

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

周洁尘, 刘君昂, 何苑皞, 周国英*

(经济林培育与保护省部共建教育部重点实验室, 经济林培育与利用湖南省 2011 协同创新中心, 长沙 410004)

摘要 本文研究了 13 种海南入侵植物不同溶剂提取物对降香黄檀炭疽病菌的生物活性, 以筛选出具有较好抑菌活性的植物提取物。结果表明: 10 种植物对炭疽病菌有一定的抑菌效果, 其中效果最好的提取物为垂序商陆乙酸乙酯提取物, EC_{50} 为 3.413 mg/mL, 其次是胜红蓟乙酸乙酯提取物以及飞机草乙醇提取物, EC_{50} 分别为 5.849、21.984 mg/mL。3 种植物提取物都可以导致炭疽病菌菌丝畸形, 高浓度垂序商陆与胜红蓟提取物甚至会导致细胞壁破裂。垂序商陆提取物的 MIC 为 5.0 mg/mL, MBC 为 10 mg/mL; 胜红蓟提取物的 MIC 为 7.5 mg/mL, 而 MBC 大于 12.5 mg/mL。

关键词 植物提取物; 降香黄檀; 炭疽病菌; 抑菌活性

中图分类号: S 763.15 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2015.05.009

Inhibitory effects of the extracts of 13 invasive plants from Hainan against *Colletotrichum gloeosporioides* on *Dalbergia odorifera*

Zhou Jiechen, Liu Jun'ang, He Yuanhao, Zhou Guoying

(Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-Wood Forest Trees in Central South University of Forestry and Technology, founded by Ministry of Education; Cooperative Innovation Center of Cultivation and Utilization for Non-Wood Forest Trees of Hunan Province, Changsha 410004, China)

Abstract To screen the plant extracts with high inhibitory activity against *Colletotrichum gloeosporioides* on *Dalbergia odorifera*, the inhibitory activity of the extracts of 13 invasive plants was tested. The results showed that 10 plant extracts had high inhibitory activity against the pathogen. Ethyl acetate extracts of *Phytolacca americana* had the highest inhibitory activity, with an EC_{50} of 3.413 mg/mL. Ethyl acetate extract of *Ageratum conyzoides* and ethanol extract of *Eupatorium odoratum* also had high inhibitory activity, with an EC_{50} of 5.849 mg/mL, 21.984 mg/mL, respectively. The results of observation under microscope showed that the hyphae of *Colletotrichum* became misshapen after treated with extracts of the 3 plants, and broken after treated with *P. americana* and *A. conyzoides* extracts at high concentration. The MIC and MBC of ethyl acetate extracts of *P. americana* were 5.0 mg/mL and 10 mg/mL, respectively. The MIC of ethyl acetate extract of *A. conyzoides* was 7.5 mg/mL, and the MBC was greater than 12.5 mg/mL.

Key words plant extract; *Dalbergia odorifera*; *Colletotrichum*; inhibitory activity

降香黄檀(*Dalbergia odorifera*), 又名黄花梨, 濒危种, 海南特产, 豆科蝶形花亚科的常绿乔木^[1]。炭疽病是降香黄檀最主要的病害之一, 导致叶片逐渐干枯或穿孔, 直至脱落, 严重影响植株光合作用, 以及芯材的形成, 且常大面积暴发^[2-3]。国内目前降香黄檀炭疽病的防治主要采用化学防治技术^[4-5], 长期使用化学药剂不仅容易使病菌产生抗性, 还易导致严重的环境污染^[6]。植物源农药是从植物中提取

有杀虫或抗菌作用的活性物质, 直接或间接加工合成的新型农药^[7-8], 其优点是对环境影响较小, 残留少等。目前国内外研究者越来越重视植物源农药的研究与开发^[9-12], 但针对降香黄檀炭疽病的植物源药剂还未见报道。

本文从 13 种海南入侵植物中, 筛选出对降香黄檀炭疽病菌具有良好抑菌活性的植物, 为降香黄檀炭疽病的药剂研制提供基础数据。

收稿日期: 2014-11-13 修订日期: 2015-02-01

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201304402)

* 通信作者 E-mail: guoying_zhou66@163.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试病原菌

病原菌菌种为本实验室从海南省澄迈国营林场的降香黄檀炭疽病叶中分离,单孢分离纯培养获得,

鉴定为胶孢炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)。

1.1.2 供试植物

13 种海南入侵植物^[13-15]中,胜红蓊、飞机草、马缨丹、菊芹、含羞草、木薯皆采自海南省澄迈国营林场,其余植物分别采自海南省其他各市县。具体植物名录见表 1。

表 1 供试植物名录

Table 1 Thirteen invasive plants tested in this study

科名 Family name	种名 Species name	采集部位 Plant part used
菊科 Compositae	飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i> Linn.	全草
	胜红蓊 <i>Ageratum conyzoides</i> Linn.	全草
	小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (Linn.) Cronq.	全草
	菊芹 <i>Erechthites valerianae folia</i> (Linn.) Raffin ex DC.	全草
夹竹桃 Apocynaceae	夹竹桃 <i>Nerium indicum</i> Mill.	枝叶
大戟科 Euphorbiaceae	木薯 <i>Manihot esculenta</i> Crantz	枝叶
马鞭草科 Verbenaceae	马缨丹 <i>Lantana camara</i> Linn.	全草
苋科 Amaranthaceae	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	全草
商陆科 Phytolaccaceae	垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i> Linn.	全草
豆科 Leguminosae	含羞草 <i>Mimosa pudica</i> Linn.	全草
酢酱草科 Oxalidaceae	红花酢酱草 <i>Oxalis corymbosa</i> Linn.	全草
石竹科 Caryophyllaceae	繁缕 <i>Stellaria media</i> (Linn.) Cyr.	全草
藜科 Chenopodiaceae	土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i> Linn.	全草

1.2 植物粗提取物的制备

将各植物洗净后置于干燥通风处阴干至恒重,放入粉碎机中粉碎,过 40 目筛。得到粉末置于 40 ℃烘箱中 24 h 后密封保存。

植物粗提物的制备采用冷浸法^[16],分别以乙醇、甲醇、丙酮、乙酸乙酯作为提取溶剂,固液比为 1:10,室温下浸泡 3 次,每次间隔时间 3 d,收集 3 次滤液进行旋转蒸发,干燥得到粗提物。加入适量无水乙醇溶解,再加蒸馏水,使乙醇浓度为 10%,粗提物浓度为 100 mg/mL。置于冰箱内冷藏备用。

1.3 植物提取物抑菌活性测定

采用滤纸片法^[17-18]。将病原菌接种于 PD 培养液中,160 r/min,28 ℃振荡培养 4 d 后得孢子悬浮液。取 0.2 mL 菌悬液加入 PDA 平板上,涂布均匀。

用打孔器将滤纸打成直径 6 mm 的圆形纸片,灭菌后置于植物提取物中充分浸泡。以 10%乙醇溶液为对照。将浸泡后的滤纸片分别放入含菌培养皿中,28 ℃培养,每种药液重复 3 次。2 d 后观察测量抑菌圈直径,比较抑菌效果。选择抑菌效果较好的 3 种植物提取物进一步进行抑菌活性研究。

1.4 3 种植物提取物对炭疽病菌的毒力测定

采用菌丝生长速率法^[19],测定垂序商陆和胜红蓊的乙酸乙酯提取物、飞机草乙醇提取物对降香黄檀

炭疽病菌的毒力。取 100 mg/mL 植物提取物加入到灭菌的 55 ℃ PDA 培养基中,制成提取物浓度分别为 3、125、6.25、12.5、25、50 mg/mL 的含药培养基,以加入等体积的 10%乙醇溶液为对照,每处理重复 3 个培养皿。用 6 mm 打孔器在培养 4 d 后的病原菌菌落边缘切取菌饼,接入含药培养基中于 28 ℃培养箱中培养 5 d 后,用十字交叉法测量菌落直径,计算菌丝生长抑制率,并进行毒力分析,计算 EC₅₀。

菌丝生长抑制率(%)=[(对照菌落直径-菌饼直径)-(处理菌落直径-菌饼直径)]/(对照菌落直径-菌饼直径)×100。

1.5 3 种植物提取物对炭疽病菌菌丝形态的影响

挑取 1.4 培养的分别经垂序商陆和胜红蓊的乙酸乙酯提取物、飞机草乙醇提取物处理的病原菌菌落边缘菌丝体,放在载玻片上制成玻片标本。在光学显微镜下观察 3 种植物提取物对病原菌菌丝形态的影响并拍照^[20]。

1.6 两种植物乙酸乙酯提取物对炭疽病菌生长量的影响

采用菌丝干重法^[21]。取 6 个锥形瓶,加入等量 PD 培养液,灭菌后分别加入适量垂序商陆和胜红蓊乙酸乙酯提取物,使其最终浓度为 EC₅₀,混匀后接入 0.2 mL 炭疽病菌孢子悬浮液。160 r/min,28 ℃

振荡培养。分别于培养 48、60、72、84、96、120 h 后取出一个锥形瓶,抽滤,得到的菌体置于 60 ℃烘箱中烘干至恒重。重复操作 3 次,并设不加药液空白对照组。称量菌体干重并绘制生长曲线。

1.7 两种乙酸乙酯提取物最小抑菌浓度(MIC)及最小杀菌浓度(MBC)的测定

将适量 100 mg/mL 植物提取物加入灭菌的 55 ℃ PDA 培养基中,制成提取物浓度分别为 2.5、5、7.5、10、12.5 mg/mL 的含药培养基,以加入等体积的 10%乙醇溶液为对照,每处理重复 3 个培养皿。移取 0.2 mL 菌悬液加入含药培养皿及对照培养皿中,涂布均匀后,置于 28℃下培养。2 d 后观察病原

菌生长情况,不长菌的最低浓度为提取物 MIC。将上述病原菌继续培养 5 d 后观察,不长菌的最低浓度为提取物 MBC^[22]。

2 结果与分析

2.1 13 种入侵植物粗提物对炭疽病菌的抑菌作用

由表 2 可知,同种植物的不同溶剂提取物抑菌活性差异较大。13 种植物中只有飞机草的 4 种溶剂提取物都有一定的抑菌活性,但乙醇提取物的抑菌效果最好;空心莲子草、含羞草和繁缕对炭疽病菌没有抑菌作用。垂序商陆乙酸乙酯提取物抑菌效果最明显,胜红蓟乙酸乙酯提取物次之。

表 2 13 种植物 4 种溶剂提取物对炭疽病菌的抑菌圈直径

Table 2 Inhibition zones of 13 plant extracts with four solvents against *Colletotrichum gloeosporioides* on *Dalbergia odorifera*

供试植物 Plant species	抑菌圈直径/mm Diameter of inhibition zone			
	乙醇提取物 Ethanol extract	丙酮提取物 Acetone extract	甲醇提取物 Carbinol extract	乙酸乙酯提取物 Ethyl acetate extract
飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i>	8.80±0.75	3.95±0.95	5.00±0.50	3.77±0.40
胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	3.10±1.10	—	4.17±1.42	10.20±1.15
小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i>	—	5.17±1.80	7.40±1.50	—
菊苣 <i>Erechthites valerianae folia</i>	—	6.85±1.65	—	—
夹竹桃 <i>Nerium indicum</i>	1.80±0.30	1.50±0.40	3.33±1.32	—
木薯 <i>Manihot esculenta</i>	—	—	—	1.95±0.85
马缨丹 <i>Lantana camara</i>	—	2.90±1.70	—	—
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	—	—	—	—
垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i>	—	—	—	11.00±1.73
含羞草 <i>Mimosa pudica</i>	—	—	—	—
红花酢酱草 <i>Oxalis corniculata</i>	1.23±0.30	—	—	—
繁缕 <i>Stellaria media</i>	—	—	—	—
土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i>	—	—	2.85±0.86	—

2.2 3 种入侵植物粗提物对炭疽病菌的毒力

表 3 和图 1 为不同浓度垂序商陆乙酸乙酯提取物、胜红蓟乙酸乙酯提取物和飞机草乙醇提取物对降香黄檀炭疽病菌的抑制作用结果。进一步分析抑菌效果最好的 3 种植物提取物的杀菌活性,发现抑菌作用随提取物浓度的增加而增强,在最低浓度 3.125 mg/mL 时,垂序商陆提取物的抑菌率接近 50%,而胜红蓟与飞机草的抑菌率都较低;最高浓度 50 mg/mL 时,垂序商陆与胜红蓟的抑制率均达到 100%。

垂序商陆乙酸乙酯提取物对降香黄檀炭疽病菌有较强的抑菌作用,其 EC₅₀ 为 3.413 mg/mL;胜红蓟乙酸乙酯提取物的抑菌作用略低,EC₅₀ 为 5.849 mg/mL;而飞机草乙醇提取物的 EC₅₀ 明显大于垂序商陆和胜红蓟,达到 21.984 mg/mL,说明飞机草提

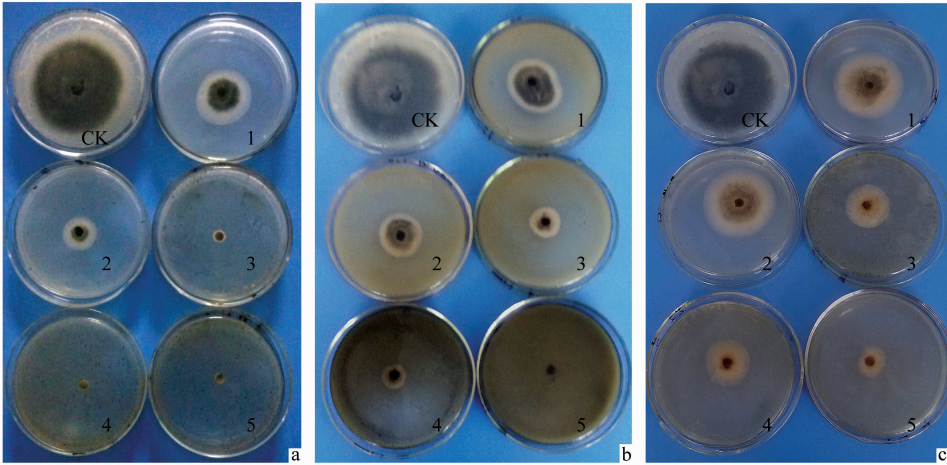
取物抑菌效果明显差于垂序商陆乙酸乙酯提取物和胜红蓟乙酸乙酯提取物。

表 3 3 种入侵植物提取物对炭疽病菌的抑菌率¹⁾

Table 3 Inhibition rates of 3 invasive plant extracts against *Colletotrichum gloeosporioides* on *Dalbergia odorifera*

提取物浓度/ mg · mL ⁻¹ Concentration of extracts	抑菌率/% Inhibition rate		
	垂序商陆 <i>P. americana</i>	胜红蓟 <i>A. conyzoides</i>	飞机草 <i>E. odoratum</i>
3.125	(48.82±9.88)c	(22.83±1.80)c	(21.26±1.00)c
6.25	(86.09±4.47)b	(65.88±0.58)c	(27.56±1.00)c
12.5	(96.06±4.33)a	(74.54±3.55)b	(40.16±0.87)b
25	(100.00±0.00)a	(94.23±5.35)a	(43.04±0.76)b
50	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(70.87±4.82)a

1) 同列数字后字母不同说明在 0.05 水平差异显著。
Different letters in the same column indicate significantly different at $P<0.05$.



a: 垂序商陆乙酸乙酯提取物; b: 胜红蓟乙酸乙酯提取物; c: 飞机草乙醇提取物; CK: 空白对照组; 1~5: 分别表示3.125、6.25、12.5、25、50 mg/mL的提取物处理组
a: Ethyl acetate extracts of *Phytolacca americana*; b: Ethyl acetate extract of *Ageratum conyzoides*; c: Ethanol extract of *Eupatorium odoratum*; CK: Control group; 1-5: The groups treated by plant extracts with the concentration of 3.125, 6.25, 12.5, 25 and 50 mg/mL, respectively

图 1 不同浓度提取物对降香黄檀炭疽病菌的抑制效果

Fig. 1 Inhibitory effects of plant extracts at different concentrations against *Colletotrichum gloeosporioides* on *Dalbergia odorifera*

表 4 3 种入侵植物提取物对炭疽病菌的相对毒力

Table 4 Toxicity of three plant extracts against *Colletotrichum gloeosporioides* on *Dalbergia odorifera*

提取物 Extract	毒力回归方程(y=) Regression equation	χ^2	相关系数 Correlation coefficient	EC ₅₀ / mg · mL ⁻¹	95%置信限/mg · mL ⁻¹ 95% confidence interval
垂序商陆 <i>P. americana</i>	2.705 4 x+4.304 3	0.491 0	0.958 7	3.413	1.451~8.024
胜红蓟 <i>A. conyzoides</i>	1.948 4 x+3.978 0	7.059 7	0.925 2	5.849	3.104~11.022
飞机草 <i>E. odoratum</i>	3.611 4 x+1.034 6	1.642 3	0.954 8	21.984	11.393~42.421

2.3 3 种入侵植物粗提物对炭疽病菌菌丝形态的影响

图 2 为降香黄檀炭疽病菌正常菌丝形态及药液处理后的菌丝形态。从图中可以看出,正常炭疽病菌菌丝长而舒展,粗细均匀且饱满,横隔明显且较长,两侧菌丝壁平行且光滑。而 3 种植物提取物处理组菌丝都表现出菌丝分支增多,菌丝长度变短。垂序商陆提取物处理菌丝内产生小液泡,菌丝畸形,横隔增多且分布不均匀,高浓度处理组细胞壁破裂,可能是由于横隔增多导致。胜红蓟提取物处理菌丝粗细不均,菌丝膨胀,高浓度处理组菌丝体也出现破裂。飞机草提取物处理分支较前两种植物多且菌丝短,两侧菌丝壁不规则,高浓度处理组菌丝交联、膨胀、严重畸形。

2.4 垂序商陆、胜红蓟提取物对炭疽病菌生长量的影响

根据图 3 可知,降香黄檀炭疽病菌经历适应期在 72 h 后进入对数生长期,96 h 后进入衰亡期,含药培养基也呈现相同趋势。处理组药液浓度为 2.2 中提取物 EC₅₀,垂序商陆对病原菌菌丝生长量的抑制效果优于胜红蓟,其抑制率在 50% 以上,原因可

能是液体培养基中菌丝与培养基接触更加充分,也更易受有毒物质影响。

2.5 垂序商陆、胜红蓟提取物最小抑菌浓度 (MIC) 及最小杀菌浓度 (MBC)

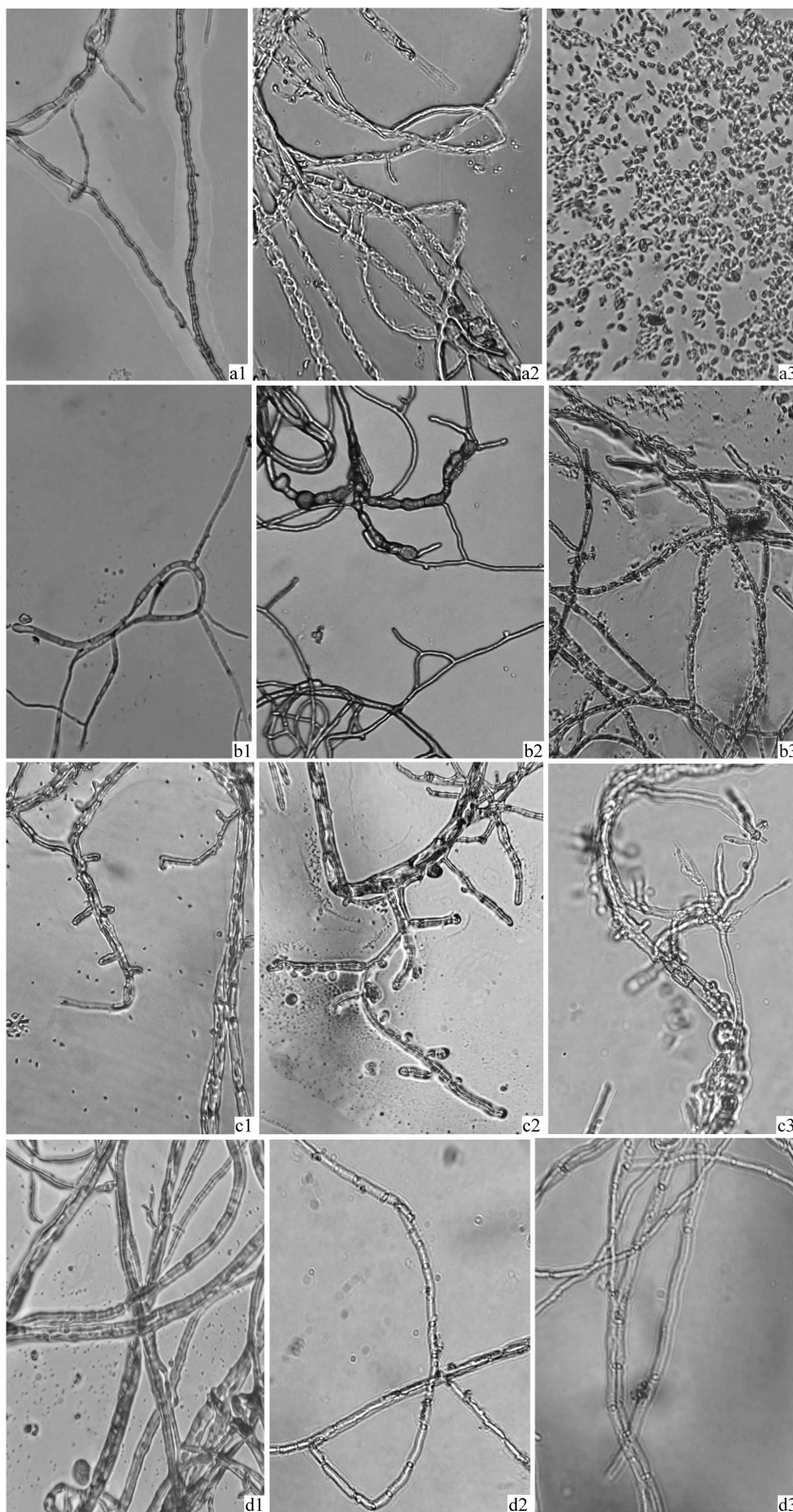
从表 5 可知,垂序商陆提取物的 MIC 为 5.0 mg/mL,MBC 为 10 mg/mL;胜红蓟提取物的 MIC 为 7.5 mg/mL,MBC 大于 12.5 mg/mL。垂序商陆提取物的杀菌作用强于胜红蓟提取物。

表 5 最小抑菌浓度及最小杀菌浓度测定结果¹⁾

Table 5 The minimum inhibitory concentration and minimal fungicidal concentration

浓度/mg · mL ⁻¹ Concentration of extracts	垂序商陆 <i>P. americana</i>		胜红蓟 <i>A. conyzoides</i>	
	48 h	120 h	48 h	120 h
2.5	+	+	+	+
5.0	—	+	+	+
7.5	—	+	—	+
10.0	—	—	—	+
12.5	—	—	—	+
CK	+	+	+	+

1) “+”表示培养皿上有菌丝生长;“—”表示完全没有菌丝生长。
“+”indicates that the mycelia grow vigorously, “—”indicates that the mycelia grow poorly.



a1~a3: 垂序商陆乙酸乙酯提取物; b1~b3: 胜红蓟乙酸乙酯提取物; c1~c3: 飞机草乙醇提取物; d1~d3: 空白对照组; a3、b3、c3 分别为3种植物较高浓度提取物处理组

a1-a3: Ethyl acetate extracts of *Phytolacca americana*; b1-b3: Ethyl acetate extract of *Ageratum conyzoides*; c1-c3: Ethanol extract of *Eupatorium odoratum*; d1-d3: The control group; a3, b3, c3: the groups treated with 3 plant extracts at high concentrations

图2 3种植物提取物对炭疽病菌菌丝形态的影响

Fig. 2 Inhibitory effects of 3 plant extracts on mycelium morphology of plant pathogen fungi

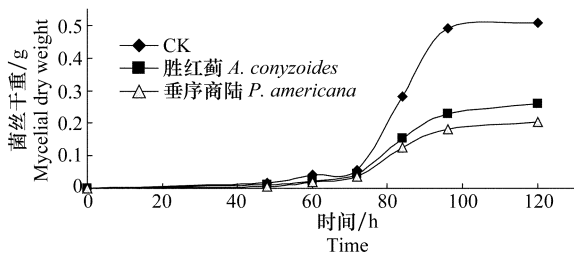


图 3 垂序商陆及胜红蓟提取物对炭疽病菌生长量的影响

Fig. 3 Inhibitory effects of *Phytolacca americana* and *Ageratum conyzoides* extracts on hyphal increment of plant pathogen fungi

3 讨论

海南岛自然地理条件优越,产生了其多样性的生态系统,但也更易于入侵植物的入侵和扩散。据胡雪华等报道^[23],海南低海拔地区受飞机草、含羞草、胜红蓟等多种植物入侵。外来入侵物种危害入侵地的自然生态系统,降低物种多样性,对当地的社会、文化甚至人们的生活也产生严重影响^[24]。植物中抑菌有效成分含量普遍较低,需要大量的植物进行植物源农药的研制,采用本土其他药用植物所需成本过高,而选用当地入侵植物不仅成本较低,还可变废为宝,有利于当地经济发展。本试验研究外来入侵植物的抑菌活性,发现 10 种入侵植物对降香黄檀炭疽病菌有一定的抑菌效果。垂序商陆乙酸乙酯提取物的 EC_{50} 为 3.413 mg/mL,胜红蓟乙酸乙酯提取物以及飞机草乙醇提取物 EC_{50} 分别为 5.849、21.984 mg/mL。

三种植物都有开发成植物源农药的潜力,尤其是垂序商陆,其乙酸乙酯提取物的 MIC 和 MBC 分别为 5.0 mg/mL 和 10 mg/mL。垂序商陆又名美洲商陆,目前在我国的分布较为广泛。杨帮等^[25]发现垂序商陆的各部分都含有抑菌活性物质,医学上常用根作为泻下逐水的中药,具止咳、利尿、消肿功能。根据已有文献^[26],垂序商陆中主要抑菌成分是美国商陆皂苷元,本试验采用提取物为粗提取物,所以有必要分离得到垂序商陆总皂苷,深入研究总皂苷中起主要作用的皂苷成分,并对其抑菌活性以及在菌体内部的作用位点进行探讨,为植物源农药的研制提供理论依据。

不同植物中所含的有效成分及含量不同,本试验仅用了 4 种有机溶剂进行提取,提取方法为冷浸法,其他溶剂及不同提取方法制备的提取物的抑菌

活性还有待进一步研究。不同有效成分对微生物的作用位点不同,石志琦等^[27]研究了蛇床子素对小麦赤霉病菌的抑制机制,推测其抑菌机理为蛇床子素阻断了 Na^+ 内流,从而阻止了对葡萄糖的吸收;张龙等^[28]的研究表明,仿生合成的拟银杏杀菌剂邻烯丙基苯酚(绿帝)和 4-丁酰基苯酚(银泰)可使小麦纹枯病菌的菌丝分支间距明显缩短、菌丝伸长减慢。本试验中垂序商陆及胜红蓟不仅导致菌丝变形,甚至可导致细胞壁破裂。目前国内外植物提取物的研究多集中在室内研究,一些研究表明,离体条件下抑菌活性较强的植物提取物在自然条件下抑菌活性较低,这可能是由于自然环境中影响因素过多,所以如何将植物提取物有效应用于生产实践仍是一大难点。

参考文献

- [1] 邱治军,周光益,陈升华. 海南特有珍贵红木树种—降香黄檀[J]. 林业实用技术, 2004 (6): 41-42.
- [2] 伍慧雄,庄雪影,温秀军,等. 降香黄檀病虫害调查[J]. 广东林业科技, 2009, 25(6): 86-88.
- [3] 桑利伟,刘爱勤,孙世伟,等. 海南降香黄檀炭疽病原鉴定及防治[J]. 热带农业科学, 2009, 29(8): 23-25.
- [4] 李步斌. 降香黄檀炭疽病与防治[J]. 中国科技纵横, 2013 (2): 88-89.
- [5] 刘洪湾,李际,林秀莲. 海南降香黄檀病虫害调查与防治[J]. 农业灾害研究, 2011, 1(2): 32-33.
- [6] 沈寅出,张一宾. 生物农药[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 73-74.
- [7] 史卫国,徐之明,黄清臻,等. 植物源农药的进展[J]. 农药科学与管理, 1997(3): 33-35.
- [8] Martinez M L, von Poser G, Henriques A, et al. Simaroubaceae and Picramniaceae as potential sources of botanical pesticides [J]. Industrial Crops & Products, 2013, 44: 600-602.
- [9] 冯俊涛,石勇强,张兴. 56 种植物抑菌活性筛选试验[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(2): 65-69.
- [10] Suhaila M, Suzana S S, Ei S, et al. Antimycotic screening of 58 malaysian plants against plant pathogens [J]. Pesticide Science, 1997, 47: 259-264.
- [11] 梁剑平,李蓉,卫增泉,等. 六萜素及其衍生物抑菌活性的 QSAR 研究[J]. 中兽医医药杂志, 2002(1): 13-15.
- [12] 孟昭礼,罗兰. 人工模拟杀菌剂绿帝对 8 种植物病原菌室内生测[J]. 莱阳农学院学报, 1998, 15(3): 159-162.
- [13] 徐海根,强胜. 中国外来入侵物种编目[M]. 北京: 中国环境出版社, 2004.
- [14] 彭宗波,蒋英,蒋菊生. 海南岛外来植物入侵风险评价指标体系[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 2029-2034.
- [15] 范志伟,沈弈德,刘丽珍. 海南外来入侵杂草名录[J]. 热带作

- 物学报, 2008, 29(6): 781-792.
- [16] 殷帅文, 王庆先, 李强, 等. 20种植物提取物抑制植物病原菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(2): 306-311.
- [17] 李云雁, 宋光森. 板栗壳提取物抑菌作用研究[J]. 林产化学与工业, 2004, 24(4): 61-64.
- [18] 王储炎. 鹿蹄草提取物的抑菌作用和应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [19] 董红平, 赵特, 孙淑君, 等. 肉桂精油对4种重要果蔬病原真菌的生物活性研究[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(2): 282-286.
- [20] 何静. 苍耳提取物对有害生物抑制机理的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [21] NYT 1156. 19-2013 农药室内生物测定试验准则杀菌剂第19部分: 抑制水稻稻曲病菌试验菌丝干重法[S]. 中华人民共和国农业部, 2013.
- [22] 党珍, 周涛. 几种植物提取液的抑真菌特性及复配研究[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 88-91.
- [23] 胡雪华, 肖宜安, 曾建军, 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.
- [24] 郑启恩. 外来种飞机草和紫茎泽兰的入侵生物学特征研究[D]. 南宁: 广西大学, 2006.
- [25] 杨帮, 丁伟, 赵志模, 等. 美洲商陆和姜黄提取物抑菌活性的研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, 27(3): 297-304.
- [26] 杨帮. 中药植物美洲商陆抗菌活性及作用机理研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [27] 石志琦, 沈寿国, 徐朗莱. 蛇床子素对植物病原真菌抑制机制的初步研究[J]. 农药学报, 2004, 6(4): 28-32.
- [28] 张龙, 孟昭礼, 李健强, 等. 拟银杏杀菌剂绿帝和银泰抑制小麦纹枯病菌机制初探[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(4): 109-112.
- (责任编辑: 田 喆)
-
- (上接 45 页)
- [19] Bengough A G, McKenzie B M. Sloughing of root cap cells decreases the frictional resistance to maize (*Zea mays* L.) root growth [J]. Journal of Experimental Botany, 1997, 48(4): 885-893.
- [20] Tamás L, Budíková S, Huttová J, et al. Aluminum-induced cell death of barley-root border cells is correlated with peroxidase and oxalate oxidase-mediated hydrogen peroxide production [J]. Plant Cell Reports, 2005, 24(3): 189-194.
- [21] Miyasaka S C, Hawes M C. Possible role of root border cells in detection and avoidance of aluminum toxicity [J]. Plant Physiology, 2001, 125(4): 1978-1987.
- [22] Pan J W, Ye D, Wang L L, et al. Root border cell development is a temperature-insensitive and Al-sensitive process in barley [J]. Plant & Cell Physiology, 2004, 45(6): 751-760.
- [23] Brigham L A, Woo H H, Nicoll S M, et al. Differential expression of proteins and mRNAs from border cells and root tips of pea [J]. Plant Physiology, 1995, 109(2): 457-463.
- [24] Wen F S, VanEtten H D, Tsaprailis G, et al. Extracellular proteins in pea root tip and border cell exudates [J]. Plant Physiology, 2007, 143(2): 773-783.
- [25] Cannesan M A, Gangneux C, Lanoue A, et al. Association between border cell responses and localized root infection by pathogenic *Aphanomyces euteiches* [J]. Annals of Botany, 2011, 108(3): 459-469.
- [26] Hawes M C, Lin H J. Correlation of pectolytic enzyme activity with the programmed release of cells from root caps of pea (*Pisum sativum*) [J]. Plant Physiology, 1990, 94(4): 1855-1859.
- [27] Driouich A, Durand C, Cannesan M A, et al. Border cells versus border-like cells: are they alike? [J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(14): 3827-3831.
- [28] Hawes M C, Bengough G, Cassab G, et al. Root caps and rhizosphere [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2002, 21(4): 352-367.
- [29] Vicré M, Santaella C, Blanchet S, et al. Root border-like cells of Arabidopsis. Microscopical characterization and role in the interaction with rhizobacteria [J]. Plant Physiology, 2005, 138(2): 998-1008.
- [30] Driouich A, Cannesan M A, Dardelle F, et al. Unity is strength: The power of border cells and border-like cells in relation with plant defense [C]// Vivanco J M, Baluška F, eds, Secretions and exudates in biological system, signaling and communication in plants. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012: 91-107.
- [31] Odell R E, Dumlao M R, Samar D, et al. Stage-dependent border cell and carbon flow from roots to rhizosphere [J]. American Journal of Botany, 2008, 95(4): 441-446.
- (责任编辑: 田 喆)