# 硅藻土附载丁香酚缓释处理对不同品种草莓品质影响的比较

张莉会[1,2]，乔宇[1]，胡杨[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：**以4个品种草莓（晶瑶、晶玉、甜查理和宁丰）为试验材料，将丁香酚附载于硅藻土缓释，研究了不同品种、丁香酚缓释处理下草莓的保鲜效果。研究表明，晶瑶草莓贮藏保鲜效果优于晶玉、甜查理和宁丰三个品种草莓，货架期更长，保鲜品质由优至劣依次为：晶瑶、甜查理、宁丰、晶玉。在冷藏（4±1 ℃）过程中，丁香酚缓释可抑制草莓果实腐败，延缓果实质量损失和果肉可溶性固形物、可滴定酸、还原糖、Vc含量的降低，还能抑制MDA含量的上升以及SOD、POD、CAT等抗氧化酶类活性下降，对保持草莓果实的感官品质也具有积极作用；贮藏9 d时，经丁香酚缓释处理的晶瑶草莓腐烂率和失重率分别为31.50%和1.33%，可溶性固形物、可滴定酸、还原糖、Vc含量分别为8.83%、0.577%、5.72%和31.46 mg/100 g，MDA含量为23.11 nmol/g、SOD、POD、CAT活性分别、261.68 U/mL、1.65 U/mg、52.49 U/g。总而言之，硅藻土附载丁香酚缓释处理对草莓具有一定的保鲜作用，且不同品种草莓之间具有一定差异。

**关键词：**丁香酚；硅藻土；草莓；品质
**文章篇号：**1673-9078(2019)02-94-101 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.2.014

# Comparison of Effects of Diatomite Loaded Eugenol Sustained Release on Quality of Different Strawberry Varieties

**ZHANG Li-hui[1,2], QIAO Yu[1], HU Yang[1], CHEN Xue-ling[1], WANG Chao[2], WANG Jun[1], WANG Lan[1], LIAO Li[1]**
(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:** Eugenol was attached to diatomite to study the preservation effect of four strawberry varieties (Jingyao, Jingyu, Sweet Charlie and Ningfeng) under different slow-release treatments. Results showed that the preservation effect for Jingyao strawberry was better than that for Jingyu, Sweet Charlie and Ningfeng strawberries. The shelf life of the strawberries was longer. The quality of the strawberries was in the order of Jingyao, Sweet Charlie, Ningfeng and Jingyu. Eugenol slow-release could inhibit strawberry fruit spoilage, postpone fruit quality loss and decrease the contents of soluble solids, titratable acids, reducing sugars and Vc, and inhibit the increase of MDA content and the decrease of SOD, POD, CAT and other antioxidant enzymes during cold storage. The decomposition rate and weight loss rate were 31.50% and 1.33% respectively. The contents of soluble solids, titratable acids, reducing sugar and Vc were 8.83%, 0.577%, 5.72% and 31.46 mg/100 g respectively. The contents of MDA were 23.11 nmol/g, SOD, POD and CAT activities were 261.68 U/mL, 1.65 U/mg, 52.49 U/g, respectively. In conclusion, the slow-release treatment of diatomite with eugenol has a certain preservation effect on strawberries, and there are certain differences among different varieties of strawberries.

**Key words:** eugenol; diatomite; strawberry; quality

草莓是最常见的食用浆果，它是多种营养物质的丰富来源，如糖、维生素和矿物质，以及生物活性化合物，其中大部分是天然抗氧化剂，有助于水果的高营养品质[1,2]。草莓果实是一种非跃变果实，这种水果也是高度易腐的，因为呼吸速率高，机械阻力低，并且对病原体攻击的敏感性高[3,4]。因此，迫切需要减少草莓果实腐烂和延长果实采后寿命。迄今为止，包括涂膜[5]，水杨酸处理[6]，UV-C辐射[7]等各种采后处理。

收稿日期：2018-10-10
基金项目：国家重点研发计划(2017YFD0400900；2017YFD0400904)；农业部公益性行业（农业）科研专项（201303073）
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

然而，使用不同的杀菌剂可能是最常用的控制采后腐烂的方法，但它留下的残留物对人类和环境有潜在的风险。

丁香酚为有机酚类，是从天然食用香料丁香中提取的挥发油中的主要成分，具有较好的挥发性，可以作用于微生物细胞膜的蛋白质和脂质，对真菌具有较强的抑制作用[8]。丁香酚作用于果实时，能够提高果实的抗氧化性，提高贮藏品质，吕建华等[9]和赵英虎[10]等人研究表明，当不同体积分数丁香乙醇提取液均可在不同程度上降低草莓的呼吸强度、减少水分损失，延缓草莓 Vc、可溶性固形物及可滴定酸含量的下降。王婷[11]发现，不同体积分数的丁香提取液对草莓抗氧化能力都有显著的协助作用，还能提高抗氧化酶活性。钟业俊等[12]研究表明，丁香酚可抑制荔枝果实腐败，延缓果皮衰老和果肉 Vc 含量的降低，对保持荔枝果实的感官品质也具有积极作用；有研究表明，将丁香或丁香酚掺入生物聚合物，如壳聚糖或改性纤维素中，可确保其高抗氧化性能[13]。丁香酚主要抗菌机制是丁香酚增加细菌细胞膜磷脂双层的非特异性通透性，丁香酚上的-OH 极大地抑制了细菌的酶活性，细菌膜被进一步破坏，接着细胞内成分泄漏和细胞死亡[14]。由于丁香酚具有高效的抑菌作用，对多种霉菌和致病菌均有明显的抑制效果，无任何化学残留和毒副作用，不污染环境，符合人们对食品保鲜的绿色、环保要求，深受广大消费者的青睐[15,16]。

然而，当暴露在空气、光、湿气和高温下时，丁香酚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丁香酚的损失。并通过测定草莓腐烂率、失重率、营养成分以及抗氧化活性酶，研究其对不同品种草莓贮藏期间品质的影响，以期为丁香酚缓释用于草莓保鲜提供依据。

## 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、晶瑶、甜察理、宁丰，采收于 2018 年 4 月 20 日，7~8 分熟，采收后储存于 4 ℃冰箱预冷。

#### 1.1.2 仪器与设备

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；MDA、SOD 及 POD 试剂盒，南京建成生物工程研究所。

PE 保鲜膜（30 cm×30 m），宁波新力包装材料有限公司；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。

### 1.2 丁香酚缓释剂的制备及分组

移取 1 mL 丁香酚精油至 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 ℃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。

草莓装盒时，把 200 g 草莓平铺放入塑料盒中，加入 3 g 丁香酚/硅藻土缓释剂，用 PE 保鲜膜密封，在 4 ℃下贮藏，分组情况如表 1。

表 1 草莓处理分组编号

Table 1 The number of the strawberry processing group

| 编号 | A1 | A2 | B1 | B2 | C1 | C2 | D1 | D2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 品种名称 | 晶玉 | 晶玉 | 晶瑶 | 晶瑶 | 甜查理 | 甜查理 | 宁丰 | 宁丰 |
| 处理 | 空白 | 丁香缓释剂 | 空白 | 丁香缓释剂 | 空白 | 丁香缓释剂 | 空白 | 丁香缓释剂 |

### 1.3 指标测定与方法

#### 1.3.1 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%[17]，软化腐烂率按下式计算：

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

#### 1.3.2 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：

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

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。

#### 1.3.3 可溶性固形物质量分数

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。

### 1.3.4 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。

### 1.3.5 还原糖含量测定

样品前处理：将草莓用搅拌机捣成匀浆，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，取滤液 10 mL 转移到 100 mL 容量瓶中，用蒸馏水定容至刻度线，即为还原糖待测液，待测液采用直接滴定法测定。

### 1.3.6 Vc 的测定

参照生物化学试验技术教程测定[18]，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。

### 1.3.7 丙二醛（MDA）含量、超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）、过氧化氢酶（CAT）活性测定

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；过氧化氢酶（CAT）测定参照周拥军等[19]的方法，以每分钟 $OD_{240}$ 值变化 0.01 为 1 个 U，酶活性表示为 U/g。

### 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 结果与讨论

### 2.1 不同品种草莓贮藏期间腐烂率的变化

腐烂率是衡量果蔬贮藏效果的重要指标。草莓果实贮藏期间腐烂率的变化如图 1 所示。随着贮藏时间的延长，各品种草莓的腐烂率均显著上升，不同品种的草莓腐烂率呈现显著差异（$p$<0.05），且经丁香酚缓释处理的草莓腐烂率显著低于空白组；在整个贮藏期间，晶瑶草莓果实腐烂率始终低于其他品种草莓，贮藏至 9 d 时，B1（空白组晶瑶）腐烂率为 43.60%，而经丁香酚缓释处理的草莓（B2）腐烂率为 31.50%，此时 C2（丁香缓释处理组甜查理）和 D2（丁香缓释处理组宁丰）组草莓腐烂率分别为 50.11%和 54.43%，显著低于其空白组（61.97%和 66.32%），晶玉草莓贮藏 9 d 后腐烂率最高，空白组（A1）和处理组（A2）腐烂率分别为 75.82%和 57.20%。由此可见，丁香酚缓释能显著降低各品种草莓的腐烂率，赵英虎等[10]将草莓置于丁香乙醇提取液中浸泡处理，发现经 1%丁香乙醇提取液处理的草莓在贮藏 5 d 后腐烂率高达 60%（对照组 91.6%），而本试验中，经丁香酚硅藻土缓释处理的草莓贮藏 5 d 时腐烂率均低于 40%。由于在贮藏期间丁香酚附载于硅藻土中逐渐释放出来，能够有效抑制草莓表面的病原微生物，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[20]。综合草莓腐烂率数据分析结果，发现晶瑶草莓较其他品种草莓而言耐贮，且丁香酚缓释具有一定的抑制腐烂率能力。

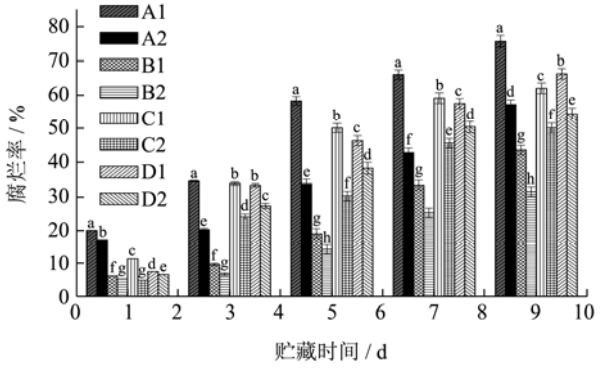



图 1 不同品种草莓贮藏期间腐烂率的变化

**Fig.1 Changes of decay rate in different strawberry cultivars during storage**

### 2.2 不同品种草莓贮藏期间质量损失率的变化

由图 2 可知，随着贮藏时间的延长，草莓果实质量损失率整体也逐渐增加，贮藏初期，各处理组草莓质量损失率变化不显著（$p$>0.05），贮藏至 3 d 后，质量损失较迅速，有研究表明，果实质量的下降与果实的代谢活动、细胞呼吸和蒸腾作用有关[21]。贮藏期间，晶玉草莓（A 组）失重率显著高于其他组，空白组（A1）和处理组（A2）失重率分别为 4.35%和 2.56%。四个品种草莓丁香酚缓释处理后，失重率得到了显著地抑制，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[22]。贮藏期间，甜查理草莓（C 组）失重率最小，贮藏 9 d 时，空白组（C1）和处理组（C2）失重率分别 1.54%和 0.73%，其次是宁丰草莓，晶瑶草莓空白组（B1）和处理组（B2）失重率分别为 2.31%和 1.33%，吕华建等[9]人采用乙醇丁香提取液对草莓进行保鲜处理，贮藏至第 5 d 时，草莓质量损失率已达 4%以上，而本试验中，经丁香酚/硅藻土处理的草莓质量损失率均小于 3%。由此可见，丁香酚缓释处理能显著抑制草莓质量损失。

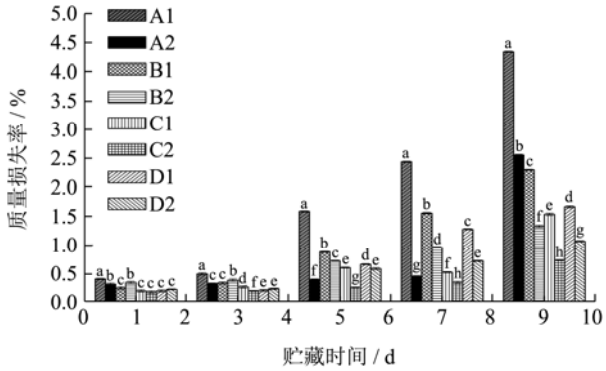



图 2 不同品种草莓贮藏期间质量损失率的变化

**Fig.2 Changes of quality loss rate in different strawberry cultivars during storage**

## 2.3 不同品种草莓贮藏期间可溶性固形物的变化

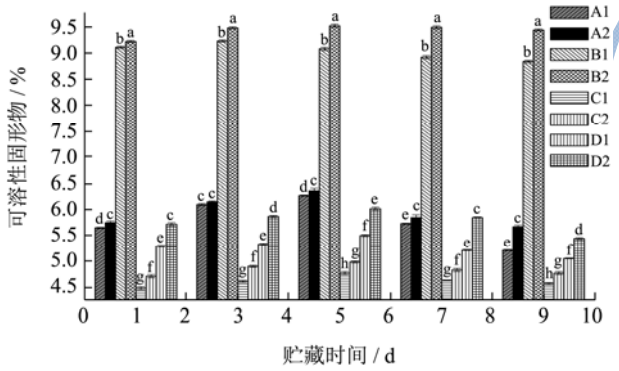



图 3 不同品种草莓贮藏期间可溶性固形物的变化

**Fig.3 Changes of soluble solids in different strawberry cultivars during storage**

可溶性固形物包含能溶于水的糖、酸、维生素和矿物质等多种成分，能影响贮藏品质和成熟度，是评价草莓品质的综合性指标[23]。在图 3 可知，草莓初始可溶性固形物含量在 4.90%~9.21%之间，在贮藏期间，草莓可溶性固形物含量随时间的延长呈先上升后下降的趋势，这可能是因为果实后期的衰老加速了可溶性固形物含量的下降。吕恩利等[24]对荔枝贮藏的研究中，可溶性固形物含量也呈现先升高后下降的趋势。贮藏过程中晶瑶草莓（B 组）可溶性固形物含量始终高于其他品种，可能是由于丁香酚在一定程度上抑制了草莓的生理代谢作用，使其呼吸消耗作用减弱的结果。不同品种草莓可溶性固形物含量顺序为：晶瑶>晶玉>宁丰>甜查理，贮藏至末期时，四个品种空白组草莓可溶性固形物含量分别为：8.83%、5.21%、5.05%、4.57%，而经丁香酚处理的四种草莓可溶性固形物含量分别为：9.43%、5.67%、5.44%和 4.77%。由此可见，四种草莓中，晶瑶草莓可溶性固形物含量最高，丁香酚缓释处理延缓鲜切草莓组织的代谢速率、降低物质消耗、较好地保持草莓营养。

## 2.4 不同品种草莓贮藏期间可滴定酸的变化

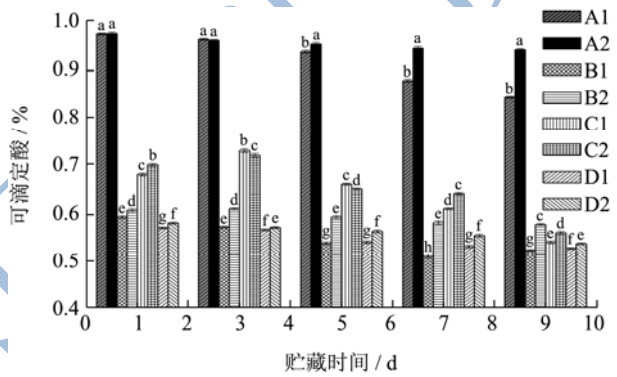



图 4 不同品种草莓贮藏期间可滴定酸的变化

**Fig.4 Changes of titratable acid in different strawberry cultivars during storage**

作为呼吸底物，可滴定酸是衡量果蔬食用品质的一个重要因素，它与碳水化合物共同作用从而影响其风味。如图 4 所示，不同品种草莓可滴定酸含量在贮藏期间逐渐降低，初始可滴定酸含量为 0.58%~0.98%，其中，晶玉草莓可滴定酸含量最高，其次是甜查理和晶瑶，宁丰草莓可滴定酸含量最低，与贮藏末期各品种草莓可滴定酸含量相比，均有显著性差异（$p<0.05$）。同时，空白组晶玉（A1）和甜查理草莓（C 组）可滴定酸含量下降速率最快，其他组草莓可滴定酸含量下降较平缓，黄巍等[25]采用丁香精油涂布纸箱对水蜜桃的保鲜实验中，发现 0.6%丁香精油组可滴定酸含量比对照组高出 0.28 mmol，由此可见，丁香精油能抑制可滴定酸的下降。贮藏至 9 d 时，晶玉草莓（A 组）可滴定酸含量最高，空白组和处理组分别为 0.843%和 0.941%；甜查理草莓空白组（C1）和处理组（C2）可滴定酸含量分别为 0.54%和 0.56%；晶瑶和宁丰草莓空白组可滴定酸含量分别为 0.523%（B1）和 0.527%（D1），处理组分别为 0.577%和 0.537%。综合可滴定酸含量来看，晶玉草莓可滴定酸含量最高，且丁香酚

缓释处理能显著抑制草莓可滴定酸含量的损失。

## 2.5 不同品种草莓贮藏期间还原糖的变化

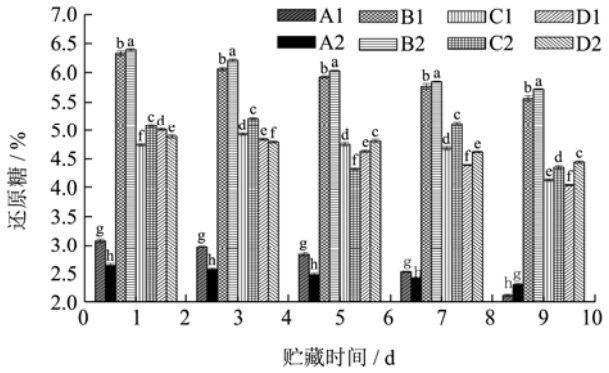



图 5 不同品种草莓贮藏期间还原糖的变化

**Fig.5 Changes of reducing sugar in different strawberry cultivars during storage**

果蔬组织中糖含量的高低与其品质、成熟度和贮藏性密切相关，是果蔬组织中的重要能量贮藏物质，也是果蔬甜味剂的主要来源，因此测定其含量在果蔬品质评价和贮藏保鲜中具有重要意义。如图 5 所示，贮藏期间，不同品种草莓之间还原糖含量差异显著（$p$<0.05），草莓中初始可滴定酸含量为 2.64%~6.39%，平均值为 4.78%，从还原糖含量的范围来看，除晶玉草莓外，其他草莓还原糖含量均高于 4.78%。随着贮藏时间的延长，各品种草莓还原糖含量均呈下降的趋势，贮藏末期，晶瑶草莓还原糖含量最高，空白组（B1）和处理组（B2）分别为 5.56%和 5.72%，甜查理、晶玉和宁丰草莓空白组还原糖含量分别为 4.13%、2.12%和 4.04%，处理组还原糖含量分别为 4.35%、2.31%、4.44%。李磊等[26]研究表明，葡萄经丁香酚处理后，还原糖含量高于对照组。由此可见，晶瑶草莓还原糖含量高于其他品种，且丁香酚缓释处理能延缓草莓还原糖含量的下降。

## 2.6 不同品种草莓贮藏期间 Vc 的变化

Vc 是一种抗氧化剂和抗衰老剂，是人体必需的营养素，Vc 含量可影响果蔬的新鲜风味和营养品质，因此在测定果蔬品质时经常被用作重要指标。由图 6 可知，随着贮藏时间的延长，草莓 Vc 含量逐渐降低，有研究表明，抗坏血酸在成熟过程中作为呼吸底物被利用或在成熟过程中转化为糖也是抗坏血酸含量降低的一个可能原因[27]。甜查理草莓初始 Vc 含量最高为 59.59 mg/100 g，宁丰草莓 Vc 含量最低为 28.72 mg/100 g，贮藏至 9 d，晶玉、晶瑶、甜查理和宁丰空白组草莓 Vc 含量分别为：26.21 mg/100 g、31.46 mg/100 g、26.69 mg/100 g、20.34 mg/100 g，而经丁香酚处理的四种草莓 Vc 含量显著高于空白组，分别为：28.21 mg/100 g、32.27 mg/100 g、31.98 mg/100 g 和 25.61 mg/100 g，有研究表明，添加丁香酚的膜可有效减缓圣女果成熟和 Vc 被氧化的速度，有效抑制圣女果 Vc 的流失[28]。由此可见，甜查理草莓 Vc 含量最高，且草莓经丁香酚处理后 Vc 含量损失能得到显著抑制。

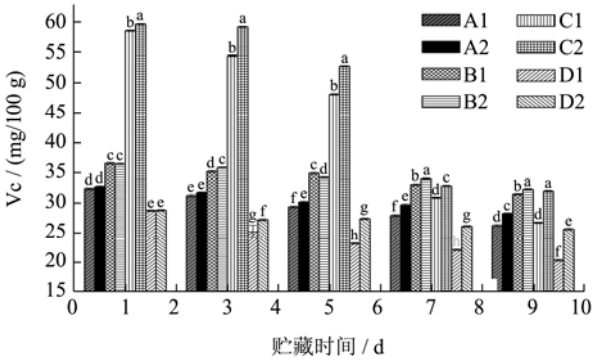



图 6 不同品种草莓贮藏期间 Vc 的变化

**Fig.6 Changes of Vc in different strawberry cultivars during storage**

## 2.7 不同品种草莓贮藏期间 MDA 的变化

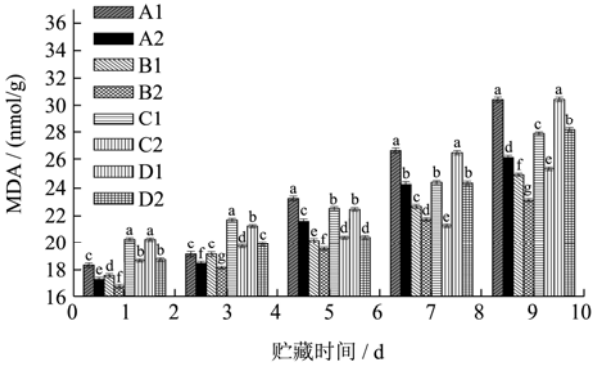



图 7 不同品种草莓贮藏期间 MDA 的变化

**Fig.7 Changes of MDA in different strawberry cultivars during storage**

MDA 作为膜脂质过氧化最终产物之一，通常被认为是细胞膜损伤严重程度的指标[29]。如图 7 所示，在不同品种草莓果实中，MDA 含量在贮藏期间连续增加，然而，在整个贮藏过程中，晶瑶草莓 MDA 含量最低，各品种草莓初始 MDA 含量为 16.76~20.27 nmol/g，贮藏至 9 d 时，晶玉草莓 MDA 含量分别为 30.45 nmol/g（A1）和 26.17 nmol/g（A2），晶瑶、甜查理、宁丰空白组 MDA 含量分别为 24.91 nmol/g（B1）、27.91 nmol/g（C1）和 30.46 nmol/g（D1），处理组分别为 23.11 nmol/g（B2）、25.34 nmol/g（C2）和 28.18 nmol/g（D2）。丁香酚附载硅藻土处理显著抑制了贮藏期间 MDA 含量上升，这与黄琦辉等[30]研究表明，丁香酚处理显著抑制了青茄 MDA 含量的增加。

由此可见，晶瑶草莓 MDA 含量最低，丁香缓释剂能显著抑制草莓 MDA 积累。

### 2.8 不同品种草莓贮藏期间抗氧化酶类活性的变化

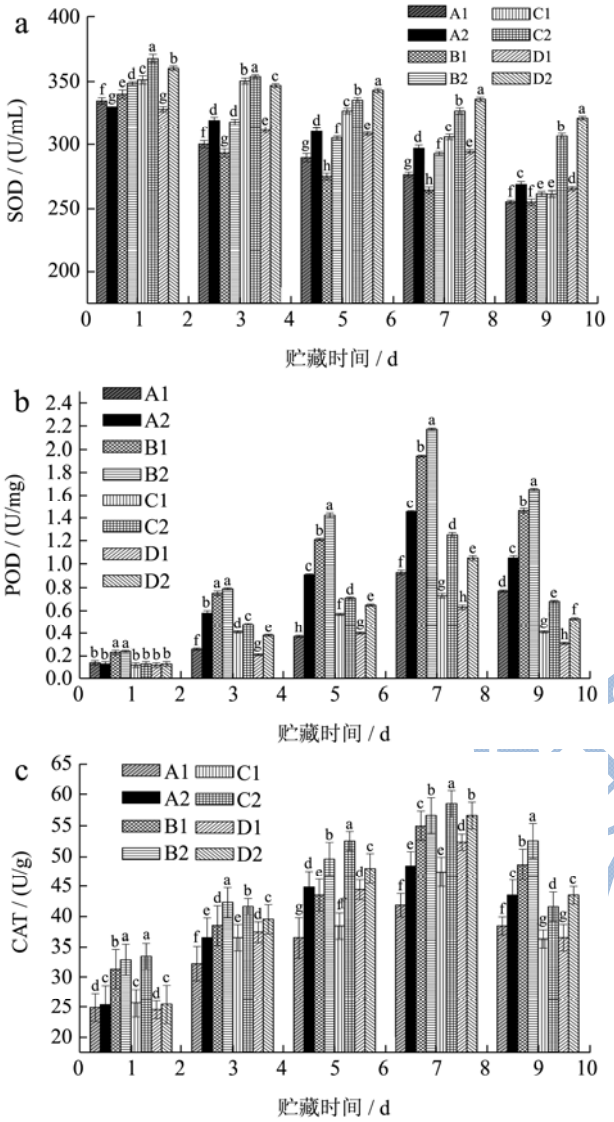



图 8 不同品种草莓贮藏期间抗氧化酶类活性的变化

**Fig.8 Changes of antioxidant enzymes in different strawberry cultivars during storage**

抗氧化酶是自由基清除酶系统的重要保护酶，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[31]。从图 8 可以看出，随着草莓贮藏期的延长，各品种草莓的 SOD 活性均呈下降趋势，而 POD 和 SOD 活性均呈先上升后下降的趋势。贮藏期间，经丁香酚缓释处理的草莓抗氧化酶活性显著高于空白组（$p<0.05$），Antunes 等[32]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。贮藏至 9 d 时，晶玉、晶瑶、甜查理和宁丰空白组草莓 SOD 活性分别为：255.38 U/mL、255.18 U/mL、261.55 U/mL、265.53 U/mL，而经丁香酚处理的四种草莓 SOD 活性分别为：268.55 U/mL、261.68 U/mL、306.72 U/mL 和 321.37 U/mL。晶玉、晶瑶、甜查理和宁丰草莓经丁香酚/硅藻土缓释处理后，POD 活性分别提高了 36.37%、13.02%、65.85%和 70.97%，CAT 活性分别提高了 5.09 U/g、3.90 U/g、5.28 U/g、6.99 U/g，李鹏霞[33]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，丁香酚缓释处理能较好的保持草莓抗氧化酶类活性。

## 3 结论

3.1 丁香酚作为一种天然植物精油，其具有较强的抗菌性，近年来在农产品贮藏加工中受到重视，并发现丁香酚可以有效减轻采后果蔬的褐变，且对一些果蔬致腐病原菌也有较强的抑制作用[34]。采后果蔬仍进行着呼吸代谢、水分代谢和能量代谢等生理活动，Valero 等[35]研究了气调包装结合丁香酚对鲜食葡萄贮藏条件下品质的影响，结果表明，MAP 结合丁香酚处理显著抑制鲜食葡萄色泽和有机酸含量的降低，同时保持果皮中较高的抗氧化活性和营养成分的含量，显著延缓葡萄果实的衰老进程，本实验也得出了类似的结论。

3.2 本实验中，晶瑶草莓贮藏保鲜效果优于晶玉、甜查理和宁丰三个品种草莓，货架期更长，保鲜品质由优至劣依次为：晶瑶、甜查理、宁丰、晶玉。在冷藏（4±1 ℃）过程中，丁香酚缓释抑制了贮藏后期可溶性固形物、可滴定酸、还原糖以及 Vc 等营养成分的下降，且失重率较低，有效地减少了草莓果实的经济损失。丁香酚还降低了草莓果实腐败和果实质量损失，抑制 MDA 含量的上升以及 SOD、POD、CAT 等抗氧化酶类活性下降，对保持草莓果实的感官品质也具有积极作用；贮藏 9 d 时，经丁香酚缓释处理的晶瑶草莓腐烂率和失重率分别为 31.50%和 1.33%，可溶性固形物、可滴定酸、还原糖、Vc 含量分别为 8.83%、0.577%、5.72%和 31.46 mg/100 g，MDA 含量为 23.11 nmol/g、SOD、POD、CAT 活性分别、261.68 U/mL、1.65 U/mg、52.49 U/g。传统的精油保鲜通常采用涂膜的方法，但常由于精油的疏水作用造成薄膜分布不均，保鲜效果下降；直接采用精油挥发出来的香氛进行保鲜可在一定程度上克服这种弊端，且香氛抑菌保鲜并不直接接触果蔬表面，安全可靠，为果蔬保鲜的一条新途径。

## 参考文献


[1] Tulipani S, Marzban G, Herndl A, et al. Influence of environmental and genetic factors on health-related compounds in strawberry [J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 906-913

[2] Giampieri F, Forbes-Hernandez T Y, Gasparrini M, et al. Strawberry as a health promoter: An evidence based review [J]. Food & Function, 2015, 6(5): 1386-1398

[3] Hashmi M S, East A R, Palmer J S, et al. Hypobaric treatment stimulates defence-related enzymes in strawberry [J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 85(4): 77-82

[4] Neri F, Cappellin L, Spadoni A, et al. Role of strawberry volatile organic compounds in the development of *Botrytis cinerea* infection [J]. Plant Pathology, 2015, 64(3): 709-717

[5] Yan F, Ying X, Wang D F, et al. Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria ananassa*) preservation quality [J]. Postharvest Biology & Technology, 2009, 53(1): 84-90

[6] Babalar M, Asghari M, Talaei A, et al. Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit [J]. Food Chemistry, 2007, 105(2): 449-453

[7] Nigro F, Ippolito A, Lattanzio V, et al. Effect of ultraviolet-c light on postharvest decay of strawberry [J]. Journal of Plant Pathology, 2000, 82(1): 29-37

[8] 吕世明,陈杖榴,陈建新,等.丁香酚体外抑菌作用研究[J].食品科学,2008,29(9):122-124
LYU Shi-ming, CHEN Zhang-liu, CHEN Jian-xin, et al. Study on the antibacterial effect of eugenol *in vitro* [J]. Food Science, 2008, 29 (9): 122-124

[9] 吕建华,周庆新,周沙沙,等.丁香提取液对草莓保鲜效果的影响[J].食品与生物技术学报,2009,28(5):633-636
LV Jian-hua, ZHOU Qing-xin, ZHOU Sha-sha, et al. Effects of clove extract on strawberry preservation [J]. Journal of Food and Biotechnology, 2009, 28 (5): 633-636

[10] 赵英虎,阎小艳,高莉,等.丁香乙醇提取液对草莓保鲜效果的影响[J].山西农业科学,2012,40(6):677-681
ZHAO Ying-hu, YAN Xiao-yan, Gao Li, et al. Effects of ethanol extract of clove on strawberry preservation [J]. Shanxi Agricultural Science, 2012, 40 (6): 677-681

[11] 王婷.丁香提取物对草莓保鲜效果的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2017
WANG Ting. Study on preservation effect of *Syringa* extract on strawberry [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural Uinversity, 2017

[12] 钟业俊,徐欣源,刘成梅,等.茶树油,丁香酚,柠檬醛在荔枝保鲜中的应用[J].江西食品工业,2011,4:42-45
ZHONG Ye-jun, XU Xin-yuan, LIU Cheng-mei, et al. Application of tea tree oil, eugenol and citral in Litchi preservation [J]. Jiangxi Food Industry, 2011, 4: 42-45

[13] Abdollahi M, Rezaei M, Farzi, G. Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47, 847-853

[14] Woranuch S, Yoksan R. R. Eugenol-loaded chitosan nanoparticles: I. Thermal stability improvement of eugenol through encapsulation [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 96, 578-585

[15] 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. Effect of clove extract and chitosan on strawberry preservation [J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science Edition), 2008, 25(4): 298-300

[16] Wang C Y, Chen C T, Wang S Y. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C [J]. Food Chemistry, 2009, 117(3): 426-431

[17] 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 strawberry treated with pure oxygen [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(3): 85-88

[18] 赵亚华,高向阳.生物化学试验技术教程[M].广州:华南理工大学出版社,2000
ZHAO Ya-hua, GAO Xiang-yang. Experimental course of Biochemistry [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2000

[19] 周拥军,郜海燕,陈杭君,等.减压贮藏对杏鲍菇采后活性氧代谢的影响[J].核农学报,2015,29(6):1108-1113
ZHOU Yong-jun, GAO Haiyan, CHEN Hang-jun, et al. Effects of decompressive storage on active oxygen metabolism of *Pleurotus eryngii* after harvest [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2015, 29(6): 1108-1113

[20] Muhammad S，Muhammad N，Moazzam RK，et al. Antimicrobial activity of *Syzygium aromaticum* extracts against food spoilage bacteria [J]. African Journal of

Microbiology Research , 2013, 7(41): 4848-4856

[21] Zhou T, Xu S, Sun D W, et al. Effects of heat treatment on postharvest quality of peaches [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(1): 17-22

[22] 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 effect of clove extract on fresh-cut Yali pear [J].Food Industry Science and Technology, 2016, 37(4): 347-350

[23] 赵金梅,高贵田,薛敏,等.不同品种猕猴桃果实的品质及抗氧化活性[J].食品科学,2014,35(9):118-122
ZHAO Jin-mei, GAO Gui-tian, XUE Min, et al. Quality and antioxidant activity of different kiwifruit varieties [J]. Food Science, 2014, 35 (9): 118-122

[24] 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,2016,4:156-160
LV En-li, LU Hua-zhong, YANG Song-xia, et al. Effects of modified atmosphere transportation packaging on the fresh-keeping quality of Litchi [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 4: 156-160

[25] 黄巍,王建清,高康,等.丁香精油涂布纸箱对水蜜桃的保鲜效果[J].包装工程,2017,38(9):25-30
HUANG Wei, WANG Jian-qing, GAO Kang, et al. Fresh-keeping effect of clove essential oil coated cartons on peaches [J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 25-30

[26] 李磊,易有金,夏菠,等.丁香酚改性产物对葡萄采后保鲜的作用[J].食品研究与开发,2018,39(10):180-185
LI Lei, YI You-jin, XIA Bo, et al. The effect of eugenol modified products on Postharvest preservation of grapes [J]. Food Research and Development, 2018, 39(10): 180-185

[27] Chen Y T, Guo D Q, Yang Z Q, et al. A general review on the effects of (60) Co γ-rays irradiation on vitamin C in fruits and vegetables [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2009, 23(2), 302-307

[28] 刘永,颜冬梅,李志伟.丁香酸/大豆蛋白膜对圣女果保鲜效果的研究[J].中国食品添加剂,2017,4:83-87
Liu Yong, Yan Dong-mei, Li Zhi-wei. Study on the fresh-keeping effect of syringic acid/soybean protein film on saint nu fruit [J]. Chinese Food Additives, 2017, 4: 83-87

[29] 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

[30] 黄琦辉,蔺凯丽,黄琦,等.丁香酚熏蒸对青茄采后冷害和脯氨酸代谢的影响[J].核农学报,2018,32(5):907-915
HUANG Qihui, LIN Keli, HUANG Qi, et al. Effects of eugenol fumigation on Postharvest chilling injury and proline metabolism of tomato [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2018, 32(5): 907-915

[31] 林本芳,鲁晓翔,李江阔,等.冰温贮藏对西兰花保鲜的影响[J].食品工业科技,2012,33(19):312-316
LIN Ben-fang, LU Xiao-xiang, LI Jiang-kuo, et al. Effects of ice and temperature storage on broccoli preservation [J].Food Industry Science and Technology, 2012, 33(19): 312-316

[32] Antunes M D C, Cavaco A M, Figueiredo A C, et al. The use of essential oils for postharvest decay control: A review [J]. Flavour & Fragrance Journal, 2010, 25(5): 351-366

[33] 李鹏霞.两种植物精油对采后水果的保鲜作用研究[D].西安:西北农林科技大学,2006
LI Peng-xia. Study on the fresh-keeping effect of two plant essential oils on postharvest fruits [D]. Xi`an: Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2006

[34] 李鹏霞,邵世达,冯俊涛,等.丁香精油和丁香酚对苹果贮藏期病害及果实品质的影响[J].农业工程学报,2006,22(6):173-177
LI Peng-xia, SHAO Shi-da, FENG Juntao, et al. Effects of clove essential oil and eugenol on apple diseases and fruit quality during storage [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2006, 22(6): 173-177

[35] D Valero, J M Valverde, D Martínez-Romero, et al. The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety and functional properties of table grapes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(3): 317-327