

硅藻土附载丁香酚缓释对草莓的保鲜作用

张莉会^{1,2}, 乔宇¹, 周颖¹, 陈学玲¹, 汪超², 王俊¹, 汪兰¹, 廖李¹

(1. 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)

(2. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430064)

摘要: 采用不同质量附载丁香酚的硅藻土对草莓进行保鲜处理, 在 4 °C 条件下贮藏, 研究贮藏期间草莓品质的变化。结果表明: 在 4 °C 贮藏条件下, 1 g~7 g 质量的丁香酚/硅藻土均能达到保鲜效果, 但其中 3 g 质量的丁香酚/硅藻土效果最好, 能显著抑制草莓的腐烂和质量损失, 降低草莓可溶性固形物、可滴定酸和 Vc 含量的下降速率, 还能延缓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 MDA 积累, 使其维持较好的感官品质, 且无不良气味产生; 在贮藏 9 d 时, 空白腐烂率达到 50%, 而经质量 3 g 的丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓在贮藏 15 d 时, 腐烂率仅 42.51%, 能延长 5 d 的贮藏期, 此时草莓的失重率 1.25%, 可溶性固形物含量为 4.45%, 可滴定酸和 Vc 含量分别为 0.91% 和 34.56 mg/100 g, MDA 含量为 29.21 nmol/g, SOD 和 POD 活性分别为 334.15 U/mL 和 0.67 U/mg, 草莓表层硬度和果肉硬度分别为 69.20% 和 67.17 g。由此可见, 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓具有一定的保鲜作用, 其中, 3 g 丁香酚/硅藻土效果最佳。

关键词: 丁香酚; 硅藻土; 草莓; 品质

文章编号: 1673-9078(2019)08-98-106

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.8.016

The Preservation Effect of Eugenol Sustained-release Diatomite on Strawberry

ZHANG Li-hui^{1,2}, QIAO Yu¹, ZHOU Ying¹, CHEN Xue-ling¹, WANG Chao², WANG Jun¹, WANG Lan¹, LIAO Li¹

(1. Institute for Farm Products Processing and Nuclear-agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)(2. Hubei University of Technology Bioengineering and Food Institute, Wuhan 430064, China)

Abstract: Different diatomite containing eugenol with different quality was used to preserve strawberries. The quality of strawberries was studied during storage at 4 °C. The results showed that 1 g~7 g of eugenol/diatomite could keep fresh under 4 °C of storage condition, but 3 g eugenol/diatomite had the best effect. It could significantly inhibit the decay and mass loss of strawberry, reduce the decline rate of soluble solids, titratable acids and Vc contents of strawberry, delay the decline of hardness of fruit surface and pulp, and inhibit the activity of antioxidant enzymes. The decay rate of strawberries treated with Eugenol/Diatomite of 3 g was only 42.51% after 15 days of storage, which could prolong the storage period for 5 days. At this time, the weight loss rate of strawberries was 1.25%, the content of soluble solids was 4.45%, and titratable acid could be obtained. The contents of Vc, MDA, SOD and POD were 0.91% and 34.56 mg/100 g, 29.21 nmol/g, 334.15 U/mL and 0.67 U/mg, respectively. The surface hardness and pulp hardness of strawberry were 69.20% and 67.17 g, respectively. It can be seen that the sustained-release treatment of diatomite with eugenol has a certain fresh-keeping effect on strawberries, of which 3 g eugenol/diatomite was the best.

Key words: eugenol; diatomite; strawberry; quality

草莓是夏季最受欢迎的浆果之一, 因为它们具有非常令人满意的风味, 色泽鲜艳, 味道鲜美。草莓富

收稿日期: 2019-03-18

基金项目: 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); 国家重点研发计划(2017YFD0400900, 2017YFD0400904)

作者简介: 张莉会(1994-), 女, 在读研究生, 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

含多种生物活性化合物, 包括类黄酮, 多酚, 花青素和维生素等, 这些物质对人体健康有益^[1]。然而, 新鲜草莓高度易腐, 采后生活时间短, 主要是由于呼吸率高, 质地柔软, 对温度敏感, 失水, 微生物腐烂, 机械损伤和振动, 这使得草莓的营销面临挑战^[2]。此外, 为了满足消费者对草莓的需求, 已经开发了一些技术用于草莓保鲜, 包括气调包装、添加化学防腐剂和辐照等, 大多数这些处理对感官性能有不利影响^[3]。目前, 食品工业使用合成化学抑菌剂作为防腐

剂,以延长货架期,从而提高蔬菜和新鲜水果的质量。由于具有毒性作用,消费者要求不含合成剂的低加工水果^[4]。

目前,植物精油逐渐被用于食品保鲜,减少化学防腐剂的使用,并提供替代品以满足日益增长的消费者对安全和新鲜食品的需求^[5]。据报道,植物精油是一种有效的抗菌剂^[6,7]和抗氧化剂^[8]。由于其强大的抗菌和抗氧化性能,它可以广泛用于食品工业,以抑制腐败微生物的生长,并随后延长不同食品的保质期^[9]。潘磊庆等^[10]研究了丁香精油对樱桃番茄采后主要致病菌的抑制作用及对其采后品质和生理的影响,结果显示,丁香精油可有效抑制根霉、灰霉的生长,并可诱导樱桃番茄防御性酶(多酚氧化酶、过氧化物酶)活性的升高。李凤梅等^[11]将丁香提取液和壳聚糖复合对草莓进行保鲜处理,研究表明,不同配比的保鲜剂均能起到一定的保鲜作用。宋义忠等^[12]采用丁香提取液对花椰菜保鲜,结果表明,保鲜效果良好,能降低维生素C损失和失重,还表现出具有较好的抑制衰老褐变的作用。丁香酚作用于菌体时可造成细胞壁疏松,干扰细胞壁的合成,改变细胞膜通透性^[13]。

然而,当暴露在空气、光、湿气和高温下时,精油的应用受到其挥发性和化学不稳定性的限制,因此本试验将丁香酚附载于硅藻土中,以减少暴露于诸如热之类的严重环境期间由于氧化和挥发造成的精油的损失。将植物精油附载于硅藻土中,一方面可以掩盖物质的不良气味,另一方面改善物质的释放量和释放速度,从而提高生物利用率。因此,本实验将丁香酚附载于硅藻土中,丁香酚缓慢释放于保鲜盒中,从而达到保鲜效果,并对其贮藏期间相关指标进行测定,从而得出适用于草莓保鲜的方法,为草莓保鲜提供一定实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料

草莓采自于湖北省农科院经济作物研究所,草莓品种为晶玉,采收于2018年4月20日,7~8成熟,采收后储存于4℃冰箱预冷。

1.1.2 仪器与设备

HL-2手持糖度仪,上海沪西分析仪器厂;752型紫外可见分光光度计,上海光谱仪器有限公司;Ta.XT 2i/50质构仪,英国Stable Micro System公司;PE保鲜膜(30 cm×30 m),宁波新力包装材料有限公司;丁香酚(99%),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

吐温-20,国药集团化学试剂有限公司;硅藻土,上海鼓臣生物技术有限公司;丙二醛(malondialdehyde、MDA)、超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase、SOD)及过氧化物酶(Peroxidase、POD)试剂盒,南京建成生物工程研究所。

1.2 实验方法

1.2.1 保鲜液的制备

1.2.1.1 精油水溶液的制备

分别称取0.1 mL丁香酚到0.4 mL的吐温-20溶液中,充分乳化,用无菌水稀释,定容至100 mL。

1.2.1.2 精油/硅藻土的制备

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℃加热5 min。将丁香酚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。

1.2.1.3 硅藻土附载法

把处理好的硅藻土载体保鲜剂分装于不同的小盖子中,分别称取1 g、3 g、5 g、7 g经植物精油附载处理的硅藻土放入一次性果蔬保鲜PET托盘中,每盘放入200 g草莓,并用PE保鲜膜覆盖。

1.2.2 保鲜处理

草莓装盒前需放入冰箱进行预冷处理1~2 h。装盒时,把草莓平铺放入塑料盒中,加入不同质量的丁香酚/硅藻土缓释剂,用PE保鲜膜密封。常温25℃恒温箱中放置3 d进行各项指标测定。低温4℃冰箱内,每2 d测一次,贮藏12 d。

1.3 指标测定与方法

1.3.1 丁香酚浓度测定

将制得的丁香酚/硅藻土分别取1 g、3 g、5 g、7 g放入用PE保鲜膜包装塑料盒中,4℃静置24 h,用GC-MS7890A气质联用仪每4 h测定1次丁香酚浓度。

色谱条件:采用弹性石英毛细管柱HP-5(30 m×0.25 mm×0.25 μm),He流量1.0 mL/min,不分流进样;初始柱温为60℃(保持3 min),程序升温的速率为8℃/min,升至250℃并保持10 min。质谱条件:接口温度280℃,离子源温度230℃,四极杆温度150℃;离子化方式:电子轰击电离(EI);电子能量70 eV,质量范围35~350 U。

1.3.2 感官评价

参照潘怡丹^[14]的方法,选择10人(在食品专业方面具有一定的基础)作为评判人员,将每个草莓托盘用不同的数字进行标记,要求评判员从外观、质地、

气味等方面给出一个总体感官评估分值，综合各位感官评分员的评分，最后取平均值。

表 1 感官评分标准

Table 1 The standard of sensory evaluation

| 类别 | 因素 | | | | |
|----|--------------|------------------|------------------|-------------|-------------------------|
| | 9~10 | 7~8 | 5~6 | 3~4 | 0~2 |
| 质地 | 果实完整、硬挺、有弹性 | 果实有弹性、比采摘时稍差 | 果实稍软 | 果实软、少许破裂 | 果实软烂、质地粘连、不成形 |
| 外观 | 果实饱满、有光泽、无腐烂 | 果实颜色暗淡、有零星几颗出现病斑 | 果实颜色暗淡、有零星几颗出现病斑 | 失水较少、有少部分腐烂 | 失水皱缩、腐烂严重 |
| 气味 | 有果实香气、无其他异味 | 有轻微丁香酚香味、无其他异味 | 有浓烈的丁香酚香味、无其他异味 | 有酒气和丁香酚香味 | 有浓烈的丁香酚香味、霉腐及发酵味、气味不可接受 |

1.3.3 软化腐烂率

以草莓表面色泽鲜红，外观饱满，无水渍、无软化腐烂为基准，统计软化腐烂率。果实软化腐烂率按果实软化腐烂面积大小将果实划分为 4 级：0 级，无软化腐烂；1 级，软化腐烂面积小于果实面积的 10%；2 级，软化腐烂面积占果实面积的 10%~30%；3 级，软化腐烂面积大于果实面积的 30%^[15]，软化腐烂率按下式计算：

$$\text{软化腐烂率} = \frac{\sum (\text{软化腐烂级别} \times \text{该级果实数量})}{\text{软化腐烂级别} \times \text{总果实数量}} \times 100\%$$

1.3.4 质量损失率

采用称量法进行测定，通过电子天平称出原料的质量，质量损失率按下式计算：

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

式中： W_0 ：草莓的晾干后初始质量，g； W_t ：草莓贮存时间为 t 时的质量，g。

1.3.5 可溶性固形物含量

摘除草莓茎叶，使用料理机将其搅拌成匀浆，并通过纱布过滤，使用手持糖量计测定滤液可溶性固形物质量分数。

1.3.6 可滴定酸含量测定

样品前处理：将草莓用均质器捣成匀浆，取 10 g 草莓匀浆转移到 100 mL 容量瓶中，用无二氧化碳蒸馏水定容至刻度线，摇匀，静置 30 min 后过滤，滤液备用，即为可滴定酸待测液，待测液采用酸碱滴定法测定。

1.3.7 Vc 的测定

参照生物化学实验技术教程测定^[16]，取 1.0000 g 草莓于离心管中，加入 20 g/L 三氯乙酸溶液 5 mL，匀浆后，在 4500 r/min 下离心 25 min，滤液备用。准确吸取 0.50 mL 滤液于 10 mL 比色管中，空白对照以加入 20 g/L 三氯乙酸溶液 2 mL，按标准曲线的制作步骤，加入各种试剂，测量吸光度。从标准曲线

$y=0.0142x+0.0116$ ， $R^2=0.9991$ 上查出和计算试液中 Vc 的含量。

1.3.8 丙二醛 (MDA) 含量、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 活力测定

分别采用丙二醛、超氧化物歧化酶试剂盒 (南京建成生物工程研究所) 测定。

1.3.9 质构

采用 TA-XT2i 物性测定仪与 Excel2003 分析和处理数据测定草莓果实表层硬度和果实肉质硬度。参数设置为：探头型号：剪切探头 P/2，测试模式：压缩，测试速度：1.00 mm/sec，测试距离：6.0 mm。

1.4 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和相关性分析； $p<0.05$ 表示差异显著， $p<0.01$ 表示差异极显著；试验数据采用 origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 丁香酚浓度测定结果

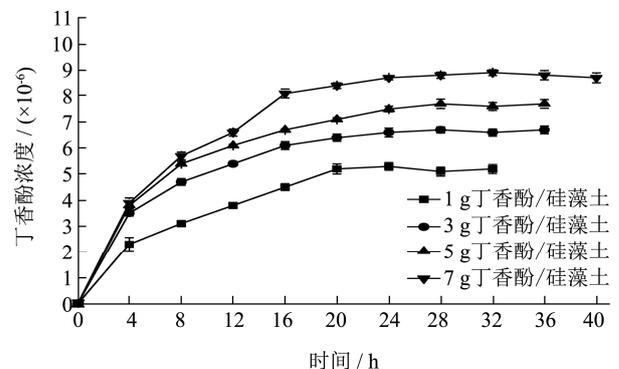


图 1 丁香酚缓释曲线

Fig.1 Release Curve of eugenol

从图 1 可以看出，在 20 h 内，各包装方式中丁香酚浓度急剧增加，20 h 后上升较为平缓，经 1 g 丁香

酚/硅藻土的包装盒内丁香酚浓度约在约至 24 h 趋于平衡, 此时丁香酚浓度约为 5.2×10^{-6} ; 而 1 g 丁香酚/硅藻土和 3 g 丁香酚/硅藻土的包装盒内丁香酚浓度在 28 h 时达到平衡, 此时容器内丁香酚浓度分别为 6.6×10^{-6} 、 7.6×10^{-6} ; 此外, 7 g 丁香酚/硅藻土的包装盒内丁香酚浓度在 32 h 时趋于平缓, 此时丁香酚浓度约为 8.8×10^{-6} 。

2.2 硅藻土附载丁香酚缓释处理草莓的感官评价

评价

由图 2 可知, 草莓在贮藏期间质地、外观、气味等感官评分均呈下降趋势, 且对照组草莓感官质量下降最快, 贮藏前 3 d 经各处理的草莓感官得分差异不显著。在质地方面 (图 2a), 草莓质地均比采摘时差, 但经丁香酚/硅藻土缓释出来的草莓评分高于对照组, 且经 3 g 丁香酚/硅藻土缓释和 5 g 丁香酚/硅藻土缓释出来的草莓评分高于其他处理组, 且差异显著 ($p > 0.05$), 对照组在贮藏 9 d 时, 质地得分为 5.77 分, 而 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理在 15 d 时质地得分为 6.46 分, 仍高于 6 分; 在外观方面 (图 2b), 各处理组草莓在整个贮藏期差异显著 ($p < 0.05$), 丁香酚/硅藻土缓释出来能有效抑制草莓腐烂, 且经 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓外观得分最高, 在贮藏 15 d 后, 草莓外观保持较好; 气味是影响丁香酚缓释的一个重要因素, 与对照组的草莓相比, 经 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓气味得分较高, 这是由于 1 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓和对照组在贮藏后期有较浓烈的发酵味, 而 5 g 和 7 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓虽无发酵味, 但有轻微的丁香酚气味, 而 3 g 丁香酚/硅藻土缓释结合气调包装组无不良气味产生, 评分较高, 且两者差异极显著 ($p < 0.05$) (图 2c); 由图 2d 可知, 经不同处理的草莓评分差异显著, 且经丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓得分高于对照组, 由此可见, 丁香酚缓释以及气调包装能有效的保持草莓感官品质, 其中 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理效果最佳。

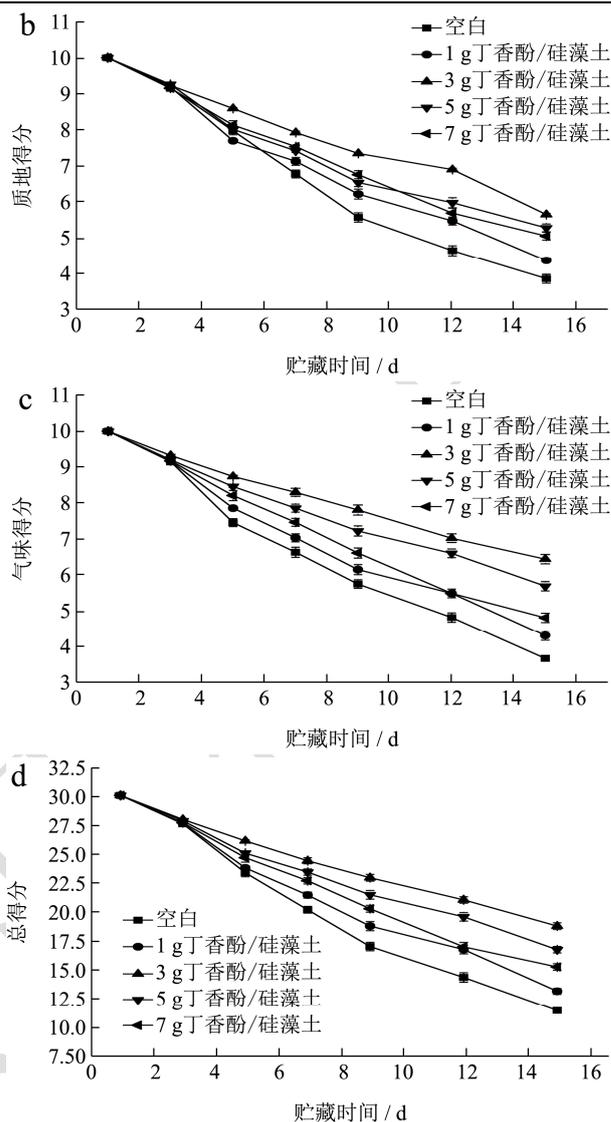
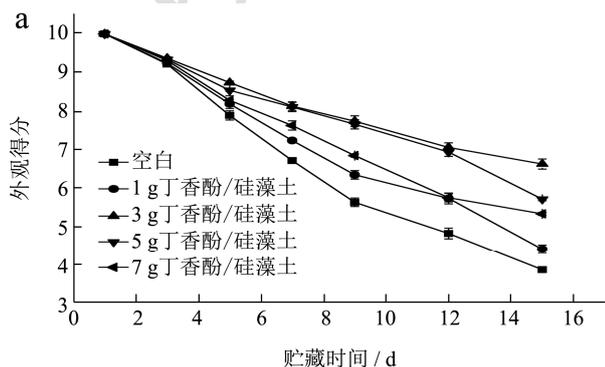


图 2 硅藻土附载丁香酚缓释处理草莓的感官得分

Fig.2 Sensory scores of strawberries treated with different packages combined with diatomite-loaded eugenol sustained-release

2.3 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间腐烂率的影响

腐烂率直接反应草莓的贮藏效果, 由图 3 结果表明, 在对照组和丁香酚/硅藻土处理的草莓果实中贮存 7 天后第一次观察到腐败, 此后, 草莓腐烂率随着贮藏时间的延长呈现显著上升的趋势, 尤其以对照组上升幅度最大, 显著高于丁香酚/硅藻土处理组 ($p < 0.05$). Castillo 等^[17]用添加植物精油的包装材料与商业蜡结合使用处理柠檬果实, 能显著抑制柠檬果实由青霉引起的腐烂, 并且对果实品质无任何不利影响。贮藏第 7 d 时, 空白组的腐烂率达到了 33.30%, 而经丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓腐烂率在 25%左

右。这可能是由于在贮藏期间丁香酚附载于硅藻土中逐渐释放出来,抑制微生物的生长繁殖,保护细胞壁与细胞膜结构的完整性,从而起到保持草莓的正常代谢和贮藏品质的效果,但若浓度过高,会破坏细胞壁的结构,反而降低果实品质^[18,19]。贮藏至 15 d 时,经 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓腐烂率最低为 42.51%,而经 1 g 丁香酚/硅藻土处理效果最差。有研究表明,植物精油抑菌能力存在明显的量效关系,但是高于一定浓度的精油可能会加快孢子的萌发和病害发生,这可能与精油中的组分作为信号分子刺激孢子萌发有关^[20,21]。可见,丁香酚/硅藻土缓释处理可以很好地抑制草莓果实腐烂的发生,尤其以 3 g 丁香酚/硅藻土处理的抑制效果最好。

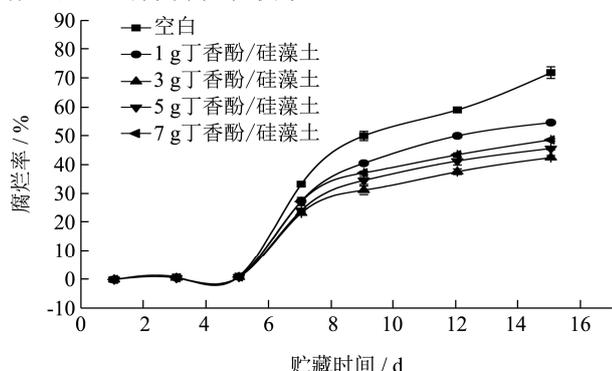


图3 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间腐烂率的影响

Fig.3 Effect of diatomite-eugenol sustained release treatment on decay rate of strawberry during storage

2.4 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间失重率的影响

人们通常认为,由于水分在贮藏期间逐渐从水果迁移到周围环境中,因此水果失重率会增加。草莓果实由于其薄皮结构而非常容易失水^[22],由图4可知,在冷藏条件下储存 15 d 期间,所有处理组草莓的失重率显著增加 ($p < 0.05$)。然而,经不同质量丁香酚/硅藻土处理的草莓在整个储存期内的失重率显著低于未处理的草莓 ($p < 0.05$)。贮藏 15 d 后,经不同质量丁香酚/硅藻土处理的草莓失重率之间存在显著差异 ($p < 0.05$)。其中,经 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓贮藏 13 d 后,失重率最小为 1.25%,其次 5 g 丁香酚/硅藻土和 1 g 丁香酚/硅藻土、7 g 丁香酚/硅藻土的效果最差,这表明了丁香酚/硅藻土的有益效果。有研究表明,丁香酚能够有效的调节气体和水分的交换,同时丁香酚还有杀菌作用,进一步的保护了水果物质(包括水分)的消耗^[23],这已经在多种水果中报道,

例如新余蜜橘^[24],桃^[25],高阳等^[26]人在蜜橘保鲜中也有类似的报道。本实验表明,经 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓失重率较低。

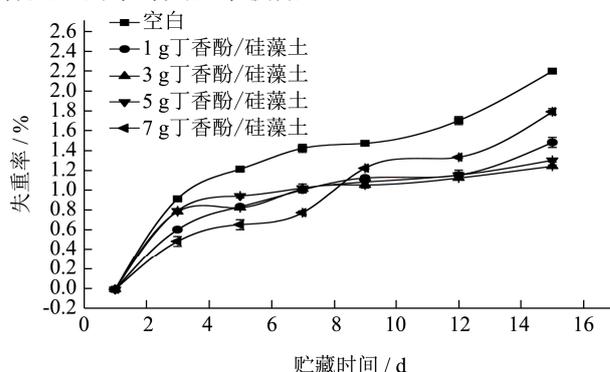


图4 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间失重率的影响

Fig.4 Effect of diatomite-eugenol sustained release treatment on weightlessness of strawberry during storage

2.5 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间可溶性固形物的影响

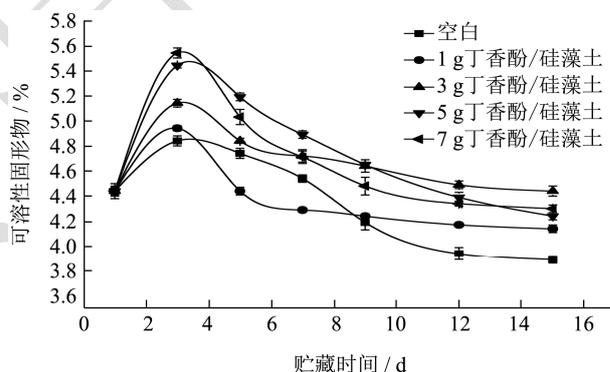


图5 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间可溶性固形物的影响

Fig.5 Effect of diatomite-eugenol sustained release treatment on soluble solids of strawberry during storage

从图5可以看出,在贮藏过程中,随着时间的推移草莓的可溶性固形物含量整体呈先上升后下降的趋势。而贮藏初期可溶性含量逐渐上升,这是由于大分子物质在贮藏初期降解速度较快^[27]。贮藏至 3 d 时,各处理组草莓可溶性固形物达到最大值,之后呈下降趋势,这是由于草莓中大分子物质代谢速率逐渐升高,大于其降解速度,导致可溶性固形物开始出现下降趋势^[28]。经 1 g、3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓贮藏 5 d 后,可溶性固形物下降较为平缓,其他三组几乎呈直线下降,贮藏 11 d 后下降较缓慢。贮藏 15 d 时,经丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓可溶性固形物显著高于空白组 ($p < 0.05$),其中 3 g 丁香酚/硅藻土处理的草

莓可溶性固形物含量最高为 4.45%，比空白组高 0.55%，5 g 丁香酚/硅藻土与 7 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓可溶性固形物含量无显著差异 ($p>0.05$)。有研究表明，引起可溶性固形物含量变化的主要因素是呼吸作用和水分蒸腾作用^[29]，可能是由于丁香酚在贮藏过程中逐渐从硅藻土中释放出来，降低了草莓呼吸作用以及水分蒸腾作用。经 3 g 丁香酚/硅藻土处理能延缓草莓可溶性固形物含量的下降。

2.6 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏

期间 Vc 的影响

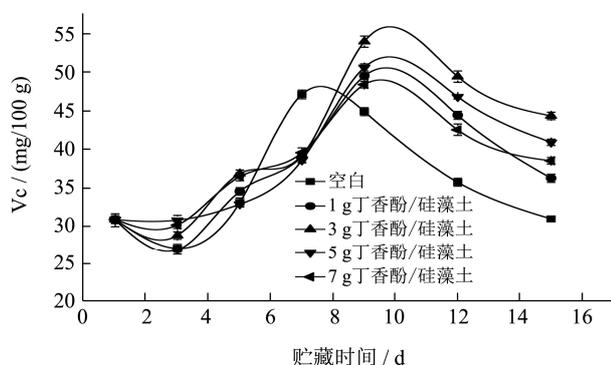


图 6 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间 Vc 的影响

Fig.6 Effect of diatomite-eugenol sustained release treatment on Vc during strawberry storage

维生素 C 广泛存在于植物组织中，新鲜水果、蔬菜中含量较为丰富，具有较强的抗氧化功能。由图 6 可以看出，各处理组草莓在贮藏过程中均呈先上升后下降的变化趋势，空白组在第 7 d 时草莓 Vc 含量达到峰值为 47.20 mg/100 g，而经丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 Vc 均在第 9 d 达到最大值，有研究表明，果实在贮藏前期仍能逐渐合成 Vc，随着贮藏时间的延长，果实成熟趋于衰老，Vc 逐渐分解。这与李江阔等^[30]在红提冰温贮藏上的研究结果相似。贮藏后期，草莓 Vc 含量逐渐下降，贮藏至 13 d 时，空白组草莓含量最小为 30.96 mg/100 g，显著低于各处理组，3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 Vc 含量为 44.38 mg/100 g，极显著高于 1 g、5 g、7 g 丁香酚/硅藻土缓释处理 ($p<0.01$)。由此可知，在贮藏过程中，丁香酚/硅藻土缓释处理能够明显延缓草莓 Vc 含量的下降，保持果实较高的营养品质，丁香酚/硅藻土的质量以 3 g 为最佳。

2.7 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏

期间 MDA 的影响

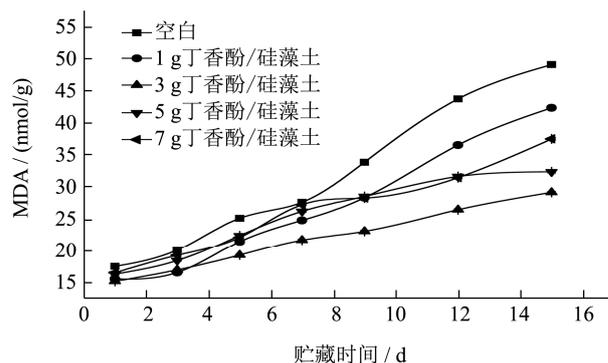


图 7 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间 MDA 的影响

Fig.7 Effect of diatomite-eugenol sustained release treatment on MDA of strawberry during storage

丙二醛 (MDA) 是生命代谢过程中脂质过氧化的最终产物，可以破坏细胞膜的完整性并降低其流动性。如图 6 所示，草莓 MDA 含量随着贮藏时间的延长呈现上升的趋势，贮藏初期 (0~7 d)，各处理组草莓 MDA 含量上升较缓慢，贮藏后期，其含量上升较快，而经丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 MDA 含量增加较缓慢。这是因为随着贮藏时间的延长，草莓自我保护能力逐渐减弱，MDA 合成逐渐占主导地位^[31]。贮藏至 13 d 时，经 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 MDA 含量最低，为 29.23 nmol/g，而空白组 MDA 含量为 49.14 nmol/g，其次是 5 g 和 7 g 丁香酚/硅藻土缓释处理，其值分别为 32.41 nmol/g 和 37.54 nmol/g。总之，丁香酚/硅藻土缓释处理能抑制草莓中 MDA 的积累，有效缓解草莓的膜脂过氧化，其中 3 g 丁香酚/硅藻土效果最佳。

2.8 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏

期间抗氧化酶活性的影响

SOD 是超氧自由基清除酶系统的重要保护酶，它们能有效地阻止自由基的积累，防止膜脂的过氧化作用，延缓植物的衰老，使植物维持正常的生长和发育^[32]。从图 8 可以看出，随着贮藏期的延长，各处理的 SOD 活性均呈上升趋势，在贮藏初期 (前 3 d)，各处理组之间差异不显著 ($p>0.05$)，但 3 d 后，经丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 SOD 活性高于空白组。在贮藏后期，质量为 3 g 和 5 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 SOD 活性高于其它处理组，SOD 活性分别为 334.15 U/mL 和 319.79 U/mL，而空白组 SOD 活性为 275.42 U/mL。Antunes 等^[33]研究表明，一些精油成分的抗氧化作用也可能有助于减少抗氧化活性的降低，这可能是由于其抗氧化作用。由此表明，丁香酚/硅藻土缓释处理延迟了草莓果实 SOD 活性的下降，减少

了 O₂ 对草莓组织的侵害, 其中经 3 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 SOD 活性最高。

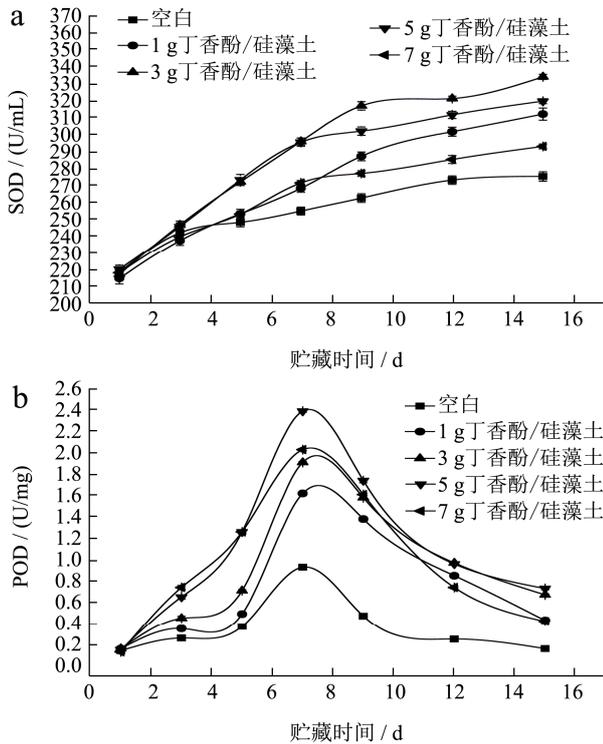


图8 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间抗氧化酶活性的影响

Fig.8 Effect of diatomite-eugenol sustained release treatment on antioxidant enzyme activity of strawberry during storage

POD 在植物组织中的作用较为复杂, 一般把 POD 归在自由基清除酶和诱发褐变酶类中, 认为 POD 具有延缓衰老和促进褐变的作用, 将 POD 作为果实一衰老的个指标。草莓贮藏过程中 POD 活性变化趋势如图 8, 草莓在贮藏过程中, 其 PPO 活性均呈先上升后下降的趋势, 且在第 7 d 达到最大值, 这与陈杭君等^[34]对蓝莓贮藏保鲜的研究趋势一致, 原因可能是在贮藏过程中草莓活性氧代谢失调, H₂O₂ 逐渐积累, 从而诱导了 POD 活性的上升。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。在整个贮藏过程中, 经 3 g 丁香酚/硅藻土和 5 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 POD 活性均处于较高水平, 贮藏至 11 d 后, 两个处理组之间无显著差异 ($p>0.05$), 贮藏至 13 d 时, 其 POD 活性分别为 0.67 U/mg 和 0.73 U/mg, 显著高于其他处理组及空白组 ($p<0.05$), 此时, 空白组草莓 POD 活性为 0.16 U/mg, 1 g 和 5 g 丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓 POD 活性分别为 0.43 U/mg 和 0.42 U/mg。李鹏霞^[35]研究发现, 丁香酚处理苹果和猕猴桃, 能使采后苹果保持较高的 SOD 活性, 且显著抑制苹果贮藏后期 POD 和 CAT 的活性的下降。由此可见, 丁香酚缓释处理在抑制草莓 POD 活性下

降上有明显优势, 且当缓释剂质量为 3 g 时, 效果最佳。

2.9 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间表层硬度和果肉硬度的影响

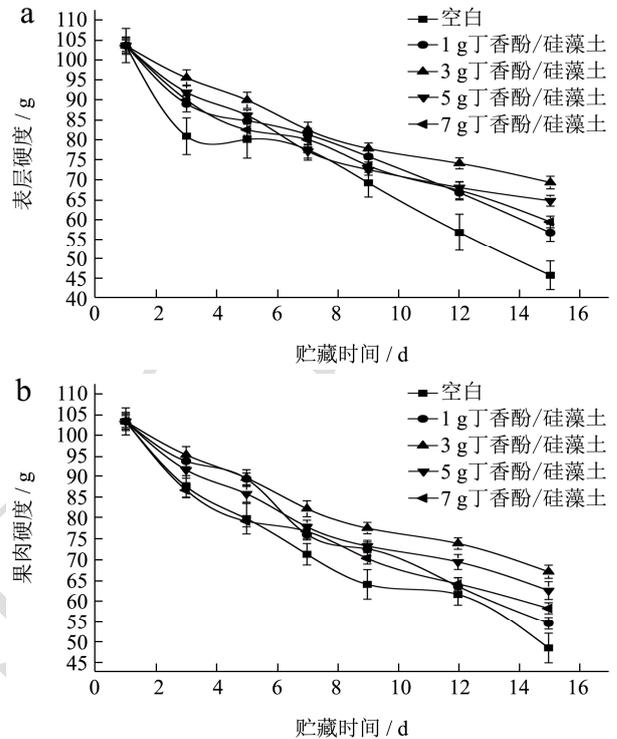


图9 硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓贮藏期间草莓硬度的影响

Fig.9 Effect of diatomite-eugenol sustained release treatment on strawberry hardness during storage

硬度代表着果实抗压力的强弱, 决定着其耐贮性和货架期, 是衡量成熟度和贮藏品质的重要指标。果实的硬度与细胞之间原果胶的含量正相关, 由于果实中胶层细胞之间的原果胶在原果胶酶(PE)或多聚半乳糖醛酸酶(PG)的作用下转变为果胶和果胶酸, 果胶再进一步变成小分子的糖以至细胞分离, 引起果实组织变软, 因此在贮藏过程中, 硬度随着贮藏时间的延长逐渐降低^[36,37]。由图 9 可知, 在整个贮藏过程中, 随着贮藏时间的延长, 草莓表层和果肉的硬度不断降低。其中以空白组下降的幅度最大, 各处理的草莓表层和果肉硬度虽然在贮藏早期有所下降, 但在一定程度上延缓了降低速度, 均显著高于对照 ($p<0.05$), 其中以 3 g 丁香酚/硅藻土处理的草莓表层及果肉硬度最高, 显著高于另外三个处理 ($p<0.05$)。贮藏至 7 d, 空白组草莓表层和果肉硬度急剧下降, 贮藏至 12 d 时, 表层硬度和果肉硬度分别为 45.75 g 和 48.55 g, 而经 3 g 丁香酚/硅藻土处理的草莓表层及果肉硬度分别为

69.20 g 和 67.71 g。空白组的草莓经清水处理贮藏 9 d, 果实质地快速软化并呈水渍状, 进而腐烂变质, 失去商品价值。各处理在第 13 d 延缓草莓果实硬度下降方面的效果为: 3 g 丁香酚/硅藻土>5 g 丁香酚/硅藻土>7 g 丁香酚/硅藻土>1 g 丁香酚/硅藻土>CK。

3 结论

在 4 °C 贮藏条件下, 1 g~7 g 质量的丁香酚/硅藻土均能达到保鲜效果, 但其中 3 g 质量的丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓在贮藏期间具有较高的商品价值, 感官品质最佳, 较好地保持草莓原有的外观品质, 能显著抑制草莓的腐烂和质量损失, 降低草莓可溶性固形物和 Vc 含量的下降速率, 抑制 SOD 和 POD 活性下降以及 MDA 积累, 还能延缓果实表层及果肉硬度的下降, 使其维持较好的品质; 在贮藏 9 d 时, 空白腐烂率达到 50%, 而经质量 3 g 的丁香酚/硅藻土缓释处理的草莓在贮藏 15 d 时, 腐烂率仅 42.51%, 能延长 5 天的贮藏期, 此时各感官得分均在 6 分以上, 且无异味产生, 草莓的失重率 1.25%, 可溶性固形物含量为 4.45%, 可滴定酸和 Vc 含量分别为 0.91% 和 34.56 mg/100 g, MDA 含量为 29.21 nmol/g, SOD 和 POD 活性分别为 334.15 U/mL 和 0.67 U/mg, 草莓表层硬度和果肉硬度分别为 69.20% 和 67.17 g。

参考文献

[1] Dhital R, Joshi P, Becerra-Mora N, et al. Integrity of edible nano-coatings and its effects on quality of strawberries subjected to simulated in-transit vibrations [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 80: 257-264

[2] Velickova E, Winkelhausen E, Kuzmanova S, et al. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*, cv Camarosa) under commercial storage conditions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 52(2): 80-92

[3] Gol N B, Patel P R, Rao T V R. Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan [J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 85(3): 185-195

[4] Perdonés A, Sánchez-González L, Chiralt A, et al. Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry [J]. Postharvest Biology & Technology, 2012, 70: 32-41

[5] Pranoto Y, Rakshit S K, Salokhe V M. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin [J]. LWT-Food Science

and Technology, 2005, 38(8): 859-865

[6] Moosavy M H, Shahbazi Y, Shavisi N. The combined effect of *Mentha spicata* essential oil and nisin against *Listeria monocytogenes* [J]. 2015, 21(4): 178-183

[7] Mahboubi M, Haghi G. Antimicrobial activity and chemical composition of *Mentha pulegium* L. essential oil [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2008, 119(2): 325-327

[8] Shahbazi Y, Shavisi N. Interactions of *Ziziphora clinopodioides*, and *Mentha spicata*, essential oils with chitosan and ciprofloxacin against common food-related pathogens [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 71: 364-369

[9] Shahbazi Y. *Ziziphora clinopodioides* essential oil and nisin as potential antimicrobial agents against *Escherichia coli* O157:H7 in doogh (Iranian yoghurt drink) [J]. Journal of Pathogens, 2015, 2015(2): 176024

[10] 潘磊庆,朱娜,邵兴锋,等.丁香精油对樱桃番茄保鲜作用的研究[J].食品工业科技,2012,33(23):335-338

PAN Lei-qing, ZHU Na, SHAO Xing-feng, et al. Study on the fresh-keeping effect of clove essential oil on cherry tomatoes [J]. Food Industry Science and Technology, 2012, 33 (23): 335-338

[11] 李凤梅,周庆新,李文香,等.丁香提取液与壳聚糖复合对草莓保鲜效果的影响[J].青岛农业大学学报(自然科学版), 2008,25(4):298-300

LI Feng-mei, ZHOU Qing-xin, LI Wen-xiang, et al. The effect of clove extract combined with chitosan on strawberry preservation [J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science Edition), 2008, 25(4): 298-300

[12] 宋义忠,孔秋莲,孟宪军,等.丁香提取物对花椰菜保鲜效果的研究[J].上海蔬菜,2003,2:40-41

SONG Yi-zhong, KONG Qiu-lian, MENG Xian-jun, et al. Study on the fresh-keeping effect of clove extract on cauliflower [J]. Shanghai Vegetables, 2003, 2: 40-41

[13] Peretto G, Du W X, Avena-Bustillos R J, et al. Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films [J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 89(3): 11-18

[14] 潘怡丹,郜海燕,陈杭君,等.麝香草酚/聚乳酸抗菌包装对蓝莓保鲜效果的影响[J].核农学报,2018,32(4):715-722.

PAN Yi-dan, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al. Effects of thymol/poly lactic acid antimicrobial packaging on the freshness retention of blueberries [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2018, 32 (4): 715-722

[15] 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. Preliminary study on fresh-keeping effect of pure oxygen treatment of strawberries [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(3): 85-88
- [16] 赵亚华,高向阳.生物化学实验技术教程[M].广州:华南理工大学出版社,2000
- ZHAO Ya-hua, GAO Xiang-yang. Course of Biochemical Experimental Technology [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2000
- [17] 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
- [18] 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
- [19] Hill L E, Gomes C L. Characterization of temperature and pH-responsive poly-N-isopropylacrylamide-co-polymer nanoparticles for the release of antimicrobials [J]. Materials Research Express, 2014, 1(3):035405
- [20] Tzortzakis N G, Economakis C D. Antifungal activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) essential oil against key postharvest pathogens [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8(2): 253-258
- [21] Chutia M, Deka Bhuyan P, Pathak M G, et al. Antifungal activity and chemical composition of *Citrus reticulata* blanco essential oil against phytopathogens from North East India [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(3): 777-780
- [22] Hernández-Muñoz P, Almenar E, Valle V D, et al. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2008, 110(2): 428-435
- [23] 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 the fresh-cut yali pear preservation effect of clove extract [J]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(4): 347-350
- [24] 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. Effects of edible composite coating of clove extract on fresh-keeping effect of Xinyu orange at room temperature [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 117-123
- [25] 张洪军,高康.丁香精油微胶囊对桃果实保鲜效果的研究[J].包装与食品机械,2015,3:19-23
- ZHANG Hong-jun, GAO Kang. Study on the fresh-keeping effect of clove essential oil microcapsules on peach fruits [J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 3: 19-23
- [26] 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 extracts of cinnamon twig and clove on postharvest storage quality of Nanfeng orange [J]. Northern Horticulture, 2016, 17: 124-128
- [27] 王志平,刘玉梅,方智远,等.青花菜贮藏过程中糖 Vc 和蛋白质的变化[J].中国蔬菜,2001,1(2):27-29
- WANG Zhi-ping, LIU Yu-mei, FANG Zhi-yuan, et al. Changes of sugar Vc and protein in broccoli during storage [J]. Chinese vegetables, 2001, 1(2): 27-29
- [28] 郭东起,侯旭杰.冬枣的生物涂膜保鲜研究[J].食品研究与开发,2013,9:98-103
- GUO Dong-qi, HOU Xu-jie. Study on biofilm preservation of dongzao [J]. Food Research and Development, 2013, 9: 98-103
- [29] 蒋志国,施瑞城.10 种中草药提取物对常见果蔬致病真菌的抑制作用及有效成份分析[J].食品科技,2006,4:68-71
- JIANG Zhi-guo, SHI Rui-cheng. Inhibitory effects of extracts of 10 Chinese herbal medicines on pathogenic fungi of common fruits and vegetables and analysis of their effective components [J]. Food Science and Technology, 2006, 4: 68-71
- [30] 李江阔,张鹏,关筱歆,等.1-MCP 结合 ClO₂ 处理对冰温贮藏红提葡萄生理品质的影响[J].食品科学,2012,33(22):302-307
- LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, GUAN Xiao-xin, et al. 1-MCP combined with ClO₂ treatment on physiological quality of red grape stored at ice temperature [J]. Food Science, 2012, 33(22): 302-307
- [31] Liu J, He C, Shen F, et al. The crown plays an important role in maintaining quality of harvested pineapple [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 124: 18-24
- [32] 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

(下转第 90 页)