



主持人: 缪卫国, 吴少英

五种植物水提液对松材线虫毒杀作用

张育华^{1#}, 何子婷¹, 罗敦², 钟先龙¹, 李轲祎¹, 孟丽华¹, 胡平^{1*}

(1. 广西大学林学院/广西高校亚热带人工林培育与利用重点实验室, 广西南宁 530004 中国;

2. 广西壮族自治区国有博白林场, 广西玉林 537600 中国)

摘要: 由松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*)介导引起的松材线虫病给松林带来了巨大的危害, 而树干注射药剂的方法为松材线虫防控开辟了一条新的途径。为减缓松材线虫对现有的药剂产生抗药性, 亟需开发新型防控药剂, 其中植物源天然活性物质对松材线虫具有良好的灭杀作用。选取广西壮族自治区常见的5种植物[薇甘菊(*Mikania micrantha*)、马缨丹(*Lantana camara*)、油茶(*Camellia oleifera*)、苦楝(*Melia azedarach*)和辣蓼(*Polygonum hydropiper*)]作为原料获得其水提液, 并采用浸渍法探究其对松材线虫的毒杀作用, 分析其对松材线虫活动能力和繁殖能力的影响。结果显示5种植物水提液均对松材线虫有一定的毒杀作用, 其中马缨丹在72 h处理时间和40 g·L⁻¹质量浓度下松材线虫的校正死亡率为95.05%。马缨丹对松材线虫的活动能力的抑制性最强, 苦楝对松材线虫的繁殖能力抑制性最强。研究结果表明马缨丹和苦楝可作为开发松材线虫绿色防控药剂的备选材料。

关键词: 松材线虫; 浸渍法; 绿色防控; 马缨丹; 苦楝

中图分类号: S763

文献标志码: A

文章编号: 1674-7054(2025)03-0423-07

张育华, 何子婷, 罗敦, 等. 五种植物水提液对松材线虫毒杀作用[J]. 热带生物学报, 2025, 16(3): 423-429. doi: 10.15886/j.cnki.rdsxb.20240137

松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*)是一种世界范围内的检疫性物种, 其引发松材线虫病(pine wilt disease, PWD)给松林带来了巨大的危害^[1]。目前, 通过树干注射甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)和阿维菌素是预防松材线虫危害的重要措施之一^[2-3]。甲维盐和阿维菌素均具有高效、低毒和低残留的特点, 尽管目前尚未有研究发现松材线虫对这些药剂产生抗药性, 但这一问题仍需引起重视。已有研究报道, 桔小实蝇(*Bactrocera dorsalis*)^[4]、瓜实蝇(*Bactrocera cucurbitae*)^[4]、水稻二化螟(*Chilo suppressalis*)^[5-6]、稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)^[7]、二斑叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)^[8]、马尾松毛虫(*Dendrolimus punctatus*)^[9]等有害生物在长期防治过程中对阿维菌素和甲维盐的抗性逐渐上升。为

避免长期使用单一类型的药剂防治松材线虫使其产生抗药性, 因此亟需寻找到松材线虫病的绿色防控新途径, 如生防微生物^[10]、植物源农药等, 以克服长期使用传统杀线虫剂带来的问题。

植物体内蕴藏着丰富的活性物质资源, 其中包括酚类化合物和黄酮类化合物等多种活性成分^[11-12]。这些成分已被证实具备显著的生物活性, 能够有效抑制多种害虫及病原体, 因此它们被视为化学杀虫剂的潜在绿色替代品。鉴于此, 利用植物来源的活性成分来开发新型杀松材线虫剂可能为防治松材线虫开辟一条新路径。近年来, 国内外的研究者们正积极投入到通过植物源天然活性物质绿色防控松材线虫的研发工作中。通过从多种高等植物中分离和提取一系列结构多样的天然化合物, 研究人员已经着手评估这些化合物针对松材线虫

收稿日期: 2024-08-28

修回日期: 2024-11-11

基金项目: 中央引导地方科技发展专项项目(桂科 ZY21195019); 广西自筹经费林业科技项目(桂林科研[2022ZC]第21号); 广西大学2023年大学生创新训练计划项目(202310593462)

*第一作者: 张育华(2000—), 女, 广西大学林学院2022级硕士研究生。E-mail: 913734024@qq.com

*通信作者: 胡平(1989—), 女, 副教授。研究方向: 森林保护。E-mail: 20190084@gxu.edu.cn

的毒性效果^[13-19]。这些研究对于制定创新性的线虫控制策略具有重要的科学价值。然而,目前针对特定植物提取物对松材线虫的抑制效果及其作用机制的研究还相对较少,特别是在比较不同植物提取物的效果方面,需要更多的实证数据支持。

广西地处热带和亚热带地区,地域辽阔,雨量充沛,植物的种类与资源极其丰富,是开发植物源杀松材线虫药剂的宝库^[20]。本研究选择的5种植物[薇甘菊(*Mikania micrantha*)、马缨丹(*Lantana camara*)、油茶(*Camellia oleifera*)、苦楝(*Melia azedarach*)和辣蓼(*Polygonum hydropiper*)]均为广西常见植物,分布广,易获取。近年来这5种植物的研究主要集中在其他虫害方面,但它们对松材线虫的毒杀影响却鲜有探讨^[21-23]。在这五者之中,仅有苦楝和油茶的研究发现了它们对松材线虫具有明显的毒性效应^[24-25]。对于其他植物种类,目前尚缺乏针对性的研究来评估其对松材线虫的具体影响。对于这些植物在防治松材线虫方面的应用,仍需进一步的科学研究进行深入探讨,以期发现新的防治策略。

本研究通过对这5种植物进行水提液的提取,并采用浸渍法测定其对松材线虫的毒杀活性,进一步探究了水提液对松材线虫运动行为及繁殖能力的影响。本研究旨在筛选出具有较强毒杀作用的植物种类,探讨其作为新型植物源药剂的潜力,从而为开发针对松材线虫的新型植物源药剂研发提供必要的试验数据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 松材线虫准备 供试虫源分离自广西壮族自治区钦州市浦北县的马尾松(22°5'1"N, 109°17'37"E),由广西大学林学院实验室传代保存。在25℃条件下,将松材线虫置于长满灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)的PDA培养基上培养7d。根据刘慧琳等^[26]的方法对松材线虫进行同龄化处理,收集得到大量的同龄松材线虫。

1.2 植物提取物制备 2024年3—5月广西壮族自治区南宁市境内采集健康良好的苦楝、马缨丹、辣蓼、油茶、薇甘菊5种植物。其中,草本植物薇甘菊、马缨丹和辣蓼取全株,木本植物苦楝和油茶取叶片。将供试植物烘至恒重后过筛(孔径为38.5 μm),精确称取50 g粉末,加入250 mL蒸馏水

中浸提24 h(温度25℃),重复浸提3次。合并浸提液后使用旋转蒸发仪(温度85℃,转速150 r·min⁻¹)浓缩至膏状物,放置于4℃冰箱中保存备用。

1.3 植物提取物室内毒力测定 将5种植物分别配制成浓度为40、20、10、5、2.5 g·L⁻¹的水提物溶液,按照倪安顺等^[27]的方法测定松材线虫毒力测定。分别在24、48、72 h后统计死亡数量,计算其死亡率、校正死亡率,绘制并处理48 h的毒力回归方程,得到LC₅₀值。

$$\text{死亡率}(\%) = \text{处理组死亡数} / \text{处理组总数} \times 100, \quad (1)$$

$$\text{校正死亡率}(\%) = (\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率}) / (1 - \text{对照组死亡率}) \times 100. \quad (2)$$

1.4 松材线虫运动能力测定 选取1.3实验所得到的半致死浓度LC₅₀值,参考程乐^[28]的松材线虫运动能力测定方法分别统计处理0、1.5、3、6、12和24 h下的松材线虫30 s内头部摆动和身体弯曲频率。

1.5 松材线虫繁殖力测定

1.5.1 产卵量 选取1.3实验所得到的半致死浓度LC₅₀值,参考程乐^[28]的方法测定松材线虫产卵量。分别使用5种水提液随机处理一日龄的未交配的松材线虫雄虫和雌虫各10条,将其转移到无菌水中进行交配、产卵。记录48 h后每个处理组的产卵量。

1.5.2 卵孵化率 将一日龄的松材线虫雌虫和雄虫各10条转移到具有灰葡萄孢的平板上生长24 h后将卵分离,使用蒸馏水制成卵悬浮液(每100 μL约含150粒)。选取1.3试验所得到的半致死浓度LC₅₀值,参考程乐的松材线虫孵化率方法^[28]分别使用5种水提液处理48 h后统计卵孵化率。

$$\text{卵孵化率}(\%) = [\text{幼虫} / (\text{卵} + \text{幼虫})] \times 100. \quad (3)$$

1.5.3 种群繁殖数量 选取1.3实验所得到的半致死浓度LC₅₀值处理24 h后的松材线虫雌虫和雄虫各10头,放至长满灰葡萄孢菌的平板上培养48 h后分离,统计各处理线虫种群繁殖数量。

1.6 数据处理 使用Microsoft Excel 2019软件录入实验数据并整理;使用Graphpad Pism9.5软件制作图表;使用IBM Statistic SPSS 27.0软件进行单因素方差分析和双因素方差分析,对药剂进行毒力回归分析,计算LC₅₀值及其95%置信限。

2 结果与分析

2.1 5 种植物提取物在不同质量浓度及时间下对松材线虫的毒杀活性 5 种植物水提液在不同质量浓度及时间下对松材线虫的毒杀活性表明(图 1), 药剂效果随着质量浓度的增加和处理时间的延长

而增强,但不同药剂之间也存在差异($P<0.05$)。在 72 h 处理时间和 40 g·L⁻¹ 质量浓度下, 马缨丹对松材线虫的毒杀活性最强, 校正死亡率最高(95.05%), 其次为油茶(91.41%)和苦楝(91.25%), 其余 3 种植物处理组之间对松材线虫的毒杀效果没有显著性差异($P>0.05$)。

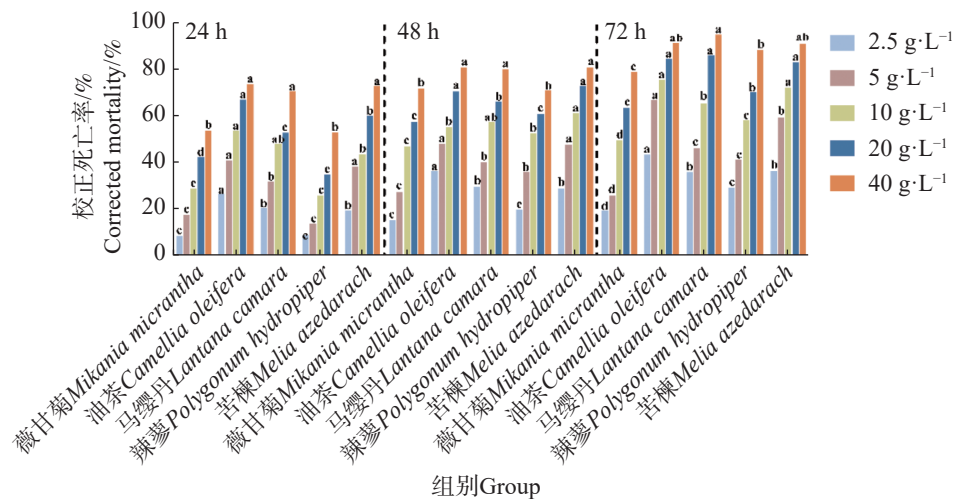


图 1 不同质量浓度植物水提液在不同处理时间下松材线虫的校正死亡率

Fig. 1 Corrected mortality of *Bursaphelenchus xylophilus* treated with five plant water extracts with different mass concentrations under different treatment time

不同小写字母表示同一处理时间下在不同质量浓度时松材线虫的校正死亡率差异显著($P<0.05$)。 Different lowercase letters in the graph indicate that the corrected mortality of *Bursaphelenchus xylophilus* at different concentrations at the same treatment time is significantly different ($P<0.05$).

测定处理 48 h 时 5 种植物提取物的半致死浓度(LC₅₀)表明(表 1), 苦楝的杀线虫效果最好(LC₅₀=5.91 g·L⁻¹), 其次为油茶(LC₅₀=5.97 g·L⁻¹)和马缨丹(LC₅₀=7.74 g·L⁻¹)。5 种植物提取物毒力

回归方程的相关系数均大于 0.9, 说明 5 种植物提取物的质量浓度和松材线虫校正死亡率之间的相关性密切, 植物提取物质量浓度的对数和松材线虫的校正死亡率呈正相关。

表 1 5 种植物水提液处理松材线虫幼虫 48 h 的毒力指标

植物名称 Plant Names	回归方程 Regression Equation	相关系数R ² Correlation Coefficient R ²	LC ₅₀ (95%CI)/ (g·L ⁻¹)
薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>	$y=1.25x-1.35$	0.98	12.37(10.81~14.19)
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	$y=0.99x-0.74$	0.98	5.97(5.16~6.89)
马缨丹 <i>Lantana camara</i>	$y=1.13x-1$	0.97	7.74(6.82~8.76)
辣蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	$y=1.11x-1.13$	0.95	10.32(9.01~11.83)
苦楝 <i>Melia azedarach</i>	$y=1.16x-0.90$	0.97	5.91(5.11~6.82)

2.2 5 种植物提取物 LC₅₀ 处理对松材线虫运动能力的影响 与对照组相比, 马缨丹、油茶、苦楝对松材线虫的头部摆动频率具有明显的抑制作用($P<0.01$), 随着处理时间的增加, 松材线虫头部摆动频率呈下降趋势(图 2-A)。其中, 马缨丹对松

材线虫头部摆动频率表现出较好的抑制效果。与对照组相比, 马缨丹、油茶、苦楝对松材线虫的身体弯曲频率具有显著抑制作用($P<0.01$), 随着处理时间的增加, 松材线虫身体弯曲频率呈下降趋势(图 2-B)。其中, 马缨丹对松材线虫身体弯曲频率

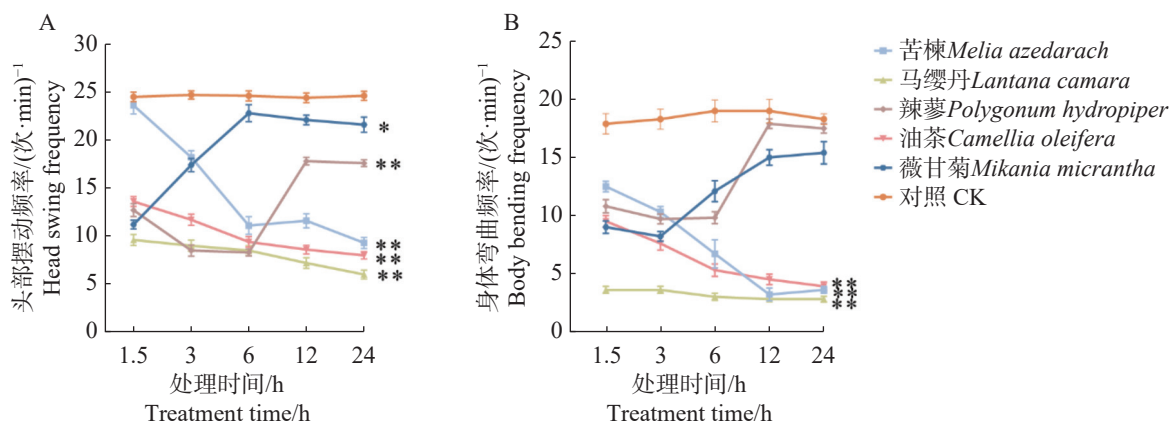


图2 五种植物水提液 LC₅₀ 处理对松材线虫运动能力的影响

Fig. 2 Effects of five plant water semi-lethal concentration LC₅₀ treatment on the locomotion behavior of *Bursaphelenchus xylophilus*

A 为 5 种植物水提液 LC₅₀ 处理对松材线虫头部摆动的影响; B 为 5 种植物水提液 LC₅₀ 处理对松材线虫身体弯曲的影响。数据以平均数±标准误差表示, 与对照组相比, *表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$ 。

A is the effect of LC₅₀ treatment of five plant water extracts on the head swing of *Bursaphelenchus xylophilus*; B is the effect of LC₅₀ treatment of five plant water extracts on the body bending of pine wood nematode. The data were expressed as mean ± standard error. Compared with the control group, * indicated $P < 0.05$, ** indicated $P < 0.01$.

表现出较好的抑制效果。

2.3 5 种植物提取物 LC₅₀ 对松材线虫繁殖能力的影响 5 种植物水提液处理 48 h 后, 松材线虫产卵量和卵孵化率均显著低于对照组 ($P < 0.05$), 有明显的抑制作用 (图 3-A)。其中, 苦楝处理组的松材线虫产卵率和卵孵化率最低。将 5 种植物水提液处理后的松材线虫移至长满灰葡萄孢菌的 PDA 培养基后, 油茶、苦楝和马缨丹处理组松材线

虫种群繁殖量有着显著的影响 ($P < 0.05$), 显著低于对照组。其中, 苦楝处理组对松材线虫种群繁殖量的抑制作用最明显。

3 讨论

植物水提法因其高效、简便且经济的特点而被广泛应用于新型植物源药剂的开发。已有研究报道发现部分植物水提液有明显的杀松材线虫活

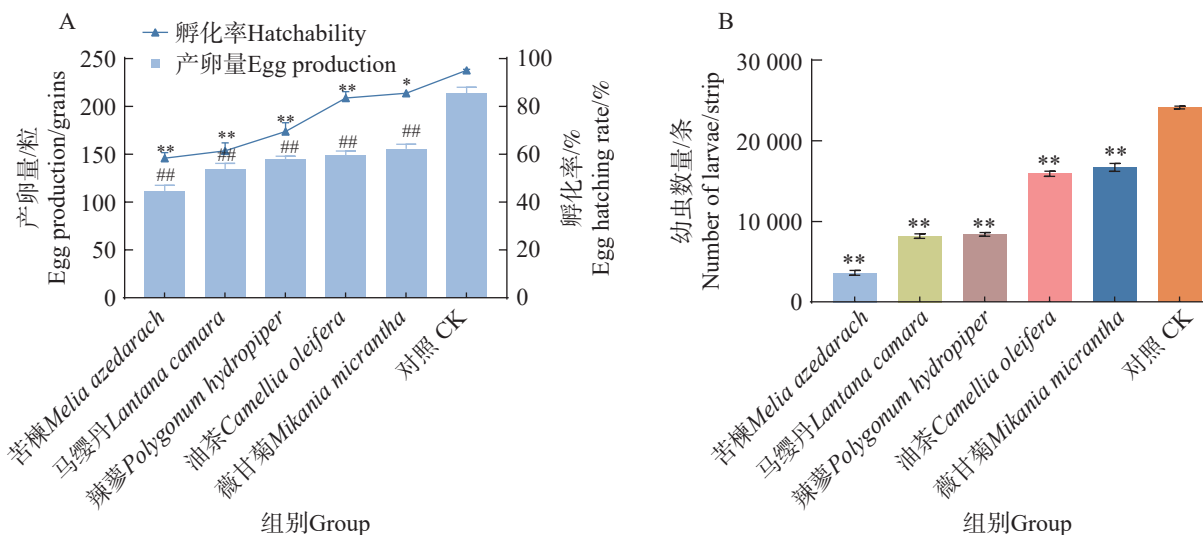


图3 五种植物水提液 LC50 处理对松材线虫繁殖能力的影响

Fig. 3 Effects of five plant water semi-lethal concentration LC₅₀ treatment on the reproductive ability of *Bursaphelenchus xylophilus*

A 为 5 种植物水提液 LC₅₀ 处理对松材线虫产卵量; B 为 5 种植物水提液 LC₅₀ 处理对松材线虫种群繁殖力。数据以平均数±标准误差表示, 与对照组相比, * 表示 $P < 0.05$, ** 和 ## 表示 $P < 0.01$ 。

A is the LC₅₀ treatment of five plant water extracts on the oviposition of pine wood nematode; B is the fecundity of pine wood nematode population treated with LC₅₀ of five plant water extracts. The data were expressed as mean ± standard error. Compared with the control group, * indicated $P < 0.05$, ** and ## indicated $P < 0.01$.

性。束成杰等^[29]通过研究发现, 2.5 g·L⁻¹的青花椒(*Zanthoxylum schinifolium*)水提液能在4 h内完全杀灭松材线虫。Taba等^[30]发现, 将白花鬼针草(*Bidens pilosa*)水提液稀释10倍后用于处理松材线虫, 其死亡率可达92.2%。本研究发现, 高浓度(40 g·L⁻¹)水提液处理72 h后, 马缨丹、油茶、苦楝处理组的校正死亡率均在91%以上, 表明这3种植物水提液对松材线虫表现出较强的毒杀活性。

有机溶剂如乙醇、乙酸乙酯和石油醚等, 在植物活性成分提取中同样得到了广泛应用^[31]。然而, 值得注意的是, 一些研究已经表明, 与有机溶剂相比, 同一植物以水为溶剂时其对松材线虫的毒杀效果表现出更强的效力。例如, 秦丹等^[32]研究发现, 银杏(*Ginkgo biloba*)外种皮水提液在200 g·L⁻¹时对松材线虫的杀灭率均比甲醇、乙醇和丙酮的提取物高, 在48 h的校正死亡率可达100%。王猛等^[33]研究发现, 质量浓度为1.2 g·L⁻¹的夹竹桃(*Nerium oleander*)叶片水提液对松材线虫的校正死亡率高达97.1%, 高于相同质量浓度下的乙醇提取物。江奕等^[15]使用乌荑莓(*Causonis japonica*)的4种提取物(石油醚、乙酸乙酯、正丁醇、水)对松材线虫毒杀活性进行研究, 结果发现, 处理72 h时, 乌荑莓水提取物的毒杀活性最强, 校正死亡率为100%。焦宏伟等^[34]、江奕等^[15]使用质量浓度为10 g·L⁻¹的苦楝和辣蓼的乙醇提取物处理松材线虫, 48 h后苦楝和辣蓼的校正死亡率分别为24.96%和51.84%。相比之下, 本研究中相同质量浓度、处理时间的苦楝水提取物对松材线虫的毒杀活性更强, 而辣蓼水提液毒杀效果相似。在开发新型植物源杀松材线虫剂的过程中, 选择最合适的溶剂以提高其毒杀效果是一个关键步骤。基于现有研究, 可以推测, 在提取特定植物杀松材线虫活性成分时, 水作为溶剂可能具有独特优势。水作为提取溶剂不仅能够有效提取植物活性成分, 而且具有良好的环境相容性和安全性, 同时成本较低、易于获取, 是一个经济实用的选择。综上, 植物水提液在防治松材线虫方面将有广阔的应用前景, 后续可以深入研究不同植物活性成分在水中的提取效益, 进一步优化提取工艺, 这对提高杀线虫活性成分的利用效率至关重要。

本研究结果表明, 马缨丹对松材线虫展现出强大的灭杀效果, 并且能够有效地抑制其活动能

力。然而, 在影响松材线虫繁殖率方面, 马缨丹的作用略弱于苦楝。马缨丹是外来入侵物种, 在广西有着广泛的分布。其叶、枝及未成熟的果均有毒, 在防虫除虫、污染修复、药用价值等方面有一定的应用价值, 以此为杀虫植物提取材料具有很大的可行性。De Sousa等^[35]证实, 马缨丹对蜱虫(*Ixodoidea*)表现出杀灭活性。另外有研究发现, 马缨丹的提取物也可抑制腐烂茎线虫(*Ditylenchus destructor*)的活性^[36]。苦楝不仅是中草药植物, 还是常见的生物农药原料, 被誉为“天然杀虫剂”, 是制作杀虫剂的不错的选择。巨云为等^[24]用苦楝树皮和苦楝果实的乙醇提取物对松材线虫进行生物活性实验时, 发现两种提取物对松材线虫皆具很强的致死作用。徐晓莉^[37]通过植物粗提物室内杀线虫活性粗筛, 结果表明苦楝的95%乙醇粗提物对松材线虫具有强致死活性, 校正死亡率达到85%以上。于金英^[38]从苦楝内生真菌发酵液的乙酸乙酯提取物中分离得到Cytochalasin H, 该化合物对松材线虫具有显著的毒杀活性。综上所述, 马缨丹和苦楝皆可作为良好的水提液原料, 用于开发针对松材线虫的植物源药剂。且苦楝与马缨丹在自然界中资源丰富, 获取便利, 是良好的杀虫药剂, 开发应用前景广阔。后续可将二者水提液结合, 探究其是否可对松材线虫起到更好的灭杀效果。

4 结 论

本研究选取的广西5种常见植物的水提液对松材线虫表现出一定程度的毒杀活性, 但不同植物之间的毒杀效果存在显著差异。其中, 马缨丹和苦楝显示出较好的毒杀效果, 是开发松材线虫绿色防控药剂的候选原料。建议进一步优化这两种植物的提取工艺, 提高其作为新型绿色防控药剂的应用潜力。

参考文献:

- [1] 叶建仁, 吴小芹. 松材线虫病研究进展[J]. 中国森林病虫害, 2022, 41(3): 1-10.
- [2] 龙可菡. 松材线虫绿色药剂防治研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2023. doi:10.27662/d.cnki.gznlc.2023.000350.
- [3] LEE J W, MWAMULA A O, CHOI J H, et al. The potency of abamectin formulations against the pine wood

- nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*[J]. *The Plant Pathology Journal*, 2023, 39(3): 290 – 302.
- [4] 苏湘宁, 李传瑛, 廖章轩, 等. 基于性信息诱捕监测广东桔小实蝇和瓜实蝇发生动态及其对 2 种常用农药的抗药性评价[J]. *环境昆虫学报*, 2023, 45(1): 226 – 232.
- [5] 杨眉, 褚晋, 邵凌云, 等. 辽宁省不同地区水稻二化螟对阿维菌素的抗药性研究[J]. *中国稻米*, 2022, 28(6): 94 – 97.
- [6] 王瑛楠, 凌汉, 唐涛, 等. 2017—2020 年江苏省二化螟抗药性水平的监测与分析[J]. *世界农药*, 2022, 44(11): 31 – 35.
- [7] 任宗杰, 秦萌, 郭永旺, 等. 2021 年全国农业有害生物抗药性监测报告与治理对策(水稻、玉米部分)[J]. *中国植保导刊*, 2022, 42(3): 54 – 60.
- [8] 田甜, 张妍, 张友军, 等. 蒜和葱上二斑叶螨的发生为害及其抗药性监测[J]. *植物保护*, 2023, 49(4): 302 – 308.
- [9] 牛琼华, 范晓东. 马尾松毛虫抗阿维菌素种群的抗性机制及交互抗性[J]. *应用生态学报*, 2023, 34(1): 229 – 234.
- [10] 徐雪亮, 范琳娟, 吴彩云, 等. 生防微生物对植物病原线虫主要作用机制概述[J]. *南方农业学报*, 2023, 54(10): 2969 – 2977.
- [11] 蔡璞瑛, 毛绍名, 章怀云, 等. 植物源杀虫剂国内外研究进展[J]. *农药*, 2014, 53(8): 547 – 551.
- [12] 董小绮, 康兆勇, 刘胜男, 等. 新型植物源天然产物杀虫剂研究进展[J]. *农药学报*, 2023, 25(5): 969 – 989.
- [13] FENG J L, LI R G, WANG C, et al. Nematicidal phytochemicals against pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae)[J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2023, 130(2): 215 – 223.
- [14] 郭群群. 植物源杀松材线虫活性成分的分离鉴定及杀线机理研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2016.
- [15] 江奕, 陈凤毛. 喜旱莲子草与乌莓等植物提取物对松材线虫的毒杀活性研究[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2022, 46(4): 45 – 52.
- [16] FARIA J M S, BARBOSA P, VIEIRA P, et al. Phytochemicals as biopesticides against the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*: a review on essential oils and their volatiles[J]. *Plants*, 2021, 10(12): 2614.
- [17] 冯家乐. 植物源香豆素杀松材线虫活性及杀线机理研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2023. doi:10.27262/d.cnki.gqda.2023.001311.
- [18] KIM J, SEO S M, LEE S G, et al. Nematicidal activity of plant essential oils and components from coriander (*Coriandrum sativum*), Oriental sweetgum (*Liquidambar orientalis*), and valerian (*Valeriana wallichii*) essential oils against pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(16): 7316 – 7320.
- [19] NGUYEN D M C, NGUYEN V N, SEO D J, et al. Nematicidal activity of compounds extracted from medicinal plants against the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*[J]. *Nematology*, 2009, 11(6): 835 – 845.
- [20] 陆益新, 梁畴芬. 广西植物地理的基本情况和基本特征[J]. *广西植物*, 1983, 3(3): 153 – 165.
- [21] 孙骊珠, 罗兰, 袁忠林. 马缨丹提取物对黄胸散白蚁体内酶活性的影响[J]. *林业科学*, 2017, 53(5): 107 – 115.
- [22] 钱军, 杨文凤, 吕朝军, 等. 薇甘菊提取物对椰子坚蚜的生物活性[J]. *生物安全学报*, 2015, 24(3): 238 – 240.
- [23] 宋程飞, 冯雪梦, 王志宇, 等. 四种非寄主植物精油对小菜蛾的生物活性[J]. *植物保护学报*, 2022, 49(2): 671 – 682.
- [24] 巨云为, 毕庆泗, 赵博光. 苦楝提取物对松材线虫的致死活性[J]. *林业科技开发*, 2002(5): 26 – 27.
- [25] 刘泽文, 王伟, 黄永芳, 等. 油茶果壳提取物及其生物活性[J]. *经济林研究*, 2022, 40(3): 259 – 264.
- [26] 刘慧琳, 周立峰, 郭恺, 等. 松材线虫交配特性研究[J]. *北京林业大学学报*, 2023, 45(6): 82 – 89.
- [27] 倪安顺, 王永春, 杨丹, 等. 一种新型复配药剂 2% 阿维菌素·6% 氟吡菌酰胺对松材线虫毒力药效[J]. *林业科学*, 2022, 58(8): 18 – 25.
- [28] 程乐. 反式-2-己烯醛对松材线虫生长、繁殖和行为的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [29] 束成杰, 张孟丽, 赵孔发, 等. 青花椒水提物及精油对松材线虫的防治探究[J]. *中国野生植物资源*, 2019, 38(2): 11 – 15.
- [30] TABA S, ASHIKAGA K, OOHAMA T, et al. *Bidens pilosa* extract effects on pine wilt: causal agents and their natural enemies[J]. *Forest Science*, 2020, 66(3): 284 – 290.
- [31] 翁群芳, 钟国华, 丘麒, 等. 28 种植物提取物对松材线虫的毒杀作用[J]. *华中农业大学学报*, 2005, 24(5): 459 – 464.
- [32] 秦丹, 付迎康, 杜志雯. 银杏叶和银杏外种皮提取液对松材线虫的毒杀作用[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(6): 1697 – 1698.
- [33] 王猛, 曹福祥, 滕涛. 夹竹桃提取物对松材线虫致死性的研究[J]. *湖南林业科技*, 2006, 33(3): 7 – 8.
- [34] 焦宏伟, 张璐, 赵宝华, 等. 36 种中草药提取物杀松材线虫活性研究[J]. *中国生物防治学报*, 2014, 30(2): 239 – 246.
- [35] DE SOUSA E O, DA SILVA LIMA A, LOPES S G, et al. Chemical composition and acaricidal activity of *Lantana camara* L. and *Lantana montevidensis* Briq. essential oils on the tick *Rhipicephalus microplus*[J]. *Journal of Essential Oil Research*, 2020, 32(4): 316 –

- 322.
- [36] 梅焱. 马铃薯腐烂茎线虫病害的发生及其防治措施[J]. 农家参谋, 2021(16): 69–70.
- [37] 徐晓莉. 茶籽粗提物杀线虫活性初步研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
- [38] 于金英. 苦楝内生真菌杀松材线虫活性成分的分离鉴定及其作用机制[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2023. doi:10.27786/d.cnki.gzjlg.2023.000662.

The toxic effect of water extracts from five plants on the *Bursaphelenchus xylophilus*

ZHANG Yuhua^{1#}, HE Ziting¹, LUO Dun², ZHONG Xianlong¹, LI Keyi¹, MENG Lihua¹, HU Ping^{1*}

(1. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory for Cultivation and Utilization of Subtropical Forest Plantation, School of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004 China; 2. Guangxistate-Owned Bobai Forest Farm, Yulin, Guangxi 537600 China)

Abstract: Pine wilt disease, caused by *Bursaphelenchus xylophilus*, has done significant damage to pine forests. The trunk injection method is a new way to prevent and control *B. xylophilus*. It is urgent to develop new prevention and control agents that can slow down *B. xylophilus*'s resistance to existing insecticides. Plant-derived natural active substances are a promising option as they have a strong toxic effect on *B. xylophilus*. This study selected five common plants (*Mikania micrantha*, *Lantana camara*, *Camellia oleifera*, *Melia azedarach*, and *Polygonum hydropiper*) in the Guangxi Zhuang Autonomous Region to obtain their water extracts. The study investigated the toxic effects of these extracts on *B. xylophilus* using an immersion method and analyzed their impact on *B. xylophilus*'s activity and reproductive capabilities. The results showed that the water extracts from all five plants had some toxic effect on *B. xylophilus*. Specifically, *Lantana camara* achieved a corrected mortality rate of 95.05% after 72 hours of treatment at a concentration of 40 g·L⁻¹. *Lantana camara* exhibited the strongest inhibition of *B. xylophilus*'s activity, while *Melia azedarach* showed the strongest inhibition of *B. xylophilus*'s reproductive capability. Research results indicate that *Lantana camara* and *Melia azedarach* can be used to serve as potential materials for developing green control agents against *B. xylophilus*.

Keywords: *Bursaphelenchus xylophilus*; Impregnation method; Green pest control; *Lantana camara*; *Melia azedarach*

(责任编辑: 邹游兴)