

- [17] 杨英富, 尹艺璇, 姬壮壮, 等. 基于数据挖掘分析于志强临床应用温胆汤的用药规律[J]. 中国民间疗法, 2023, 31(24): 66-69.
- [18] 游绍伟. 吴光炯教授临证应用温胆汤系列方经验[J]. 光明中医, 2021, 36(6): 897-899.
- [19] 柳迪, 于琦, 李敬华, 等. 古今医案云平台应用述评[J]. 国际中医中药杂志, 2023, 45(11): 1356-1359.
- [20] 赵宇, 邱晶晶, 刘树华, 等. 基于中医传承辅助平台研究黄宏兴教授治疗原发性骨质疏松症的用药规律[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(9): 1349-1354.
- [21] GB/T 16751.1-2023, 中医临床诊疗术语 第 1 部分: 疾病[S].
- [22] GB/T 16751.2-2021, 中医临床诊疗术语 第 2 部分: 证候[S].
- [23] 王萌萌, 王旭, 李镜, 等. 中医学中黄金分割律探析[J]. 山东中医杂志, 2018, 37(5): 356-359.
- [24] 张涛, 欧阳青兰, 莫镜颖, 等. 国医大师熊继柏治疗失眠的方药规律分析[J]. 湖南中医药大学学报, 2024, 44(1): 93-100.
- [25] 高畅, 胡晓丽. 中医治疗不寐的研究进展[J]. 中外医学研究, 2024, 22(1): 169-173.
- [26] 张文华, 譙凤英, 蔡秋晗. 经典名方温胆汤及其类方治疗眩晕的药理与临床研究进展[J]. 药物评价研究, 2024, 47(1): 204-210.
- [27] 文誉坤, 田苗, 陈春妹, 等. 温胆汤治疗抑郁症临床及实验研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2022, 24(9): 114-118.
- [28] 高云丽, 许二平, 闫向丽, 等. 温胆汤类方治疗精神类疾病研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(3): 1169-1172.

朝鲜婆婆纳挥发油成分及其生物活性研究

肖长生^{1,2}, 苏明伟^{1,2}, 熊校勤^{1,2}, 周叶兵³, 齐小琼^{1,2*}

(1. 湖北第二师范学院化学与生命科学学院, 湖北 武汉 430205; 2. 植物抗癌活性物质提纯与应用湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205; 3. 武汉恒和达生物医药有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: **目的** 研究朝鲜婆婆纳挥发油成分及其生物活性。**方法** 同时蒸馏萃取 (SDE) 法提取挥发油, 气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 法鉴定化学成分, 峰面积归一化法测定相对含量。分别采用 DPPH 法、MTT 法和平皿打孔法测定挥发油的抗氧化活性、抗肿瘤活性及抑菌活性。**结果** 共鉴定出 50 种成分, 占总挥发性成分的 71.78%, 主要为 2-(2-呋喃基)-3-甲基-2-丁烯酸 (18.57%)、棕榈酸 (14.2%)、亚油酸 (6.12%)、亚麻酸 (6.01%)、叶绿醇 (4.04%)、4-乙烯基-2-甲氧基苯酚 (3.66%) 等。挥发油对 DPPH 的 IC_{50} 值为 142.19 $\mu\text{g/mL}$, 对 HepG2 肝癌细胞的 IC_{50} 值为 275.78 $\mu\text{g/mL}$, 对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、蜡状芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌的 MIC 分别为 40、30、60、20 mg/mL 。**结论** 本实验丰富了朝鲜婆婆纳挥发油化学成分, 且发现其具有一定的抗氧化活性、抗肿瘤活性及抑菌活性。

关键词: 朝鲜婆婆纳; 挥发油; 抗氧化活性; 抗肿瘤活性; 抑菌活性

中图分类号: R284.1

文献标志码: B

文章编号: 1001-1528(2024)10-3501-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2024.10.053

玄参科婆婆纳属植物全球约 300 种, 我国有 69 种 (包括亚种、变种), 多分布于西南山地^[1]。婆婆纳属多种植物药用价值良好, 我国已记载入药的达 27 种, 具有祛风除湿、消炎止痛、清热解毒、活血祛瘀、凉血止血等功效^[2]。

近年来, 国内学者对婆婆纳属植物的化学成分进行了分离鉴定研究, 如崔红梅等^[3]从毛果婆婆纳中测定出含量较高的活性物质梓醇、桃叶珊瑚苷和胡黄连苷 II; 张仁波等^[4]从疏花婆婆纳挥发油中共鉴定出 49 个化合物; 高坤等^[5]从长果婆婆纳的脂溶性成分中分离鉴定了 8 个化合物;

窦全丽等^[6]从小婆婆纳挥发油中共鉴定出 52 种成分; 张富赓^[7]不仅从轮叶婆婆纳中分离到 13 个化合物, 鉴定其中 8 个的结构, 还对其抗肿瘤和免疫机制进行了深入探讨。

朝鲜婆婆纳 *Veronica rotunda* Nakai var. *coreana* (Nakai) Yamazaki 为婆婆纳属穗花组无柄婆婆纳 *V. rotunda* Nakai 的一个变种, 分布于我国辽宁、山西、河南 (商城)、安徽 (岳西) 等地, 朝鲜也有分布^[8], 具有镇咳、祛痰、消炎、平喘等作用^[2], 但目前相关研究仅限于对干旱胁迫的生理响应^[9]、组织培养技术^[10]等, 未见化学成分及生物活性报

收稿日期: 2024-05-10

基金项目: 湖北省省级教学研究项目 (2017450); 植物抗癌活性物质提纯与应用湖北省重点实验室开放课题 (HLPAL2023005)

作者简介: 肖长生 (1977—), 男, 硕士, 讲师, 从事中药化学研究。Tel: (027) 87943931, E-mail: xiaochangsheng2024@163.com

* 通信作者: 齐小琼 (1981—), 女, 博士, 副教授, 从事中药药理研究。Tel: (027) 87943931, E-mail: qxq1004@163.com

道。因此,本实验采集大别山主峰的朝鲜婆婆纳,首次分析其挥发油成分,并测定其抗氧化活性、抗肿瘤活性和抑菌活性,以期为其他婆婆纳属植物的开发利用提供科学依据。

1 材料

1.1 药材 正值花期的朝鲜婆婆纳全株(去根)采集于鄂皖交界处海拔一千七百多米的大别山主峰山脊,阴干,粉碎,经专家鉴定为正品。

1.2 试剂 二氯甲烷、丙酮、无水硫酸钠、甲醇、乙醇、二甲基亚砜(DMSO)、抗坏血酸(Vc)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);酵母提取物、蛋白胨(英国OXOID公司);四甲基偶氮唑盐(MTT,美国Sigma-Aldrich公司);胰蛋白酶、改良RPMI-1640培养基(美国Thermo Fisher Scientific公司);四季青胎牛血清(浙江天杭生物科技股份有限公司)。

1.3 菌种与细胞 大肠杆菌 *Escherichia coli*、枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*、蜡状芽孢杆菌 *Bacillus cereus* 和金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus* 均由湖北第二师范学院化学与生命科学学院分子生物学实验室提供。HEPG-2 肝癌细胞株由湖北第二师范学院化学与生命科学学院细胞生物学实验室提供。

1.4 仪器 R-210 旋转蒸发仪(瑞士Buchi公司);同时蒸馏萃取仪(上海五一玻璃仪器厂);电子天平(德国赛多利斯公司);Integral 5 超纯水仪(德国Millipore公司);SHZ-Ⅲ循环水真空泵(上海亚荣生化仪器厂);DF110 高速多功能粉碎机(南京东迈科技仪器有限公司);酶标仪(美国Molecular Devices公司);Agilent 7890A/5975C 气相色谱-质谱联用仪(美国Agilent公司);WO-5L 智能数显多功能水油浴锅、DLSB 低温冷却液循环泵(河南巩义市予华仪器有限责任公司);SW-CJ-2FD 超净工作台(苏净集团苏州安泰空气技术有限公司);YXQ-LS-75S11 灭菌器(上海博讯实业有限公司);IX51 倒置荧光显微镜(日本Olympus公司);Forma 3111 CO₂ 培养箱(美国Thermo Fisher Scientific公司)。

2 方法

2.1 同时蒸馏萃取(SDE)法提取挥发油 取朝鲜婆婆纳粉末250 g,置于5 L圆底烧瓶中,加入2.5 L超纯水,常温浸泡6 h;取250 mL二氯甲烷,置于500 mL圆底烧瓶中,萃取6 h,分离二氯甲烷层,加入无水硫酸钠,低温静置3 h,过滤,减压浓缩除去二氯甲烷,即得挥发油,密封,-20 ℃冷冻保存。

2.2 GC-MS 法分离鉴定挥发油成分

2.2.1 色谱条件 Agilent HP-5ms 色谱柱(30 m×250 μm, 0.25 μm);初始温度60 ℃,保持5 min,以5 ℃/min升至135 ℃,再以2 ℃/min升至175 ℃,最后以10 ℃/min升至270 ℃,保持20 min;载气氦气;体积流量1.0 mL/min;分流比30:1;进样量1 μL。

2.2.2 质谱条件 EI 离子源;离子源温度230 ℃,四级杆3502

温度150 ℃,进样口温度150 ℃;电子能量70 eV;电子倍增电压1 365 V;溶剂延迟5 min;扫描范围 *m/z* 30~400。通过NIST 谱库检索确定成分。

2.3 DPPH 法测定抗氧化活性 参考Wang、王笑晴等^[11-12]报道并略加调整,分别制成含0.024 mg/mL DPPH、0.026 mg/mL Vc、2.5 mg/mL 挥发油的甲醇溶液,以2.5 mg/mL 挥发油为母液,甲醇稀释成质量浓度分别为0.041 7、0.069 4、0.111 1、0.138 9、0.277 8 mg/mL 的系列溶液;以0.026 mg/mL Vc为母液,甲醇稀释成质量浓度分别为0.88、1.76、2.74、3.52、4.40 μg/mL 的系列溶液,作为阳性对照,上述溶液分别加入96孔板,以甲醇为空白对照,37 ℃避光孵化30 min,在517 nm 波长处测定吸光度,计算DPPH 自由基清除率,公式为清除率=[1-(*A*_{样品}-*A*_{空白})/*A*_{对照}]×100%,其中*A*_{样品}为不同质量浓度挥发油加DPPH 后吸光度,*A*_{空白}为不同质量浓度挥发油不加DPPH 后吸光度,*A*_{对照}为不加挥发油DPPH 溶液吸光度。

2.4 MTT 法测定抗肿瘤活性 参考陈艺粼、张洪权、张春等^[11-15]报道,在5% CO₂、37 ℃条件下用RPMI-1640 培养基(含10%胎牛血清)传代培养HepG2 肝癌细胞,对数生长期时用胰蛋白酶制成细胞悬液,离心,收集细胞,重悬得到密度1×10⁵/mL 的混悬液,接种于96孔板,每孔100 μL,培养24 h,加入经培养基稀释的不同质量浓度挥发油溶液,每孔100 μL,挥发油终质量浓度分别为25、50、100、200、400 μg/mL,每个质量浓度设置4个复孔。以不加挥发油的培养基为对照组,每孔100 μL,设4个复孔,挥发油组和对对照组继续37 ℃培养24 h,之后每孔加入20 μL MTT (5 mg/mL PBS 溶液),孵育4 h 后吸弃上清液,每孔加入150 μL DMSO,充分振荡混匀至紫色结晶完全溶解,在490 nm 波长处测定吸光度,重复3次,计算细胞抑制率,公式为抑制率=(1-加药组吸光度/对照组吸光度)×100%。

2.5 平皿打孔法测定抑菌活性 抑菌活性的研究通常采用琼脂扩散法,指待测药物在琼脂中扩散使周围的细菌生长受到抑制而形成抑菌圈,根据抑菌圈大小来判定细菌对药物的敏感性,主要包括纸片琼脂扩散法、杯碟法和平皿打孔法^[16]。本研究采取平皿打孔法,具体参考张彬、Alghazeer、Zarai 等^[17-19]报道。

供试菌在37 ℃下活化培养18~24 h 后,挑取单菌落接种于LB 液体培养基中,37 ℃振荡培养18~24 h 得菌悬液,将其稀释至1×10⁵ cfu/mL。向已灭菌的平皿中倾注25~30 mL LB 培养基,凝固后取100 μL 菌液于平皿中央并涂布均匀,静置30 min,待菌液被培养基充分吸收后用无菌打孔器在凝固的培养基上打4个孔(孔径9 mm),以无菌牙签挑出孔内琼脂,滴少量熔化琼脂培养基于小孔中封底,以防药液从皿底流走,静置片刻。以DMSO 为溶剂,配制6个质量浓度(100、80、60、40、30、20 mg/mL)的挥发油溶液,向孔内加入50 μL,每一梯度溶液在同一平皿上设3个重复,另一个孔加入相同浓度的二氯甲烷作为对照,37 ℃培养24 h,观察有无抑菌圈并测定抑菌圈大小,取平

均值，并以无抑菌圈出现的最低浓度作为最小抑菌浓度（MIC）。

(1.39%)、β-姜黄烯（1.10%）。

3 结果

3.1 挥发油成分 总离子流图见图 1，挥发油成分及其相对含量见表 1。由表 1 可知，共鉴定出 50 种成分，占总挥发性成分的 71.78%，其中有机酸类（27.65%）和醛酮类（24.16%）含量较高，其次是烃类（5.25%）、芳香类（5.11%）、醇类（4.51%）和酚类（4.17%）；相对含量超过 1% 的有 11 种，分别为 2-（2-呋喃基）-3-甲基-2-丁烯醛（18.57%）、棕榈酸（14.2%）、亚油酸（6.12%）、亚麻酸（6.01%）、叶绿醇（4.04%）、4-乙 烯基-2-甲 氧基 苯 酚（3.66%）、3-甲氧基苯乙酮（2.06%）、5-乙基间二甲苯（1.56%）、二十四烷（1.47%）、对甲氧基苯乙酮

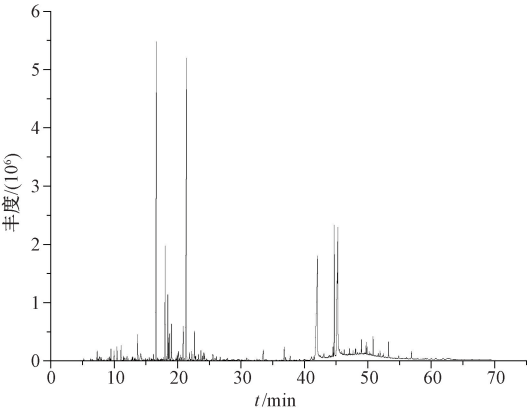


图 1 朝鲜婆婆纳挥发油总离子流色谱图

表 1 朝鲜婆婆纳挥发油化学成分及其相对含量

序号	保留时间/min	化合物	分子式	相对含量/%	匹配度/%
1	7.33	1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	0.29	90
2	8.00	5-(1-甲基亚丙基)-1,3-环戊二烯	C ₉ H ₁₂	0.10	91
3	9.25	苯醇	C ₇ H ₈ O	0.14	97
4	9.50	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	0.35	94
5	9.98	茉莉酮	C ₇ H ₁₀ O ₂	0.34	90
6	10.44	2,3-苯并呋喃	C ₈ H ₆ O	0.48	90
7	11.08	邻甲氧基苯酚	C ₇ H ₈ O ₂	0.51	97
8	11.46	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.13	87
9	11.89	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	0.15	93
10	12.83	樟脑	C ₁₀ H ₁₆ O	0.12	94
11	12.93	1-甲基-1,2-丙二烯苯	C ₁₀ H ₁₀	0.14	94
12	13.71	2-甲基苯并呋喃	C ₉ H ₈ O	0.86	91
13	14.16	苯甲酸	C ₇ H ₆ O ₂	0.37	92
14	15.53	2,3-二氢苯并呋喃	C ₈ H ₈ O	0.16	87
15	16.17	1,2,3,4-四氢-1,1,6-三甲基萘	C ₁₃ H ₁₈	0.20	96
16	16.66	2-(2-呋喃基)-3-甲基-2-丁烯醛	C ₉ H ₁₀ O ₂	18.57	88
17	17.72	4-羟基吡啶	C ₈ H ₇ NO	0.11	90
18	18.03	4-乙 烯基-2-甲 氧基 苯 酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	3.66	95
19	18.24	1,5,8-三甲基-1,2,3,4-四氢化萘	C ₁₃ H ₁₈	0.14	92
20	18.45	3-甲氧基苯乙酮	C ₉ H ₁₀ O ₂	2.06	86
21	18.55	4-羟基-2,6-二甲苯苯甲腈	C ₉ H ₉ NO	0.74	87
22	19.06	对甲氧基苯乙酮	C ₉ H ₁₀ O ₂	1.39	95
23	19.93	大马酮	C ₁₃ H ₁₈ O	0.15	95
24	20.13	1,1,5-三甲基-1,2-二氢萘	C ₁₃ H ₁₆	0.33	93
25	20.42	香兰素	C ₈ H ₈ O ₃	0.24	93
26	20.88	5-乙基间二甲苯	C ₁₀ H ₁₄	1.56	81
27	21.87	(Z,Z,Z)-1,5,9,9-四甲基-环十一烷-1,4,7-三烯	C ₁₅ H ₂₄	0.45	98
28	22.66	β-姜黄烯	C ₁₅ H ₂₄	1.10	84
29	22.76	1,5-二甲基-4-己烯醇-4-甲基苯	C ₁₄ H ₂₀ O	0.15	97
30	22.87	反式 β-紫罗酮	C ₁₃ H ₂₀ O	0.19	96
31	24.25	二氢猕猴桃内酯	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	0.28	97
32	25.55	1-(2-吡啶基)六氢-1H-1,4-二氮杂革	C ₁₀ H ₁₅ N ₃	0.47	82
33	33.53	肉豆蔻酸	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.95	99
34	36.82	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	C ₁₈ H ₃₆ O	0.75	96
35	42.06	棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	14.20	99
36	42.43	十二烷异丙基醚	C ₁₅ H ₃₂ O	0.08	82
37	43.08	kaur-16-ene	C ₂₀ H ₃₂	0.30	99
38	44.48	十六烷	C ₁₆ H ₃₄	0.30	96
39	44.69	叶绿醇	C ₂₀ H ₄₀ O	4.04	94

续表 1

序号	保留时间/min	化合物	分子式	相对含量/%	匹配度/%
40	45.18	亚油酸	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	6.12	97
41	45.27	亚麻酸	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	6.01	99
42	46.27	1-萘氨基苯	C ₁₆ H ₁₃ N	0.14	95
43	47.07	十八烷	C ₁₈ H ₃₈	0.19	96
44	48.10	正二十一烷	C ₂₁ H ₄₄	0.39	97
45	48.96	醋酸-13-十四烯酯	C ₁₄ H ₂₈ O	0.10	96
46	49.02	二十五烷	C ₂₅ H ₅₂	0.35	94
47	50.20	N-(2-三氟甲基苯)-3-吡啶甲酰胺脒	C ₁₃ H ₁₀ F ₃ N ₃ O	0.1	91
48	51.93	二十四烷	C ₂₄ H ₅₀	1.47	99
49	52.43	1,2-环氧十八烷	C ₁₈ H ₃₆ O	0.13	98
50	56.88	二十八烷	C ₂₈ H ₅₈	0.47	98

3.2 抗氧化活性 由图 2 可知,随着挥发油质量浓度增加,DPPH 自由基清除能力逐渐增强,但远不如 Vc;当清除率为 50%时,挥发油 IC₅₀ 值为 142.19 μg/mL。由图 3 可知,Vc 对 DPPH 具有很强的自由基清除能力,其 IC₅₀ 值为 2.65 μg/mL。

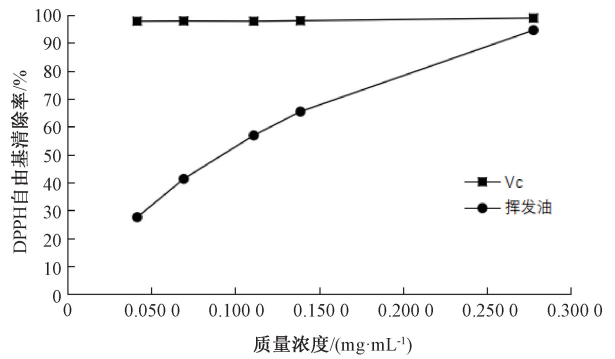


图 2 朝鲜婆婆纳挥发油对 DPPH 自由基的清除能力

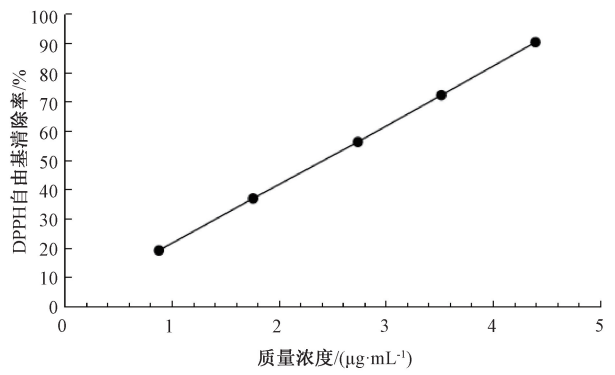


图 3 Vc 对 DPPH 自由基的清除能力

3.3 抗肿瘤活性 由图 4 可知,随着挥发油质量浓度增加,HepG2 肝癌细胞抑制率升高,呈现一定的剂量依赖关系,其中 25~100 μg/mL 范围内更明显,100~400 μg/mL 范围内程度较小;挥发油质量浓度与 HepG2 细胞抑制率未表现出良好的线性关系,其 IC₅₀ 值约为 275.78 μg/mL。

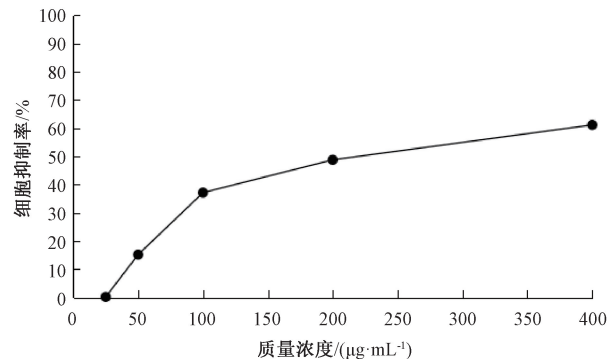


图 4 朝鲜婆婆纳挥发油对 HepG2 肝癌细胞的抑制率

3.4 抑菌活性 由表 2 可知,挥发油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌均有一定的抑制活性,其中对金黄色葡萄球菌的作用最强,对蜡状芽孢杆菌的作用最弱。

4 讨论与结论

本研究从朝鲜婆婆纳挥发油中共鉴定出 50 种成分,其中有机酸类、醛酮类占比较高,分别为 27.65%、24.16%,有机酸中又以棕榈酸、亚油酸和亚麻酸为主,相对含量分别为 14.2%、6.12% 和 6.01%;醛酮类中以 2-(2-呋喃基)-3-甲基-2-丁烯醛相对含量最高,为 18.57%,其次是 3-甲氧基苯乙酮和对甲氧基苯乙酮,分别为 2.06% 和 1.39%。此外,酚类中的 4-乙烯基-2-甲氧基苯酚相对含量为 3.66%,醇类中的叶绿醇相对含量为 4.04%。

表 2 朝鲜婆婆纳挥发油抑菌活性测定结果

供试菌	抑菌圈直径/mm					
	100 μg/mL	80 μg/mL	60 μg/mL	40 μg/mL	30 μg/mL	20 μg/mL
金黄色葡萄球菌	14.6	13.8	11.5	10.7	9.5	—
枯草芽孢杆菌	13.9	12.6	10.5	9.6	—	—
大肠杆菌	14.2	13.7	11.2	—	—	—
蜡状芽孢杆菌	10.6	9.5	—	—	—	—

注:—表示没有抑菌圈出现。

朝鲜婆婆纳挥发油对 DPPH 有一定的清除能力，对肝癌细胞 HepG2 具有一定的抑制作用，对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和蜡状芽孢杆菌表现出不同程度的抑菌活性，其中对金黄色葡萄球菌的抑制作用最强。

研究表明，棕榈酸有抗肿瘤活性，并能诱导多种细胞凋亡，在高浓度时能将小鼠乳腺癌 tsFT210 细胞的细胞周期抑制在 G2/M 期，并诱发其发生凋亡^[20]。前期报道，从海洋球石藻中分离得到的棕榈酸对 Hep G2 肝癌细胞也有一定的毒性，对副溶血性弧菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌及金黄色葡萄球菌均有较强的抑制作用^[21-22]。亚油酸和亚麻酸是人体必需脂肪酸，在高、低浓度时均对癌细胞具有杀伤作用，且可明显抑制癌细胞 DNA 的合成^[23]。此外，亚油酸还能帮助软化心脑血管，降低血压血脂和胆固醇，预防动脉粥样硬化；亚麻酸有助于维持人体内分泌平衡，同时还是脑部神经系统的重要组成部分，可为人体脑部神经提供能量^[24]；叶绿醇具有较强的抗氧化能力，同时对肝癌细胞 HepG2 也有较强的抑制作用^[22]。另外，朝鲜婆婆纳挥发油中含量较高的棕榈酸、亚油酸、亚麻酸、叶绿醇等成分可能是其生物活性的内在原因，而其他含量较高的物质，如醛酮类、酚类等是否也有类似作用有待于进一步研究。

综上所述，朝鲜婆婆纳具有一定的药用价值和作为天然抗氧化剂、抗菌剂的潜力，可为其他婆婆纳属植物和大别山地区药用植物的开发利用提供科学依据。

参考文献：

[1] 郭水良，李扬汉，丁梅芳. 中国婆婆纳属（*Veronica* L.）分布式样的数值分析[J]. 浙江师大学报（自然科学版），1997，20(2)：66-72.

[2] 杜月，王晓琴，杨美珍. 婆婆纳属药用植物药理活性研究进展[J]. 现代中药研究与实践，2013，27(60)：77-80.

[3] 崔红梅，罗恒，杨军，等. HPLC 法同时测定毛果婆婆纳中 3 种环烯醚萜苷[J]. 中成药，2015，37(4)：810-813.

[4] 张仁波，窦全丽. 疏花婆婆纳中挥发油的化学成分分析[J]. 安徽农业科学，2010，38(9)：4592-4593；4620.

[5] 高坤，李旭琴，刘安，等. 西北高寒植物长果婆婆纳的化学成分[J]. 西北植物学报，2003，23(4)：633-636.

[6] 窦全丽，张仁波，肖仲久，等. 小婆婆纳挥发油的化学成分的研究[J]. 安徽农业科学，2010，38(32)：18132-18133；18149.

[7] 张富康. 轮叶婆婆纳生物有效化学成分的研究[D]. 天津：天津大学，2005.

[8] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志（第六十七卷第二分册）[M]. 北京：科学出版社，1979：274.

[9] 彭安琪，林夏珍，刘玉成. 朝鲜婆婆纳对干旱胁迫的生理响应[J]. 浙江农业科学，2017，58(7)：1237-1241.

[10] 戴梦璐. 朝鲜婆婆纳组织培养技术研究[D]. 杭州：浙江农林大学，2016.

[11] Wang D C, Sun S H, Shi L N, *et al.* Chemical composition, antibacterial and antioxidant activity of the essential oils of *Metaplexis japonica* and their antibacterial components[J]. *Int J Food Sci Tech*, 2015, 50(2)：449-457.

[12] 王笑晴. 基于 DPPH 自由基清除能力的姜黄提取物抗氧化活性评价[J]. 药物评价研究，2011，34(5)：360-363.

[13] 陈艺嫔，晁利芹，苏秀红，等. 短梗菝葜乙酸乙酯部位抗肿瘤活性谱效关系[J]. 中成药，2021，43(12)：3518-3523.

[14] 张洪权，杨英，余嘉祎，等. 两种香青属植物挥发油的化学成分及抗肿瘤活性[J]. 天然产物研究与开发，2019，31(12)：2087-2092；2076.

[15] 张春，赵学梅，周丽，等. MTT 法测定低分子姬松茸多糖体外抗肿瘤活性[J]. 齐齐哈尔医学院学报，2009，30(1)：1-2.

[16] 马建凤，刘华钢，朱丹. 中药体外抑菌研究的方法学进展[J]. 药物评价研究，2010，33(1)：42-45.

[17] 张彬，邓樱花，苏明伟，等. 侧蒿挥发油化学成分及抗氧化、抑菌活性研究[J]. 华中师范大学学报（自然科学版），2017，51(6)：777-781；785.

[18] Alghazeer R, Elmansori A, Sidati M, *et al.* *In vitro* antibacterial activity of flavonoid extracts of two selected Libyan algae against multi-drug resistant bacteria isolated from food products[J]. *J Biosci Med (Irvine)*, 2017, 5(1)：26-48.

[19] Zarai Z, Kadri A, Chobba I B, *et al.* The *in-vitro* evaluation of antibacterial, antifungal and cytotoxic properties of *Marrubium vulgare* L. essential oil grown in Tunisia[J]. *Lipids Health Dis*, 2011，10(1)：161.

[20] 刘睿，顾谦群，崔承彬，等. 密脉鹅掌柴的化学成分及其抗肿瘤活性[J]. 中草药，2005，36(3)：328-332.

[21] 朱春芑. 紫海胆壳中化学成分的分离鉴定及其活性研究[D]. 大连：大连海洋大学，2014.

[22] 刘静雯，吴书燕，马亚瑞，等. 海洋球石藻（*Emiliania huxleyi*）活性物质分离鉴定及其抗菌抗氧化性能研究[J]. 海洋与湖沼，2021，52(5)：1180-1190.

[23] 谢丽涛，陈家堃. 必需脂肪酸对 BEL-7402 人肝癌细胞生长和甲胎蛋白分泌抑制的研究[J]. 中国肿瘤生物治疗杂志，1998，5(4)：274-276.

[24] 张龙珠，林舒航，耿予欢，等. 低芥酸芥菜籽油抗氧化特性及脂肪酸组成比较分析[C] //药食同源与大健康学术研讨会暨 2023 年广东省食品学会年会论文集. 珠海：广东省食品学会，2023：8-14.