

4 种不同涂膜处理对软枣猕猴桃贮藏品质的影响

王乐兵^{1,2}, 彭承祥³, 孙晨晨³, 孙 林², 钟志海², 李德海^{1*}, 刘正一^{2*}

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003;
3. 大连海洋大学海洋科技与环境学院, 大连 116023)

摘要: 目的 探究不同涂膜处理对采后软枣猕猴桃贮藏品质的影响。**方法** 以烟台“丰绿”软枣猕猴桃为实验材料, 用褐藻酸钠、褐藻寡糖、壳聚糖、壳寡糖 4 种涂膜剂对采摘后的软枣猕猴桃进行涂膜处理, 对其贮藏期间相关品质指标及果实形态变化进行检测分析。**结果** 在 20°C 贮藏过程中, 与对照组相比, 4 种处理在一定时间内均能抑制软枣猕猴桃果实质量损失率和软化程度, 减少可溶性固形物、维生素 C 含量的下降, 有效控制果实腐烂率。在贮藏过程中可使软枣猕猴桃果实保持较高水平的超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶活力。**结论** 综合分析, 成熟的软枣猕猴桃在 20°C 贮藏环境中, 褐藻寡糖涂膜处理保鲜效果最优, 更有利于果实的贮藏。

关键词: 软枣猕猴桃; 水果保鲜; 寡糖; 多糖; 酶活力

Effects of 4 kinds of different coating treatments on the storage quality of *Actinidia arguta*

WANG Le-Bing^{1,2}, PENG Cheng-Xiang³, SUN Chen-Chen³, SUN Lin²,
ZHONG Zhi-Hai², LI De-Hai^{1*}, LIU Zheng-Yi^{2*}

(1. School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 3. College of Marine Sciences, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of different coating treatments on the storage quality of postharvest *Actinidia arguta*. **Methods** Yantai “Fenglv” *Actinidia arguta* was used as the experimental material. The 4 kinds of coating agents, sodium alginate, alginate oligosaccharide, chitosan and chitosan oligosaccharide, were used to coat the picked *Actinidia arguta*. The related quality indicators and fruit morphology changes during storage were detected and analyzed. **Results** Compared with the control group, the 4 kinds of treatments could inhibit the fruit mass loss rate and softening degree of *Actinidia arguta*, reduce the decline of soluble solids and vitamin C content, and effectively control the fruit rot rate during the storage at 20°C. During storage, the activities of superoxide dismutase, catalase and peroxidase of *Actinidia arguta* fruit were maintained at a relatively high level. **Conclusion** Comprehensive analysis showed that alginate oligosaccharide coating treatment have the best fresh-keeping effect in the storage environment of

基金项目: 国家自然科学基金项目(42006110)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (42006110)

*通信作者: 李德海, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品化学及植物有效成分研究。E-mail: lidehaineau@163.com

刘正一, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为海藻生物技术。E-mail: zyliu@yic.ac.cn

*Corresponding author: LI De-Hai, Ph.D, Associate Professor, School of Forestry, Northeast Forestry University, No.26, Hexing Road, Xiangfang District, Harbin 150040, China. E-mail: lidehaineau@163.com

LIU Zheng-Yi, Ph.D, Senior Engineer, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, No.17, Chunhui Road, Leshan District, Yantai 264003, China. E-mail: zyliu@yic.ac.cn

ripe *Actinidia arguta* at 20°C, which is more conducive to fruit storage.

KEY WORDS: *Actinidia arguta*; fruit preservation; oligosaccharides; polysaccharides; enzyme activity

0 引言

软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)属于猕猴桃科,猕猴桃属,因其果呈圆球形至柱状长圆形且小巧精致,被人们称为奇异莓^[1],为大型落叶藤本植物,自然分布于我国东北部小兴安岭地区^[2],目前其栽培区域已扩展至华北、华中、华东南和西南等地^[3]。软枣猕猴桃营养价值极高,研究表明,其新鲜果实中富含20多种氨基酸,而且其果实中维生素C(vitamin C, VC)含量最高可达到450 mg/100 g,是柑橘、鸭梨等水果VC含量的几十倍,拥有“VC之冠”的美誉^[4]。截至到2020年,我国软枣猕猴桃栽培面积大约为2800公顷,年产量约1000 t,亩产年净收入能达到3393元^[3]。但软枣猕猴桃作为呼吸跃变型水果,在收获后由于呼吸作用会提高软化速率,从而造成营养流失,严重影响了软枣猕猴桃的货架期^[5]。

目前软枣猕猴桃采后保鲜方式主要有低温冷藏^[5]、臭氧保鲜^[6]、辐照处理^[7]、失水处理^[8]、乙烯抑制剂^[9]、壳聚糖涂膜^[10]等。其中涂膜保鲜是通过在软枣猕猴桃表皮涂布上一层高分子膜,从而降低果实的呼吸作用,改善果实的感官品质,减少其腐烂^[10]。该方法还具有操作简便、成本低的优点,广泛应用于果蔬的采后保鲜。目前,用于果蔬涂膜保鲜的物质主要包括果腊、壳聚糖、纤维素等有机高分子聚合物。这些涂膜材料具有生物可降解性,并且安全、无毒,符合可持续发展的要求。其中,多糖基可食性涂膜来源丰富,生物相容性和降解性良好,且具有一定的抗菌活性,在果蔬防腐保鲜的应用得到了广泛研究^[11]。LI等^[12]研究发现经1.5% (m:l)褐藻酸钠涂膜处理的李子与对照相比保持了较高的过氧化物酶(peroxidase, POD)和超氧化物歧化酶(super oxide dismutase, SOD)活性,延缓了李子的衰老,保持其采后品质。ZHUO等^[13]研究发现褐藻寡糖能降低猕猴桃在贮藏过程中的灰霉病发生率和病变直径,提高与病原体防御相关的氧化酶活性,延长其采后贮藏时间。王斯彤等^[14]使用壳聚糖涂膜处理采后软枣猕猴桃果实,发现涂膜处理能明显降低果实呼吸强度,维持果实的形态特征,并有效地减少果实腐烂率,延长其贮藏期。陈颖等^[15]以鲜切苹果为原料,采用0、1、1.5和2 g/100 mL的壳寡糖溶液对其进行涂膜处理,在4°C下贮藏发现,浓度为1.5 g/100 mL的壳寡糖对延缓苹果营养损失效果最佳,并且对鲜切苹果失重的抑制作用非常显著。但针对于软枣猕猴桃,目前并没有非常合适的多糖基可食性涂膜,并且市场上尚没有一种可食性保鲜涂膜注册为果实防腐保鲜剂^[16]。因此,本研究拟采用褐藻酸钠、褐藻寡糖、壳聚糖、壳寡糖4种涂膜剂

处理采后软枣猕猴桃,分析不同涂膜剂对其采后影响效果,筛选一种最适合于采后软枣猕猴桃的涂膜剂,延长其采后贮藏期,提高其经济价值,为软枣猕猴桃的采后保鲜及相关保鲜剂的研究开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“丰绿”软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)购自烟台市海阳市软枣猕猴桃种植基地。

褐藻酸钠(分析纯)、壳聚糖(高黏度>400 mPa.s)、壳寡糖(分子量≤2000)(上海麦克林生化科技有限公司);褐藻寡糖(聚合度1-4,南京君澜生物技术有限公司);还原型抗坏血酸含量测定试剂盒、POD试剂盒、SOD-WST-8法活性测定试剂盒、过氧化氢酶(catalase, CAT)试剂盒(微板法96样,苏州格锐思生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

ATAGO-PAL-1手持折光仪(日本ATAGO公司);GY-4果实硬度检测仪(乐清市爱德堡仪器有限公司);JA2003分析天平(精度0.01 g,上海楚定分析仪器有限公司);DK-8D三孔电热恒温水槽(上海一恒科技有限公司);JXFSTPRP-24全自动样品快速研磨仪(上海净信实业发展有限公司);GXZ-600C智能光照培养箱(宁波江南仪器厂);MicroCL 17高速离心机(上海巴玖实业有限公司);SuPerMax3100型多功能酶标仪(上海闪谱生物科技有限公司)。

1.3 样品的采集

实验材料为2022年9月19日采自烟台市海阳市的“丰绿”软枣猕猴桃成熟果实,它具有抗寒性强、果实品质优良等特性。本研究选择的软枣猕猴桃果实新鲜且表皮无肉眼可见的机械损伤,果实成熟度相同,果实大小为16~19 g。采摘当天带回实验室,然后进行预冷处理。

1.4 实验方法

按照果蔬保鲜的通用方法^[17]将果实在0°C下预冷24 h,然后筛选后将其分成A、B、C、D、E共5个组,每组60个果实,每组再分为取样组和观察组,其中取样组果实个数45个,观察组果实个数为15个。其中A组(CK)为清水对照组,B组为褐藻酸钠涂膜处理组,C组为褐藻寡糖涂膜处理组,D组为壳聚糖涂膜处理组,E组为壳寡糖涂膜处理组。其中实验组用来测定各组软枣猕猴桃果实中可溶性固形物(total soluble solids, TSS)含量、VC含量、硬度、抗氧化酶活性(SOD、CAT、POD)的变化;观察组用来对各组软

枣猕猴桃的外观变化进行统计,包括果实的腐烂率和失重率;所有果实放置于环境温度 20℃、湿度 80%的培养箱中观察,每隔 4 d 观察和取样,进行成分测定分析。

1.5 指标测定

1.5.1 腐烂率

每次统计各观察组中的腐烂果数。腐烂果判断依据为果皮出现病斑、霉变、腐化,腐烂率计算见公式(1)^[18]:

$$W/\% = \frac{W_1}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, W_1 为软枣猕猴桃贮藏各阶段的腐烂个数; W_0 为软枣猕猴桃总个数。

1.5.2 失重率

对电子天平进行调平处理,然后对各观察组果实进行称量,通过相关公式计算各组失重率。失重率公式如(2)所示^[18]:

$$A/\% = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中, A_0 为软枣猕猴桃贮藏前初始质量, g; A_s 为贮藏各阶段的软枣猕猴桃质量, g。

1.5.3 果实硬度

每组每次随机选取 9 颗果实,将软枣猕猴桃放置在托盘平面上,采用 GY-4 果实硬度检测仪穿刺时选取 P/2 柱头 ($\Phi=2$ mm),测试速率为 2.0 mm/s,刺入深度为 10 mm,每颗果实重复 3 次,取平均值^[19]。

1.5.4 可溶性固形物含量

取混合的样品研磨均匀后,经过 4 层纱布过滤,得到滤液,吸取 0.3 mL 放在经过蒸馏水校准的折光仪上进行测定,每组处理重复 3 次,取平均值^[19]。

1.5.5 VC 含量测定

依据还原型抗坏血酸微板法 96 样含量测定试剂盒说明书操作流程执行。

1.5.6 SOD 酶活性的检测

依据 SOD-WST-8 微板法 96 样含量测定试剂盒说明书操作流程执行。

1.5.7 POD 酶活性的检测

依据 POD 试剂盒说明书操作流程执行。

1.5.8 CAT 酶活性的检测

依据 CAT 试剂盒说明书操作流程执行。

1.6 数据处理

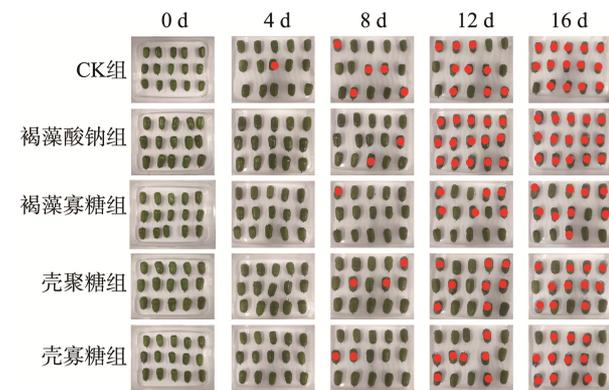
采用 Microsoft Excel 2021 进行数据的初步整理, Origin 2021 进行图表的绘制,应用 SPSS 26 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理下软枣猕猴桃的形态变化

由图 1 可知,软枣猕猴桃在 20℃条件下贮藏 16 d,果

实品质随着时间的增加而降低,首先果实表皮颜色开始慢慢变暗,光泽度下降,然后果实表皮逐渐皱缩,最后部分处理组果实开始出现发霉腐烂现象。从果实外观上来看,涂膜组情况较好,表皮皱缩情况小,颜色变化缓慢,腐烂果实较少。涂膜处理起到了延缓果实衰老的作用。王斯彤等^[14]研究也发现,软枣猕猴桃在 4℃条件下保存 35 d,壳聚糖涂膜处理组感官得分明显高于 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)熏蒸处理组,这表明涂膜处理可以更有效地保持采后果实的质量,减少果实腐烂,延长其贮藏时间。



注:标红部分为发霉腐烂果。

图 1 不同处理下软枣猕猴桃的形态变化

Fig.1 Morphological changes of *Actinidia arguta* under different treatments

2.2 不同处理下软枣猕猴桃的腐烂率

腐烂率可以最直观地反映不同涂膜处理的保鲜效果。从图 2 中可以看到,果实腐烂率随着时间的延长一直呈上升趋势。CK 组最早出现腐烂果实,4 d 时腐烂率为 6.67%,16 d 时达到 100%。8 d 时褐藻酸钠、褐藻寡糖、壳聚糖、壳寡糖组均出现腐烂,但腐烂率均低于 CK 组的 33.33%。到 12 d 时,褐藻酸钠组的腐烂率为 100%,高于 CK 组的 60%。到 16 d 时,褐藻寡糖、壳聚糖、壳寡糖的腐烂率分别为 66.67%、73.33%、66.67%,而 CK 组腐烂率达到了 100%。这是因为 4 种涂膜材料均是具有抗菌活性的物质,一定程度避免了软枣猕猴桃受菌感染而腐烂。已有研究证明多糖类的可食性涂膜,应用效果受限于涂膜液的黏稠度、涂膜的均匀性以及涂膜液最后的风干速度^[20]。褐藻酸钠涂膜组腐烂率从第 12 d 开始高于 CK 组,这与滕峥等^[21]研究结果不同,其研究表明贮藏至 26 d 时,1%~2%浓度的褐藻酸钠涂膜处理能够更好地保证乐业红心猕猴桃的采后感官品质,延长其贮藏期。这可能是由于褐藻酸钠涂膜液较为黏稠,导致贮藏 8 d 后软枣猕猴桃腐烂率骤增。

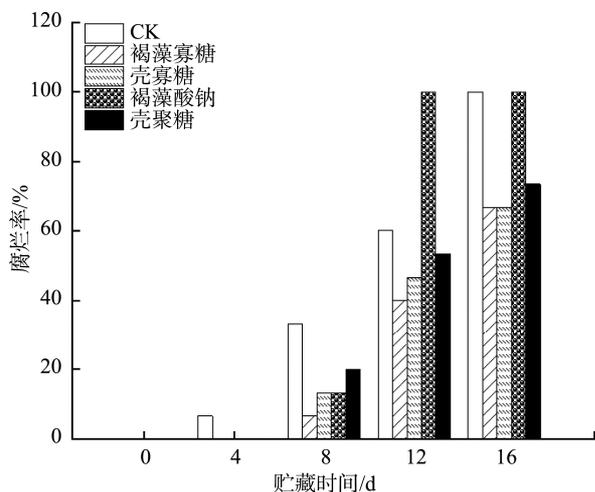
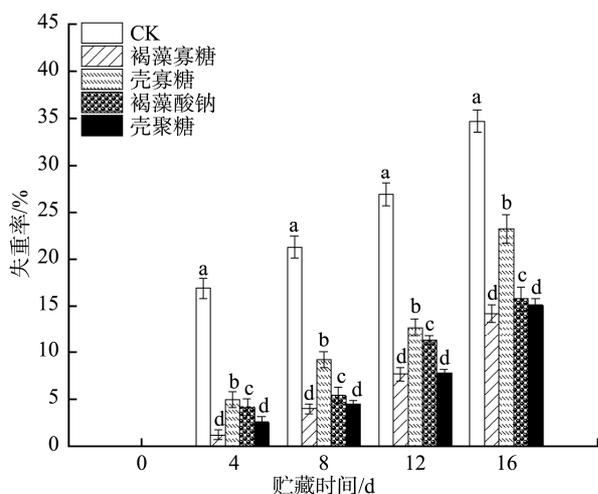


图 2 不同处理对软枣猕猴桃腐烂率的影响

Fig.2 Effects of different treatments on the rot rates of *Actinidia arguta*

2.3 不同处理下软枣猕猴桃的失重率变化

失重率是衡量软枣猕猴桃果实品质的重要指标之一, 软枣猕猴桃作为典型的呼吸跃变型果实, 在贮藏过程中, 果实受到呼吸作用的影响, 营养物质极易损失, 又会因蒸腾作用失去水分^[22]。图 3 显示了不同处理下果实的失重情况。从图 3 中可以看出, 果实的失重率不断增加, 16 d 时, 褐藻寡糖处理组 14.19% 的失重率显著低于 CK 组的 34.72% ($P < 0.05$), 其次是壳聚糖、褐藻酸钠处理组的 15.11%、15.76%。壳寡糖处理组的失重率也低于 CK 组。这说明相对于 CK 组, 4 组涂膜处理均可降低果实因呼吸代谢消耗的内部营养物质, 减少失重情况的发生。随着时间的延长, 除了果实本身失水情况外, 膜本身也会发生质量损失, 导致第 16 d 时失重率有一个较高的增幅。



注: 不同小写字母表示同一贮藏时间不同处理对软枣猕猴桃贮藏品质/生理特性差异显著($P < 0.05$), 下同。

图 3 不同处理对软枣猕猴桃失重率的影响($n=3$)

Fig.3 Effects of different treatments on weight loss rates of *Actinidia arguta* ($n=3$)

2.4 不同处理下软枣猕猴桃的硬度变化

果实硬度是衡量果实成熟度及其食用品质的重要指标, 也是体现果实衰老退化程度最直观的指标。已有研究表明涂膜处理可以通过抑制水分流失和氧气的渗透, 并通过降低呼吸等代谢反应来保持草莓果实硬度^[23]。图 4 显示出软枣猕猴桃随着储藏时间的延长, 果肉逐渐软化, 硬度下降。这是由于软枣猕猴桃在成熟后会进入软化阶段, 果实内部果胶酯酶以及多聚半乳糖醛酸酶活性开始增加, 果胶物质开始与纤维素分离, 可溶性果胶含量增加导致的^[17]。贮藏 4 d 后, 相比于 CK 组, 经过涂膜处理的 4 组果实硬度更高, 软化速度缓慢。16 d 时褐藻寡糖处理组的硬度较其他处理组高($P < 0.05$), 这说明褐藻寡糖涂膜处理在果实贮藏后期会发挥出较大的作用, 能够更好地保持果实品质。

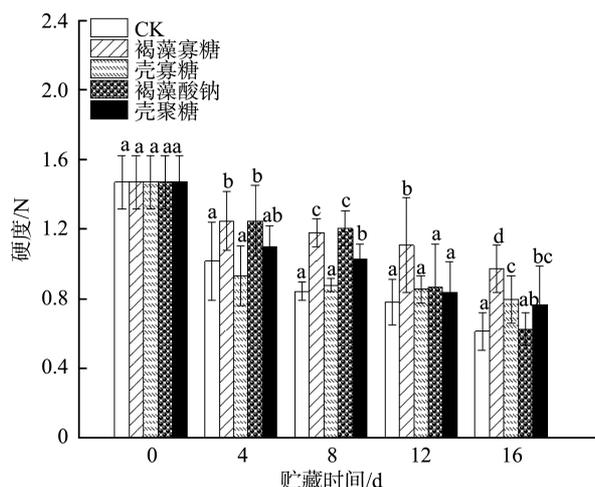


图 4 不同处理对软枣猕猴桃硬度的影响($n=3$)

Fig.4 Effects of different treatments on the hardness of *Actinidia arguta* ($n=3$)

2.5 不同处理下软枣猕猴桃的 TSS 含量变化

TSS 含量与果蔬的成熟度有关, 其含量直接影响果实的口感滋味^[24]。图 5 显示了不同处理下软枣猕猴桃 TSS 含量的变化情况。褐藻寡糖处理组的 TSS 含量呈现逐步增加的趋势, 壳聚糖和壳寡糖处理组呈现先增加后减少的趋势, 而 CK 组和褐藻酸钠处理组呈现出先增加然后降低最后缓慢上升的趋势。这是因为软枣猕猴桃采收后会一直进行呼吸作用等生理活动, 大量的淀粉有机酸等生物大分子物质分解, 形成了 TSS, 导致 TSS 含量不断增多。随着果实成熟度的增加, 果实达到后熟甚至衰老, 就会继续经过糖酵解, 分解 TSS。后期因为果实分解大分子物质产生的 TSS 大于 TSS 分解的速度, 从而使 TSS 缓升^[25]。从图 5 中可以看出, CK 组 TSS 含量在第 8 d 达到峰值, 为 20.33 BriX%, 而壳聚糖、壳寡糖和褐藻寡糖组在第 12 d、12 d、16 d 达到峰值, 为 19.8、19.33、19.9 BriX%, 这说明涂膜处理能在一定程度上延缓果实的衰老情况, 减少软枣猕猴桃贮藏

过程中糖和酸的消耗,而且其中褐藻寡糖涂膜效果与其他涂膜组相比,效果更加显著($P<0.05$)。

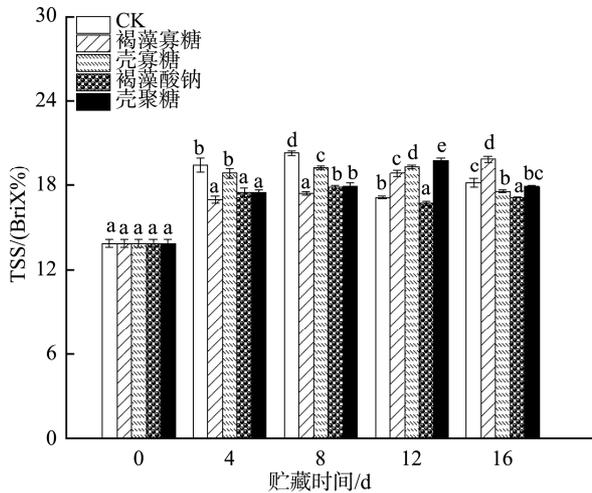


图 5 不同处理对软枣猕猴桃 TSS 的影响($n=3$)

Fig.5 Effects of different treatments on the TSS of *Actinidia arguta* ($n=3$)

2.6 不同处理下软枣猕猴桃的 VC 含量变化

软枣猕猴桃中 VC 含量丰富,已有研究证实,VC 作为果实内的非酶类自由基清除剂,在草莓^[25]、猕猴桃^[17]、车厘子^[26]等水果贮藏过程中呈现下降趋势。从图 6 中可以看出,4 个处理组中 VC 的含量呈先上升后减小的趋势。这是因为软枣猕猴桃完全成熟,VC 含量会有所上升,这时候果实的营养价值高,适合食用,果实继续成熟呈现过熟,甚至衰老的现象,果实内部组织退化,营养逐渐丧失,VC 含量减少。从图 6 可以看出,CK 组 VC 含量在第 4 d 达到峰值,为 0.47 mg/g,而褐藻寡糖、褐藻酸钠、壳聚糖涂膜处

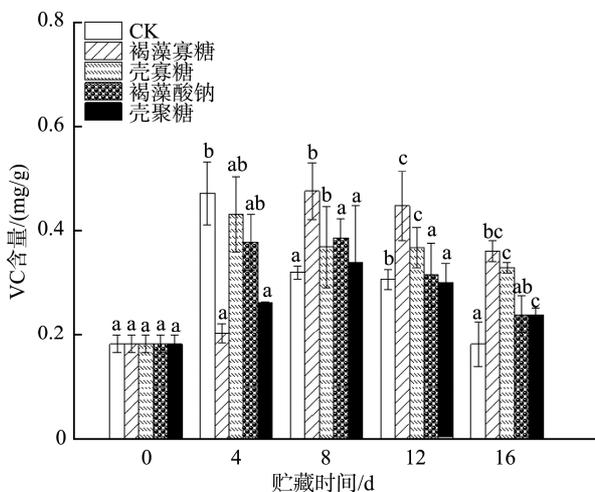


图 6 不同处理对软枣猕猴桃 VC 含量的影响($n=3$)

Fig.6 Effects of different treatments on the VC content of *Actinidia arguta* ($n=3$)

理均推迟了 VC 含量高峰出现的时间,其中褐藻寡糖处理组第 8 d 时 VC 含量为 0.48 mg/g,显著高于 CK、海藻酸钠、壳聚糖涂膜处理组。这可能是由于涂膜剂对果实的 VC 代谢途径造成影响,并刺激了果实内与病原体防御相关酶的活力,从而延缓了果实中 VC 含量的下降^[14]。这表明涂膜处理能够有效延迟果实成熟,涂膜后形成的低氧内部环境,有利于 VC 的氧化损失。宋昕昕等^[24]研究也观察到,辐照处理结合壳聚糖涂膜不仅能推迟哈密瓜果实 VC 含量峰值的出现,而且还能使哈密瓜的 VC 含量在贮藏后期维持在一个较高水平。

2.7 不同处理下软枣猕猴桃 SOD 酶活性的变化

SOD 是一种抗氧化酶,在贮藏过程中可以清除果实内部产生的超氧阴离子,起到防止果实衰老的作用。从整体来看 SOD 活性的变化,整体趋势是先上升再降低最后缓升的趋势。这可能是因为贮藏开始时,细胞启动清除自由基的酶防御系统,产生大量的 SOD,之后随着生理活动的进行,果实开始从成熟转向衰老,SOD 活性逐渐下降,由于胁迫作用,最后 SOD 的含量又缓慢上升^[27]。褐藻酸钠、褐藻寡糖、壳聚糖、壳寡糖处理组分别在第 12 d、16 d、4 d、12 d 达到酶活性峰值,分别为 123.14、135.53、113.72、131.29 U/g,而 CK 组酶活性峰值最高为 99.81 U/g。与 CK 组相比,涂膜处理组明显较 CK 组延迟了 SOD 酶活性高峰的到来,且比 CK 组的酶活性峰值高。这表明涂膜处理可以有效延缓 SOD 活性的降低,从而延长果实的贮藏期。

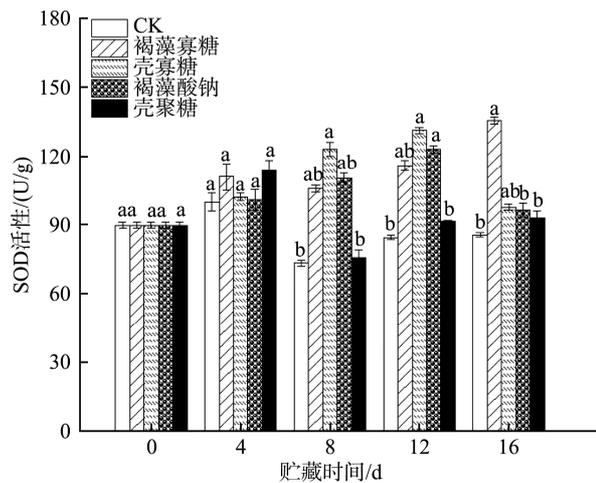


图 7 不同处理对软枣猕猴桃 SOD 活性的影响($n=3$)

Fig.7 Effects of different treatments on the activities of SOD of *Actinidia arguta* ($n=3$)

2.8 不同处理下软枣猕猴桃 POD 酶活性变化

POD 是软枣猕猴桃中一种重要的氧化还原酶,可以催化 H_2O_2 ,在果实的生长成熟、衰老病害、抗环境胁迫的过程中,酶活性均会发生变化^[28]。由图 8 可知,POD 酶活

性也是呈先增加后减少最后出现缓升的变化过程。CK 组在第 4 d 时达到酶活性高峰, 为 59.86 U/g。同一天壳聚糖、褐藻寡糖涂膜处理组也到达活性高峰, 为 69.92、64.96 U/g, 高于 CK 组。褐藻酸钠和壳寡糖涂膜处理组相对于 CK 组, 均延迟了酶活性高峰出现的时间, 且二者最大酶活性均大于 CK 组, 分别为 76.00、62.24 U/g。这表明涂膜处理可以在果实逐渐衰老过程中促使 POD 酶活性提高, 从而大量分解果实内部产生的 H_2O_2 , 进一步延缓果实的衰老。

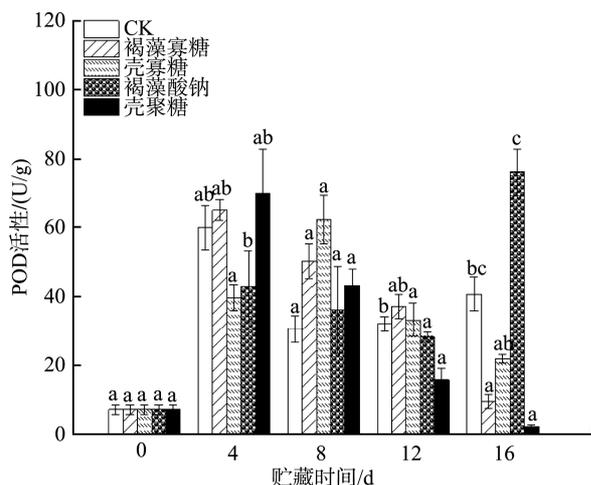


图 8 不同处理对软枣猕猴桃 POD 活性的影响(n=3)

Fig.8 Effects of different treatments on the activities of POD of *Actinidia arguta* (n=3)

2.9 不同处理下软枣猕猴桃 CAT 活性变化

CAT 可通过催化 H_2O_2 分解, 从而起到减少活性氧保护植物的作用^[29]。由图 9 可知, CAT 活性的整体变化趋势与 SOD、POD 相一致, CAT 活性也是呈先增加后减少最后出现回升的趋势。这可能是由于果实采后初期, 由于环境

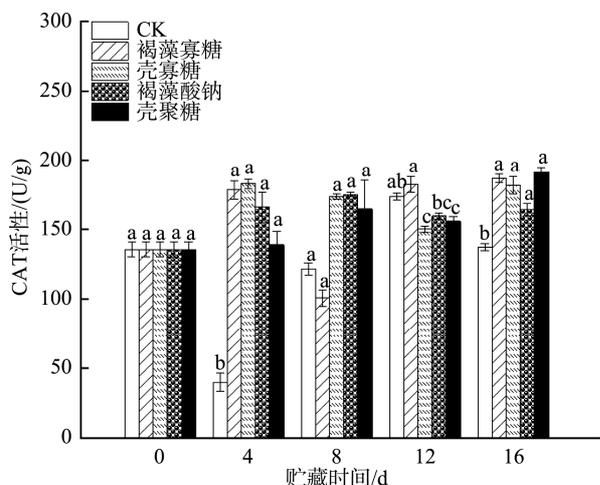


图 9 不同处理对软枣猕猴桃 CAT 活性的影响(n=3)

Fig.9 Effects of different treatments on the activities of CAT of *Actinidia arguta* (n=3)

因素的改变, 为了抗环境胁迫产生的 H_2O_2 , CAT 活性增加, 之后果实出现呼吸跃变后进入成熟状态, CAT 含量再次增加, 出现两次峰值, 最后含量开始减少, 果实进入衰老时期^[30]。通过研究发现 POD、CAT、SOD 3 种酶的活性高峰出现的时间点有所不同, 可能与其作用方式不同有关。软枣猕猴桃在贮藏前期抗氧化能力较低, 果实内超氧自由基过多积累后, 会激活内部抗氧化系统。SOD 作为第一道防线, 活性上升, 在 4 d 达到活性峰值, 同时造成 H_2O_2 含量增多, 从而引起 CAT 活性以及 POD 活性的升高, 在 12 d 左右, 也达到峰值。由此可见, CAT、SOD、POD 3 种抗氧化酶具有协同作用, 通过不同的作用方式来协同延缓果实衰老。

3 结论

近年来研究发现海洋低聚糖在果蔬保鲜方面效果突出, 本研究着重于筛选可有效提升采后软枣猕猴桃感官品质和营养价值的海洋低聚糖, 延长软枣猕猴桃的采后贮藏期, 提高其经济价值。本研究结果表明, 在 20°C 贮藏过程中, 褐藻酸钠、褐藻寡糖、壳聚糖、壳寡糖这 4 种涂膜剂处理均能在一定时间内抑制软枣猕猴桃果实腐烂, 降低其失重率和软化程度, 有效缓解 TSS 上升以及 VC 含量的下降。同时, 在贮藏后期还可以使软枣猕猴桃果实保持较高的 SOD、CAT、POD 酶活力。综合各方面分析, 成熟的软枣猕猴桃在 20°C 贮藏条件下, 褐藻寡糖涂膜处理, 贮藏品质最佳, 可为褐藻寡糖涂膜在果蔬中的实际应用提供一定参考, 但有关于海洋低聚糖防治果蔬采后病害的机制还需进一步研究。

参考文献

- [1] 陈曦冉, 张鹏, 贾晓昱, 等. 1-MCP 处理维持软枣猕猴桃活性氧的代谢平衡[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 83-91.
CHEN XR, ZHANG P, JIA XY, et al. Reactive oxygen metabolism balance in *Actinidia arguta* by 1-MCP treatments [J]. Mod Food Sci Technol, 2022, 38(4): 83-91.
- [2] 张鹏, 陈曦冉, 贾晓昱, 等. CO₂ 伤害对软枣猕猴桃风味品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 378-386.
ZHANG P, CHEN XR, JIA XY, et al. Effects of CO₂ injury on the flavor quality of *Actinidia arguta* [J]. Sci Technol Food Ind, 2023, 44(4): 378-386.
- [3] 孙宏莱, 毕云杰, 时得友, 等. 软枣猕猴桃果品加工与贮藏保鲜研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(11): 315-320.
SUN HL, BI YJ, SHI DY, et al. Research progress on *Actinidia arguta* processing and storage [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(11): 315-320.
- [4] SZPADZIK E, ZARAS J, KRUPA T. Storage quality characteristic of two minikiwi fruit (*Actinidia arguta* (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq.)

- cultivars: 'Ananasaya' and 'Bingo'-a new one selected in Poland [J]. *Agronomy*, 2021, 11(1): 134.
- [5] 黄文俊, 冉欣雨, 王周倩, 等. 不同贮藏温度对软枣猕猴桃'弥枣 1 号'果实品质和贮藏性的影响[J]. *植物科学学报*, 2022, 40(5): 695-704.
- HUANG WJ, RAN XY, WANG ZQ, *et al.* Effects of different storage temperature on fruit quality and storability of *Actinidia arguta* (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq. 'Mizao 1' [J]. *Plant Sci J*, 2022, 40(5): 695-704.
- [6] PIECHOWIAK T, GRZELAK K, SOJKA M, *et al.* One-time ozone treatment improves the postharvest quality and antioxidant activity of *Actinidia arguta* fruit [J]. *Phytochemistry*, 2022, 203: 113393.
- [7] YANG S, LI R, WANG D, *et al.* Effect of low-dose high-energy electron beam irradiation on postharvest storage quality of *Actinidia arguta* [J]. *J Food Process Pres*, 2022, 46(8): e16761.
- [8] 穆晶晶, 张博, 李书信, 等. 失水处理对软枣猕猴桃贮藏期间褐变相关因子的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(20): 307-311.
- MU JJ, ZHANG B, LI SQ, *et al.* Effect of dehydration treatment on parameters associated with browning of *Actinidia arguta* Sieb. et Zucc during storage at room temperature [J]. *Food Sci*, 2013, 34(20): 307-311.
- [9] XU D, ZHOU F, GU S, *et al.* 1-Methylcyclopropene maintains the postharvest quality of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) [J]. *J Food Meas Charact*, 2021, 15(4): 3036-3044.
- [10] 张晓冉, 许凯. 可食性涂膜保鲜技术在易腐食品中的研究进展[J]. *食品工业*, 2022, 43(9): 244-248.
- ZHANG XR, XU K. Research progress on edible coating preservation technology of perishable food [J]. *Food Ind*, 2022, 43(9): 244-248.
- [11] 王艳, 汤卫东, 张亮. 壳聚糖+植酸复合涂膜对鲜切哈密瓜保鲜效果的影响[J]. *食品科技*, 2022, 47(4): 48-53.
- WANG Y, TANG WD, ZHANG L. Preservation effect of natural film with chitosan combining phytic acids on fresh-cutting cantaloupe [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 47(4): 48-53.
- [12] LI H, HUANG Z, ADDOK, *et al.* Evaluation of postharvest quality of plum (*Prunus salicina* L. cv. 'French') treated with layer-by-layer edible coating during storage [J]. *Sci Hort*, 2022, 304: 111310.
- [13] ZHUO R, LI B, TIAN S. Alginate oligosaccharide improves resistance to postharvest decay and quality in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Bruno) [J]. *Hortic Plant J*, 2022, 8(1): 44-52.
- [14] 王斯彤, 王聪雅, 刘怡菲, 等. 不同保鲜处理对软枣猕猴桃贮藏及抗氧化性的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2022, 53(3): 302-308.
- WANG ST, WANG CY, LIU YF, *et al.* Effects of different fresh-keeping treatments on storage and antioxidant activity of *Actinidia arguta* [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2022, 53(3): 302-308.
- [15] 陈颖, 刘程惠, 白雯睿, 等. 壳聚糖涂膜对鲜切苹果的保鲜作用[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(9): 269-274.
- CHEN Y, LIU CH, BAI WR, *et al.* Effects of chitosan oligosaccharide on preservation of fresh-cut apples [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(9): 269-274.
- [16] 丁捷, 刘春燕, 黄彭, 等. 果蔬可食性保鲜涂膜技术应用及机理最新研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(4): 318-327.
- DING J, LIU CY, HUANG P, *et al.* Latest research progress on edible coating applications and their mechanisms in fruits and vegetables [J]. *Food Ferment Ind*, 2023, 49(4): 318-327.
- [17] LIU J, KENNEDY JF, ZHANG X, *et al.* Preparation of alginate oligosaccharide and its effects on decay control and quality maintenance of harvested kiwifruit [J]. *Carbohydr Polym*, 2020, 242: 116462.
- [18] 赖灯妮, 张群, 尚雪波, 等. 氯吡脲处理对 6 种猕猴桃品质和货架期的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(1): 146-155.
- LAI DN, ZHANG Q, SHANG XB, *et al.* Effects of 1-(2-chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea treatment on quality and shelf life of 6 kinds of *Actinidia chinensis* Planch [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(1): 146-155.
- [19] 叶力瑕, 牛耀星, 王燕, 等. 低剂量电子束辐照对徐香猕猴桃生理品质与氧化酶的影响[J/OL]. *食品工业科技*: 1-12. [2023-04-12]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090168
- YE LX, NIU YX, WANG Y, *et al.* Effects of low dose electron beam irradiation on physiological quality and oxidase of kiwifruit Xuxiang [J/OL]. *Sci Technol Food Ind*: 1-12. [2023-04-12]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090168
- [20] HASHEMI S, JAFARPOUR D. The efficacy of edible film from konjac glucomannan and saffron petal extract to improve shelf life of fresh-cut cucumber [J]. *Food Sci Nutr*, 2020, 8(7): 3128-3137.
- [21] 滕峥, 杨翠凤, 潘少晴, 等. 海藻酸钠涂膜对乐业红心猕猴桃保鲜品质的影响[J]. *中国南方果树*, 2021, 50(1): 90-95.
- TENG Z, YANG CF, PAN SQ, *et al.* Effect of sodium alginate coating on fresh-keeping quality of Leye Red Kiwi fruit [J]. *South Chin Fruits*, 2021, 50(1): 90-95.
- [22] 宋梦婷. 不同软枣猕猴桃种质资源营养、风味和贮藏品质的评价[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2022.
- SONG MT. Evaluation of *Actinidia arguta* germplasm based on their nutrition, taste and storage quality [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2022.
- [23] JIANG Y, YU L, HU Y, *et al.* The preservation performance of chitosan coating with different molecular weight on strawberry using electrostatic spraying technique [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 151: 278-285.
- [24] 宋昕昕, 吕云皓, 王雨菲, 等. 紫外线辐照结合壳聚糖涂膜对哈密瓜贮藏品质的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-10. [2023-04-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220915.1740.010.html>
- SONG XX, LV YH, WANG YF, *et al.* Effects of ultraviolet irradiation combined with chitosan coating on storage quality of Hami melon [J/OL]. *Food Sci*: 1-10. [2023-04-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220915.1740.010.html>

- [25] BOSE SK, HOWLADER P, XIAO J, *et al.* Alginate oligosaccharide postharvest treatment preserve fruit quality and increase storage life via abscisic acid signaling in strawberry [J]. *Food Chem*, 2019, 283(15): 665.
- [26] 缪嘉琪, 蔡寅川, 章彦楷, 等. 月桂酰精氨酸乙酯-壳聚糖涂膜对车厘子保鲜效果及保鲜机理的研究[J]. *食品与发酵科技*, 2022, 58(5): 19–24.
- MIAO JQ, CAI YC, ZHANG YK, *et al.* Study on the effect of lauryl arginine ethyl ester-chitosan coatingon preserving freshness of cherries and its mechanism [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 58(5): 19–24.
- [27] XI Y, YANG Q, GODANA EA, *et al.* Study on the effect of debaryomyces hansenii enhanced by alginate oligosaccharide against postharvest blue mold decay of apples and the physiological mechanisms involved [J]. *Biol Control*, 2022, 176: 105081.
- [28] YU X, JING Y, YAN F. Chitooligosaccharide–lysine Maillard reaction products: Preparation and potential application on fresh-cut kiwifruit [J]. *Food Bioprocess Technol*, 2019, 12(7): 1133–1143.
- [29] 盘柳依, 赵显阳, 陈明, 等. 外源茉莉酸甲酯处理对采后猕猴桃果实品质和抗氧化酶活性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(9): 7.
- PAN LY, ZHAO XY, CHEN M, *et al.* Effects of exogenous methyl jasmonate on fruit qualities and antioxidases activities of postharvest kiwifruits [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(9): 7.
- [30] YOU M, DUAN X, LI X, *et al.* Effect of 1-Methylcyclopropene combined with chitosan-coated film on storage quality of passion fruit [J]. *Sustain Chem Pharm*, 2022, 27: 100679.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



王乐兵, 硕士研究生, 主要研究方向为食品化学及植物有效成分研究。
E-mail: 18763037364@163.com



李德海, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品化学及植物有效成分研究。
E-mail: lidehaineau@163.com



刘正一, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为海藻生物技术。
E-mail: zyliu@yic.ac.cn