

采前喷施壳寡糖对采后西梅抗氧化代谢及贮藏品质的影响

李文博, 张新祺, 赵亚婷, 范雅青, 张璇, 吴颖颖, 朱璇*
(新疆农业大学食品科学与药学院 乌鲁木齐 830052)

摘要 目的:探究采前喷施壳寡糖(COS)对采后西梅抗氧化代谢及贮藏品质的影响。方法:以西梅为试材,采用不同质量浓度的(0.5,1.0,2.0 g/L)COS 分别在坐果期、膨大期、转色期和成熟期喷施,采后将果实置于温度(1.0±1)℃、相对湿度 90%~95%条件下贮藏 90 d,每 15 d 取样 1 次,测定相关指标。结果:采前喷施 COS 使西梅果实贮藏期间保持较高的硬度、可滴定酸和可溶性固形物含量,有效抑制了表面色泽变暗,显著降低了西梅果实呼吸强度和失重率,感官品质明显优于对照组,其中 1.0 g/L COS 处理组与对照组相比,硬度高 57.24%,可滴定酸含量高 115.38%,可溶性固形物含量高 19.38%,呼吸强度降低 22.09%,失重率低 48.42%,效果最佳。与对照组相比,采前喷施 1.0 g/L COS 促进了谷胱甘肽(GSH)和抗坏血酸(ASA)含量的积累。提高了过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、谷胱甘肽还原酶(GR)活性,降低了超氧阴离子(O₂⁻)产生速率和过氧化氢(H₂O₂)的含量,抑制了丙二醛(MDA)含量积累与细胞膜渗透率的上升。结论:采前喷施 COS 能通过调控西梅果实贮藏期间的抗氧化代谢,保持其贮藏品质。

关键词 壳寡糖;采前喷施;西梅;抗氧化代谢;贮藏品质

文章编号 1009-7848(2026)01-0247-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2026.01.022

西梅,别名欧洲李(*Prunus domestica* L.),果实美味可口,富含维生素、矿物质和膳食纤维,兼具保健效益与商业价值^[1]。西梅果实成熟高峰期集中于 7~9 月的高温季节,使得西梅采后易出现后熟软化、失水皱缩,果皮色泽由红绿色转为红紫色,失去光泽等品质劣变现象,严重影响西梅果实的商品价值^[2]。当前普遍使用化学保鲜剂来延缓果实采后衰老,预防采后病害,然而,若操作不当就会破坏西梅果实表面蜡质层,降低西梅果实自身的贮藏特性,而且化学试剂的过量使用会导致果实及其加工品中残留有害物质,不仅对消费者健康构成威胁,还可能因使用不当而引发环境问题。

近年来,采前处理对果实采摘后品质及贮藏保鲜效果的影响日益受到关注。采前处理通过影响果实的生长环境和营养供应,间接影响果实的品质和贮藏保鲜。采前处理在果实成熟前就已开始发挥作用,持续至采摘前,为果实的最终品质奠定了基础。采前处理不仅能维持果实采后的贮藏品质和风味,还能调节采后果实生理代谢和对病

害的抵抗性,采后果实生理代谢的变化是采前处理对果实生长发育影响的延续^[3-4]。采前喷施茉莉酸甲酯能延缓苹果果实贮藏期间的硬度、可溶性固形物及可滴定酸含量的下降^[5]。对葡萄和龙眼果实的研究表明,采前喷施胺鲜酯可延缓果实细胞膜脂代谢,提高采后果实的抗病性^[6-7]。西梅果实成熟时,表皮会覆盖一层蜡质层,蜡质层的主要成分是长链脂肪酸和三萜类化合物,蜡质层可有效抑制果实贮藏期间失水,同时对病原菌的入侵起到物理屏障的作用^[8-9]。采前喷施 COS 可避免因采后保鲜处理不当而导致西梅果实表皮蜡质层的破坏。综上,通过采前处理调节采后西梅果实生理代谢,维持其贮藏品质,是一种行之有效的方法。

壳寡糖(Chitosan oligosaccharides, COS)又称氨基寡糖,是由壳聚糖降解而制成的低聚糖,与壳聚糖相比, COS 具有黏度低,水溶性好,成膜性较差,易被生物体吸收等优点^[10]。COS 作为生物农药,采前喷施可以提高蔬菜对病虫害的防御能力^[11],然而在果实上 COS 更多用于采后处理^[12]。有研究表明,采后 COS 处理通过抑制草莓细胞壁降解基因表达,调节发育过程,延缓果实衰老,延长货架期^[13]。在枣果实上, COS 处理能延缓可溶性固形物和抗坏血酸含量的下降^[14]。此外,采后 COS 处理还能明显抑制梨果实 H₂O₂ 与 MDA 的累积,延缓褐

收稿日期: 2025-01-02

基金项目: 自治区重点研发计划项目(2022B02018-2)

第一作者: 李文博,男,硕士生

通信作者: 朱璇 E-mail: 13999877961@126.com

变,延长贮藏时间^[15]。在杏果实上,COS通过增强DPPH、ABTS及FRAP等自由基的清除能力,抑制膜脂过氧化过程,减轻果实采后冷害^[16]。COS还能抑制桃褐腐病(*Monilinia fructicola*)病原菌的生长,有效减少桃果实病害和采后腐烂的发生^[17]。本研究以西梅果实为试验材料,探讨通过采前喷施COS调控活性氧代谢与果实品质间的相互作用机制,为西梅保鲜探索新途径。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

西梅果实采自新疆喀什疏附县西梅种植果园,于2023年8月26日采摘,挑选出病果,选择大小、成熟度相近的西梅于冷库预冷24 h后人工装盒套袋包装,立即空运至新疆农业大学食品科学与药学院冷库。于温度(1.0±1)℃、相对湿度90%~95%条件下,贮藏90 d,每15 d取样并测定相关指标。

壳寡糖($M_w < 3$ ku),上海源叶生物科技有限公司;硫代巴比妥酸、盐酸、三氯乙酸、丙酮、2,6-二氯靛酚、无水乙醇、愈创木酚、邻苯二酚等均为分析纯级。

DF-D249072 数显硬度计,东方化玻(北京)科技有限公司;PAL-1 爱宕高精度手持数显糖度计,连云港金升科技有限公司;LJ-UV90 紫外可见分光光度计,山东蓝景电子科技有限公司;3HBRI 型高速冷冻离心机,湖南赫西仪器装备有限公司。

1.2 处理方法

1.2.1 溶液配制 取0.05 g COS中加入99.95 mL清水充分混匀配成质量浓度为0.5 g/L的COS溶液。分别称取5,10,20 g壳寡糖加清水不断搅拌,配制为1 L壳寡糖溶液,再分别加入9 L清水,充分混匀,配制成质量浓度分别为0.5,1.0,2.0 g/L的COS溶液。

1.2.2 田间喷施 参照本人前期研究方法^[18]。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 品质指标 测定表面颜色(L^* 、 a^* 、 b^*),取西梅赤道两侧均匀的3个点进行测定,重复3次,取平均值。

硬度:使用数显硬度计2.5 mm探头,于西梅赤道两侧选取2个点刺入测定,单位:kg/cm²;可溶

性固形物含量(Soluble solids content,SSC):西梅切块混匀充分研磨后过滤,滤液滴于手持数显糖度计上读数,单位:%;以上测定每次随机处理10个果实,每个处理重复3次,取平均值。

可滴定酸(Titratable acidity,TA)与呼吸强度参照曹建康等^[19]的方法测定。TA单位:%;呼吸强度单位:mg/(kg·h)。

失重率采用称重法测定,用%表示,每个处理1 kg,重复3次,计算方法如公式(1)所示:

$$\text{失重率}(\%) = (m_0 - m_1) / m_0 \times 100 \quad (1)$$

式中: m_0 为贮藏前初始质量,kg; m_1 为贮藏后质量,kg。

1.3.2 感官评价 参考石慧敏等^[20]的方法并略作修改。由经过专门训练的感官评估员(男、女各占半数)针对口感、质地、外观、香气以及总体接受度5个方面进行综合评分。

表1 西梅果实感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for plums

指标	评价标准	评分
口感	果实酸甜可口	15~20
	果实酸偏酸微甜或偏甜微酸	7~14
	果实无明显风味	0~6
质地	果肉紧密饱满,汁液丰富	15~20
	果肉略显松软,汁液尚可	7~14
	果肉软绵,汁液较少	0~6
外观	果皮光鲜无褶皱,果肉颜色鲜亮,无纤维质感	15~20
	果皮较红轻微干皱,果肉颜色偏褐色,纤维感不明显	7~14
	果皮呈暗红色且干皱有皱,果肉颜色黯淡,纤维明显	0~6
香气	果实清香浓郁,无异味	15~20
	果实香气较淡,轻微异味	7~14
	果实无香气,有异味	0~6
接受度	好,非常喜欢	15~20
	中等,可接受	7~14
	较差,不可接受	0~6

1.3.3 细胞膜渗透率和MDA含量测定 参考曹建康等^[19]的方法,用直径5 mm的打孔器从西梅果肉中取样并制备成约2 mm厚的圆片,测定新鲜圆片浸提液的初始电导率,煮沸5 min冷却后再次

测其电导率,相对电导率为测试果实活组织提取液的电导率与煮沸后果实组织提取液电导率的百分比;在测定MDA含量时,从各处理组中挑取2g果实样本,加入5mL预先冷却的5%三氯乙酸溶液提取。随后于4℃,10 000×g离心20min,取上清液与硫代巴比妥酸按体积比1:1混合,置于沸水浴中反应20min。在波长450,532,600nm处分别测量反应溶液的吸光度。MDA单位:nmol/g。以上测定每次处理10个果实,每个处理重复3次,取平均值。

1.3.4 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量 测定使用北京盒子生工科技有限公司试剂盒。 O_2^- 产生速率单位为nmol/(min·g); H_2O_2 含量单位为 μ mol/g。

1.3.5 AsA和GSH含量 参考曹建康等^[9]的方法测定,AsA结果以mg/100g表示,GSH含量以 μ mol/g表示。

1.3.6 抗氧化酶活性 SOD和CAT的活性参照Hao等^[21]的方法。

POD、APX、GR活性测定参考曹建康等^[9]的方法,结果均以U/g来表示。

称取1g西梅鲜样组织,加入乙酸-乙酸钠提取缓冲液,冰浴研磨成匀浆,于4℃,10 000×g离心30min,收集上清液,加入愈创木酚溶液,再加入 H_2O_2 溶液迅速混合启动反应,同时计时。反应混合液在波长470nm处测定吸光度,以每克鲜质量西梅样品每分钟吸光度变化值增加1时为1个POD酶活性单位。

称取2g西梅鲜样组织,加入提取缓冲液(含1mmol/L乙二胺四乙酸EDTA),冰浴研磨匀浆后离心,取上清液依次加入反应缓冲液、 H_2O_2 溶液启动酶促反应,立即混匀并开始计时。记录反应体系在波长290nm处的吸光度。以每克鲜质量样品每分钟OD_{290nm}值变化0.01时为1个APX酶活性单位。

称取1g西梅鲜样组织,加入磷酸缓冲液(含0.1mmol/L EDTA、1mmol/L抗坏血酸和2% PVPP),冰浴研磨匀浆后,于4℃,12 000×g离心30min,收集上清液,取试管,依次加入磷酸缓冲液、GSSG溶液和酶液,最后加入NADPH溶液启动酶促反应,记录反应混合液在波长340nm处的吸光度,GR活性以测定条件下每分钟每克鲜质量

西梅样品在波长340nm吸光度减少0.01时为1个GR酶活性单位。

1.4 数据处理

使用Excel 2021进行数据统计,Origin 2022绘图,SPSS 27做显著性分析, $P<0.05$ 表示差异显著。

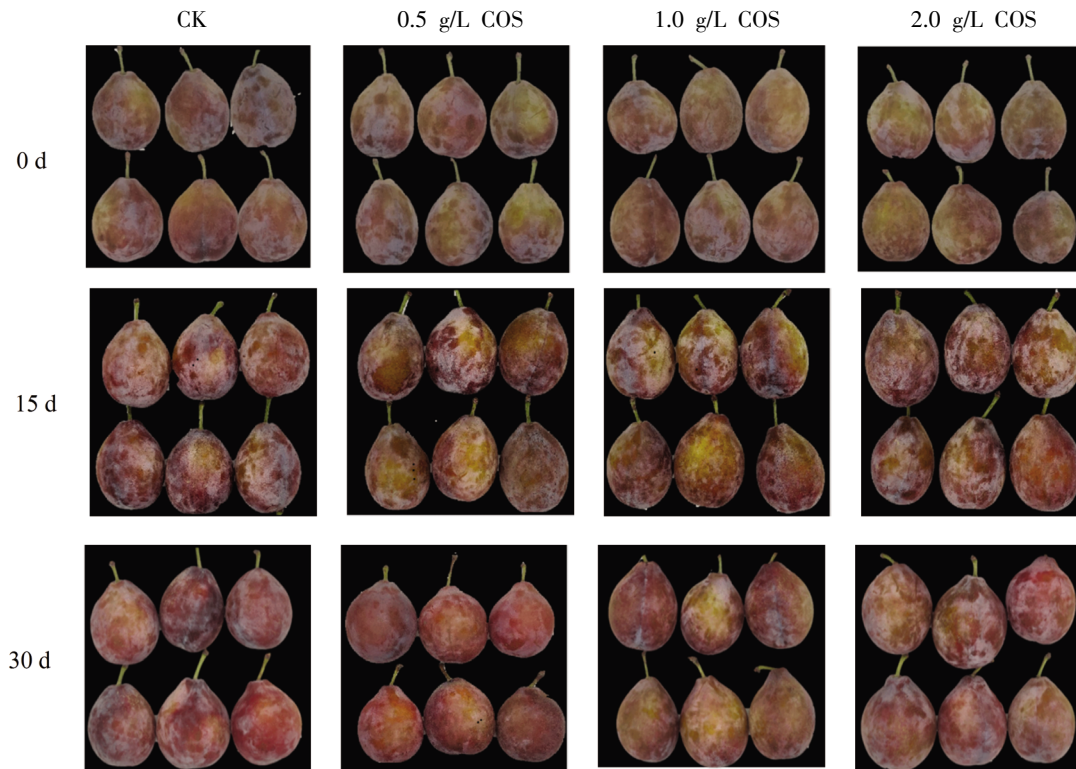
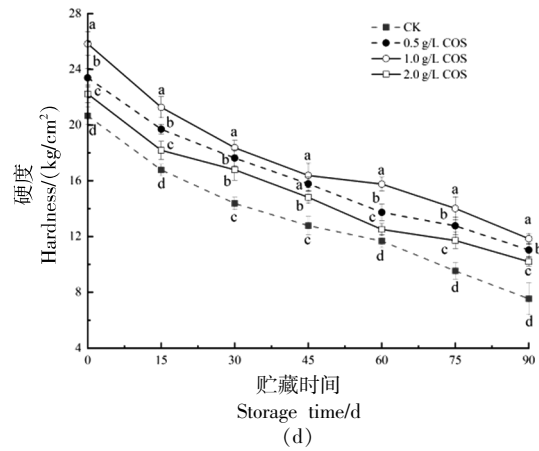
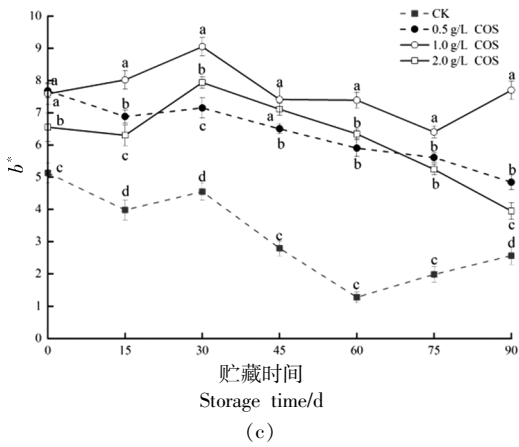
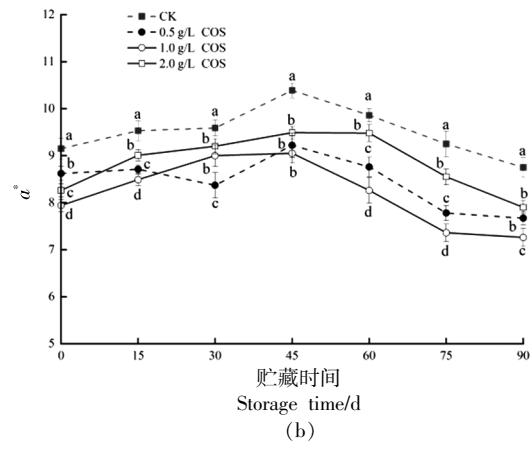
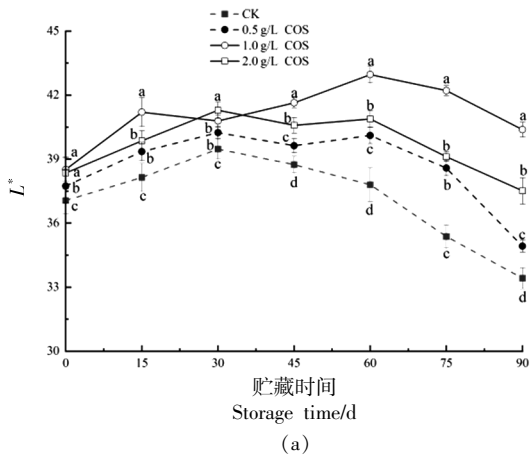
2 结果与分析

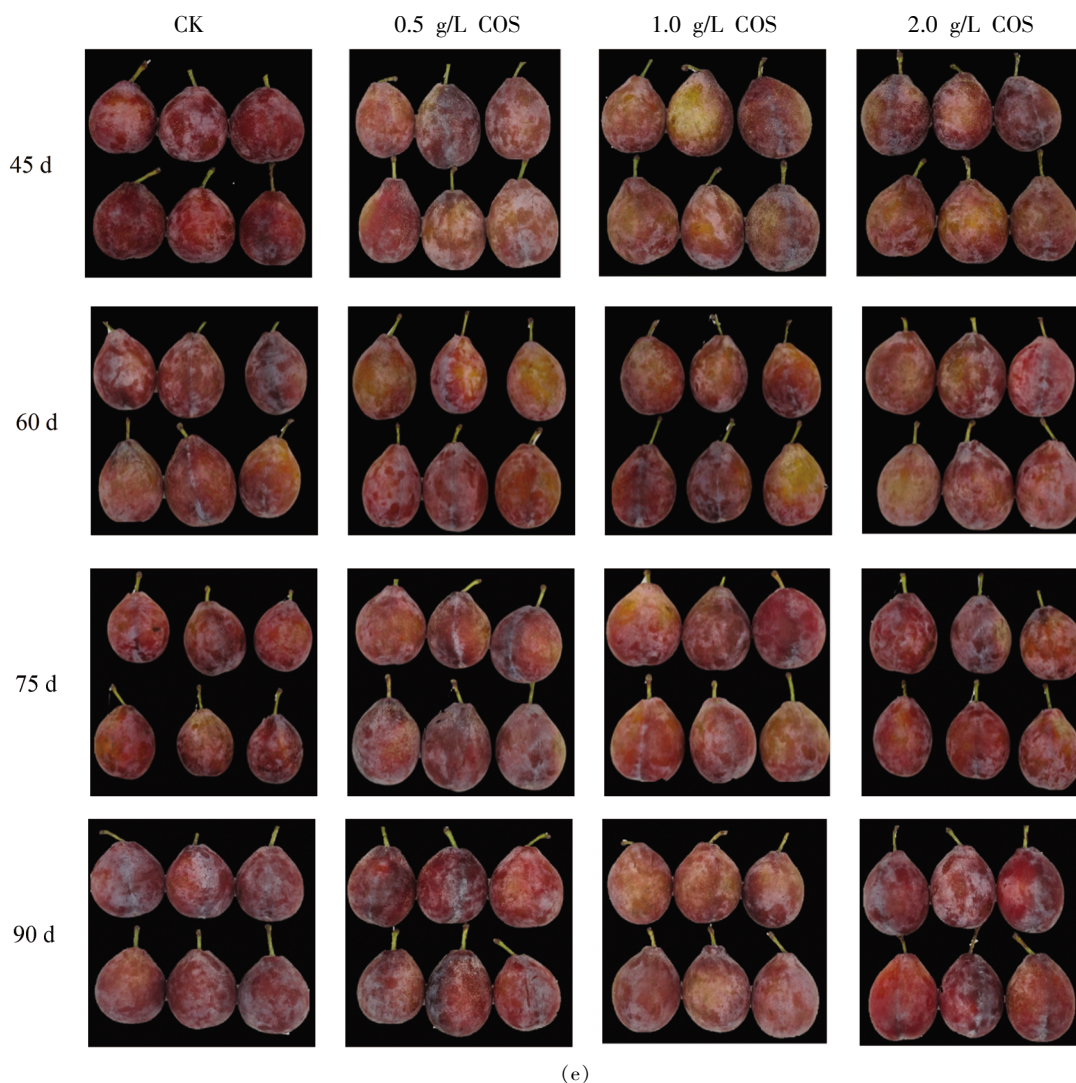
2.1 采前COS处理对西梅果实表面色泽和硬度的影响

西梅表皮色泽是判断其贮藏品质优劣的重要指标,贮藏过程中西梅表皮色泽会由红绿色转为红紫色并失去光泽。而 L^* 值反映了西梅果实表皮的明亮程度。由图1a可知,贮藏期间4组西梅 L^* 值均呈先增长后降低的变化趋势,说明果实的亮度逐渐加深变暗,严重影响西梅的商品价值。而1.0g/L COS处理组的 L^* 值相比其它3组 L^* 值变化并不显著,表明COS处理有效抑制了西梅果实色泽转暗。

a^* 值代表西梅果实表皮颜色在红绿轴上的偏移程度, a^* 值为正时,颜色偏红,为负时则偏绿。如图1b所示, a^* 值随着贮藏时间的延长而增加,表明果实不断增加了红色饱和度,果实转变为成熟。在贮藏45d后,1.0g/L COS处理组的 a^* 值逐渐降低且始终低于其它3组,表示西梅果实表皮由绿转向红色受到阻碍,说明1.0g/L COS处理组的西梅颜色转变受到抑制,延缓了西梅果实表皮由红绿色转变为红紫色。

b^* 值代表西梅果实表皮颜色在黄蓝轴上的偏移程度。 b^* 值为正时,颜色偏黄;为负时则偏蓝。如图1c所示,1.0g/L COS处理组 b^* 值相比其它3组在贮藏前期和后期对比差异不明显。由图1e可知,西梅果实逐渐由红绿色转为红黄色,贮藏第15天时,对照组西梅果实表面绿色消失,局部色泽由红色转为紫色,而COS处理组西梅表面色泽仍为红黄色,贮藏第45天时,对照组西梅表面色泽已完全转为红色,局部色泽由红转紫且表面发暗,0.5g/L COS和2.0g/L COS处理组部分西梅果实表面开始由黄转红,而1.0g/L COS处理组西梅果实仍为红黄色,说明1.0g/L COS处理可以延缓西梅果实表面色泽由红绿色向红紫色的转变,





注:不同小写字母表示同一贮藏时间不同处理组间具有显著性差异($P<0.05$),下同。

图 1 采前 COS 处理对西梅果实表面色泽和硬度的影响

Fig.1 Effect of preharvest COS treatment on the surface color and hardness of prune fruits

贮藏结束时,对照组西梅表面已完全转为红紫色,局部已经开始发黑,表面无光泽,0.5 g/L COS 和 2.0 g/L COS 处理组西梅表面的红紫色程度较对照组稍轻,1.0 g/L COS 处理组西梅表面红紫色程度最轻,仍有局部呈红黄色且有光泽,说明采前 COS 处理能有效抑制西梅果实表皮颜色的变化,其中 1.0 g/L COS 处理组维持西梅果实贮藏期间表皮色泽的效果最好。

如图 1d 所示,贮藏开始时,1.0 g/L COS 处理组硬度分别是对照组、0.5 g/L COS 和 2.0 g/L COS 处理组的 1.25、1.10、1.16 倍($P<0.05$)。相较于对照组,COS 处理组西梅果实硬度下降缓慢。贮藏结束

时,对照组、0.5 g/L COS、1.0 g/L COS、2.0 g/L COS 处理组硬度分别为 7.53、11.03、11.84、10.19 kg/cm²,1.0 g/L COS 处理组硬度分别比对照组、0.5 g/L COS 和 2.0 g/L COS 处理组高 57.24%、7.34%、16.10%($P<0.05$)。

2.2 采前 COS 处理对西梅果实 SSC、TA、失重率和感官评价的影响

如图 2a 所示,贮藏初期西梅果实 SSC 含量随着果实后熟过程而逐步上升,对照组 SSC 含量在贮藏第 60 天达到最大值 24.9%,比对照组提前 15 d。贮藏后期西梅果实 SSC 含量下降,可能是其消耗自身水分和营养物质以维持基本的生命活动。

贮藏结束时,1.0 g/L COS 处理组 SSC 含量比对照组、0.5 g/L COS 和 2.0 g/L COS 处理组高 19.38%, 6.91%, 2.73% ($P<0.05$)。

如图 2b 所示,西梅果实在整个贮藏期 TA 含量不断降低。贮藏第 45 天时,0.5 g/L COS、1.0 g/L COS 和 2.0 g/L COS 处理组 TA 含量分别比对照组高 38.71%, 64.52%, 12.90% ($P<0.05$)。贮藏结束时,1.0 g/L COS 处理组 TA 含量分别比对照组、0.5 g/L COS 和 2.0 g/L COS 处理组高 115.38%, 100%, 64.71% ($P<0.05$)。

由图 2c 所示,整个贮藏期间,西梅果实失重率呈逐渐上升的趋势,COS 处理组上升趋势显著低于对照组。贮藏结束时,0.5 g/L COS、1.0 g/L COS、2.0 g/L COS 处理组失重率分别比对照组低了 23.71%, 48.42%, 28.79% ($P<0.05$)。说明采前

COS 处理可以显著降低西梅果实的失重率。

由图 2d 所示,贮藏结束后,对照组西梅果实果肉质地松软,甜味偏淡,酸味不明显,缺乏风味,表皮颜色变暗,且果肉纤维化伴有褐变现象发生,口感、质地、外观、香气和接受度评分分别为 10, 11, 8, 9, 9,可接受程度明显低于 1.0 g/L COS 处理组。而 1.0 g/L COS 处理组西梅果实外观光泽度较高,果肉纤维化程度低,口感酸甜适中,有淡淡的果实香气,5 项指标评分分别为 17, 16, 15, 16, 17。结果表明,采前 COS 处理可有效延缓西梅果实贮藏期间的风味变化,维持贮藏品质。

上述试验结果表明,采前 COS 处理能有效维持西梅果实的贮藏品质,且 1.0 g/L COS 处理组效果最优,因此,选定 1.0 g/L COS 处理组作为最佳处理组,以开展后续的试验分析。

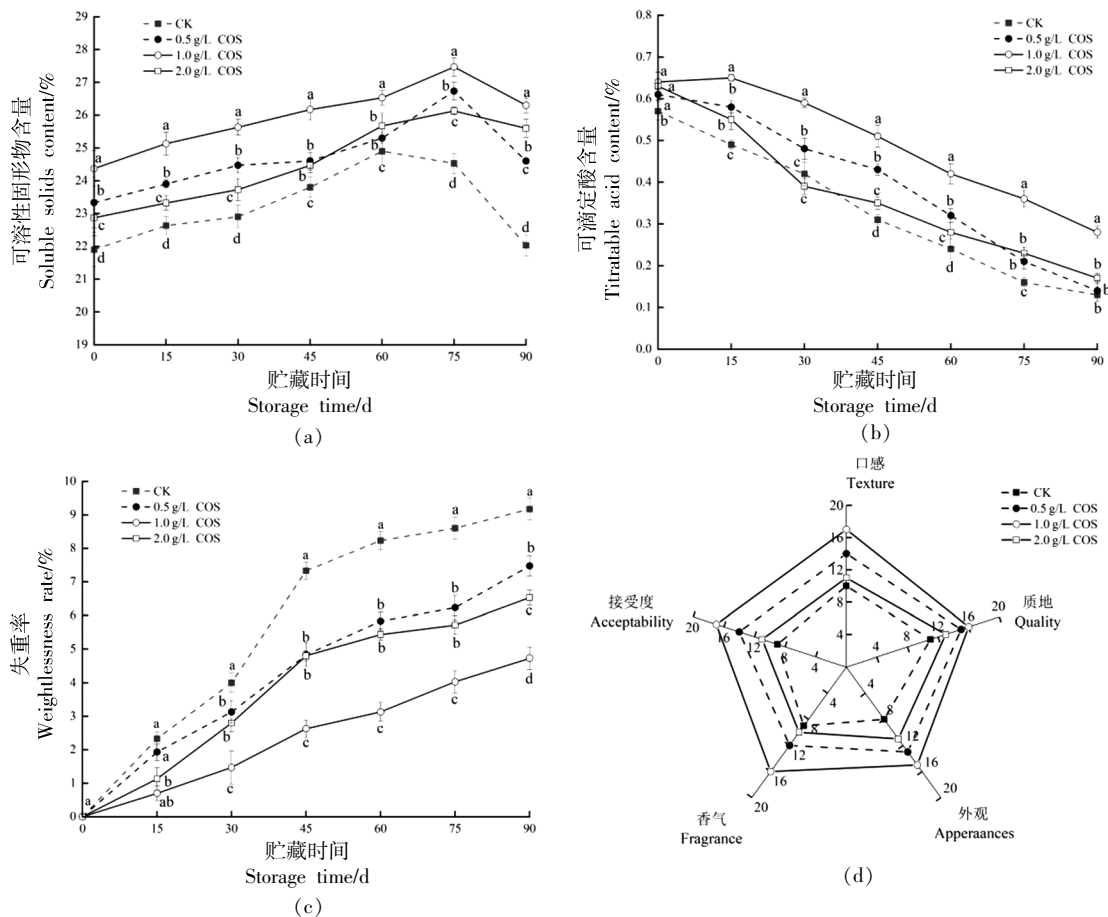


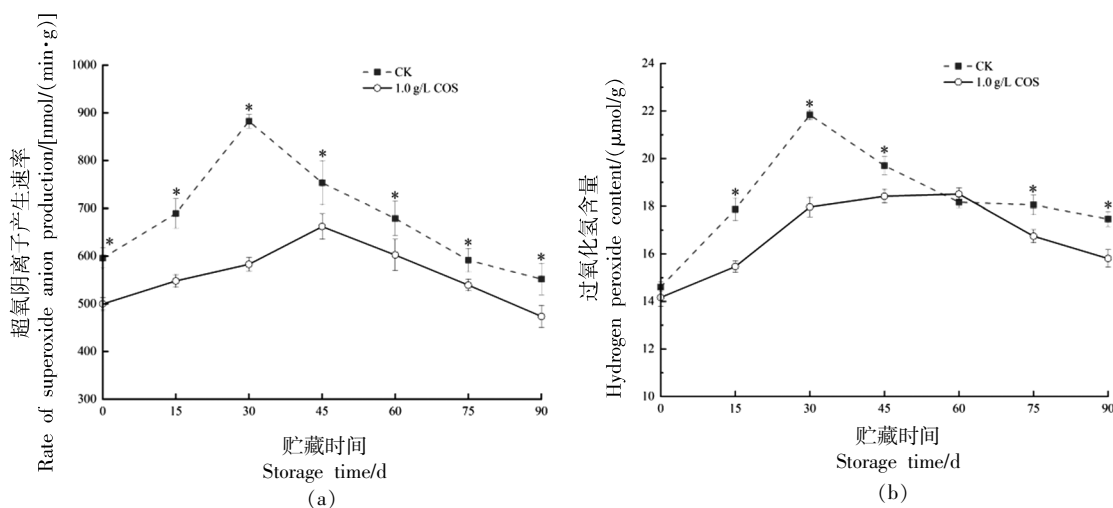
图 2 采前 COS 处理对西梅果实 SSC(a)、TA(b)、失重率(c)和感官评价(d)的影响

Fig.2 Effects of preharvest COS treatments on SSC (a), TA (b), weight loss weight percentage (c) and sensory evaluation (d) of prune fruits

2.3 采前 COS 处理对西梅果实 O_2^- 产生速率及 H_2O_2 含量的影响

由图 3 可知, 贮藏前期对照组 O_2^- 产生速率及 H_2O_2 含量迅速增加, 在 30 d 达到最大值, 显著高于 1.0 g/L COS 处理组 ($P < 0.05$)。第 30 天时, 1.0 g/L COS 处理组 O_2^- 产生速率及 H_2O_2 含量分

别是对照组的 87.89% 和 93.46% ($P < 0.05$)。贮藏第 30 天开始, 1.0 g/L COS 处理组 O_2^- 产生速率及 H_2O_2 含量开始逐渐下降。贮藏结束时, 1.0 g/L COS 处理组 O_2^- 产生速率及 H_2O_2 含量为对照组的 85.80% 和 90.49% ($P < 0.05$)。



注: * 表示同一贮藏时间不同组别间具有差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

图 3 采前 COS 处理对西梅果实 O_2^- 产生速率(a)及 H_2O_2 含量(b)的影响

Fig.3 Effect of preharvest COS treatment on O_2^- production rate (a) and H_2O_2 content (b) of prune fruits

2.4 采前 COS 处理对西梅果实抗氧化相关酶活性的影响

由图 4a 可知, 随着贮藏时间的延长, 西梅果实 SOD 活性呈快速上升的趋势。处理组在贮藏 30 d 时, SOD 活性达到峰值, 为 2.155 U/g, 较对照组峰值出现时间提前 30 d, 对照组则在贮藏 60 d 时达到 SOD 活性最大值, 为 1.853 U/g。贮藏期结束时, 1.0 g/L COS 处理组的西梅果实 SOD 活性较对照组高 7.94% ($P < 0.05$)。上述结果表明, 采前施加 COS 处理可显著提升西梅果实贮藏期间的 SOD 活性水平。

由图 4b 可知, 贮藏过程中西梅果实 CAT 活性呈现先增加后减少的趋势。处理组 CAT 活性于贮藏 45 d 达到最大值, 此时处理组和对照组活性分别为 15.556 U/g 和 13.578 U/g, 差异显著 ($P < 0.05$), 而 1.0 g/L COS 处理组 CAT 活性峰值出现时间推迟至 60 d, 较对照组延后 15 d, 此时处理组 CAT 活性为对照组的 1.25 倍 ($P < 0.05$)。贮藏结束时, 对照组 CAT 活性仅为 1.0 g/L COS 处理组的

92.75% ($P > 0.05$)。说明采前 COS 处理不仅能促进西梅果实贮藏期间 CAT 活性的表达, 还可有效抑制贮藏后期 CAT 活性的下降。

由图 4c 和 4d 可知, 西梅果实贮藏期间 POD 和 APX 活性呈先升高后降低的变化趋势。贮藏至 45 d 时, 1.0 g/L COS 处理组的 POD 和 APX 活性均达到峰值, 分别为对照组的 1.12 倍和 1.25 倍 ($P < 0.05$)。贮藏结束时, 1.0 g/L COS 处理组 POD 活性为 0.775 U/g, APX 活性为 11.611 U/g; 对照组则分别为 0.610 U/g 和 8.667 U/g, 相较于对照组, 1.0 g/L COS 处理组的 POD 和 APX 活性分别提升 21.29% 和 25.36% ($P < 0.05$)。说明采前 COS 处理能够有效抑制西梅果实贮藏期间 POD 和 APX 活性的降低。

由图 4e 可知, 在整个贮藏期间, 西梅果实 GR 活性呈先上升后下降的趋势。1.0 g/L COS 处理组 GR 活性于贮藏 75 d 时达到峰值, 比对照组峰值出现时间推迟 15 d, 此时对照组 GR 活性仅为 1.0 g/L COS 处理组的 65.79% ($P < 0.05$)。贮藏结束时,

1.0 g/L COS 处理组 GR 活性为 12.500 U/g, 对照组为 8.750 U/g, 处理组较对照组高出 42.86% ($P <$

0.05)。说明采前 COS 处理可显著提升西梅果实贮藏期间的 GR 活性。

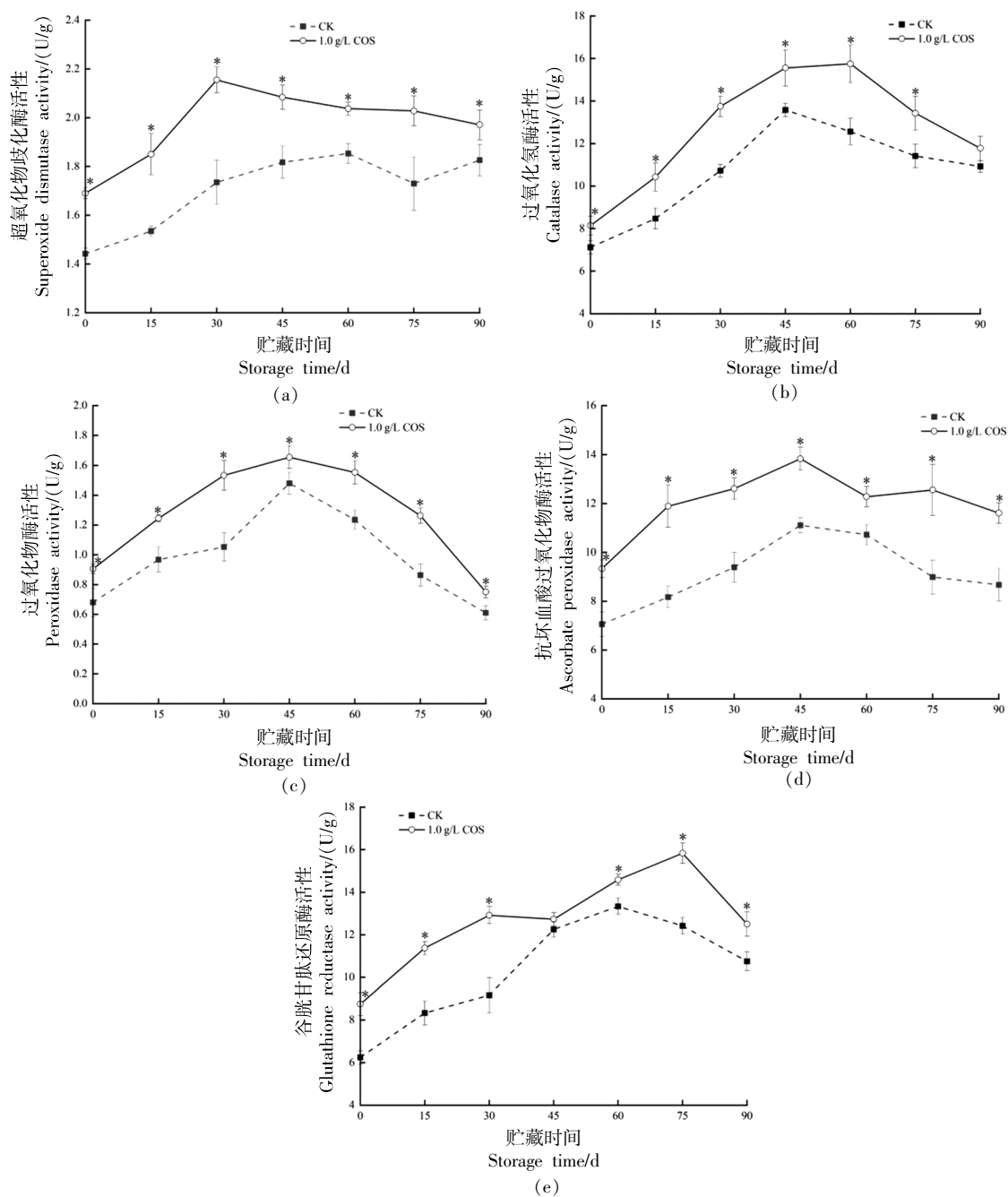


图4 采前 COS 处理对西梅果实 SOD(a)、CAT(b)、POD(c)、APX(d)及 GR(e)活性的影响

Fig.4 Effects of preharvest COS treatments on SOD (a), CAT (b), POD (c), APX (d) and GR (e) activities of prune fruits

2.5 采前 COS 处理对西梅果实 ASA 及 GSH 含量的影响

由图 5a 可知, 贮藏期间西梅果实 ASA 含量

呈下降趋势。贮藏 45 d 时, 对照组 ASA 含量为 3.47 mg/100 g, 而 1.0 g/L COS 处理组达 5.11 mg/100 g, 为对照组的 1.47 倍 ($P < 0.05$)。贮藏结束时,

1.0 g/L COS 处理组 ASA 含量是对照组的 2.20 倍 ($P < 0.05$); 由图 5b 可知, 贮藏期间西梅果实 GSH 含量整体呈逐渐上升的趋势, 贮藏结束时, 1.0 g/L

COS 处理组 GSH 含量为 $45.319 \mu\text{mol/g}$, 对照组为 $37.464 \mu\text{mol/g}$, 处理组较对照组高出 20.97% ($P < 0.05$)。

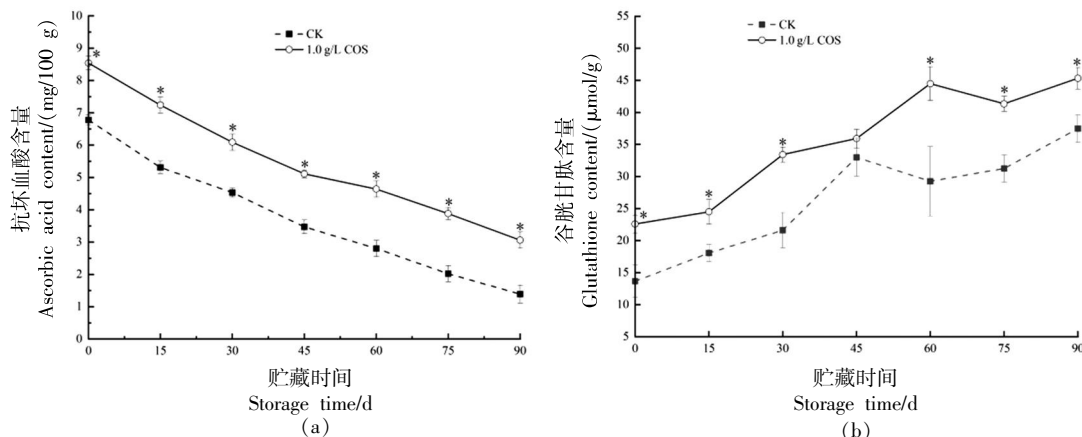


图 5 采前 COS 处理对西梅果实 ASA(a)及 GSH 含量(b)的影响

Fig.5 Effect of preharvest COS treatment on ASA (a) and GSH content (b) of prune fruits

2.6 采前 COS 处理对西梅果实呼吸强度、细胞膜渗透率及 MDA 含量的影响

由图 6a 所示, 整个贮藏期间 1.0 g/L COS 处理组的呼吸强度显著低于对照组。对照组在贮藏 45 d 时出现呼吸高峰, 比 1.0 g/L COS 处理组提前 15 d。贮藏 45 d 时, 对照组呼吸强度为 1.0 g/L COS 处理组的 1.43 倍 ($P < 0.05$)。贮藏结束时, 1.0 g/L COS 处理组呼吸强度较对照组降低 22.09% ($P < 0.05$)。

由图 6b 和 6c 可知, 贮藏期间西梅果实细胞膜渗透率和 MDA 含量均呈上升趋势。贮藏 0 d 时, 对照组的细胞膜渗透率是 1.0 g/L COS 处理组的 1.06 倍, MDA 含量是其 1.45 倍。贮藏结束时, 1.0 g/L COS 处理组细胞膜渗透率为 55.606%, MDA 含量为 12.304 nmol/g, 对照组分别为 64.833% 和 16.163 nmol/g, 1.0 g/L COS 处理组两项指标分别为对照组的 85.77% 和 76.12% ($P < 0.05$)。

3 讨论

硬度、色泽、SSC 含量、TA 含量、失重率及感官评价是判断果实贮藏期间品质优劣的重要指标^[22]。本研究表明, 采前喷施 COS 处理可有效维持西梅果实在贮藏期间保持较高的硬度、TSS 和 TA 的含量, 有效抑制西梅果实表面色泽由红绿色转

为红紫色, 失去光泽, 色泽变暗, 并显著降低西梅果实贮藏期间的失重率。贮藏结束后, COS 处理组感官评价的各方面均优于对照组。有研究表明对李果实的研究表明采前水杨酸结合采后 1-MCP 处理能够抑制果实硬度、可滴定酸含量的下降, 保持果实中抗氧化活性的稳定, 延缓品质劣变^[23]。适宜的采前处理有助于维持采后果实品质, 延长贮藏期。呼吸作用分解糖类及有机酸, 对果实的能量水平进行调控, 并实现氧化还原的平衡调节, 对采后果实的衰老进程和贮藏品质产生显著影响^[24]。本研究表明, 采前施加 COS 处理可显著抑制西梅果实贮藏期间呼吸强度, 使呼吸高峰的出现时间延后。何近刚等^[25]研究发现采前氨基乙氧基乙烯甘氨酸处理能降低梨果实呼吸强度, 延缓果实衰老, 此结论与本研究结果相似。

果实采后贮藏品质与活性氧代谢密切相关^[26]。当果蔬遭受外界胁迫时, 其体内会迅速积累大量活性氧 (Reactive oxygen species, ROS)^[26]。ROS 过量积累会破坏果蔬中 ROS 的动态平衡, 并诱导细胞损伤, 是导致果蔬衰老的重要原因之一^[27-28]。植物在长期自然演化过程中, 形成了高效的抗氧化防御体系, 能够通过调控 ROS 清除途径来有效清除在胁迫条件下细胞内过量累积的活性氧^[29-30]。本研究中, 采前 COS 处理增加了采后西梅

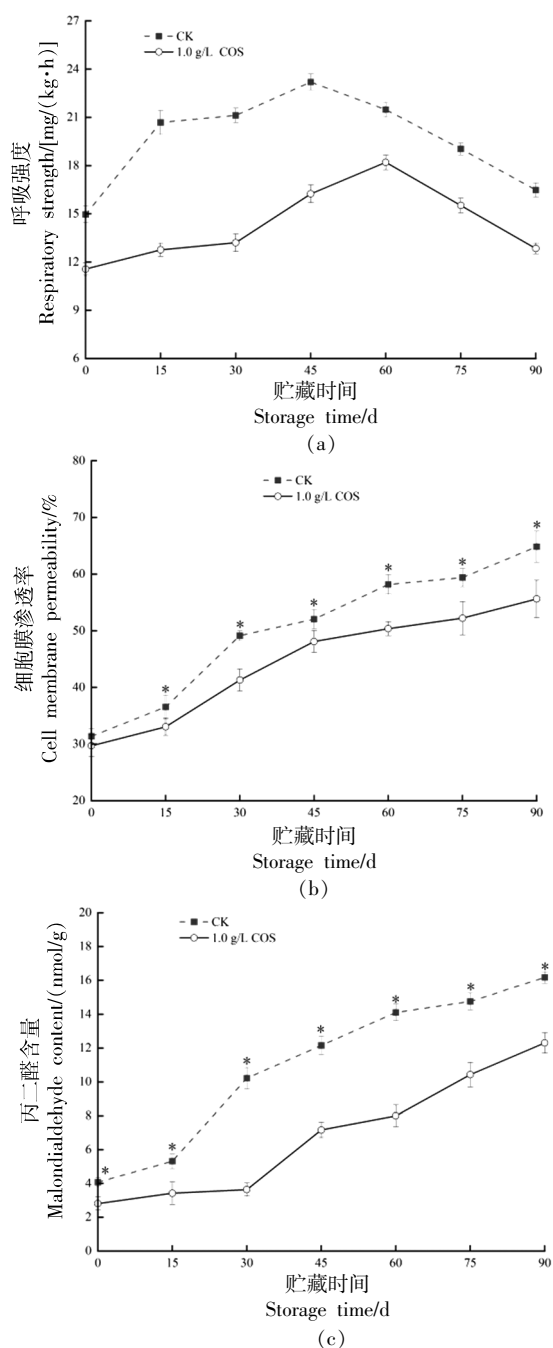


图6 采前COS处理对西梅果实呼吸强度(a)、细胞膜渗透率(b)及MDA含量(c)的影响

Fig.6 Effects of pre-harvest COS treatment on respiration intensity (a), cell membrane permeability (b), and MDA content (c) in plum fruits

果实SOD、CAT和POD酶活性,SOD、CAT和POD作为酶清除系统的重要组成部分,直接参与ROS的清除^[31-32]。SOD、CAT和POD协同作用抑制了 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率和 H_2O_2 含量增加,使ROS处于低稳

态水平,维持了果实内部活性氧生成与清除之间的动态平衡。降低了细胞膜渗透率和MDA含量,减少了 H_2O_2 的过度累积,减轻了对果实组织的氧化伤害,延缓了西梅果实的后熟与衰老过程,有效维持西梅的贮藏品质^[33-34]。AsA-GSH循环也是果实抗氧化系统的重要组成部分,该循环与酶促清除系统协同作用,参与过量ROS的清除^[35]。本研究中,COS处理促进了西梅果实AsA含量的积累,可以保持较高的APX和GR活性。较高的APX活性能有效催化AsA和 H_2O_2 反应,较高的GR活性使GSH含量稳定并维持在较高水平。这一过程不仅有助于恢复GSH的抗氧化能力,还可以减少过量的ROS,是缓解氧化应激、维持细胞氧化还原平衡的关键机制之一^[36]。

4 结论

本研究中,采前COS处理展现出良好的保鲜效果,能够有效维持西梅果实在贮藏期间的果实硬度、TA及SSC含量,显著延缓果实表面色泽的变暗进程,有效降低果实呼吸强度与失重率,并维持了较高的感官评价分数,从而保持西梅果实的贮藏品质。采前喷施1.0 g/L COS处理还抑制了 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率和 H_2O_2 的积累,降低了ASA、MDA含量与细胞膜渗透率的上升。提高了SOD、CAT、POD、APX和GR活性,促进了GSH含量的积累。

参 考 文 献

- [1] 刘志旭,朱璇,赵亚婷,等.高浓度 CO_2 短时处理对西梅采后贮藏品质及抗氧化代谢的影响[J].食品工业科技,2024,45(12):311-318.
LIU Z X, ZHU X, ZHAO Y T, et al. Effects of short-term treatment with high concentration of CO_2 on storage quality and antioxidant metabolism of plums after harvest[J]. Food Industry Science and Technology, 2024, 45(12): 311-318.
- [2] 马燕燕.近冰温贮藏对新疆西梅贮藏品质及软化的调控机制研究[D].石河子:石河子大学,2023.
MA Y Y. Study on the regulatory mechanism of near-freezing temperature storage on storage quality and softening of Xinjiang plums[D]. Shihezi: Shihezi University, 2023.

- [3] 孙闰子, 张坤, 吴光斌, 等. 采前调节剂处理对采后果实保鲜效应的研究进展[J]. 果树学报, 2022, 39(6): 1111-1120.
SUN M Z, ZHANG S, WU G B, et al. Research progress on the effect of pre-harvest conditioner treatments on post-harvest fruit freshness[J]. Journal of Fruit Tree, 2022, 39(6): 1111-1120.
- [4] VITTORI L D, MAZZONI L, BATTINO M, et al. Pre-harvest factors influencing the quality of berries [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 233: 310-322.
- [5] 孙嘉茂, 崔全石, 王语晴, 等. 苹果采前喷施 EBR 与 MeJA 对采后品质的影响[J]. 园艺学报, 2022, 49(10): 2236-2248.
SUN J M, CUI Q S, WANG Y Q, et al. Effects of preharvest spraying of EBR and MeJA on postharvest quality of apples [J]. Journal of Horticulture, 2022, 49(10): 2236-2248.
- [6] 余鹏, 郑方盈, 余义和, 等. 采前喷施胺鲜酯对葡萄果实贮藏期间膜脂代谢的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(23): 159-164.
YU P, ZHENG F Y, YU Y H, et al. Effects of pre-harvest spraying of aminopyralid on membrane lipid metabolism of grape berries during storage [J]. Food Science, 2023, 44(23): 159-164.
- [7] 林毅雄, 林艺芬, 陈莲, 等. 采前喷施胺鲜酯对采后龙眼果实贮藏期间病害发生的抑制作用及其机理 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(9): 346-353.
LIN Y X, LIN Y F, CHEN L, et al. Inhibitory effect of pre-harvest spraying of aminopyralid on disease development of post-harvest longan fruits during storage and its mechanism [J]. Food Industry Science and Technology, 2023, 44(9): 346-353.
- [8] 苏慧, 曾瑶英, 张家铭, 等. 葡萄采后表皮蜡质与果实贮藏品质的研究[J]. 食品工业科技, 2025, 46(5): 318-328.
SU H, ZENG Y Y, ZHANG J M, et al. Studies on postharvest epidermal waxes and fruit storage quality of grapes [J]. Food Industry Science and Technology, 2025, 46(5): 318-328.
- [9] LIU G S, LI H L, PENG Z Z, et al. Composition, metabolism and postharvest function and regulation of fruit cuticle: A review [J]. Food Chemistry, 2023, 411: 135449.
- [10] YU L R, ZONG Y Y, HAN Y, et al. Both chitosan and chitooligosaccharide treatments accelerate wound healing of pear fruit by activating phenylpropanoid metabolism [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 205: 483-490.
- [11] XIE X, YAN Y L, LIU T, et al. Data-independent acquisition proteomic analysis of biochemical factors in rice seedlings following treatment with chitosan oligosaccharides [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2020, 170: 104681.
- [12] 罗华丽, 遇艳萍, 李娜, 等. 壳寡糖在果蔬中的应用研究[J]. 中国果菜, 2023, 43(8): 54-57.
LUO H L, MEI Y P, LI N, et al. Application of chitosan in fruits and vegetables [J]. Chinese Fruit and Vegetable, 2023, 43(8): 54-57.
- [13] BOSE S K, HOWLADER P, WANG W X, et al. Oligosaccharide is a promising natural preservative for improving postharvest preservation of fruit: A review [J]. Food Chemistry, 2021, 341: 128178.
- [14] YAN J Q, LI J, ZHAO H W, et al. Effects of oligochitosan on postharvest Alternaria rot, storage quality, and defense responses in Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) fruit [J]. Journal of Food Protection, 2011, 74(5): 783-788.
- [15] 赵韩栋, 秦畅, 郭风军, 等. 采后壳寡糖处理减轻皇冠梨果皮褐变的研究 [J]. 中国食品学报, 2022, 22(4): 276-284.
ZHAO H D, QIN C, GUO F J, et al. Postharvest chitosan treatment to reduce skin browning of crown pear [J]. Chinese Journal of Food Science, 2022, 22(4): 276-284.
- [16] CUI K B, SHU C, ZHAO H D, et al. Preharvest chitosan oligochitosan and salicylic acid treatments enhance phenol metabolism and maintain the postharvest quality of apricots (*Prunus armeniaca* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 267: 109334.
- [17] YANG L Y, ZHANG J L, BASSETT C L, et al. Difference between chitosan and oligochitosan in growth of *Monilinia fructicola* and control of brown rot in peach fruit [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 46(1): 254-259.
- [18] 李文博. 采前喷施壳寡糖对采后西梅抗病性及品质的影响 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2025.
LI W B. Effects of pre-harvest spray application of chitosan oligosaccharide on postharvest disease resistance and quality of plums [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2025.
- [19] 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, 34,

- 126, 152–154.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experimental guidance on postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 28, 34, 126, 152–154.
- [20] 石慧敏, 任新雅, 张昱, 等. 苹果酸对采后杏果实品质和活性氧代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(22): 289–296.
- SHI H M, REN X Y, ZHANG Y, et al. Effects of malic acid treatment on quality and active oxygen metabolism of postharvest apricot fruits[J]. Food Industry Science and Technology, 2024, 45(22): 289–296.
- [21] HAO J S, LI X, XU G Z, et al. Exogenous progesterone treatment alleviates chilling injury in postharvest banana fruit associated with induction of alternative oxidase and antioxidant defense[J]. Food Chemistry, 2019, 286: 329–337.
- [22] CHENG S B, YU Y, GUO J Y, et al. Effect of 1-methylcyclopropene and chitosan treatment on the storage quality of jujube fruit and its related enzyme activities[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 265: 7.
- [23] 罗冬兰, 瞿光凡, 曹森, 等. 采前水杨酸结合采后1-MCP处理对李果实贮藏期品质及抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 327–333.
- LUO D L, QU G F, CAO S, et al. Effects of pre-harvest salicylic acid combined with post-harvest 1-MCP treatment on the quality and antioxidant capacity of plum fruit during storage[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(9): 327–333.
- [24] GAO H, ZHANG Z K, CHAI H K, et al. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 118: 103–110.
- [25] 何近刚, 冯云霄, 程玉豆, 等. 采前氨基乙氧基乙烯甘氨酸处理对‘黄冠’梨长期冷藏后果实品质和果心褐变的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(3): 159–166.
- HE J G, FENG Y X, CHENG Y D, et al. Effects of pre-harvest aminoethoxyethylene glycine treatment on fruit quality and core browning of ‘Yellow Crown’ pears after long-term refrigeration[J]. Food Science, 2024, 45(3): 159–166.
- [26] HUANG T, KOU X, QIAO L X, et al. Maintaining quality of postharvest green pepper fruit using melatonin by regulating membrane lipid metabolism and enhancing antioxidant capacity[J]. Food Chemistry, 2024, 460: 140671.
- [27] GAN Z, ZHANG Y, JIN Z, et al. Gum arabic coating alleviates chilling injury of cold-stored peach by regulating reactive oxygen species, phenolic, and sugar metabolism[J]. Food Chemistry, 2024, 455: 11.
- [28] 乔沛, 殷菲胧, 王雨萱, 等. 外源褪黑素处理对采后荔枝褐变及活性氧代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 282–287.
- QIAO P, YIN F L, WANG Y X, et al. Effects of exogenous melatonin treatment on postharvest browning and reactive oxygen species metabolism in litchi[J]. Food Industry Science and Technology, 2021, 42(6): 282–287.
- [29] LI R J, YANG S X, WANG D, et al. Electron-beam irradiation delayed the postharvest senescence of kiwifruit during cold storage through regulating the reactive oxygen species metabolism[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2021(189): 109.
- [30] RU X Y, YOU W L, ZHANG J L, et al. γ -aminobutyric acid treatment inhibits browning and promotes storage quality by regulating reactive oxygen species and membrane lipid metabolism in fresh-cut stem lettuce[J]. Food Chemistry, 2024, 459: 140420.
- [31] 余鹏, 孟祥轩, 余义和, 等. 采前喷施胺鲜酯对采后‘巨峰’葡萄果实品质和活性氧代谢的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(1): 182–188.
- YU P, MENG X X, YU Y H, et al. Effects of pre-harvest spraying of aminopyralid on post-harvest quality and reactive oxygen metabolism of ‘Jumbo’ grapes[J]. Food Science, 2023, 44(1): 182–188.
- [32] WANG Y, JI D C, CHEN T, et al. Production, signaling, and scavenging mechanisms of reactive oxygen species in fruit-pathogen interactions[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(12): 2994.
- [33] ZHANG W L, ZHAO H D, ZHANG J, et al. Different molecular weights chitosan coatings delay the senescence of postharvest nectarine fruit in relation to changes of redox state and respiratory pathway metabolism[J]. Food Chemistry, 2019, 289: 160–168.
- [34] HOU Y, DENG R, SHATAER D, et al. L-Gluta-

- mate treatment alleviates chilling injury of prune (*Prunus domestica* L.) fruit by regulating ROS homeostasis, GABA shunt, and energy metabolism [J]. *Food Chemistry*, 2024, 461: 140899.
- [35] YAO M M, GE W Y, ZHOU Q, et al. Exogenous glutathione alleviates chilling injury in postharvest bell pepper by modulating the ascorbate-glutathione (AsA-GSH) cycle[J]. *Food Chemistry*, 2021, 352: 129458.
- [36] 杨乾, 范存斐, 王毅, 等. 水杨酸处理诱导采后甜瓜抗坏血酸-还原型谷胱甘肽循环代谢清除过氧化氢的作用及机制[J]. *食品科学*, 2021, 42(1): 243-249.
- YANG Q, FAN C F, WANG Y, et al. Role and mechanism of salicylic acid treatment in inducing hydrogen peroxide scavenging by ascorbic acid-reduced glutathione cycle metabolism in postharvest melon[J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 243-249.

Effect of Preharvest Spraying of Chitosan on Antioxidant Metabolism and Storage Quality of Postharvest Prunes

LI Wenbo, ZHANG Xinqi, ZHAO Yating, FAN Yaqing, ZHANG Xuan, WU Yingjie, ZHU Xuan*
(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052)

Abstract Objective: To investigate the effects of preharvest spraying of chitosan oligosaccharides (COS) on the antioxidant metabolism and storage quality of postharvest prunes. Methods: Xinjiang 'French' prunes were used as test material, and different concentrations of COS (0.5, 1.0, 2.0 g/L) were sprayed during fruit set, expansion, color change and ripening, respectively. The postharvest fruits were stored at a temperature of $(1.0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ and a relative humidity of 90%–95% for 90 d, and the relevant indexes were determined by sampling every 15 d. The results were summarized as follows. Samples were taken every 15 d and related indexes were measured. Results: Pre-harvest application of COS maintained higher firmness, titratable acidity, and soluble solids content in plum fruits during storage. It effectively suppressed surface color darkening, significantly reduced respiratory intensity and weight loss rate, with superior sensory quality compared to the control group. Among the treatments, the 1.0 g/L COS group exhibited the most favorable effects: 57.24% higher firmness, 115.38% higher titratable acidity, 19.38% higher soluble solids content, 22.09% lower respiration rate, and 48.42% lower weight loss compared to the control. Compared with the control group, pre-harvest spraying with 1.0 g/L COS promoted the accumulation of ascorbic acid (ASA) and glutathione (GSH) content. Increased levels of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR) activity, reduced the rate of superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) production and hydrogen peroxide (H_2O_2) content, and inhibited the accumulation of malondialdehyde (MDA) content and the increase of cell membrane. Conclusion: The preharvest spraying of COS can regulate the antioxidant metabolism of prune fruits during storage and maintain the storage quality of prune fruits.

Keywords chitosan oligosaccharides; pre-harvest spraying; plums; antioxidant metabolism; storage quality