

硅藻土附载植物精油缓释对树莓保鲜作用

张莉会, 范凯, 廖李, 乔宇, 张金木, 陈学玲

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要: 为了延长树莓的贮藏时间和维持果实品质, 采用丁香酚、香芹酚和芳樟醇 3 种植物精油附载硅藻土缓释对树莓进行保鲜处理, 在 4 °C 条件下贮藏 27 d, 每 3 d 测定缓释保鲜剂对树莓腐烂率、质量损失率和营养成分以及抗氧化酶等的影响。结果表明: 与空白组相比, 3 种植物精油缓释保鲜处理均有效降低树莓的腐烂率、质量损失率, 减缓树莓的可溶性固形物含量、可滴定酸含量、还原糖含量、Vc 含量的降低, 维持树莓贮藏期间超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 的活性, 延缓了贮藏期间树莓的衰老进程及膜脂过氧化程度; 与空白组相比, 香芹酚附载硅藻土缓释处理延长树莓保鲜期 12 d; 贮藏至 27 d 时, 树莓的腐烂率和质量损失率分别仅为 34.43% 和 2.45%, 此时树莓中可溶性固形物、可滴定酸含量、还原糖含量、Vc 含量分别为 3.28%、0.35%、0.78% 和 0.37 g/kg, SOD 和 POD 活性分别为 143.32 U/g 和 0.89 U/g。结果表明, 香芹酚附载硅藻土缓释对树莓具有较好的保鲜效果。

关键词: 精油; 树莓; 冷藏; 品质

文章编号: 1673-9078(2021)02-147-154

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.2.0621

Effect of Sustained Release of Plant Essential Oil Carried by Diatomaceous Earth on Preservation of Raspberry

ZHANG Li-hui, FAN Kai, LIAO Li, QIAO Yu, ZHANG Jin-mu, CHEN Xue-ling

(Institute for Farm Products Processing and Nuclear-agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: In order to prolong the storage time of raspberries and maintain the fruit quality, each of three plant essential oils, eugenol, carvacrol or linalool carried by diatomaceous earth was applied to keep the raspberries fresh via sustained release over a 27 day storage at 4 °C. The preservative effect of the sustained-release essential oil was evaluated based on the measurements taken every 3 days of fruit decay rate, mass loss and nutrient composition and antioxidant enzymes. Results showed that compared with the blank group, the sustained release of each essential oil reduced effectively the fruit decay rate, mass loss rate, soluble solids content, titratable acid content, reducing sugar content and Vc content, and maintained SOD and POD activities of raspberries during storage, thereby delaying the senescence and membrane lipid peroxidation of raspberries during storage; Compared with the blank group, the sustained release of carvacrol carried by diatomaceous earth extended the shelf life of raspberries by 12 days. After the 27 day storage, the decay rate and mass loss rate of raspberries were only 34.43% and 2.45%, respectively, with the soluble solids content, titratable acid content, reducing sugar content and Vc content in raspberries as 3.28%, 0.35%, 0.78% and 0.37 g/kg, and the SOD and POD activities as 143.32 U/g and 0.89 U/g. The results indicated that the sustained-release of carvacrol carried by diatomaceous earth exhibited a greater preservation effect on raspberries.

Key words: essential oil; raspberry; cold storage; quality

引文格式:

张莉会, 范凯, 廖李, 等. 硅藻土附载植物精油缓释对树莓保鲜作用[J]. 现代食品科技, 2020, 37(2): 147-154

ZHANG Li-hui, FAN Kai, LIAO Li, et al. Effect of sustained release of plant essential oil carried by diatomaceous earth on preservation of raspberry [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 37(2): 147-154

收稿日期: 2020-07-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0400900; 2017YFD0400904); 农业部公益性行业(农业)科研专项-浆果贮藏与产地加工技术集成与示范(201303073)

作者简介: 张莉会(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏

通讯作者: 廖李(1982-), 女, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏

树莓 (*Rubus corchorifolius* L. f.), 又称覆盆子、马林、托盘, 属蔷薇科 (*Rosaceae*) 悬钩子属 (*Rubus* L.), 为多年生落叶小灌木类。树莓果实为聚合浆果, 柔嫩多汁, 香味浓郁, 风味独特, 色泽诱人, 被世人誉为“黄金水果”^[1,2]。近年来, 我国陆续对美国、英国、俄罗斯等国的一些优良树莓品种进行引种、规模化栽

培。然而, 树莓采后呼吸强度高、极易腐烂, 成熟期和衰老期都非常短^[3]。因此, 寻找一种安全、高效的树莓保鲜技术具有重要的应用价值。

植物精油萃取于植物的花、叶、根、树皮、果实和种子等特有芳香物质, 以蒸馏、压榨等方式提炼而得。植物精油具有抗菌性强、作用范围广和安全无毒等优点, 是一类绿色、健康的保鲜剂^[4]。许多研究表明植物精油对果蔬具有较好的防腐保鲜作用^[5], 因此植物精油作为保鲜剂广泛应用在柠檬^[6]、蓝莓^[7]、草莓^[8]、圣女果^[9]、葡萄^[10]和即食生菜与胡萝卜^[11]等果蔬上。将植物精油附载到基材中缓释能够使活性物质包覆在基质中, 可避免环境因素的干扰, 从而达到保护活性物质的作用。Tao 等^[12]采用百里酚/百里香精油附载在 β -环糊精中, 能有效抑制大肠杆菌的生长繁殖。Gong 等^[13]也以将丁香酚包埋在 β -环糊精中, 发现此缓释剂显著降低了荔枝果实腐烂, 并且对荔枝霜疫霉菌抑制效果明显。Chang 等^[14]以聚乙烯醇为壁材, 牛至精油为包埋剂, 结果显示牛至精油缓释减少了鲜切卷心莴苣的酵母菌和嗜温需氧菌的数量, 延长了鲜切卷心莴苣的货架期。在前期试验中, 已经将硅藻土负载精油应用在桑葚^[15]、草莓^[16-18]的保鲜研究中, 实验结果表明, 硅藻土附载丁香酚缓释延缓了果实表层及果肉硬度的下降, 抑制抗氧化酶活性的下降以及丙二醛 (MDA) 积累, 使其维持较好的感官品质, 且无不良气味产生。

本文分别将丁香酚、香芹酚和芳樟醇 3 种植物精油附载到硅藻土中, 在贮藏过程中精油缓释释放达到保鲜的效果。研究这 3 种植物精油缓释保鲜剂对树莓冷藏品质的影响, 以期植物精油缓释应用于树莓的保鲜提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

树莓由湖北金莓科技发展有限公司提供, 品种为美国 22 号, 于 2019 年 5 月 23 日采收, 果实采后立刻运送回实验室, 挑选无腐烂、无机械损伤、大小和成熟度 (8~9 成熟) 一致的果实进行实验。

丁香酚 (纯度 $\geq 99\%$)、香芹酚 (纯度 $\geq 99\%$) 和芳樟醇 (纯度 $\geq 98\%$) 均购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

FG2 型 pH 计, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; UV-3802 分光光度计, 上海尤尼科仪器有限公司;

LB32T 型手持折光仪, 广州市铭睿电子科技有限公司; DGX-9143B 电热恒温鼓风干燥箱, 上海雷磁仪器生产厂; BS-210 型电子天平, 德国 Sartorius Instruments 有限公司; GL-25MS 高速冷冻离心机, 上海卢湘仪离心机仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 植物精油缓释剂的制备

分别取 1 mL 丁香酚/香芹酚/芳樟醇至 4 mL 吐温-20 溶液中, 充分乳化, 用无菌水稀释, 定容至 100 mL。

称取硅藻土 100 g 于 250 mL 烧杯中, 用保鲜膜密封以防吸水, 在电热恒温水槽中 60 °C 加热 5 min。将丁香酚/香芹酚/芳樟醇溶液倒入装有硅藻土的烧杯中, 并用玻璃棒充分搅拌, 直至没有粘壁现象为止。

1.3.2 保鲜试验

将新鲜无机械损伤、霉烂的树莓果实, 在 4 °C 冷库预冷 1 h 以后分盒, 200 g 左右一盒, 分别放入制备好的三种精油缓释保鲜剂, 以不添加精油缓释保鲜剂的处理作为空白对照组, 然后用厚度 0.02 mm 聚乙烯保鲜膜将塑料盒密封, 置于 4 °C 冰箱中贮藏, 每隔 3 d 取三盒测定树莓的各品质指标。

1.4 指标测定方法

1.4.1 腐烂指数测定

参照郑永华等^[19]的方法测定。按果实腐烂面积大小将果实划分为 4 级: 0 级, 无腐烂; 1 级, 腐烂面积小于果实面积的 10%; 2 级, 腐烂面积占果实面积的 10%~30%; 3 级, 腐烂面积大于果实面积的 30%。按下式计算腐烂率:

$$\text{腐烂率} / \% = \frac{\sum (\text{级别} \times \text{该级果实数})}{\text{最高腐烂级别} \times \text{总果实数}} \times 100\%$$

1.4.2 质量损失率测定

采用称量法测定^[20], 按下式计算质量损失率:

$$\text{质量损失率} / \% = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\%$$

1.4.3 可溶性固形物、可滴定酸、还原糖和 Vc 含量测定

可溶性固形物含量采用手持折光仪测定可溶性固形物含量^[21]; 可滴定酸含量采用酸碱滴定法^[22]测定, 以柠檬酸 (%) 含量表示; 还原糖含量按照 GB/T 5009.7-2008 中直接滴定法^[23]测定还原糖含量; Vc 含量测定采用邻菲罗啉法^[24]测定 Vc 含量, 结果均以 g/kg 表示。

1.4.4 丙二醛 (MDA)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、过氧化物酶 (POD) 测定

分别采用丙二醛、超氧化物歧化酶和过氧化物酶试剂盒（南京建成生物工程研究所）测定。

1.5 统计分析

试验数据为3次重复试验的平均值，用SPSS.19软件进行多重差异显著性分析采用Duncan's法。 $p < 0.05$ 表示差异显著， $p > 0.05$ 表示差异不显著。

2 结果与分析

2.1 植物精油缓释对树莓贮藏期间腐烂率的影响

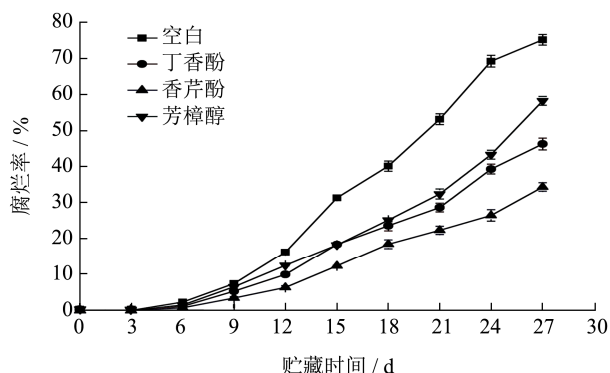


图1 植物精油缓释对树莓腐烂率的影响

Fig.1 Effect of slow release of plant essential oil on decay rate of raspberry

树莓果实的果皮较薄，极易受机械损伤而致腐烂，其腐烂程度直接影响其贮藏品质。由图1可知，在4℃下贮藏期间，随着贮藏时间的延长，树莓腐烂率逐渐上升。贮藏初期（0~6 d），树莓还未出现明显的腐烂，但6 d后，树莓开始出现腐烂，且腐烂率上升较快。与空白组相比，丁香酚、香芹酚、芳樟醇附载硅藻土缓释对树莓的腐烂均有一定的抑制作用。这可能是由于在贮藏期间植物精油附载于硅藻土中逐渐释放出来，抑制了微生物TCA呼吸途径中酶的活性，使糖代谢途径受阻，微生物无法正常生长繁殖，保护细胞壁与细胞膜结构的完整性，从而起到保持树莓的正常代谢和贮藏品质的效果^[25]。空白组树莓贮藏15 d后，腐烂率达到31.39%，而芳樟醇和丁香酚附载硅藻土缓释处理的树莓贮藏21 d后，其腐烂率分别为32.48%和28.71%，香芹酚附载硅藻土缓释处理的树莓贮藏30 d后，腐烂率才达到34.43%。这与黄婵婵等的^[26]研究结果相似，经过25 μL/L的香芹酚处理的火龙果贮藏8 d后其腐烂率仅为12.50%，而对照组腐烂率已达到76.04%。由此可见，香芹酚附载硅藻土缓释处理可以有效抑制微生物生长，减缓腐败，延长贮藏期。

2.2 植物精油缓释对树莓贮藏期间质量损失率的影响

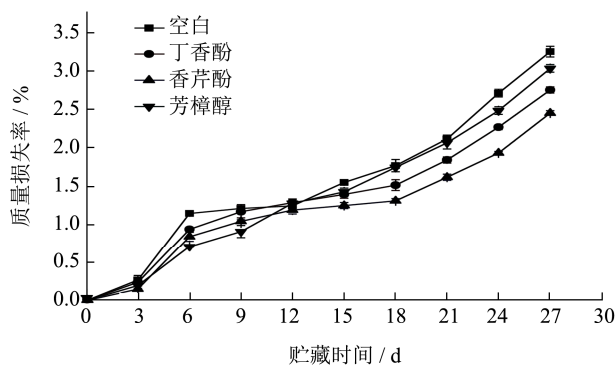


图2 植物精油缓释对树莓质量损失率的影响

Fig.2 Effect of slow release of plant essential oil on quality loss rate of raspberry

失重是影响树莓贮藏的主要因素之一，主要表现为果实由于蒸腾作用造成失水、皱缩^[27]。由图2可知，在4℃下贮藏期间，与空白相比，丁香酚、香芹酚、芳樟醇能降低树莓贮藏期间的质量损失，且随着贮藏时间的增加，树莓的质量损失率均呈上升趋势。经过27 d贮藏后，丁香酚、香芹酚、芳樟醇附载硅藻土缓释处理的树莓的质量损失率显著低于空白组（ $p < 0.05$ ），空白、丁香酚、香芹酚和芳樟醇附载硅藻土缓释处理树莓的质量损失率分别为3.25%、2.75%、2.45%、3.03%。有研究表明，植物精油能在果实表面形成半透性薄膜，在一定程度上抑制果实蒸腾作用，有效地减少水分损失^[28]。杨波等^[29]采用香芹酚包合物对莲雾采后保鲜效果的研究中表明，香芹酚精油环糊精包合物处理的雾莲贮藏12 d后失重率仅为对照组的一半。其中，香芹酚附载硅藻土缓释处理能显著抑制树莓的质量损失，其效果最好。

2.3 植物精油缓释对树莓贮藏期间可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物含量是评价树莓果实成熟的重要指标，由图3可知，随着贮藏时间的延长，树莓可溶性固形物含量在贮藏第6 d时达到最大值，之后呼吸加快，营养物质消耗进一步加剧，可溶性固形物的含量又急剧下降。这与吕恩利对荔枝的研究结果一致^[30]。经过27 d贮藏后，经丁香酚、香芹酚和芳樟醇附载硅藻土缓释处理树莓的可溶性固形物含量分别为3.06%、3.28%和2.84%，显著高于空白组（2.72%）（ $p < 0.05$ ）。植物精油中含有的多酚物质能引起果实细

胞膜的蛋白质变性, 并与细胞膜中的磷脂反应, 破坏细胞膜的透性, 从而减少果实的失水, 同时降低了细胞膜对氧气的通透性, 从而减少果实的呼吸消耗^[31]。陈东迅来等^[32]研究表明, 合适浓度的香芹酚处理可以有效的抑制贮藏环境中的微生物生长, 同时降低石斛的呼吸作用, 从而延缓石斛可溶性糖损失, 提高石斛贮藏品质。

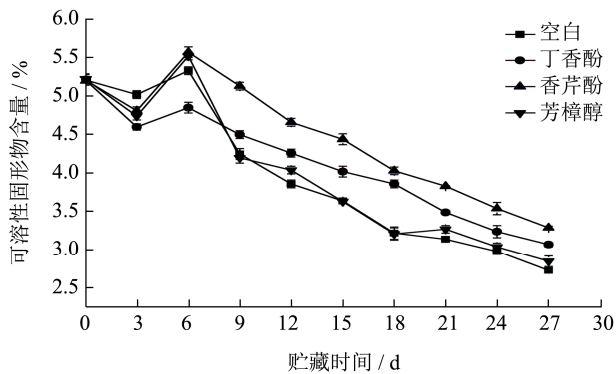


图3 植物精油缓释对树莓可溶性固形物含量的影响

Fig.3 Effect of slow release of plant essential oil on soluble solids content of raspberry

2.4 植物精油缓释对树莓贮藏期间可滴定酸含量的影响

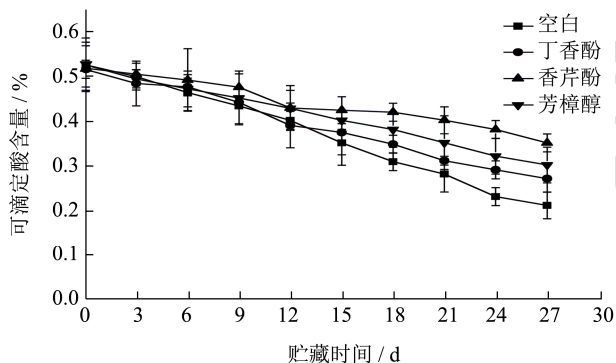


图4 植物精油缓释对树莓可滴定酸含量的影响

Fig.4 Effect of slow release of plant essential oil on titratable acid content of raspberry

果实中可滴定酸的含量对果实的口味、风味、贮藏性、加工性质具有重要的影响^[33]。贮藏过程中, 树莓可滴定酸含量变化结果如图 4。贮藏期间, 树莓中可滴定酸含量由于呼吸作用消耗, 还有一部分被转化为糖类^[34]。树莓中可滴定酸含量随着贮藏时间的延长呈现逐渐下降趋势。由于植物精油附载硅藻土缓释处理对树莓果实呼吸作用的抑制使得树莓中可滴定酸含量缓慢下降。经过 27 d 贮藏后, 经丁香酚、香芹酚和芳樟醇附载硅藻土缓释处理树莓的可滴定酸含量分别为 0.27%、0.35%和 0.30%, 显著高于空白组 (0.21%)

($p < 0.05$)。由此可以看出, 香芹酚附载硅藻土缓释可以一定程度上抑制可滴定酸的分解。在丁香提取液可食性复合涂膜对新余蜜橘常温保鲜研究中表明, 对照组可滴定酸含量已降低至贮藏前的 28.83%, 而丁香提取液复合涂膜处理降至贮藏前的 36.28%^[35], 这也表明, 植物精油能抑制可滴定酸的下降, 有利于果实风味的保持。

2.5 植物精油缓释对树莓贮藏期间还原糖含量的影响

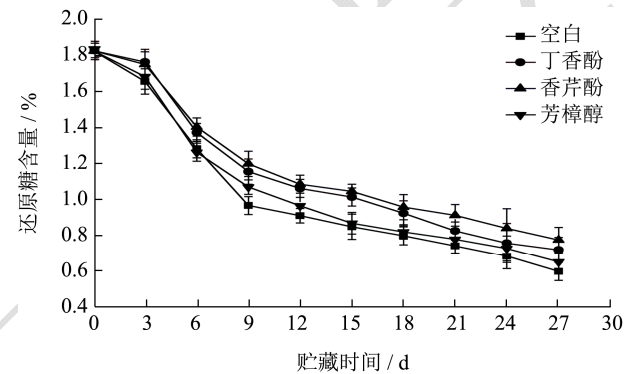


图5 植物精油缓释对树莓还原糖含量的影响

Fig.5 Effect of slow release of plant essential oil on reducing sugar content of raspberry

还原糖含量是果实品质重要指标, 其含量的多少会直接影响果实风味品质^[36]。在贮藏过程中, 不同植物精油附载硅藻土缓释处理对树莓果实还原糖含量变化的影响如图 5。由图可知, 在 4 °C 下贮藏期间, 空白、丁香酚、香芹酚和芳樟醇附载硅藻土缓释处理树莓的还原糖含量均呈下降趋势。经过 27 d 贮藏后, 丁香酚、香芹酚和芳樟醇附载硅藻土缓释处理树莓的还原糖含量分别为 0.72%、0.78%、0.66%, 而空白组树莓还原糖含量仅 0.60%。有研究表明, 与对照组相比, 5 μL/L、10 μL/L 香芹酚处理的石斛糖含量下降相对变缓, 说明合适浓度的香芹酚处理石斛能有效的抑制贮藏期石斛糖含量下降^[32]。由此可见, 香芹酚附载硅藻土缓释处理能有效的缓解树莓果实中营养成分的下降。

2.6 植物精油缓释对树莓贮藏期间 Vc 含量的影响

由图 6 可知, 各处理组树莓中 Vc 含量随着贮藏时间的延长呈下降的趋势。且空白组的树莓 Vc 含量下降趋势最明显, 从贮藏开始时的 0.63 g/kg 下降到第 27 d 的 0.21 g/kg, 各处理组的果肉可滴定酸含量下降

平缓且差异显著 ($p < 0.05$), 其中香芹酚附载硅藻土缓释处理的树莓 Vc 含量下降速率最为缓慢, 到贮藏第 27 d 时, 其 Vc 含量从贮藏开始时的 0.63 g/kg 下降到 0.37 g/kg。由此可以看出, 植物精油附载硅藻土缓释处理可以明显抑制树莓 Vc 含量的下降, 并且香芹酚附载硅藻土缓释处理可以更好的维持树莓较高的 Vc 含量。曾少雯等^[37]研究表明, 香芹酚的应用能通过抑制草莓的呼吸速率, 从而延缓 Vc 含量的下降, 这与本研究结果相似。

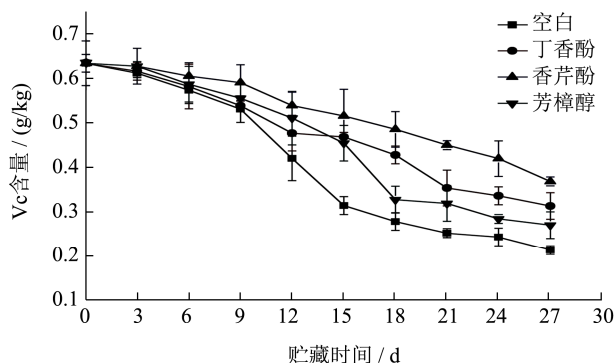


图 6 植物精油缓释对树莓 Vc 含量的影响

Fig.6 Effect of slow release of plant essential oil on Vc content of raspberry

2.7 植物精油缓释对树莓贮藏期间 SOD 活性的影响

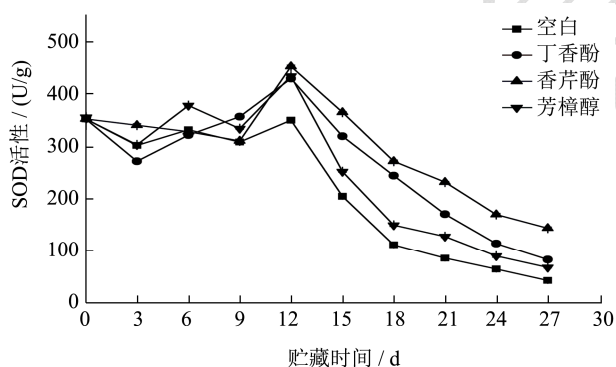


图 7 植物精油缓释对树莓贮藏期间 SOD 活性的影响

Fig.7 Effect of slow release of plant essential oil on SOD activity of raspberry during storage

超氧化物歧化酶 (SOD) 能有效地阻止自由基的积累, 防止膜的过氧化作用, 延缓植物的衰老, 使植物维持正常的生长和发育^[38]。从图 7 中可以看到, 随着贮藏时间的延长, 树莓中 SOD 活性第 12 d 时达到最大值, 12 d 后其 SOD 活性急剧下降。贮藏至 27 d 时, 树莓中 SOD 活性从高到低依次为: 香芹酚 (143.32 U/g) > 丁香酚 (82.39 U/g) > 芳樟醇 (67.45 U/g) > 空白 (42.28 U/g)。说明植物精油附载硅藻土缓释处理有

利于维持树莓果实内自由基代谢的稳定性。这与张灵芝^[39]的研究结果相似, 植物精油具备一定的抗氧化能力, 产生较少自由基, 能够减缓对细胞膜和生物大分子等的破坏程度, 维持了较好的细胞结构。

2.8 植物精油缓释对树莓贮藏期间 POD 活性的影响

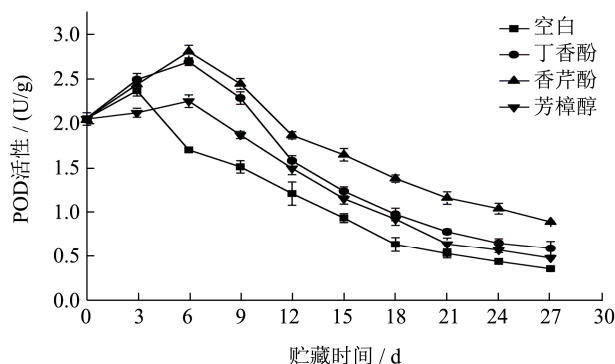


图 8 植物精油缓释对树莓贮藏期间 POD 活性的影响

Fig.8 Effect of slow release of plant essential oil on POD activity of raspberry during storage

过氧化物酶 (POD) 主要清除植物体内的过氧化氢, 并能催化更多的木质素单体形成木质素, 从而提高果实硬度, 减少果实腐烂。如图 8 所示, 树莓中 POD 活性随着贮藏时间的延长, 呈先上升后下降的趋势。空白组树莓 POD 活性在第 3 d 时达到最大值, 而植物精油处理组在第 6 d 时达到最大值, 之后 POD 活性急剧下降。这是由于贮藏过程中树莓活性氧代谢失调, 过氧化氢逐渐积累, 从而诱导了 POD 活性的上升, 但随着贮藏时间延长, 细胞大量衰老, 过量的自由基抑制了 POD 活性^[40]。贮藏第 27 d, 空白组、丁香酚、香芹酚和芳樟醇附载硅藻土缓释处理的树莓 POD 活性分别为 0.36、0.59、0.89、0.48 U/g。这与许晴晴^[41]的研究结果一致, 香芹酚处理的蓝莓果实 POD 活性较高。综上所述, 植物精油附载硅藻土缓释处理能够有效地维持树莓贮藏期间 POD 活性。

2.9 植物精油缓释对树莓贮藏期间 MDA 活性的影响

丙二醛 (MDA) 是生命代谢过程中膜脂氧化的最终产物之一, 其含量的高低可以反映膜脂过氧化程度^[42]。如图 9 所示, 随着贮藏时间的延长, 树莓中 MDA 含量呈现上升的趋势, 贮藏初期 (0~6 d), 各处理组树莓 MDA 含量上升较缓慢, 贮藏后期, 其含量上升较快。贮藏 27 d 后, 空白组树莓中 MDA 含量由

初始的 1.91 nmol/g 上升至 7.03 nmol/g, 增加了 5.12 nmol/g, 而丁香酚、香芹酚和芳樟醇附载硅藻土缓释处理的树莓中 MDA 含量分别增加了 3.71 nmol/g、2.79 nmol/g 和 3.91 nmol/g。在桑葚保鲜研究中, 经香芹酚处理的桑葚贮藏末期 MDA 含量比对照组桑葚中 MDA 含量低 15.60 $\mu\text{mol/L}$ ^[15]。因此, 植物精油附载硅藻土缓释处理能抑制树莓中 MDA 的积累, 有效延缓其衰老。

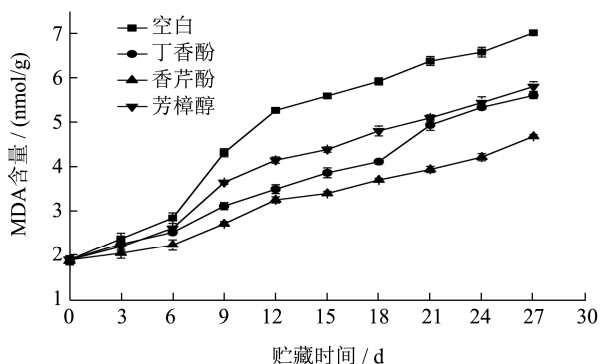


图9 植物精油缓释对树莓贮藏期间MDA活性的影响

Fig.9 Effect of slow release of plant essential oil on MDA activity of raspberry during storage

3 结论

本研究比较了丁香酚附载硅藻土缓释处理、香芹酚附载硅藻土缓释处理、芳樟醇附载硅藻土缓释处理和未处理4组树莓果实低温贮藏下品质与抗氧化酶的变化。贮藏期间, 树莓腐烂率和质量损失率显著升高, 可溶性固形物含量下降, 可滴定酸、还原糖和Vc含量降低, SOD和POD活性下降、细胞膜脂过氧化程度增大, 果实逐渐衰老。而植物精油附载硅藻土缓释可减轻树莓腐烂率和质量损失率, 较好地保持桑葚中可溶性固形物、可滴定酸、还原糖和Vc含量, 抑制SOD和POD活性下降, 但香芹酚附载硅藻土缓释处理在延缓树莓果实衰老和维持高的SOD和POD抗氧化酶活性方面要显著优于其他处理组 ($p < 0.05$)。贮藏至27d时, 经香芹酚附载硅藻土缓释处理树莓的腐烂率和质量损失率分别仅为34.43%和2.45%, 此时树莓中可溶性固形物、可滴定酸含量、还原糖含量、Vc含量分别为3.28%、0.35%、0.78%和0.37 g/kg, SOD和POD活性分别为143.32 U/g和0.89 U/g。与空白组相比, 有效的延长了12d贮藏期。

参考文献

[1] 李斌,孟宪军,刘学,等.超临界 CO_2 萃取树莓叶片精油的研究[J].食品工业科技,2009,30(6):280-281
LI Bin, MENG Xian-jun, LIU Xue, et al. Study on

supercritical CO_2 extraction of essential oil from raspberry leaves [J]. Food Industry Science and Technology, 2009, 30(6): 280-281

[2] 李正涛.树莓果酒发酵工艺研究[J].安徽农业科学,2010, 38(36):20729-20731

LI Zheng-tao. Study on fermentation technology of raspberry wine [J]. Anhui Agricultural Science, 2010, 38(36): 20729-20731

[3] 张帆,王友升,刘晓艳,等.采前水杨酸处理对树莓果实贮藏效果及抗氧化能力的影响[J].食品科学,2010,31(10):308-312

ZHANG Fan, WANG You-sheng, LIU Xiao-yan, et al. Effects of pre harvest salicylic acid treatment on storage effect and antioxidant capacity of raspberry [J]. Food Science, 2010, 31(10): 308-312

[4] 何靖柳,刘继,杜小琴,等.植物精油对‘红阳’猕猴桃低温贮藏保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2015,36(9):320-326

HE Jing-liu, LIU Ji, DU Xiao-qin, et al. Effect of plant essential oil on low temperature storage and preservation of 'Hongyang' kiwifruit [J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(9): 320-326

[5] Serrano M, Martinez-Romero D, Castillo S, et al. The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2005, 6(1): 115-123

[6] Castillo S, Pérez-Alfonso C O, Martínez-Romero D, et al. The essential oils thymol and carvacrol applied in the packing lines avoid lemon spoilage and maintain quality during storage [J]. Food Control, 2014, 35(1): 132-136

[7] Wang S Y, Chen C T. Effect of allyl isothiocyanate on antioxidant enzyme activities, flavonoids and postharvest fruit quality of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Duke) [J]. Food Chemistry, 2010, 122(4): 1152-1158

[8] Oliveira J, Parisi M C M, Baggio J S, et al. Control of *Rhizopus stolonifer* in strawberries by the combination of essential oil with carboxymethylcellulose [J]. International Journal of Food Microbiology, 2019, 292: 150-158

[9] Yun J, Fan X T, Li X H. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar typhimurium and quality maintenance of cherry tomatoes treated with gaseous essential oils [J]. Journal of Food Science, 2013, 78(3): 458-464

[10] Martínez-Romero D, Guillen F, Valverde J M. Influence of carvacrol on survival of *Botrytis cinerea* inoculated in table grapes [J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 115(2): 144-148

- [11] Jorge G, Paula B, Julien L, et al. Impact of plant essential oils on microbiological, organoleptic and quality markers of minimally processed vegetables [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2009, 10(2): 195-202
- [12] Tao F, Hill L E, Peng Y, et al. Synthesis and characterization of β -cyclodextrin inclusion complexes of thymol and thyme oil for antimicrobial delivery applications [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2014, 59(1): 247-255
- [13] Gong L, Li T, Chen F, et al. An inclusion complex of eugenol into β -cyclodextrin: preparation, and physicochemical and antifungal characterization [J]. *Food Chemistry*, 2016, 196(1): 324-330
- [14] Chang Y, Choi I, Cho A R, et al. Reduction of dickeya chrysanthemi on fresh-cut iceberg lettuce using antimicrobial sachet containing microencapsulated oregano essential oil [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2017, 82(1): 361-368
- [15] 张莉会, 乔宇, 陈学玲, 等. 不同保鲜剂对桑葚贮藏期间品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(5): 47-55
ZHANG Li-hui, QIAO Yu, CHEN Xue-ling, et al. Effects of different preservatives on mulberry quality during storage [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(5): 47-55
- [16] 张莉会, 乔宇, 胡杨, 等. 硅藻土负载丁香酚缓释处理对不同品种草莓品质影响的比较[J]. *现代食品科技*, 2019, 2: 94-101
ZHANG Li-hui, QIAO Yu, HU Yang, et al. Effect of eugenol sustained release treatment on quality of different strawberry varieties [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 2: 94-101
- [17] 张莉会, 乔宇, 周颖, 等. 硅藻土负载丁香酚缓释对草莓的保鲜作用[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(8): 98-106
ZHANG Li-hui, QIAO Yu, ZHOU Ying, et al. Effect of sustained-release eugenol loaded on diatomite on strawberry preservation [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(8): 98-106
- [18] 廖李, 张莉会, 胡杨, 等. 不同包装结合硅藻土负载丁香酚缓释对草莓贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 19: 236-271
LIAO Li, ZHANG Li-hui, HU Yang, et al. Effects of different packaging combined with sustained release of eugenol in diatomite on storage quality of strawberry [J]. *Food Science*, 2019, 19: 236-271
- [19] 郑永华, 苏新国, 毛杭云. 纯氧处理草莓的保鲜效果初探[J]. *南京农业大学学报*, 2001, 24, 3: 85-88
ZHENG Yong-hua, SU Xin-guo, MAO Hang-yun. Preservation effect of pure oxygen treatment on strawberry [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2001, 24(3): 85-88
- [20] 陈学红, 郑永华, 杨震峰, 等. 高氧处理对草莓采后腐烂和品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(5): 200-202
CHEN Xue-hong, ZHENG Yong-hua, YANG Zhen-feng, et al. Effects of hyperoxia treatment on postharvest decay and quality of strawberry [J]. *Acta Agricultural Engineering*, 2004, 20(5): 200-202
- [21] 胡丽菊, 孟宪军, 孙希云, 等. 不同预处理方式对冻藏草莓品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(22): 293-296
HU Li-ju, MENG Xian-jun, SUN Xi-yun, et al. Effects of different pretreatment methods on the quality of frozen strawberry [J]. *Food Science*, 2014, 35(22): 293-296
- [22] 吴新, 金鹏, 孔繁渊, 等. 植物精油对草莓果实腐烂和品质的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(14): 323-327
WU Xin, JIN Peng, KONG Fan-yuan, et al. Effect of plant essential oil on strawberry fruit decay and quality [J]. *Food Science*, 2011, 32(14): 323-327
- [23] GB/T 5009.7-2008 食品中还原糖的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
GB/T 5009.7-2008 Determination of Reducing Sugar in Foods [S]. Beijing: China Standard Press, 2008
- [24] 曹书杰. 分光光度法测定果蔬中 Vc 的含量[J]. *河南教育学院学报: 自然科学版*, 2005, 14(3): 43-44
CAO Shu-jie. Spectrophotometric determination of Vc in fruits and vegetables [J]. *Journal of Henan Institute of Education: Natural Science Edition*, 2005, 14(3): 43-44
- [25] Kamimura, Juliane A, Santos, et al. Antimicrobial and antioxidant activities of carvacrol microencapsulated in hydroxypropyl- β -cyclodextrin [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2014, 57(2): 701-709
- [26] 黄婵婵, 何业懿, 陈慧敏, 等. 七种植物精油对火龙果采后保鲜效果的初步研究[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(3): 15-19, 25
HUANG Chan-Chan, HE Ye-yi, CHEN Hui-min, et al. Preliminary study on the effect of seven plant essential oils on postharvest preservation of pitaya [J]. *Storage and Process*, 2020, 20(3): 15-19, 25
- [27] Valentina C, Giovanna G. Shelf-life extension of highbush blueberry using 1-methylcyclopropene stored under air and controlled atmosphere [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(4): 1812-1816
- [28] 闫训友, 杜洪利, 朱爱红, 等. 丁香提取物对鲜切鸭梨保鲜效应的研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(4): 347-350
YAN Xun-you, DU Hong-li, ZHU Ai-hong, et al. Study on preservation effect of clove extract on fresh cut Yali [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2016, 37(4): 347-350
- [29] 杨波, 王卉, 孙宏元, 等. 香芹酚包合物对莲雾采后保鲜效果

- 的研究[J].食品工业,2016,37(7):47-50
- YANG Bo, WANG Hui, SUN Hong-yuan, et al. Study on preservation effect of carvacrol inclusion compound on postharvest wax apple [J]. Food Industry, 2016, 37(7): 47-50
- [30] 吕恩利,陆华忠,杨松夏,等.气调运输包装方式对荔枝保鲜品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(4):156-160
- LV En-li, LU Hua-zhong, YANG Song-xia, et al. Effect of modified atmosphere transportation packaging on litchi preservation quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(4): 156-160
- [31] Ana M F, Mvictoria G, Arturo V N, et al. *In vivo* antifungal activity of the essential oil of *Bupleurum gibraltarium* against *plasmopara halstedii* in sunflower [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2004, 52(21): 6414-6417
- [32] 陈东迅来.香芹酚结合冰温贮藏对铁皮石斛采后品质的影响[D].合肥:安徽农业大学,2017
- CHEN Dong-xunlai. Effect of celerol combined with ice temperature storage on postharvest quality of *Dendrobium officinale* [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017
- [33] 赵晓丹,傅达奇,李莹.臭氧结合气调冷藏对草莓保鲜品质的影响[J].食品科技,2015,40(6):24-28
- ZHAO Xiao-dan, FU Da-qi, Li Ying. Effect of ozone combined with controlled atmosphere refrigeration on strawberry preservation quality [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(6): 24-28
- [34] Somboonkaew N, Terry L A. Physiological and biochemical profiles of imported litchi fruit under modified atmosphere packaging [J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 56(3): 246-253
- [35] 陈楚英,陈明,付永琦,等.丁香提取液可食性复合涂膜对新余蜜橘常温保鲜效果的影响[J].现代食品科技,2014,30(2): 117-123
- CHEN Chu-ying, CHEN Ming, FU Yong-qi, et al. Effect of edible composite coating of clove extract on the preservation of Xinyu tangerine at room temperature [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 117-123
- [36] 高阳,郑嘉鹏,陈明,等.桂枝和丁香提取液对南丰蜜桔采后贮藏品质的影响[J].北方园艺,2016,17:124-128
- GAO Yang, ZHENG Jia-peng, CHEN Ming, et al. Effects of cinnamon twig and clove extract on storage quality of Nanfeng tangerine [J]. Northern Horticulture, 2016, 17: 124-128
- [37] 曾少雯,杜玮瑶,邓琪琪,等.香芹酚淀粉复合膜对草莓保鲜的研究[J].农产品加工,2018,10:7-15
- ZENG Shao-wen, DU Wei-yao, DENG Qi-qi, et al. Study on preservation of strawberry with celery phenol starch composite film [J]. Agricultural Products Processing, 2018, 10: 7-15
- [38] Chen W, Gao Y, Ye T, et al. Influence of γ -irradiation on the reactive-oxygen metabolism of blueberry fruit during cold storage [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 41: 397-403
- [39] 张灵芝,徐佳,舒青龙,等.香芹酚抗氧化和抑制酪氨酸酶活性研究[J].现代食品科技,2017,33(12):1-5
- ZHANG Ling-zhi, XU Jia, SHU Qing-long, et al. Study on antioxidation and tyrosinase inhibition of carvacrol [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(12): 1-5
- [40] 陈杭君,王翠红,郜海燕,等.不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J].中国农业科学,2013,46(6): 1230-1236
- CHEN Hang-jun, WANG Cui-hong, GAO Hai-yan, et al. Effects of different packaging methods on storage quality and antioxidant activity of blueberry [J]. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2013, 46(6): 1230-1236
- [41] 许晴晴.香芹酚对蓝莓采后病害抑制和贮藏品质的影响研究[D].南京:南京农业大学,2014
- XU Qing-qing. Effect of carvacrol on postharvest disease inhibition and storage quality of blueberry [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014
- [42] Kotchoni S O, Kuhns C, Ditzer A, et al. Overexpression of different aldehyde dehydrogenase genes in *Arabidopsis thaliana* confers tolerance to abiotic stress and protects plants against lipid peroxidation and oxidative stress [J]. Plant, Cell and Environment, 2006, 29: 1033-1048

(上接第 204 页)

- [39] Ogawa K, Moon J H, Guo W, et al. A study on tea aroma formation mechanism: alcoholic aroma precursor amounts and glycosidase activity in parts of the tea plant [J]. Zeitschrift fur Naturforschung C, Journal of Biosciences, 1995, 50(7-8): 493-498
- [40] 施梦南,龚淑英.茶叶香气研究进展[J].茶叶,2012,38(1): 19-23
- SHI Meng-nan, GONG Shu-ying. Research progress on tea aroma [J]. Journal of Tea, 2012, 38(1): 19-23
- [41] Shen J Z, Wang Y, Ding Z T, et al. Metabolic analyses reveal growth characteristics of young tea shoots in spring [J]. Sci Hortic, 2019, 246: 478-489