

松褐天牛植物源引诱剂研究进展

陈元生¹, 李方兴², 温德华¹

(1. 江西环境工程职业学院, 江西 赣州 341000; 2. 江西省林业科技推广总站, 江西 南昌 330046)

摘要: 目前国内外控制松材线虫病的关键是控制其传播媒介松褐天牛, 成虫期是防治松褐天牛的最佳时期, 利用引诱剂防治松褐天牛成虫是一种有效的防治措施。系统介绍了引诱松褐天牛的松树主要挥发性物质、我国植物源引诱剂的种类及研究进展、影响引诱效果的因素, 重点阐述了各型引诱剂的使用及综合利用情况, 并对今后引诱剂的研究与利用提出了几点建议。

关键词: 松褐天牛; 松材线虫; 引诱剂; 萜烯; 应用

中图分类号: S763.38 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)04-0005-06

Review of Research on Attractant from Plants to *Monochamus alternatus* Hope

CHEN Yuan-sheng¹, LI Fang-xing², WEN De-hua¹

(1. Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou 341000, China;
2. Jiangxi Forestry Science and Technology Extension Station, Nanchang 330046, China)

Abstract: Currently, the key to control the pine wilt disease is control of its media *Monochamus alternatus*. The adult stage is the best control period of *M. alternatus*, and use of attractants to control it is a valid method. This paper systematically describes volatile compounds from host pines attracting the beetles, the types and research advance of attractants from host plants in China, and the factors affecting the effects of attractants, and focuses on practical usage and integrated application of various attractants. And the paper makes a few suggestions for future research and utilization of attractants to the beetles.

Key words: *Monochamus alternatus*; *Bursaphelenchus xylophilus*; attractant; terpenes; application

松褐天牛(*Monochamus alternatus* Hope), 又名松墨天牛, 是我国南方松林分布区的重要蛀干害虫, 同时也是松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus* Nickle)的重要传播媒介。松褐天牛各虫态中, 唯有成虫阶段暴露于空间, 觅食松树嫩枝皮、补充营养及产卵, 而成虫补充营养和雌虫产卵又是松褐天牛传播松材线虫的关键环节^[1], 可见, 松褐天牛成虫是松褐天牛—松材线虫病治理的最重要虫态^[2]。因此, 调控松褐天牛成虫对寄主松树的选择, 切断松褐天牛成虫取食、产卵行为与寄主松树的链接, 是控制

松褐天牛成虫直接危害和传播松材线虫病的关键措施。据研究, 松树植物挥发性物质对松褐天牛成虫具有强烈的引诱活性, 即松褐天牛在取食和产卵时对寄主的定位主要靠松树挥发性物质的吸引, 这些挥发性物质在松褐天牛成虫搜索寄主、取食补充营养和产卵等系列行为的生境定位中起着重要的导向作用^[3-4]。近年来, 我国学者利用松树挥发性物质, 研制开发出各种类型的松褐天牛植物源引诱剂, 取得了良好的诱杀松褐天牛成虫、控制天牛种群的效果^[5-11], 这些引诱剂已成为松材线虫病工程治理的

收稿日期: 2013-10-09

基金项目: 江西省科技支撑计划项目(20132BBF60035)

作者简介: 陈元生(1967-), 男, 江西信丰人, 副教授, 博士, 主要从事昆虫生物学及害虫综合治理研究。

E-mail: cys0061@163.com

重要技术支撑,取得了重要的生态、经济效益。文中对我国松褐天牛植物源引诱剂的研制及其应用情况进行了概述,并就今后引诱剂的研究与利用提出了建议。

1 引诱天牛成虫的松树挥发性物质

据报道,引诱天牛成虫的健康马尾松的主要挥发性物质是单萜烯类和倍半萜烯类^[12-14],不同松树材料、不同提取方法得到的结果均不相同,不仅组分不同,而且相同组分的相对含量也有差异,但总的来说,相对含量较高的单萜烯类主要有 α -蒎烯、 β -蒎烯、 β -水芹烯、 β -月桂烯等,相对含量较高的倍半萜烯类主要有反式石竹烯、长叶烯、异长叶烯、柠檬烯等(表 1)。寄主健康状态下的 α -蒎烯、 β -蒎烯、 β -水芹烯和 β -月桂烯这 4 种成分很可能与松褐天牛的取食趋性和取食选择有关^[13]。Kobayashi 发现, α -蒎烯、 β -蒎烯和 β -水芹烯 3 种物质对松褐天牛具有引诱活性,其中 α -蒎烯活性最强^[15]。刘博的试验结果也证实, (+)- α -蒎烯是松褐天牛最主要的引诱

物质,也是马尾松的主要挥发物质,说明 (+)- α -蒎烯是松褐天牛定位偏好寄主的关键化合物^[16]。

郝德君等^[17]研究发现,松褐天牛的取食和产卵阶段对寄主的挥发物具有不同的敏感性和趋性。补充营养期的天牛对健康木挥发物高度敏感、呈正趋性,相反,产卵期的天牛对被害木挥发物高度敏感、呈正趋性。研究发现,不同树势的寄主在挥发物的组分比例上有差别,松树受到松材线虫危害后,有的单萜烯和倍半萜烯的含量明显增加^[18],一些主要组分大量减少,如马尾松的 α -蒎烯、 β -蒎烯、 β -水芹烯和反式-石竹烯等,有的组分是在松材线虫危害后产生并释放出来,如马尾松枝条中的马鞭草烯、双环榄香烯、 α -木罗烯、 α -卡蒂烯等^[14]。而 α -蒎烯和 β -蒎烯两者比例的变化可能是马尾松树势衰弱程度变化的一个重要信号^[13]。Ikeda 等研究表明,衰弱木、新伐木和松材线虫病感染木的挥发物中,以单萜类挥发物和厌气性发酵产物乙醇为主要组分,两者的混合物对松褐天牛具有显著的引诱作用^[19]。

表 1 不同方法获取的健康马尾松挥发性物质相对含量

| 萜烯 | 吹扫捕集法 | | 固相微萃取法 | | 水蒸汽蒸馏法 | | | |
|--------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | (1) | | (2) | |
| | 树干 | 树枝 | 树枝 | 针叶 | 树枝 | 针叶 | 树枝 | 针叶 |
| α -蒎烯 | 89.28 | 61.47 | 41.70 | 34.91 | 34.84 | 20.51 | 15.95 | 14.41 |
| β -蒎烯 | 3.55 | 11.83 | 5.01 | 10.26 | 16.64 | 6.67 | 10.18 | 8.44 |
| β -水芹烯 | — | 19.90 | — | — | 15.52 | — | 19.85 | — |
| 莰烯 | 1.84 | 3.66 | — | — | 2.19 | 2.01 | 1.30 | 2.98 |
| β -月桂烯 | 2.05 | 1.89 | 1.56 | 1.87 | 1.37 | 0.58 | 1.95 | 0.61 |
| 反式-石竹烯 | TR | 0.33 | 14.05 | 16.46 | 10.97 | 15.16 | 17.62 | 7.69 |
| 长叶烯 | TR | — | 1.23 | 0.04 | 0.36 | 0.08 | — | — |
| 异长叶烯 | — | — | 10.53 | 0.22 | 6.32 | 0.39 | 5.10 | — |
| 桉烯 | — | — | 18.45 | — | 0.71 | — | — | — |
| 柠檬烯 | 2.55 | — | — | — | — | — | — | — |
| 参考文献 | [13] | | [14] | | [14] | | [12] | |

注:TR 表示微量,即相对含量的平均值 $<0.1\%$ 。

2 松褐天牛植物源引诱剂的研制

日本最早于 1980 年用松树提取物对松褐天牛进行了引诱试验,成功研制出松褐天牛引诱剂^[3]。我国于 20 世纪 80 年代末期开始研制松褐天牛植物源引诱剂,研究者先后进行了大量筛选、试验,成功研制出一系列诱虫效果显著的引诱剂。目前我国研制的松褐天牛引诱剂主要有 2 类,即诱木引诱剂和诱捕器引诱剂,其中应用较广的主要有 A-3 型、M99 型和 FJ-Ma-02 型引诱剂。

2.1 天牛诱捕器引诱剂

诱捕器引诱剂(一般简称引诱剂)需要引诱剂与诱捕器的配合使用,我国目前研制的松褐天牛引诱剂多为此类引诱剂,已有多种商品上市,并应用于疫区松材线虫的监测与防治,取得了较好的效果。由表 2 可见,这些引诱剂是由松树单萜烯和倍半萜烯等萜烯类挥发物和厌气性发酵产物乙醇按一定比例配制而成,多属产卵型引诱剂。陈纪文发明、公布了一种松褐天牛定位型引诱剂,其组分和比例为从纯天然松针中提取的含氧萜烯占 $0.3\% \sim 25.0\%$,无

水乙醇占 75.0%~99.7%，能够诱集到刚羽化出木、补充营养阶段的天牛成虫^[20]。

2.2 天牛诱木引诱剂

诱木引诱剂是在活立木上直接使用诱剂防治松褐天牛的一类引诱剂。这类引诱剂能把天牛分散危害变为

集中危害，只需损失少量诱木，将诱木内天牛集中消灭，保护绝大部分松树免遭天牛危害，同时减少第 2 年天牛虫口的数量，降低天牛向四周蔓延的速度，达到防治目的。目前国内使用比较广的松褐天牛诱木引诱剂是广东省林业科学院研发的 PA 系列、MS-1 诱木引诱剂^[6]。

表 2 我国研制的几种主要松褐天牛引诱剂

| 年度 | 商品代号 | 组成成分 | 类型 | 完成单位 | 参考文献 |
|------|-----------|---|-------|---------------------|------|
| 1996 | PE-2、PE-3 | 单萜烯类、乙醇 | 普通液态型 | 广东省林业科学院 | [5] |
| 1997 | Mat-1 | 单萜烯、乙醛、丙酮 | 普通液态型 | 安徽省森防总站 | [6] |
| 2000 | M99-1 | α -蒎烯、 β -蒎烯、乙醛、丙酮和有机溶剂 | 普通液态型 | 中国林科院亚林所 浙江省森防总站 | [8] |
| 2003 | FJ-Ma-02 | 萜烯类、乙醇 | 普通液态型 | 福建省林业科学院 | [7] |
| 2004 | A-3 | 萜烯类 | 普通液态型 | 广东省林业科学院 | [10] |
| 2007 | G04-7 | 萜烯类、乙醇 | 普通液态型 | 贵州省林业科学院 | [21] |
| 2008 | SC-1 | 萜烯类 | 普通液态型 | 四川省林业科学院 | [22] |
| 2009 | FA01 | α -蒎烯、 β -蒎烯等 7 种单萜烯，2 种倍半萜烯 | 普通液态型 | 南京林业大学 | [11] |
| 2011 | M-99 缓释型 | 2 种单萜烯、乙醛、丙酮、乙醇和缓释基质 | 糊状缓释型 | 中国林科院亚林所 浙江省森防总站 | [9] |

3 引诱剂的利用

3.1 引诱剂的单独使用

诱木引诱剂施用在诱木上可以吸引大量松褐天牛成虫前来产卵，能显著提高诱虫量。宋世涵等研制出 PA-22 和 PA-26 诱木剂，其中 PA-22 诱木剂的当年防治率可以达到 71.88%~87.34%^[5]。朋金和等发现，PA 引诱剂有较好的引诱效果，尤其在实施择伐除害后，选择中等径级的健康木效果更佳，平均每株诱虫数量为 222.3 头^[23]。姜凤丽等试验结果表明，在天牛危害的松林里，施用引诱剂 PA-22、PA-26 能把分散危害变成集中危害，使诱木的诱虫量比病虫木自然诱虫量提高 6~7 倍，其中 PA-26 的效果优于 PA-22 诱木剂^[24]。

粤产的松褐天牛引诱剂主要有 PE 型、A-3 型。PE 型引诱剂是选取萜烯类等植物成分配制而成的一种无公害、无刺激性气味的液体，具有取食引诱剂和产卵引诱剂 2 种特性^[25]。A-3 型引诱剂在广东地区持续 3 a 用于监测和控制松褐天牛，结果表明：A-3 型松褐天牛引诱剂可常年全天候引诱松褐天牛成虫，持续监测林间松褐天牛成虫的活动规律，降低林间松褐天牛种群密度，进而持续控制松材线虫病的发生和危害^[26]，并具有较广的诱虫谱，能诱捕到 10 科 48 种鞘翅目昆虫^[25]。陈纪文研发的松褐天牛定位型引诱剂以及产卵型引诱剂，可以降低林间天牛成虫种群密度 95% 以上，从而使得松材线虫病枯

死木下降 80% 以上^[20]。

浙产松褐天牛引诱剂主要有 M99 液态型和缓释型。赵锦年等研究表明，在松褐天牛成虫期，平均每个 M99-1 诱捕器可诱捕 151.5 头天牛成虫，平均降低下代卵量 1 204.4 粒，马尾松的枯死率降低 97.4%^[8]。M-99 引诱剂诱捕松褐天牛的最远有效距离为 70 m，1 个诱捕器的有效诱捕范围为 115 hm²^[27]。据报道，采用缓释型引诱剂（M-99 型引诱剂活性成分+缓释基质）进行松褐天牛诱捕试验，结果发现，其引诱活性与原型引诱剂基本相当，诱捕效果差异不大，但是药效时间由 5~7 d 延长至 1 个月，大幅度降低了药剂和人工成本^[9,28]。唐伟强等野外试验证实，引诱剂以及改进型引诱剂的诱捕效果明显高于松诱木和灯光引诱^[29]。

采用闽产 FJ-Ma-02 型引诱剂在福建、广东等地进行试验，结果表明，在低密度虫口的松阔混交林内，当年新诱捕点每个诱捕器平均引诱到 1 191.3 头松褐天牛，其中 46.48% 为雌成虫，平均每头雌虫怀卵量为 37.8 粒。目前 FJ-Ma-02 引诱剂已在全国各地推广应用^[30]。

皖产 Mat-1 型引诱剂是以单萜烯类化合物为主要成分配制而成，主要对产卵期的松褐天牛起引诱作用，每个诱捕器在成虫出现期的诱捕量最高可达 74.3 头，引诱的最远距离为 200 m，成本仅为日产引诱剂及诱捕器成本的 4.2%^[6]。

FA01 型引诱剂为苏产引诱剂。郝德君等选取

α -蒎烯、 β -蒎烯等 7 种单萜烯和 2 种倍半萜烯, 配制了 7 种引诱剂, 并进行了林间引诱试验。结果发现, 7 种引诱剂对松褐天牛均有一定的引诱作用, 其中以 α -蒎烯和 β -蒎烯为主剂、乙醇为辅助剂的 FA01 引诱剂效果最佳, 平均诱捕 11.23 头, 引诱率明显高于其余 6 种引诱剂^[11]。

程绍传等对比测定了自配的 G04 系列 8 个不同配比松褐天牛引诱剂与 A-3 和 M99 松褐天牛引诱剂的引诱效果, 结果发现, G04 系列中 G04-7 的诱捕数量为 28 头, 诱捕效果优于其他配比及 A-3 和 M99, 且存在显著差异^[21]。肖银波等试验表明, 自制的 SC-1 型引诱剂与 A-3 型引诱剂对松褐天牛成虫的引诱效果基本相同, 替代型塑料质诱捕器对天牛成虫的引诱效果只有 YB-50 型铁质诱捕器的 63.70%~81.11%, 但塑料质诱捕器成本低、安装简便、不易丢失^[22]。中科院上海植物生理生态所研制的 HYP-SH 型引诱剂在重庆的应用试验表明, 与 A-3 和 FJ-Ma-05 相比, HYP-SH 引诱剂效果更佳, 引诱活性平均为 12.20 头/个^[31]。

3.2 引诱剂与其他防治措施联合使用

3.2.1 引诱剂与白僵菌联合使用 刘云鹏等将 M99-1 引诱剂与球孢白僵菌无纺布菌条联合使用, 结果表明, 白僵菌对松褐天牛具有显著的抑制效果, 其中以诱芯与白僵菌无纺布菌条联合使用的效果最佳, 感染率为 52.1%, 刻槽抑制率为 39.13%, 寿命抑制率为 40.1%, 侵入孔数下降 7.75%, 幼虫数下降 12.43%^[32]。王四宝也开展了引诱剂与无纺布菌条联合控制松褐天牛试验, 结果显示, 无纺布菌条(球孢白僵菌)+诱木(PA-26 诱木引诱剂)联用区和无纺布菌条+引诱剂缓释器(M99-1 引诱剂)+诱木联用区, 对松褐天牛的种群均具有显著的控制作用, 2004 年两区死树下降率分别达到 65.66% 和 70.56%, 2005 年两区均无死树发生^[33]。

3.2.2 引诱剂与化学药剂联合使用 张连芹等将单萜烯、乙醇与内吸性农药 40% 氧化乐果混合使用, 对松褐天牛等鞘翅目昆虫有良好的引诱和毒杀作用, 可以降低林间松褐天牛的虫口密度, 减轻松材线虫病危害^[34]。来燕学等在松褐天牛羽化期在松林内安置“松枝+诱杀剂(由丙酮、乙醇、蒎烯和杀螟松混配而成), 松木+诱杀剂”的双环装置, 分两阶段诱杀成虫: 利用松枝诱杀补充营养成虫, 利用松木诱杀产卵成虫, 结果表明, 每个双环装置能诱杀松褐天牛成虫 665.3 头。双环法还表现出诱力强、成本低、效率高的特点^[35]。

3.2.3 引诱剂与天敌昆虫联合使用 张莲芹等将

诱木引诱剂与肿腿蜂联合使用, 发现能明显提高持续防治效果^[36]。王敏敏等报道, M99-1 天牛引诱剂防治松材线虫病效果明显, 松树死亡率下降 61%, 若同时配套释放肿腿蜂, 并对诱捕装置进行改装, 则效果更好, 松树死亡率可下降 77%^[37]。杨忠岐等在松材线虫病疫区布设诱木(MS-1 号诱木引诱剂)引诱松褐天牛成虫集中产卵, 同时释放寄生性天敌花绒寄甲, 结果显示, 枯死和衰弱木减退率达 95.63%, 防治效果达 90.25%, 均明显高于仅设诱木的区域^[38]。

4 影响引诱剂引诱效果的因素

4.1 诱捕器种类及其设置

目前生产上使用的诱捕器大多为白铁皮制成, 存在着一定的应用和管理不便等问题。王四宝等试验发现, 宣州诱捕器的挡板设计合理, 诱芯套壁上布满的小孔有助于引诱剂向外扩散, 诱捕效果显著高于日式诱捕器^[39]。黄金水等研制的 FJ-Ma 多功能塑料轻型诱捕器诱捕效果好, 平均每个诱捕器所诱捕的松褐天牛数量是白铁皮制作的诱捕器的 3 倍^[40]。

诱捕器设置高度一般在 1.0~1.8 m, 其间的诱捕量最大, 显著高于其他高度, 且诱捕效果最佳^[41-42]。林间的空气流通性是影响诱捕器诱捕效果的关键因素, 所以将诱捕器置于通风良好、较开阔的山脊地段, 引诱效果好于山谷或较封闭地段, 诱捕器置于林缘比林内好。

4.2 寄主林分

松褐天牛的寄主植物主要有马尾松、湿地松、黑松、云南松、思茅松等, 寄主不同, 其上寄生的松褐天牛生活习性也有所不同^[43], 引诱剂在不同寄主植物上应用, 效果难免存在差异。不同地段的植被状况也有很大的异质性, 这些植被不但影响天牛的分布状态, 而且影响天牛对引诱剂的反应。诱捕器诱虫数量与林地松褐天牛的虫口密度关系密切, 林分密度大、受害重的林分诱集数量多^[44]。

4.3 气象条件

温度对松褐天牛诱捕量有很大影响。温度主要影响引诱剂的挥发和扩散, 在一定范围内, 随着温度的升高诱捕量也随之增加。一般在 25~35℃ 的温度范围内, 引诱剂诱捕量最高^[41]。气温骤然升高的天气, 诱虫数量较多; 在傍晚小雨、夜间晴朗闷热时, 成虫较活跃^[45]。

空气湿度较大时, 不利于天牛在林间飞行活动。当遇强降雨时, 湿度增加, 温度随之下降, 诱捕量也随之明显减少, 所以引诱剂在阴雨天气诱捕效果较差^[41]。

松褐天牛为夜出性昆虫,而且对光线有一定的趋性,所以在农历十五前后月光较强的夜晚成虫较为活跃,诱虫数量较多^[45]。

风速、风向对诱捕器引诱天牛的影响主要是较大的风速限制、影响天牛的林间飞行,天牛大批成虫随风向飞行,飞行距离和方向发生变化,使诱捕器很难诱到天牛成虫^[41]。引诱剂的持效期也与风力关系密切,大风天气持效期短^[44]。

5 引诱剂的应用前景与展望

利用引诱剂防治松褐天牛是一项既经济有效,又安全环保、简易方便的方法,能诱捕到大量的目标害虫,是防治松褐天牛和松材线虫的重要手段^[46-47]。引诱剂的大面积应用可降低松褐天牛种群密度,减少松材线虫传播机会,从而减轻松材线虫病的危害,值得全面推广使用。然而,目前国内所研制的各型松褐天牛引诱剂均不同程度地存在引诱效果不够理想、防效不显著、难于全面推广等不足,需进一步深入改进、研制与开发。

需要加强松褐天牛补充营养阶段的引诱剂的研制与开发。目前大多数引诱剂是引诱产卵期的松褐天牛成虫,研究多集中在成虫产卵过程与松树内含物或挥发性物质的化学联系,然而天牛成虫羽化出孔后的补充营养期是传播松材线虫的关键时期,此时其携带的大部分线虫能够随取食伤口进入健康寄主,因此,研究补充营养期和扩散期的松褐天牛与寄主植物的作用机制,开发研制天牛补充营养期和扩散期的引诱剂,减少其传播松材线虫的作用,更具应用价值。

需要加强不同林分、不同地理的松褐天牛种群生活习性研究,研制出有针对性的引诱剂。目前大多数引诱剂是寄主挥发性物质引诱剂,主要针对的是马尾松、湿地松等松林的松褐天牛,而松褐天牛在我国分布很广泛,寄主种类也较多,由于寄主的不同,松褐天牛的生活习性也存在一定的差异^[48],即松褐天牛存在不同的地理种群,不同地理种群的松褐天牛侵害力存在差异,不同地理种群的松材线虫致病力也存在差异^[49-50]。再加上环境、气候因子的不同,各型引诱剂及诱捕器在不同地区、不同林分中应用的效果难免存在差异^[48]。因此,对于松褐天牛引诱剂的研制,需要进一步深入研究不同地区、不同林分松褐天牛的生活习性及其寄主植物对松褐天牛的吸引作用,以此开展针对不同林分、不同地区的松褐天牛引诱剂及其增效剂(方法)的研制与开发,发挥引诱剂的最佳效果。

需要加强缓释型引诱剂的研制,节约防治成本。目前国内研制的引诱剂多属液态型,释放速度较快,一次持续引诱时间较短,15 d 后有效成分基本释放完毕,需多次添加或更换引诱剂,增加了劳动强度和防治成本。而应用缓释型引诱剂或者具缓慢释放作用的诱芯,能控制活性成分释放速度,使引诱活性成分较平稳地持续发挥引诱效果,持续引诱周期长,可以节约成本,减少劳动量,给林间诱捕操作带来便利,提高防效^[9,39]。

需要加强多类型引诱剂研究,提高引诱效果。植物源引诱剂对松褐天牛雌、雄性成虫均有效,克服了性外激素只引诱雄性这一弊端^[44],然而,目前植物源引诱剂的引诱效果并不显著,如果将植物源引诱剂与雄性挥发性信息素 2-十一烷氧基-1-乙醇(2-undecyloxy-1-ethanol)有效结合,可以大大提升引诱效果^[16]。

参考文献:

- [1] 陈元生,涂小云. 松墨天牛成虫的生活习性与传病机制及其防控对策[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(7): 17-20.
- [2] 林长春,周成枚,赵锦年,等. 松褐天牛成虫羽化出孔规律研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(2): 131-135.
- [3] Ikeda T, Oda K, Yamane A, et al. Volatiles from pine logs as the attractant for the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. Journal of Japanese Forest Society, 1980, 62: 150-152.
- [4] Hanks L M. Influence of the larvae host plant on reproductive strategies of cerambycidae beetles [J]. Ann Rev Entomol, 1999, 44: 483-505.
- [5] 宋世涵,张连芹,张镔,等. 利用引诱剂防治松材线虫病的研究[J]. 广东林业科技, 1996, 12(1): 44-48.
- [6] 蒋丽雅,朋金和,周健生,等. 松褐天牛引诱剂 Mat-1 号的研究[J]. 森林病虫通讯, 1997(3): 5-7.
- [7] 黄金水,何学友,杨希,等. FJ-Ma-02 引诱剂林间松墨天牛引诱效果及活虫捕捉器的研制[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 153-158.
- [8] 赵锦年,蒋平,吴沧松,等. 松墨天牛引诱剂及引诱作用研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(3): 262-267.
- [9] 赵锦年,蒋平,张星耀,等. 松褐天牛缓释型引诱剂及其引诱效果研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(3): 350-356.
- [10] 黄焕华. 松褐天牛引诱剂及诱捕器简介[J]. 广东林业科技, 2004, 20(1): 60.
- [11] 郝德君,樊斌琦,唐进根,等. 墨天牛引诱剂的筛选及其引诱作用[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(11): 86-87.
- [12] 江望锦. 松墨天牛成虫与寄主间化学信息联系机制的初步研究[J]. 南京:南京林业大学, 2005.

- [13] 宁眺,樊建庭,方宇凌,等. 不同危害状态下寄主萜烯挥发物含量的变化及松墨天牛对其组分的触角电位反应[J]. 昆虫学报, 2006, 49(2): 179-188.
- [14] 王焱. 松墨天牛引诱剂和松材线虫分子检测技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [15] Kobayashi M. The Japanese pine sawyer beetle as the vector of pine wilt disease[J]. Ann Rev Entomol, 1984, 29: 115-135.
- [16] 刘博. 松墨天牛化学通讯机理研究与高效引诱剂的研制[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
- [17] 郝德君, 马凤林, 王焱, 等. 松墨天牛对马尾松挥发物的触角电位和行为反应[J]. 昆虫知识, 2007, 44(4): 541-544.
- [18] Kuroda K. Terpenoids causing tracheid-cavitation in *Pinus thundergii* infected by the pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*) [J]. Ann Phytopath Soc Japan, 1989, 55(2): 170-178.
- [19] Ikeda T, Yamane A, Enda N, et al. Attractiveness of volatile components of felled pine trees for *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. J Jpn For Soc, 1986, 68: 15-19.
- [20] 陈纪文. 一种松墨天牛定位型引诱剂及其产卵型引诱剂: 中国, CN101904342A[P]. 2010-12-08.
- [21] 程绍传, 黄吉勇, 余金勇, 等. 松墨天牛引诱剂林间筛选试验[J]. 林业科学, 2007, 32(6): 23-25.
- [22] 肖银波, 周建华, 华启尧, 等. 不同引诱剂和诱捕器对松墨天牛的林间引诱效果[J]. 四川林业科技, 2008, 29(3): 66-69.
- [23] 朋金和, 郭良红, 吕传海, 等. PA 型诱木引诱剂防治松褐天牛林间应用技术研究[C]. 昆虫与环境——中国昆虫学会 2001 年学术年会论文集, 2001: 269-273.
- [24] 姜凤丽, 汪鹏, 唐宇力, 等. 利用引诱剂防治松褐天牛的研究[J]. 浙江林业科技, 1998, 18(6): 23-26.
- [25] 李馥纯, 黄咏槐, 范军祥, 等. A-3 型松褐天牛引诱剂诱虫谱研究[J]. 昆虫天敌, 2006, 28(3): 103-108.
- [26] 黄焕华, 范军祥, 黄咏槐, 等. A-3 型松褐天牛引诱剂持续监测和控制松褐天牛研究初报[C]. 首届中国林业学术大会论文集, 2005: 49-52.
- [27] 黄照岗, 郑建国, 谢寅升, 等. M-99 引诱剂有效引诱范围及余杭区松褐天牛成虫发生规律[J]. 中国森林病虫, 2005, 24(1): 4-7.
- [28] 唐伟强, 吴沧松, 赵锦年, 等. 缓释型引诱剂诱杀松墨天牛成虫效果试验[J]. 中国森林病虫, 2008, 27(6): 35-36.
- [29] 唐伟强, 吴沧松, 吴银海. 几种诱捕松墨天牛方法的效果分析[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(3): 338-340.
- [30] 黄金水, 何学友, 杨希, 等. FJ-MA-02 引诱剂林间松墨天牛引诱效果及应用[J]. 福建林业科技, 2005, 32(3): 1-5.
- [31] 田艳, 张宏, 张真, 等. 重庆市松褐天牛引诱剂对比试验[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(32): 14177-14180.
- [32] 刘云鹏, 夏成润, 王四宝, 等. 球孢白僵菌无纺布菌剂与引诱剂联合防治松褐天牛初报[J]. 安徽农业大学学报, 2005, 32(4): 415-418.
- [33] 王四宝. 白僵菌与引诱剂联合控制松褐天牛及白僵菌分子生态学研究[D]. 北京: 中国科学院, 2006.
- [34] 张连芹, 宋世涵, 黄焕华. 利用引诱剂诱捕松墨天牛等甲虫的研究[J]. 林业科学研究, 1992, 5(4): 478-482.
- [35] 来燕学, 俞林祥, 周永平, 等. 用双环法诱杀松墨天牛成虫控制松材线虫病[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18(1): 60-65.
- [36] 张莲芹, 宋世涵, 黄焕华, 等. 利用引诱剂和肿腿蜂防治松墨天牛的研究[J]. 林业科学研究, 1991, 4(3): 285-290.
- [37] 王敏敏, 叶建仁, 王云华. 引诱剂防治松材线虫病及其配套技术[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, 30(4): 129-131.
- [38] 杨忠岐, 王小艺, 张翌楠, 等. 释放花绒寄甲和设置诱木防治松褐天牛对松材线虫病的控制作用研究[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(4): 490-495.
- [39] 王四宝, 刘云鹏, 樊美珍, 等. 不同诱捕技术对松褐天牛的诱捕效果[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 505-508.
- [40] 黄金水, 何学友, 汤陈生, 等. 松墨天牛 FJ-Ma 多功能塑料诱捕器的研发[J]. 武夷科学, 2009(25): 30-35.
- [41] 陈俊华. 信息引诱剂林间诱捕效果的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [42] 刘际建. 利用蛀干类害虫引诱剂来引诱松褐天牛初步试验研究[J]. 生物学杂志, 2006, 23(1): 17-19.
- [43] 赵锦年. 松墨天牛成虫行为反应的研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 628-631.
- [44] 张兴, 季霞, 庞献伟. 松墨天牛植物源引诱剂的研制及林间应用技术研究[J]. 山东林业科技, 2008(2): 20-21.
- [45] 黄金水, 何学友, 杨希, 等. FJ-MA-02 引诱剂林间松墨天牛引诱效果及活虫捕捉器的研制[J]. 林业科学, 2003, 39(专刊 1): 153-158.
- [46] 泽桑梓, 闫争亮, 赵涛, 等. 我国松褐天牛防治及引诱技术研究的现状及前景分析[J]. 西部林业科学, 2010, 39(3): 93-97.
- [47] 付达英, 芮荣菊, 胡劲骥, 等. 云南省 6 个松墨天牛种群形态差异分析[J]. 四川动物, 2010, 29(1): 87-90.
- [48] 谈家金, 杨荣铮, 吴慧平. 不同地理种群的松材线虫对马尾松的致病力差异[J]. 植物检疫, 2000, 14(6): 324-325.
- [49] 刘金燕, 刘闯, 田艳, 等. 松材线虫病防治中及时清理死亡松树和诱杀松褐天牛的必要性研究[J]. 现代农业科技, 2011(1): 176-178.
- [50] 田艳, 刘金燕, 何邦亮. 松褐天牛引诱剂林间对比试验[J]. 现代农业科技, 2011(11): 158-159.