

基于 Modified Gompertz 研究食品模型中肉桂精油的抑菌活性

郑锋, 王一非, 张赟彬, 陆杨帆, 包明月, 李维迪

(上海应用技术学院香料香精技术与工程学院, 上海 201418)

摘要: 香辛料精油可以有效地抑制微生物生长, 延缓食品腐败变质, 但体内应用时其抑菌活性常受到食品成分的影响。本文以最低抑菌浓度(MIC)和抑菌圈直径(DIZ)为指标, 发现肉桂、丁香、大蒜、生姜、百里香、鼠尾草、迷迭香、芥末和牛至 9 种香辛料精油中肉桂精油是对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌抑菌活性均最高的精油, MIC 分别为 250 $\mu\text{L/L}$ 和 500 $\mu\text{L/L}$, DIZ 分别为 31.8 ± 1.7 mm 和 30.5 ± 0.5 mm。通过 Modified Gompertz 生长模型, 研究肉桂精油在蛋白质和碳水化合物两类食品模型中对两种受试细菌延滞期(λ)和最大比生长速率(μ_{max})的影响。结果显示: 蛋白质和碳水化合物对肉桂精油抑菌活性均有加强作用; 大肠杆菌在牛肉和马铃薯模型(含有 1/4MIC 肉桂精油)中的 λ 较 Luria-Bertani 培养基分别延长 1.76 倍和 2.51 倍; 同样模型中, 金黄色葡萄球菌在 24 h 内生长完全受到抑制。上述结果表明肉桂精油具有在蛋白质或碳水化合物成分高的食品中推广应用的潜力。

关键词: 香辛料; 抑菌; 蛋白质; 碳水化合物; Modified Gompertz 模型

文章编号: 1673-9078(2016)6-188-193

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.6.030

Antimicrobial Activity of Cinnamon Oil in Foods Based on Modified Gompertz Model

ZHENG Feng, WANG Yi-fei, ZHANG Yun-bin, LU Yang-fan, BAO Ming-yue, LI Wei-di

(School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: Essential oils from spices can effectively inhibit the growth of microorganisms and delay food spoilage; however, the antimicrobial activities of spice oils are often affected by food ingredients, during *in vivo* application. In this study, minimum inhibitory concentration (MIC) and diameter of inhibition zone (DIZ) were used as the indices. Cinnamon, clove, garlic, ginger, thyme, sage, rosemary, mustard, and oregano oil were used as the study objects, and cinnamon oil was found to have the strongest antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The corresponding MIC values were 250 $\mu\text{L/L}$ and 500 $\mu\text{L/L}$, respectively; the corresponding DIZ values were 31.8 ± 1.7 mm and 30.5 ± 0.5 mm, respectively. The modified Gompertz model for bacterial growth was employed to study the effects of cinnamon oil on the lag phase (λ) and the maximum specific growth rate (μ_{max}) of the two test bacteria in the protein- and carbohydrate-based model foods. The results showed that proteins and carbohydrates exhibited a strengthening effect on the antibacterial activity of cinnamon oil. At 1/4 MIC of cinnamon oil, the lag phases of *E. coli* were increased by 1.76 fold and 2.51 fold in beef broth and potato broth compared to that in Luria-Bertani broth, respectively. In the same models, the growth of *S. aureus* was completely inhibited. The above results suggest that cinnamon oil has the potential to be widely applied in foods containing a high level of protein or carbohydrate.

Key words: spices; antimicrobial; protein; carbohydrate; modified Gompertz model

香辛料精油天然安全、来源广泛、抑菌活性高, 具有巨大的应用前景, 已经成为人们关注的热点^[1]。而当前国内外关于香辛料精油的研究主要集中于报道

收稿日期: 2015-08-15

基金项目: 上海市部分地方院校能力建设计划项目 (13120503300)

作者简介: 郑锋 (1990-), 男, 在读研究生, 研究方向: 食品微生物与食品保藏技术研究

通讯作者: 王一非 (1981-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品微生物与食品保藏技术研究

各品种精油的抑菌效果和初探抑菌机理。Tarek 等人^[2]发现肉桂、茴香、薄荷等 9 种埃及精油对革兰氏阳性菌(*Staphylococcus aureus*, *Listeria innocua*), 革兰氏阴性菌(*Salmonella Typhi*, *Pseudomonas aeruginosa*)和真菌(*Aspergillus niger*, *Candida albicans*)有较好的抑菌作用。国内学者 Liu 等人^[3]发现肉桂和丁香精油能有效抑制革兰氏阴性菌 (*Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *P. aeruginosa*, *S. choleraesuis*, *Pediococcus halophilus*)和革兰氏阳性菌(*S. aureus*, *L.*

monocytogenes, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*)。从机理方面, 本课题组发现肉桂精油的主要成分肉桂醛可以破坏细菌细胞膜, 使蛋白质和核酸溶出; 并降低菌体膜电位, 影响细菌代谢活性^[4]。

这些研究都极大地促进了香辛料精油保鲜剂的商品化进程。然而精油应用于食品保鲜时, 其抑菌性常会受到食品中基质(蛋白质、碳水化合物和脂肪)含量、水分活度、酸碱度等因素的影响^[5]。Gutierrez 等人^[6]则发现牛至和百里香精油应用于高蛋白(或者低脂肪、低碳水化合物)食品中, 对食品腐败菌和致病菌的抑制作用更加高效。也有研究发现, 薄荷和月桂精油分别用于猪肉糜和香肠保鲜, 仍可以有效的降低其中微生物的数量^[7,8]。反之, 食品成分(蛋白质和者脂肪)可能与植物精油发生作用, 对细菌起到保护作用, 使其免于精油的作用; 食品营养丰富, 可加快细菌修复损伤, 使精油抑菌活性相对降低^[1,6]。香芹酚, 伞花烃和香草精油会受到食品中脂肪的影响而降低抑菌活性^[9,10]。Uhart 等人^[11]发现, 当生姜、大蒜和郁金香精油用于牛肉糜保鲜时, 精油对沙门氏菌的抑制活性极大程度的降低。

中国传统食品通过添加香辛料来增加风味、延缓腐败的方法具有悠久的历史。目前国内外在研究食品基质对香辛料精油抑菌活性影响这方面研究都较少。本文拟从常见的香辛料精油中筛选出对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌抑菌活性较高的精油; 最后构建牛肉和马铃薯食品模型, 通过浊度法并套用 Modified Gompertz 生长模型, 计算比较延滞期(λ)和最大比生长速率(μ_{max}), 探究食品中两类主要成分蛋白质和碳水化合物对香辛料精油抑菌活性的影响。为香辛料精油应用于食品保鲜提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

1.1.1 试剂

精油: 肉桂、丁香、大蒜、生姜、百里香、鼠尾草、迷迭香、芥末和牛至均购于甘肃省徽县芳香植物开发有限责任公司, 封装于褐色玻璃瓶, 4 °C 冷藏。

无水乙醇(化学纯)和吐温 80(化学纯)均购于上海国药集团药业股份有限公司。

1.1.2 菌种和培养基

大肠杆菌(*Escherichia coli*, CICC20729)和金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*, CICC23478)均购于中国工业微生物菌种保藏中心, 4 °C 冷藏。使用时用 LB 液体培养基活化; 通过浊度法, 将菌液用无菌的

LB 培养基稀释, 调节 OD₆₀₀ 至 0.1, 此时菌悬液浓度约为 1×10^8 CFU/mL, 待用。

参照 Silva 等人的方法制备食品模型(food model media)^[12]。牛肉模型: 取绞碎鲜牛肉 50 g 于 500 mL 蒸馏水中, 加热至沸腾, 保持微沸半小时, 冷却后过滤至澄清。再用 LB 液体培养基稀释牛肉模型, 配置成 25%、50%、75% 和 100% 的牛肉模型。121 °C 高压灭菌 20 min, 备用。马铃薯模型: 取新鲜马铃薯 150 g, 切碎后置于 500 mL 蒸馏水中, 加热至沸腾, 保持微沸半小时, 冷却后过滤至澄清。再用 LB 液体培养基稀释牛肉模型, 配置成 25%、50%、75% 和 100% 的马铃薯模型。121 °C 高压灭菌 20 min, 备用。

1.1.3 主要仪器

SpectraMax M2 多功能酶标仪, 美谷分子仪器(上海)有限公司; ME204E 电子天平, 上海精天电子仪器有限公司; LI15-2 生化培养箱, 美国谢尔顿制造公司; LDZM 立式压力蒸汽灭菌锅, 上海申安医疗器械厂; SW-CJ-2FD 超净细菌操作台, 苏州净化设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 最低抑菌浓度(Minimum inhibitory concentration, MIC)的测定

采用两倍稀释法测定精油对细菌的 MIC^[4]。将无水乙醇和吐温 80 以质量比 1:1 混合, 用于稀释纯精油。取 50 μ L 不同稀释度的精油加到 5 mL LB 液体培养基中, 使得试管中精油的最终浓度为 8000、4000、2000、1000、500、250、125 μ L/L, 最后加入 50 μ L 菌悬液, 混合均匀后于 37 °C 培养 24 h。肉眼观察, 没有细菌生长的最低浓度为 MIC。对照 1 为不添加精油处理, 对照 2 为添加 50 μ L 无水乙醇-吐温 80 混合物处理。

1.2.2 琼脂扩散法测定抑菌圈直径(Diameter of inhibition zone, DIZ)

采用琼脂扩散法测定精油对细菌的抑菌活性^[6]。取 100 μ L 菌悬液, 涂布于 NA 平板。然后用无菌打孔器在平板中间打直径 6.5 mm 的孔, 并往孔中加 20 μ L 纯精油。将平板放置在 4 °C 使精油扩散 2 h, 最后将平板放置在 37 °C 下培养 48 h 后测量抑菌圈直径。无菌水处理作为对照。

1.2.3 动态杀菌曲线

通过 MIC 和 DIZ, 选取抑菌活性较高的精油, 研究 MIC, 1/2MIC 和 1/4MIC 浓度的精油对受试细菌生长生存的影响^[12]。取 50 μ L 不同稀释度的精油加到 5 mL LB 液体培养基中, 使得试管中精油的最终浓度为 MIC, 1/2MIC 和 1/4MIC, 最后加入 50 μ L 菌悬液,

混合均匀后于 37 °C 培养。于 0、1、2、3、5 h，分别用生理盐水稀释($10^{-1} \sim 10^{-5}$)，最后取 100 μ L 菌液，涂布于 PCA 平板。37 °C 下培养 24 h 后计数。

1.2.4 蛋白质对肉桂精油抑菌活性的影响

参照 Gutierrez 等人^[6,14]的方法：通过酶标仪获取细菌生长信息，绘制生长曲线，拟合 Modified Gompertz 模型，最后比较延滞期(λ)和最大比生长速率(μ_{max})研究蛋白质对肉桂精油抑菌活性的影响。具体步骤如：分取 50 μ L 乙醇稀释的肉桂精油加到 5 mL 不同比例的牛肉模型中，使得试管中肉桂精油的最终浓度为 1/4MIC，接着加入 50 μ L 菌悬液，混合均匀后于 37 °C 培养。不添加精油作为阳性对照，添加精油而不添加菌悬液作为阴性对照。最后，每小时通过酶标仪，读取 600 nm 下的吸光度，连续检测 24 h。

1.2.5 碳水化合物对肉桂精油抑菌活性的影响

参照 Gutierrez 等人^[6,14]的方法研究碳水化合物对肉桂精油抑菌活性的影响。方法同上。

1.3 实验重复性和数据统计

所有试验重复 1 次，每次处理 3 个平行。所有试验数据均以平均值(mean) \pm 标准差(sd)表示。采用 SAS 8.0 软件进行差异显著性分析($p < 0.05$)。数据图均有 Origin 8.0 绘制。基于试验细菌的生长数据，用 Oringin 软件分析，套用 Modified Gompertz 生长模型进行 S 形曲线拟合，计算延滞期(λ)和最大比生长速率(μ_{max})。

2 结果与分析

2.1 精油抑菌活性：MIC

表 1 九种香辛料精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的 MIC 值

Table 1 MIC values of nine spice oils against *E. coli* and *S. aureus*.

| 精油 | aureus | |
|-----|------------------------------------|--------------------------------------|
| | <i>E. coli</i> MIC/(μ L/L) | <i>S. aureus</i> MIC/(μ L/L) |
| MUO | ND | ND |
| GIO | ND | 8000 |
| SAO | 8000 | 8000 |
| RMO | 8000 | 8000 |
| ORO | 4000 | 4000 |
| TYO | 4000 | 1000 |
| GAO | 2000 | 1000 |
| CLO | 500 | 500 |
| CIO | 250 | 500 |

注：ND，未确定；MUO，芥末精油；GIO，生姜精油；SAO，鼠尾草精油，RMO，迷迭香精油；ORO，牛至精油，

TYO，百里香精油；GAO，大蒜精油；CLO，丁香精油；CIO，肉桂精油。

采用两倍稀释法测定精油对细菌的 MIC，结果如表 1。肉桂精油对试验细菌的抑菌作用最好，丁香精油次之；肉桂精油对大肠杆菌的 MIC 为 250 μ L/L，对金黄色葡萄球菌的 MIC 为 500 μ L/L；丁香精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的 MIC 值均为 500 μ L/L。值得注意的是，国外 Calo 和 Silva 等人^[5,12]报道迷迭香、鼠尾草和牛至精油具有较好的抑菌效果，而在本实验中效果一般，迷迭香、鼠尾草精油对两种受试细菌的 MIC 均为 8000 μ L/L，牛至精油对两种受试细菌的 MIC 均为 4000 μ L/L。存在如此差异的原因是精油产地、品种和提取工艺等因素的影响，使其中主要抑菌成分含量发生变化^[1]。

2.2 精油抑菌活性：抑菌圈

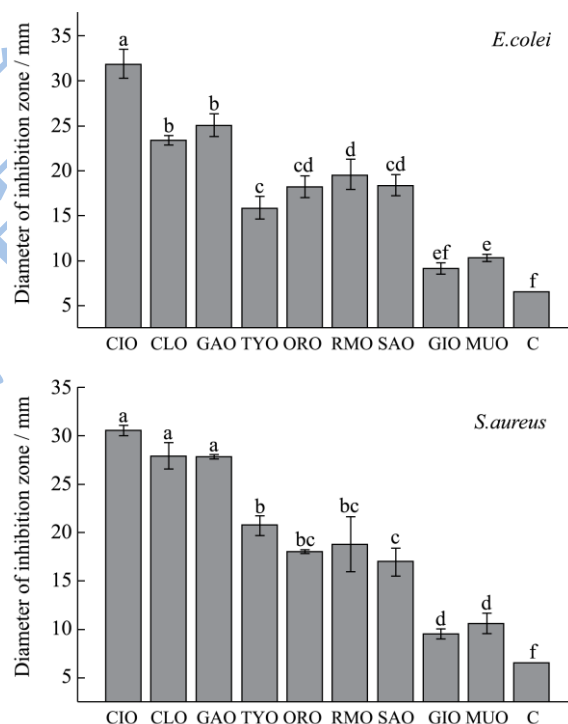


图 1 9 种香辛料精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果 (琼脂扩散法)

Fig.1 Inhibitory effects of nine spice oils against *E. coli* and *S. aureus* (agar diffusion method)

注：MUO，芥末精油；GIO，生姜精油；SAO，鼠尾草精油，RMO，迷迭香精油；ORO，牛至精油，TYO，百里香精油；GAO，大蒜精油；CLO，丁香精油；CIO，肉桂精油。

抑菌圈直径通过琼脂扩散法测定，结果如图 1。肉桂精油对大肠杆菌的抑制作用最好，抑菌圈直径为 31.8 ± 1.7 mm (如图 2)。丁香和大蒜精油次之。而生姜精油抑菌活性最弱，抑菌圈直径仅为 9.1 ± 0.6 mm，

和对照组(5.0±0.0)没有显著性差异($p < 0.05$)。所有精油对金黄色葡萄球菌的都有抑制作用。肉桂、丁香和大蒜精油的抑菌活性最强, 生姜和芥末精油的抑菌活性最弱。其中肉桂精油对金黄色葡萄球菌抑菌圈直径为 30.5±0.5 mm (如图 2), 这与肉桂醛对金黄色葡萄球菌抑菌圈直径(29.0±1 mm)相近^[4]。

MIC 和 DIZ 实验的结果总体趋势相似, 都显示肉桂精油的抑菌效果最好。下一步选取肉桂精油, 研究其动态杀菌效率和应用于食品模型时的抑菌活性。

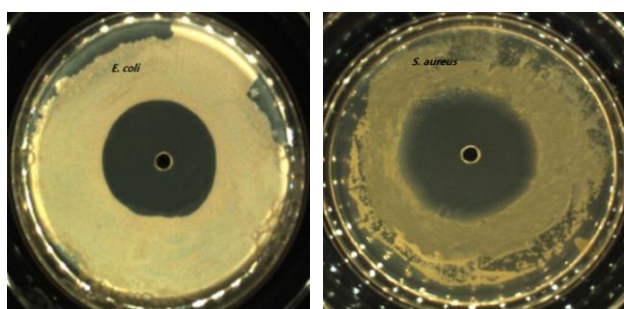


图 2 肉桂精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌圈

Fig.2 Inhibition zones of cinnamon oil against *E.coli* and *S. aureus*

2.3 动态杀菌曲线

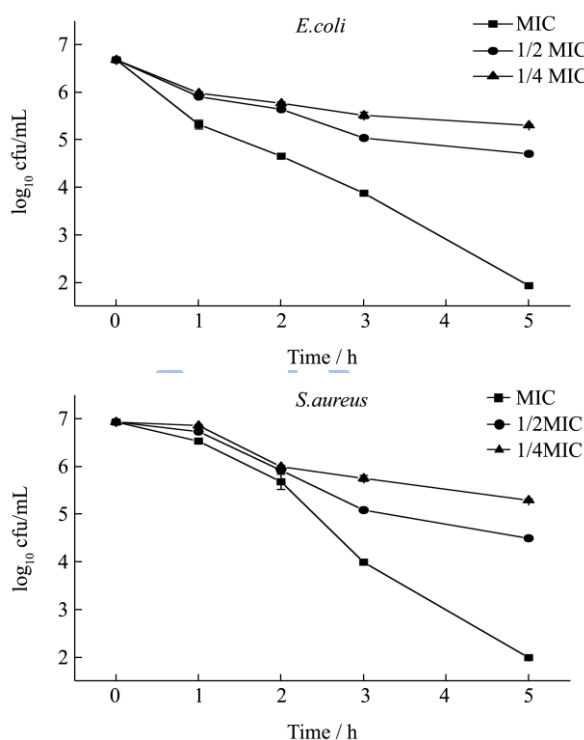


图 3 肉桂精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的杀菌动力学曲线

Fig.3 Survival profiles of *E.coli* and *S. aureus* exposed to different amounts of cinnamon oil

图 3 所示为 MIC、1/2MIC 和 1/4MIC 浓度肉桂精油对受试细菌的杀菌动力学曲线。大肠杆菌在 MIC 浓度下, 1 h 内失活 90% 以上的细菌, 在 5 h 后细菌降低到 2lg 以下; 在 1/2MIC 和 1/4MIC 浓度下逐渐死亡, 3 h 后肉桂精油杀死约 90% 的细菌, 此后细菌适应环境, 菌落数稳定于 5lg。Silva 等人^[12]指出 1/2MIC 和 1/4MIC 浓度精油可以抑制细菌的生长, 但不会完全杀死细菌, 为亚致死浓度。同样, 金黄色葡萄球菌在不同精油浓度下显示出相似的杀菌曲线, 相比大肠杆菌, 前 2 h 的杀菌效率较低。推测大肠杆菌的细胞壁则是由薄薄多层结构: 脂蛋白层、肽聚糖层、脂多糖层和磷脂层; 而金黄色葡萄球菌的细胞壁是一层厚而致密的肽聚糖和磷壁酸组成。肉桂精油可通过破坏细菌细胞壁和细胞膜, 使细菌失活^[4], 因此细胞壁结构的不同会导致杀菌效率的差异。

2.4 蛋白质对肉桂精油抑菌活性的影响

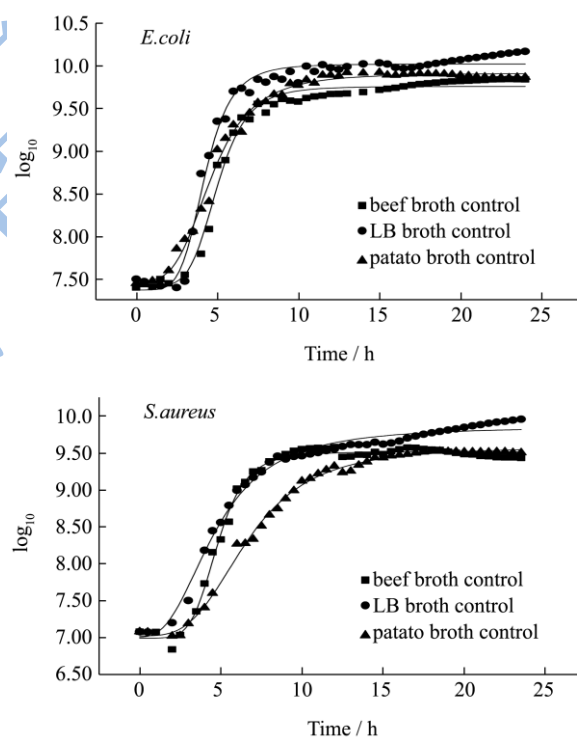


图 4 受试细菌在 LB 培养基、牛肉模型和马铃薯模型中的生长曲线

Fig.4 Growth curves of *E.coli* and *S. aureus* in LB, beef and potato broth for 24 h at 37 °C

选取蛋白质含量高的牛肉模型, 研究蛋白质对肉桂精油抑菌活性的影响^[6]。观察图 4 和表 2 可知, 大肠杆菌在牛肉模型和 LB 液体培养基中, 细菌的生长情况没有显著差别, 延滞期分别为 3.22 和 2.78 h。延滞期略长推测是由于在牛肉模型的大分子成分多, 细

菌需要较多时间进行分解^[1]。同样，对于金黄色葡萄球菌，在牛肉模型比 LB 液体培养基中延滞期长。相对于 LB 培养基，尽管用牛肉模型大分子物质多，使延滞期延长，但牛肉模型含有细菌生长必要的营养，和 LB 培养基一样，可以用于培养细菌，不会影响细菌生长。

观察在 LB 培养基、牛肉模型和马铃薯模型中的添加亚致死浓度肉桂精油对细菌的影响，结果如图 5 和表 2 所示。在 25% 和 50% 的牛肉模型中，大肠杆菌的延滞期为 3.18 h 和 2.28 h 略与小于对照 LB 培养基的 3.48 h；从最大比生长速率来看，25% 和 50% 的牛肉模型中的 $0.50 \log_{10}/h^{-1}$ 和 $0.43 \log_{10}/h^{-1}$ 都小于对照组的 $0.58 \log_{10}/h^{-1}$ 。值得注意的是，100% 牛肉模型的延滞期为 6.14 h，显著长于任何实验组；最大比生长速率也是降到了最低的 $0.28 \log_{10}/h^{-1}$ 。同样，对于金黄色葡萄球菌而言，在 25%、50% 牛肉模型和 LB 培养基中的生长相似，肉桂精油抑菌作用没有受到影响。然而在 100% 牛肉模型中（含有 1/4MIC 的肉桂精油）的金黄色葡萄球菌在 24 h 内都没有进入指数期，生长完全受到抑制。

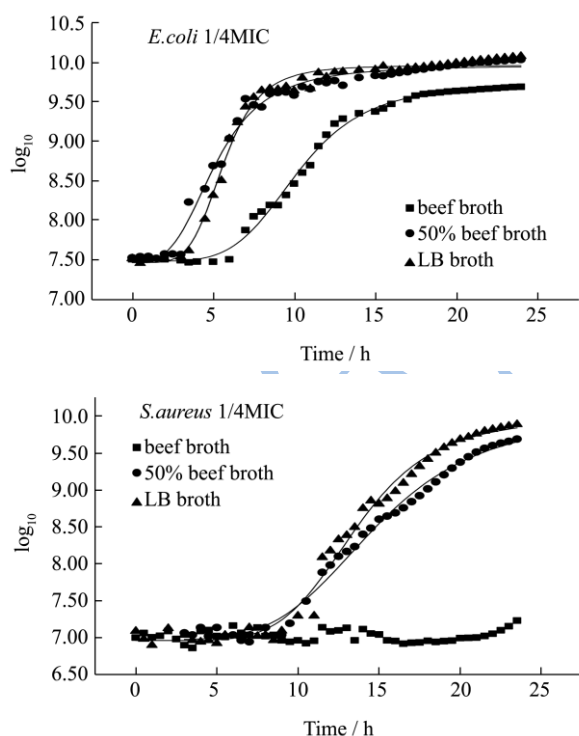


图 5 大肠杆菌和金黄色葡萄球菌在不同浓度的牛肉模型中的生长曲线

Fig.5 Growth curves of *E.coli* and *S. aureus* in three different media containing 1/4 MIC amount of cinnamon oil for 24 h at 37 °C

实验结果显示牛肉模型中高含量的蛋白质使肉桂精油的抑菌活性增强，尤其是对金黄色葡萄球菌的抑

制作用。于此结果相同，Gutierrez 等人^[6]发现由于蛋白胨具有疏水性，使精油更好地溶解于牛肉模型中，从而提高了百里香和牛至精油对 *L. monocytogenes* 的抑制作用。相反，Kyung^[13]指出葱属植物精油用于高蛋白食品时，蛋白质会和蒜素（精油主要抑菌物质）等具有高结合力的物质成键，使精油的抑菌活性降低。

2.5 碳水化合物对肉桂精油抑菌活性的影响

为探索碳水化合物对肉桂精油抑菌活性的作用，参考 Gutierrez 等人^[14]，制备了富含淀粉的马铃薯模型。结果见图 4 和表 2：大肠杆菌和金黄色葡萄球菌在 LB 液体培养基的最大比生长速率分别为 0.87 ± 0.06 和 $0.46 \pm 0.05 \log_{10}/h^{-1}$ ，均大于马铃薯模型中的 0.51 ± 0.06 和 $0.35 \pm 0.04 \log_{10}/h^{-1}$ 。细菌在马铃薯模型中的生长较缓慢，但总整体来看，细菌仍然可以在其中很好的生长。

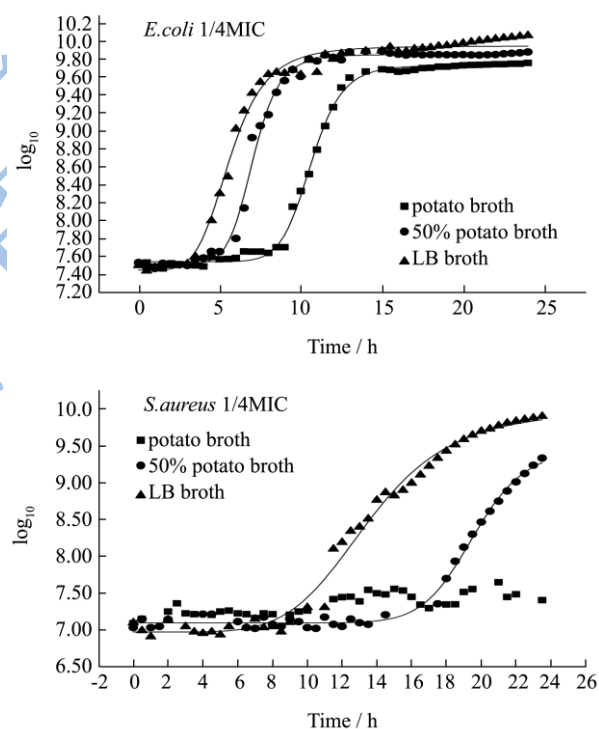


图 6 大肠杆菌和金黄色葡萄球菌在马铃薯模型中的生长曲线

Fig.6 Growth curves of *E.coli* and *S. aureus* in three different media containing 1/4 MIC amount of cinnamon oil for 24h at 37 °C

图 6 和表 2 所示，为细菌在添加了亚致死量的肉桂精油马铃薯模型和 LB 培养基中的生长状况。在 25% 的马铃薯模型中，大肠杆菌的延滞期为 3.58 h 与对照 LB 培养基的 3.48 相近。50% 和 100% 马铃薯模型中延滞期分别延长到 5.46 h 和 8.72 h，马铃薯模型开始表现出对肉桂精油抑菌活性的增强作用。对于金黄色葡萄球菌而言，在 25% 和 50% 的马铃薯模型中，细

菌的延滞期为 12.27 h 和 16.61 h 都长于对照 LB 培养基的 8.82 h。同 100% 牛肉模型一样, 在 100% 马铃薯模型中的金黄色葡萄球菌在 24 h 内都没有进入指数期, 生长完全受到抑制。

碳水化合物对精油抑菌活性的影响作用不如蛋白质和脂肪, 一般对抑菌性无影响^[1]。但实验发现马铃薯模型中的淀粉可以增强肉桂精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制作用。值得注意的是, Gutierrez 等人^[14]发现在高浓度的碳水化合物食品模型中 *L. monocytogenes* 的延滞期缩短, 说明百里香和牛至精油对 *L. monocytogenes* 抑菌活性受到碳水化合物的削弱。此外, 还有学者发现木薯淀粉对保鲜剂的抑菌活性也有负面影响^[6]。

表 2 受试细菌的延滞期和最大比生长速率

Table 2 Lag phase and maximum specific growth rate of bacteria in different media

| | <i>E. coli</i> | | <i>S. aureus</i> | |
|-------|----------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| | λ/h | $\mu_{max}/(\log_{10}/h^{-1})$ | λ/h | $\mu_{max}/(\log_{10}/h^{-1})$ |
| LBC | 2.78±0.11 | 0.87±0.06 | 1.53±0.06 | 0.46±0.05 |
| BBC | 3.22±0.10 | 0.66±0.06 | 3.10±0.05 | 0.75±0.08 |
| PBC | 2.28±0.09 | 0.51±0.06 | 2.95±0.07 | 0.35±0.04 |
| LB | 3.48±0.09 | 0.58±0.08 | 8.81±0.05 | 0.31±0.02 |
| 25%BB | 3.18±0.15 | 0.50±0.22 | 8.41±0.08 | 0.32±0.03 |
| 50%BB | 2.28±0.04 | 0.43±0.13 | 8.40±0.11 | 0.24±0.06 |
| BB | 6.14±0.15 | 0.28±0.08 | ND | ND |
| LB | 3.48±0.09 | 0.58±0.08 | 8.81±0.05 | 0.31±0.02 |
| 25%PB | 3.58±0.23 | 0.69±0.08 | 12.27±0.80 | 0.32±0.11 |
| 50%PB | 5.46±0.28 | 0.73±0.06 | 16.61±0.72 | 0.40±0.07 |
| PB | 8.72±0.48 | 0.57±0.07 | ND | ND |

注: ND, 未确定; LBC, LB培养基对照; BB, 牛肉模型; BBC, 牛肉模型对照; PB, 马铃薯模型; PBC, 马铃薯模型对照; 25%BB (PB), 质量比牛肉(马铃薯)模型: LB培养基=25:75; 50%BB (PB), 质量比牛肉(马铃薯)模型: LB培养基=50:50。

3 结论

3.1 随着生活水平的不断提高, 人们对食品的消费理念越来越倾向于天然、健康、无化学添加剂。香辛料精油具有良好的抑菌作用, 是种具有巨大应用前景的新型保鲜剂。本文选用国内外常见的香辛料精油, 通过测定最低抑菌浓度(MIC)和抑菌圈直径(DIZ), 筛选了出抑菌活性最好肉桂精油。肉桂精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的 MIC 分别是 250 $\mu\text{L}/\text{L}$ 和 500 $\mu\text{L}/\text{L}$, DIZ 分别是 31.8±1.7 mm 和 30.5±0.5 mm。接着构建牛肉和马铃薯食品模型, 对细菌在不同模型中的生长曲线用一级生长模型 Modified Gompertz 进行拟合, 并计

算比较延滞期(λ)和最大比生长速率(μ_{max}), 由此研究蛋白质和碳水化合物对肉桂精油抑菌活性的影响。结果显示, 大肠杆菌和金黄色葡萄球菌在牛肉和马铃薯食品模型中的延滞期都明显延长, 说明蛋白质和碳水化合物对肉桂精油抑菌活性起增效加强作用。

3.2 本论文重点将肉桂精油应用于食品模型中, 反应了精油实际应用的抑菌效果, 较体外抑菌实验更为实用, 为香辛料精油保鲜剂的商品化应用提供理论参考。下一步实验研究的方向应该是食品加工过程中的一些环境因素对香辛料精油抑菌活性的影响。

参考文献

- [1] Hyldgaard M, Mygind T, Meyer R L. Essential Oils in Food Preservation: Mode of action, synergies, and interactions with food matrix components [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2012, 3:12
- [2] Tarek N, Hassan H M, Abdelghani S M M, et al. Comparative chemical and antimicrobial study of nine essential oils obtained from medicinal plants growing in Egypt [J]. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 2014, 3: 149-156
- [3] Liu Xiaoli, Zhong Shaoshu, Wu Kegang, et al. Antimicrobial activity in the vapour phase of a combination of cinnamon and clove essential oils [J]. *Food Chemistry*, 2009, 116: 982-989
- [4] 张赆彬, 刘笑宇, 姜萍萍, 等. 肉桂醛对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌作用及抑菌机理研究 [J]. *现代食品科技*, 2015, 31(5): 31-35
ZHANG Yun-bin, LIU Xiao-yu, JIANG Ping-ping, et al. Antibacterial activity and mechanism action of cinnamaldehyde against *escherichia coli* and *staphylococcus aureus* [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(5): 31-35
- [5] Calo J R, Crandall P G, O'Bryan C A, et al. Essential oils as antimicrobials in food systems - A review [J]. *Food Control*, 2015, 54: 111-119
- [6] Gutierrez J, Barry-Ryan C, Bourke P. The antimicrobial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 124: 91-97
- [7] Bukvicki D, Stojkovic D, Sokovic M, et al. *Satureja horvatii* essential oil: in vitro antimicrobial and antiradical properties and in situ control of *Listeria monocytogenes* in pork meat [J]. *Meat Science*, 2014, 96: 1355-1360

- [8] Silveira S M D, Luciano F B, Fronza N, et al. Chemical composition and antibacterial activity of *Laurus nobilis* essential oil towards foodborne pathogens and its application in fresh Tuscan sausage stored at 7 °C [J]. *LWT- Food Science and Technology*, 2014, 59(59): 86-93
- [9] Cava-Roda R M, Taboada-Rodríguez A, Valverde-Franco M T, et al. Antimicrobial activity of vanillin and mixtures with cinnamon and clove essential oils in controlling *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 in Milk [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2012, 5(6): 2120-2131
- [10] Rattanachaikunsopon P, and Phumkhachorn P. Assessment of factors influencing antimicrobial activity of carvacrol and cymene against *Vibrio cholerae* in food [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2010, 110: 614-619
- [11] Uhart M, Maks N, Ravishankar S. Effect of spices on growth and survival of *Salmonella typhimurium* dt 104 in ground beef stored at 4 and 8C [J]. *Journal of Food Safety*, 2006, 26(2): 115-125
- [12] Silva d L I, Gomes Neto N J, Tavares A G, et al. Lack of induction of direct protection or cross protection in *Staphylococcus aureus* by sublethal concentrations of *Origanum vulgare* L. essential oil and carvacrol in a meat-based medium [J]. *Archives of Microbiology*, 2013, 195(8): 587-593
- [13] Kyung K H. Antimicrobial properties of allium species [J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2012, 23(2): 142-147
- [7] Gutierrez J, Barry-Ryan C, Bourke P. Antimicrobial activity of plant essential oils using food model media: Efficacy, synergistic potential and interactions with food components [J]. *Food Microbiology*, 2009, 26(2): 142-150