

物流保鲜

## 百里香-丁香罗勒精油抗菌纸对草莓的防腐保鲜效果

刘光发, 宋海燕, 罗婉如, 唐学政, 张正健, 祝子瑞  
(天津科技大学, 天津 300222)

**摘要:** **目的** 研究一种精油抗菌纸及其对草莓的防腐保鲜效果。**方法** 从百里香等 5 种植物精油中筛选出对灰霉等 4 种微生物具有强抑制作用的精油, 并对其成分进行气相色谱-质谱 (GC-MS) 分析。将筛选出的精油结合聚乙烯醇涂布于纸张表面制得抗菌纸, 采用熏蒸法测试其对供试微生物的抑制作用, 并研究其对草莓的保鲜效果。**结果** 百里香精油和丁香罗勒精油对 4 种供试微生物的抑菌效果较强。百里香精油的主要成分为百里香酚和香芹酚, 其峰面积百分比分别为 77.04% 和 16.46%; 丁香罗勒精油的主要成分为丁香酚和  $\beta$ -石竹烯, 其峰面积百分比分别为 77.95% 和 18.80%。涂布液中精油体积分数为 4% 的抗菌纸 (双层涂布, 下同) 抑菌效果最强。精油体积分数为 3% 的抗菌纸抑菌效果次之, 但其对维持草莓感官品质、抑制草莓的腐烂、延缓其菌落总数上升具有最佳的效果, 显著优于精油体积分数为 4%, 2% 和 1% 的抗菌纸及原纸 ( $P < 0.05$ )。抗菌纸对草莓可溶性固形物含量无明显影响。**结论** 体积分数为 3% 的百里香-丁香罗勒精油抗菌纸对草莓具有较好的保鲜效果。

**关键词:** 百里香精油; 丁香罗勒精油; 抗菌纸; 草莓; 防腐保鲜

**中图分类号:** TB484.1; TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0091-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.017

## Effect of Antimicrobial Paper Coated with *Thymus Vulgaris* L. and *Ocimum Gratissimum* L. Essential Oil on Preservation of Strawberry

LIU Guang-fa, SONG Hai-yan, LUO Wan-ru, TANG Xue-zheng, ZHANG Zheng-jian, ZHU Zi-ru  
(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study a kind of antimicrobial paper coated with essential oils and its effect on the preservation of strawberry. Essential oils with strong antimicrobial activity against 4 kinds of microorganisms such as *Botrytis cinerea* were screened out from 5 kinds of natural plant essential oils such as *Thymus vulgaris* L., and their components were identified by GC-MS. The screened essential oils were coated on paper combined with polyvinyl alcohol to prepare antimicrobial paper. The antimicrobial activity of antimicrobial paper against tested microorganisms was tested by the method of fumigation, and the effect of the antimicrobial paper on the preservation of strawberry was studied. The results showed that the antimicrobial activity of *Thymus vulgaris* L. essential oil and *Ocimum gratissimum* L. essential oil against the 4 kinds of tested microorganisms was the strongest. The main components of *Thymus vulgaris* L. essential oil were thymol and carvacrol, and their peak area percentages in GC were 77.04% and 16.46%, respectively. The main components of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. were eugenol and  $\beta$ -caryophyllene, and their peak area percentages in GC were 77.95% and 18.80%, respectively. The antimicrobial paper with essential oil concentration of 4% (volume fraction, double coating, the same below) presented the strongest antimicrobial activity, followed by antimicrobial paper with essential oil concentration of 3%. Antimicrobial paper with essential oil concentration of 3% presented the best effect on maintaining strawberry sensory quality, inhibiting strawberry decay and deferring the increase of the total number of colonies, which was significantly better than the antimicrobial paper with essential oil concentration of 4%, 2% and 1% respectively and the base paper ( $P < 0.05$ ). The effect of antimicrobial paper on total soluble solids of strawberry was not obvious. In conclusion, the antimicrobial paper coated with 3% (volume fraction) *Thymus vulgaris*

收稿日期: 2018-05-29

基金项目: 天津市自然科学基金 (17JCTPJC55800); 天津科技大学大学生实验室创新基金 (1706A303)

作者简介: 刘光发 (1986—), 男, 天津科技大学实验师, 主要研究方向为食品抗菌包装材料。

*L.-Ocimum gratissimum* L. essential oil has better effect on the preservation of strawberry.

**KEY WORDS:** *Thymus vulgaris* L. essential oil; *Ocimum gratissimum* L. essential oil; antimicrobial paper; strawberry; preservation

食源性微生物不仅容易引起果蔬等食品的腐败,还容易引起重大公共卫生问题,如何安全有效地延长食品的货架寿命成为人们急需解决的问题。通过在食品包装材料中加入绿色安全的抗菌剂,不仅可用于控制食品的腐败,还可减少化学防腐剂的残留。一些研究表明,百里香精油、丁香罗勒精油、孜然精油等植物精油<sup>[1-2]</sup>对一些食源性微生物具有较强的抑制作用,研究人员还对其作用机理进行了研究。申莉莉<sup>[3]</sup>发现百里香精油可使金黄色葡萄球菌的细胞壁破损,柳冬雪<sup>[4]</sup>研究发现丁香精油可破坏细菌的细胞结构。纸质材料是一种广泛使用的食品包装材料,近年来的研究表明,基于植物精油的抗菌纸可用于食品防腐保鲜领域。Rodríguez<sup>[5]</sup>使用涂布机将添加肉桂精油的石蜡乳液涂布于 80 g/m<sup>2</sup> 纸张上制备出了一种具有抗菌功能的活性纸,在 4 ℃ 条件下可明显降低草莓的腐烂率。Mascheroni<sup>[6]</sup>以香芹酚为抗菌剂,蒙脱石为填料,制备涂布抗菌包装纸,该包装纸对大肠杆菌具有抑制作用。岳淑丽<sup>[7]</sup>等将肉桂精油 β-环糊精包合物涂布于保鲜纸上制备出了一种抗菌纸,可延长圣女果的货架寿命。利用植物源抗菌剂制备抗菌纸的研究仅处于初步阶段,关于精油的复配、扩大抗菌纸的抗菌谱等方面未进行研究,目前也尚未见成熟的商业化产品。

文中从百里香精油等 5 种植物精油中筛选出对灰霉等微生物具有较强抑制作用的精油,以筛选出的百里香精油、丁香罗勒精油为抑菌剂,将其复配并结合聚乙烯醇涂布于纸张上制得抗菌纸。研究抗菌纸对灰霉等微生物的熏蒸抑制作用,并探索抗菌纸对草莓防腐保鲜效果的影响,为天然绿色抗菌食品包装纸的研究提供技术参考。

## 1 实验

### 1.1 材料和仪器

主要材料:地锦草精油、山苍子精油、生姜精油、百里香精油、丁香罗勒精油,吉安市青原区绿源天然香料油厂;交链孢、灰霉、根霉、青霉,天津科技大学菌种保藏中心;聚乙烯醇,山西三维集团股份有限公司;营养琼脂,北京奥博星生物技术公司;草莓,采购于天津某农场,挑选外观、品质、大小相近,约九成熟的草莓用于保鲜实验;聚乙烯(PE)保鲜膜,厚度为(10±1) μm,耐热温度为 120 ℃,耐冷温度为-55 ℃,氧气透过率为 10 150~24 850 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·atm),二氧化碳透过率为 77 720~190 280 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·atm),透湿量为

17.4~42.6 g/(m<sup>2</sup>·d),其中 1 atm=101.325 kPa。

主要仪器:QP2010Ultra 气相色谱质谱联用仪,日本岛津公司;DHP-9052 电热恒温培养箱,上海一恒仪器有限公司;KQ-800DE 超声波清洗器,昆山超声仪器公司;WS114 手持式折光度测试仪,上海测维光电技术有限公司;CU5/200 涂布机,德国 Sumet-Messtechnik 公司;SW-CJ-2F 超洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;HICC-V 全自动菌落计数系统,杭州万深检测科技有限公司。

### 1.2 抑菌效果筛选

采用琼脂扩散法测试百里香精油等对供试霉菌的抑菌效果。首先将灭菌后的马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA 培养基)在无菌操作台中倒入直径为 90 mm 的无菌平皿中,待培养基冷却后倒入 100 mL 的菌悬液(孢子浓度调整为约 1×10<sup>7</sup> CFU/mL,无菌三角玻璃棒抹匀),随后在涂布菌悬液的培养基上放置一个直径为 6 mm 的无菌滤纸片,在滤纸片上添加 10 μL 精油,以添加 10 μL 的无菌生理盐水为空白对照,于 28 ℃ 培养箱中培养 48 h,采用全自动菌落计数系统测试抑菌圈直径。

### 1.3 精油成分 GC-MS 分析

采用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)对百里香和丁香罗勒精油进行成分分析,参考张文静<sup>[8]</sup>的方法进行适当调整,气相色谱主要参数如下:采用 DB-5 色谱柱(规格为 30 m×0.25 mm×0.25 μm),气相色谱仪进样口温度为 250 ℃,分流比为 20:1;载气为 He;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。质谱主要运行参数如下:离子源温度为 220 ℃,传输线温度为 220 ℃,质荷比扫描范围为 43~500。将精油稀释 1000 倍,取 0.4 μL 进样,通过检索 NIST10 质谱库并结合参考文献<sup>[9-10]</sup>进行比对分析,鉴定出各精油成分。采用面积归一法计算各成分的峰面积百分含量。

### 1.4 涂布抗菌纸的制备

参照 Moghimi<sup>[11]</sup>的方法并作出适当修改。百里香精油和丁香罗勒精油按体积比为 1:1 进行复配,将复配精油(体积分数分别为 1%,2%,3%,4%)、吐温-80(与加入精油量相同)、大豆卵磷脂(质量分数为 0.001%)按比例加入 400 mL 蒸馏水中,搅拌均匀后超声处理 60 min(超声功率为 800 W),随后加入聚乙烯醇(质量分数为 10%),使用匀浆机匀浆 5 min。

再加入体积分数为 3% 的甘油，搅拌均匀，使用超声波清洗器（超声功率为 800 W）处理 30 min 制得涂布液，用 PE 保鲜膜密封静置 10 h 后备用。

使用涂布机将涂布液均匀涂布到 70 g 食品包装纸上制得抗菌纸，涂布机的涂布辊压力和涂布棒压力分别为 3, 1 N，涂布速度为 12 m/min，于 60 ℃ 干燥 1 min，分别进行单层涂布和双层涂布。涂布液中精油体积分数分别为 1%，2%，3%，4% 的单层涂布抗菌纸记为 A1, B1, C1, D1，双层涂布抗菌纸记为 A2, B2, C2, D2。

1.5 抗菌纸抑菌性能测试

将抗菌纸在无菌操作台中裁为 20 mm×20 mm 的试样，参照 1.2 节的方法将 100 μL 菌悬液涂匀于 PDA 培养基上，随后将试样放置于平皿盖上，将平皿翻转放置。以原纸为空白对照，每个试样一式 3 份，于 28 ℃ 下培养 48 h 后测量抑菌圈直径。

1.6 抗菌纸对草莓的保鲜应用

1.6.1 草莓处理方法

将草莓分为 5 组，每组样品 8 个平行试样，每份试样称取约 100 g 草莓。在 PP 托盘底部分别放入 1 张尺寸为 150 mm×100 mm 的食品包装原纸以及 A2, B2, C2, D2 抗菌纸，在原纸、抗菌纸上放置约 100 g 草莓，使用 PE 保鲜膜包裹托盘，分别记为 CK, A2, B2, C2, D2 组，于室温环境下贮藏（温度为（28±3）℃，相对湿度为（45±5）%）。

1.6.2 保鲜指标测试

参照 Aday<sup>[12]</sup>的方法，挑选 9 名 20~30 岁之间的研究生作为评判员。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、颜色、质地、风味等方面给出一个总体感官评估分值。采用 9 分制进行评分：9 分为优秀；7 分为很好；5 分为好（可以进行销售的临界分值）；3 分为一般（限制使用）；1 分为差（完全不可用）。草莓的腐烂率（%）=（发霉草莓数/总草莓数）×100%，每隔 12 h 观察并记录 1 次。菌落总数参考 GB 4789.2—2016 进行测试，在无菌工作台中取 10 g 草莓（从草莓的顶部用无菌刀取样，确保每次取样的部位尽可能一致）与 90 g 无菌生理盐水在无菌均质杯中均质 2~3 min，然后进行 10 倍系列稀释，选择 2~3 个合适的稀释液取 1 mL 倒入无菌平皿中，随后加入约 15 mL 融化后的平板计数琼脂（温度低于 46 ℃），待其凝固后将平皿翻转，于 37 ℃ 培养 24 h 后观察菌落总数。质量损失率（%）为草莓测试时质量减少量与初始质量的比值。可溶性固形物含量测试方法：将草莓采用匀浆机捣碎，用 3 层纱布挤出匀浆汁液，使用手持式折光仪进行测试，每个样品取 3 个平行试样。

1.7 数据分析

显著性分析采用 SPSS Statistics 17.0 进行， $P<0.05$  时存在显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 植物精油抑菌效果筛选

植物精油对供试微生物的抑菌圈直径见表 1。抑菌效果可分为以下 3 个水平：强抑制活性（抑菌圈直径≥20 mm）；轻度抑制活性（20 mm>抑菌圈直径≥12 mm）；弱抑制活性（抑菌圈直径<12 mm）<sup>[13]</sup>。综合比较，百里香精油、丁香罗勒精油对 4 种供试微生物的抑菌效果最佳。为了扩大抗菌谱，降低使用单一精油可能带来的气味问题，将百里香精油、丁香罗勒精油按照体积比为 1：1 进行复配后制备抗菌纸。

表 1 5 种植物精油对于 4 种供试微生物的抑菌圈直径  
Tab.1 Diameter of inhibition zone of 5 kinds of plant essential oils against 4 kinds of tested microorganisms mm

| 名称     | 灰霉     | 根霉       | 青霉       | 交链孢      |
|--------|--------|----------|----------|----------|
| 地锦草精油  | 68±2.6 | 6.5±0.9  | 35.2±1.9 | 8.4±1.4  |
| 山苍子精油  | 65±3.0 | 63±2.6   | 52±2.6   | 14.4±2.5 |
| 生姜精油   | 0±0    | 12.4±2.5 | 0±0      | 0±0      |
| 百里香精油  | 80±4.4 | 80±5.0   | 80±4.4   | 65±4.6   |
| 丁香罗勒精油 | 48±4.4 | 44±3.5   | 50±3.0   | 42±2.6   |

2.2 百里香精油和丁香罗勒精油的成分分析

通过对百里香精油进行 GC-MS 分析，鉴定出 10 种成分，其峰面积之和占精油峰面积总和的 99.89%，其中在出峰时间为 8.181, 13.094, 13.248, 14.260 min 时有较大面积的峰，经过检索质谱库和对比参考文献<sup>[9]</sup>，确定其对应的成分分别为邻甲酚、百里香酚、香芹酚和丁香酚，其峰面积百分比分别为 1.11%，77.04%，16.46%和 3.63%。百里香酚是百里香精油的主要有效抑菌成分<sup>[14]</sup>，具有很强的杀菌作用，但对人体相对较安全，被 GB 1886.139—2015 列为一种食品添加剂。

丁香罗勒精油通过 GC-MS 鉴定出 11 种成分，其峰面积之和占精油峰面积总和的 99.93%，经过检索质谱库和对比参考文献<sup>[10]</sup>，其中在出峰时间为 14.323, 15.593, 16.206 min 的物质为丁香酚、β-石竹烯和 α-石竹烯，其峰面积百分比分别为 77.95%，18.80%和 2.39%。丁香酚是一种低毒性物质，具有较强的抑菌性<sup>[14]</sup>。何国熙<sup>[15]</sup>利用气相色谱法测定了丁香罗勒精油中丁香酚峰面积百分比为 83.12%~85.67%，与文中所测丁香酚含量存在差别，这主要是由植物品种、生长环境、采摘成熟度以及精油提取工

艺等差异造成的。

### 2.3 抗菌纸抑菌性能

抗菌纸对4种微生物的抑菌效果见表2。A1和A2抗菌纸对4种霉菌的抑制效果较差,主要是因为抗菌纸中的抑菌成分较少,无法起到抑菌作用。B1和B2抗菌纸对微生物有一定的抑制作用,精油浓度继续上升,抑菌效果明显增强。C2抗菌纸对4种微生物的抑菌圈直径均优于C1抗菌纸( $P<0.05$ ),主要是因为C2抗菌纸中抗菌剂的涂布量高于C1抗菌纸。随着精油浓度的上升,D1和D2抗菌纸的抑菌圈直径分别优于C1和C2抗菌纸( $P<0.05$ )。虽然D1抗菌纸的精油浓度高于C2抗菌纸,但是D1抗菌纸对4种霉菌的抑菌圈直径低于C2抗菌纸,这是因为抗菌纸的抑菌效果不仅与精油的浓度有关,也与涂布层数相关(C2为双层涂布,D1为单层涂布)。

表2 抗菌纸对于4种微生物的抑菌圈直径  
Tab.2 Diameter of inhibition zone of antimicrobial paper against 4 kinds of microorganisms mm

| 抗菌纸 | 灰霉     | 根霉     | 交链孢霉   | 青霉      |
|-----|--------|--------|--------|---------|
| A1  | 0±0    | 0±0    | 0±0    | 0±0     |
| A2  | 0±0    | 0±0    | 0±0    | 0±0     |
| B1  | 6±0.5  | 6±1.0  | 5±0.5  | 7±0.5   |
| B2  | 10±2.0 | 12±2.0 | 8±1.0  | 11±1.01 |
| C1  | 20±2.0 | 22±2.6 | 11±1.7 | 20±2.0  |
| C2  | 40±3.6 | 42±2.6 | 23±2.6 | 43±3.0  |
| D1  | 25±1.0 | 27±2.6 | 14±2.0 | 21±1.7  |
| D2  | 44±4.0 | 46±5.3 | 25±2.0 | 48±2.6  |

### 2.4 抗菌纸对草莓保鲜效果的影响

#### 2.4.1 感官品质

在贮藏过程中,草莓发生霉烂是影响其感官品质的主要因素,此外,草莓的颜色、质地及口味也对草莓的感官品质有一定影响。抗菌纸及原纸对草莓感官品质总体分值的影响见图1。CK组草莓感官质量下降最快,贮藏36 h后部分草莓出现了较多霉菌,此时草莓的感官评价分值为5分,随着时间的延长,草莓的霉菌生长十分迅速,在60 h时CK组草莓全部霉烂。使用抗菌纸的4组草莓感官质量下降相对平缓,其中C2组草莓的感官品质分值优于其余各组( $P<0.05$ ),C2组草莓发生霉烂的时间得到延迟,发生霉烂的数量相对较少,且该组抗菌纸对草莓的颜色及风味未产生明显的不利影响,C2组草莓贮藏60 h后感官分值仍接近5分。A2组和B2组草莓的感官评价分值介于CK组和C2组之间,其中B2组草莓表面发生霉烂的现象比A2组略好。D2组草莓的感官品质也下降较快,主要是因为草莓与抗菌纸接触的表面出现了泛白现象,高浓度的精油对草莓表皮具有一定

的刺激性,发生了药害现象,且D2组草莓托盘中能感受到精油的气味,也影响了草莓的感官评分。此前一些研究成果也发现了类似的现象,如Guerreiro<sup>[16]</sup>发现高浓度的柠檬醛和丁子香酚处理草莓会影响其感官品质。

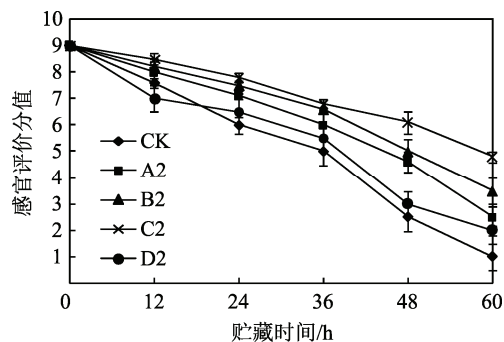


图1 抗菌纸对草莓感官品质的影响

Fig.1 Effect of antimicrobial paper on sensory quality of strawberry

#### 2.4.2 腐烂率

草莓在贮藏、运输和销售过程中极易生长灰霉(*Botrytis cinerea*)而腐烂,货架寿命较短。抗菌纸对草莓腐烂率的影响见图2,可以看出,CK组草莓腐烂率增长最迅速,明显高于其余各组( $P<0.05$ ),贮藏60 h后基本全部腐烂,且有大量的汁水流出。内置抗菌纸的其余4组草莓在前12 h一直未发生腐烂,A2,B2,C2,D2组草莓在贮藏60 h后腐烂率分别到达72%,68%,40%和45%。这说明抗菌纸涂层中体积分数为3%和4%的精油对草莓腐烂有较好的抑制作用,2%和1%的精油不能有效抑制草莓腐烂。D2组草莓的腐烂率略高于C2组,主要是因为精油浓度过高对草莓表皮造成损坏,导致草莓更易受霉菌感染。这说明抗菌纸可在一定程度上抑制草莓致腐霉菌的生长繁殖,其中精油体积分数为3%的抗菌纸对抑制草莓腐烂的效果最好。

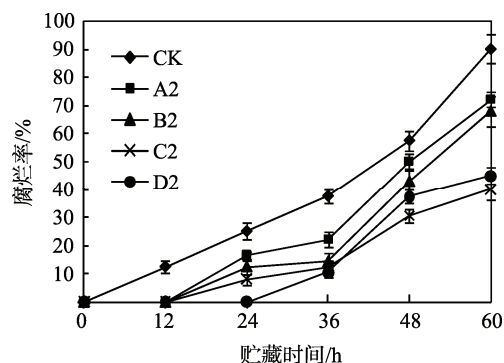


图2 抗菌纸对草莓腐烂率的影响

Fig.2 Effect of antimicrobial paper on decay percentage of strawberry

2.4.3 菌落总数

腐烂率可在外观上反映草莓的腐烂情况，而菌落总数能更精确地体现草莓中菌落的数量。草莓在贮存期间的菌落总数见表 3。草莓的初始菌落总数为 2.30 lg(CFU/g)，经过 12 h 后，CK，A2，B2 组中草莓的菌落开始大量繁殖，菌落总数上升明显，而此时 C2 和 D2 组草莓的菌落总数相对较低。随着贮藏时间增加至 60 h，C2 组草莓的菌落总数最低，显著低于 CK，A2，B2 组 ( $P<0.05$ )。各组抗菌纸均能抑制草莓菌落总数的上升，主要是因为抗菌纸精油涂层中百里香和丁香罗勒精油对很多食源性微生物具有较强抑制作用<sup>[1-2]</sup>。Gani<sup>[17]</sup>采用紫外线处理草莓时也发现了类似的现象，说明采用杀菌处理可降低草莓的菌落总数。此外，D2 组草莓的菌落总数在贮藏后期略高于 C2 组，主要是因为高浓度精油的抗菌纸对草莓表皮组织造成了损害。类似的现象也被 Guerreiro<sup>[16]</sup>发现，采用高浓度的柠檬醛处理草莓时出现了不利现象。

表 3 草莓贮存期间的菌落总数  
Tab.3 Total number of colonies of strawberries during storage lg(CFU/g)

| 种类 | 贮藏前       | 12 h      | 36 h      | 60 h      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CK | 2.30±0.06 | 3.28±0.12 | 7.70±0.05 | 7.94±0.06 |
| A2 | 2.30±0.06 | 3.15±0.06 | 7.66±0.04 | 7.88±0.05 |
| B2 | 2.30±0.06 | 3.04±0.05 | 7.35±0.05 | 7.81±0.03 |
| C2 | 2.30±0.06 | 3.00±0.09 | 6.52±0.03 | 7.73±0.05 |
| D2 | 2.30±0.06 | 2.85±0.05 | 6.59±0.03 | 7.74±0.03 |

2.4.4 质量损失率

水果在贮藏期间发生质量损失主要是因为水果中的水分从表皮蒸发以及被呼吸作用所消耗，而果皮的质地对于质量损失有重要的影响<sup>[18]</sup>。抗菌纸及原纸对草莓质量损失率的影响见图 3。随着贮藏时间的增长，草莓的质量损失率逐渐提高，CK 组尤为明显，主要是因为其腐烂情况较为严重，表皮结构被破坏，导致水分损失比较快。内置抗菌纸的 4 组草莓在贮存期的前 24 h 质量损失情况相差不多，24 h 后开始出现差异，A2，B2 组草莓的质量损失率高于 C2 组，这是因为这 2 组草莓中霉菌的迅速生长繁殖损坏了草莓的表皮组织，从而加速了草莓内部水分的损失。D2 组草莓的质量损失率在 48 h 后出现明显上升，主要是因为草莓的表皮发生药害作用，导致表皮组织出现损伤，造成水分的损失。贮藏 60 h 后，CK，A2，B2，C2，D2 组草莓的质量损失率分别为 16.28%，15.1%，15.16%，13.25%，14.92%，其中 C2 组草莓的质量损失率明显低于其余各组 ( $P<0.05$ )。Bozkurt<sup>[18]</sup>采用气化丙酮酸乙酯处理草莓时也出现了草莓质量损失率降低的情况。综合比较，C2 组草莓的质量损失率最低，主要是因为体积分数为 3%的复

配精油抗菌纸可以较好地维持草莓的果皮强度，从而使得 C2 组草莓的水分损失相对最少。

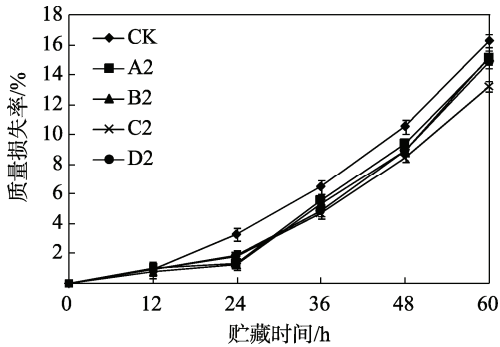


图 3 抗菌纸对草莓质量损失率的影响  
Fig.3 Effect of antimicrobial paper on weight loss of strawberry

2.4.5 可溶性固形物含量

草莓在贮藏期间的可溶性固形物含量变化见图 4。草莓中可溶性固形物含量在贮藏期发生了先升后降的情况，在贮藏前期出现可溶性固形物含量的增加，是因为在贮存过程中，高级多糖酶促转化为简单糖。随后可溶性固形物含量出现下降，是因为呼吸作用以及糖和其他营养物质被微生物消耗，导致糖被氧化分解而减少<sup>[19]</sup>。CK 组和各抗菌纸处理组草莓之间的可溶性固形物含量没有明显的变化规律，图 4 中各组草莓可溶性固形物含量之间的差异是由草莓的个体差异造成，因此可认为抗菌纸对草莓的可溶性固形物含量没有显著影响。此外，感官评价小组成员未检测到各组草莓之间口味的差异。此前也有研究表明，仅通过杀菌方式处理草莓对其可溶性固形物含量未产生明显影响，如 Serapian<sup>[20]</sup>等发现辐照和甲基溴熏蒸处理对草莓的可溶性固形物含量的变化无影响。

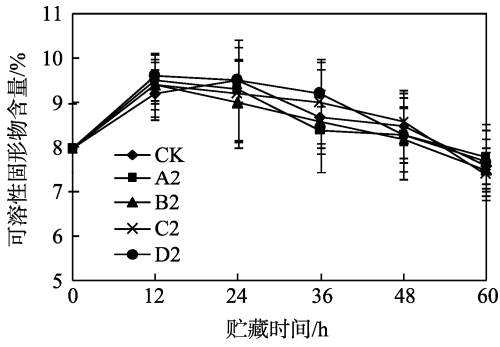


图 4 抗菌纸对草莓中可溶性固形物的影响  
Fig.4 Effect of antimicrobial paper on total soluble solids of strawberry

3 结语

1) 在 5 种精油中，百里香和丁香罗勒精油的抑菌效果最强，其中百里香精油对灰霉、根霉、青霉和

交链孢的抑菌圈直径分别为 80, 80, 80, 65 mm, 丁香罗勒精油对灰霉、根霉、青霉和交链孢的抑菌圈直径分别为 48, 44, 50, 42 mm。

2) 百里香精油的主要成分是百里香酚、香芹酚和丁香酚, 其峰面积百分比分别为 77.04%, 16.46%, 3.63%; 丁香罗勒精油的主要成分是丁香酚、 $\beta$ -石竹烯和  $\alpha$ -石竹烯, 其峰面积百分比分别为 77.95%, 18.80%, 2.39%。

3) 抗菌纸的抑菌效果不仅与精油的浓度有关, 也与涂布层数相关, 精油体积分数为 4% 的双层涂布抗菌纸抑菌效果最强, 精油体积分数为 1% 的单层涂布抗菌纸抑菌效果最差。

4) 精油体积分数为 3% 的双层涂布抗菌纸对维持草莓感官品质、减少草莓的腐烂、抑制菌落总数和质量损失率的上升具有最好的效果, 显著优于其余各组 ( $P < 0.05$ ), 各组抗菌纸对草莓的可溶性固形物含量没有显著影响。

#### 参考文献:

- [1] RYU V, MCCLEMENTS D J, CORRADINI M G, et al. Effect of Ripening Inhibitor Type on Formation, Stability, and Antimicrobial Activity of Thyme Oil Nanoemulsion[J]. Food Chemistry, 2018, 245: 104—111.
- [2] AGUIAR J J S, SOUSA C P B, MARIANA K A, et al. Antibacterial and Modifying-antibiotic Activities of the Essential Oils of *Ocimum Gratissimum* L. and *Plectranthus Amboinicus* L[J]. European Journal of Integrative Medicine. 2015, 7: 151—156.
- [3] 申莉莉. 百里香微胶囊制备及抑菌效果和机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.  
SHEN Li-li. Preparation of Thyme Oil Microencapsulation and Its Antibacterial Activity and Mechanism Study[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [4] 柳冬雪. 丁香精油和 Nisin 对单增李斯特菌的抑制作用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.  
LIU Dong-xue. The Antimicrobial Effect of Clove Essential Oil and Nisin against *Listeria Monocytogenes* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2013.
- [5] RODRÍGUEZ A, BATLLE R, NERÍN C. The Use of Natural Essential Oils as Antimicrobial Solutions in Paper Packaging[J]. Part II. Progress in Organic Coatings, 2007, 60: 33—38.
- [6] MASCHERONI E, GUILLARD V, GASTALDI E, et al. Anti-microbial Effectiveness of Relative Humidity-controlled Carvacrol Release from Wheat Gluten/montmorillonite Coated Papers[J]. Food Control, 2011, 22: 1582—1591.
- [7] 岳淑丽, 万达, 张义珂. 肉桂精油微胶囊抗菌纸的研制及对圣女果的保鲜效果研究[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 47—51.  
YUE Shu-li, WAN Da, ZHANG Yi-ke. Development of Microcapsule Antibacterial Paper Made of Cinnamon Oil and Its Application for Preservation of Cherry Tomato[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(13): 47—51.
- [8] 张文静, 郑福平, 孙宝国, 等. 同时蒸馏萃取/气-质联用分析紫丁香花精油[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 523—525.  
ZHANG Wen-jing, ZHENG Fu-ping, SUN Bao-guo, et al. Analysis of Essential Oil Composition from Flowers of *Syringa Oblate Lindl.* by Simultaneous Distillation and Solvent Extraction Combined with GC-MS[J]. Food Science, 2008, 29(9): 523—525.
- [9] BOSKOVIC M, DJORDJEVIC J, IVANOVIC J, et al. Inhibition of Salmonella by Thyme Essential Oil and Its Effect on Microbiological and Sensory Properties of Minced Pork Meat Packaged under Vacuum and Modified Atmosphere[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 258: 58—67.
- [10] 李玲玲, 赖东美, 叶飞云. 丁香罗勒油气相色谱与气质联用分析[J]. 中国现代应用药学, 2002(3): 225—227.  
LI Ling-ling, LAI Dong-mei, YE Fei-yun. Analysis of Ocimum Oil by GC and CC/MS[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2002(3): 225—227.
- [11] MOGHIMI R, GHADERI L, RAFATI H, et al. Superior Antibacterial Activity of Nanoemulsion of Thymus Daenensis Essential Oil against *E. coli*[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 410—415.
- [12] ADAY M S, CANER C, RAHVALI F. Effect of Oxygen and Carbon Dioxide Absorbers on Strawberry Quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62: 179—187.
- [13] ROTA M C, HERRERA A, MARTÍNEZ R M, et al. Antimicrobial Activity and Chemical Composition of *Thymus Vulgaris*, *Thymus Zygis* and *Thymus Hyemalis* Essential Oils[J]. Food Control, 2008, 19: 681—687.
- [14] 佟晶晶, 王明阳, 潘佳雯, 等. 植物精油抗菌和抗真菌活性的研究进展[J]. 中国饲料, 2018(7): 46—49.  
TONG Jing-jing, WANG Ming-yang, PAN Jia-wen, et al. Research Advances in Antibacterial and Antifungal

- Activity of Plant Essential Oils[J]. China Feed, 2018(7): 46—49.
- [15] 何国熙, 巫莹莹. 气相色谱法测定丁香罗勒油中丁香酚的含量[J]. 中药材, 1998(8): 422—423.
- HE Guo-xi, WU Ying-ying. Determination of Eugenol in *Ocimum Gratissimum* L. Oil by Gas Chromatography[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 1998(8): 422—423.
- [16] GUERREIRO A C, GAGO C M L, FALEIRO M L, et al. The Use of Polysaccharide-based Edible Coatings Enriched with Essential Oils to Improve Shelf-life of Strawberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 110: 51—60.
- [17] GANI A, BABA W N, AHMAD M, et al. Effect of Ultrasound Treatment on Physico-chemical, Nutraceutical and Microbial Quality of Strawberry[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 496—502.
- [18] BOZKURT F, TORNUK F, TOKER O S, et al. Effect of Vaporized Ethyl Pyruvate as a Novel Preservation Agent for Control of Postharvest Quality and Fungal Aamage of Strawberry and Cherry Fruits[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 1044—1049.
- [19] HUSSAIN P R, MEENA R S, DAR M A, et al. Effect of Gamma-irradiation and Refrigerated Storage on Mold Growth and Keeping Quality of Strawberry (*Fragaria* sp) cv 'Confitura'[J]. Journal of Food Science and Technology, 2007, 44(5): 513—516.
- [20] SERAPIAN T, PRAKASH A. Comparative Evaluation of the Effect of Methyl Bromide Fumigation and Phytosanitary Irradiation on the Quality of Fresh Strawberries[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 201: 109—117.