

高良姜精油提取工艺优化、成分分析及其生物活性研究

谢小丽, 胡璇, 陈振夏, 陈悦, 江芊, 官玲亮, 于福来*

中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/农业农村部中药材生物学与栽培重点实验室/海南省热带药用植物工程研究中心/国家热带植物种质资源库, 海南 海口 571101

摘要: 目的 优化水蒸气蒸馏法提取高良姜 *Alpiniae Officinarum Rhizoma* 精油的工艺, 分析其化学成分并对其抗氧化与抑菌活性进行评价, 为高良姜精油开发利用提供一定的研究基础。方法 以高良姜根茎为原料, 采用水蒸气蒸馏法提取高良姜精油, 通过单因素实验和星点响应面法优化高良姜精油的最佳提取工艺, 利用 GC-MS 分析其化学成分, 并对其抗氧化活性和抑菌活性进行研究。结果 高良姜精油的最佳提取工艺条件为料液比 1:9.2、浸泡时间 1.1 h、蒸馏时间 4.3 h、蒸馏温度 226 °C, 在此条件下, 高良姜精油提取率为 1.07%。从高良姜精油中共检测出 44 种化学成分, 占总精油的 99.41%, 其主要成分有 1,8-桉油精 (41.92%)、 γ -依兰油烯 (13.66%)、(-)- α -蒎品醇 (7.52%)、 α -顺-香柠檬烯 (4.29%) 和反丁香烯 (3.96%)。高良姜精油对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基均具有较强的清除能力, 其半抑制浓度 (half maximal inhibitory concentration, IC_{50}) 分别为 (5.84 ± 0.15) mg/mL 和 (1.31 ± 0.08) mg/mL, 其质量浓度在 0.5~16.0 mg/mL 时表现出较强的铁还原能力。高良姜精油对 6 种供试细菌与 3 种供试真菌均表现出一定的抑菌活性, 其中对金黄色葡萄球菌与肺炎克雷伯氏菌表现为高敏感型; 所有受试菌的生长均能被高良姜精油抑制, 最小抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC) 值为 0.78~25.00 mg/mL, 最小杀菌浓度 (minimum bactericidal concentration, MBC) 值为 3.13~25.00 mg/mL, 对铜绿假单胞菌、白色念珠菌与黑曲霉无杀菌活性。结论 优化工艺条件下提取的高良姜精油提取率高, 工艺稳定可行, 高良姜精油的主要成分相对含量高于文献报道, 并具有较强的抗氧化与抑菌活性, 可将高良姜精油作为天然抗氧化剂与抑菌剂进行开发。

关键词: 高良姜; 精油; 1,8-桉油精; γ -依兰油烯; (-)- α -蒎品醇; α -顺-香柠檬烯; 反丁香烯; 抗氧化; 抑菌活性

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2023)18-5904-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2023.18.008

Extraction technology, component analysis and biological activity of *Alpiniae Officinarum Rhizoma* essential oil

XIE Xiao-li, HU Xuan, CHEN Zhen-xia, CHEN Yue, JIANG Qian, GUAN Ling-liang, YU Fu-lai

Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Biology and Cultivation of Herb Medicine (Haikou), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P.R. China/Hainan Provincial Engineering Research Center for Tropical medicinal plants/National Tropical Plants Germplasm Resource Center, Haikou 571101, China

Abstract: Objective To optimize the extraction process of essential oil from Gaoliangjiang (*Alpiniae Officinarum Rhizoma*, AOR) by steam distillation, analyze its chemical composition, and evaluate its antioxidant and antibacterial activities, so as to provide certain research basis for the development and utilization of essential oil from AOR. **Methods** The essential oil was extracted from rhizome of AOR by steam distillation. Single factor test and central composite design-response surface methodology (CCD-RSM) were used to optimize the extraction process of essential oil. The chemical constituents of essential oil were analyzed by GC-MS, and the antioxidant and antibacterial activities of essential oil were studied. **Results** The optimal extraction process conditions for AOR essential oil were material to liquid ratio of 1:9.2, soaking time of 1.1 h, distillation time of 4.3 h, and distillation temperature of 226 °C. Under these conditions, the extraction rate of AOR essential oil was 1.07%. A total of 44 chemical components were detected from the essential oil of AOR, accounting for 99.41% of the total essential oil, and the main components were 1,8-eucalyptol (41.92%),

收稿日期: 2023-03-28

基金项目: 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金 (1630032022008); 海南省自然科学基金项目 (820MS102); 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所非营利项目 (PZS2023013)

作者简介: 谢小丽 (1988—), 助理研究员, 硕士, 研究方向为南药资源研究与开发利用。E-mail: xiexiaoli13@126.com

*通信作者: 于福来 (1983—), 研究员, 博士, 研究方向为南药资源定向培育及开发利用。E-mail: fulai.yu@163.com

γ -ylangolene (13.66%), (-)- α -terpenol (7.52%), α -cis-bergamotene (4.29%) and β -caryophyllene (3.96%). AOR essential oil showed strong scavenging ability for DPPH and ABTS free radicals, with half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) values of (5.84 ± 0.15) mg/mL and (1.31 ± 0.08) mg/mL, respectively, and showed strong iron reducing ability when the concentration was in the range of 0.5 and 16.0 mg/mL. The essential oil of AOR showed certain antibacterial activity against six kinds of bacteria and three kinds of fungi, among which it was highly sensitive to *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae*. The growth of all the tested bacteria could be inhibited by the essential oil of AOR. The minimum inhibitory concentration (MIC) was 0.78—25.00 mg/mL, and the minimum bactericidal concentration (MBC) was 3.13—25.00 mg/mL. There was no bactericidal activity against *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* and *Aspergillus niger*. **Conclusion** Under optimized conditions, the extraction rate of the essential oil was high and the process was stable and feasible. The relative contents of main components of the essential oil were higher than those reported in the literature, and the essential oil had strong antioxidant and antibacterial activities. The essential oil of AOR could be used as natural antioxidant and antibacterial agent for development.

Key words: *Alpinine Officinarum Rhizoma*; essential oil; 1,8-eucalyptol; γ -ylangolene; (-)- α -terpenol; α -cis-bergamotene; β -caryophyllene; antioxidant; antimicrobial activity

高良姜是姜科山姜属植物高良姜 *Alpinia officinarum* Hance 的干燥根茎, 别名良姜、小良姜, 始载于《名医别录》, 历版《中国药典》均有收载, 主产于广东、广西、海南、福建、云南、台湾等省区, 具有温胃、祛风、散寒、行气、止痛的功效^[1-2], 临床常用于治疗脘腹寒痛、胃寒呕吐、消化不良、暖气吞酸等病症^[3-4]。现代药理学研究表明, 高良姜具有抗炎镇痛^[5]、抗氧化^[6]、抗菌^[7]、抗溃疡^[8]、抗肿瘤^[9]、降血糖^[10]、调脂减肥^[11]、促渗透^[12]等药理作用。此外, 高良姜为我国著名的十大南药之一, 随着其综合开发利用的不断深入, 高良姜在医药、食品、香料、化妆品以及蔬果保鲜等领域^[13]应用广泛, 此外, 高良姜精油作为天然调味香料, 因其具有保鲜、防霉、抗菌、抗氧化和驱杀蚊虫等功能, 使它在粮食储藏和食品保鲜方面具有很好的应用前景^[14]。

目前, 植物精油提取方法有多种, 如超临界流体萃取法、水蒸气蒸馏法、有机溶剂萃取法、酶解法、超声波提取法等。水蒸气蒸馏法具有提取时间长、效率低、耗能高等缺点, 但因其提取纯度较高、绿色安全且操作简单, 仍是国内制药行业普遍采用的提取挥发油的方法^[14], 然而, 该方法挥发油提取率低, 极大地影响中药制药产业的发展。故如何提高水蒸气蒸馏法提取精油的工艺条件是受到研究人员关注的, 因此, 本实验采用星点设计-响应面法 (central composite design-response surface methodology, CCD-RSM) 优化水蒸气蒸馏法提取高良姜精油的最佳工艺, 对提高挥发油的收率及品质, 节约生产时间及成本, 具有一定的理论意义和现实价值。再通过 GC-MS 分析高良姜精油的化学成分及其抗氧化、抑菌活性, 旨在为国内高良姜精油的

活性评价提供参考, 进一步开发和利用高良姜精油提供理论依据。

1 材料与仪器

1.1 材料与试剂

高良姜购于亳州中药材市场, 由中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所于福来研究员鉴定, 为姜科山姜属植物高良姜 *A. officinarum* Hance 的干燥根茎, 标本存放于研究所南药研究室。2,2'-联苯基-1-苦基肼基 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐 [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]、2,4,6-三吡啶基三嗪 (tripyrizyl triazine, TPTZ)、2,6-二叔丁基对甲酚 (2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol, BHT)、抗坏血酸 (vitamin C, VC)、乙醚、无水乙醇、乙酸、乙酸钠、三氯化铁、浓盐酸、过硫酸钾、硫酸亚铁均购于国药集团化学试剂有限公司。

MH 琼脂培养基、MH 肉汤培养基、马铃薯葡萄糖琼脂培养基、马铃薯葡萄糖肉汤培养基、YM 琼脂培养基、YM 肉汤培养基、大豆酪蛋白琼脂培养基、胰蛋白胨大豆肉汤培养基、左氧氟沙星、两性霉素 B (分析纯) 均购于北京索莱宝科技有限公司。大肠杆菌 *Escherichia coli* ATCC 25922、铜绿假单胞菌 *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853、金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus* ATCC 6538、枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis* ATCC 9372 由青岛大学药学院李刚老师赠送, 肺炎克雷伯氏菌 *Klebsiella pneumoniae* ATCC 10031、单增李斯特菌 *Listeria monocytogenes* ATCC 19111、热带假丝酵母菌 *Candida tropicalis* ATCC 20962、白色念珠菌 *C. albicans* ATCC 90028、黑曲霉 *Aspergillus niger* ATCC

16404 购于北京北纳创联生物技术研究院。

1.2 仪器与设备

ZNHW 型数显电热套、ZNHW 型干燥箱, 上海予申有限公司; 2L/29#挥发油提取器, 上海门融星生物科技有限公司; 7820A-Agilent 5977E 型气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS), 美国安捷伦科技有限公司; JJ324BC 型万分之一天平, 双杰测试仪器厂; SpectraMax Plus 384 型酶标仪, 美国 Molecular Devices 公司; HWS24 型电子恒温水浴锅、KQ-500 DB 型数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; XFS-280A 型手提式压力蒸汽灭菌锅, 浙江新风医疗器械有限公司; SW-CJ-1F 型超净工作台, 苏州广源净化科技有限公司; Sartorius CPA225D 型电子分析天平, 北京赛多利斯科学仪器有限公司; BM2100 型光学显微镜, 浙江新风医疗器械有限公司; DNP-9052BS-III 型电热恒温培养箱、HZQ-X160 型恒温摇床, 上海申苗医疗器械制造有限公司。

2 方法与结果

2.1 高良姜精油的提取及提取率计算

按照《中国药典》2020 年版精油测定法“甲法”, 取高良姜根茎原样粉碎过筛, 称取高良姜粉末 50 g 放入 2000 mL 圆底烧瓶中, 连接蒸馏装置, 加热沸腾后蒸馏提取, 试验均重复 3 次。收集精油, 加入适量无水硫酸钠干燥, 按公式计算精油提取率。

精油提取率 = 精油体积 / 植物粉末质量

2.2 单因素实验考察高良姜的提取工艺

2.2.1 粉碎度考察 取高良姜根茎原样, 分别粉碎过 10、20、30、40、50、60 目筛子, 获得不同颗粒大小的样品。分别称取高良姜粉末 50 g, 加入 10 倍量蒸馏水, 浸泡 3 h, 220 °C 下水蒸气蒸馏 5 h, 每个颗粒大小重复 3 次试验, 收集并测量精油体积, 计算提取率。结果粉碎度为 10、20、30、40、50、60 目时高良姜精油的提取率分别为 $(0.69 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.87 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.78 \pm 0.02)\%$ 、 $(0.95 \pm 0.05)\%$ 、 $(0.62 \pm 0.02)\%$ 、 $(0.48 \pm 0.08)\%$ ($n=3$), 当样品颗粒从 10~40 目时, 高良姜精油的提取率快速上升; 当样品颗粒从 40~60 目时, 高良姜精油的提取率剧烈下降, 对于根茎类药材, 粉碎度的变化相对于果实类药材变化更为明显, 这可能是因为一开始随着目数的减小, 根茎类药材从较大体积的根茎急剧变为颗粒状, 精油成分很快浸出, 但随着颗粒越来越小, 挥发损失的精油量也逐渐增大, 因此, 综合考虑选择高良姜粉碎度为 40 目。

2.2.2 料液比考察 分别称取过 40 目筛的高良姜粉末 50 g, 分别按料液比 1:7、1:8、1:9、1:10、1:11、1:12 加入蒸馏水, 浸泡 3 h, 220 °C 下水蒸气蒸馏 5 h, 每个料液比重重复 3 次试验, 收集并测量精油体积, 计算提取率。结果料液比为 1:7、1:8、1:9、1:10、1:11、1:12 时高良姜精油的提取率分别为 $(0.65 \pm 0.05)\%$ 、 $(0.67 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.81 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.87 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.82 \pm 0.02)\%$ 、 $(0.79 \pm 0.01)\%$ ($n=3$), 随着料液比的逐渐增大, 高良姜精油的提取率先上升后下降。当料液比在 1:7~1:8 时, 高良姜精油提取率几乎没有变化; 当料液比在 1:8~1:10 时, 高良姜精油提取率快速上升; 当料液比在 1:10~1:12 时, 高良姜精油提取率缓慢减小, 所以综合考虑, 选择料液比为 1:10。

2.2.3 浸泡时间考察 分别称取过 40 目筛的高良姜粉末 50 g, 加入 10 倍蒸馏水分别浸泡 0、1、2、3、4、5 h, 220 °C 下水蒸气蒸馏 5 h, 每个浸泡时间重复 3 次试验, 收集并测量精油体积, 计算提取率。结果浸泡时间为 0、1、2、3、4、5 h 时高良姜精油的提取率分别为 $(0.55 \pm 0.05)\%$ 、 $(0.93 \pm 0.07)\%$ 、 $(0.81 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.82 \pm 0.06)\%$ 、 $(0.82 \pm 0.02)\%$ 、 $(0.81 \pm 0.03)\%$ ($n=3$), 浸泡前 1 h 高良姜根茎精油的出油率急剧升高; 浸泡时间在 1~2 h 时, 高良姜根茎精油的出油率快速下降, 可能是因为根茎类药材在一开始粉末浸泡后精油成分迅速浸出, 但随着浸泡时间的增加, 精油挥发损失量大于浸出量导致提取率的下降, 当浸泡了 2 h 后高良姜精油的提取率趋于平缓, 因此, 综合考虑选择浸泡时间为 1 h。

2.2.4 蒸馏时间考察 分别称取过 40 目筛的高良姜粉末 50 g, 将其浸泡于 10 倍量的蒸馏水中 1 h, 220 °C 下分别水蒸气蒸馏 2、3、4、5、6、7 h, 每个蒸馏时间重复 3 次试验, 收集并测量精油体积, 计算提取率。结果蒸馏时间为 2、3、4、5、6、7 h 时高良姜精油的提取率分别为 $(0.47 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.63 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.87 \pm 0.03)\%$ 、 $(0.83 \pm 0.05)\%$ 、 $(0.85 \pm 0.05)\%$ 、 $(0.82 \pm 0.02)\%$ ($n=3$), 随着蒸馏时间的增加, 高良姜精油的出油速度急剧变大, 直至蒸馏 4 h 出油量最高, 之后高良姜精油的提取率慢慢下降直至趋于平缓, 可能是由于蒸馏时间过长收集器中的少部分精油挥发, 因此, 选择蒸馏时间为 4 h。

2.2.5 蒸馏温度的考察 分别称取过 40 目筛子的高良姜粉末 50 g, 将其浸泡于 10 倍量的蒸馏水中 1 h, 分别于 140、180、220、260、300、340 °C 下水蒸气蒸馏 4 h, 每个蒸馏温度重复 3 次试验, 收集并测量精油体积, 计算提取率。结果蒸馏温度为 140、180、220、260、300、340 °C 时高良姜精油的提取率分别为 (0.58±0.02) %、(0.67±0.03) %、(0.91±0.01) %、(0.73±0.05) %、(0.66±0.02) %、(0.63±0.03) % ($n=3$), 当蒸馏温度为 140~220 °C 时, 高良姜精油提取率快速上升, 当蒸馏温度为 220 °C 时, 精油提取率达到最大值, 当蒸馏温度在 220~340 °C 时, 高良姜根茎精油的出油率剧烈减少, 与高良姜精油提取率变化不同, 可能是高良姜根茎精油在此温度下易挥发, 因此, 选择蒸馏温度为 220 °C。

2.3 CCD-RSM 设计试验考察高良姜的提取工艺

试验采用 CCD-RSM 原理, 根据单因素实验结果, 选择料液比 (X_1)、浸泡时间 (X_2)、蒸馏时间 (X_3) 和蒸馏温度 (X_4) 为考察因素, 高良姜精油提取率 (Y) 为响应值, 对高良姜精油提取工艺进行优

化, 每组试验均重复 3 次。CCD-RSM 试验因素水平及试验设计与结果见表 1。

根据试验结果, 得到关于编码值的回归方程: 提取率 $Y=1.050+0.026 X_1+0.019 X_2+0.046 X_3+0.047 X_4-3.625 \times 10^{-3} X_1 X_2-1.125 \times 10^{-3} X_1 X_3-6.250 \times 10^{-3} X_1 X_4-0.016 X_2 X_3-3.750 \times 10^{-3} X_2 X_4-0.041 X_3 X_4-0.064 X_1^2-0.056 X_2^2-0.069 X_3^2-0.110 X_4^2$ 。对拟合的回归方程进行方差分析, 结果见表 2。由表 2 可知, 模型的 $P<0.000 1$, 表明该回归模型极显著; 模型的 $R^2=0.915 5$, 表明 91.55% 的试验数据可用该模型进行解释; 失拟项的 $P=0.342 5 (>0.05)$, 差异不显著, 说明未知因素对试验结果干扰小, 残差均由随机误差引起。因素 X_3 、 X_4 及二次项 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 、 X_4^2 对高良姜精油提取率有极显著影响 ($P<0.01$), 交互项 $X_3 X_4$ 对高良姜精油提取率有显著影响 ($P<0.05$), 其余项不显著, 表明各因素对精油提取率的影响不是简单的线性关系。由各因素的平方的方差分析结果, 可以得出 4 个因素对结果影响的大小顺序为 X_4 (蒸馏温度) $> X_3$ (蒸馏时间) $> X_1$ (料液比) $> X_2$ (浸泡时间)。

表 1 高良姜精油提取的 CCD-RSM 试验设计及结果 ($n=3$)

Table 1 Experiment design and results of CCD-RSM of essential oil extraction of AOR ($n=3$)

试验号	X_1	X_2/h	X_3/h	$X_4/^{\circ}C$	$Y/\%$	试验号	X_1	X_2/h	X_3/h	$X_4/^{\circ}C$	$Y/\%$	试验号	X_1	X_2/h	X_3/h	$X_4/^{\circ}C$	$Y/\%$
1	1 : 8 (-1)	0.5 (-1)	3 (-1)	180 (-1)	0.62	11	1 : 8	1.5	3	260	0.80	21	1 : 9 1.0	2 (-2)	220	0.60	
2	1 : 10 (+1)	0.5	3	180	0.72	12	1 : 10	1.5	3	260	0.84	22	1 : 9 1.0	6 (+2)	220	0.86	
3	1 : 8	1.5 (+1)	3	180	0.64	13	1 : 8	0.5	5	260	0.76	23	1 : 9 1.0	4	140 (-2)	0.40	
4	1 : 10	1.5	3	180	0.68	14	1 : 10	0.5	5	260	0.80	24	1 : 9 1.0	4	300 (+2)	0.72	
5	1 : 8	0.5	5 (+1)	180	0.74	15	1 : 8	1.5	5	260	0.80	25	1 : 9 1.0	4	220	1.10	
6	1 : 10	0.5	5	180	0.80	16	1 : 10	1.5	5	260	0.84	26	1 : 9 1.0	4	220	1.00	
7	1 : 8	1.5	5	180	0.84	17	1 : 7 (-2)	1.0 (0)	4 (0)	220 (0)	0.70	27	1 : 9 1.0	4	220	0.98	
8	1 : 10	1.5	5	180	0.90	18	1 : 11 (+2)	1.0	4	220	0.80	28	1 : 9 1.0	4	220	1.06	
9	1 : 8	0.5	3	260 (+1)	0.78	19	1 : 9 (0)	0.0 (-2)	4	220	0.74	29	1 : 9 1.0	4	220	1.04	
10	1 : 10	0.5	3	260	0.82	20	1 : 9	2.0 (+2)	4	220	0.82	30	1 : 9 1.0	4	220	1.12	

根据回归方程, 采用 Design Expert 10.0 软件绘制料液比 (X_1)、浸泡时间 (X_2)、蒸馏时间 (X_3) 和蒸馏温度 (X_4) 的响应面图和等高线图 (图 1)。通过响应面图和等高线图的形状可以判断单因素对精油提取率的影响, 响应曲面越陡峭说明其对精油提取率的影响越显著, 等高线图则是越接近椭圆说明 2 因素交互作用对精油的影响越显著。从图 1 中的响应面图可知, 图 1-F 对应的曲线有较大的弧度, 其次为图 1-A, 即表明交互项 $X_3 X_4$ 对高良姜根茎精

油的提取率有显著的影响, 这个结果与表 2 的结果一致。从图 1-f 中的等高线图也可以明显看出 X_3 和 X_4 的图形为椭圆形, 这说明 X_3 和 X_4 共同影响高良姜根茎精油的提取率且影响显著。相对而言, 图 1-a~e 等高线为圆形或接近于圆形, 说明除交互项 $X_3 X_4$ 外, 其他因素之间的交互作用对高良姜根茎精油的提取率影响不显著, 这与表 2 的结果也一致。

通过回归方程及响应曲面的分析, 确定水蒸气蒸馏提取高良姜精油的最佳提取工艺条件为料液比

表 2 方差分析

Table 2 Variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性	方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.650	14	0.046	11.610	<0.000 1	极显著	X_3X_4	0.027	1	0.027	6.810	0.019 7	显著
X_1	0.016	1	0.016	4.030	0.063 1		X_1^2	0.110	1	0.110	27.700	<0.000 1	极显著
X_2	8.740×10^{-3}	1	8.740×10^{-3}	2.190	0.160 0		X_2^2	0.086	1	0.086	21.550	0.000 3	极显著
X_3	0.050	1	0.050	12.560	0.002 9	极显著	X_3^2	0.130	1	0.130	32.230	<0.000 1	极显著
X_4	0.054	1	0.054	13.540	0.002 2	极显著	X_4^2	0.340	1	0.340	84.580	<0.000 1	极显著
X_1X_2	2.103×10^{-4}	1	2.103×10^{-4}	0.053	0.821 8		残差	0.060	15	4.000×10^{-3}			
X_1X_3	2.025×10^{-5}	1	2.025×10^{-5}	5.063×10^{-3}	0.944 2		失拟项	0.045	10	4.500×10^{-3}	1.500	0.342 5	
X_1X_4	6.250×10^{-4}	1	6.250×10^{-4}	0.160	0.698 2		纯误差	0.015	5	3.000×10^{-3}			
X_2X_3	4.160×10^{-3}	1	4.160×10^{-3}	1.040	0.324 0		总和	0.710	29				
X_2X_4	2.250×10^{-4}	1	2.250×10^{-4}	0.056	0.815 7								

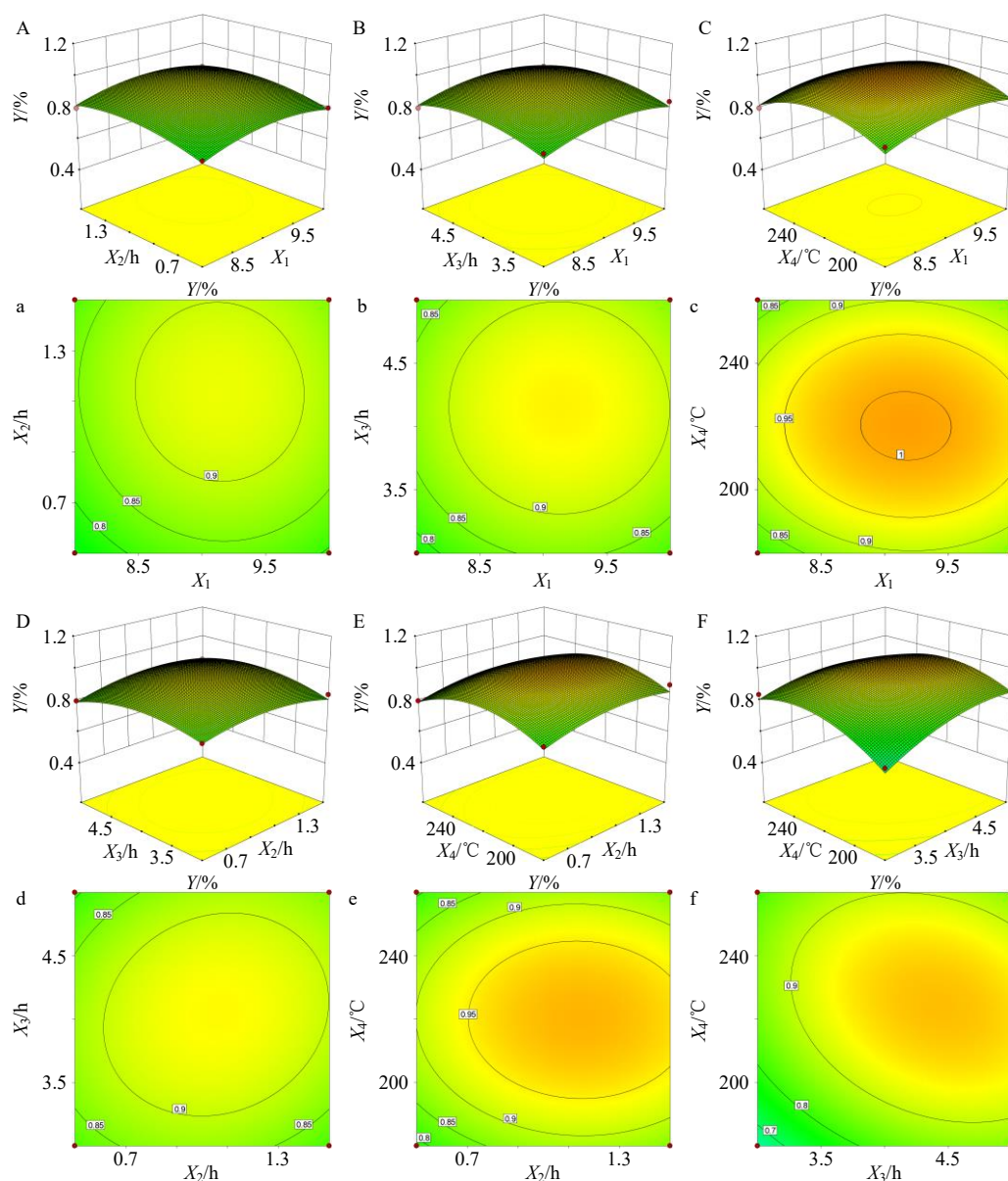


图 1 各因素交互作用对高良姜精油的影响等高线图和响应面图

Fig. 1 Contour map and response surface map of effect of interaction of various factors on AOR essential oil

1:9.188、浸泡时间 1.102 h、蒸馏时间 4.312 h、蒸馏温度 225.930 °C，在此条件下，高良姜精油提取率为 1.07%。考虑到实际操作方便性，将最佳工艺条件修正为料液比 1:9.2、浸泡时间 1.1 h、蒸馏时间 4.3 h、蒸馏温度 226 °C。在此条件下，进行 3 次验证试验，得到的实际提取率为 1.01%，与理论预测值相比只相差 0.06%，说明该回归方程能较准确地反映各因素对高良姜精油提取率的影响，可用于高良姜精油提取工艺的优化。

2.4 高良姜精油成分分析

采用 GC-MS 方法^[15]对高良姜精油化学成分进行分析。色谱条件：色谱柱为 HP5-MS 弹性毛细管柱 (0.25 mm×0.25 μm×30 m)；升温程序：起始温度 60 °C，之后以 4 °C/min 升温至 116 °C 保持 20 min，再以 5 °C/min 升温至 160 °C，最后以 20 °C/min 升温至 280 °C 保持 2 min；高纯氮载气；柱内载气流量 1.0 mL/min；进样量 1 μL；不分流。质谱条件：EI 离子源；离子源温度 230 °C；四级杆温度 150 °C；电子能量 70 eV；接口温度 250 °C；质量扫描范围 50~500 amu。

采用 GC-MS 对高良姜精油成分进行分析，通过和标准质谱数据库数据比对定性，采用峰面积归一化法计算各组分的相对含量，精油的总离子流色谱图见图 2。高良姜精油的化学成分大多集中在保留时间 5~40 min。定性结果及相对含量见表 3，由图 2 与表 3 可知，从高良姜精油中初步鉴定出 44 种化学成分，占色谱总流出物相对含量的 99.41%，从化合物类型来看，高良姜精油的主要成分为醇、烃、酯、酮、醚类等化合物，其中 13 种醇类化合物，占 57.44%，21 种烃类化合物，占 32.18%，2 种酯类化合物，占 0.62%，1 种酮类化合物，占 0.48%，1 种醚类化合物，占 0.26%。

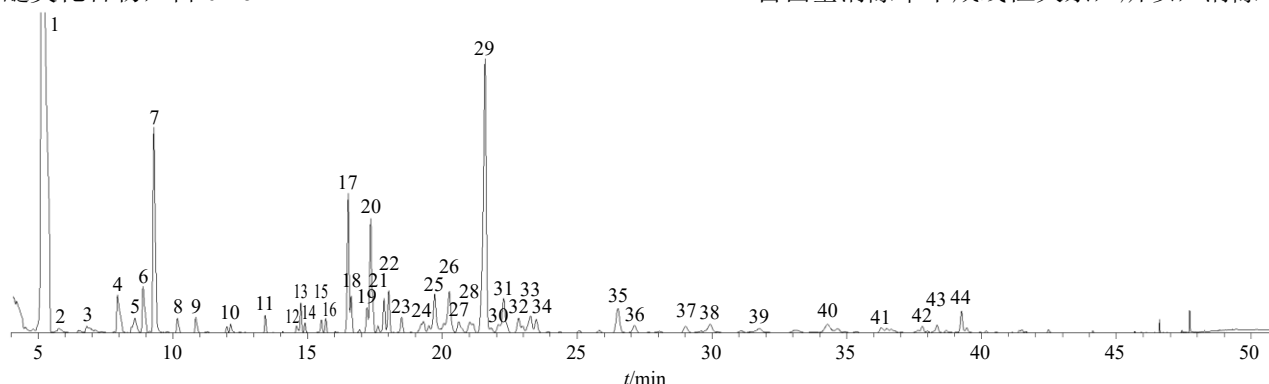


图 2 高良姜精油的 GC-MS 总离子流图

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

从表 3 中高良姜精油各组分的相对含量可以看出，相对含量高于 1%的成分有 14 种，占总量的 85.73%；含量在 3%以上的化合物 5 种，占主导地位的是 1,8-桉油精 (41.92%)，其次是 γ-依兰油烯 (13.66%)、(-)-α-萜品醇 (7.52%)、α-顺-香柠檬烯 (4.29%) 和反丁香烯 (3.96%)。本研究中高良姜精油的主要成分为 1,8-桉油精与 γ-依兰油烯，其中鉴于高良姜精油成分中 1,8-桉油精、γ-依兰油烯的相对含量较高，笔者认为可将高良姜作为天然植物源 1,8-桉油精、γ-依兰油烯的提取原料。

2.5 高良姜精油抗氧化活性

2.5.1 DPPH 自由基清除能力的测定

参考 Yosr 等^[16]和 Zhu 等^[17]的方法，并据实验稍作修改。称取 DPPH 39.4 mg 加入 10 mL 无水乙醇中，超声 2 min 使其完全溶解，配制成 10 mmol/L 的 DPPH 母液并避光密封保存于 4 °C 冰箱中。用无水乙醇将 DPPH 母液稀释成 0.1 mmol/L，分别吸取 2 mL 0.5、1、2、4、8、16、32 mg/mL 质量浓度的各样品溶液加入到 2 mL DPPH 溶液 (0.1 mmol/L) 中，充分混匀，室温避光静置 30 min，采用紫外可见分光光度计在 517 nm 处测定吸光值 (A_s)。以 VC 和 BHT 为阳性对照 (A_s)，无水乙醇为空白对照 (A_c)，每个质量浓度的各样品和对照均重复 3 次，取平均值。DPPH 自由基清除率 (I) 按下式计算。

$$I = (A_c - A_s) / A_c$$

结果见表 4 与图 3，高良姜精油有一定的清除 DPPH 自由基的能力，但均低于 VC 与 BHT。由回归方程可以看出，高良姜精油样品质量浓度与 DPPH 自由基清除率呈良好的线性关系，说明高良姜精油清除自由基能力与其质量浓度呈明显的量效关系。但当精油质量浓度较高时，其质量浓度与 DPPH 自由基清除率不成线性关系，所以，清除率

表 3 高良姜精油的化学成分及其相对含量

Table 3 Chemical components and their relative contents of AOR essential oil

峰号	t_R /min	化合物	分子式	相对分子质量	相对含量/%
1	5.140	1,8-桉油精	C ₁₀ H ₁₈ O	154	41.92
2	5.757	γ -萜品烯	C ₁₀ H ₁₆	136	0.27
3	6.806	左旋芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.43
4	7.947	左旋樟脑	C ₁₀ H ₁₆ O	152	1.81
5	8.585	(-)-龙脑	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.85
6	8.891	萜品烯-4-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154	1.80
7	9.291	(-)- α -萜品醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154	7.52
8	10.168	乙酸小茴香酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.46
9	10.848	苜基丙酮	C ₁₀ H ₁₂ O	148	0.48
10	12.145	4-烯丙基苯甲醚	C ₁₀ H ₁₂ O	148	0.26
11	13.421	苯甲酸异丁酯	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	178	0.41
12	14.583	(+)-环苜萜烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.22
13	14.744	α -依兰烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.69
14	14.900	α -古巴烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.22
15	15.507	β -榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.35
16	15.673	环丁基-苯	C ₁₀ H ₁₂	132	0.36
17	16.503	反丁香烯	C ₁₅ H ₂₄	204	3.96
18	16.612	(-)-1,7-二甲基-7-(4-甲基-3-戊烯基)-三环[2.2.1.0(2,6)]庚烷	C ₁₅ H ₂₄	204	0.94
19	17.204	(1 <i>S</i> ,2 <i>E</i> ,6 <i>E</i> ,10 <i>R</i>)-3,7,11,11-四甲基双环[8.1.0]十一碳-2,6-二烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.72
20	17.335	α -顺-香柠檬烯	C ₁₅ H ₂₄	204	4.29
21	17.831	α -古芸烯	C ₁₅ H ₂₄	204	1.30
22	18.013	α -葎草烯	C ₁₅ H ₂₄	204	1.33
23	18.485	右旋大根香叶烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.55
24	19.295	γ -葎澄茄烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.50
25	19.710	β -芹油烯	C ₁₅ H ₂₄	204	1.53
26	20.052	2-甲基丁酸-2-苯乙酯	C ₁₃ H ₁₈ O ₂	206	0.21
27	20.260	2-异丙烯基-4a,8-二甲基-1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢萘	C ₁₅ H ₂₄	204	1.80
28	21.017	δ -guainen	C ₁₅ H ₂₄	204	0.51
29	21.578	γ -依兰油烯	C ₁₅ H ₂₄	204	13.66
30	22.081	顺-菖蒲烯	C ₁₅ H ₂₂	202	0.33
31	22.268	δ -杜松油烯	C ₁₅ H ₂₄	204	1.88
32	22.833	(4 <i>aR</i> ,8 <i>aS</i>)-4a-甲基-1-亚甲基-7-(丙烷-2-叶立德酮)十氢萘	C ₁₅ H ₂₄	204	0.66
33	23.269	selina-3,7(11)-diene	C ₁₅ H ₂₄	204	1.03
34	23.477	α -白菖考烯	C ₁₅ H ₂₀	200	0.63
35	26.512	石竹素	C ₁₅ H ₂₄ O	220	1.39
36	27.119	γ -古芸烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.40
37	29.018	环氧化蛇麻烯 II	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.40
38	29.916	表葎澄茄油烯醇	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.83
39	33.050	τ -杜松醇	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.28
40	34.269	异长叶烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.69
41	34.658	τ -依兰醇	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.24
42	37.802	刺柏脑	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.25
43	38.342	α -檀香醇	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.32
44	39.255	(<i>R,Z</i>)-2-甲基-6-(4-甲基环六-1,4-二烯-1-基)庚-2-烯-1-醇	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.73
总计					99.41

表 4 高良姜精油对 DPPH 自由基的清除能力 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 4 Scavenging ability of AOR essential oil on DPPH free radicals ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

样品	回归方程	回归关系显著性	回归系数 (R^2)	IC ₅₀ /(mg·mL ⁻¹)
高良姜精油	$Y=1.399 X+33.882$	显著	0.999	5.84 ± 0.15
VC	$Y=56.600 X+216.79$	显著	0.949	0.001 3
BHT	$Y=41.165 X+119.52$	显著	0.984	0.024

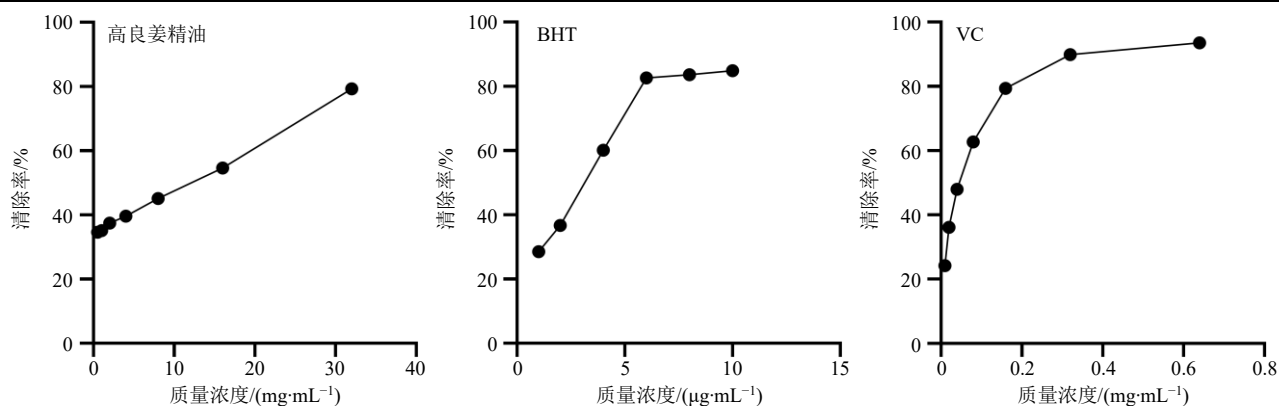


图 3 高良姜精油对 DPPH 自由基的清除率

Fig. 3 Scavenging rate of AOR essential oil on DPPH free radicals

不能很好地表示精油清除 DPPH 自由基的能力,也不能很好地对精油抗氧化活性进行比较。

因此,为了比较高良姜精油清除 DPPH 自由基的能力,选用精油对 DPPH 自由基清除作用的半数抑制浓度(half inhibitory concentration, IC₅₀)为测定指标,精油的 IC₅₀ 值越小说明其清除 DPPH 自由基的能力越强。由表 4 可知,高良姜精油、VC 和 BHT 的 IC₅₀ 分别为 (5.84 ± 0.15)、0.001 3、0.024 mg/mL。

2.5.2 ABTS 自由基清除能力的测定 参考 Jena 等^[18]的方法,并据实验稍作修改。将浓度为 7 mmol/L 的 ABTS 溶液与 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液混合,于室温避光条件下静置过夜,用无水乙醇稀释 ABTS 过硫酸钾溶液,使其在 734 nm 处的 A 值为 0.700 ± 0.020 ,形成 ABTS 测定液。分别吸取 1 mL 0.5、1、2、4、8、16、32 mg/mL 质量浓度的各样品溶液加入 4 mL ABTS 测定液中,充分混匀,室温避光静置 30 min,然后在 734 nm 处测定吸光值 (A_s)。以 VC 和 BHT 为阳性对照 (A_s),无水乙

醇为空白对照 (A_c),每个质量浓度的各样品和对照均重复 3 次,取平均值。ABTS 自由基清除率按公式计算。

$$I=(A_c-A_s)/A_c$$

高良姜精油清除 ABTS 自由基的回归方程和 IC₅₀ 值见表 5。由回归方程可以看出,高良姜精油样品质量浓度与 ABTS 自由基清除率呈良好的线性关系,表现出明显的量效关系。由表 5 可知,高良姜精油、VC 和 BHT 的 IC₅₀ 分别为 (1.305 ± 0.008)、0.000 55、0.001 1 mg/mL。由图 4 可知,高良姜精油清除 ABTS 自由基的能力,当质量浓度大于 6 mg/mL 时,清除率大于 80%,当质量浓度大于 16 mg/mL 时,清除率趋于平稳。当质量浓度为 32 mg/mL 时,清除率为 92.78%,结果表明高良姜精油有一定的清除 ABTS 自由基的能力,但高良姜精油清除 ABTS 自由基的能力与 VC 与 BHT 有一定的差距。

2.5.3 铁还原能力测定(FRAP) 参考 Memarzadeh 等^[19]的方法,分别配制 300 mmol/L 醋酸盐缓冲液

表 5 高良姜精油对 ABTS 自由基的清除能力 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 5 Scavenging ability of AOR essential oil on ABTS free radicals ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

样品	回归方程	回归关系显著性	回归系数 (R^2)	IC ₅₀ /(mg·mL ⁻¹)
高良姜精油	$Y=1.399 X+33.882$	显著	0.999	1.310 ± 0.008
VC	$Y=0.570 7 X+2.361 1$	显著	0.918	0.000 55
BHT	$Y=38.873 X+165.210$	显著	0.926	0.001 1

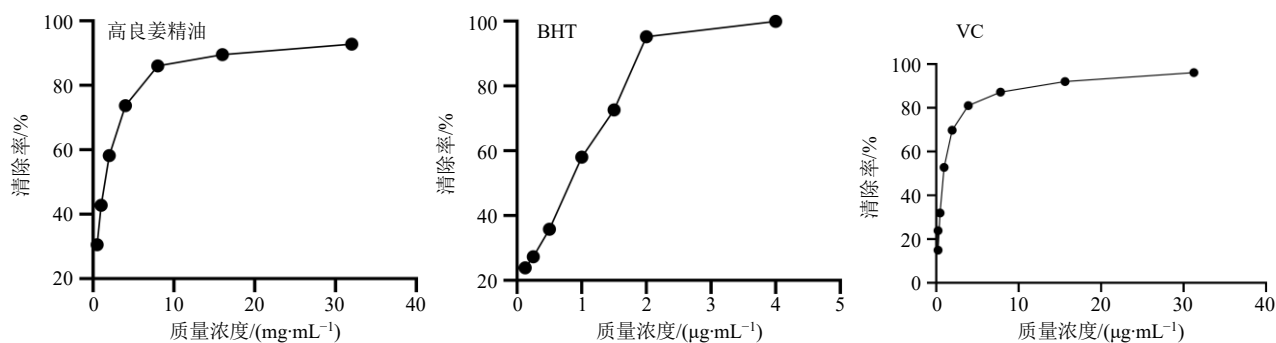


图 4 高良姜精油对 ABTS 自由基的清除率

Fig. 4 Scavenging rate of AOR essential oil on ABTS free radicals

(pH 3.6)、20 mmol/L $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液和 10 mmol/L TPTZ 溶液 (用 40 mmol/L 盐酸配制), 将 3 个溶液按照 10:1:1 的比例进行混合配制成 FRAP 工作液 (FRAP 工作液需现配现用), 混匀后放 37 °C 水浴锅中预热备用。

分别依次吸取 0.1 mL 不同质量浓度的各样品溶液和 0.3 mL 蒸馏水加入 2.6 mL 预热至 37 °C 的 FRAP 工作液中, 充分混匀, 室温避光静置 30 min, 然后在 593 nm 处测定 A 值。以 VC 和 BHT 为阳性对照, 蒸馏水为空白对照, 每个质量浓度的各样品和对照均重复 3 次, 取平均值。

以 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液为标品, 建立 FeSO_4 溶液的回归方程为 $Y=0.068 X+0.17$, $R^2=0.981$, 每克样品替代 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的微摩尔数表示铁的还原力 [FRAP 活性用 $\text{mmol Fe}^{2+}/(\text{L} \cdot \text{g})$ 来表示], 结果见表 6, 高良姜精油具有一定的还原能力, 并且随质量浓度增加, 还原能力增强, 但增加幅度小, 当高良姜精油质量浓度为 16 mg/mL 时, 高良姜精油铁还原能力在 $(19.730 \pm 0.682) \text{ mmol Fe}^{2+}/(\text{L} \cdot \text{g})$ 。由此可见, 高良姜精油具有较好的铁还原力, 但在相同质量浓度下, 高良姜精油的还原能力与 BHT 和 VC 相比还有一定的差距。

表 6 高良姜精油铁还原能力 ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

Table 6 Iron reduction ability of AOR essential oil ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

样品	FRAP/($\text{Fe}^{2+} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)					
	16 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	8 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	4 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	2 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	1 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	0.5 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$
高良姜精油	19.73 ± 0.68	15.36 ± 0.28	8.26 ± 0.13	5.33 ± 0.24	3.05 ± 0.10	0.98 ± 0.10
VC	54.65 ± 0.04	54.36 ± 0.02	52.96 ± 0.31	36.33 ± 0.85	18.92 ± 0.57	9.38 ± 0.83
BHT	22.08 ± 0.42	18.34 ± 0.15	12.00 ± 0.44	8.20 ± 0.42	4.64 ± 0.61	2.45 ± 0.17

2.6 高良姜精油抑菌活性

2.6.1 抑菌圈的测定 采用滤纸片琼脂平板扩散法, 在无菌的操作台用移液枪吸取精油 20 μL 滴于无菌滤纸片 ($d=6 \text{ mm}$) 上, 待纸片充分吸收后贴在已涂布的各菌液 (菌液浓度为 $10^6 \sim 10^7 \text{ cfu/mL}$) 培养基平板上, 并标记好各药液的名称, 每个菌进行 3 次重复, 以无菌水为阴性对照, 左氧氟沙星为细菌的阳性对照, 两性霉素 B 为真菌的阳性对照, 细菌培养条件为恒温培养箱 37 °C 中培养 24 h, 真菌培养条件为恒温培养箱 28 °C 中培养 48 h。培养结束后, 观察并记录抑菌圈的有无以及直径大小作为判断敏感度高低的标准, 采用十字交叉法测量抑菌圈直径大小, 取其平均值作为测定结果。结果标准为抑菌圈直径大于 20 mm 时为极敏, 直径在 15~

20 mm 时为高敏, 在 10~15 mm 时为中敏, 抑菌圈直径小于 10 mm 为低敏^[20]。

结果见表 7 与图 5、6, 高良姜精油对 6 种供试细菌与 3 种供试真菌均表现出一定的抑菌活性, 其中, 在革兰阳性菌上高良姜精油对金黄色葡萄球菌表现为高敏感 (15.29 ± 0.32) mm, 对枯草芽孢杆菌表现为中度敏感 (14.65 ± 0.02) mm, 对单增李斯特菌表现为低敏感 (8.21 ± 0.14) mm。在革兰阴性菌上, 高良姜精油对肺炎克雷伯氏菌表现为高敏感 (15.60 ± 0.41) mm, 对大肠杆菌 (13.22 ± 0.49) mm 与铜绿假单胞菌 (12.65 ± 0.05) mm 表现为中度敏感。在真菌上, 高良姜精油对热带假丝酵母菌、白色念珠菌、黑曲霉表现为低敏感。

2.6.2 最低抑菌浓度 (minimum inhibitory

表 7 高良姜精油对 6 株细菌与 3 株真菌的抑菌圈直径、MIC 值与 MBC 值

Table 7 Antibacterial circle diameter, MIC value and MBC value of AOR essential oil against six bacterial and three fungi

菌种分类	受试菌种	抑菌圈平均直径/mm			MIC/ (mg·mL ⁻¹)	MBC/ (mg·mL ⁻¹)
		高良姜精油	阳性对照	阴性对照		
革兰阳性菌	金黄色葡萄球菌	15.29±0.32	22.27±0.25	—	0.78	25.00
	枯草芽孢杆菌	14.65±0.02	23.25±0.35	—	0.78	12.50
	单增李斯特菌	8.21±0.14	23.95±0.44	—	25.00	25.00
革兰阴性菌	大肠杆菌	13.22±0.49	25.04±0.46	—	0.78	3.13
	铜绿假单胞菌	12.65±0.05	24.62±0.16	—	0.78	—
	肺炎克雷伯氏菌	15.60±0.41	24.53±0.17	—	25.00	12.50
真菌	热带假丝酵母菌	9.18±0.26	15.35±0.24	—	6.25	25.00
	白色念珠菌	9.73±0.42	15.11±0.28	—	25.00	—
	黑曲霉	9.39±0.40	15.01±0.16	—	12.50	—

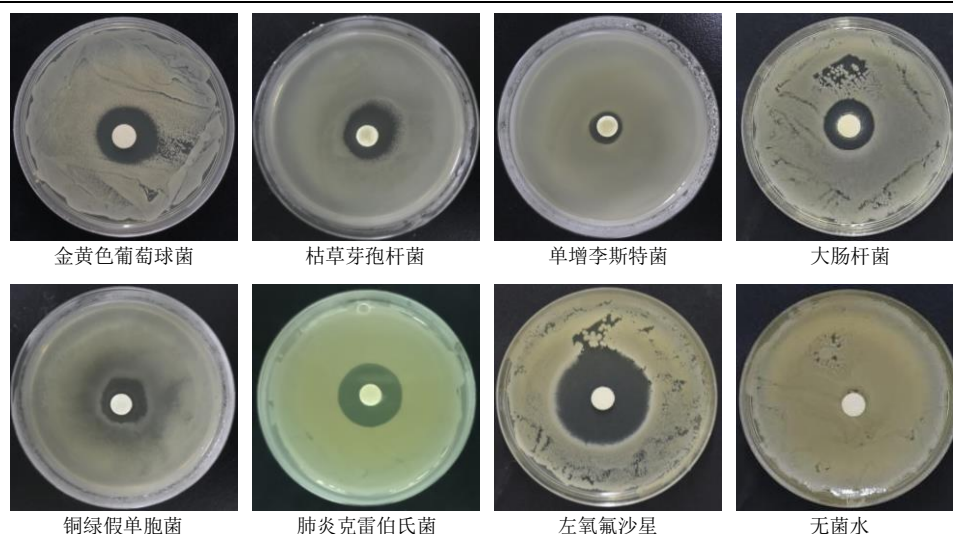


图 5 高良姜精油对 6 株细菌的抑菌圈直径图

Fig. 5 Antibacterial circle diameter diagram of AOR essential oil against six bacterial strains

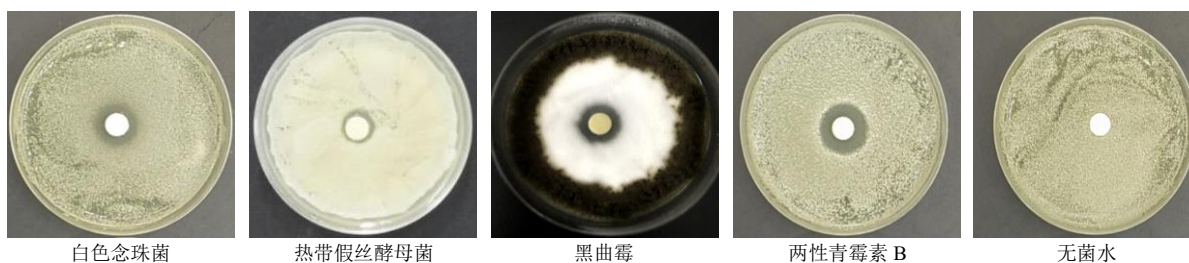


图 6 高良姜精油对 3 株真菌的抑菌圈直径图

Fig. 6 Antibacterial circle diameter diagram of AOR essential oil against three fungal strains

concentration, MIC) 的测定 在 96 孔板上采用微量二倍稀释法进行 MIC 试验, 将 A1 作为起始的第 1 孔, 从左到右依次进行, 每个板上 1~12 孔为药液, 每个板只能加 1 种菌, 每个板均做 3 个空白、阳性对照和阴性对照。首先用移液枪向每排第 1 孔加入 180 μ L 菌悬液, 第 2~12 个孔各加入 100 μ L 菌悬液, 再分别吸取 20 μ L 各精油于第 1 孔, 充分

混匀后依次对第 1~12 孔做梯度稀释, 使其精油浓度分别为 100、50、25、12.5、6.25、3.125、1.563、0.781、0.391、0.195、0.097 μ L/mL, 每个菌重复 3 次, 待培养结束后使用酶标仪测定 96 孔板内各溶液的吸光值, 抑菌率达到 80% 的样品质量浓度就为该样品对该菌的 MIC。

结果见表 7 的 MIC 值, 高良姜精油对细菌金黄

色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌与铜绿假单胞菌的抑制作用最为明显,在较低的质量浓度条件下,对这 4 种菌有很好的抑制效果,其 MIC 为 0.781 mg/mL,对单增李斯特菌与肺炎克雷伯氏菌的抑制效果有所降低,对这 2 种细菌的 MIC 为 25 mg/mL;高良姜精油对真菌热带假丝酵母菌的抑制作用较为明显,其 MIC 为 6.25 mg/mL,黑曲霉的 MIC 为 12.5 mg/mL,而对白色念珠菌的 MIC 为 25 mg/mL。

2.6.3 最低杀菌浓度 (minimum bactericidal concentration, MBC) 的测定 采用琼脂培养基平板法,取各样品 MIC 所对应的溶液均匀涂布于相应的平板中,待培养结束后观察培养基中有无菌株生长,菌落数低于 5 个的平板就为该样品的 MBC。结果见表 7 的 MBC 值,高良姜精油对大肠杆菌的杀菌效果最好,其 MBC 为 3.125 mg/mL,其次对枯草芽孢杆菌、肺炎克雷伯氏菌的 MBC 为 12.5 mg/mL;对金黄色葡萄球菌、单增李斯特菌的 MBC 为 25 mg/mL,而对铜绿假单胞菌、白色念珠菌与黑曲霉无杀菌活性。

3 讨论

高良姜作为辛温类药材,其辛味主要来源于其富含的挥发油类成分,其挥发油是高良姜的主要有效成分之一,其中的 1,8-桉油精(素)含量相对稳定,是直接反映高良姜挥发油质量优劣的一个参考指标,但高良姜挥发油成分复杂,不同提取方法与不同产地所得挥发油成分及含量均不尽相同^[21-22]。林丽静等^[23]对比了超临界和水蒸气提取高良姜精油,得出超临界 CO₂ 提取技术提取的精油提取率(1.77%)高于水蒸气技术提取的提取率(1.20%),2 种方法的提取率均高于本研究最佳提取工艺提取的提取率(1.07%),但其 2 种方法提取的精油中 1,8-桉油精(素)质量分数分别为 15.49%、10.61%,远远低于本实验提取精油的 1,8-桉油精(素)质量分数(41.92%),且 γ -依兰油烯(13.66%)在之前文献报道的高良姜精油成分中尚未见检测出。杨晓红等^[24]探讨了酶法、超声波辅助水蒸气蒸馏法提取高良姜精油,在不同超声时间、水浴温度、酶作用时间与酶用量影响下其提取率为 0.44%~0.72%,1,8-桉油精质量分数最高为 22.46%,提取率与 1,8-桉油精含量均低于本实验的高良姜精油。

综上所述可以看出,不同提取方法或工艺条件对高良姜精油成分比例影响存在较大差异,可根据产品的需求选择不同的提取方法及工艺条件,而本

实验优化所得的提取工艺条件对于高良姜精油的应用具有一定指导意义,所得的精油 1,8-桉油精(素)为主要化学成分,这与相关文献^[25]报道的一致,但 1,8-桉油精相对含量与其他成分及其含量与文献报道的差异显著,本研究中高良姜精油中 1,8-桉油精相对含量(41.92%)高于文献报道(16.17%~21.65%)^[26-28]。

1,8-桉油精又名桉叶精、1,8-桉叶(油)素、桉树脑等,具有类樟脑气味的无色液体,主要存在于桉叶油中,亦天然存在于姜科植物高良姜中,桉油精具有广泛的生物活性,包括抑菌、抗炎、抗氧化以及促渗透等作用,在医药、化妆品和香料工业领域广泛应用^[29-30]。高良姜精油中其他主要成分萜品醇又名松油醇,是一种非常重要的单萜类化合物之一,可用作调配紫丁香型香精的主剂,还可应用于医药、农药、仪表和电讯工业等领域中^[31]。香柠檬烯一种天然单萜烯,具有广谱抗菌性、抗氧化、抗炎、抗肿瘤等活性^[32]。在最优条件下提取的高良姜精油具有一定的抗氧化能力与抑菌活性,这可能与其主要成分 1,8-桉油精有关^[33],但其具体成分的作用机制尚需深入研究,才能真正揭示高良姜精油的主要药效物质基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 孙园园,冯剑,魏建和,等.经典名方中高良姜的本草考证[J].中国实验方剂学杂志,2023,29(5):94-103.
- [2] 马文英,窦红莉,牛阳,等.高良姜的本草考证[J].中国民族民间医药,2022,31(19):23-28.
- [3] 熊远果,沈瑶,张洪.高良姜药理活性研究新进展[J].中南药学,2017,15(10):1418-1421.
- [4] Ding P, Yang L, Feng C, et al. Research and application of *Alpinia officinarum* in medicinal field [J]. *Chin Herb Med*, 2019, 11(2): 132-140.
- [5] 陈艳芬,江涛,唐春萍,等.高良姜总黄酮抗炎镇痛作用的实验研究[J].广东药学院学报,2009,25(2):188-191.
- [6] 刘梦洁,林丽静,姜永超.高良姜精油和纯露的体外抗氧化活性及酪氨酸酶抑制活性研究[J].食品研究与开发,2021,42(7):56-61.
- [7] 喻明洁,欧阳净,冯伟,等.高良姜抗菌作用现代研究进展[J].现代中药研究与实践,2019,33(6):82-86.
- [8] 魏娜.高良姜抗胃溃疡药理作用及其药效物质基础研究[D].哈尔滨:黑龙江中医药大学,2015.
- [9] 欧虹雅,屈慧娟,周小妹,等.高良姜的化学成分及抗肿瘤活性研究[J].海南医学院学报,2023,29(4):241-

- 245.
- [10] 王辉, 翟红莉, 梅文莉, 等. 高良姜提取物的降血糖活性 [J]. 热带生物学报, 2014, 5(2): 179-181.
- [11] 方月娟, 夏道宗, 王思为, 等. 高良姜总黄酮对营养性肥胖合并高脂血症大鼠减肥降脂作用研究 [J]. 中华中医药杂志, 2015, 30(8): 2907-2910.
- [12] 高振虎, 陈艳芬, 杨全, 等. 南药高良姜的研究进展 [J]. 广东药学院学报, 2016, 32(6): 817-821.
- [13] 李洪福, 李永辉, 王勇, 等. 高良姜化学成分及药理活性的研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(7): 236-244.
- [14] 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.
- [15] 陈凌霄, 张苑鑫, 李绍平, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用分析比较鲜/干高良姜挥发性成分 [J]. 药物分析杂志, 2017, 37(9): 1615-1620.
- [16] Yosr Z, Imen B H Y, Rym J, *et al.* Sex-related differences in essential oil composition, phenol contents and antioxidant activity of aerial parts in *Pistacia lentiscus* L. during seasons [J]. *Ind Crops Prod*, 2018, 121: 151-159.
- [17] Zhu J J, Yang J J, Wu G J, *et al.* Comparative antioxidant, anticancer and antimicrobial activities of essential oils from *Semen Platycladi* by different extraction methods [J]. *Ind Crops Prod*, 2020, 146: 112206.
- [18] Jena S, Ray A, Sahoo A, *et al.* Deeper insight into the volatile profile of essential oil of two *Curcuma* species and their antioxidant and antimicrobial activities [J]. *Ind Crops Prod*, 2020, 155: 112830.
- [19] Memarzadeh S M, Gholami A, Pirbalouti A G, *et al.* Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.) essential oil and its chemical profile, antioxidant activities, and leaf micromorphology under green and conventional extraction techniques [J]. *Ind Crop Prod*, 2020, 154: doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112719.
- [20] 兰仕梅, 何彦蓉, 周江南, 等. 连翘联合抗菌药物对多重耐药大肠杆菌 B3 的抗菌试验 [J]. 上海畜牧兽医通讯, 2018(4): 18-21.
- [21] 李湘怡, 董广川, 杨丹, 等. 高良姜挥发油的研究进展 [J]. 化工管理, 2020(14): 14-15.
- [22] 翟红莉, 王辉, 曾艳波, 等. 两种不同产地高良姜挥发油成分的 GC-MS 分析 [J]. 热带作物学报, 2013, 34(12): 2475-2478.
- [23] 林丽静, 黄晓兵, 刘梦洁, 等. 超临界和水蒸气提取高良姜精油及纯露的成分研究 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(12): 2498-2504.
- [24] 杨晓红, 龙承友. 高良姜挥发油的提取工艺研究 [J]. 湖南农业科学, 2008(6): 90-93.
- [25] 杜丽霞, 姜子涛, 李荣. 天然调味香料高良姜挥发油的研究进展 [J]. 中国调味品, 2012, 37(3): 22-25.
- [26] 邹俊波, 张小飞, 邵佳, 等. 水蒸气蒸馏法提取高良姜挥发油类成分提取动力学研究 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(21): 4231-4239.
- [27] 袁源, 林丽静, 黄晓兵, 等. 不同年份高良姜挥发油成分分析及其指纹图谱 [J]. 食品科学, 2018, 39(14): 263-267.
- [28] Juergens L J, Tuleta I, Stoeber M, *et al.* Regulation of monocyte redox balance by 1,8-cineole (eucalyptol) controls oxidative stress and pro-inflammatory responses *in vitro*: A new option to increase the antioxidant effects of combined respiratory therapy with budesonide and formoterol? [J]. *Synergy*, 2018, 7: 1-9.
- [29] Ahad A, Aqil M, Ali A. Investigation of antihypertensive activity of carbopol valsartan transdermal gel containing 1,8-cineole [J]. *Int J Biol Macromol*, 2014, 64: 144-149.
- [30] 张婉清, 廖宏超. 织物芳香、抗菌整理桉叶精油微胶囊制备工艺研究 [J]. 轻纺工业与技术, 2021, 50(9): 17-18.
- [31] 霍镇永, 黎金凤, 朱守记. 松油醇应用研究进展 [J]. 广东化工, 2022, 49(8): 106-108.
- [32] 刘洋, 吉燕华, 雒珂昕, 等. 柠檬烯应用的研究现状 [J]. 中药药理与临床, 2021, 37(5): 244-248.
- [33] 张丽佳, 薛银, 张岑容, 等. 桉油精的抗菌抗炎作用研究 [J]. 中国兽药杂志, 2013, 47(3): 21-24.

[责任编辑 郑礼胜]