

[13] 向 平, 娄桂群, 王仕艳, 等. 香薷、野草香挥发油分析及其生物活性评价[J]. 中成药, 2017, 39(9): 1880-1884.

[14] 范晓丹, 丘泰球, 苏健裕. 龙脑制备方法及其药理药效研究进展[J]. 林产化学与工业, 2011, 31(5): 122-126.

[15] 汪 帅, 孙 宇, 李春梅, 等. 豆甾醇的研究进展概述[J]. 中国药业, 2019, 28(23): 96-98.

[16] 夏道宗, 励建荣, 刘杰尔, 等. 高良姜总黄酮的超声萃取及其体外抗氧化作用研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(3): 63-69.

[17] 张 琦, 吴巧凤, 朱文瑞, 等. 石香薷总黄酮的体外抗氧化作用研究[J]. 中华中医药学刊, 2014, 32(10): 2317-2319.

夹竹桃花不同溶剂提取物的 GC-MS 分析及其抗氧化、抑菌活性

曹乃馨¹, 罗阳兰², 解修超^{1*}, 阎 勇², 邓百万¹

(1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000; 2. 广西农业科学院微生物研究所, 广西南宁 530007)

摘要: **目的** 对夹竹桃花石油醚、二氯甲烷、无水乙醇、乙酸乙酯提取物进行 GC-MS 分析, 并考察其抗氧化、抑菌活性。**方法** 索氏提取法提取药材后, GC-MS 分析鉴定其成分, 测定其还原能力和对 DPPH、羟自由基的清除能力, 二倍连续梯度稀释法分析其对枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、大肠埃希菌、铜绿假单胞菌、白色念珠菌的抑制作用。**结果** 石油醚、二氯甲烷、无水乙醇、乙酸乙酯提取物的得率分别为 7.19%、5.97%、5.96%、4.33%, 化合物分别有 30、58、52、62 个。石油醚、无水乙醇提取物的还原、清除能力, 以及对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌的抑制作用较强。**结论** 石油醚、无水乙醇是提取夹竹桃花活性成分较理想的溶剂。

关键词: 夹竹桃花; 溶剂; 提取物; GC-MS; 抗氧化活性; 抑菌活性

中图分类号: R284.1 文献标志码: B 文章编号: 1001-1528(2021)12-3512-06
doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2021.12.050

夹竹桃 *Nerium indicum* Mill. 是夹竹桃科夹竹桃属常绿直立大灌木, 其叶、皮、根、茎、花中含有强心苷类、甾体类、萜类、香豆素类、黄酮苷类等多种活性化合物, 具有灭螺、杀虫和化感作用, 还具有抗菌、抗氧化、抗肿瘤、降血糖、强心的功效, 但易引起中毒^[1-8]。目前对夹竹桃的研究主要集中于强心苷、生物碱类、多糖等化学成分、药理活性及药物开发、生物防治及环境修复等方面^[9-10]。

李昌灵等^[11]研究了夹竹桃叶不同提取液的抑菌作用, 发现醇提取液的抑菌效果最好, 水提取液较弱, 醚提取液最弱。董道青等^[12]研究了夹竹桃叶五种有机试剂提取物对福寿螺的毒杀作用, 发现正己烷提取物的毒杀活性最高, 甲醇提取物的毒杀活性最低。研究发现夹竹桃叶具有一定的生物活性, 但对夹竹桃花的研究鲜见报道, 为明确夹竹桃花的生物活性以及不同溶剂提取物的效果, 本研究以石油醚、二氯甲烷、无水乙醇和乙酸乙酯四种有机试剂为溶剂, 用索氏提取法提取夹竹桃花的化学物质, 通过 GC-MS 进行组分分析, 并比较其抗氧化和抑菌活性, 旨在筛选出高活性、低成本的提取溶剂, 探索夹竹桃花的潜在药用价

值, 为夹竹桃花的深入研究和综合开发提供科学依据。

1 材料

1.1 仪器 N1000 型旋转蒸发仪 (上海爱朗仪器有限公司); SW-CJ-1D 型单人超净工作台 (上海苏净实业有限公司); YXQ-LS-50S 型高压灭菌锅 (上海博讯实业有限公司医疗设备厂); 7890A-5975C 型气相色谱-质谱联用仪 (美国安捷伦公司); Epoch2 微孔板分光光度计 (美国 BioTek 公司)。

1.2 材料 夹竹桃花采自陕西省汉中市城固县 (北纬 N33°09'24", 东经 E107°20'00"), 40 ℃ 恒温干燥至恒重, 粉碎过 40 目筛保存于阴暗处备用。碧云天总抗氧化能力检测试剂盒 (FRAP 法)。枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*, 批号 CMCC63501); 金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*, 批号 CMCC26003); 大肠杆菌 (*Escherichia coli*, 批号 CMCC44102); 铜绿假单胞菌 (*Pseudomonas aeruginosa*, 批号 CMCC10104); 白色念珠菌 (*Candida albicans*, 批号 CMCC98001)。

2 方法与结果

收稿日期: 2021-05-10

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2020NY-062)

作者简介: 曹乃馨 (1996—), 女, 硕士生, 从事微生物代谢活性物质研究。Tel: 18409163627, E-mail: 2629248365@qq.com

* 通信作者: 解修超 (1978—), 男, 博士, 副教授, 从事微生物资源保护与开发利用研究。Tel: 15991069559, E-mail: 44557987@qq.com

2.1 提取物制备 称取药材粉末 10 g (*M*), 以石油醚 (60~90 ℃)、二氯甲烷、无水乙醇、乙酸乙酯为溶剂, 索氏提取 3 h, 合并提取液, 减压浓缩得到提取物, 在 40 ℃ 下干燥至恒重后, 称定质量 (*m*), 计算得率, 公式为得率= (*m*/*M*) ×100%。结果, 提取物得率分别为 7.19%、5.97%、5.96%、4.33%, 均有夹竹桃花芳香, 其中石油醚提取物为深绿黏稠物质, 二氯甲烷提取物为深绿固体物质, 无水乙醇提取物为棕绿色固体物质, 乙酸乙酯提取物为浅绿固体物质。

2.2 GC-MS 分析

2.2.1 供试品溶液制备 用正己烷配制质量浓度为 10 mg/mL 的提取物溶液, 量取 10 mL 于圆底烧瓶中, 加 1 mol/L KOH-CH₃OH 溶液 2 mL, 40 ℃ 振荡 30 min, 静置 15 min 后 70 ℃ 水浴蒸干, 加 5% H₂SO₄-CH₃OH 溶液 4 mL, 70 ℃ 振荡 60 min, 加正己烷 5 mL, 充分振荡后静置 1 h, 取上清液 4 mL, 无水硫酸钠干燥后取上清液 2 mL, 正己烷定容至 10 mL, 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 即得^[13]。

2.2.2 色谱条件 7890A-5975C 型毛细管色谱柱

(0.25 mm×30 m, 0.25 μm); 程序升温 (初始温度 50 ℃, 保持 2 min, 3 ℃/min 升至 180 ℃, 保持 4 min, 5 ℃/min 升至 210 ℃, 保持 5 min, 5 ℃/min 升至 280 ℃, 保持 15 min); 载气氦气 (99.999%), 体积流量 1 mL/min; 进样量 1 μL; 进样温度 220 ℃, 检测器温度 250 ℃; 分流进样, 分流比 20 : 1。

2.2.3 质谱条件 EI 离子源 70 eV; 离子源温度 230 ℃; 传输线温度 250 ℃; 溶剂延迟时间 3 min; 全扫描采集模式, 质量范围 *m/z* 45~550。

2.2.4 成分分析 利用 Nist17 s. Lib 标准质谱图库和文献解析, 结合保留时间确认化学成分, 按峰面积归一化法进行计算。结果见图 1、表 1。由此可知, 石油醚 (A)、二氯甲烷 (B)、无水乙醇 (C)、乙酸乙酯提取物 (D) 中分别有 30、58、52、62 个化合物, 共有成分是正十九烷、十七烷、癸酸甲酯、10-甲基十九烷、正二十七烷、正二十八烷、3-羟基十六烷酸甲酯、十四酸甲酯、棕榈酸甲酯、硬脂酸甲酯、山嵛酸甲酯、β-香树脂醇、α-香树脂醇, 分别占比 69.17%、69.44%、64.11%、62.75%。

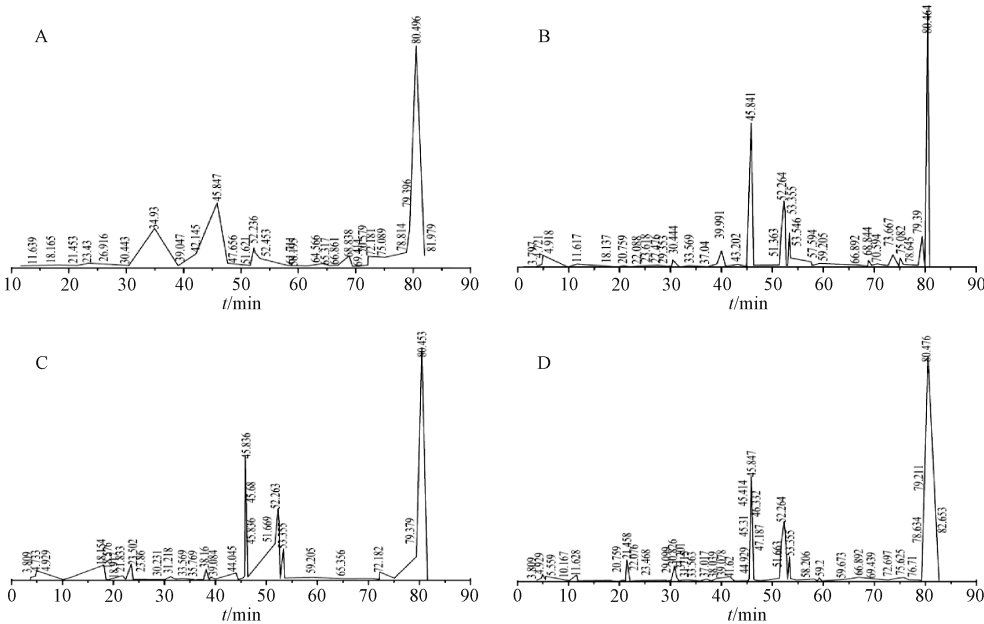


图 1 提取物 GC-MS 图

表 1 提取物成分 GC-MS 分析结果

编号	成分	分子式	相对含量/%			
			石油醚	二氯甲烷	无水乙醇	乙酸乙酯
1	3,4,5-三甲基庚烷	C ₁₀ H ₂₂	—	0.02	0.02	—
2	2,4-二甲基庚烷	C ₉ H ₂₀	—	0.15	0.41	0.19
3	乙苯	C ₈ H ₁₀	—	0.38	0.57	0.49
4	对二甲苯	C ₈ H ₁₀	—	1.55	1.30	1.09
5	环辛四烯	C ₈ H ₈	—	—	—	0.28
6	邻二甲苯	C ₈ H ₁₀	—	—	—	0.77
7	苯并环丁烯	C ₈ H ₈	—	—	1.18	—
8	正十九烷	C ₁₉ H ₄₀	0.44	0.42	0.10	0.36
9	十七烷	C ₁₇ H ₃₆	0.34	1.21	2.13	0.97
10	二十四烷	C ₂₄ H ₅₀	—	0.88	0.40	—

续表 1

编号	成分	分子式	相对含量/%			
			石油醚	二氯甲烷	无水乙醇	乙酸乙酯
11	2-甲基辛烷	C ₉ H ₂₀	0.41	0.11	0.02	—
12	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	—	0.03	0.64	0.10
13	2,6-二甲基-壬烷	C ₁₁ H ₂₄	—	0.08	0.09	—
14	4-甲基癸烷	C ₁₁ H ₂₄	—	—	—	0.11
15	十五烷	C ₁₅ H ₃₂	0.40	0.11	0.14	—
16	十三烷	C ₁₃ H ₂₈	—	0.08	0.17	0.16
17	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.52	—	—	—
18	2,6-二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	0.07	0.08	0.10
19	4,8-二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	0.04	0.07	0.19
20	2,8-二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	0.06	0.05
21	5,7-二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	0.11	0.04
22	3,8-二甲基癸烷	C ₁₂ H ₂₆	—	0.04	—	0.08
23	4,6-二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	0.14	—	—
24	4,4-二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	0.19	—	—
25	5-甲基十三烷	C ₁₄ H ₃₀	—	—	—	0.21
26	3-甲基-3-乙基庚烷	C ₁₀ H ₂₂	—	—	0.06	0.01
27	2,6,10-三甲基十二烷	C ₁₅ H ₃₂	0.45	0.04	—	—
28	二十一烷	C ₂₁ H ₄₄	—	0.28	0.58	3.23
29	3,5-二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	0.59	—
30	7-甲基十五烷	C ₁₆ H ₃₄	—	—	0.09	0.05
31	3-甲基-5-丙基壬烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	0.10	—
32	癸酸甲酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.89	0.15	2.28	0.08
33	2,3,6-三甲基癸烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	—	0.12
34	二乙二醇二丁醚	C ₁₂ H ₂₆ O ₃	—	—	0.12	—
35	四十四烷	C ₄₄ H ₉₀	2.19	0.26	—	0.07
36	2,4,6-三甲基辛烷	C ₁₁ H ₂₄	—	0.05	0.11	—
37	十二醛	C ₁₂ H ₂₄ O	0.69	—	—	—
38	10-甲基十九烷	C ₂₀ H ₄₂	0.48	0.16	0.07	0.03
39	2-甲基癸烷	C ₁₁ H ₂₄	—	—	—	0.14
40	3,3-二甲基己烷	C ₈ H ₁₈	—	0.02	—	0.11
41	3,7-二甲基癸烷	C ₁₂ H ₂₆	0.45	—	—	—
42	正二十七烷	C ₂₇ H ₅₆	2.26	0.44	0.16	2.33
43	正二十八烷	C ₂₈ H ₅₈	0.88	0.94	0.24	0.23
44	2,4-二叔丁基苯酚	C ₁₄ H ₂₂ O	—	0.36	0.50	0.66
45	壬酸甲酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	—	0.07	0.30	0.07
46	2-壬烯酸甲酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	0.21	0.23	0.25
47	十四醛	C ₁₄ H ₂₈ O	7.39	0.71	—	—
48	3-羟基十六烷酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₃	0.44	4.22	1.01	0.37
49	3-羟基十四碳酸甲酯	C ₁₅ H ₃₀ O ₃	—	0.06	0.11	—
50	2-甲基十二烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	0.32	0.09
51	十六烷	C ₁₆ H ₃₄	—	1.61	1.53	0.71
52	十四酸甲酯	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	0.42	0.43	0.45	0.46
53	十八烷	C ₁₈ H ₃₈	—	2.12	1.14	0.25
54	2-癸酸甲酯	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	—	0.10	0.36	—
55	十六醛	C ₁₆ H ₃₂ O	2.65	—	—	—
56	2-甲基十五烷	C ₁₆ H ₃₄	—	0.38	—	—
57	2,4-二甲基十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	—	0.10
58	二十六烷	C ₂₆ H ₅₄	—	—	—	0.19
59	1,2-环氧环辛烷	C ₈ H ₁₄ O	—	—	0.34	—
60	顺式-7-十六碳烯酸甲酯	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	—	—	—	0.39
61	棕榈酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	12.13	18.98	17.33	15.68
62	3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸甲酯	C ₁₈ H ₂₈ O ₃	—	0.26	0.47	0.29
63	5-甲基-5-丙基壬烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	—	0.14
64	反式-2-十六烷酸甲酯	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	0.89	—	—	0.12

续表 1

编号	成分	分子式	相对含量/%			
			石油醚	二氯甲烷	无水乙醇	乙酸乙酯
65	2-甲基-6-次甲基-2,7-辛二烯-4-醇	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	—	0.46
66	2,6-二甲基辛-7-烯-4-酮	C ₁₀ H ₁₈ O	—	0.30	—	—
67	γ-硫辛酸	C ₁₉ H ₃₈ O ₃	—	—	5.07	5.43
68	8,11-十八二烯酸甲酯	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	3.79	—	—	—
69	亚油酸甲酯	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	—	8.76	10.01	8.97
70	岩芹酸甲酯	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	2.89	—	—	—
71	油酸甲酯	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	—	7.21	8.20	7.36
72	十一烷二酸二甲酯	C ₁₃ H ₂₄ O ₄	—	—	0.23	—
73	氧杂环十二烷-2-酮	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	—	0.27	—	—
74	顺式-11-十八烯酸甲酯	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	—	—	—	0.33
75	硬脂酸甲酯	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	1.78	4.48	4.37	3.70
76	2,6,10,14-四甲十六烷	C ₂₀ H ₄₂	—	—	—	0.43
77	2-甲基十三烷	C ₁₄ H ₃₀	—	—	—	0.25
78	二十碳五烯酸	C ₂₀ H ₃₀ O ₂	—	0.24	—	—
79	4-甲基辛烷	C ₉ H ₂₀	—	—	—	0.10
80	花生酸甲酯	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	—	0.48	0.40	0.55
81	山嵛酸甲酯	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	0.45	0.33	0.23	0.41
82	三十烷	C ₃₀ H ₆₂	—	0.30	—	0.65
83	己基癸醇	C ₁₆ H ₃₄ O	—	0.10	—	0.26
84	二十四酸甲酯	C ₂₅ H ₅₀ O ₂	0.34	0.26	—	0.40
85	二十九烯	C ₂₉ H ₅₈	0.54	—	—	—
86	蒙旦醇	C ₂₈ H ₅₈ O	—	—	0.12	—
87	蜡酸甲酯 C26	C ₂₇ H ₅₄ O ₂	—	0.20	—	0.24
88	麦角固醇	C ₂₈ H ₄₄ O	—	0.10	—	—
89	正三十一烷	C ₃₁ H ₆₄	1.99	0.26	0.29	—
90	2-甲基二十六烷	C ₂₇ H ₅₆	—	1.19	—	—
91	二十八烷酸甲酯	C ₂₉ H ₅₈ O ₂	—	—	—	0.62
92	二十一烷酸甲酯	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	—	0.37	—	—
93	1-庚醇	C ₃₇ H ₇₆ O	2.89	—	—	—
94	查耳酮	C ₁₅ H ₁₂ O	—	—	—	0.15
95	β-香树脂醇	C ₃₀ H ₅₀ O	7.23	4.04	3.30	4.41
96	3-甲氧基苯丙酸乙酯	C ₁₁ H ₁₆ O ₃	—	0.12	—	—
97	α-香树脂醇	C ₃₀ H ₅₀ O	41.43	33.64	32.44	33.72
98	对叔丁基杯[4]芳烃	C ₄₄ H ₅₆ O ₄	2.35	—	—	—
99	2,4,6-三甲基-3-环己烯-1-甲醛	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	—	0.20

2.3 抗氧化活性研究

2.3.1 还原能力 以 Trolox 为阳性对照，结果见图 2。由此可知，4 种溶剂提取物均有一定还原能力，依次为无水乙醇提取物>石油醚提取物>二氯甲烷提取物>乙酸乙酯提取物；在质量浓度为 5 mg/mL 时，四者还原能力分别为 3.41、1.08、1.04、0.88 mmol/L。

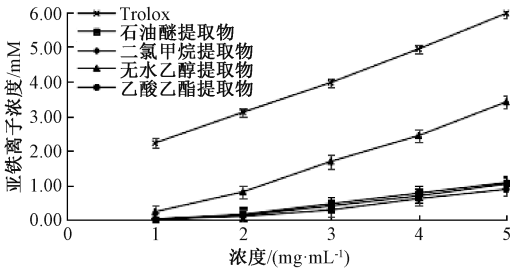


图 2 4 种溶剂提取物的还原能力

2.3.2 DPPH 自由基清除能力 以 Trolox 作阳性对照，参考王寒等^[14]报道的方法测定，结果见图 3。由此可知，4 种溶剂提取物对 DPPH 自由基均有一定清除作用，并随着其质量浓度升高而增强，依次为无水乙醇提取物>石油醚提取物>二氯甲烷提取物>乙酸乙酯提取物。

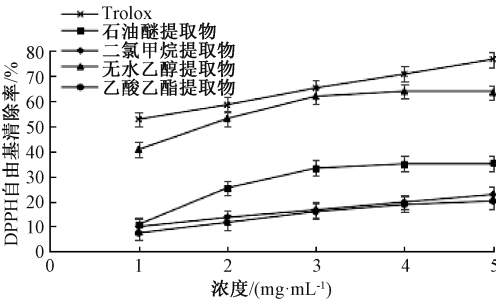


图 3 提取物对 DPPH 自由基的清除能力

2.3.3 羟自由基清除能力的测定 以 Trolox 作阳性对照,参考罗阳兰等^[15]报道的方法测定,结果见图 4。由此可知,4 种溶剂提取物对羟自由基均有一定清除作用,其中石油醚提取物随其质量浓度升高而明显增强,乙酸乙酯提取物较趋于平缓,在质量浓度为 5 mg/mL 时,四者对羟自由基的清除率分别为 51.22%、42.16%、50.82%、48.24%。

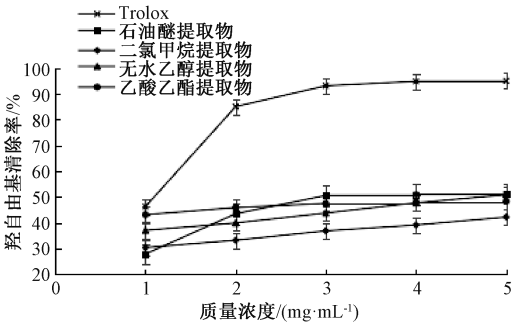
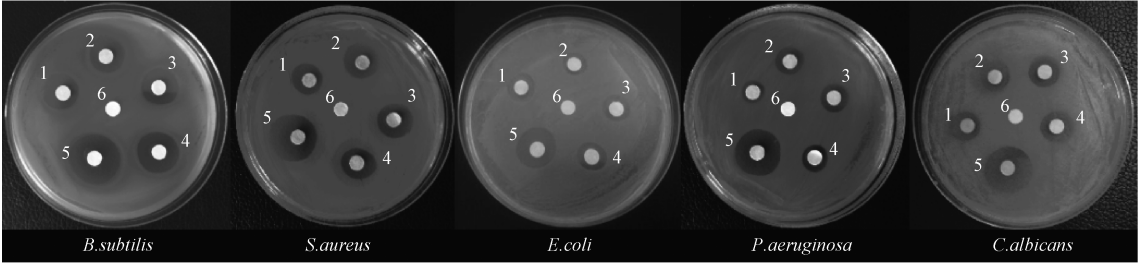


图 4 提取物对羟自由基的清除能力



注: 1 为石油醚提取物, 2 为二氯甲烷提取物, 3 为无水乙醇提取物, 4 为乙酸乙酯提取物, 5 为阳性对照, 6 为阴性对照。

图 5 提取物对靶标菌的抑菌圈

表 2 提取物对靶标菌的抑菌圈直径 (mm, $\bar{x}\pm s$, $n=3$)

靶标菌	石油醚提取物	二氯甲烷提取物	无水乙醇提取物	乙酸乙酯提取物	阳性对照	阴性对照
<i>B.subtilis</i>	15.21±0.16	16.40±0.28	18.53±0.79	17.82±0.44	20.46±0.12	6
<i>S.aureus</i>	12.86±0.21	14.39±0.50	14.62±0.65	14.54±0.78	18.23±0.18	6
<i>E.coli</i>	12.52±0.43	8.30±0.25	11.58±0.54	9.85±0.68	16.19±0.71	6
<i>P.aeruginosa</i>	8.71±0.35	9.89±0.36	10.67±0.28	11.73±0.24	18.92±0.64	6
<i>C.albicans</i>	12.48±0.61	12.56±0.57	14.52±0.41	14.23±0.39	20.97±0.68	6

表 3 提取物抑菌活性测定结果

靶标菌	石油醚提取物		二氯甲烷提取物		无水乙醇提取物		乙酸乙酯提取物	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
<i>B.subtilis</i>	1.22	2.34	1.05	1.58	0.89	1.41	0.94	1.25
<i>S.aureus</i>	1.72	2.84	1.18	2.11	1.08	2.04	1.66	2.02
<i>E.coli</i>	0.75	1.88	2.81	3.75	1.12	1.91	1.38	2.52
<i>P.aeruginosa</i>	1.96	3.32	1.87	2.50	1.74	2.98	1.56	2.39
<i>C.albicans</i>	1.05	3.64	2.37	4.22	1.14	1.99	1.01	1.64

不同溶剂之间提取物成分的种类及含量均有差异,主要是因为溶剂极性性质差异^[18]。夹竹桃花二氯甲烷、无水乙醇、乙酸乙酯提取物成分的研究鲜有报道,针对石油醚提取物与刘语等^[19]的报道对比发现共有 7 种相同的物质,分别是癸醛、2, 6, 10-三甲基十二烷、十二醛、十四醛、十六醛、十五烷和十七烷,化合物及含量的差异可能与夹竹桃品种、甲酯化方法和仪器设备等有关。

2.4 抑菌活性研究 将靶标菌活化后,调制菌液浓度为 $1.0\times10^6\sim1.0\times10^7$ CFU/mL,采用滤纸片扩散法^[16]考察抑菌活性,二倍连续梯度稀释法^[17]测定最小抑菌浓度 (MIC),平板转种法测定最小杀菌浓度 (MBC),结果见图 5、表 2~3。由此可知,阴性对照组无抑菌圈,表明 20% DMSO 对靶标菌的生长无抑制作用;含 0.5% 碘伏溶液的阳性对照组抑菌圈直径均大于 15 mm,表明实验方法可行;质量浓度为 5 mg/mL 时,4 种溶剂提取物周围均有抑菌圈,表明均具有一定抑菌活性;石油醚提取物对 *E. coli* 抑菌效果最好,而二氯甲烷、无水乙醇、乙酸乙酯提取物对 *B. subtilis* 抑菌效果最好。

3 讨论

本研究通过 GC-MS 分析发现夹竹桃花石油醚、二氯甲烷、无水乙醇和乙酸乙酯提取物中分别有 30、58、52、62 种化合物,四种溶剂提取物的 13 种共有成分分别占对应提取物的 69.17%、69.44%、64.11%、62.75%。由此可见,

由于四种溶剂提取物组分较为复杂,本研究仅进行成分的分析鉴定。其中,α-香树脂醇和β-香树脂醇是同分异构体,属于三萜类化合物,具有抑制脂肪细胞分化的作用,可作为新的治疗和预防肥胖的药物^[20]。十四酸、十六酸等高级饱和脂肪酸,是自然界中分布最广的脂肪酸之一,几乎所有的油脂中都含有数量不等的软脂酸组分,十六酸具有抗肿瘤和抗衰老等活性^[21]。癸酸等中链脂肪酸具有抑菌活性,癸酸具有较高的酸度系数,可以穿透细菌细胞壁、

磷脂分子层和细胞膜^[22]。亚油酸是人体自身不能合成但必需的功能性多不饱和脂肪酸代表物质之一，具有抗癌、抗氧化、增强免疫功能、降低血脂血压、软化血管、防止动脉粥样硬化及预防脂肪肝、抑制血栓形成的功效^[23]。

抗氧化和抑菌结果显示，四种溶剂提取物均有一定的生物活性，这可能与提取物中化学成分及含量有关。无水乙醇提取物的生物活性最好，GC-MS 分析发现相对含量较高的成分依次为 α -香树脂醇（32.44%）、棕榈酸甲酯（17.33%）、亚油酸甲酯（10.01%）、油酸甲酯（8.2%）、 γ -硫辛酸（5.07%）、硬脂酸甲酯（4.37%）、 β -香树脂醇（3.3%）、癸酸甲酯（2.28%）。石油醚提取物的活性次之，相对含量较高的成分依次为 α -香树脂醇（41.43%）、棕榈酸甲酯（12.13%）、十四醛（7.39%）、 β -香树脂醇（7.23%）、8，11-十八二烯酸甲酯（3.79%）。结合提取物的得率，石油醚和无水乙醇是提取夹竹桃花活性成分比较理想的有机溶剂，可为新型抗氧化剂、新药等开发提供理论参考，为夹竹桃花的资源开发提供依据。

参考文献：

[1] 戴灵鹏, 罗蔚华, 王万贤. 夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1918-1924.

[2] 常 燕, 曹 军, 王兆慧, 等. 夹竹桃内生菌杀虫活性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 202-203.

[3] 李睿玉, 王跃华, 马丹炜, 等. 夹竹桃水浸提液对 4 种植物的化感作用[J]. 种子, 2014, 33(8): 44-47.

[4] 冯小飞, 赵 宁, 杨品辉, 等. 红花夹竹桃萃取物对植物病原真菌的抑菌活性[J]. 福建农业学报, 2018, 33(8): 849-854.

[5] 张伟豪, 翁道玥, 宋慧云, 等. 9 种夹竹桃科和大戟科植物抗菌和抗氧化活性测定[J]. 南方农业学报, 2018, 49(1): 85-90.

[6] 刘 旭. 夹竹桃提取物抗胰腺癌活性研究及药效成分筛选[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(6): 1344-1346.

[7] 孔 阳. 白花夹竹桃内生真菌次生代谢产物及其活性的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2019.

[8] 翟金晓. 雷公藤、夹竹桃及常见有毒生物碱的中毒、检测及评价研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2015.

[9] 刘人源, 黄蜚颖, 郭 敏, 等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS/MS 技

术的夹竹桃寄主及其桑寄生强心苷成分相关性研究[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(11): 2283-2291.

[10] 闫元景. 夹竹桃粗提物提取工艺及其抑菌活性的研究[D]. 淮安: 淮阴工学院, 2019.

[11] 李昌灵, 牛友芽, 刘胜贵. 夹竹桃叶提取物的抑菌作用研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(2): 575-577.

[12] 董道青, 陈建明, 俞晓平, 等. 夹竹桃不同溶剂提取物对福寿螺的毒杀作用评价[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(2): 154-158.

[13] 唐 芳, 李小元, 吴卫国, 等. 山茶油脂肪酸甲酯化条件研究[J]. 粮食与油脂, 2010, 12(8): 36-39.

[14] 王 寒, 罗庆华, 魏梦雅, 等. 大鲈油体外抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 149-153.

[15] 罗阳兰, 邓百万, 刘军生, 等. 白及花与块茎石油醚部位成分分析及其生物活性的比较研究[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(4): 444-450.

[16] 段红波, 宦臣臣, 梁引库, 等. 蒲公英叶脂溶性成分的 GC-MS 分析及其活性探讨[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(1): 60-66.

[17] 段琦梅, 梁宗锁, 杨东风, 等. 黄芪、党参乙醇提取物抗菌活性研究[J]. 中成药, 2012, 34(11): 2220-2222.

[18] 葛德鹏, 李 森, 黄 凯, 等. 不同溶剂同时蒸馏萃取艾叶挥发油的抑菌活性[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(3): 41-48.

[19] 刘 语, 刘铮铮, 宋 宁, 等. 夹竹桃花挥发油的 GC-MS 分析及 β -葡萄糖苷酶对夹竹桃花的增香和豚鼠离体子宫平滑肌的作用[J]. 中国林副特产, 2020, 36(2): 1-4; 32.

[20] de Melo K M, de Oliveira F T B, Costa Silva R A, *et al.* α , β -Amyrin, a pentacyclic triterpenoid from *Protium heptaphyllum* suppresses adipocyte differentiation accompanied by down regulation of PPAR γ and C/EBP α in 3T3-L1 cells[J]. *Biomed. Pharmacother.*, 2019, 109: 1860-1866.

[21] 徐 晶. 香樟和泽漆有效成分的分离分析及活性研究[D]. 东营: 中国石油大学（华东）, 2015.

[22] 周琪琪. 有机酸、癸酸和地衣芽孢杆菌对感染大肠杆菌 K88 的仔猪的保护作用[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.

[23] 柏国清, 路强强, 陈智坤, 等. 不同甲酯化方法对开口箭地上部位脂肪酸分析的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1): 202-206.