

薛明珂,张迪,张雯. UV辐射结合壳聚糖涂层处理对甜樱桃采后保鲜品质的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(5):166-174.

XUE M K, ZHANG D, ZHANG W. Effects of UV radiation combined with chitosan coating on postharvest preservation quality of sweet cherries[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(5):166-174.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2025.05.18

UV辐射结合壳聚糖涂层处理对甜樱桃 采后保鲜品质的影响

薛明珂^{1,2}, 张迪^{1,2}, 张雯^{1,2}

(1. 陕西农林职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 果品质量安全检测与评价陕西省高等学校重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为防止甜樱桃采后发生不良变化和延长其货架期,以美早甜樱桃为试验材料,采用UV-B(21.6 kJ/m²)、UV-C(21.6 kJ/m²)紫外线辐射和1%壳聚糖(CS)涂膜3种单因素及联合因素对甜樱桃进行处理,并以不进行任何处理为对照,共计7个处理,并在4℃下贮藏28 d,检测不同处理下甜樱桃采后品质指标。结果显示,与不进行任何处理的对照组相比,UV/CS处理的果实品质保持得更好;UV/CS处理能显著抑制甜樱桃果实硬度、总花青素(TAC)含量和抗氧化活性(AOX)的下降,以及失重率和总可溶性固形物(TSS)的上升;尽管2种紫外线都对维持果实品质有一定效果,但与UV-B处理相比,UV-C处理的甜樱桃果实中总酚类化合物(TP)含量更高,抗氧化活性也更强。综上,壳聚糖、紫外线(UV-B和UV-C)与冷贮相结合的处理方式效果最佳,能显著抑制质量损失和TSS的增加,并使果实硬度、AA、AOX、TAC和TP含量达到最高。

关键词:UV辐射;壳聚糖;甜樱桃;低温贮藏;保鲜品质

中图分类号:S662.5 文献标识码:A 文章编号:1002-2481(2025)05-0166-09

Effects of UV Radiation Combined with Chitosan Coating on Postharvest Preservation Quality of Sweet Cherries

XUE Mingke^{1,2}, ZHANG Di^{1,2}, ZHANG Wen^{1,2}

(1. Shaanxi Agriculture and Forestry Vocational and Technical University, Yangling 712100, China;

2. Key Laboratory for Fruit Quality Safety Inspection and Assessment of Higher Education

Institutions in Shaanxi Province, Yangling 712100, China)

Abstract: To prevent adverse changes of sweet cherries after harvest and extend their shelf life, in this experiment, a sweet cherry variety Meizao was used as the test material, three single and combined factors, namely UV-B(21.6 kJ/m²), UV-C(21.6 kJ/m²) ultraviolet radiation, and 1% of chitosan(CS) coating film, were used to treat sweet cherries, the control was no any treatment, totally 7 treatments were set. And they were stored at 4℃ for 28 days to detect the postharvest quality indexes of sweet cherries under different treatments. The results showed that, compared with the control group, the quality of the fruits treated with UV/CS was maintained better. UV/CS treatment could significantly inhibit the decrease in hardness, TAC content and AOX of sweet cherry fruits, as well as the increase in weight loss rate and TSS. Although both types of ultraviolet rays were effective in maintaining fruit quality, compared with UV-B treatment, the accumulation of TP content in sweet cherry fruits treated with UV-C was higher and the related AOX ability was also stronger. In conclusion, the treatment method combining chitosan, ultraviolet light(UV-B and UV-C) and cold storage had the best effect. It could significantly inhibit weight loss and the increase of TSS, and maximize fruit hardness and the contents of AA, AOX, TAC, and TP.

Keywords: UV radiation; chitosan; sweet cherry; low temperature storage; preservation quality

甜樱桃因其独特风味和丰富营养而倍受青睐,其多酚类物质(如花青素)具有强抗氧化性,可

降低癌症、心血管疾病等慢性病发生风险^[1]。然而,甜樱桃易受真菌侵染且衰老迅速,导致采后保

收稿日期:2025-01-21

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研究,E-mail:xmkcoco@163.com

鲜期较短^[2]。因此,研究减少采后损失、延长贮藏期的技术至关重要。

预采收和采后处理均可减少水果质量损失并延长贮藏期,其中,采后处理更为关键,能有效防止贮藏期间的潜在损失^[3]。传统合成杀菌剂虽能控制采后腐烂,但其化学残留存在食品安全风险,因此,需研发更安全、高效的采后处理技术,以维持甜樱桃品质并减少化学试剂使用及对环境的影响^[4]。目前,低温冷藏、水冷、气调包装等物理方法被广泛应用,但这些方法可能造成生理障碍,如表面凹陷和花青素降解^[5]。

紫外线(UV-B和UV-C)作为一种环境友好且成本效益高的非化学工具,操作简便,可用于采后园艺产品的质量维护,减少化学试剂使用,降低化学残留和环境风险^[6]。然而,不当的UV处理可能对果实外观和营养价值产生负面影响^[6]。UV-B能增强生物活性化合物和抗氧化酶活性,而UV-C(100~280 nm)具有强杀菌特性,可抑制微生物生长^[4]。因此,UV-B与UV-C结合可通过延缓果实成熟和衰老,改善采后质量,防止硬度、水分和pH值变化,增强酚类化合物等抗氧化剂的稳定性,并减少甜樱桃采后腐烂。然而,这种双重UV处理在甜樱桃保鲜中的应用尚未见报道。

在多种可食用涂层中,壳聚糖因其可生物降解、无毒、抗菌、成膜性和生化特性优异而倍受关注^[7]。它能形成半透膜,调节细胞内部环境,减缓呼吸和蒸腾作用,并激活防御机制以抵御微生物侵袭^[7]。壳聚糖涂层已在石榴^[8]、番石榴^[9]、芒果^[10]、甜樱桃^[6]和李子^[11]中成功应用。研究表明,UV-C与壳聚糖涂层结合可有效维持葡萄的感官质量并减少真菌腐烂^[4]。

目前,尚无研究探讨UV与壳聚糖联合处理对低温贮藏下甜樱桃货架期和后熟质量的影响。因此,本研究通过结合UV和壳聚糖涂层对甜樱桃进行处理,并在低温条件下贮藏,测定其理化指标,以评估该联合处理对甜樱桃贮藏寿命和品质特性的影响。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试美早甜樱桃于2024年5月采收自陕西省渭南市大荔县一果园,樱桃按颜色、大小和无物理损伤或病虫害感染的标准选取1 680个大小均匀、

成熟程度一致的果实,于4℃冷藏保存。

1.2 试验设计

试验共设7个处理(表1),每个处理3次重复。甜樱桃放入PET盒(140 mm×128 mm×30 mm)中,盒体两侧有4个直径为10 mm的通风孔,将樱桃在4℃和90%±2%相对湿度的条件下贮藏28 d。

表1 紫外线和壳聚糖涂层处理

Tab.1 UV and chitosan coating treatment

处理 Treatment	方法 Method
CK	不进行任何处理
CS	1%壳聚糖
UV-B	紫外线-B(21.6 kJ/m ²)
UV-C	紫外线-C(21.6 kJ/m ²)
CS+UV-B	1%壳聚糖+紫外线-B(21.6 kJ/m ²)
CS+UV-C	1%壳聚糖+紫外线-C(21.6 kJ/m ²)
CS+UV-B+UV-C	1%壳聚糖+紫外线-B(21.6 kJ/m ²)+ 紫外线-C(21.6 kJ/m ²)

1.2.1 壳聚糖涂层的制备 采用西格玛奥德里奇公司(上海)提供的脱乙酰度为90%、分子质量为360 ku的壳聚糖(CS),将其溶解在1%(m/V)的乙酸水溶液中,制备出1%(m/V)的CS溶液。将溶液在40℃下搅拌过夜,以完全溶解壳聚糖。在真空下通过惠特曼1号滤纸过滤溶液以去除杂质和不溶性物质,然后向溶液中加入甘油作为增塑剂(甘油体积分数为壳聚糖溶液的0.5%),以改善壳聚糖在水果表面的成膜效果并降低壳聚糖涂层的脆性。将甜樱桃果实在25℃下浸入壳聚糖溶液中1 min,使壳聚糖在整个果实表面形成均匀的膜,然后将甜樱桃在25℃的台面上放置1 h,自然晾干。

1.2.2 UV辐射处理 以ABDIPOUR等^[12]的研究方法为基础进行调整,对甜樱桃果实进行辐射处理。使用配备有3个UV-B(21.6 kJ/m²)和3个UV-C(21.6 kJ/m²)灯(每盏功率30 W,长度90 cm,直径2.5 cm)的UV舱,将果实放在UV舱的底部,用紫外线灯照射10 min,果实与灯的距离约为50 cm。照射完果实的一面后,将果实翻转到另一面进行照射。对照处理放在黑暗中静置10 min。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 失重率(W_L) 采用公式(1)计算得到。

$$W_L = ((W_i - W_f) / W_i) \times 100\% \quad (1)$$

式中,W_i为初始质量,W_f为冷藏7、14、21、28 d后的质量。

1.3.2 硬度 使用直径为 30 mm 的平圆柱形探头的质地分析仪(CT-3 质地分析仪,美国布鲁克菲尔德)测定果实硬度。

1.3.3 总可溶性固形物(TSS)、总可滴定酸度(TTA)、抗坏血酸(AA)含量 从每个样品中随机选取 50 个果实,去除果核后,用爱拓 PAL-BX|ACID F5 测量样品 TSS、TTA 含量,采用高效液相色谱法测定 AA 含量^[13]。

1.3.4 总花青素含量(TAC)含量 采用 AOAC^[14]的方法,基于花青素-3-葡萄糖苷(C3G)的吸光度,根据花青素在 2 个不同 pH 值(1.0 和 4.5)下的摩尔吸光系数变化,获得总单体花青素含量。

$$TAC=(A \times MW \times DF \times 1000)/(\epsilon \times l) \quad (2)$$

其中, $A=(520 \text{ nm}$ 处的吸光度 -700 nm 处的吸光度)在 pH 值为 1.0 的条件下) $-(520 \text{ nm}$ 处的吸光度 -700 nm 处的吸光度)在 pH 值为 4.5 的条件下); MW 是 C3G 的分子量(449.2 g/mol); DF 是稀释倍数;1 000 是将 g 转换为 mg 的系数; l 是厘米的光程长度; ϵ 是 C3G 的摩尔吸光系数(26 900 L/(mol·cm))。

1.3.5 抗氧化活性(AOX) 抗氧化活性通过 DPPH 清除力(RSC)法测定^[6]。将 0.1 mL 樱桃汁或蒸馏水(对照)加入 3.9 mL 0.1 mmol/L DPPH 甲醇溶液中,摇匀后避光静置 30 min。使用分光光度计(T80+, PG Instruments, 英国)在 517 nm 波长下测定吸光度(A 为样品,B 为对照)。

$$AOX=((B-A)/B) \times 100\% \quad (3)$$

1.3.6 总酚类化合物(TP)含量 总酚含量采用 Folin-Ciocalteu 试剂(FCR)法测定^[15]。将果汁和 FCR 稀释 10 倍后,取 1.0 mL 稀释果汁与 7.5 mL FCR 混合,5 min 后加入 7.5 mL 6% Na_2CO_3 , 25 °C 避光反应 2 h。使用分光光度计在 725 nm 波长下测定吸光度,以没食子酸(GA)为标准绘制标准曲线,结果以 GA 当量表示。

1.3.7 感官评价 感官评价参照 ECHEVERRÍA 等^[16]方法,由 15 名专业品评员进行评价。采用五点量表(1.极差;2.较差;3.合格;4.较佳;5.极佳)评估颜色、风味、气味和整体接受度。品评在常温、标准光照下进行,品评间隔用矿泉水漱口。

1.4 数据分析

数据正态性采用 Kolmogorov-Smirnov 检验,百分比数据经反正弦转换。使用 SAS 9.2 软件进行单因素方差分析(ANOVA),均值差异采用 Duncan 多重比较检验($P < 0.001$)。

2 结果与分析

2.1 不同处理对甜樱桃贮藏期失重率的影响

果实质量损失主要由贮藏期间的蒸腾和呼吸作用导致水分蒸发引起。表 2 结果显示,不同处理的甜樱桃在贮藏期间均出现不同程度的质量损失。

表 2 不同处理的甜樱桃在贮藏时失重率的变化

Tab.2 Changes in the weight loss rate of sweet cherries with different treatments during storage %

处理 Treatment	贮藏时间/d Storage time				
	0	7	14	21	28
CK	0	0.23±0.00a	1.41±0.02a	2.44±0.03a	2.84±0.05a
CS	0	0.11±0.00d	0.61±0.01c	1.71±0.03d	1.95±0.02d
UV-C	0	0.14±0.00b	1.25±0.00b	2.01±0.03b	2.43±0.07b
UV-B	0	0.15±0.00b	1.26±0.05b	2.17±0.02b	2.65±0.02b
CS+UV-B	0	0.13±0.00c	0.71±0.03c	1.95±0.01c	2.11±0.02c
CS+UV-C	0	0.11±0.00d	0.29±0.02d	1.02±0.01e	1.51±0.05e
CS+UV-B+UV-C	0	0.00±0.00e	0.04±0.02e	0.71±0.00f	1.21±0.06f

注:不同小写字母表示不同处理之间差异极显著($P < 0.001$)。下表同。

Note: The different lowercase letters indicated that there were extremely significant differences among different treatments($P < 0.001$). The same as below.

从图 1 可以看出,CK 从第 1 天开始质量损失,第 28 天达峰值,而 UV、CS 处理的果实质量损失显著减缓($P < 0.001$)。贮藏结束时,CS+UV-B+UV-C 处理的失重率最低(1.21%),CK 最高

(2.84%)。CS+UV-B 处理的失重率极显著低于 CS+UV-C 处理($P < 0.001$),且优于单一 CS 处理。综上,联合处理(CS+UV-B、CS+UV-C)比单一处理更有效维持果实质量,降低失水率。

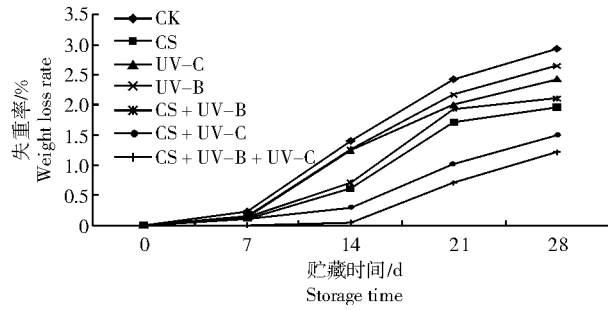


图1 不同处理对甜樱桃贮藏期失重率的影响

Fig.1 Effects of different treatments on weight loss rate of sweet cherries during storage

表3 不同处理的甜樱桃在贮藏时硬度的变化

Tab.3 Changes in the hardness of sweet cherries with different treatments during storage

mN

处理 Treatment	贮藏时间/d Storage time				
	0	7	14	21	28
CK	335.151±0.018a	326.19±1.34c	291.22±0.21f	237.04±1.31d	202.72±1.50g
CS	335.152±0.003a	341.23±0.55a	312.41±1.12c	250.04±2.11b	217.69±2.32d
UV-C	335.154±0.067a	339.15±2.11b	302.59±2.31d	244.86±0.31c	214.65±2.41e
UV-B	335.151±0.004a	339.61±1.32b	295.62±1.19e	241.52±2.43c	209.99±0.11f
CS+UV-B	335.153±0.011a	341.56±1.53a	301.55±1.33d	250.13±0.96b	220.51±4.33c
CS+UV-C	335.152±0.020a	342.31±2.01a	310.31±0.97b	254.11±0.76b	224.35±5.43b
CS+UV-B+UV-C	335.151±0.005a	342.13±0.43a	321.32±0.37a	262.85±0.83a	238.01±2.44a

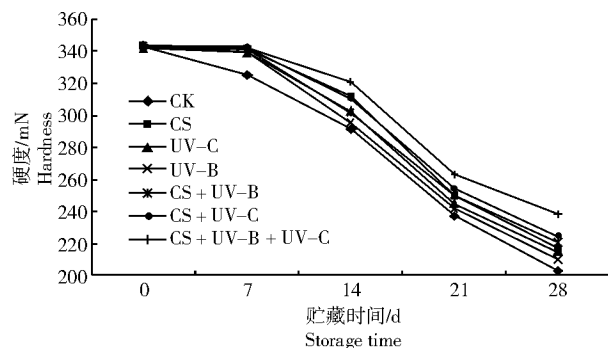


图2 不同处理对甜樱桃贮藏期硬度的影响

Fig.2 Effects of different treatments on hardness of sweet cherries during storage

2.3 不同处理对甜樱桃贮藏期总可滴定酸(TTA)含量的影响

TTA是与甜樱桃果实成熟和完熟相关的重要品质参数。由图3和表4可知,随着贮藏时间的延长,果实中的TTA含量逐渐下降。CK果实中TTA含量从第1天开始下降,而UV、CS处理的果实中TTA含量则推迟到第7天下降。未经处理的樱桃果实中酸的损失可能归因于大量的有机酸作为呼吸代谢底物而被消耗较多。本研究结果与

2.2 不同处理对甜樱桃贮藏期硬度的影响

所有处理的甜樱桃硬度在贮藏期间均显著下降($P<0.001$),第28天达最低水平(表3、图2)。CK组甜樱桃从第1天开始软化,其他处理甜樱桃因UV、CS作用,软化推迟至第7天。CS+UV-B+UV-C处理甜樱桃软化最慢,效果最显著,CK硬度下降约40.1%。UV-C抑制软化效果优于UV-B,且与CS结合后效果更佳。联合CS处理的果实在贮藏结束时硬度高于单一UV处理。

ABDIPOUR等^[12]的研究结果一致,该研究也观察到经紫外线照射的草莓和桃果实中TTA含量下降较慢。单独的紫外线照射处理后,UV-B处理的果实对TTA含量的维持效果比UV-C处理的果实差,二者分别与CS结合后,CS+UV-C的效果较好。同时在UV和CS处理的果样中,TTA含量之间存在极显著差异($P<0.001$),CS+UV-B+UV-C处理保留了最大含量的TTA。

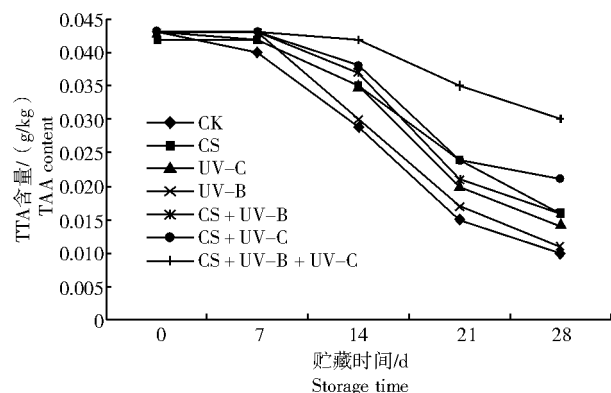


图3 不同处理对甜樱桃贮藏期TTA含量的影响

Fig.3 Effects of different treatments on TTA content of sweet cherries during storage

表 4 不同处理的甜樱桃在贮藏时 TTA 含量的变化

Tab.4 Changes in the TTA content of sweet cherries with different treatments during storage g/kg

处理 Treatment	贮藏时间/d Storage time				
	0	7	14	21	28
CK	0.043 1±0.000 1a	0.041±0.002b	0.029±0.021d	0.015±0.003f	0.011±0.001f
CS	0.043 1±0.000 3a	0.042±0.001a	0.035±0.003c	0.024±0.001d	0.016±0.002d
UV-C	0.043 3±0.000 1a	0.042±0.002a	0.035±0.002c	0.020±0.001c	0.014±0.002e
UV-B	0.043 1±0.000 6a	0.043±0.005a	0.030±0.011d	0.017±0.001e	0.011±0.001e
CS+UV-B	0.043 2±0.000 4a	0.043±0.011a	0.037±0.004b	0.021±0.001c	0.016±0.002d
CS+UV-C	0.043 1±0.000 2a	0.043±0.002a	0.038±0.001b	0.024±0.001b	0.021±0.001c
CS+UV-B+UV-C	0.043 1±0.000 4a	0.043±0.001a	0.042±0.001a	0.035±0.001a	0.030±0.001a

2.4 不同处理对甜樱桃贮藏期总可溶性固形物 (TSS) 含量的影响

甜樱桃为后熟水果,贮藏期间各处理组甜樱桃 TSS 含量呈先升后降趋势^[17]。从图 4 和表 5 可以看出,所有处理的果实 TSS 含量在贮藏初期显著增加($P<0.001$),后期逐渐下降。TSS 含量初期增加可能与水分流失、成熟软化、酶活性增强、细胞压力降低有关^[18]。此外,细胞壁中不溶性多糖(如果胶、纤维素)降解为可溶性糖,以及半纤维素和聚乙烯醇溶解度增加,也可能导致 TSS 含量上升^[11]。与 CK 组相比,处理组(除 UV-B 外)TSS 含量变化显著降低($P<0.001$)。UV-B 处理对 TSS 含量的增加无显著抑制作用,其 TSS 含量甚至高于 CS 处理。相反,UV-C 和 CS 处理能有效抑制 TSS 含量增加,且二者结合效果最佳,显著延缓了

TSS 含量的上升和下降。

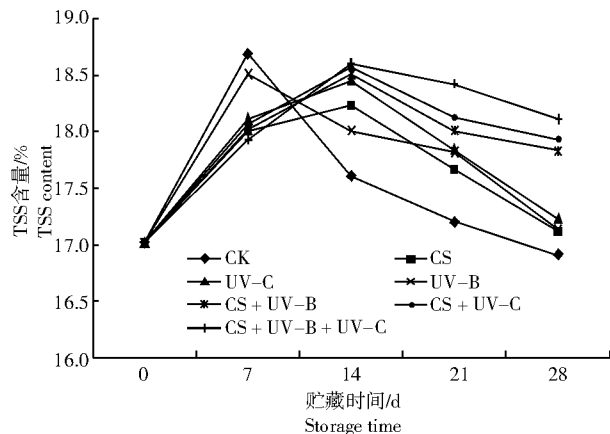


图 4 不同处理对甜樱桃贮藏期 TSS 含量的影响
Fig.4 Effects of different treatments on TSS content of sweet cherries during storage

表 5 不同处理的甜樱桃在贮藏时 TSS 含量的变化

Tab.5 Changes in the TSS content of sweet cherries with different treatments during storage %

处理 Treatment	贮藏时间/d Storage time				
	0	7	14	21	28
CK	17.021±0.02a	18.68±0.01a	17.61±0.12c	17.21±0.08d	16.91±0.13b
CS	17.022±0.02a	18.01±0.10b	18.23±0.05b	17.66±0.11c	17.11±0.14b
UV-C	17.022±0.01a	18.11±0.02b	18.45±0.23b	17.84±0.22c	17.23±0.11b
UV-B	17.021±0.03a	18.51±0.02b	18.01±0.16b	17.82±0.31c	17.13±0.22b
CS+UV-B	17.020±0.01a	18.02±0.05b	18.51±0.21a	18.01±0.12b	17.83±0.11a
CS+UV-C	17.021±0.02a	18.07±0.02b	18.57±0.33a	18.12±0.22b	17.92±0.02a
CS+UV-B+UV-C	17.023±0.01a	17.92±0.02b	18.62±0.03a	18.42±0.04a	18.11±0.11a

2.5 不同处理对甜樱桃贮藏期抗坏血酸(AA)含量的影响

各处理组甜樱桃的 AA 含量随贮藏时间延长极显著下降($P<0.001$)(表 6、图 5),CK 在第 28 天减少超过 31%(65.90 mg/kg),可能与氧化或热降

解有关^[19]。UV、CS 处理极显著延缓 AA 含量下降($P<0.001$),其原因可能是低氧渗透性抑制了酶活性,减少了 AA 氧化^[20]。单独使用 UV-B、UV-C 或 CS 处理均能维持 AA 含量,而联合处理(CS+UV-B、CS+UV-C 或 CS+UV-B+UV-C)效果

更佳,其中,CS+UV-B+UV-C效果最优。

表6 不同处理的甜樱桃在贮藏时AA含量的变化

Tab.6 Changes in the AA content of sweet cherries with different treatments during storage mg/kg

处理 Treatment	贮藏时间/d Storage time				
	0	7	14	21	28
CK	96.211±0.002a	89.21±0.01c	74.10±0.41c	71.40±0.12d	65.90±0.11f
CS	96.210±0.002a	95.21±0.02b	89.20±0.41b	88.03±0.32b	80.10±0.21c
UV-C	96.214±0.001a	95.03±0.13b	88.80±0.32b	87.42±0.11b	79.71±0.35d
UV-B	96.212±0.003a	95.03±0.22b	84.42±0.13b	79.11±0.02c	70.42±0.04e
CS+UV-B	96.213±0.003a	96.02±0.12a	89.22±0.23b	88.03±0.34b	82.41±0.27b
CS+UV-C	96.212±0.005a	95.91±0.51b	89.92±0.14b	88.71±0.22b	83.71±0.33b
CS+UV-B+UV-C	96.210±0.002a	96.10±0.20a	92.61±0.21a	90.71±0.28a	87.62±0.19a

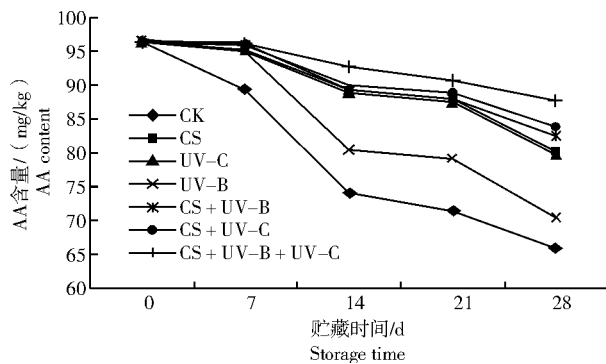


图5 不同处理对甜樱桃贮藏期AA含量的影响

Fig.5 Effects of different treatments on AA content of sweet cherries during storage

2.6 不同处理对甜樱桃贮藏期总酚(TP)含量的影响

所有处理组甜樱桃的初始TP含量均为441.92 mg/kg,且随贮藏时间延长极显著下降($P<0.001$),在第28天达到最低水平(图6、表7)。UV、CS处理的TP含量下降幅度小于CK组。单独CS处理在28 d后TP含量比CK组高17.95%,

与PETRICCIONE等^[21]的研究结果一致。UV-C与CS处理对TP含量的影响相近,贮藏结束时无显著差异。CS+UV-C处理对TP含量的影响极显著大于UV-B($P<0.001$)。综上,CS+UV-B+UV-C联合处理实现了最高的TP保留量,为366.61 mg/kg,比CK高30.64%。

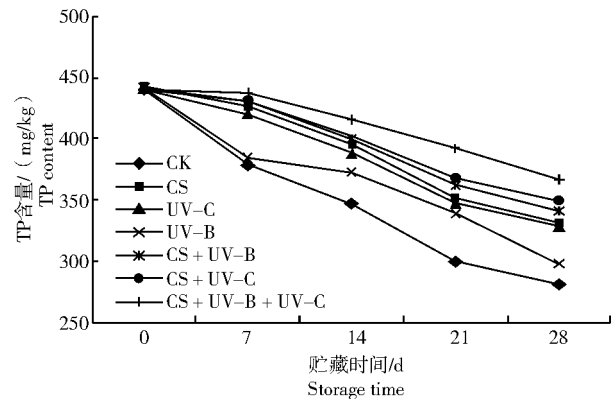


图6 不同处理对甜樱桃贮藏期TP含量的影响

Fig.6 Effects of different treatments on TP content of sweet cherries during storage

表7 不同处理的甜樱桃在贮藏时TP含量的变化

Tab.7 Changes in the TP content of sweet cherries with different treatments during storage mg/kg

处理 Treatment	贮藏时间/d Storage time				
	0	7	14	21	28
CK	441.924±0.002a	379.02±0.11d	346.34±0.12e	300.17±0.22e	280.62±0.30f
CS	441.921±0.004a	426.08±0.02c	394.56±0.51c	351.91±0.46c	331.01±0.34d
UV-C	441.922±0.001a	420.19±0.50c	388.02±0.43d	347.34±0.33c	328.00±0.33d
UV-B	441.920±0.003a	384.00±0.41d	372.41±0.32d	338.82±0.15d	297.31±0.19e
CS+UV-B	441.921±0.002a	430.21±0.06b	399.58±0.36c	362.01±0.49b	341.19±0.21c
CS+UV-C	441.923±0.002a	430.67±0.11b	402.01±0.31b	367.18±0.45b	349.46±0.28b
CS+UV-B+UV-C	441.924±0.003a	437.95±0.30a	415.51±0.09a	392.08±0.28a	366.61±0.27a

2.7 不同处理对甜樱桃贮藏期总花青素(TAC)含量的影响

TAC是甜樱桃果实红色的主要来源,反映其成熟度和品质。CK组甜樱桃的TAC含量随贮藏时间延长明显下降(表8、图7),这主要与TAC合成酶(如PAL和ANS)活性降低有关^[4]。UV、CS处理极显著提高了TAC含量($P<0.001$),可能是

由于UV诱导了TAC合成或CS抑制了其分解^[12]。CS处理的TAC含量最高,其次依次为UC-C、UC-B。CS+UV-B、CS+UV-C、CS+UV-B+UV-C处理分别使TAC含量提高了32.20%、35.54%和50.25%,表明联合处理有效维持了TAC含量和果实品质。

表8 不同处理的甜樱桃在贮藏时TAC含量的变化

mg/kg

处理 Treatment	贮藏时间/d Storage time				
	0	7	14	21	28
CK	444.513±0.002a	391.11±0.21e	333.61±0.11g	292.82±0.31g	254.31±0.29g
CS	444.513±0.001a	430.10±0.40b	411.01±0.34d	380.62±0.22d	365.82±0.09d
UV-C	444.512±0.003a	422.11±0.05c	402.51±0.22e	363.81±0.41e	345.21±0.13e
UV-B	444.510±0.002a	410.50±0.11d	393.12±0.21f	338.41±0.07f	314.12±0.17f
CS+UV-B	444.512±0.004a	432.41±0.34b	419.52±0.46c	397.43±0.17c	374.21±0.22c
CS+UV-C	444.514±0.003a	437.41±0.42b	423.72±0.22b	406.41±0.31b	397.02±0.70b
CS+UV-B+UV-C	444.511±0.002a	439.01±0.21a	430.52±0.03a	420.51±0.01a	414.71±0.09a

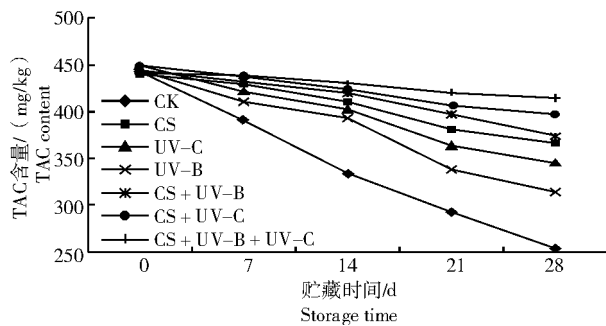


图7 不同处理对甜樱桃贮藏期TAC含量的影响

Fig.7 Effects of different treatments on TAC content of sweet cherries during storage

2.8 不同处理对甜樱桃贮藏期抗氧化活性(AOX)的影响

各处理组甜樱桃果实的AOX随着果实贮藏

时间的延长而逐渐下降(表9、图8),而CS、UV处理有效地抑制了这种下降。与CK相比,经CS、UV处理的果实在整个贮藏期间均能较好地保持AOX。UV处理后的果实中AOX的损失较低;与UV处理相比,CS涂层处理对AOX损失的抑制效果更好。CS涂层的樱桃果实的AOX比UV-C和UV-B照射的果实分别高出2.7%和10.1%。与UV-B相比,UV-C处理能更好地保留AOX,但当紫外线(UV-B或UV-C)与CS处理相结合时,未观察到显著差异。CS+UV-B+UV+C在7、14、21、28 d后,AOX损失分别为2.97%、3.74%、4.01%和5.64%,比CK组的AOX损失低23.91%,表现出最佳的抗氧化活性。

表9 不同处理的甜樱桃在贮藏时AOX的变化

%

处理 Treatment	贮藏时间/d Storage time				
	0	7	14	21	28
CK	48.911±0.002a	43.02±0.16b	39.34±0.31e	38.48±0.19e	34.92±0.28e
CS	48.910±0.003a	45.91±0.25a	42.95±0.15d	42.24±0.34c	40.13±0.42b
UV-C	48.912±0.001a	45.91±0.26a	42.67±0.20d	42.02±0.16c	39.07±0.22c
UV-B	48.914±0.002a	45.71±0.27a	41.04±0.34e	40.88±0.19d	36.44±0.21d
CS+UV-B	48.913±0.001a	45.91±0.22a	43.91±0.23c	43.39±0.16b	40.21±0.19b
CS+UV-C	48.912±0.004a	45.91±0.42a	44.04±0.11b	43.34±0.14b	40.91±0.28b
CS+UV-B+UV-C	48.914±0.003a	45.94±0.13a	45.17±0.27a	44.91±0.33a	43.27±0.11a

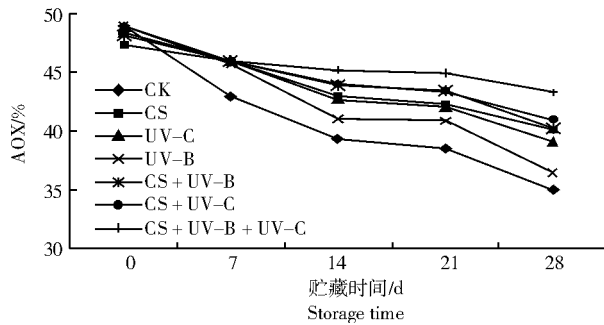


图8 不同处理对甜樱桃贮藏期 AOX 的影响

Fig.8 Effects of different treatments on AOX of sweet cherries during storage

2.9 不同处理的甜樱桃在贮藏结束后的感官分析

采用感官测试方法评估了紫外线辐射和壳聚糖涂层对甜樱桃果实贮藏期间的影响,通过定量描述分析对甜樱桃果实的味道、气味、颜色和总体接受度进行了评价。从图9可以看出,果实的感官评价随着贮藏时间的延长变化较为明显,CK组果实贮藏结束时总体评价较差,其他处理组的总体评价略有下降。尽管单个处理(UV-B、UV-C和CS)之间在味道上差异不大,与CS+UV-B处理组相比,CS+UV-C处理组的味道值更高。与CK组相比,CS+UV-C和CS+UV-B+UV-C处理组在贮藏期间能保持最佳的味道值、气味值和色泽,最终整体评价最高。

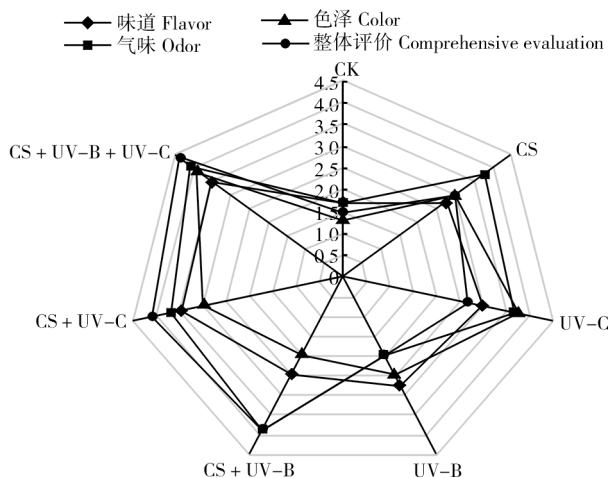


图9 不同处理的甜樱桃在贮藏结束后的感官分析

Fig.9 Sensory analysis of sweet cherries with different treatments after storage

3 结论与讨论

本研究根据甜樱桃生物学特性和紫外线辐射及壳聚糖涂层特性,制定了UV-B、UV-C和CS不

同组合处理的试验方案,结果表明,与CK组相比,UV处理(单独处理或与CS结合)在整个贮藏期间能更有效地抑制质量损失。ABDIPOUR等^[12]研究表明,UV灯的辐射处理在防止水果质量损失方面的作用可能与其限制呼吸速率和蒸腾速率有关;此外,UV处理能降低果实的失重率,可能与抑制细胞膜功能障碍有关。同样,KUMAR等^[11]的研究表明,在甜瓜果实中,新鲜质量损失与组织电解质渗漏呈正相关,而适量的UV处理能降低细胞组织的电解质渗漏,从而降低失重率。SIROOYE等^[17]研究结果显示,甜樱桃果实经紫外线灯照射可以抑制成熟过程并保持果实质量,与单独紫外线辐射处理(UV-B和UV-C)相比,CS涂层的附加能显著减少果实的质量损失,这可能是由于CS之类的可食用涂层是O₂和CO₂交换的适宜屏障,能够通过减少气体交换和水分流失来延长水果和蔬菜的贮藏期和货架期。此外,本研究结果显示,将CS与UV辐射处理结合起来,能较好地发挥这2种处理的互补效应,从而将降低失重率的效果达到最佳。

果实软化通常与破坏果实细胞壁的生物化学反应有关,果胶酶(如多聚半乳糖醛酸酶(PG)、果胶甲酯酶(PME)、甲酯酶(ME))等细胞壁组分的果胶水解是导致果实软化的重要因素之一。因此,任何能够降低这些酶活性的处理方法都有助于保持果实的硬度。多项研究表明,UV照射或CS涂层与天然抑制剂一样有效,可以减少贮藏期间果实的硬度降低^[4,10],通过将UV辐射和CS涂层结合起来,发现这2种处理结合后的协同作用在维持果实硬度方面达到了更高的水平。

UV辐射和CS涂层对水果TSS和TTA的影响可能主要是由于减缓了物质分解代谢过程和呼吸速率^[11]。UV和CS的联合效果比单独应用时的抑制效率更好。CS+UV-B+UV-C显著降低了TSS和TTA的下降速率。BATISTA等^[9]、OU等^[4]、KUMAR等^[11]在番石榴、菠萝和李子等水果中的研究也发现了这一现象。

此外,CS+UV-B、CS+UV-C和CS+UV-B+UV-C在贮藏结束时,保持了比单独处理更高的AA含量、TP含量、AOX,其中,CS+UV-B+UV-C处理效果最佳,这一研究结果与OU等^[4]、ADILETTA等^[8]、JONGSRI等^[10]、HANIFI等^[20]的研究结果一致。这些研究结果分别表明,UV辐射或CS涂层处理能通过降低苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性、降低果实内部气体交换来降低氧化分解作用,从而延

缓菠萝、枇杷、芒果和樱桃果实中 AA 含量、TP 含量、AOX 的损失。评价者通过合理打分,对 CS+UV-B+UV-C 处理给出了最高的整体评价价值,比 CK 组高出 200%,被认为是最佳的处理方式。

综上所述,CS 与 UV 辐射联合使用可延缓甜樱桃果实的质量损失,保持果实硬度,延缓 AA、TTA、TAC、TP 含量和 AOX 的变化,维持感官品质。在所有量化指标测验结果中发现,CS+UV-B+UV-C 表现出最佳的贮藏特性。因此,CS+UV-B+UV-C 处理方法是提高甜樱桃果实贮藏品质的一种有力策略,并为进一步生物学分析提供了特殊的视角。

参考文献:

- [1] HABIB M, BHAT M, DAR B N, et al. Sweet cherries from farm to table: a review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(8): 1638-1649.
- [2] 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.
- [3] 张雯雯, 吴小华, 李一婧, 等. 气调复合 1-MCP 对萨米脱甜樱桃果实贮藏期品质的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2023, 58(2): 93-100.
ZHANG W W, WU X H, LI Y J, et al. Effects of controlled atmosphere compound 1-MCP on the quality of sweet cherry Summit during storage[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2023, 58(2): 93-100.
- [4] OU C, LIU Y, WANG W, et al. Integration of UV-C with antagonistic yeast treatment for controlling post-harvest disease and maintaining fruit quality of *Ananas comosus*[J]. *BioControl*, 2016, 61(5): 591-603.
- [5] 薛明珂, 梁文. 不同冷冻技术对甜樱桃保鲜效果的影响[J]. *湖北农业科学*, 2022, 61(21): 124-129.
XUE M K, LIANG W. Preservation effects of different freezing techniques on sweet cherry[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2022, 61(21): 124-129.
- [6] KIM D S, HWANG B K. An important role of the pepper phenylalanine ammonia-lyase gene (*PAL1*) in salicylic acid-dependent signalling of the defence response to microbial pathogens[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65(9): 2295-2306.
- [7] HAN C, ZUO J H, WANG Q, et al. Effects of chitosan coating on postharvest quality and shelf life of sponge gourd (*Luffa cylindrica*) during storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 166: 1-8.
- [8] ADILETTA G, PASQUARIELLO M S, ZAMPELLA L, et al. Chitosan coating: a postharvest treatment to delay oxidative stress in loquat fruits during cold storage[J]. *Agronomy*, 2018, 8(4): 54.
- [9] BATISTA SILVA W, COSME SILVA G M, SANTANA D B, et al. Chitosan delays ripening and ROS production in guava (*Psidium guajava* L.) fruit[J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 232-238.
- [10] JONGSRI P, WANGSOMBOONDEE T, ROJSITTHISAK P, et al. Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit[J]. *LWT-Food Science & Technology*, 2016, 73: 28-36.
- [11] KUMAR P, SETHI S, SHARMA R R, et al. Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of plum during storage at low temperature[J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 226: 104-109.
- [12] ABDIPOUR M, HOSSEINIFARAH M, NASERI N. Combination method of UV-B and UV-C prevents post-harvest decay and improves organoleptic quality of peach fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 256: 108564.
- [13] 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.
- [14] HORWITZ W. AOAC official methods program manual 17th edn[M]. Washington, DC.: AOAC International, 2005: 1210-1221.
- [15] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTÓS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. [M]//Oxidants and Antioxidants Part A. Amsterdam: Elsevier, 1999: 152-178.
- [16] ECHEVERRÍA G, CANTÍN C M, ORTIZ A, et al. The impact of maturity, storage temperature and storage duration on sensory quality and consumer satisfaction of 'Big Top®' nectarines[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 190: 179-186.
- [17] SIROOYE B, MORTAZAVI S, MOALEMI N, et al. Effect of post-harvest application of putrescin and ultraviolet irradiation on the quality of strawberry fruit Selva cultivar[J]. *Iran Crop Production*, 2013, 36: 117-127.
- [18] 赵亚珠, 郝晓秀, 刘光发, 等. 肉桂精油抗菌包装纸对甜樱桃防腐保鲜效果的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(14): 153-159.
ZHAO Y Z, HAO X X, LIU G F, et al. Effects of antimicrobial packaging paper coated with cinnamon essential oil on the quality of sweet cherries[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(14): 153-159.
- [19] 刘绪, 李欢, 黄潇潇, 等. 改良浸钙法对甜樱桃保鲜效果的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2021, 48(3): 390-396.
LIU X, LI H, HUANG X Y, et al. Effect of modified calcium immersion treatment on preservation of sweet cherry[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2021, 48(3): 390-396.
- [20] HANIFI KOÇ A K, ERDİNÇ B A L. Effects of postharvest UV-C and edible coating treatments on fruit quality and storage of sweet cherry[J]. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2017, 4(1): 79-88.
- [21] PETRICCIONE M, DE SANCTIS F, PASQUARIELLO M S, et al. The effect of chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of sweet cherry during postharvest life[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(2): 394-408.