



柑橘精油及壳聚糖复合处理对橄榄果实采后生理和耐贮性的影响

赵俊跃, 蔡净蓉, 徐成妍, 余文琴

引用本文:

赵俊跃, 蔡净蓉, 徐成妍, 余文琴. 柑橘精油及壳聚糖复合处理对橄榄果实采后生理和耐贮性的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(1): 53–61.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4543>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

橄榄果实发育过程中细胞壁物质和相关酶活性变化

Changes in Cell Wall Components and Related Enzyme Activities of *Canarium album* during Fruit Development Stage
热带亚热带植物学报. 2019, 27(6): 677–683 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4028>

低温处理对北美冬青叶片抗氧化能力的影响

Effect of Low Temperature Stress on Antioxidant Ability in *Ilex verticillata* Leaves
热带亚热带植物学报. 2016, 24(6): 689–695 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.06.013>

接种丛枝菌根真菌对柑橘生长与次生代谢的影响

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 78–83 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4087>

遮阴对四季桂生理生态特性的影响

Effect of Shading on Physiological and Ecological Characteristics of *Osmanthus fragrans*
热带亚热带植物学报. 2017, 25(1): 57–64 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3634>

混合中性盐胁迫对金盏菊幼苗生长及光合生理的影响

Effects of Mixed Neutral Salt Stress on Growth and Photosynthetic Physiology of *Calendula officinalis* Seedlings
热带亚热带植物学报. 2018, 26(4): 391–398 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3863>

向下翻页, 浏览PDF全文

柑橘精油及壳聚糖复合处理对橄榄果实采后生理和耐贮性的影响

赵俊跃, 蔡净蓉, 徐成妍, 余文琴*

(福建农林大学园艺学院, 园艺产品贮运保鲜研究所, 福州 350002)

摘要: 为探究柑橘精油(0.25%、0.75%、1.5%)和壳聚糖(0.25%、0.75%、1.5%)复合处理对橄榄(*Canarium album*)果实采后生理和耐贮性的影响, 以鲜食橄榄品种(系)‘檀香’、‘梅埔 2 号’为材料, 对采后贮藏期间的腐烂率、褐变指数、相对电导率、呼吸强度、丙二醛含量、内源抗氧化物质谷胱甘肽含量、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性进行测定, 筛选橄榄果实复合保鲜剂的最佳浓度组合。结果表明, 与对照相比, 所有柑橘精油和壳聚糖复合处理均可有效降低橄榄果实在贮藏期间腐烂率、褐变指数和丙二醛的积累, 抑制呼吸作用, 保持较高的内源抗氧化物质谷胱甘肽含量和 POD、APX 活性。因此柑橘精油及壳聚糖处理能够有效延长橄榄果实的保鲜时间, 提高耐贮性, 其中以 1.5%柑橘精油和 1.5%壳聚糖组合的保鲜效果最佳。

关键词: 橄榄; 柑橘精油; 壳聚糖; 采后生理; 耐贮性

doi: 10.11926/jtsb.4543

Effects of Citrus Essential Oil Combined with Chitosan Treatment on Post Harvest Physiology and Storability of Chinese Olive Fruits

ZHAO Junyue, CAI Jingrong, XU Chengyan, SHE Wenqin *

(College of Horticulture, Institute of Postharvest Science and Technology of Horticultural Products, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In order to explore the effects of citrus essential oil (0.25%, 0.75%, 1.5%) and chitosan (0.25%, 0.75%, 1.5%) on postharvest physiology and storability of Chinese olive (*Canarium album*) fruits, the fruit decay rate, browning index, relative conductivity, respiratory intensity, malondialdehyde content, endogenous antioxidant substance glutathione content, activities of peroxidase (POD) and ascorbate peroxidase (APX) of cv. ‘Tanxiang’ and ‘Meipu 2’ fresh fruits during postharvest storage were determined to screen the best concentration combination of compound preservatives. The results showed that the combinations of citrus essential oil and chitosan could effectively reduce decay rate, browning index and malondialdehyde content in fruits during storage, inhibit respiration, maintain a high content of endogenous antioxidant glutathione, as well as activities of POD and APX. Therefore, the combination of citrus essential oil and chitosan could effectively prolong the fresh-keeping period of Chinese olive fruits and improve the storability, the mixed 1.5% citrus essential oil and 1.5% chitosan had the best fresh-keeping effect.

Key words: *Canarium album*; Citrus essential oil; Chitosan; Postharvest physiology; Storability

收稿日期: 2021-10-13 接受日期: 2021-12-29

基金项目: 中央财政林业科技推广项目(闽财指[2021]363号)资助

This work was supported by the Project for Forestry Science and Technology Promotion of the Central Finance (Grant No. 2021363).

作者简介: 赵俊跃(1996年生), 男, 在读硕士, 研究方向为果树生理生化及果实采后保鲜。E-mail: 826275095@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wenqinshe@163.com

橄榄(*Canarium album*)原产于我国南方,是我国特有的热带亚热带果树。鲜食橄榄口感清脆,回甘浓厚,含有氨基酸、糖类、矿物质和膳食纤维等多种营养成分^[1]。但橄榄果实果皮较薄,在采收时易受到机械损伤,导致真菌^[2]、病毒入侵,引起果实的褐变及腐烂,影响果实风味品质,限制了橄榄产业的发展和销售市场的开拓^[3]。目前,橄榄果实采后保鲜技术的研究热点主要涉及橄榄鲜果包装^[4]、冷藏^[5]、防腐剂处理^[6]、涂膜剂^[7]及外源乙烯^[8]处理等,但橄榄果实通常直接用于食用及加工,随着食品安全受到人们的广泛关注,很有必要研发一套天然无公害的橄榄采后保鲜配方。

柑橘精油具有天然的抑菌作用,作用于果蔬产品表面,可以很好地起到防止腐烂,提高贮藏品质的作用,可代替亚硝酸钠等作为天然的无公害保鲜剂^[9]。李鹏霞等^[10]研究表明,柑橘精油处理能够有效降低番茄(*Lycopersicon esculentum*)腐烂率,维持好果率在 80%以上。壳聚糖是甲壳素的化学产物,不但可以食用,也可以被自然降解,不会造成污染^[11],同时壳聚糖具有很强的机械性和延展性,易成膜,可作为很好的包装及保鲜材料^[12]。谭啸等^[13]研究认为,壳聚糖食用膜处理可以有效提高葡萄(*Vitis vinifera*)果实采后的外观和贮藏品质。根据前人的研究,复合保鲜剂的保鲜效果往往要优于单一处理。张文勇等^[14]研究了柑橘精油和壳聚糖复合膜对草莓(*Fragaria ananassa*)采后生理的影响,发现用柑橘精油和壳聚糖浸泡处理的草莓,贮藏期间腐烂率和失重率显著降低,降低可溶性固形物和维生素 C (Vc)的降解且优于单因素保鲜处理。

目前尚未见柑橘精油-壳聚糖复合保鲜剂在橄榄果实保鲜上的应用,本试验以鲜食橄榄品种(系)‘檀香’、‘梅埔 2 号’为试材,旨在探究不同浓度组合对橄榄果实采后生理和耐贮性的影响,以期筛选最佳浓度的保鲜配方,为研发橄榄果实的安全保鲜剂提供理论依据和生产指导。

1 材料和方法

1.1 材料

本试验以橄榄(*Canarium album*)鲜食品种(系)‘檀香’,‘梅埔 2 号’为供试材料,材料采自福州市闽清县白石坑久源橄榄专业合作社。每个品种(系)选择 3 棵长势一致,无病虫害的橄榄果树,于花后 150 d

(2020 年 10 月 25 日)采摘成熟度八成左右的橄榄果实,采果时沿树冠东西南北方位取大小适中、均匀一致,无病虫、无损伤的果实,每个品种(系) 30 kg,当天运回福建农林大学园艺产品贮藏保鲜研究所进行处理。

1.2 方法

1.2.1 保鲜剂的配制

柑橘精油购于江西泰诚天然香料有限公司,为食品级精油。壳聚糖购于浙江一诺生物科技有限公司,为食品级。设计柑橘精油浓度为 0.25%、0.75%、1.5% (m/m),壳聚糖浓度为 0.25%、0.75%、1.5% (m/m),随后按正交试验的原则进行组合(A~I),并设置空白对照(CK)。

表 1 柑橘精油及壳聚糖复合物浓度组合

Table 1 Combination of citrus essential oil and chitosan

处理 Treatment	柑橘精油 /% Citrus essential oil	壳聚糖 /% Chitosan
A	0.25	0.25
B	0.25	0.75
C	0.25	1.50
D	0.75	0.25
E	0.75	0.75
F	0.75	1.50
G	1.50	0.25
H	1.50	0.75
I	1.50	1.50
对照 Control (CK)	0	0

1.2.2 样品处理

将橄榄果实洗净后在自然状态下晾干,表面不含水分,然后在 1.2.1 配制的保鲜液中浸泡 3 min 后捞出,自然晾干后装入 0.07 mm 厚的聚乙烯薄膜袋,每袋 15 个果,设 3 个重复,每个品种(系)装 150 袋,封口后置于 10 °C 的冷库内进行贮藏,每隔 15 d 从冷库取样测量生理指标,每次单个处理取 3 袋共 45 个果进行切果采样,共取样 5 次。

1.3 测定指标及方法

橄榄果实表面褐变指数参照孔祥佳等^[15]的方法,选取 45 个果实,观察果实褐变状况,褐变指数= Σ (褐变级数×该级果数)/观察总果数;选取 45 个果实,观察果实腐烂状况,果实腐烂率=腐烂果数/观察果数;果肉相对电导率参照魏宝东等^[16]的方法,用电导率仪进行测量;果实呼吸强度参照孔祥佳等^[17]的方法,随机选择 10 个橄榄果实,称取质量后放入果蔬呼吸作用测定仪中进行测量;丙二醛含量参

照王学奎等^[18]用三氯乙酸(TCA), 2-硫代巴比妥酸(TBA)显色法, 谷胱甘肽用 2-硝基苯甲酸(DTNB)显色法; 过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性参照李合生版植物生理生化实验原理和技术^[19], 以上指标重复 3 次。

1.4 数据分析

数据分析采用 Excel 软件进行整理及制图, 采用 SPSS 软件进行显著性分析。

2 结果和分析

2.1 复合处理对果实腐烂率和褐变指数的影响

由图 1 可见, 随着贮藏时间的延长, ‘檀香’果实腐烂率呈上升趋势, 对照组腐烂率在各个时期均显著高于处理组($P<0.05$), 处理组在采后 45 d 时出现腐烂现象迟于对照组。采后 75 d 处理组 I 果实腐烂率相比

对照降低 41.6%。‘梅埔 2 号’处理组 A、B 和对照在采后 45 d 最早出现腐烂现象, 采后 75 d 处理组 I 果实能保持 100%的好果率, 能有效抑制橄榄果实腐烂。

由图 2 可见, 贮藏期间橄榄果实果皮褐变指数变化趋势与腐烂率相同, 呈持续上升趋势, 在采后 75 d 达到最大值。处理组上升较为缓慢, 对照上升较快。采后 75 d 对照组褐变严重, 褐变指数显著高于处理组($P<0.05$), 相比于褐变指数最低的处理组 I 高出 23.2%。‘梅埔 2 号’对照组褐变指数在各个时期均显著高于处理组($P<0.05$)。在采后 15~60 d, 各组间果实褐变指数不存在显著性差异, 在采后 75 d, 处理组 G 褐变指数最低为 1.967, 是对照的 84.0%, 与处理组 H、I 无显著性差异。不同品种(系)橄榄果实间腐烂率及褐变指数的变化也存在较大差异。‘梅埔 2 号’果实在贮藏期间各组的腐烂率及褐变指数均低于‘檀香’, 耐贮性高于‘檀香’。

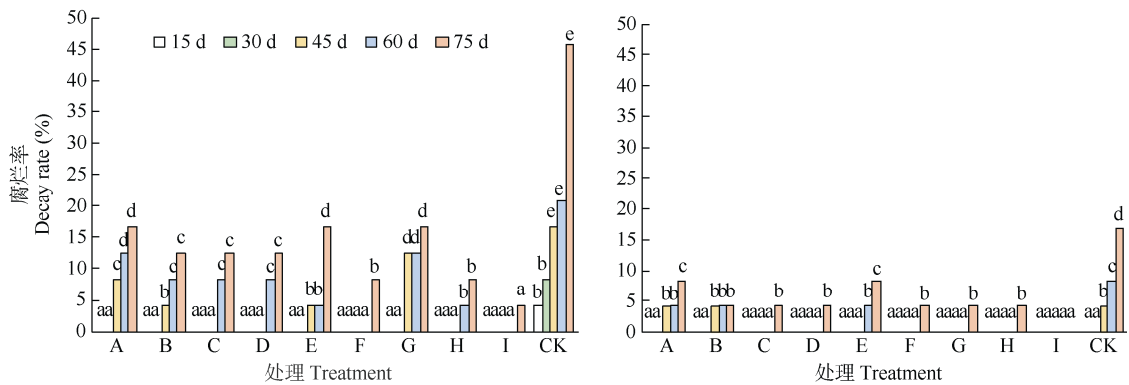


图 1 柑橘精油及壳聚糖复合物对‘檀香’(左)和‘梅埔 2 号’(右)果实采后腐烂率的影响。柱上不同字母表示同一时期不同处理间差异显著($P<0.05$); A~I、CK 见表 1。下同

Fig. 1 Effects of citrus essential oil and chitosan complex on decay rate of postharvest ‘Tanxiang’ (left) and ‘Meipu 2’ (right) fruits. Different letters upon column indicate significant difference at 0.05 level among different treatments at the same period. A~I, CK see Table 1. The same below

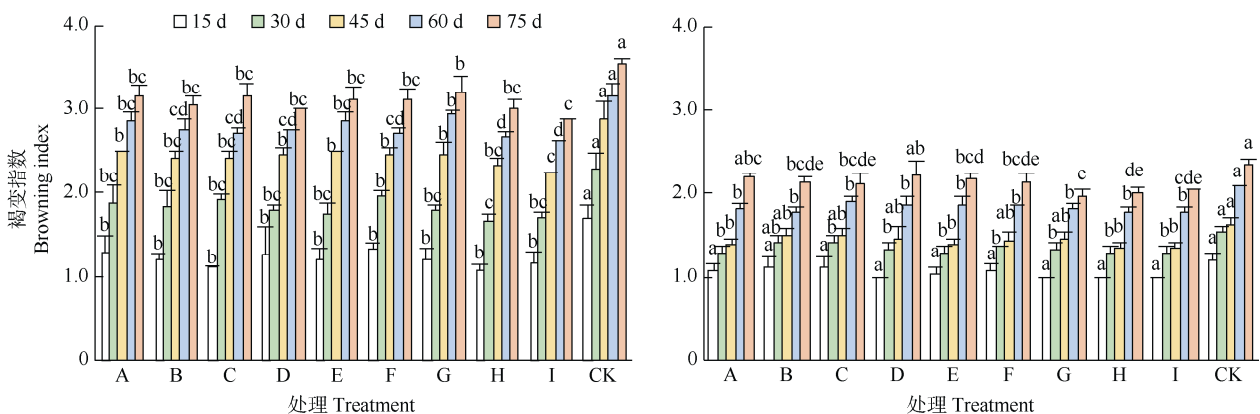


图 2 柑橘精油及壳聚糖复合物对‘檀香’(左)和‘梅埔 2 号’(右)果实采后褐变指数的影响

Fig. 2 Effects of citrus essential oil and chitosan complex on browning index of postharvest ‘Tanxiang’ (left) and ‘Meipu 2’ (right) fruits

2.2 复合处理对果实呼吸强度的影响

由图 3 可见, ‘檀香’果实的呼吸强度在处理间存在差异, 但变化趋势相近, 在采后 15~30 d, 呼吸作用呈下降趋势, 随后持续升高, 在采后 45 d 达到高峰, 以对照组的最高为 99.13 mg CO₂/(kg·h), 显著高于处理组 ($P<0.05$), 比最低的处理组 F 高出 150%。随后呼吸强度呈下降趋势, 采后 75 d, 处理组 H 的呼吸强度仅为对照组的 33.89%, 且显著低于其他处理组 ($P<0.05$)。‘梅埔 2 号’果实呼吸强度变

化趋势与‘檀香’相似, 对照组呼吸高峰出现在采后 30 d, 其余处理组出现在采后 60 d。处理 I 果实在贮藏期间呼吸强度和呼吸峰值均显著低于其余处理组 ($P<0.05$), 采后 75 d 的呼吸强度较对照组下降了 57.80%。‘梅埔 2 号’果实贮藏期间各处理的呼吸强度和呼吸峰值整体均低于‘檀香’果实, ‘檀香’对照的呼吸峰值为‘梅埔 2 号’对照的 1.1 倍, 采后 75 d ‘梅埔 2 号’处理组 I 果实的呼吸强度为‘檀香’处理组 I 的 90.35%。

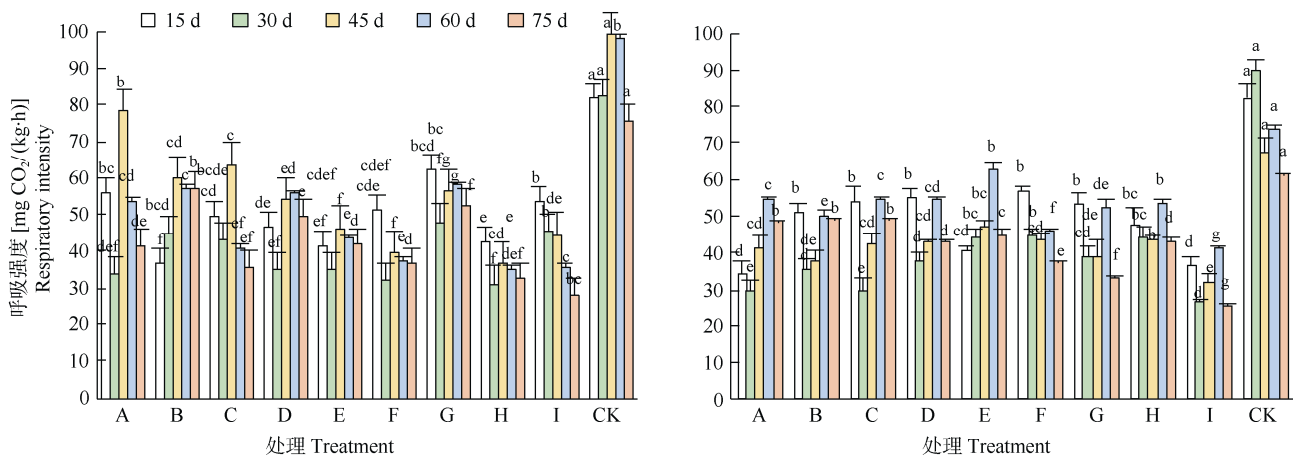


图 3 柑橘精油及壳聚糖复合物对‘檀香’(左)和‘梅埔 2 号’(右)果实采后呼吸强度的影响

Fig. 3 Effects of citrus essential oil and chitosan complex on respiratory intensity of postharvest ‘Tanxiang’ (left) and ‘Meipu 2’ (right) fruits

2.3 复合处理对果实相对电导率含量的影响

由图 4 可见, 贮藏期间‘檀香’果实相对电导率持续升高, 在采后 75 d 达到峰值, 对照组超过 80%, 显著高于处理组, 为处理组 H 的 1.58 倍。处理组 H、I 在采后 75 d 相对电导率最低, 且与其他处理组差异显著 ($P<0.05$)。‘梅埔 2 号’果实贮藏期间各组相对电导率

变化趋势相同, 但变化幅度存在差异。对照组和处理组 D 的上升幅度最大, 为 18% 和 17%。采后 75 d 处理组 I 相对电导率最低, 较对照组降低了 27%, 显著低于对照组和其他处理组 ($P<0.05$)。‘檀香’果实贮藏期间相对电导率上升幅度高于‘梅埔 2 号’, 采后 75 d ‘檀香’各处理组相对电导率比‘梅埔 2 号’约高 5%。

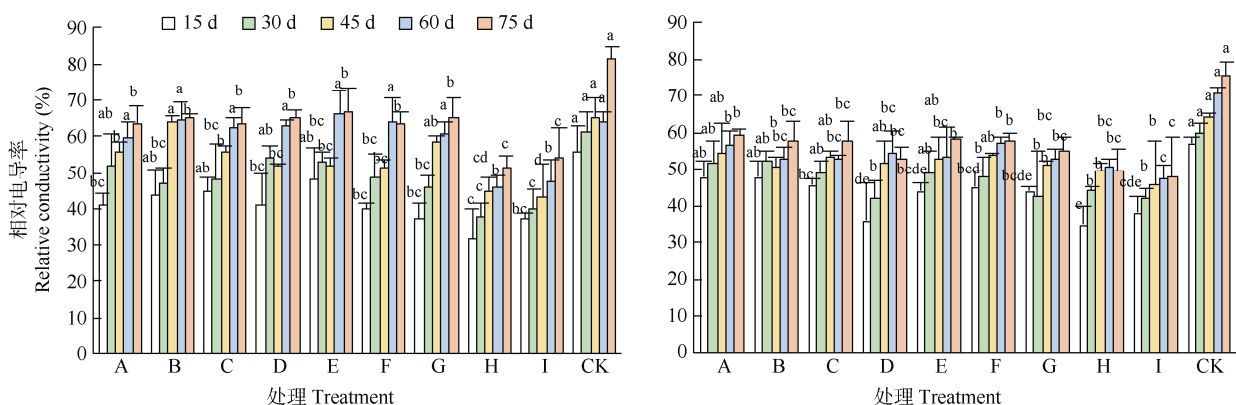


图 4 柑橘精油及壳聚糖复合物对‘檀香’(左)和‘梅埔 2 号’(右)果实采后相对电导率的影响

Fig. 4 Effects of citrus essential oil and chitosan complex on relative conductivity of postharvest ‘Tanxiang’ (left) and ‘Meipu 2’ (right) fruits

2.4 复合处理对果实丙二醛(MDA)含量的影响

由图 5 可见, 随着贮藏时间的延长, 各处理组的 MDA 含量均呈上升趋势, 采后 75 d 达最大值, ‘檀香’处理组 E、对照组 MDA 含量高于 4 $\mu\text{mol/g}$, 显著高于其他处理组($P<0.05$)。采后 75 d 处理组 I 的 MDA 含量最低, 较对照组降低了 20.63%。‘梅埔 2 号’果实 MDA 含量变化趋势与‘檀香’相同, 采后 75 d 对照组最高, 为 3.891 $\mu\text{mol/g}$, 且显著高于其他处理组($P<0.05$), 处理组 G 最低, 仅为对照组的 62.30%, 膜脂过氧化程度较低。‘梅埔 2 号’果实 MDA 含量低于‘檀香’, 贮藏期间处理组 G 和对照组分别较‘檀香’低 29.43%和 12.36%。

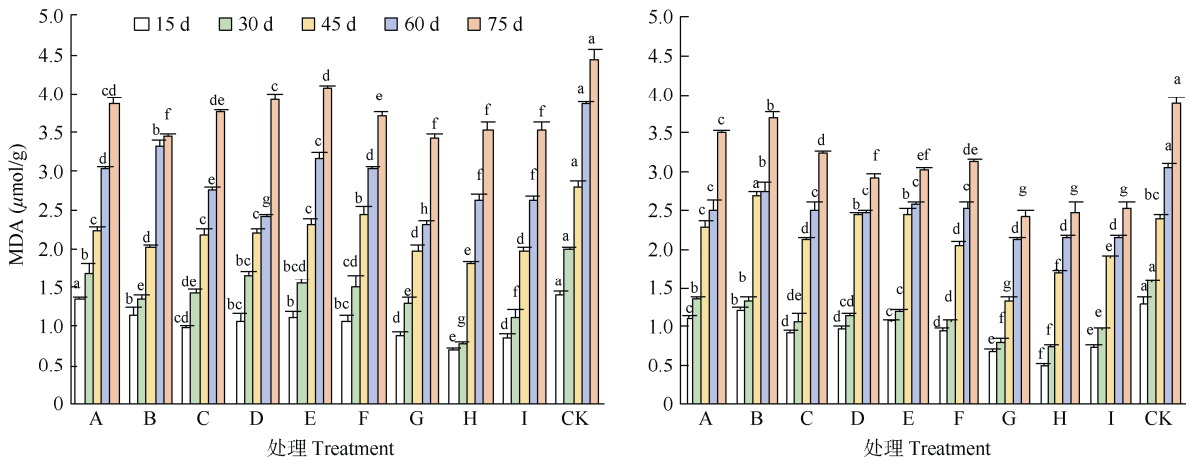


图 5 柑橘精油及壳聚糖复合物对‘檀香’(左)和‘梅埔 2 号’(右)果实采后 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effects of citrus essential oil and chitosan complex on MDA content of postharvest ‘Tanxiang’ (left) and ‘Meipu 2’ (right) fruits

2.5 复合处理对果实 POD、APX 活性的影响

由图 6 可见, ‘檀香’橄榄果实 POD 活性呈先升后降的趋势, 处理组 H 在采后 45 d 峰值最高, 显著高于其他处理组($P<0.05$)。在采后 75 d 对照组活性最低, 仅为处理组 H 的 35.09%。‘梅埔 2 号’橄榄果实采后 POD 活性变化趋势与‘檀香’相近, 但各个贮藏期的酶活性均要高于‘檀香’, 采后 45 d 峰值较‘檀香’果实上升了近 50%。采后 75 d, 处理组 G 酶活性最高, 为对照组的 2.37 倍, 且显著高于其他处理组($P<0.05$)。

由图 7 可见, APX 活性变化趋势与 POD 相同, 在采后 45 d 达到峰值, 处理组 G、H、I 的 APX 活性峰值最高, 与其他处理组和对照组存在显著性差异。采后 75 d, 处理组 G、H、I 酶活性快速下降, 但仍显著高于对照组和其他处理组($P<0.05$)。‘梅埔 2 号’果实各处理组 APX 活性在采后 15 d 就存在显著性差异, 处理组 A 和对照组酶活性显著低于其他处理组, 采后 45 d APX 活性达到峰值时, 处理组 H 最高, 为对照组的 2.25 倍。采后 75 d 各处理组显著高于对照组($P<0.05$), 处理组 H 较对照组高出 90.2%。

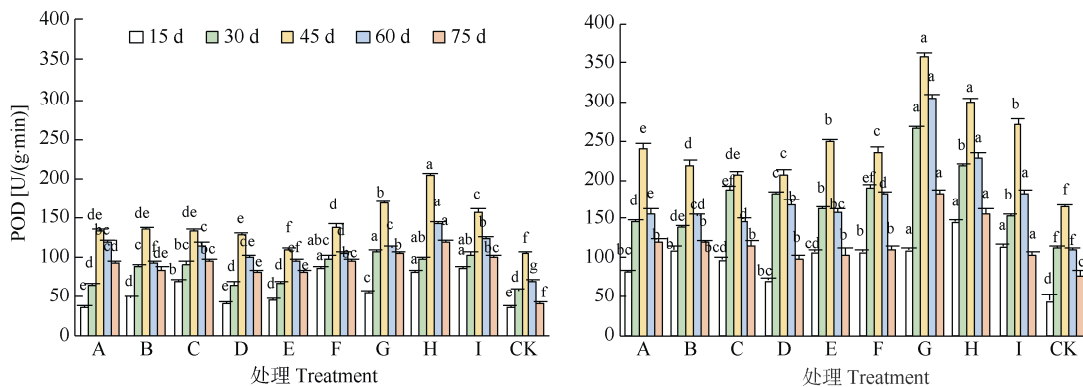


图 6 柑橘精油及壳聚糖复合物对‘檀香’(左)和‘梅埔 2 号’(右)果实采后 POD 活性的影响

Fig. 6 Effects of citrus essential oil and chitosan complex on POD activity of postharvest ‘Tanxiang’ (left) and ‘Meipu 2’ (right) fruits

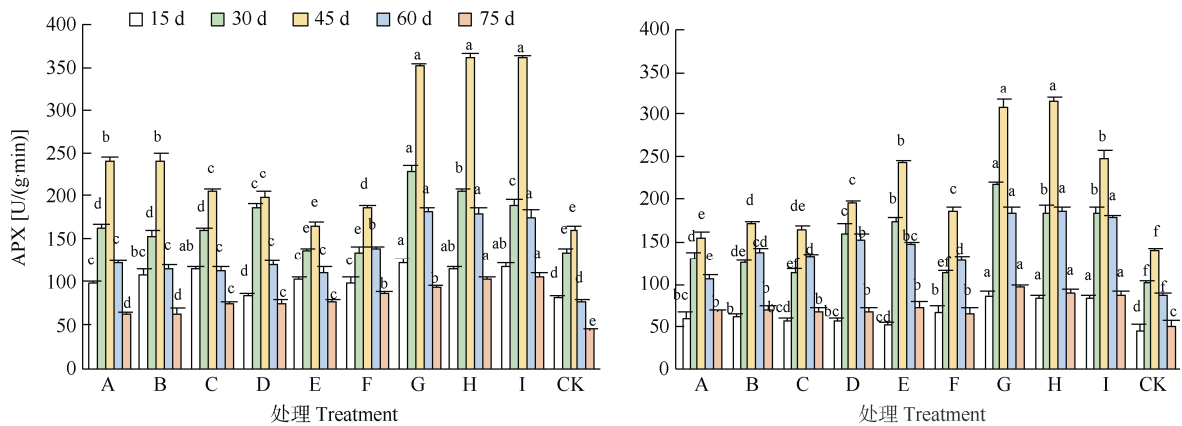


图 7 柑橘精油及壳聚糖复合物对‘檀香’(左)和‘梅埔 2 号’(右)果实采后 APX 活性的影响

Fig. 7 Effects of citrus essential oil and chitosan complex on APX activity of postharvest ‘Tanxiang’ (left) and ‘Meipu 2’ (right) fruits

‘梅埔 2 号’果实 POD 活性显著高于‘檀香’，这与‘梅埔 2 号’果实相对电导率低于‘檀香’结果一致。APX 活性变化与 POD 活性相反，‘檀香’果实各时期的 APX 活性均高于‘梅埔 2 号’。

2.6 复合处理对果实谷胱甘肽(GSH)含量的影响

由图 8 可见，‘檀香’果实贮藏初期各处理组 GSH 含量短暂上升，在采后 30 d 达到最高，随后呈下降趋势，处理组间变化幅度不同，处理组 I 峰值显著高于其他处理组，但下降幅度最高为 46.0%。采后 75 d，处理组 H 最高，为对照的组 1.93 倍，但

与其他处理组间无显著性差异($P < 0.05$)。‘梅埔 2 号’处理组 A、H、I 在采后 30 d 的 GSH 含量有较大幅度的提升，处理组 H、I 的峰值显著高于其他处理组 and 对照组($P < 0.05$)。对照组采后 75 d 的 GSH 含量最低，仅为处理组 I 的 35.4%，显著低于其他处理组($P < 0.05$)，其他处理组之间无显著性差异。贮藏期间 2 个品种(系)橄榄果实 GSH 含量呈相同的变化趋势，但‘梅埔 2 号’果实的峰值略高于‘檀香’，采后 75 d ‘梅埔 2 号’处理组 I 果实较‘檀香’处理组 H 高 18.34%。

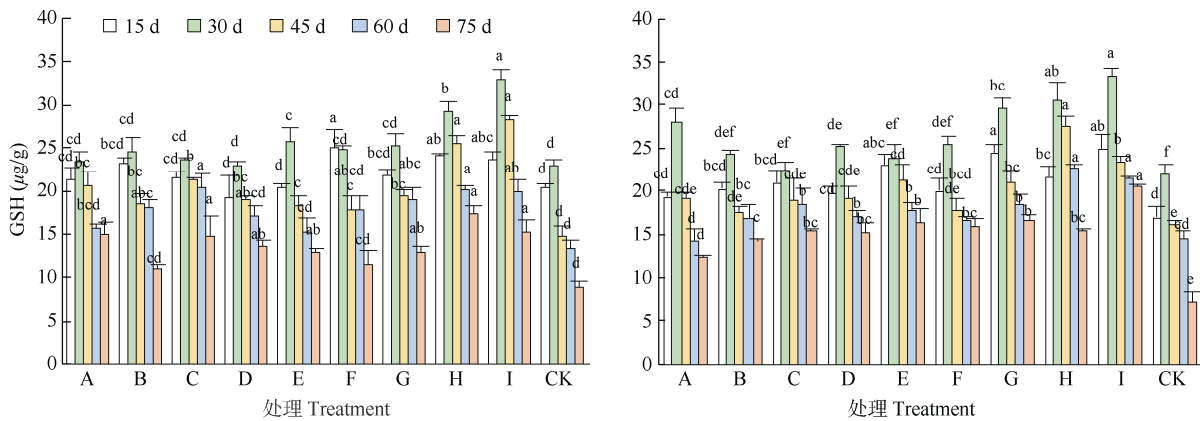


图 8 柑橘精油及壳聚糖复合物对‘檀香’(左)和‘梅埔 2 号’(右)果实采后 GSH 含量的影响

Fig. 8 Effects of citrus essential oil and chitosan complex on GSH content of postharvest ‘Tanxiang’ (left) and ‘Meipu 2’ (right) fruit

2.7 腐烂率、褐变指数与其他生理指标的相关性分析

由表 2 可见，‘檀香’果实贮藏期间腐烂率、褐变指数均与相对电导率、呼吸强度呈极显著相关，与其余指标呈显著相关。‘梅埔 2 号’腐烂率、褐变指数均与相对电导率、呼吸强度、丙二醛含量呈极显著相关。结果表明，相对电导率、呼吸强度与 2

个品种(系)果实采后腐烂率、褐变指数均呈极显著相关，可作为参考橄榄果实采后生理变化的可靠指标。

3 结论和讨论

与传统保鲜剂相比，柑橘精油及壳聚糖生物复

表 2 ‘檀香’和‘梅埔 2 号’果实贮藏期间腐烂率、褐变指数与其他生理指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of decay rate, browning index and other physiological indexes of ‘Tanxiang’ and ‘Meipu 2’ fruit during storage

指标 Index	‘檀香’ ‘Tanxiang’		‘梅埔 2 号’ ‘Meipu2’	
	腐烂率 Decay rate	褐变指数 Browning index	腐烂率 Decay rate	褐变指数 Browning index
相对电导率 Relative conductivity	0.897**	0.886**	0.929**	0.862**
呼吸强度 Respiratory intensity	0.862**	0.769**	0.869**	0.766**
丙二醛 Malondialdehyde	0.786**	0.685*	0.786**	0.807**
谷胱甘肽 Glutathione	-0.668*	-0.671*	-0.922**	-0.757*
过氧化物酶 Peroxidase	-0.848**	-0.711*	-0.422	-0.838**
抗坏血酸过氧化物酶 Ascorbate peroxidase	-0.752*	-0.716*	-0.695*	-0.934**

** : $P < 0.01$; * : $P < 0.05$

合保鲜剂具有高效、可食用、无公害、易降解的优点。本试验以 0.25%、0.75%、1.5% 的柑橘精油及 0.25%、0.75%、1.5% 的壳聚糖复合处理‘檀香’、‘梅埔 2 号’橄榄果实,测定贮藏期间果实腐烂率、褐变指数的变化,结果表明,1.5% 柑橘精油+1.5% 壳聚糖复合处理能有效降低 2 个品种(系)橄榄果实贮藏期间的腐烂率和褐变指数,在‘梅埔 2 号’果实上的保鲜作用尤为明显。陈蓬莲等^[2]通过组织分离法,对橄榄果实的致病菌进行分离鉴定,认为小孢拟盘多毛孢(*Pestalotiopsis microspora*)等真菌是造成橄榄果实贮藏期间腐烂褐变的主要原因。根据刘欢等^[20]的研究表明,柑橘精油含有许多萜烯类成分,能够破坏细菌、真菌的细胞壁结构,从而打破真菌细胞膜内外的渗透平衡,使真菌死亡,应用于园艺产品表面能够有效抑制细菌、真菌的入侵,从而延缓腐烂,与本试验的结果一致。柑橘精油的应用能够有效提高橄榄果实对常见致病菌的抗菌能力,提高耐贮性。

壳聚糖具有很强的机械性和延展性,易在果实表面形成一层保护膜,一方面减少果皮受到的机械损伤,另一方面可以有效降低果实的呼吸作用和水分的流失,从而减少贮藏期间有机物质的消耗,延缓衰老。本试验结果表明柑橘精油及壳聚糖复合处理可以抑制橄榄果实的呼吸作用,降低呼吸峰值,‘檀香’处理组 H、‘梅埔 2 号’处理组 I 拥有最低的呼吸峰值,分别较对照下降了 62.93% 和 51.93%。前人研究表明,壳聚糖结合其他物质所形成的壳聚糖食用性薄膜能够降低猕猴桃(*Actinidia chinensis*)^[21]、日本梨(*Pyrus spp.*)^[22]、苹果(*Malus pumila*)^[23]、芒果(*Mangifera indica*)^[24]、番茄^[25]等在贮藏期间的呼吸速率和乙烯释放量,同时可以提高果实的抗氧化能力,降低果实腐烂率和失重率,与本文的结果一致。橄榄果实贮藏期间呼吸强度与腐烂率、褐变指数呈

极显著相关($P < 0.01$),可作为参考橄榄果实采后生理活性及生物保鲜剂保鲜效果的可靠指标。‘梅埔 2 号’果实贮藏期间呼吸强度、呼吸峰值及相对电导率大小均低于同时期的‘檀香’果实,生理代谢活性较低,消耗的有机物质较少,细胞膜结构和功能更加地完整,维持了细胞内外的渗透平衡,有效延缓了‘梅埔 2 号’果实的腐烂及褐变,耐贮性更高。

在植物体遭受逆境的破坏时,体内的保护酶活性会明显上升以提高对抗逆境的能力,但是当植物体受到的活性氧伤害超出保护酶系统的调节限度之后,保护酶活性就会持续下降。GSH 为植物内源抗氧化物质,在延缓衰老上具有重要的作用。本研究表明,1.5% 柑橘精油+1.5% 壳聚糖的复合保鲜剂组合处理下的‘檀香’、‘梅埔 2 号’橄榄果实贮藏期间 POD、APX 活性以及 GSH 含量显著高于对照组,从而加强橄榄果实的清除自由基、过氧化物的能力,减少膜脂过氧化产物 MDA 含量的积累,MDA 含量仅约为对照的 60%,保护细胞膜的结构和功能完整性。Shehata 等^[26]使用柑橘精油及可食膜结合处理草莓果实,可以更好保持草莓果实的硬度、色泽、单果质量等外观性状,提高 POD、CAT 等的活性,延缓 GSH 含量的下降,拥有更强的抗氧化性,MDA 积累量显著低于对照组,与本试验的结果一致。柑橘精油及壳聚糖复合处理下的‘梅埔 2 号’果实能保持更高的 POD 活性及 GSH 含量,能够减少细胞膜受到自由基、活性氧的毒害,抑制相对电导率的上升,从而维持细胞内各项生理活动的正常运行,这可能为‘梅埔 2 号’耐贮性高于‘檀香’的内在原因。

综上所述,柑橘精油及壳聚糖复合处理能有效降低橄榄果实贮藏期间的腐烂率、褐变指数,提高 POD、APX 活性和内源抗氧化物质 GSH 含量,降

低 MDA 含量, 延缓相对电导率的上升, 延长橄榄果实的保鲜期, 提高耐贮性。其中以 1.5%柑橘精油+1.5%壳聚糖的复合物组合保鲜效果最佳。为生物复合保鲜剂应用于橄榄贮藏保鲜, 促进橄榄行业的发展和销售市场的开拓提供理论与技术依据。

参考文献

- [1] HE Z Y. Analysis of nutrient content in the fruit flesh of *Canarium album* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, 29(12): 224–226. [何志勇. 橄榄果肉营养成分的分析 [J]. *食品工业科技*, 2008, 29(12): 224–226. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2008.12.025.]
- [2] CHEN P L, CHEN N Q, LIN H T, et al. Isolation and identification of latent fungal pathogens from Chinese olive fruit [J]. *Food Sci*, 2020, 41(18): 165–171. [陈蓬蓬, 陈南泉, 林河通, 等. 橄榄果实潜伏病原真菌的分离与鉴定 [J]. *食品科学*, 2020, 41(18): 165–171. doi: 10.7506/spkx1002-6630-20191224-276.]
- [3] CHEN T W, LU J, KANG B B, et al. Effect of ginger oleoresin on postharvest decay and storage quality of Chinese olive fruits [J]. *Food Sci*, 2018, 39(23): 176–181. [陈团伟, 卢菊, 康彬彬, 等. 姜油树脂对采后橄榄果实抑菌效果和贮藏品质的影响 [J]. *食品科学*, 2018, 39(23): 176–181. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201823027.]
- [4] CHEN L, LIN H T, WENG H L, et al. Study on packing technology of keeping quality of Chinese olive fruit during storage [J]. *Packag Food Mach*, 2005, 23(4): 1–3. [陈莲, 林河通, 瓮红利, 等. 橄榄果实的保鲜包装技术研究 [J]. *包装与食品机械*, 2005, 23(4): 1–3. doi: 10.3969/j.issn.1005-1295.2005.04.001.]
- [5] YANG J H. Discussion on optimum temperature of Chinese olive fruit in cold storage [J]. *Fujian Fruits*, 2003(1): 33. [杨建辉. 橄榄果实冷藏适温的探讨 [J]. *福建果树*, 2003(1): 33. doi: 10.3969/j.issn.1004-6089.2003.01.013.]
- [6] PAN D M, QIU D L, LIN Y Z, et al. Study on practical technology of Chinese olive fruit preservation [J]. *S China Fruits*, 2000, 29(2): 27–29. [潘东明, 邱栋梁, 林义章, 等. 橄榄保鲜实用技术研究 [J]. *中国南方果树*, 2000, 29(2): 27–29. doi: 10.13938/j.issn.1007-1431.2000.02.028.]
- [7] LUO Y, YAN Q L. Influence of compound coating of sodium alginate and tea polyphenol on storage quality of *Phyllanthus emblica* L. [J]. *Stor Proc*, 2019, 19(2): 29–35. [骆扬, 晏琴丽. 海藻酸钠茶多酚复配涂膜对滇橄榄贮藏品质的影响 [J]. *保鲜与加工*, 2019, 19(2): 29–35. doi: 10.3969/j.issn.1009-6221.2019.02.005.]
- [8] LIN H T. Changes in postharvest respiration and physiological effects of Chinese olive fruits treated by exogenous ethylene [J]. *J Fujian Agric For Univ*, 1997, 26(4): 416–420. [林河通. 橄榄果实采后呼吸变化和乙烯处理的生理效应 [J]. *福建农业大学学报*, 1997, 26(4): 416–420.]
- [9] TIAN M Y, ZHANG Y T, HU H L. The extraction and application of citrus essential oil in food preservation [J]. *China Fruit Veg*, 2020, 40(1): 21–25. [田梦瑶, 张映瞳, 胡花丽. 柑橘精油的提取及在食品保鲜中的应用 [J]. *中国果菜*, 2020, 40(1): 21–25. doi: 10.19590/j.cnki.1008-1038.2020.01.005.]
- [10] LI P X, ZHANG X, LIU Y M, et al. Preservative activities of 36 kinds of essential oils on post-harvest tomatoes [J]. *J NW For Univ*, 2008, 23(3): 156–159. [李鹏霞, 张兴, 刘亚敏, 等. 36种精油对采后番茄防腐保鲜活性的影响 [J]. *西北林学院学报*, 2008, 23(3): 156–159.]
- [11] DU C L, WANG J H, ZHOU X, et al. The edible films and their application on preservation of fruits and vegetables [J]. *Packag Food Mach*, 2004, 22(1): 46–49. [杜传来, 王佳红, 周娴, 等. 可食性膜及其在果蔬保鲜中的应用 [J]. *包装与食品机械*, 2004, 22(1): 46–49. doi: 10.3969/j.issn.1005-1295.2004.01.014.]
- [12] GOMES L P, SOUZA H K S, CAMPIÑA J M, et al. Edible chitosan films and their nanosized counterparts exhibit antimicrobial activity and enhanced mechanical and barrier properties [J]. *Molecules*, 2018, 24(1): 127. doi: 10.3390/molecules24010127.
- [13] TAN X, QIU T T, LI R N, et al. Study on antibacterial activity of chitosan nanoparticles and fresh keeping effect on postharvest grapes [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(11): 1–10. [谭啸, 邱婷婷, 李若男, 等. 壳聚糖纳米粒子抗菌性及对采后葡萄保鲜效果研究 [J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(11): 1–10. doi: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027836.]
- [14] ZHANG W Y, CHEN Y, REN W Q, et al. Study on fresh keeping effect of the compound liquid of chitosan and citrus essential oils on strawberries [J]. *Shanxi Chem Ind*, 2015, 35(6): 22–24. [张文勇, 陈瑶, 任文琪, 等. 柑橘精油和壳聚糖复合物对草莓保鲜效果的研究 [J]. *山西化工*, 2015, 35(6): 22–24. doi: 10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2015.06.06.]
- [15] KONG X J, ZHOU H, LIN H T, et al. Effects of harvesting date on chilling injury of Chinese olive fruits during cold storage [J]. *Food Sci*, 2016, 37(22): 255–262. [孔祥佳, 周鹤, 林河通, 等. 采收期对冷藏橄榄果实贮藏期间冷害的影响 [J]. *食品科学*, 2016, 37(22): 255–262. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201622039.]
- [16] WEI B D, GU B Y, ZHANG P, et al. Effect of different fresh-keeping film on the storage quality of “shine-muscat” grape [J]. *Packag Eng*, 2021, 42(15): 39–48. [魏宝东, 谷佰宇, 张鹏, 等. 不同保鲜膜对“阳光玫瑰”葡萄贮藏品质的影响 [J]. *包装工程*, 2021, 42(15): 39–48. doi: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.15.005.]
- [17] KONG X J, LIN H T, CHEN Y P, et al. Effects of low temperature storage on post-harvest physiology and quality of ‘Changying’ Chinese olive fruit [J]. *Packag Food Mach*, 2011, 29(2): 1–5. [孔祥佳, 林河通,

- 陈雅平, 等. 低温贮藏对‘长营’橄榄果实采后生理和品质的影响 [J]. 包装与食品机械, 2011, 29(2): 1–5. doi: 10.3969/j.issn.1005-1295.2011.02.001.]
- [18] WANG X K, HUANG J L. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2015: 276. [王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理与技术 [M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2015: 276.]
- [19] LI H S. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2000: 164. [李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164.]
- [20] LIU H, ZHAO J T, DENG L J, et al. Research progress on extraction and application of essential oil from citrus plant [J]. Food Res Dev, 2021, 42(20): 173–179. [刘欢, 赵巨堂, 邓丽娟, 等. 柑橘类植物精油的提取及其应用研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 173–179. doi: 10.12161/j.issn.1005-6521.2021.20.02.]
- [21] GHOSH T, NAKANO K, KATIYAR V. Curcumin doped functionalized cellulose nanofibers based edible chitosan coating on kiwifruits [J]. Int J Biol Macromol, 2021, 184: 936–945. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.098.
- [22] TRAN V T, KINGWASCHARAPONG P, TANAKA F, et al. Effect of edible coatings developed from chitosan incorporated with tea seed oil on Japanese pear [J]. Sci Hort, 2021, 288: 110314. doi: 10.1016/j.scienta.2021.110314.
- [23] SOLÍS-CONTRERAS G A, RODRÍGUEZ-GUILLERMO M C, DE LA LUZ REYES-VEGA M, et al. Extending shelf-life and quality of minimally processed golden delicious apples with three bioactive coatings combined with cinnamon essential oil [J]. Foods, 2021, 10(3): 597. doi: 10.3390/foods10030597.
- [24] XIAO J Q, GU C Q, ZHU D X, et al. Development and characterization of an edible chitosan/zein-cinnamaldehyde nano-cellulose composite film and its effects on mango quality during storage [J]. LWT Food Sci Technol, 2021, 140: 110809. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110809.
- [25] SAFARI Z S, DING P, JUJU NAKASHA J, et al. Combining chitosan and vanillin to retain postharvest quality of tomato fruit during ambient temperature storage [J]. Coatings, 2020, 10(12): 1222. doi: 10.3390/coatings10121222.
- [26] SHEHATA S A, ABDELDAYM E A, ALI M R, et al. Effect of some citrus essential oils on post-harvest shelf life and physicochemical quality of strawberries during cold storage [J]. Agronomy, 2020, 10(10): 1466. doi: 10.3390/agronomy10101466.