

文章编号: 1674-7054(2017)01-0022-07

5种入侵植物提取物对2种芒果病原真菌的抑制作用

何书婷¹, 贺锐林², 王立², 李秀竹¹, 宋海超¹, 敖苏³, 史学群²

(1. 海南大学 环境与植物保护学院 海口 570228; 2. 海南大学 食品学院, 海口 570228;

3. 海南出入境检验检疫局 海南热带植物隔离检验中心 海口 570311)

摘要: 以马缨丹(*Lantana camara* Linn.)、薇甘菊(*Mikania micrantha* Kunth.)、含羞草(*Mimosa pudica* Linn.)、假臭草(*Praxelis clematidea* Cassini.)和三裂叶蟛蜞菊(*Wedelia trilobata* (L.) Hitchc.)为材料,采用菌丝生长速率法研究这5种入侵植物乙醇提取物对芒果炭疽菌 *Colletotrichum gloeosporioides* 和蒂腐菌 *Botryodiplodia theobromae* Pat. 的抑菌活性,并利用气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术分析假臭草的主要抑菌物质。菌丝生长速率法的实验结果表明:5种入侵植物提取液对2种病原真菌均具有抑菌活性,且抑菌效果随浓度的增加而增强;其中马缨丹提取物对蒂腐菌抑制效果最好,其 EC_{50} 为 $10.39 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,假臭草提取液对炭疽菌和蒂腐菌均有较强的抑菌效果, EC_{50} 分别为 $14.70 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $14.77 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。采用气相色谱-质谱(GC-MS)联用法分析鉴定了假臭草提取物中的14种化学成分,其中4,5,6,7-四甲氧基黄酮、熊果苷和1,2,4-环己三醇这3种物质占总含量的81.85%。

关键词: 入侵植物; 芒果; 植物提取物; 抑制作用; 气相色谱-质谱

中图分类号: S 482.2 + 92

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2017.01.004

芒果(*Mangifera indica* L.)属漆树科(*Anacardiaceae*)果属(*Mangifera* L.),因营养价值高且具有独特风味而被人们赋予了“热带果王”的美称,是热带和亚热带地区重要的经济作物^[1-2]。由可可毛色二孢(*Botryodiplodia theobromae* Pat.)引起的芒果蒂腐病和由胶孢炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc)引起的芒果炭疽病是潜伏期短、传染速度快、贮藏期危害最严重的2种病害^[3-5]。国内对于芒果蒂腐病和炭疽病的防治主要依赖于化学防治技术,长期施用化学农药会导致病原菌产生抗药性、污染环境和食品安全风险加大等一系列问题^[6-7]。因此,从植物中寻找具有生物活性的抗菌物质,开发环境友好型、对人体安全的新型植物源农药是当代社会农药研究中的热点。植物次生代谢产物大多具有杀虫、抑菌的活性,同时还具有对人体安全、生物可降解和环境友好等优点^[8-9]。Juárez^[10]等人的研究结果表明,香叶天竺葵提取物中富含香叶醇、香茅醇、马兜铃烯等醇类、烯类化学物质,这些物质具有较强的生物活性,能有效抑制10种青霉属真菌的生长。林勇^[11]等人的研究结果表明,公丁香中含有的丁香酚对烟草青枯病具有高抑菌活性。目前对芒果炭疽菌和蒂腐菌有抑菌效果的植物有韭菜 *Allium tuberosum*^[12]、丁香 *Syzygium aromaticum* L.^[13]、山竹 *Garcinia mangostana* Linn^[14]、锡兰肉桂 *Cinnamomum zeylanicum*^[15]等。植物材料中的化学成分易溶于石油醚^[16]、甲醇^[17]、丙酮^[18]和乙醇^[19]等多种有机溶剂中,其中乙醇具有经济易得、毒性小、易回收及可反复使用等优点,为此笔者选用乙醇作为提取溶剂研究马缨丹(*Lantana camara* Linn.)、薇甘菊(*Mikania micrantha* Kunth.)、含羞草(*Mimosa pudica* Linn.)、假臭草(*Praxelis clematidea* Cassini.)和三

收稿日期: 2016-11-01

修回日期: 2016-12-12

基金项目: 海南省研究生创新科研课题(Hys2015-12); 国家重点研发计划项目(2016YFD0400904); 2016 农业部预算项目(09162130106232017); 海南省教育厅科研重点项目(HNKY2014-01)

作者简介: 何书婷(1993-)女,海南大学环境与植物保护学院2013级硕士研究生, E-mail: 373291891@qq.com

通信作者: 史学群(1972-)男,副教授,研究方向: 采后病理学, E-mail: shixuequn@163.com

裂叶蜆蜞菊(*Wedelia trilobata* (L.) Hitchc.) 这 5 种入侵植物的乙醇提取物对芒果炭疽菌和蒂腐菌的抑制作用 , 并利用气相色谱 – 质谱(GC – MS) 联用技术分析假臭草的主要抑菌物质 , 旨在为利用入侵植物资源防治芒果炭疽菌和蒂腐菌提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料 供试菌株: 芒果蒂腐菌(*Botryodiplodia theobromae* Pat.) 由中国热带农业科学院环境与植物保护研究所高兆银教授实验室提供; 芒果炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc) 为海南大学环境与植物保护学院热带微生物资源实验室提供。供试植物的采集地点及使用部位见表 1。

表 1 供试植物名录
Tab. 1 List of tested plants

序号 NO	种名 Family name	科名 Species name	采集地点 Sampling sites	采集部位 Plant part used
1	马缨丹 <i>Lantana camara</i> Linn.	马鞭草科 Verbenaceae	海口丽晶路	茎、叶、花
2	薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i> kunth.	菊科 Compositae	海口火山口	根、茎、叶
3	三裂叶蜆蜞菊 <i>Wedelia trilobata</i> (L.) Hitchc.	菊科 Compositae	海南大学西门	茎、叶、花
4	假臭草 <i>Praxelis clematidea</i> Cassini.	菊科 Compositae	海口火车站荒地	全株
5	含羞草 <i>Mimosa pudica</i> Linn.	豆科 Leguminosae	海南大学西门	全株

1.2 植物提取液的制备 将采集后的植株洗净自然阴干后粉碎 , 称取植物粉末 , 按料液比 1: 10 加入分析纯乙醇 , 于 20℃ , 150 r · min⁻¹ 条件下振荡浸提 72 h , 用 8 层纱布过滤后再用滤纸过滤 2 遍 , 然后旋蒸浓缩至膏状物。取 50 g 膏状物溶于 50 mL 50% 乙醇后得到浓度为 1 g · mL⁻¹ 的母液 , 4℃ 冰箱中保存备用^[20]。

1.3 植物提取液抑菌活性测定 采用菌丝生长速率测定法^[21] 对 5 种入侵植物提取物对芒果炭疽菌和蒂腐菌的毒力进行测定。在无菌操作条件下 , 采用连续稀释法分别在 100 mL 50 ~ 60℃ 的 PDA 培养基中加入 5、4、3、2、1 mL 浓度为 1 g · mL⁻¹ 的植物提取物母液 , 稀释成浓度为 10、20、30、40 和 50 g · L⁻¹ 的 5 个浓度梯度含药培养基 , 以加入等体积的 1% 乙醇溶液为对照 , 每个处理 3 次重复。用直径为 5 mm 打孔器在菌落边缘生长一致的部分打制菌饼 , 将菌饼(有菌丝的面朝下) 接种于平板中央 , 置于 25℃ 恒温培养箱中培养。采用十字交叉法测定各处理菌落生长直径 , 计算菌丝生长抑制率 , 并进行毒力及 EC₅₀ 计算。

$$\text{抑菌率} / \% = \frac{\text{对照菌落纯生长量} - \text{处理菌落纯生长量}}{\text{对照菌落纯生长量}} \times 100。$$

1.4 提取液抑菌活性成分的 GC – MS 分析 选取抑菌效果最佳的植物提取液进行气相色谱 – 质谱(GC – MS) 联用技术定性分析。色谱条件: 色谱柱 HP – INNOWax Polyethylene Glyco(30 m × 0. 25 mm × 0. 25 μm) ; 柱温的初始温度 80℃ , 保留 2 min , 以 6℃ · min⁻¹ 升温至 300℃ , 保留 15 min; 进样口温度 260℃ ; 载气 He , 1. 0 mL · min⁻¹ ; 分流比 20: 1; 进样量 1. 0 μL。质谱条件: EI 离子源 , 电离电压 70 eV; 扫描范围 m/z: 20 ~ 450 amu; 四极杆温度 150℃ ; 离子源温度 230℃ 。

2 结果与分析

2.1 5 种入侵植物提取物对炭疽病菌和蒂腐病菌的抑菌作用 由表 2 可知 , 在 10 ~ 50 g · L⁻¹ 的浓度处理下 , 5 种植物提取物对 2 种病原菌均表现出不同程度的抑菌活性 , 且抑菌活性随着提取物浓度的增加而提高。马缨丹、薇甘菊、含羞草、假臭草和三裂叶蜆蜞菊提取液对芒果蒂腐病菌的抑菌率分别达到 44. 20% ~ 83. 64%、28. 76% ~ 78. 05%、34. 36% ~ 66. 83%、31. 92% ~ 88. 46% 和 28. 18% ~ 56. 97% , 同一浓度下不同植物提取物的抑菌率差异较大。在 10 ~ 20 g · L⁻¹ 处理浓度下 , 5 种植物提取物对芒果蒂腐病菌抑菌效果的强弱依次为马缨丹 > 假臭草 > 含羞草 > 三裂叶蜆蜞菊 > 薇甘菊; 随着处理浓度的增大 , 在 30 ~ 50 g · L⁻¹ 处理浓

度下 5 种植物提取物对芒果蒂腐病菌抑菌效果的强弱依次为假臭草 > 马缨丹 > 薇甘菊 > 含羞草 > 三裂叶蟛蜞菊。马缨丹、薇甘菊、蟛蜞菊、假臭草和三裂叶蟛蜞菊提取液对芒果炭疽病菌的抑菌率分别达到 38.17% ~ 76.03%、30.80% ~ 66.04%、18.96% ~ 48.66%、44.16% ~ 77.37% 和 39.84% ~ 54.80%。同一浓度下不同植物提取物的抑菌率差异较大, 5 种植物提取物对芒果炭疽病菌抑菌效果的强弱依次为假臭草 > 马缨丹 > 薇甘菊 > 三裂叶蟛蜞菊 > 含羞草。

表 2 5 种入侵植物提取液对炭疽病菌和蒂腐病菌抑菌活性

Tab. 2 Inhibition effects of invasive plants extract on 2 pathogenic fungi infecting mango

供试菌株 Pathogen	浓度 Concentration (g · L ⁻¹)	抑菌活性(%) Inhibition rate				
		马缨丹 <i>L. camara</i>	薇甘菊 <i>M. micrantha</i>	三裂叶蟛蜞菊 <i>W. trilobata</i>	假臭草 <i>E. catarium</i>	含羞草 <i>M. pudica</i>
蒂腐菌 <i>Botryodiplodia theobromae</i>	10	44.20 ± 1.98dD	28.76 ± 0.9eE	28.18 ± 0.47dD	31.92 ± 0.53eE	34.36 ± 1.00eE
	20	73.61 ± 0.12cC	41.94 ± 1.19Dd	44.37 ± 0.71cC	65.00 ± 0.79dD	44.30 ± 0.23dD
	30	77.45 ± 0.13cBC	63.32 ± 0.91Cc	45.22 ± 1.36cC	79.51 ± 0.28cC	48.07 ± 0.66cC
	40	79.9 ± 0.30bAB	68.82 ± 1.22bB	53.01 ± 0.28bB	84.44 ± 1.15bB	3.84 ± 0.38 bB
	50	83.64 ± 0.16aA	78.05 ± 0.14Aa	56.97 ± 0.41aA	88.46 ± 0.32aA	66.83 ± 2.05aA
炭疽菌 <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	10	38.17 ± 0.08eE	30.80 ± 0.55eD	39.84 ± 0.75dD	44.16 ± 0.62eE	18.96 ± 0.16eE
	20	50.91 ± 0.09dD	32.75 ± 0.25dD	45.82 ± 0.15cC	53.60 ± 0.35dD	23.85 ± 0.35dD
	30	59.45 ± 0.38cC	53.76 ± 0.15cC	47.28 ± 0.37bC	62.37 ± 0.48cC	28.34 ± 0.70cC
	40	68.41 ± 0.56bB	59.34 ± 0.44bB	51.37 ± 0.22bB	72.60 ± 0.51bB	39.54 ± 0.89bB
	50	76.03 ± 0.26aA	66.04 ± 0.31aA	54.80 ± 0.63aA	77.37 ± 0.35aA	48.66 ± 0.80aA

注: 表中不同的大小写字母分别表示各处理在 0.01 和 0.05 水平上的差异显著性

Note: The different uppercase and lowercase letters in the table show the significant difference at the 0.01 and 0.05 levels, respectively

表 3 5 种入侵植物提取物对芒果炭疽病菌和蒂腐病菌的相对毒力

Tab. 3 Toxicity of five plants extracts against 2 pathogenic fungi infecting mango

供试菌株 Pathogen	供试植物 Plant extract	毒力方程 Regression equation	相关系数 r ² Correlation coefficient	EC ₅₀ (g · L ⁻¹)	95% 置信限 95% confidence interval
蒂腐菌 <i>Botryodiplodia theobromae</i>	马缨丹 <i>L. camara</i>	$Y = 1.5348x + 3.4394$	0.9204	10.39Ee	3.17 ~ 34.13
	薇甘菊 <i>M. micrantha</i>	$Y = 1.9290x + 2.4371$	0.9694	21.31Cc	12.72 ~ 35.71
	含羞草 <i>M. pudica</i>	$Y = 1.0569x + 3.4913$	0.8892	26.76Bb	11.34 ~ 63.13
	假臭草 <i>E. catarium</i>	$Y = 2.3946x + 2.1998$	0.9875	14.77Dd	8.17 ~ 26.70
	三裂叶蟛蜞菊 <i>W. trilobata</i>	$Y = 1.0269x + 3.4284$	0.9576	33.92Aa	12.77 ~ 90.08
炭疽菌 <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	马缨丹 <i>L. camara</i>	$Y = 1.4003x + 3.2469$	0.9718	17.86Dd	7.98 ~ 40.00
	薇甘菊 <i>M. micrantha</i>	$Y = 1.4005x + 2.9763$	0.8807	27.86Cc	14.25 ~ 54.49
	含羞草 <i>M. pudica</i>	$Y = 1.1591x + 2.8665$	0.8788	69.28Aa	12.81 ~ 374.64
	假臭草 <i>E. catarium</i>	$Y = 1.2950x + 3.4886$	0.9544	14.69Ee	5.22 ~ 41.34
	三裂叶蟛蜞菊 <i>W. trilobata</i>	$Y = 0.5156x + 4.2166$	0.9630	33.06Bb	4.84 ~ 225.84

注: 表中不同的大小写字母分别表示各处理在 0.01 和 0.05 水平上的差异显著性

Note: The different uppercase and lowercase letters in the table show the significant difference at the 0.01 and 0.05 levels, respectively

2.2 5 种入侵植物对芒果炭疽菌和蒂腐菌的 EC_{50} 值 由表 3 可知 5 种植物提取物对芒果蒂腐菌的 EC_{50} 值之间的差异比较明显, 蟛蜞菊提取物的 EC_{50} 最大, 为 $33.92\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 马缨丹提取物的 EC_{50} 最小, 为 $10.39\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。5 种植物提取物的 EC_{50} 从小到大依次为马缨丹 > 假臭草 > 薇甘菊 > 含羞草 > 三裂叶蟛蜞菊, 其中马缨丹和假臭草对炭疽菌菌丝生长有较好的抑制作用; 5 种植物提取物对芒果炭疽菌菌丝生长的抑制作用差异较大, 其中抑制作用最强的为假臭草和马缨丹, 其 EC_{50} 分别为 14.69 和 $17.86\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$; 抑制作用次之的为薇甘菊和三裂蟛蜞菊, 其 EC_{50} 分别为 27.86 $33.06\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.3 假臭草乙醇提取液抑菌活性成分分析 采用 GC-MS 技术对假臭草提取物进行成分分析, 得到提取物的总离子流图(图 1)。对总离子流图中各峰进行质谱扫描, 经 DSQII 化学工作站 NIST98 标准质谱数据库检索, 并与标准图谱核对, 分别确认主要色谱峰, 鉴定出提取物中 14 种物质的化学成分, 按峰面积归

一法计算各化合物在提取物中的百分含量, 结果见表 4。由图 1, 表 4 可知, 鉴定出的 14 个化合物中, 主要成分有 4 种, 为 4,5,6,7-四甲氧基黄酮、熊果苷和 1,2,4-环己三醇, 其中 4,5,6,7-四甲氧基黄酮含量最高, 占总含量的 32.70%, 其次是熊果苷和 1,2,4-环己三醇, 含量分别占总含量的 28.75% 和 20.40%, 这 3 种物质占总含量的 81.85%。其余成分中除了 1,4-环己二醇(顺)、叶绿醇和邻苯二甲酸二(2-丙基)酯 3 个成分外, 其他成分含量均大于 1%。

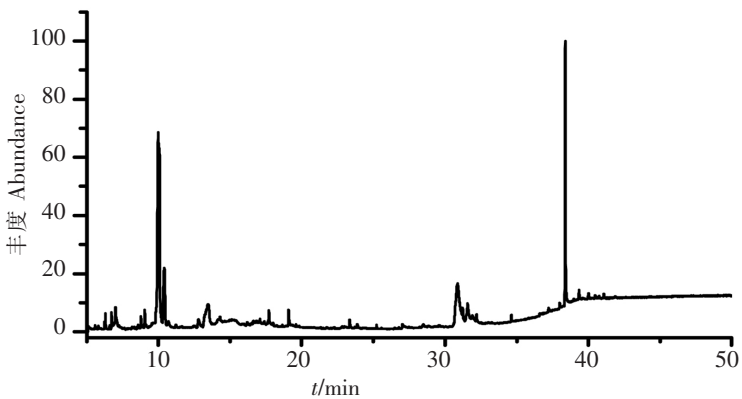


图 1 假臭草提取物 GC-MS 总离子流图
Fig. 1 GC-MS total current chromatograms of *Mikania micrantha* extract

表 4 假臭草提取物的主要化学成分相对含量
Tab. 4 Analysis of chemical components from extracts of *Mikania micrantha*

序号 NO.	化合物名称 Compounds	保留时间 Time/min	分子式 Molecular formula	相对分子质量 Molecular weight	相对含量 Relative content/%
1	1,4-环己二醇(反) trans-1,4-Cyclohexenediol	6.304	$C_6H_{12}O_2$	116.16	2.07
2	1,4-环己二醇(顺) 1,4-Cyclohexanediol	6.600	$C_6H_{12}O_2$	116.16	0.29
3	4-羟基环己酮 4-Hydroxycyclohexanone	6.739	$C_6H_{10}O_2$	114.14	1.62
4	2-乙基环戊酮 2-ethylcyclopentan-1-one	7.010	$C_7H_{12}O$	112.17	1.91
5	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮 2,3-Dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4(H)-pyran-4-one	8.774	$C_6H_8O_4$	144.13	1.62
6	5-羟甲基糠醛 5-Hydroxymethylfurfural	9.053	$C_6H_6O_3$	126.11	2.39
7	1,2,4-环己三醇 1,2,4-Hexanetriol	10.420	$C_6H_{12}O_3$	132.16	20.40
8	1,2,3,5-环己四醇 1,2,3,5-cyclohexanetetrol	12.804	$C_6H_{12}O_4$	148.16	2.90
9	松柏醇 Coniferyl alcohol	19.078	$C_{10}H_{12}O_3$	180.20	2.95
10	芥子醇 Sinapyl alcohol	23.340	$C_{11}H_{14}O_4$	210.23	1.07
11	叶绿醇 phytol	25.219	$C_{20}H_{40}O$	296.53	0.43
12	熊果苷 Arbutin	30.864	$C_{12}H_{16}O_7$	272.25	28.75
13	邻苯二甲酸二(2-丙基)酯 bis(2-propylheptyl) phthalate	31.229	$C_{24}H_{38}O_4$	390.56	0.90
14	4,5,6,7-四甲氧基黄酮 4,5,6,7-Tetramethoxyflavone	31.377	$C_{19}H_{18}O_6$	342.34	32.70

3 讨 论

结果表明,本实验的 5 种植物提取物对芒果炭疽菌和蒂腐菌菌丝生长均有抑制效果,其中马缨丹提取物对芒果蒂腐菌的抑制作用最强,假臭草提取物对芒果炭疽菌的抑制作用最好。 EC_{50} 的结果分析表明,马缨丹提取物对芒果蒂腐菌和炭疽菌的 EC_{50} 值分别为 10.39、17.86 $g \cdot L^{-1}$ 。假臭草对 2 种病原菌的抑制效果基本一致, EC_{50} 分别为 14.77、14.69 $g \cdot L^{-1}$ 。薇甘菊提取物对蒂腐菌和炭疽菌 2 种病原菌菌丝生长的抑菌效果也较高, EC_{50} 值分别为 21.31、27.86 $g \cdot L^{-1}$ 。在最高浓度处理条件下,其对 2 种病原菌的抑制率分别为 $(78.05 \pm 0.14)\%$ 和 $(66.04 \pm 0.31)\%$ 。上述 3 种植物提取物在 50 $g \cdot L^{-1}$ 浓度条件下,对 2 种芒果病原真菌的抑菌效果均在 60% 以上,表明马缨丹、假臭草和薇甘菊这 3 种入侵植物在芒果病原真菌防治方面具有开发潜力,其中以假臭草为最佳。

通过 GC-MS 分析假臭草化学成分组成发现 4,5,6,7-四甲氧基黄酮、熊果苷和 1,2,4-环己三醇 3 种化合物是假臭草乙醇提取物的主要组成成分,这 3 种物质分别属于多氧甲基黄酮类、酚类和醇类化合物。多氧甲基黄酮类化合物可有效抑制柑橘青霉菌、胶包炭疽菌和苹果腐烂病菌等多种水果采后病原真菌,且抑菌效果随浓度的增加而增强^[22]。熊果苷是一种存在于多种植物中的天然活性物质,具有杀菌消炎作用^[23],从杏香兔耳风中分离出的熊果苷对 3 种金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*, Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* 和 β -Lactamase producing *S. aureus*) 均有抑菌活性^[24]。韩宝艳^[25]等从苦参中分离获得具有抑制真菌活性的一种化合物,并鉴定该物质为苦参新醇 X(Kushenol X),通过菌丝生长测定法、孢子萌发法对番茄灰霉病菌、黄瓜枯萎病菌、水稻稻瘟病菌的菌丝生长、孢子萌发的抑制作用进行测定,结果表明该醇类化合物对 3 种病原真菌均有抑菌效果。因此,本实验鉴定出的这 3 类化合物可能为假臭草提取物中的抑菌有效成分。

前人研究结果表明,假臭草提取物对多种植物病原真菌具有一定的抑菌效果。古鑫^[26]等人采用孢子萌发法研究发现假臭草甲醇提取物可有效抑制橡胶树白粉病菌 *Oidium heveae* 孢子萌发,且经假臭草水浸液处理过的橡胶树幼苗在受病原菌侵染时体内植物保护酶 SOD 和 POD 均有升高的趋势。王法红^[27]等人测定了假臭草粗提物对 6 种病原真菌的抑菌作用和对莴苣蚜的触杀活性,发现假臭草粗提物对其中的 5 种病原真菌抑制率均高于 60%,其中对水稻纹枯病菌的抑菌率高达 100%,蚜虫死亡率高达 94.55%。笔者研究了假臭草对芒果炭疽菌和蒂腐菌的抑菌作用并鉴定出其活性成分,对新型植物源农药的开发利用具有重要的意义。

海南因其独特的地理位置,具有气候温和、年降水量丰富等宜人的气候条件及生物资源、植物多样性丰富等特点,但同时也更易于许多外来生物的入侵和扩散,是外来入侵生物的“天然大温室”。在国家农业部指定的 20 种恶性入侵植物中,海南岛分布有 11 种,占总数的 55.0%^[28],除马缨丹、薇甘菊、含羞草、假臭草和三裂叶蟛蜞菊外还有飞机草、银胶菊、假高粱、苏门白酒草、喜旱莲子草和凤眼蓝等,而海口市、临高县、儋州市和乐东县是海南入侵植物分布种数最多的 4 个市县,在农田、种植园、林缘、村落和草地等均有入侵植物分布。外来植物的入侵和扩散给当地自然环境带来严重的危害,在一定范围内造成植物生物多样性的降低,对农田生态系统和自然生态系统造成威胁或对人体健康带来危害等^[29-30],采用入侵植物作为提取原材料不仅防治成本低,还可以变害为宝,保护生态环境,同时也是一种新的防控思路。

致谢:海南大学环境与植物保护学院 13 级本科学生林小漫、陈业贵、刘颖和徐媛,食品学院 13 级本科生鲍子婷和谢逸轩在实验植物采集、膏体制备等过程中提供帮助,一并致谢!

参考文献:

- [1] Diedhiou P M, Mbaye N, Dramé A, et al. Alteration of post harvest diseases of mango *Mangifera indica* through production practices and climatic factors [J]. African Journal of Biotechnology 2007 6(9): 1087-1094.

- [2] Purnachandra R M , Saritha K V. Potential applications of ‘King of FruitRUTS’ (mango) [J]. Indo American Journal of Pharmaceutical Research 2013 3(9) : 7155 – 7159.
- [3] Kefialew Y , Ayalew A. Journal of pharmaceutical research postharvest biological control of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) on mango (*Mangifera indica*) [J]. Postharvest Biology and Technology , 2008 , 50(1) : 8 – 11.
- [4] Hong K Q , Gong D Q , Zhang L B , et al. Transcriptome characterization and expression profiles of the related defense genes in postharvest mango fruit against *Colletotrichum gloeosporioides* [J]. Gene 2016 576(1) : 275 – 283.
- [5] Twumasi P , Mensah G O , Moses E. The rot fungus *Botryodiplodia theobromae* strains cross infect cocoa , mango , banana and yam with significant tissue damage and economic losses [J]. African Journal of Agricultural Research , 2014 , 9(6) : 613 – 619.
- [6] 赵超 胡美娇 李敏 等. 芒果采后病害拮抗菌的筛选、鉴定及其生防效果研究[J]. 西南农业学报 2016 29(2) : 385 – 389.
- [7] 何首林 何军 高保卫 等. 28 种植物提取物对苹果、番茄防腐保鲜活性研究[J]. 西北林学院学报 2012 27(6) : 115 – 119.
- [8] 邓利珍 刘可 冷飞凡 等. 川芎提取液对脐橙的防腐保鲜效果[J]. 农业工程学报 2016 32(7) : 296 – 302.
- [9] Sharma E , Tripathi A. Effects of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck epicarp essential oil on growth and morphogenesis of *Aspergillus niger* (L.) Van Tieghem [J]. Microbiological Research , 2008 , 163(3) : 337 – 344.
- [10] Juárez Z N , Bach H , Sánchez A E , et al. Protective antifungal activity of essential oils extracted from *Buddleja perfoliata* and *Pelargonium graveole* against fungi isolated from stored grains [J]. Journal of Applied Microbiology , 2016 , 120(5) : 1264 – 1270.
- [11] 林勇 夏艳 徐茜 等. 崂山常见中药材提取物对烟草青枯病菌的抑制作用[J]. 中国生物防治学报 2016 32(2) : 270 – 276.
- [12] 张爱玉 刘岩 梁伟能 等. 韭菜提取物对芒果炭疽菌和蒂腐菌的抑制作用[J]. 食品科学 2011 32: 68 – 71.
- [13] Perumal A B , Sellamuthu P S , Nambiar B R , et al. Antifungal activity of five different essential oils in vapour phase for the control of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae* in vitro and on mango [J]. International Journal of Food Science & Technology 2016 51(2) : 411 – 418.
- [14] 叶火春 张静 周颖 等. 山竹果皮提取物农药活性研究[J]. 热带农业科学 2016 36(2) : 64 – 68.
- [15] 苟亚峰 李志刚 孙世伟 等. 锡兰肉桂无水乙醇提取物的抑菌活性[J]. 热带作物学报 2011 32(2) : 293 – 296.
- [16] 郭松 陈义娟 刘艺 等. 8 种植物提取物对小麦白粉病病菌抑制活性研究[J]. 植物保护导刊. 2016(2) : 13 – 17.
- [17] 吕浩秋 吴俊林 王瑾琛 等. 植物提取物对烟草普通花叶病毒的抑制作用[J]. 中国农学通报 2016 32(18) : 160 – 164.
- [18] 张亮 袁争 朱蔚 等. 4 种植物提取物对炭疽病菌的体外抑制作用[J]. 植物保护 2012 38(4) : 137 – 140.
- [19] 陈楚英 彭旋 陈玉环 等. 21 种药用植物提取物对柑橘青霉病抑菌作用的筛选及白微醇提取物对脐橙青霉病的防治效果[J]. 植物保护学报 2016 43(4) : 614 – 620.
- [20] 吕美萍 林江 符悦冠 等. 假药提取物杀虫活性成分稳定性研究[J]. 植物保护 2016 42(2) : 55 – 61.
- [21] 岑春艺 黄正学 李善登 等. 西番莲提取物对三七炭疽病菌和黑斑病菌的抑制作用[J]. 湖北农业科学 2016 55(4) : 912 – 915.
- [22] 张相飞 杜春华 郝双好 等. 陈皮石油醚相中抗苹果腐烂病菌活性物质研究[J]. 湖北农业科学 2015 54(13) : 3150 – 3156.
- [23] 杨秀东 冯乾坤 李婷婷 等. 麻叶千里光化学成分及药理作用研究[J]. 长春中医药大学学报 2006 22(3) : 70 – 71.
- [24] 邢春秀 谢宁 杨念云 等. 杏香兔耳风的化学成分[J]. 江苏药学与临床研究 2006 14(2) : 107 – 109.
- [25] 韩宝艳 纪明山 刘妍 等. 苦参抑菌活性成分的化学结构与作用机理[J]. 江苏农业科学 2016 44(2) : 170 – 172.
- [26] 古鑫 范志伟 沈奕德 等. 假臭草和九里香甲醇提取液对橡胶树白粉病菌抑菌活性的测定[J]. 热带作物学报 2012 , 33(6) : 1089 – 1095.
- [27] 王法红 曹阳 骆焱平. 21 种海南植物粗提取物生物活性初步测定[J]. 湖北农业科学 2013 52(8) : 1829 – 1833.
- [28] 曹雪华 肖宜安 肖建军 等. 海南霸王岭自然保护区外来入侵植物的调查和分析[J]. 井冈山大学学报(自然科学版) . 2011 32(1) : 131 – 136.
- [29] 罗启文 符少怀 杨小波 等. 海南岛入侵植物的分布特点及其对本地植物的影响[J]. 植物生态学报 2015 39(5) : 486 – 500.
- [30] 周杰尘 刘君昂 何苑峰 等. 13 种海南入侵植物提取物对降香黄檀炭疽病菌的抑制作用[J]. 植物保护 2015 51(5) : 54 – 60.

Inhibitory Effects of the Extracts of 5 Invasive Plants Against 2 Major Pathogenic Fungi on Mango

HE Shuting¹, HE Ruilin², WANG Li², LI Xiuzhu², SONG Haichao¹, AO Su³, SHI Xuequn²

(1. College of Environment and Plant Protection, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. College of Food Science and Technology, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 3. Post-Entry Quarantine Station for Tropical Plants, Hainan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Haikou, Hainan 570311, China)

Abstract: Five common invasive plants, *Lantana camara* Linn, *Mikania micrantha* Kunth, *Mimosa pudica* Linn, *Praxelis clematidea* Cassini and *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc were extracted with ethanol to detect their antifungal activities on *Botryodiplodia theobromae* Pat and *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc by using mycelial growth rate method. The major components of the extracts were determined by using gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the extracts from the five alien invasive plants contained anti-fungal activities against these two fungi and that their inhibition rate of the fungi increased with the concentration of the extracts. Among the extracts the extract of *L. camara* Linn displayed the highest inhibitory activity on *B. theobromae* Pat., with an EC_{50} being $10.39 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. The extracts of *Mikania micrantha* had strong antimicrobial activity on *B. theobromae* Pat and *C. gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc, with the EC_{50} of $14.70 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ and $14.77 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. GC-MS analysis revealed a total of 14 chemical constituents in the extract of *M. micrantha*. The major components in the extracts of *M. micrantha* included 4H-1-Benzopyran-4-one 5,6,7-trimethoxy-2-(4-methoxyphenyl)-, Arbutin and 1,2,4-Cyclohexanetriol, which made up 81.85% of the total content. These components might be the active chemical ingredients which inhibited *B. theobromae* Pat and *C. gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.

Keywords: Invasive plants; mango; plant extract; antifungal activity; GC-MS.

(上接第 21 页)

Expression Analysis of 25 WRKY Transcription Factors in Cassava under Biotic Stresses

LI Ke, XIONG Xi, XIAO Xiaorong, LI Yumin, NIU Xiaolei, LI Chunxia, CHEN Yinhua

(Hainan Key Laboratory for Sustainable Utilization of Tropical Bioresources, Hainan University/College of Agronomy, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: WRKY family is one of the largest families of transcription factors in higher plants. The WRKY transcription factors play a central role in signal networks and plant growth. The WRKY transcription factors have been extensively studied in response to biotic stresses in model plants, but little information about their roles in cassava is available. According to the WRKY sequences of Arabidopsis and rice, and cassava genome sequences, 25 WRKY genes in cassava were predicted and analyzed including their phylogenetic relationships and conserved domains. Expression profiles of these genes in response to pathogen were analyzed by quantitative PCR. The results showed that the 25 identified MeWRKY genes in cassava had the conserved WRKY domain and zinc-finger structure and had distinct expression patterns in response to pathogen infection, out of which 16 were significantly up-or down-regulated, implying that these members might participate in defense response to biotic stresses in cassava.

Keywords: Cassava; WRKY transcriptional factor; expression pattern