

三种百里香挥发油成分、抑菌活性和对人体肝癌细胞毒性研究

韩峰¹, 孙耀文², 马迎梅^{2*}, 郑丽娜³, 刘承昊¹, 赵博扬¹¹内蒙古农业大学草原与资源环境学院; ²内蒙古农业大学沙漠治理学院;³内蒙古蒙草生态环境(集团)股份有限公司, 呼和浩特 010000

摘要:为探究百里香属三种百里香植物挥发油的化学成分及其抑菌和抗癌作用,采用水蒸气蒸馏法分别提取柠檬百里香、百里香和法国百里香中的挥发油,并对其化学成分进行分析,共检测出50种化合物,其中百里香酚含量最高37.61%,柠檬醛11.44%、顺式香叶醇10.25%、石竹素5.74%、异百里酚甲醚12.45%。采用滤纸片抑菌法和平板涂布法检测三种挥发油的抑菌活性,确定柠檬百里香挥发油的抑菌效果最好,最小抑菌/杀菌浓度强弱依次为大肠杆菌(*Escherichia coli*) > 燕麦镰刀菌(*Fusarium avenaceum*) > 金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)。CCK-8法测定三种百里香挥发油对肝癌细胞HepG2的毒性,结果表明柠檬百里香挥发油对肝癌细胞的抑制作用最强,其IC₅₀值为18.32 μg/mL。该研究结果可为百里香挥发油的开发利用提供理论依据。

关键词:百里香挥发油;成分分析;抑菌活性;细胞毒性

中图分类号:Q946

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2023)10-1708-08

DOI:10.16333/j.1001-6880.2023.10.006

Components, bacteriostatic activity and cytotoxicity on human hepatoma cells of three thyme essential oils

HAN Feng¹, SUN Yao-wen², MA Ying-mei^{2*}, ZHENG Li-na³, LIU Cheng-hao¹, ZHAO Bo-yang¹¹College of Grassland Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University;²College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University;³Mengcao Ecological Environment (Group) Co., Ltd. of Inner Mongolia, Hohhot 010000, China

Abstract: In order to characterize the chemical components in three thyme plants from thyme genus and evaluate their bacteriostatic activity and cytotoxicity on human cancer cells, the volatile oil from *T. citriodorus*, *T. mongolicus*, and *T. vulgaris* was extracted by steam distillation and their chemical components were analyzed. A total of 50 compounds were detected, of which the highest thymol content was 37.61%, citral was 11.44%, cis-geraniol was 10.25%, caryophyllene oxide was 5.74%, and thymol methyl ether was 12.45%. The antibacterial activity from these three types volatile oils was evaluated by filter paper method and plate coating method and volatile oil of *T. citriodorus* was determined as the best for its antibacterial effect compared with others. The minimum bacteriostatic concentration against three strains of bacteria was in the order of *Escherichia coli* > *Fusarium avenaceum* > *Staphylococcus aureus*. The CCK-8 method was used to determine the cytotoxicity of three thyme volatile oils on HepG2 liver cancer cells. The results showed that volatile oil from *T. citriodorus* had the strongest inhibitory effect on liver cancer cells with an IC₅₀ value of 18.32 μg/mL. The results from this research can provide a theoretical basis for the development and utilization of thyme volatile oil.

Key words: thyme essential oil; component analysis; bacteriostatic activity; cytotoxicity

百里香是唇形科(Lamiaceae)的一种小半灌木,广泛分布于内蒙古、黑龙江等地。百里香挥发油是百里香特有的挥发物质,它的含量因生长环境和种

类会有差异,大多为萜烯类和芳香族类化合物,其中百里香酚和香芹酚的含量最高^[1,2]。百里香挥发油因其有很好的抗氧化作用,所以在食品添加剂和美容护肤品中广泛应用,又因其对肺炎链球菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌和鼠伤寒沙门氏等致病菌具有很强的抑制作用^[3],所以在医药领域也颇受关

收稿日期:2023-03-02 接受日期:2023-07-26

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金-博士基金(2021BS03037, 2022MS03056)

* 通信作者 Tel:86-015044928683; E-mail:hfnmd@imau.edu.cn

注,虽然有关植物挥发油诱发癌细胞凋亡的机制已有较多的文献报道,但是对于百里香属植物挥发油的研究报道较少,对其如何导致癌细胞坏死和凋亡的研究鲜有报道,也缺乏系统研究。

本研究以柠檬百里香(*Thymus citriodorus*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、法国百里香(*Thymus vulgaris*)为材料,采用水蒸气蒸馏法提取三种百里香挥发油,结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析其化学成分,研究其抑菌作用和对肝癌细胞毒性的影响,为进一步综合开发百里香挥发油提供更多的基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及试剂

百里香采集于内蒙古大青山,柠檬百里香和法国百里香购于山东新泰市绿色农业科技园,经内蒙古农业大学李红老师鉴定确认,并将其置于室内阴凉处,待自然阴干后粉碎过80目筛;镰刀菌由东北农业大学植物教研室提供,保存于-80℃冰箱;所用试剂均为分析纯,购于无锡市亚泰联合化工有限公司。

1.2 百里香精油提取

采用水蒸气蒸馏法提取百里香挥发油^[4]。百里香整株通风阴干,粉碎保存待用。取百里香粉末20 g,置于1 000 mL圆底烧瓶中,加蒸馏水600 mL混匀,室温下浸泡1 h。之后将圆底烧瓶,置于可调式电热套中,加热至沸腾,进行蒸馏1 h。将收集到的混合物倒入分液漏斗中静置,待油水分离,从分液漏斗下部放出冷凝水,获得百里香精油。

1.3 百里香精油 GC-MS 分析

色谱条件:色谱为 HP-5MS,5% 苯甲基聚硅氧烷弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),进样口温度为250℃,程序为初始温度50℃(5 min),以8℃/min升温速率至150℃(保持10 min),10℃升至250℃(保持8 min),载气为高纯氮气,柱前压20 kPa,流速1 mL/min,分流比37:1。

质谱条件:接口温度为280℃,电离方式为EI,电子能量为70 eV,离子源温度250℃,四极杆温度130℃,调谐方式为标准调谐,质量扫描方式为SCAN,溶剂延迟为3 min,扫描范围为35~550 amu。

1.4 菌悬液制备

将镰刀菌接种于营养肉汤中,培养至对数生长期,将对数生长期的菌种接种于PDA固体培养基中,37℃下培养24 h。将菌体配制成浓度为 $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$ CFU/mL的菌悬液,备用^[5]。

1.5 最小抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MBC)的测定

利用二倍稀释法和打孔法测定百里香精油的最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)^[6]。用二倍稀释法分别配制不同浓度的精油溶液,百里香挥发油用吐温-80溶液稀释,吸取100 μL菌液均匀涂布到无菌平板上,37℃恒温培养12 h后,以5 mm打孔器对菌平板进行打孔,分别加入100 μL百里香挥发油、链霉素、蒸馏水作为药物组、阳性组、阴性对照组。在恒温箱中培养,利用交叉法测定抑菌圈直径,每组试验做3个重复,最终结果取3次试验平均值。向96孔培养板内加入适量菌液,加入百里香精油,将培养板放入37℃培养箱内培养24 h,以最后一个不显示浊度,细菌无生长的药液稀释度作为MIC。吸取该浓度混合液20 μL,再涂布于平板,置于27℃恒温培养箱中培养24 h,若平板仍然完全没有菌株生长,则该浓度即为最小杀菌浓度(minimum bactericidal concentration, MBC)。

1.6 人体肝癌细胞培养

将冻存人体肝癌细胞复苏后,在T25细胞培养瓶中于37℃、5% CO₂培养箱中培养,之后每天观察细胞生长状况,待其单层生长至铺满细胞瓶底部,记录其生长天数。

1.7 CCK-8 法检测

选用对数生长期的贴壁肝癌细胞,用胰酶消化后,用含10%小牛血清、1%双抗的DMEM培养基配成5 000个/mL的细胞悬液,接种在96孔培养板中,每孔接种200 μL,37℃、5% CO₂培养。至细胞单层铺满孔底(96孔平底板)。弃液后,用PBS清洗2遍。在试验组分别加入100 μL不同浓度的精油溶液,阴性对照组和无细胞组加入等体积的DM-SO,药物培养基组加入含有1 μg/mL精油的DM-SO。将加百里香精油后的96孔板放入细胞培养箱中培养,培养时间要大于细胞传代时间。弃去培养基,每孔加入100 μL含有10%的CCK-8培养液,显色相应时间后,用酶标仪测定在450 nm处的吸光度,所有实验重复3次,以Bliss法计算挥发油对人体肝癌细胞的IC₅₀值^[7,8]。

2 结果与分析

2.1 三种百里香叶挥发油成分比较

柠檬百里香、百里香和法国百里香挥发油的总离子流图(total ions chromatogram, TIC)见图1~3。

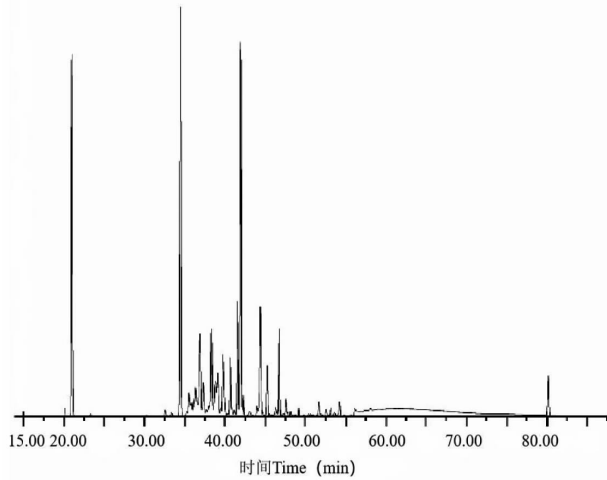


图1 柠檬百里香叶挥发油总离子流图

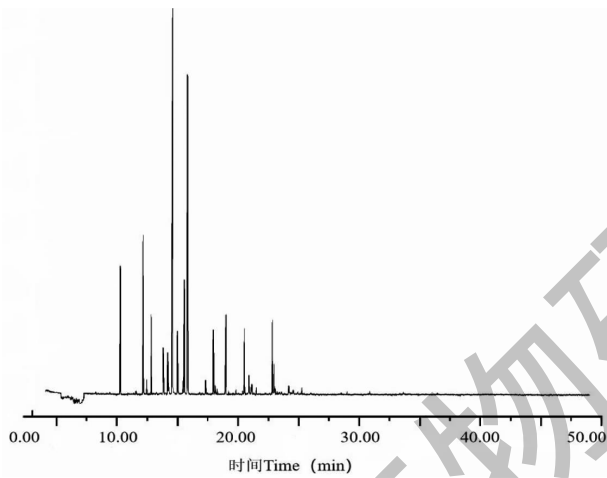
Fig. 1 TIC of *T. citriodorus* essential oil

图2 百里香挥发油总离子流图

Fig. 2 TIC of *T. mongolicus* essential oil

以面积归一化法确定三种百里香挥发油中各成分相对质量分数,并结合 NIST 数据库与标准质谱图进行成分鉴定,从挥发油中鉴定出 50 个匹配度大于等于

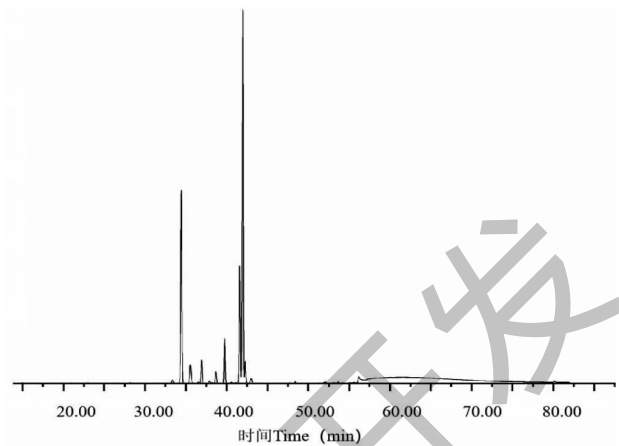


图3 法国百里香叶挥发油总离子流图

Fig. 3 TIC of *T. vulgaris* essential oil

90%的成分(见表1)。由表1可以看出,3种百里香挥发油的主要成分和相对质量分数有一定差异,共鉴定出50种化合物^[9]。其中,柠檬百里香中酚类化合物相对质量分数最多(37.88%),其次为醇类(27.57%)和醛类(13.56%),萜烯类和酮类化合物组分少,不含醚类化合物;此外,柠檬醛和异柠檬醛仅存在于柠檬百里香挥发油中,二者相对质量分数总和为13.56%。百里香挥发油共鉴定出29种化合物,占总质量分数的92.91%,其中酚类化合物相对质量分数为32.05%、萜烯类为21.92%、醇类为14.77%;主要成分为百里香酚(30.48%)、异百里香甲醚(12.45%)、芳樟醇(5.21%)等;法国百里香挥发油共鉴定出30种化合物,占总含量的90.01%;其中酚类化合物相对质量分数为33.93%、萜烯类为22.11%、醇类为14.96%,主要成分为百里香酚(32.17%)、异百里香甲醚(9.78%)、芳樟醇(4.17%)、石竹素(3.70%)等。

表1 三种百里香挥发油化学成分及其相对质量分数

Table 1 Chemical components and their relative mass fraction of three thyme essential oil

编号 No.	保留时间 Retention time (min)	相似度 Similarity (%)	化合物 Component	相对质量分数 Relative mass fraction (%)		
				柠檬百里香 <i>T. citriodorus</i>	百里香 <i>T. mongolicus</i>	法国百里香 <i>T. vulgaris</i>
1	8.261	98	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	0.48	-	0.33
2	10.287	97	顺式香叶醇 <i>cis</i> -Geraniol	1.03	-	-
3	12.153	99	樟脑 (+)-2-Bornanone	-	1.21	2.11
4	12.662	95	4-异丙基-3-甲酚 3-Methyl-4-isopropylphenol	0.14	1.05	-

续表 1 (Continued Tab. 1)

编号 No.	保留时间 Retention time (min)	相似度 Similarity (%)	化合物 Component	相对质量分数 Relative mass fraction (%)		
				柠檬百里香 <i>T. citriodorus</i>	百里香 <i>T. mongolicus</i>	法国百里香 <i>T. vulgaris</i>
5	12.836	98	香叶醇 Geraniol	11.67	-	-
6	14.195	93	(<i>E</i>)-3,7-二甲基辛基-2,6-二烯基碳酸酯 (<i>E</i>)-3,7-Dimethylocta-2,6-dienyl ethyl carbonate	1.89	-	-
7	14.589	99	百里香酚 Thymol	37.61	32.48	30.17
8	15.007	96	羟基-2-戊烯酸乙酯 2-Pentenoic acid, 3-hydroxy-, ethyl ester	0.25	2.11	2.43
9	15.553	98	β -蒎烯 β -Pinene	0.18	1.19	2.23
10	18.991	99	邻伞花烃 <i>O</i> -Cymene	0.18	1.45	1.76
11	20.516	93	环十一烷 Cyclododecane	-	0.35	0.56
12	20.982	94	柠檬烯 <i>D</i> -Limonene	1.41	-	-
13	21.895	91	菖蒲烯 (-)-Calamenene	-	-	3.02
14	22.823	93	桉叶醇 γ -Eudesmol	0.81	-	1.32
15	22.952	94	4-萜烯 4-Carene	-	2.05	1.07
16	22.967	96	γ -松油烯 γ -Terpinene	-	1.52	1.12
17	23.210	94	芳樟醇 Linalool	0.31	5.21	4.17
18	23.363	96	1-(1-乙基-2,3-二甲基-环戊-2-烯基)-乙酮 1-(1-Ethyl-2,3-dimethyl-cyclopent-2-enyl)-ethanone	0.23	-	-
19	28.144	97	右旋龙脑 (-)-Borneol	0.21	4.06	2.13
20	28.429	96	异柠檬醛 Isocitral	2.12	-	0.03
21	28.507	99	α -松油醇 <i>L</i> - α -Terpineol	0.65	1.32	1.44
22	29.008	98	顺式香叶醇 cis-Geraniol	10.25	-	-
23	29.976	99	柠檬醛 Citral	11.44	-	-
24	30.678	94	3,7-二甲基-2,6-辛二烯酸甲酯 2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester	0.22	-	-
25	30.859	92	β -波旁烯 (-) β -Bourbonene	0.20	-	-
26	32.585	95	3-萜烯 3-Carene	-	2.37	1.11
27	33.637	96	2-亚甲基-4,8,8-三甲基-4-乙烯基-双环[5,2,0]壬烷 Bicyclo[5.2.0]nonane,2-methylene-4,8,8-trimethyl-4-vinyl-	1.25	1.14	3.32
28	34.444	97	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	0.30	2.61	3.64
29	35.54	93	(1 <i>R</i> ,2 <i>S</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> ,8 <i>S</i>)-8-异丙基-1-甲基-3-亚甲基三环[4.4.0.0 ^{2,7}] 癸烷(1 <i>R</i> ,2 <i>S</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> ,8 <i>S</i>)-8-Isopropyl-1- methyl-3-methylenetricyclo[4.4.0.0 ^{2,7}]decane-rel-	-	1.14	1.13

续表 1 (Continued Tab. 1)

编号 No.	保留时间 Retention time (min)	相似度 Similarity (%)	化合物 Component	相对质量分数 Relative mass fraction (%)		
				柠檬百里香 <i>T. citriodorus</i>	百里香 <i>T. mongolicus</i>	法国百里香 <i>T. vulgaris</i>
30	35.561	99	β -没药烯 β -Bisabolene	-	1.15	-
31	35.847	95	左旋樟脑 <i>L</i> -Camphor	-	1.15	1.31
32	36.309	99	4-松油烯醇 Terpinen-4-ol	-	1.12	1.09
33	36.384	98	异百里酚甲醚 Thymol methyl ether	-	12.45	9.78
34	37.342	94	4-异丙基-3-甲酚 3-Methyl-4-isopropylphenol	0.13	-	-
35	38.321	96	α -雪松烯 α -Himachalene	2.52	1.12	-
36	38.862	94	β -罗勒烯 β -Ocimene	0.46	-	-
37	39.102	98	水芹烯 α -Phellandrene 丁酸叶醇酯	-	1.20	1.30
38	40.648	94	3,7-二甲基-2,6-亚辛二烯- 1-yl butyrate	2.07	-	-
39	41.567	93	异丁酸橙花酯 Neryl isobutyrate	2.44	-	-
40	41.985	94	石竹素 Caryophyllene oxide	0.12	5.74	3.70
41	42.258	94	3,7-二甲基-2,6-亚辛基-1-醇丙酸酯 2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, propanoate, (<i>Z</i>)	0.93	-	-
42	42.976	96	2-甲基丁酸内酯 Neryl 2-methylbutyrate	0.21	-	-
43	44.396	94	新植二烯 Neophytadiene	-	-	1.56
44	46.315	97	反式- α -没药烯 Trans- α -bisabolene	-	0.33	-
45	46.73	96	葎澄茄油烯醇 Epicubenol	-	3.17	-
46	51.67	98	辛醇 3-Octanol	-	4.51	2.97
47	51.922	99	γ -松油烯 γ -Terpinene	1.33	1.10	1.14
48	54.246	94	香芹酚 Carvacrol	-	0.52	1.76
49	56.165	92	双环水扁烯 (+)- <i>epi</i> -Bicyclosesquiphellandrene	-	-	0.26
50	58.102	93	β -金合欢烯 (<i>E</i>)- β -Famesene	-	0.09	0.05
合计 Total (%)				93.04	94.91	88.01

2.2 三种百里香挥发油的抑菌作用

通过不同浓度的百里香挥发油处理三种不同的菌株,获得最小抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MBC)结果见表2。从表中可以看出,百里香属植物挥发油普遍都有很好的抑菌作用,其中柠檬百里

香挥发油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和燕麦镰刀菌的抑菌活性最强,且比阳性对照链霉素的效果好,其MIC值分别是366.4、549.6和732.8 $\mu\text{g/mL}$,法国百里香挥发油抑制作用最弱,百里香挥发油的抑菌效果,则介于以上两种挥发油之间^[10]。同时,三

表 2 三种百里香挥发油的最小抑菌浓度和最小杀菌浓度

Table 2 MIC and MBC of three thyme essential oil

菌株 Strain	柠檬百里香精油 <i>T. citriodorus</i> essential oil		法国百里香精油 <i>T. vulgaris</i> essential oil		百里香精油 <i>T. mongolicus</i> essential oil		链霉素 Streptomycin	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
	($\mu\text{g/mL}$)	($\mu\text{g/mL}$)	($\mu\text{g/mL}$)	($\mu\text{g/mL}$)	($\mu\text{g/mL}$)	($\mu\text{g/mL}$)	($\mu\text{g/mL}$)	($\mu\text{g/mL}$)
大肠杆菌 <i>E. coli</i>	366.4	732.8	917	917	549	732	396	396
金黄色葡萄球菌 <i>S. aureus</i>	549.6	916	917	1 100.4	915	915	594	792
燕麦镰刀菌 <i>F. avenaceum</i>	732.8	1 099.2	1 283.8	1 834	915	1 281	990	1 188

种挥发油对不同菌株均表现出很好的杀菌活性^[11], 柠檬百里香挥发油对于真菌(燕麦镰刀菌)的杀菌作用强于阳性对照, 其他两种挥发油都弱于阳性对照组。

2.3 三种百里香挥发油对人体肝癌细胞毒性作用

三种百里香挥发油对肝癌 HepG2 细胞有很强的毒性作用(见图 4), 并呈现一定的剂量依赖性^[12], 在所用剂量下作用 HepG2 细胞 48 h, 柠檬百里香挥发油的 IC₅₀ 值为 18.32 $\mu\text{g/mL}$ 、百里香为 45.75 $\mu\text{g/mL}$ 、法国百里香为 73.36 $\mu\text{g/mL}$ 。由图 5 可知, 随着浓度增加三种百里香挥发油对 HepG2 细胞的抑制率逐渐增强, 表现出明显的差异性, 柠檬百里香的抑制率最强, 法国百里香最弱。

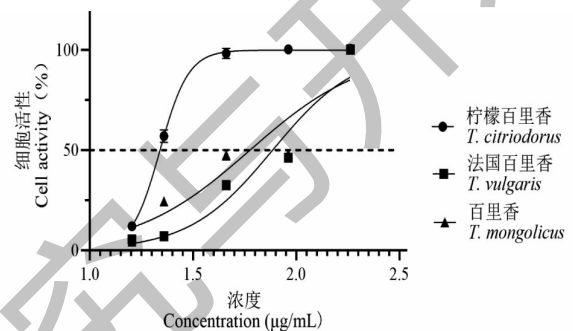


图 4 三种百里香挥发油对肝癌细胞 HepG2 的剂量—反应关系

Fig. 4 Dose-response relationship between three thyme essential oils and HepG2 hepatocarcinoma cell line

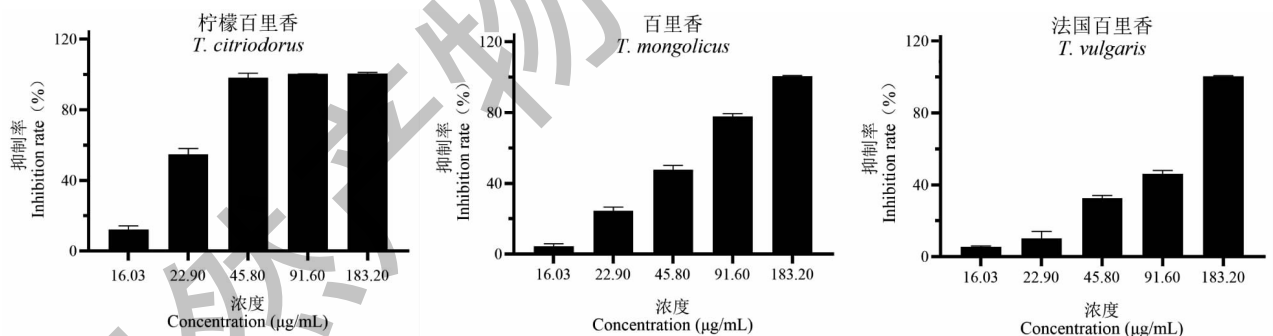


图 5 不同浓度下三种百里香挥发油对肝癌细胞 HepG2 的抑制率

Fig. 5 Inhibitory rate of three thyme essential oils against HepG2 cells under different concentrations

3 讨论与结论

从芳香植物中提取获得植物挥发油, 因对人体相对安全, 毒性低、易降解和绿色环保的特征, 被作为化学杀菌剂的有效替代品和抑癌剂。不同的药用植物, 其挥发油的组成成分均不相同, 一般来说主要含各种萜类化合物、芳香族化合物、脂肪族化合物和含氮含硫化合物等。目前, 针对百里香挥发油有效成分在抗肿瘤方面的研究较少, 本研究采用传统的

水蒸气蒸馏法获得三种百里香挥发油, 通过 GC-MS 分析其成分上的差异, 其中最为明显的是柠檬百里香挥发油中有柠檬醛和异柠檬醛两种化合物, 而另外两种挥发油中则没有这两种物质^[13,14], 试验利用三种百里香挥发油处理不同的植物病原菌, 发现它们在抑菌方面表现出不同的能力, 其中柠檬百里香挥发油的抑菌效果最好, 尤其对大肠杆菌的抑制作用最为明显。相比之下, 法国百里香挥发油的抑菌

能力较弱,百里香挥发油次之。试验还通过 CCK-8 法分析其对肝癌细胞系增殖和凋亡的影响,结果发现三种百里香挥发油能够显著抑制肝癌细胞 HepG2 的增殖,并诱导其凋亡,在抗肿瘤药物开发方面具有一定的研究潜力。这种抑菌和抗癌功能与百里香属挥发油的组成成分密切相关,其中含量最多的百里香酚不仅对植物真菌、皮肤癣菌和人体炎症疗效显著,还显示出了良好的抗肿瘤药理活性,例如,百里香酚可从丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)、细胞外调节蛋白激酶(ERK)和凋亡基因 Bax 等方面诱导肝癌细胞、前列腺癌细胞和胃癌细胞凋亡,并通过降低线粒体跨膜诱导细胞产生 ROS,增强 Caspase 的表达和下调 Bcl-2 的表达,来增加 MAPK 和 ERK 磷酸化等途径发挥抗癌作用^[15]。此外,还有柠檬醛可通过诱导氧化应激反应,提高细胞内丙二醛水平降低还原型谷胱甘肽,诱导引起白血病细胞凋亡,还可以通过上调促凋亡蛋白 BAK 表达和下调抗凋亡蛋白 Bcl-xL 的表达来抑制淋巴瘤细胞的增殖,阻滞细胞周期抑制乳腺癌细胞增殖^[16]。Zhao 等^[17]用薰衣草精油对人肝癌细胞 HepG2 的生长抑制作用,结果显示薰衣草精油能明显抑制 HepG2 细胞的增殖,并呈浓度依赖性,处理后,不同质量浓度的薰衣草精油作用 HepG2 后出现明显的凋亡细胞群及坏死细胞。Jia 等^[18]发现柠檬烯可以提高 Bax 和细胞色素的含量,降低 Bcl-2 的表达,诱导人结肠癌细胞 LS174T 凋亡;Jaganathan 等^[19]证实酚能通过活化 p53 和 Caspase-3,诱导结肠癌细胞凋亡。

天然植物挥发油是一个极具潜力的生物资源,随着对百里香属植物挥发油研究的深入,将会为临床医学、医药护理和食品安全方面提供更多的可能性,为研制新的天然抗氧化剂和抗肿瘤药物开辟新途径。

参考文献

- Liu H, Zhao JT, Luo HT, et al. Effect of extraction methods on chemical constituents and antioxidant activity of essential oil from *Thymus vulgaris* L. [J]. *Sci Technol Food Ind*(食品工业科技), 2022, 43: 331-339.
- Liu J, Zhao HR, Fu MM, et al. Analysis of volatile components of *Thymus vulgaris* based on GC-IMS technique [J]. *China Condiment*(中国调味品), 2021, 46: 153-156.
- Tohidi B, Rahimmalek M, Arzani A. Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Thymus* species collected from different regions of Iran [J]. *Food Chem*, 2017, 220: 153-161.
- Zhu XJ, Zhou XY, Fan H, et al. Comparative analysis on volatile terpenoids in nine aromatic plants of Lamiaceae [J]. *Bull Bot Res*(植物研究), 2020, 40: 696-705.
- Huang J, Ma L, Yao L, et al. The principle component analysis and chemo-types of the essential oils from seven varieties of *Thyme* [J]. *J Shanghai Jiaotong Univ: Agric Sci*(上海交通大学学报:农科版), 2009, 27: 206-209.
- Liu XJ, Li Y, Su SL, et al. Optimization of preparation process, determination of active constituents and investigation of anti-bacterial effects for microemulsion gel of essential oils from *Chrysanthemum morifolium* stems and leaves [J]. *Chin Tradit Pat Med*(中成药), 2023, 45: 1766-1773.
- Zhu LY, Zhang CM, Gao YS, et al. Advance in main functional ingredients and mechanism of anticancer plant essential oils [J]. *Chin Herb Med*(中草药), 2017, 48: 1229-1239.
- Tong QQ, Xu JJ, Wang Feng, et al. Effects of microalgae oil on proliferation and apoptosis of human colon carcinoma cell [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*(中国食品学报), 2016, 16: 25-31.
- Pourazar DS, Soleimani N, Afrugh P, et al. *In vitro* antibacterial activity of *Thymus vulgaris* essential oil against *Mycobacterium tuberculosis* [J]. *Infect Epidemiol Micr*, 2018; 4: 47-51.
- Zhang HQ, Zhong XK, Huang QY, et al. Optimization of extraction of ursolic acid from *Ilex kudingcha* C. J. Tseng by response surface methodology and its antibacterial activity [J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2018, 30: 1978-1985. 11.
- Li YJ, Liu XL, Liu X, et al. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from *Rosa rugosa* Thunb [J]. *Bull Bot Res*(植物研究), 2009, 29: 488-491.
- Qian LL, Leng XD, Zhang CD, et al. Research progress of antimicrobial property of plant compound essential oil in five grain mildew advantage strain [J]. *J Chin Cer Oil Assoc*(中国粮油学报), 2022, 10: 1-12.
- Zheng QY, Zhang WJ, Zhang Y, et al. Optimization of the extraction process of clove oil from clove buds and its antitumor activity [J]. *West Chn J Pharm Sci*(华西药科学杂志), 2020, 35: 303-308.
- Hu JR, Li P, Tie J, et al. Study on antioxidant and antitumor activity of essential oil from flowers of *Syringa oblata* [J]. *Biotech Bull*(生物技术通报), 2019, 35: 16-23.
- Venturini ME, Blanco D, Oria R. *In vitro* antifungal activity of several antimicrobial compounds against *Penicillium expansum* [J]. *Food Prot*, 2002, 65: 834-839.

- 16 Jaganathan SK, Mazumdar A, Mondhe D, et al. Apoptotic effect of eugenol in human colon cancer cell lines[J]. Cell Biol Inter, 2011, 35:607-615.
- 17 Zhao X, Bao QL, Wang GX. Analysis of *Lavandula angustifolia* essential oil and its anti-microbial and anti-oxidant effectiveness[J]. Deterg Cosmetics (日用化学品科学), 2013, 36:32-35.
- 18 Jia SS, Xi GP, Zhang M, et al. Induction of apoptosis by D-limonene is mediated by inactivation of Akt in LS174T human colon cancer cell[J]. Oncol Rep, 2013, 29:349-354.
- 19 Jaganathan SK, Mazumdar A, Mondhe D, et al. Apoptotic effect of eugenol in human colon cancer cell lines[J]. Cell Biol Inter, 2011, 35:607-615.

《天然产物研究与开发》青年编委会

青年编委(以姓氏笔划为序)

Members

王扣	王红兵	戈惠明	尹文兵	尹胜	吕兆林
WANG Kou	WANG Hongbing	GE Huiming	YIN Wenbing	YIN Sheng	LYU Zhaolin
刘相国	孙昊鹏	孙桂波	李良成	李国友	邱莉
LIU Xiangguo	SUN Haopeng	SUN Guibo	LI Liangcheng	LI Guoyou	QIU Li
汪海波	沐万孟	张炳火	张德武	陈益华	林昌俊
WANG Haibo	MU Wanmeng	ZHANG Binghuo	ZHANG Dewu	CHEN Yihua	LIN Changjun
欧阳杰	易华西	罗应刚	周文	胡友财	袁涛
OUYANG Jie	YI Huaxi	LUO Yinggang	ZHOU Wen	HU Youcai	YUAN Tao
夏永刚	高慧敏	唐金山	黄胜雄	韩秀珍	韩淑燕
XIA Yonggang	GAO Huimin	TANG Jinshan	HUANG Shengxiong	HAN Xiuzhen	HAN Shuyan
曾克武	蓝蔚青	廖晨钟	薛永波		
ZENG Kewu	LAN Weiqing	LIAO Chenzhong	XUE Yongbo		