

GC-MS法测定2种青蒿精油化学成分及其 抑菌活性对比分析研究

孙 畅^{1,3}, 陈 茜^{1,3}, 刘浩宇³, 郝宝成³, 刘建枝², 郭建钊¹, 王保海^{1,2}

(1.河南省禹州市天源生物科技有限公司,河南 禹州 461000; 2.西藏自治区农牧科学院,西藏 拉萨 850000; 3.中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所,甘肃 兰州 730050)

摘要:用 GC-MS 法对 2 种青蒿精油的化学成分进行测定。从禹州工艺青蒿油中共检测出 27 种成分,从禹州栽培青蒿精油中共检测出 80 种成分。检测得到主体呈香成分萜烯、蒎烯、桉叶油醇、樟脑、胡椒酮,乙基香兰素等。同时,也检测到青蒿酸、脱氧青蒿素等青蒿的主要化学成分。通过体外抑菌活性评价试验,发现两种精油产品对沙门氏菌、白色念珠菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和耐甲氧西林表皮葡萄球菌都有一定的体外抑制活性。

关键词:GC-MS 法;青蒿精油;化学成分;主体呈香成分;抑菌活性;产品开发

中图分类号:Q949.783.5

文献标识码:A

Determination of the Chemical Constituents in Two *Artemisia Annuua* L. Essential Oil Using GC-MS and Comparative Analytical Study of Its Antibacterial Activity

SUN Chang^{1,3}, CHEN Qian^{1,3}, LIU Haoyu³, HAO Baocheng³, LIU Jianzhi², GUO Jianzhao¹, WANG Baohai^{1,2}

(1. Tianyuan Biotechnology Co., Ltd., Yuzhou Henan 461000, China 2. Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Xizang Autonomous Region, Lhasa Xizang 850000 3. Lanzhou Institute of Husbandry and Pharmaceutical Sciences of Chinese Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: The chemical composition of the two essential oils of *Artemisia annua* was determined using GC-MS. A total of 27 components were detected from the Yuzhou craft *Artemisia* essential oil, and a total of 80 components were detected from the Yuzhou cultivated *Artemisia annua* L. essential oil. The main aroma components were detected as camphene, pinene, eucalyptol, camphor, piperone, ethyl vanillin and so on. Artemisinic acid, deoxyartemisinin and other major chemical constituents of *Artemisia* were also detected. The two essential oil products were found to have inhibitory activity against *Salmonella*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and MRSE by in vitro antibacterial activity evaluation test. This study lays a research foundation for the development and utilization of high value-added products of *Artemisia annua* L. essential oil at a later stage.

Key words: GC-MS method; *Artemisia annua* L. essential oil; chemical composition; main aroma components; antibacterial activity; product development

植物精油是植物中一类重要的次生代谢产物,其在自然界中分布广泛。植物精油包含的化

学成分种类较多,主要有萜类化合物、酸性化合物、醇类化合物、醛类化合物、酮体以及酚类

收稿日期:2025-03-01

基金项目:横向技术委托项目——野生青蒿精油成分分析及抑菌活性测定。

作者简介:孙畅(2000—),女,研究实习生,主要从事中药与天然产物研究,E-mail:sc20000214@163.com。

通信作者:郭建钊(1959—),男,主要从事中药青蒿资源的开发利用研究,E-mail:17737288080@163.com;

王保海(1952—),男,研究员,主要从事中药青蒿资源的开发利用研究,E-mail:wangbh@taas.org。

等^[1],生物活性广泛,一直是天然药用植物的研究热点。

青蒿为菊科蒿属一年生草本植物(*Artemisia annua* L.),味苦、辛、性寒,在《神农本草经》中记载的青蒿功效有退虚热、凉血、解暑、治疟,同时还具有抗病毒、抗疟原虫、利胆、解热、镇痛、抗炎、抗肿瘤、降压、抗心律失常等诸多作用^[2]。青蒿主产于我国,主要分布在重庆、四川、广西、湖南、云南、贵州、江西等地。近年来,因其潜在的开发价值巨大,青蒿人工种植产量逐年增加。

大量研究已经表明,青蒿精油中含有樟脑、蒿酮、萜烯类等多种化合物^[3],具有抗菌^[4-5]、抗病毒、抗氧化、杀虫、驱虫^[6]等多种生物学功能^[7]。但在野生与人工种植方面^[8],不同地理区域上的化学成分组成和含量存在一定差异^[9]。在青蒿精油“香味分子”、主体呈香成分等方面的研究仍有广阔的开发空间^[10]。本文用气相色谱-质谱联用方法,对河南禹州市天源生物科技有限公司种植并提取制备的青蒿油和栽培青蒿精油的化学成分进行检测分析,并对两种产品进行体外抑菌活性评价,旨在明确人工种植青蒿的精油化学成分组成和抑菌效果,为中药青蒿精油的质量标准建立,以及后期青蒿精油中高附加值产品的开发利用奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 供试精油样品

工艺青蒿油和栽培青蒿精油由禹州市天源生物科技有限公司制备提供,-4℃密封保存。

1.1.2 供试菌株

金黄色葡萄球菌 ATCC23652、耐甲氧西林表皮葡萄球菌 CICC10436、白色念珠菌 CICC98001、大肠杆菌 CICC10389、沙门氏菌 CICC21513、产气荚膜梭菌,均保藏于中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所。

1.1.3 试验试剂

MH(A)培养基,购自广东环凯微生物生物科技有限公司;吐温-80,购自烟台市双双化工有限公司;碘硝基氯化四氮唑(INT),购自上海麦克林生化科技股份有限公司。

1.2 仪器 设备

Agilent 6890/5973 气相色谱-质谱联用仪,质谱数据库 NIST08.L。

生物安全柜(北京东联哈尔仪器制造有限公司 BSC-1360 II A2),超微量微孔板分光光度计(美国 BioTek 仪器有限公司 Epoch),组合式恒温培养振荡器(天津欧诺仪器股份有限公司 HNYC-202T),二氧化碳培养箱(上海一恒科学仪器有限公司 BPN-150CW),沃特浦制水机(四川沃特水处理有限公司 WP-UP-WF-30),电子秤(梅特勒-托力多仪器有限公司 XPR504SDR/AC)。

1.3 试 验 方 法

1.3.1 青蒿精油化学成分分析

参照 GB/T6041-2002《质谱分析方法通则》,选用 GC-MS 色谱检测条件。进样口温度:270℃,升温程序:50℃,保持3min;以5℃/min速率升至280℃,保持4min,以10℃/min速率升至290℃,保持3min;分流进样:分流比20:1;载气:高纯氦气,纯度≥99.999%;流速1.0 mL/min,进样量2.0 μL。

1.3.2 青蒿精油体外抑菌活性评价

采用二倍稀释法测定最小抑菌浓度对禹州工艺青蒿油和禹州栽培青蒿精油的体外抑菌活性评价^[11]。将活化好的供试菌株用无菌生理盐水稀释至0.5麦氏浊度的菌悬液备用,在96孔板每孔中加入100 μL含有1%吐温-80的MH培养基进行二倍稀释,使每孔中精油的含量分别为250、125、62.5、31.25、15.625、7.81 mg/μL,最后再加入等体积的菌悬液,使每孔终体积为200 μL。将96孔板与37℃恒温培养箱静置培养16 h。向每孔中加入20 μL含量为5 mg/mL的碘硝基氯化四氮唑(INT)进行显色处理,待20~30 min后观察颜色变化,以没有变红的最低精油样品浓度作为其最小抑菌浓度(MIC)值。

2 结 果 与 分 析

2.1 青蒿精油化学成分分析

采用 GC-MS 对禹州工艺青蒿油和禹州栽培青蒿精油的化学成分进行分析,以确定两种产品的主要成分及差异。经质谱数据库匹配检测到禹州工艺青蒿油的化学成分如表1所示。

表 1 工艺青蒿油化学成分的 GC-MS 分析结果

序号	化合物库/ID	参考号	物质数字识别号码
1	茨烯/Camphene	15481	000079-92-5
2	1-甲基-2-异丙基苯/Benzene,1-methyl-2-(1-methylethyl)-	14728	000527-84-4
3	桉油精/Eucalyptol	26146	000470-82-6
4	樟脑/Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one,1,7,7-trimethyl-,(1R)-	24903	000464-49-3
5	胡椒酮/2-Cyclohexen-1-one,3-methyl-6-(1-methylethyl)-	24855	000089-81-6
6	氨基甲酸-N-(6-甲氧基-3-吡啶基)-2 丙炔酯/Carbamic acid,N-(6-methoxy-3-pyridyl)-,2-propynyl ester	63399	288247-12-1
7	3,4,4a,5,6,7,8,9,-八氢-4a-甲基-2H-苯并环庚烯-2-酮/2H-Benzocyclohepten-2-one,3,4,4a,5,6,7,8,9-octahydro-4a-methyl-,(S)-	43063	055103-71-4
8	顺-1,4-二甲基金刚烷/Cis-1,4-dimethyladamantane	33061	024145-89-9
9	2-甲基双环[3,2,1]辛烷/2-Methylbicyclo[3.2.1]octane	10560	1000215-28-0
10	α -葎澄茄油烯/alpha-Cubebene	62283	017699-14-8
11	顺式 α -红没药烯/cis-alpha-Bisabolene	62313	029837-07-8
12	β -紫罗酮/3-Buten-2-one,4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-,(E)-	53186	000079-77-6
13	异阿魏酸/3-Hydroxy-4-methoxycinnamic acid	54186	000537-73-5
14	喇叭茶萜醇/Ledol	76447	000577-27-5
15	1,3,4,-三甲基-3-环己烯-1-羧醛/3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde,1,3,4-trimethyl-	24869	040702-26-9
16	5-甲基-2-糠基-呋喃;2-(2-呋喃基甲基)-5-甲基呋喃/Furan,2-(2-furanylmethyl)-5-methyl-	31379	013678-51-8
17	青蒿酸/Artemannic acid	85496	080286-58-4
18	6-氧-4-(3-氟苯基)-1,6-二氢嘧啶/Pyrimidine,6-oxo-4-(3-fluorophenyl)-1,6-dihydro-	51456	085979-55-1
19	5,5-二甲基-(3-甲基-1,4-丁二烯基)-1-氧杂螺[2,5]辛烷/1-Oxaspiro[2.5]octane,5,5-dimethyl-4-(3-methyl-1,3-butadienyl)-	64047	1000195-92-1
20	Platambin-1,6-二酮/Platambin-1,6-dione	85498	058556-83-5
21	3a,9-二甲基十二氢环庚烷[d]茛-3-酮/3a,9-Dimethyldodecahydrocyclohepta[d]inden-3-one	85648	1000189-38-7
22	3a,9-二甲基十二氢环庚烷[d]茛-3-酮/3a,9-Dimethyldodecahydrocyclohepta[d]inden-3-one	85648	1000189-38-7
23	脱氧青蒿素/Deoxyqinghaosu	110020	1000126-03-6
24	3-(二甲氨基)-苯甲酸/Benzoic acid,3-(dimethylamino)-	33949	000099-64-9
25	乙基香兰素/Ethyl Vanillin	34863	000121-32-4
26	1,8-二甲基-4-(1-甲基乙基)-螺[4,5]癸-7-酮/Spiro[4.5]decan-7-one,1,8-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	76520	039510-26-4
27	1-乙氧基-4'-甲氧基-2,2'-联萘-1,4-二酮/1-Ethoxy-4'-methoxy-2,2'-binaphthyl-1,4-dione	176397	1000100-36-5

由表 1 可知,用 GC-MS 法从工艺青蒿油中共检测到 27 种化合物,主要成分为茨烯、桉油精、樟脑、胡椒酮、 α -葎澄茄油烯、顺式 α -红没药烯、 β -紫罗酮、异阿魏酸、喇叭茶萜醇、青蒿酸、脱氧青蒿素、乙基香兰素等。进一步对上述检测到的化合物性质进行归类分析,主体呈香成分为茨

烯、桉油精、樟脑、胡椒酮、 α -葎澄茄油烯、顺式 α -红没药烯、 β -紫罗酮、异阿魏酸、喇叭茶萜醇、Platambin-1,6-二酮等,同时也检测到青蒿酸、脱氧青蒿素等青蒿主要化学成分。

经质谱数据库匹配检测到的禹州栽培青蒿精油化学成分如表 2 所示。

表2 栽培青蒿精油化学成分的GC-MS分析结果

序号	化合物库/ID	参考号	物质数字识别号码
1	1,7,7-三甲基三环[2.2.1.0 ^{2,6}]庚烷/Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane,1,7,7-trimethyl-	15683	000508-32-7
2	β -蒎烯/Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene,2,6,6-trimethyl-,(+/-)-	15707	002437-95-8
3	樟脑萜/Camphene	15481	000079-92-5
4	环己烯,4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-/Cyclohexene,4-methylene-1-(1-methylethyl)-	15655	000099-84-3
5	(1S)-(-)- β -蒎烯/Bicyclo[3.1.1]heptane,6,6-dimethyl-2-methylene-,(1S)-	15721	018172-67-3
6	桉烯/Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene-1-(1-methylethyl)-	15704	003387-41-5
7	二环[4.1.0]庚-2-烯,3,7,7-三甲基-/Bicyclo[4.1.0]hept-2-ene,3,7,7-trimethyl-	15650	000554-61-0
8	间异丙基甲苯/Benzene,1-methyl-3-(1-methylethyl)-	14732	000535-77-3
9	桉叶油醇/Eucalyptol	26146	000470-82-6
10	γ -蒎品烯/1,4-Cyclohexadiene,1-methyl-4-(1-methylethyl)-	15686	000099-85-4
11	蒎品油烯/Cyclohexene,1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	15670	000586-62-9
12	左旋樟脑/Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one,1,7,7-trimethyl-,(1S)-	24900	000464-48-2
13	皮诺香芹酮/Bicyclo[2.2.1]heptan-3-one,6,6-dimethyl-2-methylene-	23505	016812-40-1
14	异龙脑/Isoborneol	26156	000124-76-5
15	1,2,3-三甲基环戊烯/Cyclopentene,1,2,3-trimethyl-	5947	000473-91-6
16	(-)-蒎烯-4-醇/3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-(1-methylethyl)-,(R)-	26431	020126-76-5
17	松油醇/3-Cyclohexene-1-methanol,.alpha.,.alpha.,4-trimethyl-,(S)-	26490	010482-56-1
18	香桃木醛/Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene-2-carboxaldehyde,6,6-dimethyl-	23523	000564-94-3
19	右旋香芹酮/2-Cyclohexen-1-one,2-methyl-5-(1-methylethenyl)-,(S)-	23520	002244-16-8
20	胡椒酮/2-Cyclohexen-1-one,3-methyl-6-(1-methylethyl)-	24855	000089-81-6
21	叔丁基苯/Benzene,tert-butyl-	14653	000098-06-6
22	2',4',5'-三甲基苯乙酮/Ethanone,1-(2,4,5-trimethylphenyl)-	31542	002040-07-5
23	2-丁基-,1-氧化吡啶/Pyridine,2-butyl-,1-oxide	24552	031396-32-4
24	乙酸香芹酯/2-Cyclohexen-1-ol,2-methyl-5-(1-methylethenyl)-,acetate,cis-	54675	001205-42-1
25	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-苯酚/Phenol,2-methoxy-3-(2-propenyl)-	32712	001941-12-4
26	1-乙酸香芹酯/2-Cyclohexen-1-ol,2-methyl-5-(1-methylethenyl)-,acetate	54663	000097-42-7
27	异蒎烯/Copaene	62244	003856-25-5
28	2,2-二甲基丙酸苄酯/Propanoic acid,2,2-dimethyl-,phenylmethyl ester	53037	002094-69-1
29	8-(1-甲基亚乙基)二环[5.1.0]辛烷/Bicyclo[5.1.0]octane,8-(1-methylethylidene)-	23593	054166-47-1
30	顺-茉莉酮/2-Cyclopenten-1-one,3-methyl-2-(2-pentenyl)-,(Z)-	33002	000488-10-8
31	石竹烯/Caryophyllene	62261	000087-44-5
32	1H-环戊基[1,3]环丙烷[1,2]苯,八氢-7-甲基-3-亚甲基-4-(1-甲基乙基)-,(3aS,3bR,4S,7R,7aR)-/1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropano[1,2]benzene,octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-,[3aS-(3a.alpha.,3b.beta.,4.beta.,7.alpha.,7aS*)]-	62563	013744-15-5
33	(E)-beta-金合欢烯/1,6,10-Dodecatriene,7,11-dimethyl-3-methylene-,(Z)-	62356	028973-97-9

续表

序号	化合物库/ID	参考号	物质数字 识别号码
34	香树烯/1H-Cycloprop[e] azulene, decahydro-1, 1, 7-trimethyl-4-methylene-, [1aR-(1a.alpha., 4a.beta., 7.alpha., 7a.beta., 7b.alpha.)]-	62536	025246-27-9
35	柏木烯-V6/Cedrene-V6	62251	1000162-76-8
36	[s-(E,E)]- 1-甲基-5-亚甲基-8-(1-甲基乙基)-1,6-环癸基二烯/1,6-Cyclodeca- diene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [s-(E,E)]-	62421	023986-74-5
37	1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢-4a,8-二甲基-2-(1-甲基乙基)-萘, [2R-(2.alpha., 4a.alpha., 8a.beta.)]- /Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-meth- ylethylenyl)-, [2R-(2.alpha., 4a.alpha., 8a.beta.)]-	62519	000473-13-2
38	1,3-二甲基金刚烷/Adamantane, 1,3-dimethyl-	33056	000702-79-4
39	双环大牛儿烯/Bicyclogermacrene	62290	067650-90-2
40	萘, 1,2,4a,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-/Naphthalene, 1,2,4a,5, 6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-	62415	000483-75-0
41	6,10-二甲基-3-(1-甲基乙基)-1-环癸烯/6,10-Dimethyl-3-(1-methylethylidene)- 1-cyclodecene	64097	069239-71-0
42	(1S,8aR)-1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘/Naphthalene, 1,2,3,5, 6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	62439	000483-76-1
43	(1R,4AR,8AS)-1-异丙基-7-甲基-4-亚甲基-1,2,3,4,4A,5,6,8A-八氢萘/ Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methyl- ethyl)-, (1.alpha., 4a.alpha., 8a.alpha.)-	62530	030021-74-0
44	1,4,6,7-四甲基-1,2,3,4-四氢萘/1,4,6,7-Tetramethyl-1,2,3,4-tetrahydronaph- thalene	50448	1000113-61-3
45	A-二去氢菖蒲烯/.alpha.-Calacorene	59547	1000293-02-3
46	(-)-氧化石竹烯/Caryophyllene oxide	74751	001139-30-6
47	滨蒿内酯/2H-1-Benzopyran-2-one, 6,7-dimethoxy-	63541	000120-08-1
48	四(2-氰乙基)硝基甲烷/Tris(2-cyanoethyl)nitromethane	74050	001466-48-4
49	2-甲基-7-内型-乙基双环[4.2.0]辛-1(2)-烯/2-Methyl-7-endo-vinylbicyclo[4.2. 0]oct-1(2)-ene	22506	1000200-99-1
50	2,4,6-三甲基-2-(4-甲基-戊-3-烯基)-2H-吡喃/2,4,6-Trimethyl-2-(4-methyl- pent-3-enyl)-2H-pyran	64003	1000193-58-6
51	(1alpha,2alpha,5alpha)-2,6,6-三甲基双环[3.1.1]庚烷-3-酮/Bicyclo[3.1.1] heptan-3-one, 2,6,6-trimethyl-, (1.alpha., 2.alpha., 5.alpha.)-	24942	000547-60-4
52	3,5-二甲基环己-1-烯-4-甲醛/3,5-Dimethylcyclohex-1-ene-4-carboxaldehyde	17417	006975-94-6
53	环氧柏木烷/2H-2a,7-Methanoazuleno[5,6-b]oxirene, octahydro-3,6,6,7a-tet- ramethyl-	74836	029597-36-2
54	十氢-1,1,4,7-四甲基-1H-环丙[e]氮杂烯, [1aR-(1a.alpha., 4.beta., 4a.beta., 7.beta., 7a.beta., 7b. alpha.)]-/1H-Cycloprop[e] azulene, decahydro-1, 1, 4, 7-tetramethyl-, [1aR-(1a. al- pha., 4.beta., 4a.beta., 7.beta., 7a.beta., 7b.alpha.)]-	64114	028580-43-0
55	1H-苯并环庚烯, 2,4a,5,6,7,8-六氢-3,5,5,9-四甲基-(4aR)-/1H-Benzocyclo- heptene, 2,4a,5,6,7,8-hexahydro-3,5,5,9-tetramethyl-, (R)-	62420	001461-03-6
56	1,6-二溴己烷/Hexane, 1,6-dibromo-	92063	000629-03-8
57	顺式-Z.alpha.-环氧红没药烯/cis-Z.alpha.-Bisabolene epoxide	74786	1000131-71-2
58	香橙烯环氧化物异构体/Isoaromadendrene epoxide	74762	1000159-36-6
59	雅榄蓝烯/Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a-dimethyl-7-(1-meth- ylethylenyl)-, [1S-(1.alpha., 7.alpha., 8a.alpha.)]-	62512	010219-75-7

续表

序号	化合物库/ID	参考号	物质数字识别号码
60	2,4-二乙基-7,7-二甲基-1,3,5-环庚三烯/1,3,5-Cycloheptatriene, 2,4-diethyl-7,7-dimethyl-	41659	1000156-99-6
61	花柏烯/Spiro[5.5]undec-2-ene, 3,7,7-trimethyl-11-methylene-, (-)-	62383	018431-82-8
62	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-醇/2-Cyclohexen-1-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, cis-	24923	001197-06-4
63	1H-1,3-苯并咪唑-2-甲醇, 5-甲氧基-1-甲基-/1H-1,3-Benzimidazole-2-methanol, 5-methoxy-1-methyl-	52651	1000338-11-5
64	1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)萘/Naphthalene, 1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	58143	000483-78-3
65	2,4-己二烯醛/2,4-Hexadienal, (E,E)-	2785	000142-83-6
66	8-氧代-9H-环异长叶烯/9H-Cycloisolongifolene, 8-oxo-	73219	1000155-43-0
67	7,8-脱氢-8a-羟基-异长叶烯/Isolongifolene, 7,8-dehydro-8a-hydroxy-	74792	1000155-43-1
68	螺岩兰草酮/Solavetivone	73202	054878-25-0
69	2-萘甲酸, 8-乙基-3,4,4a,5,6,7,8,8a-八氢-5-亚甲基-(9CI)/2-Naphthalene-carboxylic acid, 8-ethenyl-3,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-5-methylene-	73183	001451-36-1
70	脱氢环基叶烯氧化物/Cyclolongifolene oxide, dehydro-	73221	1000156-11-4
71	2,2,7,7-四甲基三环[6.2.1.0(1,6)]4-烯-3-酮/2,2,7,7-Tetramethyltricyclo[6.2.1.0(1,6)]undec-4-en-3-one	73237	1000189-49-9
72	1,3,4-三甲基-3-环己烯-1-羧醛/3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 1,3,4-trimethyl-	24869	040702-26-9
73	雷洛昔芬杂质 6/Benzo[b]thiophene, 2-ethyl-	31425	001196-81-2
74	4-甲基-5-顺式-苯基-2-(4-甲氧基苯基)-1,3-恶唑烷/1,3-Oxazolidine, 4-methyl-5-cis-phenyl-2-(4-methoxyphenyl)-	112697	1000138-86-5
75	青蒿酸/Artemannic acid	85496	080286-58-4
76	2-羟基-4-(4-氟苯基)嘧啶/Pyrimidine, 6-oxo-4-(3-fluorophenyl)-1,6-dihydro-	51456	085979-55-1
77	2-异丙基-4a-甲基-8-亚甲基八氢-1,5-萘二酮/Platambin-1,6-dione	85498	058556-83-5
78	3a,9-二甲基十二氢环庚[d]茛-3-酮/3a,9-Dimethyldodecahydrocyclohepta[d]inden-3-one	85648	1000189-38-7
79	兹克威/Mexacarbate	76016	000315-18-4
80	乙基香兰素/Ethyl Vanillin	34864	000121-32-4

由表 2 可知,用 GC-MS 法从栽培青蒿精油中共检测到 80 种化合物,主要成分有樟脑萜、 β -蒎烯、桉叶油醇、左旋樟脑、异龙脑、石竹烯、(-)-氧化石竹烯、香树烯、柏木烯-V6、滨蒿内酯、花柏烯、螺岩兰草酮、青蒿酸、乙基香兰素等。

分析 GC-MS 检测结果发现,工艺青蒿油和栽培青蒿精油中的主要成分为樟脑和萜烯类化合物,与文献中的报道基本一致^[3]。两种产品都含有的桉叶油醇是一种常见于植物精油中的单萜类化合物,具有清凉草药味道^[12],广泛应用于医药、化妆品、香料和农业领域,其强烈的溶解性和渗透性能够快速有效地杀灭害虫^[13]。有研究

表明,桉叶油醇还具有抗菌、抗炎和抗氧化活性,已用于治疗呼吸道疾病和神经退行性疾病^[14]。在两种精油产品中共同检测到的呈香成分,如胡椒酮、乙基香兰素、樟脑等都是香料合成的重要原材料^[15]。胡椒酮存在于许多天然精油植物中,有止咳、祛痰、平喘和抗菌的作用^[16];樟脑同样是一类萜类化合物,有刺激性特异芳香,具有杀虫、镇痛、兴奋中枢神经系统及强心等作用^[17]。在工艺青蒿油和栽培青蒿精油中共同检测到的青蒿酸是一种倍半萜类化合物。作为抗疟药物青蒿素的生物合成前体,青蒿酸同样具有抗疟、抗肿瘤、抗菌、解热等多种药理活性^[18]。

但通过对比发现,两种青蒿精油产品中检测到的化学成分具有显著差异,栽培青蒿精油中的成分相较于工艺青蒿油更为丰富。在栽培青蒿精油中检测到的差异成分主要有石竹烯、氧化石竹烯、异龙脑等。其中,石竹烯和氧化石竹烯都是双环倍半萜类化合物。石竹烯能够镇咳镇痛,具有抗菌、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、抗焦虑和神经保护等效用^[19];氧化石竹烯具有镇痛、舒肝、降压、祛风除湿和清热解毒的功效^[20]。两种成分都具有丰富的药理学活性。异龙脑是龙脑的差向异构体,也属于萜类物质,有研究表明异龙脑具有抗菌作用^[21]。

2.2 青蒿精油抑菌活性评价

通过二倍稀释法测定 MIC 值对工艺青蒿油和栽培青蒿精油的体外抑菌活性,结果如表 3 所示。工艺青蒿油和栽培青蒿精油对 6 种供试致病菌均有不同程度的抑制效果,其中工艺青蒿油

对产气荚膜梭菌完全没有抑制效果,对其他 5 种致病菌的 MIC 值为 125~250 mg/mL。除产气荚膜梭菌外,栽培青蒿精油对其他 5 种致病菌均表现出显著的抑制活性, MIC 值都为 7.81 mg/mL,说明工艺青蒿油和栽培青蒿精油中可能仅具有微量或不具有能够抑制产气荚膜梭菌的化学成分。

由于两种精油产品中含有多种具有抑菌活性的成分,因此对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌和真菌都有抑制作用,表现出较广的抑菌范围。通过对比发现,工艺青蒿油对致病菌的抑制活性明显低于栽培青蒿精油。结合 GC-MS 分析结果可知,栽培青蒿精油中的化学成分显著多于工艺青蒿油,包括许多已知具有抗菌活性的物质,如石竹烯、异龙脑等,这也可能是导致两种精油产品抑菌活性差异较大的原因。

表 3 两种精油对致病菌的最低抑菌浓度 (MIC)

精油品种	MIC/(mg · mL ⁻¹)					
	沙门氏菌	产气荚膜梭菌	白色念珠菌	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌	耐甲氧西林表皮葡萄球菌
禹州工艺青蒿油	250	—	125	125	125	125
禹州栽培青蒿精油	7.81	250	7.81	7.81	7.81	7.81

3 讨论与结论

生长环境、种植手段等因素不同都可能导致青蒿精油的化学成分存在差异,本研究采用 GC-MS 法对两种青蒿精油产品的化学成分进行分析,在工艺青蒿油中共检测出 27 种成分,主要成分有茨烯、桉油精、樟脑、胡椒酮、 α -萜澄茄油烯、顺式 α -红没药烯、 β -紫罗酮、异阿魏酸、喇叭茶萜醇、Platambin-1,6-二酮等。在栽培青蒿精油中共检测出 80 种成分,主要成分有樟脑萜、 β -蒎烯、桉叶油醇、左旋樟脑、异龙脑、石竹烯、(-)-氧化石竹烯、香树烯、柏木烯-V6、滨蒿内酯、花柏烯、螺岩兰草酮、青蒿酸、乙基香兰素等。两种精油产品中有多种呈香成分不仅是重要的香料合成原材料,还具有抑菌、抗炎等多种药理活性。通过对比发现两种青蒿精油产品的化学成分组成存在较大差异,体外抑菌实验结果表明,除产气荚膜梭菌外,两种精油产品对其他 5 种供试致病菌均有抑制作用。结合 GC-MS 测定结果分析,两种精油产品中含有多种抑菌成分,因此对革兰氏

阴性菌、革兰氏阳性菌和真菌都能表现出抑制活性,抑菌范围较广。栽培青蒿精油对其余 5 种致病菌的抑制效果更强, MIC 值均为 7.81 mg/mL。两种精油产品对致病菌抑制活性的显著差异也可能与栽培青蒿精油含有更为丰富的化学成分有关。

本实验通过 GC-MS 法明确禹州工艺青蒿油和禹州栽培青蒿精油的化学成分构成,并通过体外抑菌试验评价了两种精油的抑菌潜力,为中药青蒿精油的质量标准建立提供了理论参考,也为青蒿精油相关产品的后续开发提供了思路 and 方向。

参考文献:

- [1] 杨雪.10 种植物精油生物活性及其化学成分研究 [D]. 贵阳:贵州医科大学,2022.
- [2] LIU H Y, CHEN G F, LI L X, et al. Supplementing artemisinin positively influences growth, antioxidant capacity, immune response, gut health and disease resistance against vibrio parahaemolyticus in litopenaeus vannamei fed cottonseed protein concentrate meal

- diets[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2022, 131: 105-118.
- [3] YANG Y, WU J, MA J, et al. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from *artemisia carvifolia* leaves [J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2015, 51(1): 161-163.
- [4] 李玲玲. 青蒿精油的提取及抑菌性能研究 [J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 38(5): 9-13, 34.
- [5] 张坤, 张鹏九, 高越, 等. 7种植物精油对2种苹果病害病原菌的抑菌活性 [J]. *中国果树*, 2022(5): 72-77, 83.
- [6] KUN W, LIANG T, NING Z, et al. Repellent and fumigant activities of eucalyptus globulus and artemisia carvifolia essential oils against *solenopsis invicta* [J]. *Bulletin of Insectology*, 2014, 67(2): 207-211.
- [7] 朱聪聪, 喻琴, 潘会君, 等. 青蒿精油作为纳米乳油相促进雷公藤红素透皮吸收的研究 [J]. *中国现代应用药学*, 2022, 39(8): 1054-1058.
- [8] 余正文, 王伯初, 杨占南, 等. 种植青蒿与野生青蒿精油成分对比分析(英文) [J]. *西北植物学报*, 2009, 29(6): 1276-1280.
- [9] 余正文, 王伯初, 杨占南, 等. 青蒿精油化学组成及其生态类型相关性研究 [J]. *药物分析杂志*, 2011, 31(5): 954-958.
- [10] 沈昕苒, 束成杰, 姜洪芳, 等. 青蒿素下脚料功能成分分析及其应用前景 [J]. *中国野生植物资源*, 2020, 39(4): 17-18, 35.
- [11] 胡竞月, 吴斌, 时小东, 等. 4种植物精油对肉源致病菌和腐败菌的抑菌活性及其有效抑菌成分分析 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2025, 45(5): 166-174.
- [12] 陈亮, 胡雅宁, 吴志明, 等. 迷迭香叶片干燥前后精油成分 GC-MS 分析 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(24): 171-176.
- [13] 刘倩影, 张佳琪, 刘琛, 等. 桉叶油醇和 α -松油醇复配对赤拟谷盗的抗虫作用机制研究 [J]. *中国粮油学报*, 2025, 40(2): 1-8.
- [14] SEOL G H, KIM K Y. Eucalyptol and its role in chronic diseases [J]. *Adv Exp Med Biol*, 2016, 929: 389-398.
- [15] 杨丽华, 赵仕艳, 李晓娇, 等. 两种香薷属植物精油的成分及抗氧化活性分析 [J]. *保山学院学报*, 2023, 42(5): 17-23.
- [16] 欧阳文, 唐绍宗, 徐若飞, 等. 胡椒酮(Piperitone)在功能型卷烟中的应用研究 [J]. *西南农业学报*, 2011, 24(4): 1313-1316.
- [17] 余正文, 王伯初, 杨占南, 等. 栽培青蒿精油质量标准初步研究 [J]. *中国药学杂志*, 2010, 45(2): 98-101.
- [18] KONG J Q, YANG Y, WANG W, et al. Artemisinic acid: a promising molecule potentially suitable for the semi-synthesis of artemisinin [J]. *RSC Advances*, 2013, 3(21): 7622.
- [19] 罗嘉嘉, 周靖, 徐云辉, 等. GC法测定国内工业大麻挥发油中的 β -石竹烯、 α -石竹烯和氧化石竹烯 [J]. *中国医药工业杂志*, 2023, 54(4): 604-609.
- [20] 郁建平, 刘兴宽, 古练权, 等. 贵州金丝桃挥发油成分及抗菌活性研究 [J]. *中国药学杂志*, 2002, 37(12): 900-902.
- [21] 牟家琬, 杨胜华, 孙玉梅, 等. 龙脑与异龙脑的体外抗菌作用的研究 [J]. *华西药学杂志*, 1989, 4(1): 20-22.