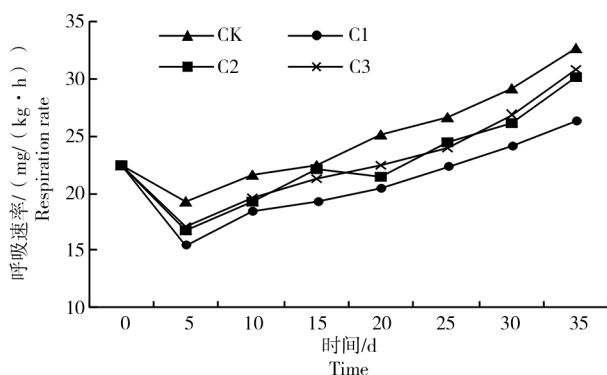


图10 4种处理下甜樱桃在贮藏期间呼吸速率的分析

Fig.10 The analysis of respiration rate of sweet cherries under four treatments during storage

### 2.10 不同处理甜樱桃总酚含量分析

樱桃中酚类物质的重要性主要体现在其具有抗氧化、清除自由基、参与氧化还原、螯合金属离子、调节基因表达及参与细胞信号传导多种功能<sup>[14]</sup>。4种处理下甜樱桃在贮藏期间总酚含量的变化如图11所示。

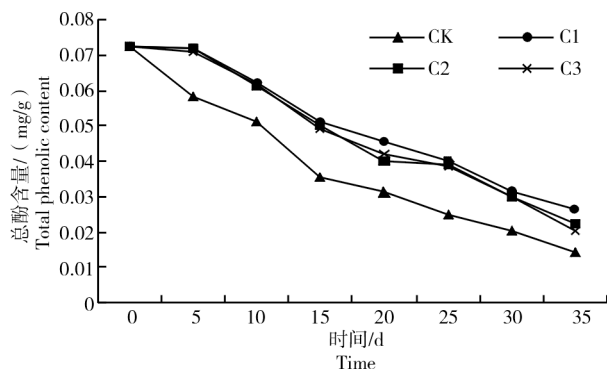


图11 4种处理下甜樱桃在贮藏期间总酚含量的变化

Fig.11 Changes of total phenolic content of sweet cherries under four treatments during storage

在35 d的贮存期内,对照样品中总酚含量从0.0725 mg/g降至0.0142 mg/g;可食用纳米乳液

涂层C1中总酚含量则降至0.0264 mg/g,C2处理降至0.0223 mg/g,C3处理降至0.0201 mg/g。由此得出,与对照样品相比,3种涂层在果实表面周围形成了物理屏障,减缓了生物活性化合物的降解,从而减缓了总酚含量的减少。综上,C1处理抑制甜樱桃总酚含量降低的效果最佳。

## 3 结论与讨论

根据化合物特性和甜樱桃生物学特性,本研究配制了不同比例HPMC、蜂蜡和精油组合的可食用涂层配方,通过使用Zeta粒度仪、Zeta电位和SEM,对其进行了物理性质检查,结果表明,随聚合物浓度的增加,平均粒径逐渐减小,质地逐渐光滑,涂层乳液稳定性增加,这一结果与PANDEY等<sup>[17]</sup>的研究结果一致,因此,C1涂层质地较为光滑平润,但稳定性不如C2和C3涂层;通过抗菌试验得出,3种涂层乳液的抗真菌效果均优于抗细菌效果,其中,C1涂层抗细菌效果最好,C2涂层抗真菌效果最好。可食用涂层乳液的抗菌特性归因于其中的组成成分精油,如百里香油、薄荷油和肉桂油,这些精油中的柠檬烯化合物可提供有效抗菌作用<sup>[18]</sup>。此外,RASPO等<sup>[18]</sup>研究认为,精油对真菌的抑制作用来源于其中的活性化合物,如萜烯成分,其能破坏细菌细胞壁的脂质合成,导致膜破裂和细胞蛋白质变性。精油对细菌的抗菌活性归因于另一部分活性化合物的存在,如柠檬醛、香叶醇、芳樟醇、柠檬烯、紫苏醛、 $\alpha$ -萜品醇和香芹酚。因此,向可食用涂层中加入精油,不仅能增添香气,提升消费者体验感,还可有效提高抗菌功能,延长果品的贮藏时间,提高食品品质。

通过测定3种涂层和空白对照处理后美早甜樱桃的生理生化指标(TSS、总酸度、质量损失率、呼吸速率、硬度、颜色、总酚含量)和感官属性,综合评估了它们对樱桃果实保鲜效果的影响,结果表明,涂层C1不仅能够较好地控制甜樱桃贮藏期的TSS、TA和总酚含量,还能在减缓果实脱水质量损失的速度、减慢呼吸速率、保持硬度和颜色的变化上起到积极作用,因此,C1涂层在保持甜樱桃贮藏期品质方面表现优良。在未来的研究中,可将C1涂层应用于常温贮藏试验和其他保鲜产品试验,以便于探究其发展潜力,为园艺产品保鲜提供更多的技术支持。

## 参考文献:

- [1] 王兆丰,代华,高义霞,等.多酚处理对甜樱桃采后品质和活性氧代谢的影响[J].南方农业学报,2024,55(2):578-588.  
WANG Z F, DAI H, GAO Y X, et al. Effects of polyphenol treatment on postharvest quality and active oxygen metabolism of sweet cherry[J]. Southern Journal of Agriculture, 2024, 55(2):578-588.
- [2] 谢宇璐,陆妍,陈雅莉,等.低温条件下茶多酚对甜樱桃果实采后贮藏品质的影响[J].现代园艺,2024(3):31-34.  
XIE Y L, LU Y, CHEN Y L, et al. Effects of tea polyphenols on postharvest storage quality of sweet cherry fruit at low temperature[J]. Modern Horticulture, 2024(3):31-34.
- [3] 张明东,罗建.三种生物保鲜剂对樱桃番茄保鲜效果对比研究[J].西北园艺,2023(7):57-61.  
ZHANG M D, LUO J. Comparative study on the fresh-keeping effect of three biological preservatives on cherry tomato[J]. Northwest Horticulture, 2023(7):57-61.
- [4] FORMIGA A S, PEREIRA E M, JUNIOR J S P, et al. Effects of edible coatings on the quality and storage of early harvested guava[J]. Food Chemistry Advances, 2022, 1:100124.
- [5] GIMÉNEZ M J, VALVERDE J M, VALERO D, et al. Postharvest methyl salicylate treatments delay ripening and maintain quality attributes and antioxidant compounds of 'Early Lory' sweet cherry[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 117:102-109.
- [6] GARCÍA-BETANZOS C I, HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ H, BERNAL-COUOH T F, et al. Physicochemical, total phenols and pectin methylesterase changes on quality maintenance on guava fruit (*Psidium guajava* L.) coated with candeuba wax solid lipid nanoparticles-xanthan gum[J]. Food Research International, 2017, 101:218-227.
- [7] VALENCIA-CHAMORRO S A, PALOU L, DEL RÍO M Á, et al. Performance of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible coatings with antifungal food additives during cold storage of 'Clemenules' mandarins[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(10):2342-2348.
- [8] FERNÁNDEZ-CANCELO P, GINÉ -BORDONABA J, PÉREZ-GAGO M B, et al. A hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-based coating inhibits ethylene-dependent quality changes and reduces superficial scald incidence and blue mould severity during postharvest handling of two apple varieties[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 207:112610.
- [9] ZHOU Q Y, HUANG S S, ZOU L N, et al. Application of hydroxypropyl methylcellulose to improve the wettability of chitosan coating and its preservation performance on tangerine fruits [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 263:130539.
- [10] FAGUNDES C, PALOU L, MONTEIRO A R, et al. Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce *Alternaria* black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 193:249-257.
- [11] LEE J Y, GARCIA C V, SHIN G H, et al. Antibacterial and antioxidant properties of hydroxypropyl methylcellulose-based active composite films incorporating oregano essential oil nanoemulsions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 106:164-171.
- [12] ZHANG L, HUANG Y K, YUE L N, et al. Variation of blending ratio and drying temperature optimize the physical properties and compatibility of HPMC/curdlan films[J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 296:119951.
- [13] 雷明霞.蜂胶制剂对大樱桃保鲜作用的初步研究[J].蜜蜂杂志,2023,43(9):55-56.  
LEI M X. A preliminary study on the fresh-keeping effect of propolis preparation on cherry[J]. Chinese Journal of Honeybee, 2023, 43(9):55-56.
- [14] 贺莹,逯丽鑫,张焯,等.肉桂精油/壳聚糖可食性复合膜对樱桃保鲜的影响[J].北方园艺,2023(10):87-92.  
HE Y, LU L X, ZHANG Y, et al. Effects of cinnamon essential oil/chitosan edible composite film on cherry preservation [J]. Northern Horticulture, 2023(10):87-92.
- [15] WANG L Y, GUO H Y, WANG J, et al. Effects of Herba Lophatheri extract on the physicochemical properties and biological activities of the chitosan film[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 133:51-57.
- [16] FARCUH M, COPES B, LE-NAVENE G, et al. Sensory, physicochemical and volatile compound analysis of short and long shelf-life melon (*Cucumis melo* L.) genotypes at harvest and after postharvest storage[J]. Food Chemistry, 2020, 8:100107.
- [17] PANDEY V K, SRIVASTAVA S, SINGH R, et al. Effects of clove essential oil (*Caryophyllus aromaticus* L.) nanoemulsion incorporated edible coating on shelf-life of fresh cut apple pieces[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2023, 14:100791.
- [18] RASPO M A, VIGNOLA M B, ANDREATTA A E, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of citrus essential oils from Argentina and the United States[J]. Food Bioscience, 2020, 36:100651.
- [19] 周枫,靳羽慧,曹蒙,等.葫芦巴精油/海藻酸钠复合膜对油桃保鲜效果的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(11):254-259.  
ZHOU F, JIN Y H, CAO M, et al. Effect of fenugreek essential oil/sodium alginate composite film on nectarine preservation [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(11):254-259.
- [20] MAHFOUDHI N, HAMDI S. Use of almond gum and gum arabic as novel edible coating to delay postharvest ripening and to maintain sweet cherry (*Prunus avium*) quality during storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6):1499-1508.