

蓼子朴花精油体内体外的抗菌活性

牛东玲¹, 刘向才², 李艳¹

(1. 宁夏大学生命科学学院, 宁夏银川 750021) (2. 贺兰山国家级自然保护区管理局, 宁夏银川 750200)

摘要: 本研究通过离体和活体的抗菌实验, 研究了利用 CO₂ 超临界流体萃取技术获得的蓼子朴花精油对果蔬采后病原真菌的抗菌活性作用。结果表明, 在离体的条件下, 蓼子朴花精油对供试菌的生长具有显著的抑制作用, 抑菌圈直径均大于 20 mm, 属于极高敏, 最小抑菌浓度为 3.13 mg/mL。采用浸泡法和熏蒸法进一步研究了蓼子朴花精油的活体抑菌效果。结果显示, 蓼子朴精油以熏蒸的方式处理葡萄, 效果明显。在精油量为 0.5 mL 时, 对贮藏期的葡萄鲜果具有显著的保鲜及延缓腐烂的作用。采用气相色谱-质谱联用技术从蓼子朴花精油中共鉴定出 21 种精油成分, 其中香草醛的含量最高, 达到 30.35%, 该成分与蓼子朴精油的抗菌活性作用密切相关。研究结果为蓼子朴花精油在当地食品工业的开发应用提供了科学依据。

关键词: 超临界流体萃取技术; 精油; 香草醛; 熏蒸法; 气相色谱-质谱联用技术

文章编号: 1673-9078(2018)04-63-68

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.04.011

In vitro and *in vivo* Antifungal Activities of Essential Oil from *Inula salsoloides* Flowers

NIU Dong-ling¹, LIU Xiang-cai², LI Yan¹

(1. Life Science School, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

(2. Helan Mountain National Nature Reserve Management Bureau, Yinchuan 750200, China)

Abstract: The *in vitro* and *in vivo* antifungal effects of essential oil (EO) extracted by CO₂ supercritical fluid extracted from *Inula salsoloides* flowers on fruits and vegetables were investigated in this study. The results showed that EO had significant activities against all tested fungi *in vitro* with diameter of inhibition zone greater than 20 mm. The fungus showed extremely high sensitivity to EO and the minimum inhibitory concentration (MIC) was 3.13 mg/mL. The antifungal activities of EO *in vivo* were investigated by soaking method and fumigation method. EO showed obvious antifungal activity on grapes with the treatment of EO fumigation method, which significantly slowed the spoilage process of fresh grapes and kept fresh during storage with 0.5 mL EO *in vivo*. There were 21 EO compounds identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) from *Inula salsoloides* flowers, of which the content of vanillin was the highest (30.35%) and the antifungal activity of EO was closely related to this composition. The results provide a scientific basis for the development and application of EO of *Inula salsoloides* flowers in the local food industry.

Key words: supercritical fluid extraction; essential oil; vanillin; fumigation; gas chromatography-mass spectrometry

蓼子朴系菊科旋覆花属多年生亚灌木植物, 又名沙旋覆花。其营养繁殖能力极强, 能很好地适应恶劣的流沙环境, 是一种优良的固沙植物^[1], 主要分布于我国西北部的宁夏、甘肃、青海、陕西和新疆等省区以及河北、山西北部及辽宁以西等地区, 花及全草都可入药, 被用于治疗外感发热、小便不利、痈疮肿毒和湿疹等^[2]。蓼子朴在宁夏地区的野生资源储量非常丰富, 被当地作为一种草药广泛使用。目前国内外学

收稿日期: 2017-12-21

基金项目: 宁夏高等学校基金项目 (NGY2013001); 国家自然科学基金项目 (31360040)

作者简介: 牛东玲 (1973-), 女, 博士, 教授, 主要从事资源植物分类与化学研究

者对蓼子朴的化学成分已开展了深入的研究, 报道了近五十种化合物, 类型涉及黄酮类、甾醇类及倍半萜类等结构类型的化合物^[3-7]。近几年生物活性研究发现, 蓼子朴含有的倍半萜内酯类化合物具有细胞毒方面的活性作用^[4,6]。另有一些研究报道了蓼子朴的提取物对小菜蛾幼虫、粘虫和大皱鳃金龟等具有拒食和毒杀的效果^[8-10], 并发现其提取物具有较强的抑菌活性, 对小麦赤霉、苹果炭疽、辣椒疫霉、玉米大斑等多种植物病原菌有 100% 的抑制率^[11], 但具体是什么成分在发挥作用未作研究。

植物精油 (Plant Essential Oil) 是一种从植物不同组织如果实、叶片、花和根中提取的挥发性液体, 具有强烈的气味和香味, 按其化学结构的不同分为脂肪

族、芳香族和萜类以及它们的含氧衍生物,此外还有含氮和含硫的化合物。越来越多的研究发现,植物精油及其单组份具有很强的抑制或杀死细菌和真菌等微生物的特性,加之植物精油具有低毒和环境友好等特点,将其开发作为一种水果采后病害的天然杀菌剂,前景广阔^[12-14]。

本研究本着充分开发利用宁夏沙生植物资源的目,选取在宁夏地区广泛分布的野生沙生植物藜子朴作为研究对象,采用现代的提取分离技术超临界流体萃取法从藜子朴花中获取植物精油,通过体内体外抗菌活性实验研究藜子朴花精油的抗菌活性,并对精油抗菌成分进行了分析,以期当地植物精油类水果保鲜剂的研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 研究对象

供试材料藜子朴花在盛花期采集于宁夏中宁县境内,自然条件下阴干,粉碎过40目,贮于4℃冰箱备用。凭证标本保存在宁夏大学生命科学学院标本室(NXAC)。新鲜的葡萄(红提)果实于成熟期采摘于银川郊区果园,于4℃冰箱保存备用。实验时选择外观圆润、无受伤、无病害、健康的果实。

供试菌种苹果炭疽菌(*Glomerella cingulata* Schr),番茄灰霉菌(*Botrytis cinerea* Pers ex Tris),马铃薯干腐菌(*Fusarium solani* (Mart.) Sacc.)由西北农林科技大学提供。采用马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)。

1.1.2 仪器设备

普通光学显微镜,上海炳宇光学仪器有限公司;HP6890GC/5973气质联用仪,美国安捷伦公司;立式自动电热压力蒸汽灭菌锅,上海一恒科学技术有限公司;超净工作台,苏净集团安泰公司;CO₂超临界流体萃取设备,海安华安超临界设备有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;全自动新型真空培养箱,上海智城分析仪器制造有限公司;循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司;生化培养箱,上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 藜子朴精油的提取

精确称取115g藜子朴花样品,利用CO₂超临界流体萃取装置提取1.5h,萃取压力20MPa,萃取温

度38℃,得到的精油,密封,4℃冰箱保存。

1.2.2 藜子朴精油体外抑菌活性实验

1.2.2.1 菌种纯化

用配置好的PDA培养基(9个)进行接种,将3个菌种于超净工作台中接种(Z字划线接种)到PDA培养基中,置于28℃培养箱中培养,48h后结合菌落形态特征,综合分析是否供试菌是纯培养。

1.2.2.2 孢子悬液的制备

确定为纯培养后,在超净工作台中挑取适量菌,在斜面培养基上划线,每种菌平行做3次,做好标记,置于培养箱中,在28℃培养7d后,在每个试管培养基中加入5mL0.85%的生理盐水,轻轻晃动,使孢子悬浮,形成孢子悬浮液,用血球计数板在光学显微镜下观察计算菌悬液中孢子的数目,用0.85%无菌生理盐水控制菌悬液中孢子浓度在10⁶个CFU/mL,待用。

1.2.2.3 藜子朴精油溶液的配制

精确称取藜子朴精油100mg,加适量的丙酮溶液稀释(待精油完全溶解),用无菌水将精油溶液定容到100mL,逐级倍比稀释。

1.2.2.4 滤纸片琼脂扩散法测定藜子朴精油抑菌活性

采用滤纸片琼脂平板扩散法^[15]对藜子朴精油抑菌效力进行测定。将经斜面培养基上活化后的供试菌株,经血细胞计数板法计数,配制成1×10⁶CFU/mL的菌悬液。在无菌环境下操作,使用灭过菌的移液枪吸取三种菌悬液各100μL分别均匀涂布于培养基平板上,备用。用打孔器将滤纸制成直径为6mm的小圆纸片,170℃干热灭菌2h后,将滤纸片浸润配制好的藜子朴精油稀释液,将灭过菌的滤纸片浸润等体积的丙酮溶液做为阴性对照。在无菌条件下将其贴在已涂布各种菌液的培养基平板上,培养条件27℃,48h。每种菌设3个平行组,重复实验3次。培养结束后,以十字交叉法测定抑菌圈直径大小,求其平均值。

1.2.2.5 藜子朴精油最小抑菌浓度(MIC)的测定

采用二倍稀释法^[16],将精油液用丙酮溶液进行倍比稀释,在PDA培养基中添加经丙酮稀释过的不同浓度(12.5mg/mL、6.25mg/mL、3.13mg/mL、1.56mg/mL、0.78mg/mL)的藜子朴精油作为实验组,空白对照培养基中添加丙酮作为对照,每组实验重复三次。将3种供试菌种在斜面培养基上活化后,将供试菌种菌配成1×10⁶CFU/mL的菌悬液,振荡均匀,在每个实验组中用无菌移液枪接种菌悬液0.1mL,培养条件为27℃,培养48h,若培养平板中出现菌落圈,则确定为微生物生长,若培养平板上完全无菌体生长,将无菌生长的样品最低浓度确定为最小抑制浓度MIC。每个浓度及对照均设三个重复。

1.2.3 蓼子朴精油体内抑菌活性实验

1.2.3.1 浸泡法

将一定量的蓼子朴精油加入到 1%吐温-20 中 (4:1), 充分乳化, 再用无菌水稀释成 3.13、6.25、12.5 mg/mL 的稀释液, 对照用蒸馏水。

将随机挑选的果实 (20 个) 用各浓度稀释液浸泡 1 min。捞出晾干, 将水果置于 PE 保鲜袋中, 密封, 于培养室内进行贮藏, 贮藏温度为 25 °C, 贮藏时间为 12 d。每个处理分三个重复, 每组随机挑选 20 个果实。贮藏结束后, 统计腐烂等级, 并计算其腐烂指数^[17]。腐烂指数(%)= $\sum(\text{腐烂等级} \times \text{该等级果数}) / (\text{最高腐烂等级} \times \text{调查总果数}) \times 100$

1.2.3.2 熏蒸法

取随机挑选的果实 20 个为一组, 分别装入含精油原油 0.5 mL、1 mL 和 1.5 mL 的小瓶, 瓶口向上放在保鲜袋中。对照为不加精油, 袋口密封。于培养室内进行贮藏, 贮藏温度为 25 °C, 贮藏时间为 12 d。每处理三个重复。贮藏结束后, 统计腐烂等级, 并计算其腐烂指数。

1.2.4 蓼子朴精油成分分析

气相色谱条件: Agilent HP-5 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm), 载气为高纯氮 (99.999%), 进样量为 1 μL, 流速为 1 mL/min, 分流比为 30:1。程序升温为在 60 °C 保持 3 min, 以 1 °C/min 升温到 80 °C, 再以 3 °C/min 速率升温到 280 °C, 保持 20 min。

质谱条件: 离子源为 EI, 电离电压为 70 eV, 离子源温度为 230 °C, MS 四极杆温度为 150 °C, 接口温度为 250 °C, 溶剂延迟 3.0 min, 扫描范围为 35~500 u。标准谱库 Wiley NIST 05 进行检索, 峰面积归一法计算各组分的相对百分含量。

1.2.5 数据处理

利用 Microsoft Excel 2013 处理数据, 利用 SPSS 对数据进行统计学分析, 采用单因素方差分析, 显著水平为 $p < 0.01$ 。

2 结果与讨论

2.1 蓼子朴精油的体外抑菌活性

2.1.1 蓼子朴精油的体外抑菌效果

采用抑菌圈大小评价三种受试菌对蓼子朴花精油的抗菌敏感性, 当精油浓度在 100 mg/mL 时, 对三种果实采后病原菌 (苹果炭疽菌、番茄灰霉菌、马铃薯干腐菌) 的抑制效果如表 1 所示。依据抑菌圈实验判

断标准^[18]: 直径 > 20.00 mm 为极高敏, > 15.00 mm 为高敏, > 10.00 mm 为中敏, > 6.00 mm 为低敏, 等于 6.00 mm 为不敏感。显然, 蓼子朴精油对三种受试菌的抑菌圈直径均大于 20 mm, 属于极高敏。李玉平等^[11]曾研究了蓼子朴全草的丙酮提取物对三种受试菌具有 60% 的抑制率, 我们的实验结果和他们的一致。

表 1 受试菌对蓼子朴精油的抗菌敏感性

Table 1 Antifungal susceptibility of the tested microorganisms to essential oils of *Inula salsoloides* flowers

菌种	抑菌圈直径/mm
苹果炭疽菌	25.00±0.10
番茄灰霉菌	25.80±0.60
马铃薯干腐菌	26.00±0.80
对照	0

2.1.2 蓼子朴精油的最小抑菌浓度

蓼子朴精油对三种受试菌的 MIC 见表 2。当培养基中蓼子朴精油浓度为 3.13 mg/mL 时, 三种受试菌 (苹果炭疽菌、番茄灰霉菌、马铃薯干腐菌) 的生长均受到完全地抑制, 平板上没有菌落生长。因此, 三种受试菌的 MIC 均为 3.13 mg/mL。

表 2 蓼子朴精油对三种受试菌的最低抑菌浓度

Table 2 Minimal inhibitory concentration (MIC) of the essential oil of *Inula salsoloides* flowers for the three tested microorganisms

菌种	蓼子朴精油浓度/(mg/mL)				
	12.50	6.25	3.13	1.56	0.78
苹果炭疽菌	-	-	-	+	+
番茄灰霉菌	-	-	-	+	+
马铃薯干腐菌	-	-	-	+	+

注: “-”表示无菌落形成; “+”表示有菌落形成。

2.2 蓼子朴精油的体内抑菌活性

2.2.1 蓼子朴精油浸泡处理后对葡萄采后自然腐烂的抑制效果

不同浓度的蓼子朴精油浸泡处理结果如表 3。采用精油浸泡处理的果实, 腐烂等级相对较低。采用 12.5 mg/mL 蓼子朴精油浸泡处理的葡萄, 腐烂指数为 43.8%, 与对照差异显著 ($p < 0.01$)。其它浓度处理后的水果腐烂指数和对照相比有所降低, 但差异不显著。显然, 浸泡法对于水果采后的防腐保鲜具有一定的作用, 但由于精油溶液是由吐温和水配置而成, 浸泡后, 在晾干的过程中, 在水果表面不可避免地残留有一定的水溶液, 因而容易导致腐烂。

表3 蓼子朴花精油浸泡处理对葡萄自然腐烂的抑制效果

Table 3 The rot rate of grape during storage after soaking treatment of essential oil solution from *Inula salsoloides* flowers

精油浸泡液浓度 (mg/mL)	腐烂程度					总腐烂数	腐烂指数/%
	一级腐烂	二级腐烂	三级腐烂	四级腐烂	四级腐烂		
3.13	0	6	5	6	17	63.75	
6.25	2	5	4	5	16	55.00	
12.50	2	4	3	4	13	43.75	
蒸馏水溶液	0	3	9	8	20	81.25	

2.2.2 蓼子朴精油熏蒸处理后对葡萄自然腐烂的抑制效果

以熏蒸法处理结果如表 4。采用不同剂量的蓼子朴精油熏蒸处理后，对葡萄保鲜效果明显，显著地降低了水果的腐烂率。在精油量为 0.5 mL 时，葡萄仅有一级腐烂，腐烂指数为 1.3%。随着精油用量的增加，

葡萄在整个贮藏期间保存完好，没有任何腐烂现象的发生。贮藏结束后，采用熏蒸处理的葡萄，外观没有明显可见的损害，没有异味，色泽鲜亮。而对照的表面出现了达 1/4 面积的腐烂及褐色疤痕，腐烂指数达到了 15%，葡萄颜色暗淡呈现褐色。显然，熏蒸处理方式对葡萄的防腐保鲜效果显著。

表4 蓼子朴精油熏蒸处理对葡萄自然腐烂的抑制效果

Table 4 The rot rate of grape during storage after fumigation of essential oil from *Inula salsoloides* flowers

精油用量/mL	腐烂程度					总腐烂数	腐烂指数/%
	一级腐烂	二级腐烂	三级腐烂	四级腐烂	四级腐烂		
0.5	1	0	0	0	1	1.25	
1.0	0	0	0	0	0	0	
1.5	0	0	0	0	0	0	
空白对照	8	2	0	0	10	15.00	

2.3 蓼子朴花精油抗菌成分分析

采用 CO₂ 超临界流体萃取技术从蓼子朴花中得到的萃取物为淡黄棕色的油状物，得率在 12.28%，m/m。从总萃取物中共鉴定了 49 种成分，主要包括小分子的有机酸和它的酯，小分子的芳香族化合物，单萜，倍半萜，二萜及烷基烃。有 21 种成分属于精油组分，占总萃取物的 83.66%，其中香草醛占有最高的比例，达到 30.35%（表 5）。香草醛是一种具有显著抗菌活性的化合物^[19]，分析认为蓼子朴花精油在体内体外所呈现出的抗菌活性与高含量的香草酚有直接的关系。与此同时，其它一些化合物也发挥了一定的协同作用，比如麝香草酚(3.51%)，该成分已被报道可以有效控制

樱桃的腐烂，并且被美国环境保护局(EPA)认为是对人体安全的防腐剂^[20]。

赵堂^[21]曾采用水蒸气蒸馏法提取蓼子朴全草的精油，得到了 20 种成分，主要有 2-壬酮(13.92%)、乙二醇缩乙醛(10.38%)、二乙二醇缩乙二醛(10.0%)、邻丙酰基苯甲酸甲酯(10.08%)、肉豆蔻酸(8.03%)和邻苯二甲酸二乙酯(7.38%)等，他的分析结果和我们的测定结果差异较大。分析认为有两种可能性，其一，不同的提取手段获得的成分存在差异；其二，蓼子朴的不同部位所含的精油成分有差异，他研究的对象是蓼子朴的全草，我们主要提取的是蓼子朴的花。具体的原因，还有待进一步的研究。

表5 蓼子朴花精油的化学成分

Table 5 Chemical constituents of essential oil from *Inula salsoloides* flowers

序号	保留时间/min	化合物	分子式	相对含量/%
1	3.58	己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	1.56
2	4.09	3-己烯酸	C ₆ H ₁₀ O ₂	11.85
3	4.24	己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	1.14
4	4.39	3-己烯酸乙酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	7.71
5	4.55	未知		1.23
6	6.64	己醛二缩醛	C ₁₀ H ₂₂ O ₂	1.56

转下页

接上页

7	8.38	1-甲基-3,3-二甲基-环丙烯	C ₆ H ₁₀	3.26
8	9.10	甲基-4-己酸甲酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	3.08
9	11.67	苯乙酸乙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	3.48
10	13.23	苯乙酸	C ₈ H ₈ O ₂	1.35
11	14.07	麝香草酚	C ₁₀ H ₁₄ O	3.51
12	17.37	2-甲氧基-4-乙烯基苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	1.57
13	19.82	香草醛	C ₈ H ₈ O ₃	30.35
14	21.64	肉桂酸乙酯	C ₁₁ H ₁₂ O ₂	1.36
15	22.25	二氢猕猴桃(醇酸)内酯	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	1.86
16	24.29	δ-杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	1.44
17	26.46	橙花叔醇	C ₁₅ H ₂₆ O	1.35
18	26.77	(-)-石竹烯氧化物	C ₁₅ H ₂₄ O	2.56
19	27.16	chloromethyl 9-chloroundecanoate	C ₁₂ H ₂₂ Cl ₂ O ₂	11.72
20	28.27	丁香醛	C ₉ H ₁₀ O ₄	1.33
21	30.43	5H-Inden-5-one,1,2,3,3a,4,7a-hexahydro-7a-methyl-,trans-	C ₁₀ H ₁₄ O	1.87

3 结论

利用超临界萃取法从蓼子朴花中提取出的精油,具有绿色安全无毒的特性,对果蔬采后病害的三种常见菌(苹果炭疽菌、番茄灰霉菌、马铃薯干腐菌)均表现出较强的抑制活性。通过熏蒸方式处理当地的葡萄品种红提,防腐保鲜效果明显,可有效延长果实的贮存期。这种处理方式不直接接触水果,对水果的影响和损伤比较小,而且精油很容易挥发,不易在水果表面造成残留,比较安全。通过气相色谱-质谱联用仪分析鉴定出蓼子朴花精油的主要成分为香草醛,该成分已是应用很广泛的日用香料和食品添加剂之一。因此,可以直接利用蓼子朴花精油或进一步通过分子蒸馏等手段来获取香草醛等单体香料,为当地食品工业开发出绿色安全的食品防腐剂或杀菌剂。

参考文献

[1] 韩广. 砂旋复花的防风固沙作用[J]. 中国沙漠, 1995, 15(3): 273-277
HAN Guang. A tentative study on the effects of *Inula salsoloides* on controlling wind and fixing shifting sands [J]. Journal of Desert Research, 1995, 15(3): 273-277

[2] 邢世瑞. 宁夏中药志[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1991
XING Shi-rui. Ningxia traditional Chinese medicine [M]. Yinchuan: Ningxia People's Publishing House, 1991

[3] 陈杰, 黄韶光, 李芳桂, 等. 沙旋覆花中的化学成分[J]. 植物学报, 1992, 34(1): 62-65
CHEN Jie, HUANG Shao-guang, LI Fang-gui, et al. Chemical constituents in *Inula salsoloides* (Turca.) Ostenf [J].

Acta Botanica Sinica, 1992, 34(1): 62-65

[4] Zhou BN, Bai NS, Lin LZ, et al. Sesquiterpene lactones from *Inula salsoloides* [J]. Phytochemistry, 1993, 34: 249-252

[5] Jeske F, Huneck S, Jakupovic J. Further sesquiterpene lactones from *Inula salsoloides* [J]. Phytochemistry, 1996, 41(6): 1539-1542

[6] 扈晓佳. 四种药用植物的化学成分及活性研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009
HU Xiao-jia. Studies on bioactive constituents of four medicinal plants [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009

[7] 白露. 沙旋覆花中化学成分的研究[D]. 西安: 西北大学, 2016
BAI Lu. Chemical constituents from *Inula salsoloides* [D]. Xi'an: Northwest University, 2016

[8] 屈秋耘, 栗一民. 榆林沙区的杀虫植物及其应用前景[J]. 陕西榆林科技, 1983, 85-89
QU Qiu-yun, LI Yi-min. Insecticidal plants in Yulin sandy area and its application prospect [J]. Yulin Science and Technology of Shaanxi, 1983, 85-89

[9] 张宏利, 冯俊涛, 陈安良, 等. 秦岭山区 204 种植物对粘虫生物活性测定[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 92-94, 112
ZHANG Hong-li, FENG Jun-tao, CHEN An-liang, et al. Insecticidal activity of 204 plants to *Mythimna separate* in the Qinling Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(3): 92-94, 112

[10] 林坤, 赵堂, 杨敏丽, 等. 蓼子朴乙醇提取物对小菜蛾的生物活性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 58-62
LIN Kun, ZHAO Tang, YANG Min-li, et al. The bioactivity of ethanol extract from *Inula salsoloides* Ostenf. Against

- Plutella xylostella* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(8): 58-62
- [11] 李玉平,冯俊涛,邵红军,等.25种菊科植物提取物对3种植物病原菌的药效试验[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(4):123-126
- LI Yu-ping, FENG Jun-tao, SHAO Hong-jun, et al. Bioactivities of extracts from 25 species compositae plants against three kinds of pathogens [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest (Nat. Sci. Ed.), 2003, 31(4): 123-126
- [12] 周晓薇,王静,顾镍,等.植物精油对果蔬防腐保鲜作用研究进展[J].食品科学,2010,31(21):427-429
- ZHOU Xiao-wei, WANG Jing, GU Nie, et al. Research progress in preservative effect of plant essential oil on fruits and vegetables [J]. Food Science, 2010, 31(21): 427-429
- [13] 胡鲜梅,曹亚栋,张悦丽,等.10种植物精油对3种生姜致病腐霉的抑菌活性[J].山东农业科学,2017,49(9):131-134
- HU Xian-mei, CAO Ya-dong, ZHANG Yue-li, et al. Inhibitory effects of ten plant essential oils on three species of pathogenic *Pythium* from ginger [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017, 49(9): 131-134
- [14] 吴克刚,崔绮嫦,董艳,等.芳香植物精油对食品常见腐败微生物抗菌活性的研究[J].现代食品科技,2017,33(4): 120-127,81
- WU Ke-gang, CUI Qi-chang, DONG Yan, et al. Antimicrobial effects of edible plant essential oils on common food spoilage microorganisms [J]. Modern Food Sciences and Technology, 2017, 33(4): 120-127, 81
- [15] Bauer A W, Kirby M, Sherris J C, Turck M. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method [J]. American Journal of Clinical Pathology, 1966, 45: 493-496
- [16] Hiremath G S, Kulkarni R D, Naik B D. Evaluation of minimal inhibitory concentration of two new materials using tube dilution method: An in vitro study [J]. Journal of Conservative Dentistry, 2015, 18(2): 159-162
- [17] 潘磊庆,朱娜,邵兴锋,等.丁香精油对樱桃番茄保鲜作用的研究[J].食品工业科技,2012,33(23):335-338
- PAN Lei-qing, ZHU Na, SHAO Xing-feng, et al. Study on the preservation of cherry tomato with clove oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(23): 335-338
- [18] Guo XL, Bao LH. *In vitro* antibacterial activity of the essential oil of *Sabina vulgarism* branch leaves [J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2009, 37(4): 1607-1610
- [19] Fitzgerald D J, Stratford M, Gasson MJ, et al. Structure-function analysis of the vanillin molecule and its antifungal properties [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2005, 53(5): 1769-1775
- [20] Chu CL, Liu WT, Zhou T, et al. Control of postharvest gray mold rot of modified atmosphere packaged sweet cherries by fumigation with thymol and acetic acid [J]. Canadian Journal of Plant Science, 1999, 79(4): 685-689
- [21] 赵堂. 蓼子朴挥发油化学成分的 GC-MS 分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(18): 9653-9654
- ZHAO Tang. Analysis on the volatile chemical components from *Inula salsoloides* Ostenf by GC-MS [J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2012, 40(18): 9653-9654