

植物精油对食品中常见有害微生物的抑菌活性研究

柴向华, 董艳, 吴克刚, 崔绮嫦, 马海杰

(广东工业大学轻工化工学院食品科学与工程系, 广东广州 510006)

摘要: 通过测定抑菌圈、气相熏蒸法等体外抑菌试验研究了罗勒精油、茶树油、百里香精油、丁香精油、小茴香精油、依兰油、甘牛至精油、肉桂精油、桉叶油、芫荽籽精油、香茅油、鼠尾草油、甘松精油十三种植物精油对六种食品常见有害微生物抗菌作用。结果表明: 十三种植物精油均对细菌、霉菌和酵母具有一定的抑杀能力。百里香精油和肉桂精油抗菌活性最强, 均表现程度不等的抗菌活性。六种供试菌种对百里香精油、肉桂精油极敏感, 抑菌圈直径均大于 20 mm; 当两种精油空间体积浓度达到 300 $\mu\text{L/L}$ 时, 两种精油对多数供试菌表现出强抑菌效果。肉桂精油与百里香精油复配后对供试菌没有表现出强的协同增效效果, 部分出现相加作用和无关作用。复配精油中肉桂精油占 80% 时, 对供试菌效果最好。

关键词: 食品; 植物精油; 抑菌活性; 气相

文章编号: 1673-9078(2016)8-123-127

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.019

Antibacterial Activity of Plant Essential Oils Against Common Harmful Microorganisms in Foods

CHAI Xiang-hua, DONG Yan, WU Ke-gang, CUI Qi-chang, MA Hai-jie

(Department of Food Science and Engineering, Faculty of Chemical Engineering and Light Industry, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The antibacterial effects of thirteen plant essential oils—extracted from basil, tea tree, thyme, clove, fennel, ylang-ylang, marjoram, cinnamon, eucalyptus, coriander seed, citronella, sage, and nard—against six common harmful microorganisms in food were studied using inhibition zone, fumigation, and other *in vitro* antibacterial experiments. The results showed that all thirteen essential oils had an inhibitory effect on the tested bacteria, fungi, and yeasts. Among them, thyme oil and cinnamon oil exhibited the strongest but different levels of antimicrobial activity; the inhibition zone diameter was >20 mm at a volume concentration of 300 $\mu\text{L/L}$ of the oils. Combinations of cinnamon oil and thyme oil at different ratios did not show strong synergistic effects. However, some of the combinations showed significant additive effects, with the optimal antimicrobial effect noted for cinnamon oil/thyme oil at 80:20 (V/V).

Key words: food; plant essential oils; antibacterial activity; gaseous phase

食品在加工、运输、贮藏过程中容易受到微生物的污染从而导致食品腐败等危害。所以食品工业应用防腐剂来延长食品货架期。食品工业应用化学抗菌剂来控制腐败以延长食品货架期。食品中无论添加化学合成还是天然的抗菌剂, 消费者依然认为是添加了食品添加剂, 对其安全性仍存疑虑, 因此发展非添加的“无防”食品防腐保鲜技术势在必行^[1]。

自古以来, 药食两用属性芳香植物被作为防腐剂, 以及赋予食品风味。近年来, 出现了药用和食用植物精油香料提取物替代食品添加剂的开发的趋势, 以防止食源性病原体的生长以及延缓食品腐败。芳香植物

收稿日期: 2015-09-04

作者简介: 柴向华 (1971-), 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 食品化学

通讯作者: 吴克刚 (1969-), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 食品化学

精油具有抗氧化、抗菌等生物活性, 成为近年来国内外抗菌防腐研究的热点。在美国, 许多精油类产品在经过食品和药物管理局 (FDA) 和环境保护署 (EPA) 的批准, 列入可应用于食品和饮料消费的“一般公认为安全的” (GRAS) 名单中, 同时精油的气相活性可使得精油作为熏蒸剂应用于食品行业, 从而加大其应用范畴^[2,3]。如 Cetin B^[4] 等通过圆盘扩散 (DD) 法和最小抑制浓度 (MIC) 的方法来研究百里香和牛至精油的抑菌活性, 研究表明测试微生物的敏感性取决于精油组合, 并认为牛至和百里香精油在测试对人类毒性后, 可以作为用于食品工业的天然抗微生物剂的潜在来源。这也表明了精油在食品防腐保鲜中具有巨大的应用前景。

此外, 国内外研究证明精油复配物具有比单一精油更大的应用优势。吴克刚^[5] 等研究表明香茅油及山

苍子油复配后对铜绿假单胞菌的抑菌活性明显优于单一精油的抑菌活性。Gutierrez J^[6]等认为植物提取物的复配可以降低精油的抑菌浓度,减少精油的使用量,从而减少精油所带来的感官上的刺激。由此可见通过精油的复配,可以降低精油的使用量,从而达到减少精油带来的感官刺激以及降低成本的目的,而更有利于精油在食品工业中的应用。本文研究十三种食用植物精油气相熏蒸对六种食品有害微生物的抗菌作用及其协同增效效应,为食品及食品储运保鲜提供新的发展方向。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试菌种,细菌:大肠杆菌(*Escherichia coli*) ATCC 25922、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*) ATCC 25923;霉菌:黑根霉(*Rhizopus nigricans Ehrenberg*) GIM3.125、园弧青霉(*Penicillium cyclopium*) GIM3.247、总状毛霉(*Mucor racemosus Fresenius*) GIM3.86;酵母菌:酿酒酵母菌(*Saccharomyces cerevisiae*) GIM2.207,均购于广东省微生物研究所。

肉桂精油 3I-RG-03、桉叶精油 3I-AY-01、甘牛至精油 3I-GNZ-01、罗勒精油 3I-LL-02、茶树精油 3I-CS-01、百里香精油 3I-BLX-01、丁香精油 3I-DX-03、小茴香精油 3I-XHX-01、依兰精油 3I-YL-01、莞荳籽精油 3I-YXZ-01、香茅精油 3I-XM-04、鼠尾草精油 3I-SWC-01、甘松精油 3I-GS-02,均由香飘万里-三创联盟提供。

营养琼脂培养基、孟加拉红培养基:广东环凯微生物科技有限公司;无水乙醇为分析纯。

1.2 仪器与设备

SW-CJ-2F 超净工作台:苏州安泰空气技术有限公司;SPX-250 生化培养箱:上海锐丰仪器仪表有限公司;BK-FL 荧光显微镜:重庆奥特光学仪器有限公司;DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱:上海申贤恒温设备厂;SHA-BA 恒温振荡器:常州澳华仪器有限公司;YX-280D(242)型手提式压力蒸汽灭菌器:合肥华泰医疗设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 菌种活化和菌悬液/孢子悬液的制备

在平板上活化细菌及酵母菌菌种,接种培养(细菌 37 °C/24 h,酵母 28 °C/48 h)后,从其上挑取单菌

落,采用麦氏比浊法制成 0.5 麦氏单位的菌悬液(1.5×10^8 CFU/mL),用无菌水稀释到所需浓度($10^5 \sim 10^6$ CFU/mL),备用。

在平板上接种霉菌菌种,进行菌种活化,在 28 °C 培养箱中培养 5~7 d,用无菌水反复冲洗,洗下孢子,滤去菌丝,加入无菌玻璃珠用恒温振荡器(28 °C、196 r/min)将孢子充分打散,制得孢子悬液。并使用血球计数板进行计数,最后将孢子悬液浓度控制为 $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL,保存在 4 °C 冰箱中不超过 7 d,备用。

1.3.2 供试菌对植物精油抗菌敏感性分析

通过测定植物精油对供试菌的抑菌圈来分析抗菌敏感性。采用平板打孔法^[7],在培养皿中注入 20 mL 的培养基,待培养基凝固后注入 100 μ L 菌液,并用无菌涂布棒涂布均匀,待菌液吸收后用无菌小枪头($d=5$ mm)等距打 3 个小孔,并去除孔内培养基,试验组加入 10 μ L 相应的纯植物精油,对照组加入等量的无菌水。置于恒温培养箱中培养(细菌 37 °C/24 h,酵母与霉菌 28 °C/72 h)。以十字交叉法测量抑菌圈直径,求其平均值。

抑菌圈试验的判定标准为:抑菌圈直径>20 mm 为极敏感,10 mm~20 mm 为中度敏感,5 mm~10 mm 为低度敏感,无抑制作用者(≤ 5 mm)为不敏感^[8]。

1.3.3 植物精油最低抑菌浓度(MIC)和最低杀菌浓度(MBC)的测定

参考 Lopez 的气相挥发试验^[9],将 100 μ L $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL 的菌悬液或孢子悬液加入在含 20 mL 凝固培养基的平板上,并用灭菌的三角玻棒涂布均匀。待菌液被吸收后倒置放置,并在培养皿皿盖上放置无菌滤纸。将精油用无水乙醇稀释配成 10%精油溶液,取适量的稀释的精油,均匀滴在无菌滤纸片上,使得培养皿内形成精油空间体积浓度为 25 μ L/L~3000 μ L/L 的气相氛围,取等量的无水乙醇作为对照,另设一空白对照,每组做 2 个平行。抑菌实验将培养皿用封口膜密封后培养(细菌 37 °C、24 h,酵母 28 °C、48 h,霉菌 28 °C、72 h),观察记录微生物的生长情况。杀菌实验取抑菌实验中无菌生长的平皿,在无菌环境更换培养灭菌的皿盖后培养(细菌 37 °C/24 h,酵母 28 °C/48 h,霉菌 28 °C/72 h),并观察实验结果。若气相氛围移除后微生物开始生长,则该浓度为最小抑菌浓度(MIC),若没有微生物生长,则该浓度为最小杀菌浓度(MBC)。

1.3.4 植物精油联合抑菌效果评价

根据最小抑菌浓度(MIC)以及抑菌圈直径的测定结果,选取对供试菌种抑菌效果明显的植物精油进行联合抑菌实验。分别研究复配精油中百里香精油所占

的比例为 100%、80%、60%、40%、20%、0%时复配精油的抑菌效果。

以分级抑菌浓度 (Fractional inhibitory concentration, FIC) 指数作为联合抗菌试验效果判定依据。

FIC 指数计算: MIC_A 组分联合/ MIC_A 组分单用+ MIC_B 组分联合/ MIC_B 组分单用。

FIC 指数判定标准^[6,10,11]为: FIC 指数 <0.5 时为协同作用; $0.5 \leq$ FIC 指数 <1 为相加作用; $1 \leq$ FIC 指数 <4 为无关; FIC 指数 ≥ 4 时为拮抗作用。

1.3.5 数据统计分析

实验平行进行三次, 并且数据以平均值 (mean) \pm 标准差 (sd) 表示, 方差分析 (ANOVA) 是用于两个及两个以上样本均数差别的显著性检验, ($p \leq 0.05$) 时说明具有统计学意义。

2 结果与讨论

2.1 供试菌对植物精油抗菌敏感性研究

表 1 13 种植物精油对供试菌的抑菌圈直径

Table 1 Antimicrobial activity (inhibition zone) of thirteen tested plant essential oils against harmful food microbes

纯精油	抑菌圈直径/mm					
	黑根霉	园弧青霉	总状毛霉	啤酒酵母	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌
百里香精油	27.30 \pm 1.89	-	-	-	38.70 \pm 1.24	-
肉桂精油	23.30 \pm 1.88	-	38.00 \pm 1.63	-	28.70 \pm 0.94	37.00 \pm 1.91
丁香精油	26.00 \pm 2.80	32.00 \pm 1.63	25.60 \pm 0.47	-	14.30 \pm 0.47	26.00 \pm 1.63
罗勒精油	33.30 \pm 1.78	29.30 \pm 0.94	28.70 \pm 0.94	36.00 \pm 1.63	10.70 \pm 0.47	14.30 \pm 0.47
小茴香精油	10.70 \pm 0.94	-	-	32.70 \pm 1.70	5.00 \pm 0.10	15.30 \pm 0.94
依兰精油	15.30 \pm 0.94	17.30 \pm 1.89	20.30 \pm 2.05	27.30 \pm 2.49	11.00 \pm 0.81	12.00 \pm 1.63
茶树精油	9.70 \pm 0.41	14.60 \pm 1.25	16.00 \pm 1.63	-	13.30 \pm 0.94	21.00 \pm 0.81
甘牛至精油	14.00 \pm 1.63	13.30 \pm 0.94	11.30 \pm 0.94	15.30 \pm 0.94	16.00 \pm 1.63	15.30 \pm 1.88
香茅精油	12.00 \pm 1.63	16.00 \pm 1.63	21.00 \pm 0.81	21.30 \pm 1.88	5.00 \pm 0.10	5.00 \pm 0.10
甘松精油	12.00 \pm 1.63	12.00 \pm 1.63	18.70 \pm 0.94	16.70 \pm 0.94	5.00 \pm 0.10	30.00 \pm 0.81
桉树精油	5.00 \pm 0.10	11.30 \pm 0.94	12.70 \pm 1.88	-	18.00 \pm 0.81	28.00 \pm 1.63
鼠尾草精油	5.00 \pm 0.10	11.30 \pm 1.88	15.60 \pm 0.47	16.70 \pm 1.88	12.00 \pm 0.81	16.70 \pm 0.94
芫荽籽精油	5.00 \pm 0.10	5.00 \pm 0.10	10.30 \pm 0.47	5.00 \pm 0.10	5.00 \pm 0.10	5.00 \pm 0.10
空白对照	5.00 \pm 0.10					

注: 验结果表示为: 抑菌圈直径平均值 \pm 标准偏差(3个平行), 孔径直径(5 mm)包含在测量结果中。“-”表示整个平皿均不长菌或仅有空白侧有少量菌落, ($p \leq 0.05$)。

由表格可知, 百里香油、肉桂油对 6 种供试菌种的抑菌圈直径均 >20 mm, 属于极敏感, 而且百里香的抑菌效果总体上优于肉桂精油; 罗勒精油对霉菌和酵母菌的抑菌圈直径均 >20 mm, 属于极敏感, 但是对两种细菌为中度敏感; 丁香精油除了对大肠杆菌外, 对其他供试菌均为极敏感的; 小茴香精油对 2 种霉菌一种酵母菌表现出了极敏感性; 依兰精油及香茅精油对总状毛霉和啤酒酵母表现出了极敏感性; 茶树精油、甘松精油及桉树精油仅对金黄色葡萄球菌表现出极敏感性; 甘牛至精油、鼠尾草精油、芫荽籽精油在抑菌圈实验中对全部供试菌的抑菌圈直径均 <20 mm, 均没有表现出最敏感, 说明这几种精油对供试菌不够敏感; 其中芫荽籽精油除了对总状毛霉表现出中度敏感性外, 对其他供试菌抑菌圈均为 5.0 ± 0.10 , 属于无抑菌作用。

综合比较来看, 百里香精油和肉桂精油的综合抑菌能

力最强, 丁香精油及次之, 罗勒精油对真菌抑菌能力强, 对细菌抑菌能力弱, 而其他植物精油在特定菌种上表现出较强的抑菌作用, 芫荽籽精油除对总状毛霉有抑菌作用外, 对其他供试菌无抑制作用。

2.2 植物精油对生鲜农产品抗菌活性研究

为了解各种植物精油对生鲜农产品常见有害微生物的抗菌效果, 通过测定每种植物精油的最低抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MBC)对其抗菌效果进行研究, 实验结果如表 2 所示。

由表 2 的 MIC 结果来看, 罗勒精油对黑根霉抑菌效果最好, MIC 值为 $50 \mu\text{L/L}$; 百里香精油对园弧青霉、总状毛霉、金黄色葡萄球菌抑菌效果最好, 其 MIC 值分别为 $100 \mu\text{L/L}$ 、 $25 \mu\text{L/L}$ 、 $300 \mu\text{L/L}$; 小茴香精油对园弧青霉抑菌效果最好, MIC 值为 $100 \mu\text{L/L}$; 肉桂精油对园弧青霉、啤酒酵母、大肠杆菌、金黄色

葡萄球菌抑菌效果最好, MIC 值分别为 100 $\mu\text{L/L}$ 、25 $\mu\text{L/L}$ 、600 $\mu\text{L/L}$ 、300 $\mu\text{L/L}$ 。

表 2 植物精油对供试菌种的最低抑菌浓度和最小杀菌浓度

Table 2 Minimal inhibitory and minimum bactericidal concentrations ($\mu\text{L/L}$) of twelve essential oils for the tested microorganisms

精油/ $(\mu\text{L/L})$	黑根霉		园弧青霉		总状毛霉		啤酒酵母		大肠杆菌		金黄葡萄球菌	
	MIC	MBC	MIC	MBC								
百里香精油	150	150	100	300	25	50	50	25	1000	1000	300	300
肉桂精油	300	300	100	600	300	300	25	25	600	600	300	300
丁香精油	150	150	300	300	600	600	100	300	1000	1000	600	600
罗勒精油	50	50	300	300	300	300	100	300	1000	1000	2000	2000
依兰精油	300	300	300	1000	300	600	300	300	1500	2000	600	1000
甘牛至精油	300	300	600	1000	600	1000	300	600	1000	1500	600	1500
小茴香精油	100	2500	100	1000	300	1000	50	300	2000	2500	1500	2000
香茅精油	1000	1000	300	1000	300	1000	300	300	2500	2500	1000	1500
鼠尾草精油	600	600	1500	2000	600	3000	300	600	2000	2000	600	1500
茶树精油	600	1000	600	2000	1000	1000	300	300	2000	2500	600	1500
桉树精油	2000	3000	300	2000	1000	2500	300	600	2000	2000	600	1500
甘松精油	1000	1000	1000	1000	1500	2500	1000	1500	2500	2500	2000	2500
芫荽籽精油	2000	2500	1500	2500	1500	2500	1500	2000	2000	2500	2000	2500
无水乙醇	2500	3000	2000	2500	2500	3000	2500	3000	2500	3000	>3000	>3000

从 MBC 结果来看, 罗勒精油对黑根霉以及园弧青霉杀菌效果最好, MBC 值分为 50 $\mu\text{L/L}$ 、300 $\mu\text{L/L}$; 百里香精油对园弧青霉、总状毛霉、啤酒酵母、金黄色葡萄球菌杀菌效果最好, 其 MBC 值分别为 300 $\mu\text{L/L}$ 、50 $\mu\text{L/L}$ 、25 $\mu\text{L/L}$ 、300 $\mu\text{L/L}$; 肉桂精油对啤酒酵母、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌杀菌效果最好, MBC 值分别为 25 $\mu\text{L/L}$ 、600 $\mu\text{L/L}$ 、300 $\mu\text{L/L}$ 。

植物精油的 MIC 值和 MBC 值越低, 其抗菌能力就越强。所以从综合抗菌能力来看, 百里香的综合抗菌能力最好, 肉桂精油次之, 两种精油无论对霉菌、细菌还是酵母菌, 均有很高的抗菌活性, 是两种具有抗菌广谱性的植物精油; 丁香精油以及甘牛至精油综合抗菌能力也较为显著, 仅次于百里香以及肉桂精油; 而罗勒精油对霉菌的抗菌能力较为显著, 但是对细菌的抗菌能力较弱, 故可以研究其作为一种良好的防霉剂; 而小茴香精油对霉菌以及酵母菌的抑菌效果较为显著, 但是对这些微生物的杀菌能力较弱, 所以, 小茴香精油是真菌的良好抑菌精油。

2.3 植物精油联合抑菌效果的研究

为提高植物精油的广谱抑菌活性, 对精油进行复配实验, 其中百里香和肉桂单独杀菌效果最好, 丁香和罗勒精油次之, 但是纵观所有精油, 只有肉桂精油对大肠杆菌有较好的效果, 综合考虑, 决定选取抑菌效果最好的百里香精油以及肉桂精油进行复配, 探讨

两种精油之间不同对比对 6 种微生物的抑菌作用, 确定两者之间的最佳复配比例及不同比例复合精油的最低抑菌浓度, 结果如表 3 所示, 并以 FICI 值进行精油联合抑菌效果评价, 植物精油联合抑菌效果见表 4 所示。

由表 3、4 的结果表明, 复配精油组合(肉桂-百里香精油)对 6 种供试菌均没有表现出强的协同增效效果, 大部分表现出无关作用, 部分出现相加作用。当肉桂精油占 40%时, 对园弧青霉表现出拮抗作用。当复配精油肉桂精油体积占 80%时, 对总状毛霉出现协同增效效果, 对酵母出现相加效果, 对其他菌均为无关作用。由此可见, 这两种精油复配中肉桂精油占 80%时效果最佳。

大量研究^[5,6,10,11]证明精油复配抑菌效果优于单一精油的抑菌效果。LU Fei^[12]等利用琼脂平板稀释法研究百里香精油联合肉桂精油对几种细菌的联合抑菌作用, 表明百里香精油和肉桂精油有协同增效的作用。本研究是采用精油气相熏蒸法, 精油的主要抑菌活性成分的挥发性及疏水性是影响其抑菌效果的主要因素^[9]。抑菌成分挥发性强, 疏水性弱, 则容易与菌体接触, 破坏其细胞膜, 导致菌体内容物泄漏, 代谢受阻, 菌体死亡^[13]。精油直接接触抑菌以及气相抑菌中起主要抑菌作用的成分不同, 抑菌机理也不同, 这些都有待进一步探究。

表3 复合精油(百里香-肉桂)对供试菌种的最低抑菌浓度 MIC/($\mu\text{L/L}$)Table 3 Minimal inhibitory concentrations ($\mu\text{L/L}$) of composite essential oils (thyme/cinnamon) for the tested microorganisms

百里香所占的百分比/%	黑根霉	圆弧青霉	总状毛霉	啤酒酵母	大肠杆菌	金黄葡萄球菌
100	50	75	50	50	600	100
80	75	75	50	25	600	125
60	75	300	100	25	600	150
40	100	50	75	25	600	300
20	100	75	50	15	600	125
0	100	75	150	15	600	125

表4 复配植物精油对供试菌种的 FIC 指数

Table 4 FIC indices of composite essential oils for the tested microorganisms

百里香所占的百分比/%	黑根霉	圆弧青霉	总状毛霉	啤酒酵母	大肠杆菌	金黄葡萄球菌
80	1.35	1	0.87	0.73	1	1.2
60	1.2	4	1.47	0.97	1	1.38
40	1.4	0.67	0.9	0.97	1	2.64
20	1.8	1	0.47	0.86	1	1.05

3 结论

13 种精油均对六种供试菌种均有一定程度的抑菌作用。其中百里香精油抑菌效果最好,肉桂精油仅次于,是两种抑菌谱很广的、抑菌效果很好的精油,具有作为良好的天然食品防腐保鲜剂的潜力。罗勒精油对霉菌的抗菌能力较为显著,故可以研究开发其作为一种良好的防霉剂,应用到容易受霉菌污染的食品工业中去。小茴香精油对霉菌以及酵母菌的抑菌效果较为显著,但是对这些微生物的杀菌能力较弱,所以,小茴香精油可以研究利用作为真菌的良好抑菌精油应用到食品工业中去。精油复配结果显示肉桂精油和百里香精油复配有一定的相加作用以及协同增效效果,可以降低精油的使用量,从而达到减少精油带来的感官刺激以及降低成本的目的,而更有利于精油在食品工业中的应用,具有实际应用意义。

参考文献

- [1] Voon H C, Bhat R, Rusul G. Flower extracts and their essential oils as potential antimicrobial agents for food uses and pharmaceutical applications [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2011, 11(1): 34-55
- [2] Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2004, 94(3): 223-253
- [3] Viuda-Martos M, Mohamady M A, Fernández-López J, et al. In vitro antioxidant and antibacterial activities of essential oils obtained from Egyptian aromatic plants [J]. *Food Control*, 2011, 22(11): 1715-1722
- [4] Cetin B, Cakmakci S, Cakmakci R. The investigation of antimicrobial activity of thyme and oregano essential oils [J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2011, 35(2): 145-154
- [5] 吴克刚,赵三娥,柴向华,等.植物精油对铜绿假单胞菌抗菌作用的研究[J].*现代食品科技*,2013, 12: 2830-2833, 2815
WU Ke-gang, ZHAO San-e, CHAI Xiang-hua, et al. Antibacterial effect of plant essential oils against *pseudomonas aeruginosa* [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 12: 2830-2833, 2815
- [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(1): 91-97
- [7] 莫小路,朱庆玲,陈瑜珍,等.几种植物精油的抗菌作用研究[J].*中成药*,2010,7:1213-1215
MO Xiao-lu, ZHU Qing-ling, CHEN Yu, et al. Antifungal activity study of several essential oils [J]. *Chinese Traditional Patent Medicine*, 2010, 7: 1213-1215
- [8] 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
- [9] López P, Sánchez C, Batlle R, et al. Vapor-phase activities of cinnamon, thyme, and oregano essential oils and key constituents against foodborne microorganisms [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(11): 4348-4356

- [10] Bassolé IH, Lamien-Meda A, Bayala B, et al. Chemical composition and antimicrobial activity of cymbopogon citratus and cymbopogon giganteus essential oils alone and in combination [J]. *Phytomedicine*, 2011, 18(12): 1070-1074
- [11] Lv F, Liang H, Yuan Q, et al. In vitro antimicrobial effects and mechanism of action of selected plant essential oil combinations against four food-related microorganisms [J]. *Food Research International*, 2011, 44: 3057-3064
- [12] LU, Fei, DING. Antibacterial Effect of cinnamon oil combined with thyme or clove oil [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(9): 1482-1487
- [13] 郭俊贤,刘晓丽,吴克刚,等. 11 种精油对三种水产品特定腐败菌的抑制[J]. *中国食品添加剂*, 2014:54-57
- GUO Jun-xian, LIU Xiao-li, WU Ke-gang, et al. Antibacterial activity of eleven essential oils specific spoilage organisms in aquatic products [J]. *China Food Additives*, 2014: 54-57