三种植物精油的成分分析及其抑菌活性比较

孙达[1]，夏兵[2]

（1.浙江经贸职业技术学院应用工程系，浙江杭州 310018）（2.浙江省茶叶加工技术研究院，浙江杭州 310014）

摘要：为比较柠檬草、茉莉花、姜黄三种植物精油的组成成分及其抑菌活性，本试验采用气相色谱-质谱联用仪（GC-MS）分析样品成分，进而通过滤纸片法和梯度稀释法分析样品的抑菌能力。试验结果表明：姜黄精油主要特征成分为姜黄酮（12.87%）、芳姜黄酮（38.53%）和姜酮（20.36%），具有抑菌活性的成分包括莰烯（2.38%）等；柠檬草精油的主要成分为柠蒙烯（12.72%）、柠檬醛（8.52%）和异松油烯（17.53%），具有抑菌活性的成分包括柠檬醛（8.52%）等；茉莉精油的主要特征成分为芳樟醇（11.88%）、乙酸苄酯（9.31%）和肉桂醛（31.87%），具有抑菌活性的成分包括肉桂醛（31.87%）等。柠檬草精油、茉莉精油、姜黄精油对金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径分别为 20.10 mm、10.22 mm、7.84 mm，阳性对照的乳酸链球菌素抑菌圈直径则为 13.40 mm。上述三种植物精油均包含具有一定抑菌活性的物质，且在抑菌圈试验中表现出抑菌性，与乳酸链球菌素相比，抑菌效果从强到弱依次为柠檬草精油>茉莉精油>姜黄精油。

关键词：姜黄；柠檬草；茉莉；乳酸链球菌素；精油；抑菌性

文章篇号：1673-9078(2020)11-104-113 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0436

Composition Analysis of Three Plant Essential Oils and Comparison of Their Antibacterial Activities

SUN Da[1], XIA Bing[2]

(1.The Department of Applied Engineering, Zhejiang Insitute of Economics and Trade, Hangzhou 310018, China)

(2.Zhejiang Tea Processing Technology Research Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to compare the constituents and antibacterial activities of three essential oils from lemongrass, jasmine and turmeric, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used in this experiment to analyze the composition of the samples, and then filtration with filter paper and serial dilution method were applied to examine the antibacterial ability of these samples. The experimental results indicated that the main characteristic components of turmeric essential oil were curcumin (12.87%), aromatic curcumin (38.53%) and gingerone (20.36%), with the antibacterial components including camphene (2.38%); The main components of lemongrass essential oil were limonene (12.72%), citral (8.52%) and terpinolene (17.53%), with citral (8.52%) being the antibacterial component; The main components of jasmine essential oil were linalool (11.88%), benzyl acetate (9.31%) and cinnamaldehyde (31.87%), with cinnamaldehyde (31.87%) as the component with antibacterial activity. The inhibition zone diameters of lemongrass essential oil, jasmine essential oil and turmeric essential oil against *Staphylococcus aureus* were 20.10 mm, 10.22 mm and 7.84 mm, respectively, with that of the positive control Nisin being 13.40 mm. The above three essential oils all contained substances with certain antibacterial activities, and exhibited antibacterial properties in the inhibition zone test. Compared with Nisin, the inhibition effect decreased in order of lemongrass essential oil > jasmine essential oil > turmeric essential oil.

Key words: turmeric; lemongrass; jasmine; nisin; essential oil; antibacterial activity

引文格式：

孙达,夏兵.三种植物精油的成分分析及其抑菌活性比较[J].现代食品科技,2020,36(11):104-113

SUN Da, XIA Bing, et al. Composition analysis of three plant essential oils and comparison of their antibacterial activities [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 104-113

收稿日期：2020-05-10

基金项目：浙江省高等学校国内访问工程师项目(FG2019111)

作者简介：孙达（1987-），女，讲师，研究方向：天然产物研究与开发

通讯作者：夏兵（1984-），男，高级工程师，研究方向：茶资源综合应用及其产业化开发

植物精油，亦称植物挥发油，是从芳香植物中提取的具有挥发性和浓郁香味的脂溶性天然化合物，其主要成分为芳香族化合物、萜类化合物、脂肪族类化合物及含氮含硫化合物等[1]。微生物是造成食品腐败的主要因素，过去常用化学防腐剂来减少微生物的影响，但是研究发现，很多化学防腐剂对食品或环境均有不利的影响，随着“绿色”消费理念深入人心，绿色、天然抑菌剂尤其是植物精油受到广泛关注[2]。近年来，由于植物精油具有高效抗菌作用，已被用于果蔬的贮藏保鲜[3]以及水产品中致病菌和腐败菌的控制[4]。

柠檬草、茉莉、姜黄是较为常见的芳香植物。柠檬草学名为香茅，是禾本科香茅属多年生草本植物，具有浓郁的柠檬香味，柠檬草精油具有镇静、促进睡眠、抗焦虑、抗痉挛和助消化功效，以及杀菌、驱除蚊虫的能力[5]；姜黄是姜黄属的多年生草本植物，在亚洲地区分布广泛，可药食两用，由于其色泽鲜艳、着色力强、热稳定性好而在食品工业中被广泛用作天然着色剂，其精油具有抗肿瘤、抗突变、抑菌的功效[6,7]。茉莉花具有浓郁的香气，常被作为茉莉花茶的原料，其富含芳樟醇，苯甲醇，吲哚等芳香物质及多种黄酮类化合物，具有抗疲劳、抗氧化等生理活性[8]。从茉莉花瓣中提取的茉莉精油具有高雅的香气，被誉为“精油之王”，具有促进血液循环、活血通络，增加皮肤的光滑度和弹性的功效[9]。

对上述三种芳香植物，学界已有一定的研究。但对姜黄研究与利用集中于对姜黄素物理和化学性质度探索，对姜黄精油的成分和生理活性缺乏足够的关注；同时，对茉莉精油的开发也多集中于其抗氧化、治疗抑郁等生理活性，对其抑菌活性及相关组分的研究尚不够充分。本试验通过气相色谱-质谱联用仪（GC-MS）及滤纸片法和梯度稀释法，研究柠檬草、茉莉、姜黄三种供试精油的主要成分，及其对 3 种食品常见致病微生物（大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌）的抑菌活性。以期为拓展对上述三种常见芳香植物的认知，为进一步利用相关植物资源，研发以姜黄为原料的天然着色剂、具有多种功效的茉莉精油产品以及天然植物保鲜剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验菌种：大肠杆菌（*Escherichia coli*，ETEC）CMCC（B）44102，中国微生物菌种保藏中心；金黄色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*）CMCC(B)26003，中国微生物菌种保藏中心；枯草芽孢杆菌（*Bacillus subtilis*）CMCC（B）63501，中国微生物菌种保藏中心。

植物精油（柠檬草精油，茉莉精油，姜黄精油），吉安市华硕香料有限公司。

营养肉汤，北京奥博星生物技术有限责任公司。

乳酸链球菌素，洛阳奇泓生物科技有限公司。

吐温－80，北京奥博星生物技术有限责任公司。

1.2 主要仪器与设备

PR-CJT-4 超净工作台，上海普瑞赛斯仪器有限公司；BSA124S 电子天平，上海普瑞赛斯仪器有限公司；YLD-6000 微电脑智能生化培养箱，上海普瑞赛斯仪器有限公司；YX280A 灭菌锅，上海三申医疗器械有限公司；7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪，美国 Agilent 公司。

1.3 精油的提取

以二氯甲烷为溶剂，采用同时蒸馏萃取法提取。

1.4 培养基、菌悬液的制备

营养琼脂培养基及营养肉汤，高压灭菌 30 min，分装保存。

在超净台上将供试菌种接种并置于 30 ℃恒温培养箱培养 24 h；用无菌生理盐水制成浓度为约为 10^7 cfu/mL 的菌悬液，备用。

称取一定质量的乳酸链球菌素于紫外灯下 15 min 后加到无菌水中，反复震荡至其完全溶解，配制成浓度为 10 mg/mL 乳酸链球菌素溶液。

1.5 植物精油的气质联用分析

将 3 种植物精油通过 GC-MS 进行分析，条件为：进样口温度 280 ℃，载气为高纯度氦气（He），载气流速 1.5 mL/min，分流模式进样，分流比位 1:100；升温程序：初始温度 50 ℃，保持 0.5 min；以 5 ℃/min 升温到 100 ℃，保持 5 min；以 4 ℃/min 升温到 140 ℃，保持 10 min；以 4 ℃/min 升温到 180 ℃，保持 10 min；以 5 ℃/min 升温到 250 ℃，保持 5 min，以 10 ℃/min 升温到 310 ℃，保持 20 min。

MS 条件：离子源温度 230 ℃，四级杆温度 150 ℃，电子电离（electron ionization，EI）源，扫描范围 35~550 u。

定性：在美国国家标准与技术研究院（national institute of standards and technology，NIST）11 标准谱库进行检索，并结合保留指数进行定性分析。

定量：采用峰面积归一化法进行各种挥发性香气

成分相对含量的计算，每个样品重复 3 次，取平均值。

1.6 植物精油的抑菌圈测定

1.6.1 抑菌圈测定方法

采用滤纸片法测定抑菌圈大小。吸取 100 μL 菌液，均匀涂布于营养琼脂培养基表面，取 5 μL 植物精油（或 5 μL 作为对照的 10 mg/mL 的乳酸链球菌素溶液）于滤纸片上，将含有菌液和植物精油（或作为对照的 10 mg/mL 的乳酸链球菌素溶液）的平板置于恒温培养箱中，分别在 37 ℃下培养 24 h，用游标卡尺来测定抑菌圈直径大小，每种细菌做三个重复，取平均值。同时每组实验中，以放置无菌滤纸片的培养皿作为空白对照。

1.6.2 抑菌圈实验判定标准

判定标准参考了高海荣[10]等的方法：抑菌圈大于 20 mm，极敏；抑菌圈 15~20 mm；高敏；抑菌圈 10~15 mm，中敏；抑菌圈 7~10 mm，低敏；抑菌圈 7 mm 以下，不敏感。

1.7 最低抑菌浓度（MIC）及最低杀菌浓度（MBC）的测定

1.7.1 植物精油的测定

结合文献进行修改[11]：采用梯度稀释法测定植物精油对供试菌的最低抑菌浓度（MIC）。首先使精油溶解于乙醇浓度为 40%，且加入 1.0%（*V*/*V*）吐温－80 的溶液中，震荡摇匀。分别加入含有 4 mL 营养肉汤液体培养基的试管中，精油浓度梯度为 50×10^{-6}、75×10^{-6}、100×10^{-6}、200×10^{-6}、300×10^{-6}、400×10^{-6} 和 500×10^{-6}（对姜黄精油额外设置了 600×10^{-6}、700×10^{-6}、800×10^{-6} 三个梯度），各浓度梯度设置三个重复，然后加入 100 μL 已制备好的 10^7 cfu/mL 的菌悬液，充分摇匀。设置空白对照组。以不添加精油的菌液作阳性对照组。大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌分别于 30 ℃下培养 24 h 后阅读结果。

1.7.2 乳酸链球菌素溶液的测定

采用梯度稀释法，用营养肉汤培养基稀释乳酸链球菌素母液，稀释至浓度为 128 μg/mL 后，分别加入含有 4 mL 营养肉汤液体培养基的试管中，浓度梯度依次为 64、32、16、8、4、2、1、0.5 μg/mL。然后加入 100 μL 已制备好的 10^7 cfu/mL 的菌悬液。设置空白对照组。以不添加乳酸链球菌素的菌液作阳性对照组。在 37 ℃下培养 24 h 后查看结果。

1.7.3 菌落计数方法

将含菌量为 10^7 cfu/mL 的金黄色葡萄球菌菌悬液以 1:10 的方式连续稀释 4 次至含菌量约为 10^3 cfu/mL。然后分别取 0.1 mL 稀释后的菌液加到 3 个营养琼脂平板上，用涂布器均匀涂布，35 ℃培养 24 h 后对平板进行菌落计数并计算其平均数。

1.7.4 评价标准

采用美国临床委员会（CLSI）推荐的 M7-A7 标准方法，再略加修改。判断标准：若培养基浑浊，则说明已经有菌落生成，对于培养基保持清澈透明的试样进行平板涂布，35 ℃培养 24 h 后对平板进行菌落计数并计算其平均数后，与 0.1%的菌液平板涂布后的菌落生长情况比较。选取无菌落生长平板对应的最低浓度为该精油的最小杀菌浓度，菌落数低于 0.1%的菌液平板涂布后的菌落生长情况的平板对应的最低浓度为该精油的最小抑菌浓度。

1.7.5 统计方法

每个实验分别进行三次平行，并以数据平均值（mean）±标准差（sd）表示，方差是用两个及以上样本均数差异的显著性检验，$p\leq0.05$ 时说明有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 试样精油的成分

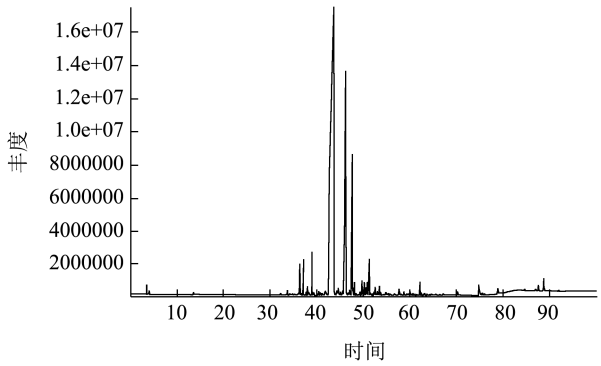


图 1 姜黄精油的的 GC-MS 总离子流色谱图

Fig.1 GC-MS total ion current chromatogram of turmeric essential oil

采用 GC-MS 法分析试样精油成分，总离子流色谱图见图 1、图 2、图 3，测定结果见表 1。

由表可知：姜黄精油中检测到 3 种醇类物质，2 种含氮化合物，2 种烷烃，3 种脂类物质，5 种苯、酚类物质，6 种酮类物质，以及 11 种烯烃类物质。其主要成分为芳姜黄酮（38.53%）、姜酮（20.36%）、姜黄酮（12.87%）、大西洋酮（3.18%）、*β*-水芹烯（2.94%）、姜黄烯（2.40%）、荜烯（2.38%）、亚油酸甘油酯（1.32%）。姜黄中具有大量萜类成分，其中芳姜黄酮、姜黄酮，姜酮三种特征成分占到 71.76%。其中一些成

分如荜烯（2.38%）、α-柏木烯（0.38%）、β-红没药烯（0.55%）、β-石竹烯（0.22%）已被研究证明具有一定的抑菌作用，很可能是姜黄精油抑菌能力的来源[12]。

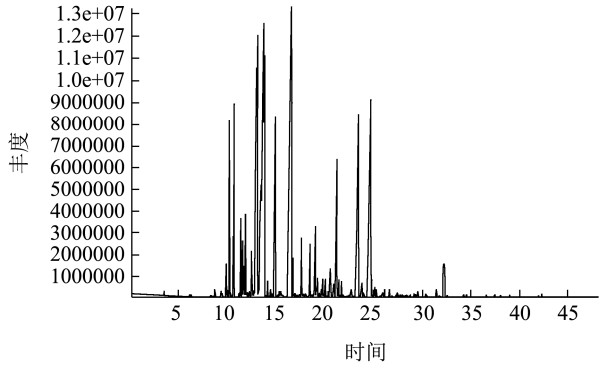


图 2 柠檬草精油的的 GC-MS 总离子流色谱图

Fig.2 GC-MS total ion chromatogram of lemongrass essential oil

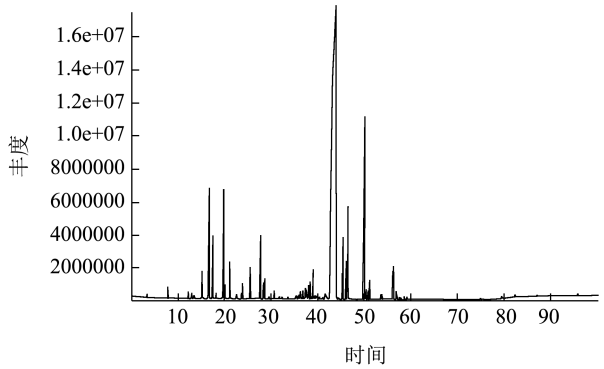


图 3 茉莉精油的的 GC-MS 总离子流色谱图

Fig.3 GC-MS total ion current chromatogram of jasmine essential oil

柠檬草精油中检测到 17 种醇类物质，3 种含氮化合物，1 种脂类物质，2 种苯、酚类物质，1 种酮类物质，1 种醚类物质，4 种醛类物质，以及 25 种烯烃类物质。其主要成分为异松油烯（17.53%）、柠蒙烯（12.72%）、(E)-柠檬醛（10.25%）、1,4-桉叶素（9.04%）、柠檬醛（8.52%）、对伞花烃（5.29%）、γ-松油烯（4.79%）、α-松油烯（4.57%）、桉叶油素（4.06%）、α-松油醇（3.73%）、樟脑萜（2.76%）、α-蒎烯（2.17%）、其中醛类、醇类和萜类物质如 α-松油醇（3.73%）、α-松油烯（4.57%）、异松油烯（17.53%）、柠蒙烯（12.72%）、α-蒎烯（2.17%）、γ-松油烯（4.79%）、芳樟醇（0.47%）、β-石竹烯（0.66%）、β-红没药烯（0.55%）、柠檬醛（8.52%）、(E)-柠檬醛（10.25%），已经被研究证明具有一定的抑菌作用，是柠檬草精油抑菌能力的主要来源[13-15]。

茉莉精油中中检测到 8 种醇类物质，2 种羧酸类物质，3 种含氮化合物，19 种脂类物质，4 种苯、酚类物质，4 种酮类物质，3 种醚类物质，4 种醛类物质，以及 14 种烯烃类物质。其主要成分为肉桂醛（31.87%）、芳樟醇（11.88%）、乙酸苄酯（9.31%）、柳酸己酯（6.35%）、佳乐麝香（4.73%）、苯乙醇（4.55%）、邻氨基苯甲酸甲酯（4.29%）、二氢茉莉酮酸甲酯（3.39%）、柳酸叶醇酯（2.20%）、茉莉醛（1.26%）。茉莉精油的成分以醇类，脂类和醛类为主，其中芳樟醇（11.88%）和肉桂醛（31.87%）已被研究证明具有一定的抑菌作用[16]，很可能是茉莉精油抑菌能力主要的来源。

表 1 精油成分分析结果

Table 1 Essential oil composition analysis results

种类	名称	化学式	姜黄相对含量/%	柠檬草相对含量/%	茉莉相对含量/%
醇类					
1	α-松油醇	$C_{10}H_{18}O$	0.03	3.73	
2	单棕榈酸甘油	$C_{19}H_{38}O_4$	0.19		
3	澳檀醇	$C_{15}H_{24}O$	0.22		
4	β-松油醇	$C_{10}H_{18}O$		1.24	
5	芳樟醇	$C_{10}H_{18}O$		0.47	11.88
6	异荜醇	$C_{10}H_{18}O$		0.10	
7	γ-松油醇	$C_{10}H_{18}O$		0.22	
8	小茴香醇	$C_{10}H_{18}O$		0.85	
9	trans-p-Mentha-2,8-diene	$C_{10}H_{16}O$		0.06	
10	对甲基苯异丙醇	$C_{10}H_{14}O$		0.32	
11	二甲基苄醇	$C_9H_{12}O$		0.19	
12	cis-4-thujanol	$C_{10}H_{18}O$		0.02	

转下页

接上页

13	冰片	$C_{10}H_{18}O$		0.27	
14	异香叶醛	$C_{10}H_{18}O$		0.22	
15	香叶醇	$C_{10}H_{18}O$		0.26	0.23
16	香芹醇	$C_{10}H_{16}O$		0.10	
17	trans-Chrysanthenyl Acetate	$C_{12}H_{20}O_2$		0.12	
18	2-甲基-3-丁烯-2-醇	$C_5H_{10}O$		0.01	
19	反-β-松油醇	$C_{10}H_{18}O$		0.05	
20	叶醇	$C_6H_{12}O$			0.21
21	苯甲醇	C_7H_8O			0.11
22	苯乙醇	$C_8H_{10}O$			4.55
23	3-苯丙醇	$C_9H_{12}O$			0.05
22	香茅醇	$C_{10}H_{20}O$			0.12
24	二氢月桂烯醇	$C_{11}H_{67O}$			1.27
25	6-甲基-5-庚烯-2-醇	$C_8H_{16}O$			0.02
羧酸类					
1	粉檀麝香	$C_6H_{11}NO_2S$			0.04
2	亚油酸	$C_{18}H_{32}O_2$			0.04
含氮化合物					
1	菩提花酯	$C_{22}H_{27}NO_2$			0.03
2	吲哚	C_8H_7N			1.33
3	柠檬烯	$C_{11}H_{18}N_2O_2$	0.03	12.72	0.01
4	curcuphenol	$C_{21}H_{25}NO_2$	0.87		
5	反式-异柠檬烯	$C_{11}H_{18}N_2O_2$		0.06	
6	α-长叶蒎烯	$C_{20}H_{23}NO_{12}$		0.03	
烷烃					
1	甲基环戊烷	C_6H_{12}	0.03		
2	正己烷	C_6H_{14}	0.06		
脂类					
1	亚油酸甘油酯	$C_{21}H_{38}O_4$	1.32		
2	油酸甘油酯	$C_{21}H_{40}O_4$	0.41		
3	亚麻酸甘油酯	$C_{57}H_{92}O_6$	0.40		
4	乙酸松油酯	$C_{12}H_{20}O_2$		0.05	
5	柳酸叶醇酯	$C_{13}H_{16}O_3$			2.20
6	乙酸苄酯	$C_9H_{10}O_2$			9.31
7	二氢茉莉酮酸甲酯	$C_{13}H_{22}O_3$			3.39
8	苯甲酸苄酯	$C_{14}H_{12}O_2$			0.43
9	苯甲酸乙酯	$C_9H_{10}O_2$			0.43
10	乙酸苏合香酯	$C_{10}H_{12}O_2$			1.33
11	柳酸己酯	$C_{13}H_{18}O_3$			6.35
12	丙酸苄酯	$C_{1O}H_{12}O$			0.58
13	邻氨基苯甲酸甲酯	$C_8H_9NO_2$			4.29
14	丁酸乙酯	$C_6H_{12}O_2$			0.01
15	苯甲酸甲酯	$C_8H_8O_2$			0.44

转下页

接上页

16	水杨酸甲酯	$C_8H_8O_3$			0.33
17	乙酸异戊酯	$C_{11}H_{65O}$			0.01
18	乙酸叶醇酯	$C_{11}H_{66O}$			0.17
19	椰子醛	$C_{11}H_{68O}$			1.20
20	乙酸橙花酯	$C_{11}H_{69O}$			0.07
21	Phthalic acid,ethyl isoporpyl ester	$C_9H_{16}O_2$			0.05
22	丙位十一内酯	$C_{11}H_{20}O_2$			1.21
23	柳酸苄酯	$C_{14}H_{12}O_3$			0.09
苯、酚类					
1	*β*-石竹烯	$C_{15}H_{24}$	0.22	0.66	
2	对伞花烃	$C_{10}H_{14}$	0.04	5.29	
3	*α*-律草烯	$C_{15}H_{24}$	0.04	0.06	
4	4-乙烯基愈创木酚	$C_9H_{10}O_2$	0.06		
5	甲苯	C_7H_8	0.01	0.01	
6	丁香酚	$C_{10}H_{12}O_2$			0.65
7	Benzene,1-(1,5-dimethylhexyl)-4-meth	C_6H_6			0.06
酮类					
1	姜黄酮	$C_{15}H_{20}O$	12.87		
2	芳姜黄酮	$C_{15}H_{20}O$	38.53		
3	姜酮	$C_{11}H_{14}O_3$	20.36		
4	甲苯乙酮	$C_9H_{10}O$	0.03		
5	大西洋酮	$C_{15}H_{22}$	3.18		
6	(Z)-*γ*-大西洋酮	$C_{15}H_{22}$	0.37		
7	甲基庚烯酮	$C_8H_{14}O$		0.49	
8	胡椒酮	$C_{10}H_{16}O$		0.04	
9	9,10-dehydro-isolongifolene	$C_{15}H_{26}O_3$		0.03	
10	左旋香芹酮	$C_{10}H_{14}O$		0.01	
11	反式茉莉酮	$C_{11}H_{16}O$			0.36
醚类					
1	对甲酚甲醚	$C_8H_{10}O$			0.15
2	白柠檬环醚	$C_{10}H_{18}O$		0.04	
3	1,4-桉叶素	$C_{10}H_{18}O$		9.04	
4	玫瑰醚	$C_{10}H_{18}O$		0.19	
甾醇					
1	豆甾醇	$C_{29}H_{50}$	0.38		
2	谷甾醇	$C_{21}H_{50}O$	0.96		
醛类					
1	茉莉醛	$C_{14}H_{18}O$			1.26
2	α-己基肉桂醛	C_9H_8O			31.87
3	2-己基-葵烯醛	$C_{16}H_{30}O$			0.50
4	苯甲醛	C_7H_6O			0.02
5	柠檬醛	$C_{10}H_{16}O$		8.52	
6	(E)-柠檬醛	$C_{10}H_{16}O$		10.25	

转下页

接上页

7	香茅醛	$C_{10}H_{18}O$		0.24	
8	异香叶醛	$C_{10}H_{18}O$		0.65	
烯羟类					
1	姜黄烯	$C_{15}H_{22}$	2.41		0.51
2	*β*-红没药烯	$C_{15}H_{26}O$	0.55	0.03	0.14
3	(E)-*γ*-红没药烯	$C_{15}H_{27}O$	0.15		
4	himachalene	$C_{15}H_{24}$	0.20		
5	*β*-水芹烯	$C_{10}H_{16}$	2.95	0.94	
6	*α*-姜烯	$C_{15}H_{24}$	2.63		
7	α-Dehydro-ar-himachalene	$C_{15}H_{24}$	0.07		
8	花柏烯	$C_{15}H_{24}$	0.11		
9	*α*-柏木烯	$C_{15}H_{24}$	0.38		0.32
10	长叶烯	$C_{15}H_{24}$	0.42		
11	荚烯	$C_{10}H_{16}$	2.39		
12	*α*-松油烯	$C_{10}H_{16}$		4.57	
13	异松油烯	$C_{10}H_{16}$		17.53	
14	松油烯醇-1	$C_{10}H_{16}$		0.78	
15	丁位-3-蓓烯	$C_{10}H_{16}$		0.11	
16	Δ-cadinene	$C_{15}H_{24}$		0.03	
17	*α*-蒎烯	$C_{10}H_{16}$		2.17	
18	*β*-蒎烯	$C_{10}H_{16}$		0.61	
19	*γ*-松油烯	$C_{10}H_{16}$		4.79	
20	樟脑萜	$C_{10}H_{16}$		2.76	
21	月桂烯	$C_{10}H_{16}$		1.30	
22	*α*-水芹烯	$C_{10}H_{16}$		1.06	
23	*α*-可巴烯	$C_{15}H_{24}$		0.09	
24	(E)-*β*-金合欢烯	$C_{15}H_{24}$		0.04	
25	1,3,5-Hexatriene	C_6H_8		0.01	
26	葑烯	$C_{10}H_{16}$		0.04	
27	苯乙烯	C_8H_8		0.00	
28	冰片烯	C_7H_{1O}		0.06	
29	p-Menth-3-ene	$C_{10}H_{18}$		0.08	
30	*β*-榄香烯	$C_{15}H_{24}$		0.10	
31	Tricyclene	$C_{10}H_{16}$		0.28	
32	Pseudolimonene	$C_{10}H_{16}$		0.04	
33	*α*-瑟林烯	$C_{15}H_{24}$		0.05	0.70
34	3,7,7-三甲基二环[4.1.0]庚-3-烯	$C_{10}H_{16}$		0.09	
35	Δ-杜松烯	$C_{12}H_{26}$			1.93
36	*α*-二去氢菖蒲烯	$C_{15}H_{22}$			0.26
37	花侧柏烯	$C_{15}H_{22}$			0.93
38	*γ*-muurolene	$C_{15}H_{25}$			0.97
39	佛术烯	$C_{15}H_{24}$			0.09
40	*β*-柏木烯	$C_{15}H_{24}$			0.08

转下页

接上页					
41	2H-2,4a-Ethanonaphthalene	$C_{15}H_{24}$			0.15
42	*β*-Himachalene	$C_{15}H_{24}$			0.27
43	*β*-瑟林烯	$C_{15}H_{24}$			0.44
44	*α*-Chamigrene	$C_{15}H_{24}$			0.92
其他					
1	桉叶油素	$C_{10}H_{18}O$	0.07	4.06	
2	茴香脑	$C_{10}H_{12}O$	0.02		
3	Cyclopentane	$C_{19}H_{14}S_6.C_5H_{10}.Fe$		0.01	
4	Terpinene 4-acetate	$C_{12}H_{20}O_2$		0.08	
5	氧化石竹烯	$C_{12}H_{24}O$		0.06	
6	脱氢桉叶油素	$C_{10}H_{16}O$		0.07	
7	吐纳麝香	$C_{18}H_{26}O$			0.44
8	佳乐麝香	$C_{18}H_{26}O$			4.73

表 2 三种精油对供试菌抑菌圈直径大小

Table 2 The diameter of three kinds of essential oils on the inhibition zone of tested bacteria (mm)

项目	柠檬草精油	茉莉精油	姜黄精油	乳酸链球菌素溶液
大肠杆菌	22.20±1.67^a（++++）	8.01±0.07^b（+）	8.11±0.09^b（+）	14.20±0.95^c（++）
枯草芽孢杆菌	20.91±1.69^a（++++）	9.82±0.23^b（+）	8.83±0.21^c（+）	12.31±1.18^d（++）
金黄色葡萄球菌	20.10±1.05^a（++++）	10.22±0.26^b（++）	7.84±0.68^c（+）	13.40±0.82^d（++）

注：+低敏；++中敏；+++高敏；++++极敏，同行右肩字母不同表示差异显著，$p<0.05$。

2.2 试样精油的抑菌能力

2.2.1 对供试菌度抑菌效果

如表 2 所示，柠檬草精油对三种供试菌为极敏，表现出较好的抑菌能力。茉莉、姜黄精油对供试菌的抑菌效果则较弱，除茉莉精油对金黄色葡萄球菌表现为中敏外，其余均为低敏。10 mg/mL 的乳酸链球菌素溶液对各供试菌均表现为中敏。所设置各空白对照中，均未检测到抑菌圈。

2.2.2 最小抑菌浓度

表 3 柠檬草精油对各供试菌种的抑制作用

Table 3 Inhibitory effect of lemongrass essential oil on each tested strain

供试菌	精油浓度/($\times10^{-6}$)			
	100	75	50	25
大肠杆菌	/	+	+	++
枯草芽孢杆菌	/	/	+	++
金黄色葡萄球菌	/	+	+	++

注：/无菌生长；+有菌落生长，生长量低于 0.1%最初接种菌量；++有较多菌生长；+++菌落较多，难以统计。下表同。

如表 3 所示，柠檬草精油对大肠杆菌，枯草芽孢杆菌，金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度为 50×10^{-6}、50×10^{-6}、50×10^{-6}，最小杀菌浓度为 100×10^{-6}、75×10^{-6}、100×10^{-6}。如表 4 所示茉莉精油对大肠杆菌，枯草芽孢杆菌，金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度为 100×10^{-6}、75×10^{-6}、200×10^{-6}，最小杀菌浓度为 200×10^{-6}、100×10^{-6}、300×10^{-6}。如表 5 所示，姜黄精油对大肠杆菌，枯草芽孢杆菌，金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度为 500×10^{-6}、300×10^{-6}、300×10^{-6}，最小杀菌浓度为 500×10^{-6}、800×10^{-6}、600×10^{-6}。为作为对照的乳酸链球菌素对金黄色葡萄球菌最小抑菌浓度为 8 μg/mL，最小杀菌浓度为 16 μg/mL。

表 4 茉莉精油对各供试菌种的抑制作用

Table 4 Inhibitory effect of jasmine essential oil on each tested strain

供试菌	精油浓度/($\times10^{-6}$)				
	300	200	100	75	50
大肠杆菌	/	/	+	++	++
枯草芽孢杆菌	/	/	/	+	++
金黄色葡萄球菌	/	+	++	+++	+++

表 5 姜黄精油对各供试菌种的抑制作用

Table 5 Inhibitory effect of turmeric essential oil on each tested strain

供试菌	精油浓度/($\times10^{-6}$)				
	600	500	400	300	200
大肠杆菌	/	/	++	++	+++
枯草芽孢杆菌	+	+	+	+	++
金黄色葡萄球菌	/	+	+	+	++

卢彩会等人[17]研究姜黄精油的抑菌活性发现其对枯草芽孢杆菌的最低抑菌浓度为 0.80 μL/mL（800 ppm），许泽文等[18]运用与本文相似的方法，对柠檬草的成分和抑菌活性进行了研究，与本文相关部分结论对比，其检测到的主要成分中柠檬醛含量较本文更高（70.11%），对病原菌的最小抑菌浓度亦有差异（对金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度为 0.10 μL/mL），分析原因，其可能主要是由于对应植物的品种、精油不同提取工艺等造成的精油组成成分差异，从而导致抑菌活性的差异。卢彩会等[17]研人初步探索姜黄精油的抑菌机理发现，姜黄油破坏了枯草芽孢杆菌体细胞的形态，其表面褶皱、凹陷，同时菌体胞模的通透性改变，小分子物质泄漏，大量核酸、蛋白质释放，菌体生长受阻，从而达到了抑菌的效果。

3 结论

3.1 本文对供试精油的主要成分和可能的具有抑菌效果的成分进行了分析，姜黄精油中具有大量萜类成分，其中以芳姜黄酮（38.53%）、姜酮（20.36%）、姜黄酮（12.87%）三种特征成分为主，具有抑菌活性的成分包括莰烯（2.38%）等；柠檬草精油的主要成分为异松油烯（17.53%）、柠檬烯（12.72%）、柠檬醛（8.52%），具有抑菌活性的成分包括柠檬醛（8.52%）等；茉莉精油的主要特征成分为肉桂醛（31.87%）、芳樟醇（11.88%）、乙酸苄酯（9.31%），具有抑菌活性的成分包括肉桂醛（31.87%）等。上述三种供试精油对常见的几种革兰氏阳性和阴形的病原菌（大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌）均具有一定的抑菌作用，按照抑菌活性从强到弱依次是柠檬草精油、茉莉精油、姜黄精油，抑菌圈直径从大到小依次是柠檬草精油 20.10 mm、茉莉精油 10.22 mm、姜黄精油 7.84 mm，供试精油的最小抑菌浓度测定结果与抑菌圈试验结果趋势一致，柠檬草精油对大肠杆菌，枯草芽孢杆菌，金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度为 50×10^{-6}、50×10^{-6}、50×10^{-6}，姜黄精油为 500×10^{-6}、300×10^{-6}、300×10^{-6}，茉莉精油为 100×10^{-6}、75×10^{-6}、200×10^{-6}。

3.2 本文对供试精油的成分抑菌活性进行了研究，证明了除已得到广泛研究的姜黄素外，姜黄中的部分挥发性也是其抑菌活性的重要来源；而茉莉精油除一般认知中的抗疲劳、抗氧化等生理活性外，在抑菌方面也具有优秀的潜力。本研究拓展了对上述三种常见芳香植物的认知，为进一步利用相关植物资源，研发以姜黄为原料的天然着色剂、具有多种功效的茉莉精油产品以及相关复方精油和植物精油防腐剂等产品奠定基础。另外，由于食品体系中外界条件因素、精油成分和食品成分之间相互反应等，均有可能对植物精油抑菌效果造成影响，而现有研究多在单一微生物存在和恒定环境下进行，有关多种微生物共同存在和在食品体系中的作用后续还需进行深入研究。

参考文献

[1] 何凤平,雷朝云,范建新,等.植物精油提取方法、组成成分及功能特性研究进展[J].食品工业科技,2019,40(3):307-312,320
HE Feng-ping, LEI Zhao-yun, FAN Jian-xin, et al. Research progess of extraction methods, components and functional characteristics in essential oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 307-312, 320

[2] 柴向华,董艳,吴克刚,等.植物精油对食品中常见有害微生物的抑菌活性研究[J].现代食品科技,2016,32(8):123-127,114
CHAI Xiang-hua, DONG Yan, WU Ke-gang, et al. Antibacterial activity of plant essential oils against common harmful microorganisms in foods [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(8): 123-127, 114

[3] 薛山.天然植物产物在果蔬贮藏保鲜中的应用现状及展望[J].北方园艺,2011,23:175-178
XUE Shan. Application status and prospect of nature plant extract in the storage of fruit and vegetable [J]. Northern Horticulture, 2011, 23: 175-178

[4] 孟玉霞,崔惠敬,赵前程,等.植物精油在水产品保鲜中的研究进展[J].食品科学,2017,38(15):288-293
MENG Yu-xia, CUI Hui-jing, ZHAO Qian-cheng, et al. A review of applications of essential oils in preservation of aquatic products [J]. Food Science, 2017, 38(15): 288-293

[5] Mohd I N, Bashir A F, Ebenezar J, et al. Antibacterial activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) oil against some selected pathogenic bacterias [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 2010, 3(7): 535-538

[6] 陈建平,李琳,苏健裕.姜黄素的抗氧化及抗肿瘤活性研究[J].现代食品科技,2014,30(12):11-15,6
CHEN Jian-ping, LI Lin, SU Jian-yu. Antioxidant and antitumor activities of Curcumin [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(12): 11-15, 6

[7] S Sindhu, B Chempakam, N K Leela, et al. Chemoprevention by essential oil of turmeric leaves (*Curcuma longa* L.) on the growth of *Aspergillus flavus* and aflatoxin production [J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49 (5): 1188-1192

[8] 张杨波,林海燕,李适,等.响应面法优化超临界 CO_2 萃取茉

莉花蕾精油及抗氧化活性的研究[J].天然产物研究与开发,2019,31(7):1220-1229
ZHANG Yang-bo, LIN Hai-yan, LI Shi, et al. Optimization of supercritical CO_2 fluid extraction of essential oil from jasmine buds by responsesurface methodology and effect of antioxidant activity [J]. Natural Product Research and Development, 2019, 31(7): 1220-1229

[9] 袁超,祁鲲,朱新亮,等.茉莉精油/羟丙基-*β*-环糊精包合物的制备及表征[J].中国粮油学报.2017,32(10):85-89
YUAN Chao, QI Kun, ZHU Xin-liang, et al. Preparation and characterization of jasmine essential oil/hydroxypropy-*β*-cyclodextrin complex [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(10): 85-89

[10] 高海荣,黄振旭,李霞,等.河南产白蒿精油的化学成分分析及抑菌活性研究[J].食品研究与开发.2020,41(7):69-74
GAO Hai-rong, HUANG Zhen-xu, LI Xia, et al. Study on chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Herba artimisiae sieversianae* from Henan Province in China [J]. Food Research and Development, 2020, 41(7): 69-74

[11] 牛彪,金川,梁建平,等.三种植物精油化学成分分析及体外抑菌活性研究[J].动物医学进展,2019,40(12):18-23
NIU Biao, JIN Chuan, LIANG Jian-ping, et al. Chemical constituents and antibactetial activities *in vitro* of three plants essential oils [J]. Progress in Veterinary Medicine, 2019, 40(12): 18-23

[12] Hsiao F W, Kuang H Y, Chao H Y, et al. Anti-oxidant activity and major chemical component analyses of twenty-six commercially available essential oils [J]. Food and Drug Analysis, 2017, 25(4), 881-889

[13] Haien Z, NengguoT, Lei J. Antifungal activity of citral, octanal and *α*-terpineol against *Geotrichum citri-aurantii* [J]. Food Control, 2014, 37(4): 277-283

[14] Najwa N A, Mohammad A H. Chemical composition and antimicrobial potency of locally grown lemon essential oil against selected bacterial strains [J]. Journal of King Saud University- science, 2018, 30(1): 14-20

[15] 章斌,侯小桢,秦轶,等.柠檬果皮精油主要组分抑菌及抗氧化活性研究[J].食品与机械,2017,33(12):138-142
ZHANG Bin, HOU Xiao-zhen, QIN Yi, et al. Reserch on antimicrobial and antioxidant activities of major compenent of lemon peel essential oil [J]. Food & Machinery, 2017, 33(12): 138-142

[16] 秦楠,刘浩浩,丁琨,等.连翘叶精油提取、GC-MS 分析及其活性研究[J].北方园艺,2019,23:113-121
QIN Nan, LIU Hao-hao, DING Kun, et al. Study on extraction, GC-MS of *Forsy thia suspensa* leaves essential oil and its activities [J].Northern Horticulture, 2019, 23: 113-121

[17] 卢彩会,赵明明,牟德华.姜黄油的抑菌活性及抑菌机理[J].食品工业科技,2018,39(21):108-113
LU Cai-hui, ZHAO Ming-ming, MOU De-hua. Antimicrobial activity and bacteriostatic mechanism of turmeric oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 108-113

[18] 许泽文,李环通,王绮潼,等.柠檬草精油成分分析、抑菌性及对巨峰葡萄保鲜研究[J].食品研究与开发,2020,41(1):51-59
XU Ze-wen, LI Huan-tong, WANG Qi-tong, et al. Analysis of volatile components, antibacterial activity and perseveration on Kyoho grapes of lemongrass essential oil [J]. Food Research and Development, 2020, 41(1): 51-59

（上接第 162 页）

[48] 徐元元,国旭丹,贺丽霞,等.常见6种杂粮与2种主粮的抗氧化活性比较研究[J].食品科学,2012,33(7):20-25
XU Yua-yuan, GUO Xu-dan, HE Li-xia, et al. Comparative study on antioxidant activities of 6 common cereals and 2 main cereals [J]. Food Science, 2012, 33(7): 20-25

[49] Agrawal H, Joshi R, Gupta M. Isolation，purification and characterization of antioxidative peptide of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) protein hydrolysate [J]. Food Chemistry, 2016, 204: 365-372

[50] Baublis A J, Lu C, Clydesdale F M, et al. Potential of wheat-based breakfast cereals as a source of dietary antioxidants [J]. Journal of the American College of Nutrition, 2000, 19(3): 308S-311S

[51] 乔凤云,陈欣,余柳青.抗氧化因子与天然抗氧化剂研究综述[J].科技通报,2006,22(3):332-336
QIAO Feng-yun, CHEN Xin, YU Liu-qing. Review on antioxidant factors and natural antioxidants [J]. Bulletin of Science and Technology, 2006, 22 (3): 332-336