

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2016.03.001

4种植物精油对草莓致病菌的抑制作用研究

丁 华¹, 王建清¹, 王玉峰¹, 董 婧²

(1. 天津科技大学 包装与印刷工程学院, 天津 300222; 2. 中国包装科研测试中心, 天津 300457)

摘要: 通过研究小茴香、百里香、罗勒和迷迭香4种植物精油对灰霉、根霉及黑曲霉等草莓主要致病菌的抑制效果, 筛选出对草莓有良好贮藏保鲜效果的植物精油。采用培养基稀释法进行筛选, 并确定了其最低抑菌浓度。最后对该精油进行气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析和主要抑菌成分的气相色谱(GC)定量分析。结果表明, 所选用的4种精油中, 百里香精油具有广谱高效的抑菌性能, 其对灰霉、根霉和黑曲霉的最低抑菌浓度均为2 μL/L; 百里香精油中的主要抑菌成分为百里香酚和香芹酚, 且其相对质量分数分别为23.52%和3.76%, 绝对质量浓度分别为181.594 9 mg/mL和27.665 6 mg/mL。

关键词: 植物精油; 草莓致病菌; 百里香精油; GC-MS分析

中图分类号: TS201.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2016)03-0001-07

Inhibitory Effects of Four Plant Essential Oils Against Pathogens of Strawberry

DING Hua¹, WANG Jianqing¹, WANG Yufeng¹, DONG Jing²

(1. College of Packaging and Printing Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China;
2. China Packaging Research and Test Center, Tianjin 300457, China)

Abstract: Plant essential oils which performed well in storage and preservation of strawberry were selected in order to research the inhibitory effect of fennel, thyme, basil and rosemary against botrytis cinerea, rhizopus and aspergillus niger. The dilution method was used in screening and the minimum inhibitory concentration of antimicrobial was determined. Finally, the Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) was used in qualitative and quantitative analysis of the main antimicrobial components of thyme essential oil. The results showed that in the selected four kinds of essential oils, thyme oil had antibacterial properties of broad spectrum and high efficiency, and the minimum inhibitory concentration against grey mould, rhizopus and aspergillus niger were all 2 μL/L. The main antibacterial components of thyme essential oil were thyme phenol and carvacrol, whose relative mass fractions were 23.52% and 3.76% respectively, and absolute mass concentrations were 181.594 9 mg/mL and 27.665 6 mg/mL respectively.

Key words: plant essential oil ; pathogens of strawberry ; thyme essential oil ; GC-MS analysis

0 引言

草莓是蔷薇科草莓属植物的通称, 为多年生草本植物。其果实为浆果, 不仅外观鲜美红嫩, 且果肉

多汁, 有浓郁的水果芳香, 素有“水果皇后”之称。草莓可食用部分占整个果实的97%以上, 且营养价值高, 含有丰富的矿物质及维生素^[1]。但因其没有坚

收稿日期: 2015-12-24

基金项目: 国家科技支撑计划基金资助项目(2015BAD16B00)

作者简介: 丁 华(1991-), 女, 天津人, 天津科技大学硕士生, 主要研究方向为包装材料与技术, E-mail: Dinghua2013@126.com

通信作者: 王建清(1953-), 男, 湖南益阳人, 天津科技大学教授, 主要从事包装材料与技术方面的教学与研究,

E-mail: jianqw@tust.edu.cn

硬果皮的保护, 极易因失水萎蔫、机械损伤和微生物侵染而导致腐败变质, 这使得草莓的货架寿命极短, 限制了其大规模种植发展^[2]。与化学保鲜剂相比, 植物精油抑菌剂被应用于果蔬保鲜, 具无农药残留、环境污染及抗药性等优势, 符合果蔬保鲜绿色包装的新趋势, 具有较高的经济价值和广阔的应用前景^[3-5]。

灰霉病^[6]、软腐病和炭疽病是草莓最常见的病害, 其主要致病菌分别是灰霉菌、根霉菌和炭疽病菌。M. V. Bhaskara Reddy 等^[7]的研究表明: 草莓果实贮藏中, 质量浓度为 50~200 $\mu\text{g/mL}$ 的百里香精油对其灰霉和桃软腐病菌有较好的抑制作用, 其抑菌率分别达 26.5%~63.5% 和 5.5%~50.5%。陈丽艳等^[8]用滤纸片扩散法研究了百里香精油的抗菌活性, 结果表明, 百里香精油对大肠杆菌的抑菌圈直径达 (32 ± 0.5) mm, 对金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径达 (43.5 ± 1.0) mm。王建清等^[9]用不同浓度的肉桂精油与壳聚糖复合制成保鲜液并用于草莓涂膜保鲜, 在常温下极大提高了草莓的好果率, 可延长草莓货架期 48 h。M. V. Bhaskara Reddy 等^[10]利用百里香精油处理草莓, 研究其对引起草莓腐烂的灰霉和根霉的抑制作用, 贮藏 14 d 时, 草莓腐烂抑制率分别达 73.6% 和 73.0%。以上研究结果表明, 利用天然植物精油对水果进行处理, 其保鲜效果比较明显, 均能达到延长水果货架寿命的目的。

同时, 植物精油类抑菌剂具有化学保鲜剂所无法比拟的优势, 符合绿色、安全、环保的要求。因此, 筛选出高效、广谱、安全的植物精油作为抑菌剂应用于果蔬保鲜是绿色包装发展的新趋势, 具有很高的经济价值和广阔的应用前景。因此, 本实验主要针对草莓的主要致病菌, 对小茴香、百里香、罗勒和迷迭香 4 种天然植物精油的抑菌活性进行筛选, 选取抑菌效果优良的植物精油作为抑菌剂, 并利用气相色谱-质谱联用技术 (gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS) 对其成分进行分析, 以期对草莓的保鲜应用提供一定的参考和借鉴。

1 试验

1.1 材料与仪器

1) 材料。马铃薯, 购于天津市河西区博疆菜市场; 正己烷、蔗糖, 分析纯, 天津市江天化工技术有限公司; 琼脂, 生物试剂, 天津市珠江卫生材料厂; 百里香酚标准品、香芹酚标准品, 色谱纯, 上海融禾医药科技发展有限公司; 百里香精油, 长沙格绿生物科技有限公司; 根霉、灰霉、黑曲霉, 生化试剂, 购于天津科技大学食品与生物工程学院。

2) 主要仪器与设备。手提式高压灭菌锅, H1659

型, 普瑞斯机械有限公司; 桌上式洁净工作台, VD-650 型, 苏州净化设备有限公司; 移液枪, 10~100 μL , 100~1 000 μL , 1 000~5 000 μL , 大龙医疗器械有限公司; 电热恒温培养箱, DHP-9052 型, 上海一恒科学仪器有限公司; 气相色谱仪, GC-2010 型, 日本岛津仪器公司; 气相色谱质谱联用仪, Varian 4000MS 型, 美国瓦里安公司; 微机控制电子万能试验机, RG T-3 型, 深圳市瑞格尔仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 试样准备

1) 培养基的制备。选用马铃薯葡萄糖琼脂培养基 (potato dextrose agar, PDA)。具体配方: 马铃薯 200 g, 蔗糖 (或葡萄糖) 20 g, 琼脂 14~20 g, 蒸馏水 1 000 mL。制作要点: 马铃薯去皮后切成小块煮沸 30 min, 然后用纱布过滤, 再加入糖及琼脂, 待其完全溶解后将浆液定溶至 1 000 mL; 将浆液分装在锥形瓶中, 于 121 $^{\circ}\text{C}$ 高压湿热条件下灭菌 20 min, 备用。

2) 菌种准备。选取果蔬的主要致病菌灰霉、根霉和黑曲霉, 将所有供试菌种移接入对应的试管斜面培养基上, 每种菌种接多支。然后将 3 种霉菌培养基均置于 28 $^{\circ}\text{C}$ 电热恒温培养箱内培养 48 h。

3) 菌悬液的制备。挑取各菌落接种平皿, 并培养 48 h, 然后用无菌生理盐水洗脱, 分别制成含菌约 10^7 CFU/mL 的菌悬液。具体方法如下: 分别挑取少量霉菌至无菌生理盐水中洗出, 玻璃珠打散, 制成菌悬液, 并调菌悬液浓度为 10^7 ~ 10^8 CFU/mL, 备用。

1.2.2 不同植物精油抑菌活性研究

对于不同植物精油抑菌活性的研究, 采用滤纸片扩散法, 具体操作如下:

1) 实验前, 将所需培养基、无菌水等进行高压湿热灭菌, 即在 121 $^{\circ}\text{C}$ 温度条件下进行灭菌处理 20 min, 之后放入超洁净工作台进行紫外灭菌处理 2 h。且将所需培养皿、直径为 6 mm 的滤纸片放入真空干燥箱中于 158 $^{\circ}\text{C}$ 高温下灭菌处理 2 h, 试验均在超洁净工作台上进行。

2) 将所需培养皿进行标记, 每个培养皿中加入 15~20 mL 融化的培养基, 待其冷却后, 用移液枪吸取菌悬液 300 μL , 再用玻璃涂布棒均匀涂布于培养基表面, 然后用镊子取一片滤纸片平贴于平板中央。

3) 分别用移液枪吸取 10 μL 小茴香精油、迷迭香精油、罗勒精油和百里香精油, 并滴加到滤纸片上, 每种精油设 3 个平行实验。同时设置一个只有菌悬液而不滴加精油的空白对照组, 并做好区分标记。待精油充分吸收后, 用封口膜封口, 再放入电热恒温培养箱中于 28 $^{\circ}\text{C}$ 温度条件下恒温培养 48 h, 采用十

字交叉法量取各抑菌圈的直径, 取平均值。

1.2.3 百里香精油最低抑菌浓度的测定

百里香精油最低抑菌浓度的测定操作如下: 用液体培养基将百里香精油采用对倍稀释法稀释成系列浓度, 每个浓度重复3次, 并做空白对照; 各试验浓度中, 分别加入0.1 mL菌悬液, 混匀; 将3种霉菌均置于28 °C培养箱中, 培养48 h后观察霉菌的生长情况, 以没有霉菌生长的最低浓度为精油的最低抑菌浓度 (minimal inhibitory concentration, MIC)^[11]。

1.2.4 百里香精油的GC-MS成分分析

采用气相色谱-质谱联用技术对百里香精油的成分进行分析。

1) 实验条件

色谱条件: 柱型号为VF-5ms, 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm; 进样口温度为300 °C; 分流比为100; 载气为He, 体积分数为99.999%; 流速为1 mL/min; 初始程序温度为60 °C, 然后以5 °C/min的速率升温至200 °C, 再以10 °C/min的速率升温至300 °C, 保持3 min。

质谱条件: 离子源为EI; 质量分析器为离子阱, 阱温为220 °C; 传输线温度为280 °C; 扫描方式为全扫描, 扫描范围为50~1 000 m/z。

数据库: 利用NIST05标准质谱库-计算机联机检索。

2) 样品处理及测定

取10 μL百里香精油, 并将其溶解到10 mL正己烷中, 进样1 μL进行GC-MS分析。利用NBS75K标准质谱库-计算机联机检索, 与质谱图集的标准谱图进行对比、复合, 同时参考国内外相关文献, 进行人工解析, 得到百里香精油中的各个化学成分。按面积归一化法进行成分含量分析, 分别计算各成分的相对质量分数。

1.2.5 百里香精油的GC定量分析

1) 实验条件

GC定量分析色谱条件与GC-MS成分分析中色谱条件一致。

2) 样品处理及测定

分别配制质量浓度为1 000 mg/L的百里香酚和香芹酚标准品溶液, 然后将两种单一组分标准样溶液按体积比为1:1的比例混合制成母液。将母液稀释为10, 20, 50, 100, 200 mg/L的溶液作为标样, 依次取1 μL进样, 进行气相色谱分析。分别记录两种成分在不同浓度时的出峰相对面积, 做峰面积随浓度变化的标准曲线, 求出回归方程。再取10 μL百里香精油并溶解到10 mL正己烷中, 取1 μL进样, 进行气相色谱分析。用外标法计算百里香酚和香芹酚在百里香

精油中的绝对含量。

2 结果与讨论

2.1 不同植物精油抑菌剂对草莓致病菌的抑制效果

草莓主要致病菌为灰霉和根霉, 为使选用的精油对果蔬的防腐保鲜具有广泛的适用性, 本实验增加黑曲霉作为筛选因素。在小茴香、迷迭香、罗勒和百里香4种常见的植物精油中, 通过滤纸片扩散法筛选出抑菌效果最强的作为天然植物保鲜剂。图1~3分别反映了4种植物精油对灰霉、根霉及黑曲霉的抑制效果, 每种精油的3个培养皿依次经体积分数为10%, 50%和100%的精油处理。

2.1.1 不同植物精油抑菌剂对灰霉的抑制效果

图1所示为不同植物精油抑菌剂对灰霉的抑制效果。

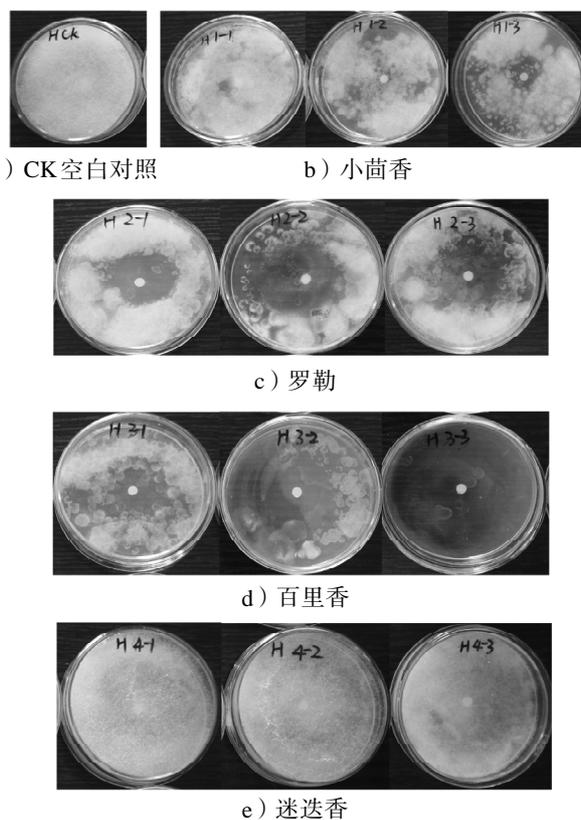


图1 不同植物精油抑菌剂对灰霉的抑制效果

Fig. 1 Inhibition effect of different essential oil bacteriostatic agents on grey mould

由图1可看出, 所选用的4种植物精油中, 百里香精油对灰霉的抑菌效果较为明显, 在其体积分数仅为10%时就出现抑菌圈, 经体积分数为50%处理时, 其抑菌圈直径达67.5 mm, 纯精油处理可达到完全不长菌的效果。对灰霉抑菌效果次之的是罗勒精油, 经体积分数为50%和纯精油处理时, 其抑菌效果相差不大, 抑菌圈直径均约为58.5 mm。小茴香精

油对灰霉的抑制效果不明显,只有在纯精油处理时才显现出很小的抑菌圈,直径约为10 mm。本实验中选用的迷迭香精油对灰霉几乎没有抑制作用,不论何种浓度的处理,都没有出现明显的抑菌圈。

可见,4种植物精油对灰霉的抑菌效果为百里香精油>罗勒精油>小茴香精油>迷迭香精油。

2.1.2 不同植物精油抑菌剂对根霉的抑制效果

图2所示为不同植物精油抑菌剂对根霉的抑制效果。

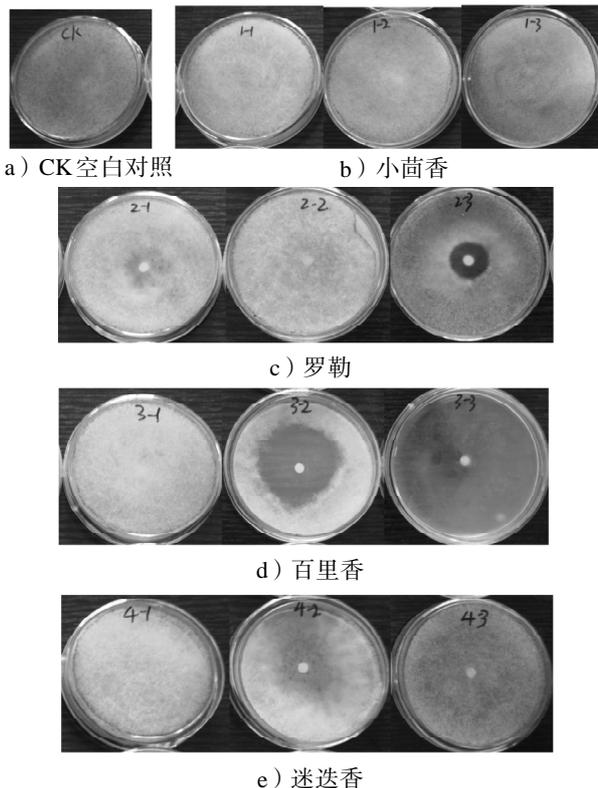


图2 不同植物精油抑菌剂对根霉的抑制效果
Fig. 2 Inhibition effect of different essential oil bacteriostatic agents on rhizopus

由图2可以看出,当精油体积分数较小时,4种植物精油均无法达到抑菌效果,没有明显的抑菌圈出现。随着精油体积分数的增大,对根霉抑制作用最为明显的是百里香精油,当其体积分数为50%时,其抑菌圈直径为42.5 mm,纯百里香精油可以完全抑制根霉的生长。而罗勒精油只有在体积分数为100%时才出现了抑菌圈,直径为21.8 mm。各浓度下的小茴香精油和迷迭香精油处理均未见明显的抑菌圈出现,表明其无明显的抑菌效果。由此可知,4种植物精油对根霉的抑菌效果为百里香精油>罗勒精油>小茴香精油>迷迭香精油。

2.1.3 不同植物精油抑菌剂对黑曲霉的抑制效果

图3所示为不同植物精油抑菌剂对黑曲霉的抑制效果。

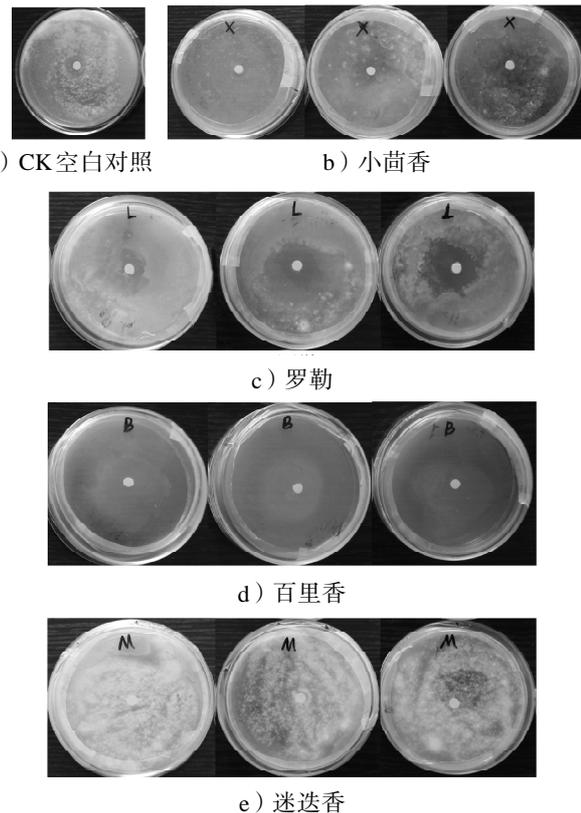


图3 不同植物精油抑菌剂对黑曲霉的抑制效果
Fig. 3 Inhibition effect of different essential oil bacteriostatic agents on aspergillus niger

由图3可看出,4种植物精油对黑曲霉的抑制效果总体上优于根霉和灰霉。其中百里香精油对黑曲霉有明显的抑菌作用,当以体积分数为100%的百里香精油处理时,可完全抑制黑曲霉的生长和繁殖,其抑菌圈直径达90 mm。当以体积分数为10%和50%的百里香精油处理时,也有一定的抑制作用,培养48 h后,培养皿上只出现了少量菌丝和零星菌落。罗勒精油的抑菌效果次之,有明显的抑菌圈出现,随着处理浓度增大,其抑菌圈直径大小依次为25.8, 34.2, 42.2 mm。小茴香精油也能在一定程度上抑制黑曲霉的繁殖,但没有出现严格意义上的抑菌圈,其抑菌效果仅表现为菌丝生长减缓。迷迭香精油对黑曲霉的生长没有明显的抑制作用,没有抑菌圈出现。所以,4种植物精油对黑曲霉的抑菌效果为百里香精油>罗勒精油>小茴香精油>迷迭香精油。

由以上抑菌实验结果与分析可以得知,选用的4种植物精油中,百里香精油表现出更为广谱高效的抑菌效果,且当使用体积分数为100%的精油处理时,百里香精油对灰霉、根霉和黑曲霉的抑制率都达到了100%。因此,在后续的草莓保鲜实验中,可以使用百里香精油作为天然植物抑菌剂,从而抑制其主要致病菌的生长繁殖,达到延长草莓货架寿命的

目的。迷迭香精油对于3种霉菌的抑制效果在文献中也有报道,在本实验中未出现与文献描述一致的情况,可能是使用的迷迭香精油主要抑菌成分含量过低导致的。后续实验仅围绕选定的百里香精油展开,探讨其最低抑菌浓度,进行主要抑菌成分分析等。

2.2 百里香精油最低抑菌浓度的测定

表1为百里香精油最低抑菌浓度的测定结果。

表1 百里香精油最低抑菌浓度

Table 1 The minimum inhibition concentration of thyme essential oil

菌种	浓度 / ($\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}$)					
	8	4	2	1	0.5	0.25
灰霉	-	-	-	+	++	+++
根霉	-	-	-	++	+++	+++
黑曲霉	-	-	-	+	+	++

注: - 不长菌; + 极少菌; ++ 大量菌; +++ 极大量菌。

如表1,本次实验将百里香精油稀释为6个浓度梯度: 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 。由表1所示结果可知,当精油浓度为1 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 时,培养皿中有少量菌落出现;当精油浓度为2 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 时,3种霉菌均没有菌落生长,达到了完全抑制的效果。因此,百里香精油对3种霉菌的最低抑菌浓度(MIC值)为2 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 。

2.3 百里香精油 GC-MS 成分分析

利用气相色谱-质谱联用技术对百里香精油进行成分分析,图4所示为实验所得百里香精油的气相色谱(GC)总离子流图。

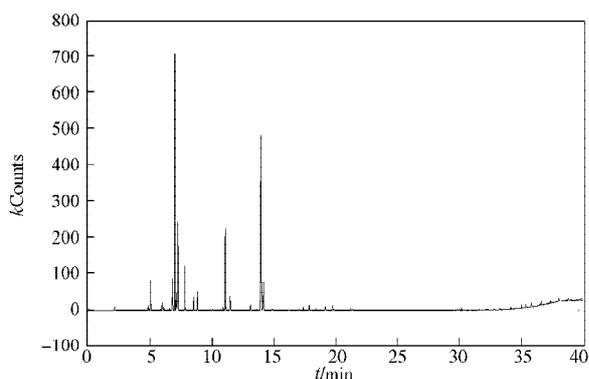


图4 百里香精油总离子流图

Fig. 4 GC chromatogram of thyme essential oil

利用NIST05标准质谱库-计算机联机检索,与质谱图集的标准谱图进行对照、复合,再结合有关文献,进行人工谱图解析,确认了百里香精油的47种主要化学成分,并按面积归一化法计算出各成分的相对质量分数,其成分检测结果见附表1。

由图4和附表1可得知,百里香精油的出峰时间集中在5~15 min,较大的峰分别出现在6.998, 11.101, 13.945 min,分别对应峰号9(对异丙基甲苯),相对质量分数为26.65%;峰号21(4-萜烯醇),相对质量

分数为10.26%;峰号27(百里香酚),相对质量分数为23.52%。其中百里香酚是百里香精油的主要抑菌成分,其分子结构式见图5。百里香酚的同分异构体香芹酚也具有抑菌作用,其分子结构式见图6,相对质量分数为3.76%。两者唯一的结构差异^[12]是百里香酚分子中,酚羟基和甲基间位、和异丙基邻位;在香芹酚分子中,酚羟基和甲基处于邻位、和异丙基间位。

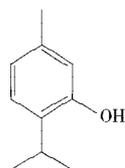


图5 百里香酚

Fig. 5 Thymol

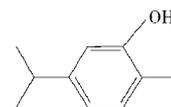


图6 香芹酚

Fig. 6 Carvacrol

2.4 百里香精油主要抑菌成分的GC定量分析

百里香酚和香芹酚是百里香精油中的主要抑菌成分,将百里香酚和香芹酚标准品稀释后GC进样,其出峰时间分别在13.945 min和14.182 min,这与百里香精油GC进样时出现的27号、28号峰相对应,这也进一步证明了这两种物质分别是百里香酚和香芹酚。总离子流图上的峰面积大小代表了该化学物质的相对含量,通过峰面积可以看出,实验中所用的百里香精油中,百里香酚的含量高于香芹酚。

将百里香酚和香芹酚标准品用正己烷稀释为10, 20, 50, 100, 200 mg/L 5个质量浓度,分别进样进行气相色谱分析。记录两种标准品在不同质量浓度时的出峰面积,并以质量浓度为横坐标,出峰面积为纵坐标,分别作百里香酚和香芹酚的浓度标准曲线(见图7和图8),其回归方程分别为:

$$y=7117.58+2285.92x, (R^2=0.9978);$$

$$y=2364.89+2027.07x, (R^2=0.9985).$$

稀释1000倍的百里香精油中,百里香酚的峰面积为422229,香芹酚的峰面积为58445。由标准曲线可算出百里香精油中百里香酚和香芹酚的绝对质量浓度,分别为181.5949, 27.6656 mg/mL。

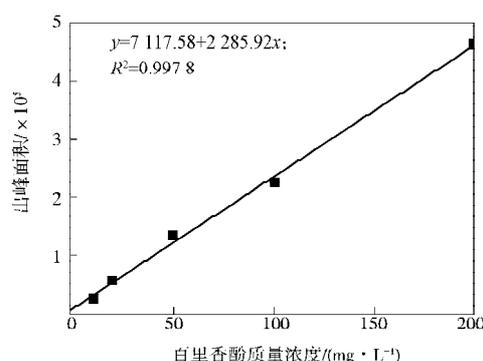


图7 百里香酚浓度标准曲线

Fig. 7 The standard curve of thymol concentration

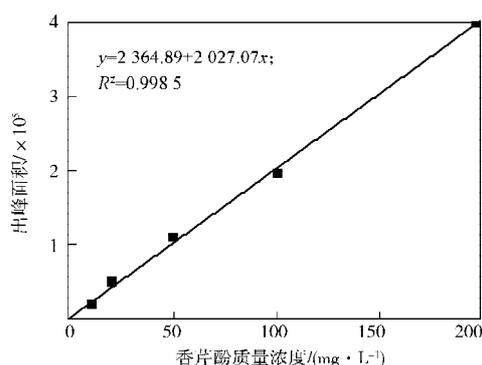


图8 香芹酚浓度标准曲线

Fig. 8 The standard curve of carvacrol concentration

3 结论

1) 针对草莓主要致病菌和其他水果的致病微生物中的灰霉、根霉和黑曲霉, 对小茴香、百里香、罗勒和迷迭香4种天然植物精油的抑菌活性进行了筛选, 得出百里香精油具有广谱高效的抑菌性能。进一步的测试结果表明, 百里香精油对灰霉、根霉和黑曲霉的最低抑菌浓度, 均为2 $\mu\text{L/L}$ 。

2) 采用GC-MS和GC技术对百里香精油进行成分分析和主要抑菌成分的定量分析。得到百里香精油的主要抑菌成分为百里香酚和香芹酚, 其相对质量分数分别为23.52%和3.76%。其中百里香酚的绝对质量浓度为181.5949 mg/mL, 香芹酚的绝对质量浓度为27.6656 mg/mL。

参考文献:

- [1] [佚名]. 中国食物成分表[EB/OL]. [2015-12-21]. http://wenku.baidu.com/link?url=e4YJIDnTuqPO2okO1aCB_nZqtSPZ9GNm0Qu6-0dzgsO8DkV9Agayk52QDNpOAJYj0YnSHrBYuUog6DCEO7RC0ZUGdDSRhJYghBptgqT5E3.
- [2] [Anon]. The Table of Chinese Food Composition[EB/OL]. [2015-12-21]. http://wenku.baidu.com/link?url=e4YJIDnTuqPO2okO1aCB_nZqtSPZ9GNm0Qu6-0dzgsO8DkV9Agayk52QDNpOAJYj0YnSHrBYuUog6DCEO7RC0ZUGdDSRhJYghBptgqT5E3.
- [3] 杨福馨. 农产品保鲜包装技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 100-105.
YANG Fuxin. Preservation and Packaging Technology of Agricultural Products[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011: 100-105.
- [4] 周晓薇, 王静, 顾镍, 等. 植物精油对果蔬防腐保鲜作用研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 427-430.
ZHOU Xiaowei, WANG Jing, GU Nie, et al. Research Progress in Preservative Effect of Plant Essential Oil on Fruits and Vegetables[J]. Food Science, 2010, 31(21): 427-430.
- [5] 张媛媛, 李艳利, 李书国. 植物源食品防腐剂抑菌机理和效果及在食品保鲜中的应用[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(4): 48-53.
ZHANG Yuanyuan, LI Yanli, LI Shuguo. Antibacterial Mechanism and Effects of Botanical Food Preservatives and Their Application in Food Fresh-Keeping[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2014, 22(4): 48-53.
- [6] 段伟丽, 包怡红. 植物精油在食品保鲜中的应用研究[J]. 中国林副特产, 2015(1): 94-97.
DUAN Weili, BAO Yihong. Research Progress in Preservative Effect of Plant Essential Oil on Food[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2015(1): 94-97.
- [7] 刘芳, 阳盼, 王翀, 等. 利用植物源提取物防治草莓灰霉病的研究概况[J]. 农药, 2014, 53(7): 473-477.
LIU Fang, YANG Pan, WANG Chong, et al. Overview of the Use of Botanical Extracts Against Strawberry Gray Mold[J]. Agrochemicals, 2014, 53(7): 473-477.
- [8] REDDY M V B, ANGERS P, GOSELIN A, et al. Characterization and Use of Essential Oil from Thymus Vulgaris Against Botrytis Cinerea and Rhizopus Stolonifer in Strawberry Fruits[J]. Phytochemistry, 1998, 47(8): 1515-1520.
- [9] 陈丽艳, 王昶. 百里香精油的化学成分分析及其抗菌活性[J]. 黑龙江医药, 2009, 22(5): 636-637.
CHEN Liyan, WANG Chang. Analysis of Chemical Composition of Thymus Essential Oil and Its Antibacterial Activity[J]. Heilongjiang Medicine Journal, 2009, 22(5): 636-637.
- [10] 王建清, 付振喜, 金政伟, 等. 肉桂壳聚糖涂膜处理对草莓保鲜的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 34-37.
WANG Jianqing, FU Zhenxi, JIN Zhengwei, et al. Study of Strawberry Preservation with Cinnamon Oil and Chitosan Coating[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 34-37.
- [11] REDDY M V B, ANGERS P, GOSELIN A, et al. Characterization and Use of Essential Oil from Thymus Vulgaris Against Botrytis Cinerea and Rhizopus Stolonifer in Strawberry Fruits[J]. Phytochemistry, 1998, 47(8): 1515-1520.
- [12] 许志刚. 普通植物病理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 84-87.
XU Zhigang. General Plant Pathology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 84-87.
- [13] 樊明涛, 李亚琴. 百里香提取物抑菌作用影响因素的研究[J]. 江苏理工大学学报(自然科学版), 2001, 22(5): 13-16.
FAN Mingtao, LI Yaqin. Studies on the Factors Affecting Antibacterial Action of Thyme Extraction Materials[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Natural Science), 2001, 22(5): 13-16.

(责任编辑: 廖友媛)

附表 1 百里香精油的主要化学成分
Attached table 1 Chemical constituents of thyme oil

峰号	化合物名称	保留时间 / min	化合物 分子式	相对质量 分数 / %
1	3- Thujene	4.849	C ₁₀ H ₁₆	0.538
2	(1R)-(+)- α -蒎烯	5.025	C ₁₀ H ₁₆	2.801
3	2,2- 二甲基 -3- 亚甲基二环[2,2,1]庚烷	5.394	C ₁₀ H ₁₆	0.063
4	(1R)-2,6,6- 三甲基二环[3,3,1]庚 -2- 烯	5.968	C ₁₀ H ₁₆	0.575
5	beta- 蒎烯	6.085	C ₁₀ H ₁₆	0.336
6	1- 异丙基 -4- 甲基环己烷	6.263	C ₁₀ H ₂₀	0.040
7	2- 甲基 -5-(1- 甲基乙基)-1,3- 环己二烯	6.560	C ₁₀ H ₁₆	0.227
8	1- 甲基 -4-(1- 甲基亚乙基)环己烯	6.814	C ₁₀ H ₁₆	3.156
9	对异丙基甲苯	6.998	C ₁₀ H ₁₄	26.650
10	1- 甲基(1- 甲基乙烯基)环己烯	7.103	C ₁₀ H ₁₆	1.974
11	桉叶油醇	7.228	C ₁₀ H ₁₈ O	9.914
12	3- 蒎烯	7.808	C ₁₀ H ₁₆	4.811
13	4- Carene(7CI,8CI)	8.510	C ₁₀ H ₁₆	1.549
14	2- 甲基 -1- 苯丙烯	8.644	C ₁₀ H ₁₂	0.110
15	芳樟醇	8.821	C ₁₀ H ₁₈ O	2.128
16	(3E,5E)-2,6- Dimethyl- 1,3,5,7- octatetrene	9.250	C ₁₀ H ₁₄	0.028
17	Bicyclo[2.2.1]hept-2- en-7- ol	10.061	C ₇ H ₁₀ O	0.148
18	Cyclohexanol,2- methyl-5-(1- methylethenyl)-, (1R,2S,5S)-rel-	10.239	C ₁₀ H ₁₈ O	0.028
19	龙胆	10.694	C ₁₀ H ₁₈ O	0.176
20	2- 蒎醇	10.912	C ₁₀ H ₁₈ O	0.359
21	4- 蒎烯醇	11.101	C ₁₀ H ₁₈ O	10.260
22	2-(4- 甲基苯基)丙 -2- 醇	11.249	C ₁₀ H ₁₄ O	0.055
23	alpha- 松油醇	11.484	C ₁₀ H ₁₈ O	1.831
24	alpha- 甲基肉桂醛	12.034	C ₁₀ H ₁₀ O	0.066
25	(Z)-3,7- 二甲基 -1,3,6- 十八烷三烯	12.785	C ₁₀ H ₁₆	0.071
26	2,5- 二甲基 -3- 己炔 -2,5- 二醇	13.122	C ₈ H ₁₄ O ₂	0.659
27	百里香酚	13.945	C ₁₀ H ₁₄ O	23.520
28	香芹酚	14.182	C ₁₀ H ₁₄ O	3.757
29	对仲丁基苯酚	14.552	C ₁₀ H ₁₄ O	0.020
30	3- 甲基 -2- 环己烯 -1- 醇	14.868	C ₇ H ₁₂ O	0.115
31	α - 衣兰油烯	16.115	C ₁₅ H ₂₄	0.048
32	4,7- Methanoazulene,1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro- 1,4,9,9- tetramethyl-	17.183	C ₁₅ H ₂₄	0.041
33	1- 石竹烯	17.401	C ₁₅ H ₂₄	0.388
34	Azulene,1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydro-1,4- dimethyl-7-(1- methylethenyl)-, (1R,3aR,4R,7R)-	17.875	C ₁₅ H ₂₄	1.138
35	(-)- spathulenol	18.034	C ₁₅ H ₂₄ O	0.087
36	α - 石竹烯	18.311	C ₁₅ H ₂₄	0.053
37	香树烯	18.410	C ₁₅ H ₂₄	0.244
38	d- Cadinene	18.667	C ₁₅ H ₂₄	0.704
39	1,2,3,4- 四氢 -1,1,6- 三甲基萘	19.893	C ₁₃ H ₁₈	0.191
40	a- Cubebene	20.131	C ₁₅ H ₂₄	0.041
41	Espatulenol	21.239	C ₁₅ H ₂₄ O	0.208
42	[1R-(1R*,4R*,6R*,10S*)]-4,12,12- 三甲基 -9- 亚甲基 -5- 氧杂三环[8.2.0.0.4,6]十二烷	21.377	C ₁₅ H ₂₄ O	0.075
43	[1S-(1 α ,4 α ,7 α)]-1,2,3,4,5,6,7,8- 八氢化 -1,4- 二甲基 -7-(1- 甲基乙烯基)奥	21.457	C ₁₅ H ₂₄	0.046
44	Naphthalene	21.674	C ₁₅ H ₂₄	0.086
45	2-Naphthalenemethanol,2,3,4,4a,5,6,7,8-octahydro- a,a,4a,8- tetramethyl-, (2R,4aS,8R)-	21.931	C ₁₅ H ₂₆ O	0.023
46	(+)- α - 长叶蒎烯	22.387	C ₁₅ H ₂₄	0.023
47	2,7- Cyclodecadien- 1- ol,1,7- dimethyl- 4- (1- methylethyl)-	22.723	C ₁₅ H ₂₆ O	0.023