

密粘褶菌松木粉培养物对黑翅土白蚁的生物活性*

丁 芳^{1**} 嵇保中^{1***} 刘曙雯^{2***} 张新慰¹ 杨锦锦¹
赵正萍¹ 王丽平¹ 王亚召¹

(1. 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学林学院, 南京 210037; 2. 南京中山陵园管理局, 南京 210014)

摘 要 【目的】研究密粘褶菌 *Gloeophyllum trabeum* (Pers.:Fr.) Murr 松木粉培养物对黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* (Shiraki) 的生物活性。【方法】比较了密粘褶菌松木粉培养物不同溶剂提取液对采食工蚁的踪迹和引诱活性, 研究不同浓度正己烷和乙酸乙酯提取液的引诱活性变化。【结果】正己烷提取液表现出高引诱活性和踪迹活性, 乙酸乙酯、三氯甲烷、丙酮提取液具有高引诱活性和较低踪迹活性, 甲醇、乙醇提取液表现出较高踪迹活性和较低引诱活性。正己烷提取液浓度与趋性反应率的回归方程为 $y = 12.561\ln(x) + 50.11$; 乙酸乙酯提取液浓度与趋性反应率的回归方程为 $y = 12.161\ln(x) + 51.411$ 。

【结论】密粘褶菌松木粉培养物对黑翅土白蚁采食工蚁具有明显的踪迹和引诱活性。正己烷和甲醇提取液的踪迹活性最强, 乙酸乙酯和正己烷提取液的引诱活性最强。正己烷和乙酸乙酯提取液对采食工蚁的引诱活性具有很好的浓度相关性。

关键词 密粘褶菌, 黑翅土白蚁, 引诱活性物质, 踪迹活性物质, 提取液

The biological activity of pine wood powder infected with *Gloeophyllum trabeum* on *Odontotermes formosanus* (Shiraki)

DING Fang^{1**} JI Bao-Zhong^{1***} LIU Shu-Wen^{2***} ZHANG Xin-Wei¹ YANG Jin-Jin¹
ZHAO Zheng-Ping¹ WANG Li-Ping¹ WANG Ya-Zhao¹

(1. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. The Administration Bureau of Dr. Sun Yat-sen's Mausoleum, Nanjing 210014, China)

Abstract [Objectives] To study the attractivness of pine wood powder infected with *Gloeophyllum trabeum* (Pers.:Fr.) Murr to *Odontotermes formosanus* (Shiraki). [Methods] The attractivness of extracts of pine wood powder infected with *G. trabeum*, and extracted with different solvents, to *O. formosanus*, was compared. Both general attractivness and the rate of scent-trail following were assessed for each solvent. The effect of different concentrations of n-hexane and ethyl acetate extracting solutions on the attractivness of extracts was also studied. [Results] n-hexane ranked highly in both general attractivness and scent-trail following, whereas ethyl acetate, trichloromethane and acetone extracting solutions ranked highly in attractivness but low in scent-trail following. Conversely, methanol and ethanol extracting solutions ranked high in scent-trail following but low in attractivness. The linear relationship between n-hexane extracting solution concentration and scent-trail following rate can be expressed by the regression equation $y = 12.561\ln(x) + 50.11$, and that between ethyl acetate extracting solution concentration and scent-trail following rate by $y = 12.161\ln(x) + 51.411$. [Conclusion] Pine wood powder

* 资助项目 Supported projects :高等学校博士学科点专项科研基金项目(20123204110001);江苏省自然科学基金项目(BK2012816);南京市建委、中山陵园管理局资助课题(200409);江苏省高校优势学科建设工程资助项目;南京林业大学南方现代林业协同创新中心资助项目

**第一作者 First author, E-mail: dingfang1992@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: jbz9885@njfu.edu.cn; liushuwen2006@163.com

收稿日期 Received: 2015-01-30, 接受日期 Accepted: 2015-03-20

infected by *G. trabeum* is attractive to *O. formosanus*. n-hexane and methanol extracting solutions ranked highly in terms of scent-trail following and general attractiveness. There was a good correlation between the concentration of n-hexane and ethyl acetate extracting solutions and their attractiveness to *O. formosanus*.

Key words *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill, *Odontotermes formosanus* (Shiraki), attractive substance, trail-following substance, extracting solution

毒饵诱杀技术具有效果好、操作简便、成本低廉等优点, 已经成为白蚁监测和防治的重要措施。自 Hendee (1935) 发现大多数食木白蚁偏爱真菌腐朽木后, 已有较多研究表明黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* (Shiraki)、黄翅大白蚁 *Macrotermes barneyi* (Light)、黄胸散白蚁 *Reticulitermes speratus* (Rolbe)、台湾乳白蚁 *Coptotermes formosanus* (Shiraki) 等喜食密粘褶菌 *Gloeophyllum trabeum* (Pers.:Fr.) Murr 感染的木材或人工培养物 (Esenther *et al.*, 1961; Lund, 1962; 高道蓉等, 1987; 李秋剑等, 2007; 徐正刚, 2013)。在毒饵中加入密粘褶菌培养物或者直接利用培养物作饵料可增加引诱效果, 并在白蚁防治工作中得到广泛利用 (罗钧泽等, 1988a, 1988b; Kirker *et al.*, 2012)。进一步研究表明, 密粘褶菌培养物中含有的 (Z, Z, E)-3, 6, 8-十二碳三烯-1-醇, 属于鼻白蚁科白蚁常见的踪迹信息素成分 (Ohmura *et al.*, 1995)。另一些研究则认为密粘褶菌培养物中还含有引诱活性成分, 与踪迹活性成分明显区别 (韩美贞和严峰, 1980; Su, 2005)。但密粘褶菌培养物对白蚁的引诱活性尚缺乏系统研究报道, 其成分也未得到鉴定。

黑翅土白蚁是危害树木最严重的种类之一, 在国内 21 省区和东南亚均有分布, 是危害堤坝、树木、建筑等的重要害虫。已有研究表明密粘褶菌培养物对黑翅土白蚁具有踪迹活性 (杜桐源等, 1982; 罗钧泽等, 1988a, 1988b), 但密粘褶菌培养物对黑翅土白蚁的引诱活性尚未见系统研究报道。本文采用不同溶剂提取密粘褶菌松木粉培养物, 测定不同提取液对黑翅土白蚁采食工蚁的踪迹和引诱活性。在此基础上, 选择引诱活性较强的提取液, 系统测定其浓度效应, 从而进一步明确其引诱活性, 同时提取溶剂种类和条件, 以作为进一步研究和应用的参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试昆虫 2014 年 9 月于南京林业大学北大山树木园, 采集在樟树 *Cinnamomum camphora* 树干表面泥被下采食的黑翅土白蚁工蚁, 剥除部分下部的泥被, 用底部衬有湿滤纸的培养皿收集破损处出现的工蚁个体。在实验室内将工蚁置于底部衬有湿滤纸的培养皿内, 25℃、相对湿度 75%、黑暗环境下静置, 时间不短于 12 h。在此期间培养皿内滴加水分以保持滤纸润湿, 剔除伤残个体。实验时, 选择健壮个体供试。

1.1.2 供试真菌及其培养 密粘褶菌 *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill 购自中国科学院普通微生物菌种保藏管理中心。将购买获得的菌种在无菌操作条件下接种到 PDA 斜面培养基上, 26℃ 培养 14 d 活化; 从斜面挑取菌丝接种于 PDA 平板, 26℃ 培养 14 d, 待菌丝长满整个培养皿时, 用作木粉培养基的接种源。

松木粉培养物制作: 松木粉 150 g, 放入塑料袋 (12 cm × 28 cm) 内, 灭菌处理 (125℃, 0.15 MPa, 1 h)。从平板培养基上挑取密粘褶菌菌丝约 0.75 g 加入含有无菌水的三角瓶中, 振动混匀, 定容至 300 mL 后, 将菌丝溶液加入松木粉培养基内, 25℃ 培养 6 周, 室内风干备用。

1.2 方法

1.2.1 松木粉培养物提取液制备 分别称取适量的干燥的松木粉培养物 7 份, 每份约 10 g, 装入 250 mL 三角瓶, 分别加入 99.5% 乙酸乙酯 (国药集团化学试剂有限公司)、95% 正己烷 (天津市科密欧化学试剂有限公司)、99% 三氯甲烷 (上海凌峰化学试剂有限公司)、99.7% 乙醇 (上海久亿化学试剂有限公司)、99.5% 丙酮 (上海中试化

工总公司)、99.5%甲醇(上海殷祥生物科技有限公司)、蒸馏水约 100 mL。溶剂与培养物的用量按每毫升溶剂 0.1 g 松木粉的比例校正。提取瓶 25℃振荡 3h, 过滤, 获得不同溶剂提取液, 4℃条件下保存备用。

1.2.2 提取液浓度梯度制备 根据 1.2.1 提取液引诱活性生测结果, 选择较高活性处理组的提取液作为浓度梯度制备的母液。稀释液制备: 分别取母液 1 mL 加入相应溶剂 1、2、3、4 mL, 获得不同浓度的稀释液。浓缩液制备: 按每毫升母液加 0.1 g 松木粉培养物的比例提取获得 2 次提取液; 再以 2 次提取液为溶剂, 按相同比例提取获得 3 次提取液。如此, 分别获得 4、5 次提取液。上述稀释液、浓缩液制备后, 4℃条件下密封保存备用。

1.2.3 提取液示踪活性测定 用铅笔在直径为 11.0 cm 的定量滤纸上画出 4 点: 中心及 3 个端点, 呈 Y 形, 中心点到各端点距离为 5 cm, Y 形主干末端为基端, 两侧支顶端为臂端, 三者夹角均为 120°。跟踪行为生物测定前, 用微量进样器吸取 5 μL 提取液, 沿基端至一条臂端上划线作为样品线。划线时, 将直角尺一边与所需划线的一端平行放置, 将吸取好全量程样品的微量进样器紧靠在直角尺边, 针头置于 Y 形 3 臂的中心点, 沿中心点向基端划一线(提取液用量 5 μL)。另吸取 5 μL, 沿中心点向一条侧臂的端点划线。另一条侧臂用同样规格的另一支微量进样器划空白有机溶剂线为对照线。为提高反应强度, 上述划线过程分别重复 4 次。划好样品线的滤纸置于下方垫有减振海绵的玻璃板上, 喷洒蒸馏水润湿滤纸。将一侧开口的培养皿(Ø3.5 cm, 高 1.3 cm)作为等候室倒扣于滤纸主干线上, 使侧壁的缺口(Ø3.0 mm)距 Y 形中心点 3.0 cm。测试前将经过室内静置处理的工蚁置于培养皿中稳定 2 h, 室温下(25±1)℃进行生测试验。每种溶剂的提取液重复 5 次, 每次 2 组, 每组放入健壮工蚁 10 头。待测工蚁放入等候室后, 以玻璃罩(Ø15.5 cm, 高 2.5 cm)覆盖整个检测系统以减少干扰。测试工蚁和滤纸均不重复使用。

观察工蚁从等候室缺口爬出后是否沿样品线爬行以及爬行距离判断选择反应。以下行为均视为无踪迹反应: (1) 以等候室缺口为起点, 不沿样品线爬行或沿样品线前行距离不足 3.0 cm (未达中心点); (2) 沿样品线爬行超过 Y 形中心点后不选择样品臂前行; (3) 爬行超过 Y 形中心点后, 选择样品臂前行, 但距离<3 cm。即只有当供试工蚁从等候室缺口爬出后沿样品线前行超过中点, 并选择样品侧臂前行超过 3 cm, 方视为有踪迹反应。按下式计算踪迹反应率和选择系数(张红兵等, 2005):

踪迹反应率 (%) =

$$\frac{\text{对样品线有踪迹反应的虫数量}}{\text{测试虫总数量}} \times 100,$$

选择系数 =

$$\frac{\text{对样品线有踪迹反应的虫数量} - \text{对对照线有踪迹反应的虫数量}}{\text{对样品线有踪迹反应的虫数量} + \text{对对照线有踪迹反应的虫数量}}$$

选择系数大于 0, 表示该溶剂提取物对工蚁的示踪活性高于空白有机溶剂; 选择系数若小于 0, 则表示工蚁对该提取物有趋避反应。

1.2.4 提取液引诱活性测定 Y 形嗅觉仪规格: 主臂管长 10 cm, 两侧臂管各长 15 cm, 侧臂间夹角为 45°, 主、侧臂管内径 1 cm。管道内壁下侧及交叉处采用标准磨口制成, 使内壁下侧形成毛面便于工蚁爬行。两侧臂分别与 10 mL 味源瓶相连。以气体采样仪作为气流动力系统, 在气流进入味源瓶之前, 先经过活性炭过滤器和蒸馏水瓶, 以净化空气和调节空气湿度, 各部分之间用 Teflon 管连接。

引诱活性测定: 用滤纸片(2.7 cm × 0.8 cm)浸泡提取液(对照组完全浸入空白溶剂中), 浸泡 5 min 后取出, 置于空气中 2 min, 待有机溶剂完全挥发后放入样品味源瓶中, 对照味源中加入被有机溶剂处理的滤纸。打开气体采样仪供气, 调整流量计保证气流稳定, 气流流速 300 mL/min/臂。供试工蚁从 Y 形管主臂管口引入, 当其处于主臂长 1/2 处开始计时, 观察记录工蚁 5 min 内对气味源的行为反应。工蚁爬过侧臂 1/3 距离以上, 视为对该臂味源做出选择; 引入 5 min

仍不做出选择则结束观察,记为不反应。不同溶剂提取液重复 5 次,每次 2 组,每组接入健壮工蚁 10 头,记录味源侧臂和对照侧臂中工蚁数量。每测一次更换一洁净的 Y 形管,每 5 次调换味源的位置。更换后的 Y 形管、Telfon 管及味源瓶用 95%乙醇彻底清洗,150℃高温烘干,晾至常温。同法检测不同浓度提取液对工蚁的引诱活性。按下式计算反应率和选择系数:

$$\text{趋性反应率 (\%)} = \frac{\text{味源侧臂中虫数量}}{\text{测试虫总数量}} \times 100,$$
$$\text{选择系数} = \frac{\text{味源侧臂中虫数量} - \text{对照侧臂中虫数量}}{\text{味源侧臂中虫数量} + \text{对照侧臂中虫数量}}。$$

选择系数大于 0,表示工蚁对该提取物有趋性,数值越大,表示趋性越强,最大值为 1;选择系数若小于 0,则表示工蚁对该提取物有负趋性。

1.3 数据统计与分析

活性测定数据结果采用 SPSS 19.0 和 Microsoft Excel 2010 统计软件处理分析,显著性分析采用单因素方差分析和 Duncan’s 多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同溶剂提取液对黑翅土白蚁踪迹活性

表 1 显示黑翅土白蚁采食工蚁对密粘褶菌松木粉培养物不同溶剂提取液的踪迹反应。结果表明,不论采用何种溶剂提取,多数供试工蚁均明显选择样品臂。除乙醇、丙酮提取液外,其余 5 种均超过参与选择反应个体数量的 90%,但不同溶剂处理间选择系数均没有显著差异。黑翅土白蚁采食工蚁对不同溶剂提取液踪迹反应率则存在较大差别,踪迹反应率大小顺序:正己烷>甲醇>乙醇>三氯甲烷>乙酸乙酯>丙酮>蒸馏水。其中正己烷和甲醇提取液的踪迹反应率最强(>50%);乙醇提取液次之(>40%);三氯甲烷、乙酸乙酯、丙酮提取液略差(>30%);蒸馏水活性最低(>20%)。显著性检验:正己烷和甲醇提取液之间差异不显著,它们与其他 5 种溶剂提取

液差异极显著;乙醇提取液与其他处理间差异均达到极显著水平;三氯甲烷、乙酸乙酯、丙酮提取液间差异不显著;蒸馏水提取液与其他处理均达到极显著水平。

表 1 不同溶剂提取液对黑翅土白蚁采食工蚁踪迹活性
Table 1 The trail-following activity of the different solvents extracting solutions on foragers *Odontotermes formosanus*

溶剂 Solvent	踪迹反应率 (%) The trail-following reaction rate (%)	选择系数 Selection coefficient
乙酸乙酯 Ethyl acetate	35.00±3.53aA	0.91±0.13aA
正己烷 N-hexane	56.00±4.18bB	0.94±0.08aA
三氯甲烷 Trichloromethane	36.00±4.18aA	0.96±0.10aA
乙醇 Ethanol	43.00±5.70cC	0.88±0.11aA
丙酮 Acetone	32.00±2.74aA	0.80±0.19aA
甲醇 Methanol	54.00±4.18bB	0.97±0.08aA
蒸馏水 Distilled water	24.00±2.24dD	0.93±0.15aA

表中数据为平均值±标准差,同列数据后标有不同字母表示差异显著,小写字母表示 0.05 水平上的差异显著,大写字母表示 0.01 水平上的差异显著。下表同。
The data in the table are mean±SD and followed by the different small or capital letters in the same column show significant difference at the 0.05 or 0.01 level, respectively. The same below.

2.2 不同溶剂提取液对黑翅土白蚁引诱活性

密粘褶菌松木粉培养物不同溶剂提取液对黑翅土白蚁采食工蚁的引诱活性如表 2。不同溶剂提取液对采食工蚁的趋性反应率由大到小排列:乙酸乙酯>三氯甲烷>正己烷>丙酮>甲醇>蒸馏水>乙醇。虽然乙酸乙酯、正己烷和三氯甲烷提取液对工蚁的趋性反应率差异不显著,但工蚁对三氯甲烷提取液的选择系数显著低于乙酸乙酯和正己烷提取液。丙酮、甲醇提取液表现出较高的趋性反应率,但选择系数较低。

综合表 1、表 2 的结果,正己烷提取液表现出高的引诱活性和踪迹活性;乙酸乙酯、三氯甲烷、丙酮提取液表现出高的引诱活性和较低的踪

表 2 不同溶剂提取液对黑翅土白蚁采食工蚁的
引诱活性

Table 2 The attractive activity of the different solvents
extracting solutions on foragers *Odontotermes*
formosanus

溶剂 Solvent	趋性反应率 (%) The tropism reaction rate (%)	选择系数 Selection coefficient
乙酸乙酯 Ethyl acetate	66.00±6.52aA	0.83±0.04bA
正己烷 N-hexane	62.00±4.47aAB	0.94±0.08aA
三氯甲烷 Trichloromethane	62.00±5.70aAB	0.55±0.04dBC
乙醇 Ethanol	38.00±5.70dD	0.66±0.07cB
丙酮 Acetone	52.00±10.37bBC	0.53±0.04dC
甲醇 Methanol	49.00±7.42bcCD	0.48±0.11dC
蒸馏水 Distilled water	41.00±6.52cdCD	0.17±0.06eD

迹活性；甲醇、乙醇提取液表现出较高的踪迹活性和较低的引诱活性；上述 7 种试剂虽然极性不同，但提取物均表现出程度不同的踪迹和引诱活性。

2.3 正己烷提取液对工蚁引诱活性的浓度梯度

根据 2.2 测定结果，选择引诱活性较强的正己烷为对象，进一步研究提取液浓度对引诱活性的影响。稀释液和浓缩液制备方法见 1.2.2，共获得 9 种浓度的提取液。以 1.2.1 方法和用量制备的提取液（母液）的浓度为 1 个单位（Concentration unit, CU），经稀释获得的稀释液浓度分别为 0.50、0.33、0.25、0.20 CU，浓缩液浓度分别为 2.00、3.00、4.00、5.00 CU。分别测定各浓度正己烷提取液的趋性反应率，分析浓度-反应率相关性如图 1。工蚁的趋性反应率与提取液浓度之间有很好的相关性，回归方程为 $y = 12.561\ln(x) + 50.11$ ，相关系数 $R^2 = 0.7746$ 。随着正己烷提取液浓度的不断升高，对工蚁的引诱活性（趋性反应率）大致呈上升趋势，浓度为 0.25 CU 时引诱活性最低，当浓度从 0.25 CU 升高到 0.33 CU 时，工蚁对提取液选择反应率从 17%上

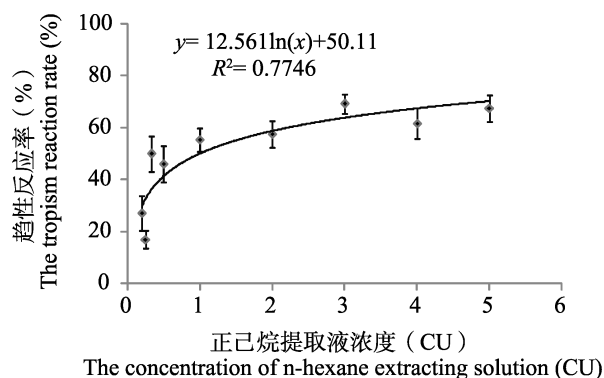


图 1 不同浓度正己烷提取液对黑翅土白蚁采食
工蚁的引诱活性

Fig. 1 The attractive activity of the different
concentration of n-hexane extracting solution on
foragers *Odontotermes formosanus*

图中的误差线为正负一个标准差。下图同。

The error bars are plus or minus one standard deviation.
The same below.

升至 50%，提取液对工蚁的引诱活性大幅度上升，且上升速度最快。浓度升至 0.33 CU 后，随着浓度的增加，引诱活性增强幅度不明显，其中工蚁对正己烷提取液的最佳反应浓度为 3.00 CU，随着浓度的增加，工蚁的趋性反应率大致维持动态平衡。

2.4 乙酸乙酯提取液对工蚁引诱活性的浓度梯度

以引诱活性最强的乙酸乙酯为对象，研究提取液浓度对引诱活性的影响，其浓度单位设定和配制同 2.3。分别测定各浓度乙酸乙酯提取液的趋性反应率，分析浓度-反应率相关性如图 2。工蚁的趋性反应率与提取液浓度间回归方程为 $y = 12.161\ln(x) + 51.411$ ，相关系数 $R^2 = 0.8144$ ，略高于正己烷。随着提取物浓度的提高，工蚁的选择反应率呈上升趋势。0.20 CU 时，工蚁的趋性反应率最低，当浓度从 0.20 CU 升至 1.00 CU 时，趋性反应率上升速度最快，0.25 CU 提取液对工蚁的引诱活性显著高于 0.20 CU 提取液，1.00 CU 提取液对工蚁的引诱活性显著高于 0.50 CU 提取液。当浓度上升至 1.00 CU 后，上升趋势明显减缓。其中乙酸乙酯提取液浓度为 4.00 CU 时，工蚁的趋性反应率最高。

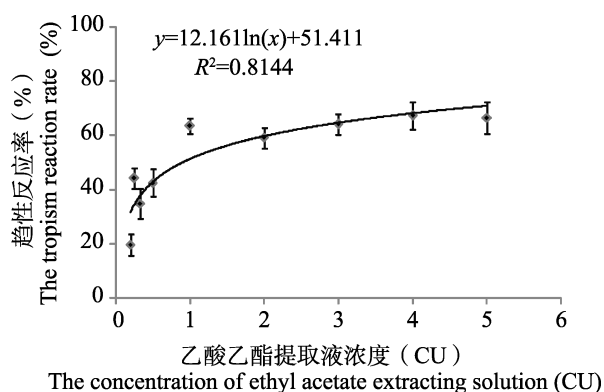


图 2 不同浓度乙酸乙酯提取液对黑翅土白蚁采食工蚁的引诱活性

Fig. 2 The attractive activity of the different concentration of ethyl acetate extracting solution on foragers *Odontotermes formosanus*

3 讨论

划线法是白蚁踪迹信息活性生物测定的常用方法,一般根据供试个体是否跟踪爬行以及爬行距离判断供试物的活性(韩美贞和严峰,1980; Grace and Wilcox, 1988; 何复梅等, 1997; 余春仁等, 1999; 邓晓军等, 2002)。本试验采用的 Y 形线法,其判断标准要求供试工蚁循迹爬行、在两臂间做出正确选择、并继续沿样品线行进一段距离,与同类研究比较,这是一个较高规格的判断标准。上述方法和标准是在多次预实验的基础上逐渐形成的,为保证实验的灵敏度,我们将常用的样品液 1 次划线改为重复 4 次划线,明显提高了实验精度。应用 Y 形嗅觉仪进行引诱活性生测,一般是将供试昆虫引入 Y 形管主干,一段时间后观察统计两侧臂中的虫体数量,判断其引诱活性强弱(Cornelius *et al.*, 2002; 张红兵等, 2005; 王勇等, 2008; 路常宽等, 2009)。本试验以工蚁爬过侧臂 1/3 距离作为引诱活性判定标准,适时观察采集数据,能更直观地观察工蚁的选择情况。

许多报道表明密粘褶菌侵染的木块或木粉培养物对白蚁具有引诱效果,并已经应用于白蚁毒饵防治(罗钧泽等, 1988a, 1988b; Kirker *et al.*, 2012)。本文研究表明,密粘褶菌松木粉培养物

对黑翅土白蚁采食工蚁具有较高的踪迹和引诱活性。甲醇和正己烷提取踪迹活性组分效果较好,乙酸乙酯和正己烷提取引诱活性组分效果较好。不同浓度提取液生物测定表明,正己烷提取液引诱活性上升区间为 0.25 CU 至 0.33 CU,乙酸乙酯提取液引诱活性上升区间为 0.20 CU 至 1.00 CU。提取液浓度与引诱活性之间具有良好相关性。本文研究也发现,采用极性不同的溶剂所获得的提取液,虽然在引诱活性的趋性反应率、选择系数、踪迹反应率方面存在一定差异,但在踪迹活性的选择系数方面没有显著差异。虽然总体上有机溶剂提取液踪迹和引诱活性较高,但极性较强的其他试剂(包括蒸馏水)获得的提取液也呈现一定活性,一些同类研究也报道过类似结果(Esenter *et al.*, 1961; 杜桐源等, 1982; Cornelius *et al.*, 2002),其原因可能与采用直接浸泡提取获得的粗提物,组分较为混杂,没有进行层析纯化等试验操作有关。在进一步研究中,可利用层析洗脱等措施,分离纯化提取液组分,结合生物测定和仪器分析,以便鉴定不同活性物质的化学成分。

参考文献 (References)

- Cornelius ML, Daigle DJ, Connick J, Parker A, Wunch K, 2002. Responses of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae) to three types of wood rot fungi cultured on different substrates. *Journal of Economic Entomology*, 95(1): 121–128.
- Deng XJ, Zhang JM, Hu JF, Yang J, Hu YY, Zheng Q, 2002. Biological activity of a synthetic trail-pheromone analogue of the black-winged subterranean termite, *Odontotermes formosanus*. *Acta Entomologica Sinica*, 45(6): 739–742. [邓晓军, 张珈敏, 胡建芳, 杨娟, 胡远杨, 郑穹, 2002. 合成黑翅土白蚁踪迹信息素类似物的生物活性. *昆虫学报*, 45(6): 739–742.]
- Du TY, Luo JZ, Tang ML, Chen MY, 1982. On the trail-following substance of black-winged subterranean termite *Odontotermes formosanus* (Shiraki). *Acta Entomologica Sinica*, 25(2): 172–177. [杜桐源, 罗钧泽, 汤敏玲, 陈梅英, 1982. 黑翅土白蚁的跟踪信息素. *昆虫学报*, 25(2): 172–177.]
- Esenter GR, Allen TC, Casida JE, Shenefelt RD, 1961. Termite attractant from fungus-infected wood. *Science*, 134(3471): 50.
- Gao DR, Zhu BZ, Wang LZ, Xue YC, 1987. The selection on the

- attraction of different edible fungi on termites. *Zoological Research*, 8(3): 303–309. [高道蓉, 朱本忠, 王立中, 薛贻琛, 1987. 引诱白蚁的食用菌腐朽物的筛选. 动物学研究, 8(3): 303–309.]
- Grace JK, Wilcox WW, 1988. Isolation and trail-following bioassay of a decay fungus associated with *Reticulitermes hesperus* banks (Isoptera: Rhinotermitidae). *Pan-pacific Entomologist*, 64(3): 243–249.
- Han MZ, Yan F, 1980. The preliminary study of the activity comparison of termite trail-pheromone and its analogue. *Acta Entomologica Sinica*, 23(3): 260–264. [韩美贞, 严峰, 1980. 白蚁跟踪信息素及其类似物的活性比较试验初报. 昆虫学报, 23(3): 260–264.]
- He FM, Dai ZR, Liang JY, Huang ZY, Li L, Xia CG, Zhong JH, 1997. Studies on using analogue of trail pheromone in *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Natural Enemies of Insects*, 19(2): 70–74. [何复梅, 戴自荣, 梁锦英, 黄珍友, 李理, 夏传国, 钟俊鸿, 1997. 家白蚁跟踪信息素类似物及其利用研究. 昆虫天敌, 19(2): 70–74.]
- Hendee EC, 1935. The role of fungi in the diet of the common damp-wood termite, *Zootermopsis angusticollis*. *Hilgardia*, 9: 499–525.
- Kirker GT, Wagner TL, Diehl SV, 2012. Relationship between wood-inhabiting fungi and *Reticulitermes* spp. in four forest habitats of northeastern Mississippi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 72: 18–25.
- Li QJ, Zhong JH, Liu BR, 2007. The effect of the wood-decay fungi on feeding preference of *Coptotermes formosanus*. *Natural Enemies of Insects*, 29(3): 112, 113–117. [李秋剑, 钟俊鸿, 刘炳荣, 2007. 木腐菌对台湾乳白蚁取食偏好性的影响. 昆虫天敌, 29(3): 112, 113–117.]
- Lu CK, Wang QQ, Zhang JS, Zhao TD, 2009. Electroantennographic and behavioral responses of *Proagopertha lucidula* (Coleoptera: Scarabaeidae) to plant volatiles. *Acta Entomologica Sinica*, 52(12): 1379–1384. [路常宽, 王晓勤, 张巨山, 赵铁栋, 2009. 苹毛丽金龟对植物挥发物成分的触角电位及行为反应. 昆虫学报, 52(12): 1379–1384.]
- Lund AE, 1962. Subterraneans and their environment-new concepts of termite ecology. *Pest Control*, 30(2): 30–34, 36, 60–61.
- Luo JZ, He FM, Lv J, Zheng ZL, Deng XL, Du TY, 1988a. The use of trail-pheromone analogue of termite (I) The behavior response of *Odontotermes formosanus* to trail-pheromone and its analogue. *Natural Enemies of Insects*, 10(4): 205–213. [罗钧泽, 何复梅, 吕筠, 郑壮良, 邓秀莲, 杜桐源, 1988a. 白蚁跟踪信息素类似物的利用(I)黑翅土白蚁对跟踪信息素及其类似物的行为反应. 昆虫天敌, 10(4): 205–213.]
- Luo JZ, He FM, Lv J, Zheng ZL, Deng XL, Du TY, 1988b. The use of trail-pheromone analogue of termite (II) Traps subterranean termites in dykes and dams and termites on forest trees. *Natural Enemies of Insects*, 10(4): 214–221. [罗钧泽, 何复梅, 吕筠, 郑壮良, 邓秀莲, 杜桐源, 1988b. 白蚁跟踪信息素类似物的利用(II)诱杀堤坝白蚁和林木白蚁. 昆虫天敌, 10(4): 214–221.]
- Ohmura W, Tokoro M, Tsunoda K, 1995. Termite trail following substances produced by brown-rot fungi. *Materials and Organisms*, 29(2): 133–146.
- She CR, Pan RY, Xie XM, Yuan RF, 1999. Biological activity of crude extracts from trace pheromone of *Coptotermes formosanus* and its application. *Entomological Knowledge*, 36(2): 91–94. [余春仁, 潘蓉英, 谢雪梅, 原瑞芬, 1999. 台湾乳白蚁跟踪信息素粗提液活性与应用研究. 昆虫知识, 36(2): 91–94.]
- Su NY, 2005. Directional change in tunneling of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) in response to decayed wood attractants. *Journal of Economic Entomology*, 98(2): 471–475.
- Wang Y, Xiao TG, He Z, Ge F, 2008. Effects of masson pine volatiles on olfactory and parasitic behavior of *Trichogramma dendrolimi*. *Entomological Knowledge*, 45(6): 944–949. [王勇, 肖铁光, 何忠, 戈峰, 2008. 马尾松树针叶挥发性化学物质对松毛虫赤眼蜂嗅觉及寄生行为的影响. 昆虫知识, 45(6): 944–949.]
- Xu ZG, 2013. Study on feeding preferences of *Reticulitermes flaviceps* for *Pinus massoniana* wood flour treated with different wood-rotting fungi. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 24(6): 544–548. [徐正刚, 2013. 黄胸散白蚁对不同木腐菌处理松木粉的偏好性研究. 中国媒介生物学及控制杂志, 24(6): 544–548.]
- Zhang HB, Li XY, Dai HG, Zhou QJ, 2005. The olfactory responses of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flaviceps* to three baited insecticides. *Entomological Knowledge*, 42(3): 298–301. [张红兵, 李小鹰, 戴华国, 周秋君, 2005. 台湾乳白蚁和黄胸散白蚁对三种饵剂的嗅觉行为反应. 昆虫知识, 42(3): 298–301.]