

## 聚集素和植物源引诱剂不同配比对松墨天牛诱捕效果的分析

阿力木·艾克木<sup>1</sup>, 郭瑞<sup>2</sup>, 邓建宇<sup>3</sup>, 王义平<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江清凉峰国家级自然保护区管理局, 浙江 杭州 311300;  
3. 浙江农林大学 农业与食品科学学院, 浙江 杭州 311300)

**摘要:** 本研究单独使用自行研发的植物源引诱剂(180 mL)和聚集素(2袋, 每袋为0.1 mL), 或配套使用植物源引诱剂和聚集素对松墨天牛 *Monochamus alternatus* 进行诱捕试验, 并使用不同剂量的聚集素(0.02、0.05、0.10、0.50、1.0、2.0 mL) 配套相同剂量的植物源引诱剂(180 mL), 比较不同处理对松墨天牛引诱效果的影响。结果表明, 配套使用植物源引诱剂与聚集素时, 可显著提高对松墨天牛的诱捕效果, 诱捕数量分别为单独使用植物源引诱剂和聚集素的1.5倍和13.7倍; 配套使用时, 在0.02~1.0 mL范围, 随着聚集素使用剂量的增加, 松墨天牛的诱捕数量也随之增加, 当使用剂量大于1.0 mL时, 对松墨天牛的引诱作用显著下降。

**关键词:** 松墨天牛; 聚集素; 植物源引诱剂; 剂量; 不同配比; 诱捕效果

**中图分类号:** S763.38      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-3776(2021)06-0069-05

## Trapping of *Monochamus alternatus* by Different Ratio of Aggregation Pheromone and Plant Volatile Attractant

ALIM Hekim<sup>1</sup>, GUO Rui<sup>2</sup>, DENG Jian-yu<sup>3</sup>, WANG Yi-ping<sup>1</sup>

(1. School of Forestry and Bio-technology, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 2. Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve Administration, Hangzhou 311300, China; 3. School of Agriculture and Food Science, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China)

**Abstract:** Experiments were conducted on trapping of *Monochamus alternatus* by alone or combination of aggregation pheromone and plant volatile attractant, and different dosages of aggregation pheromone (0.02, 0.05, 0.10, 0.50, 1.0, 2.0 mL) during June 15<sup>th</sup> 2018 and July 27<sup>th</sup>, June 15<sup>th</sup> 2018 and July 30<sup>th</sup>, June 24<sup>th</sup> 2018 and July 22<sup>th</sup> in 15-25-year mixed forest of *Pinus massoniana* and *P. taeda* in Lin'an, Zhejiang province. The results showed that plant volatile attractant and aggregation pheromone could significantly increase trapped *M. alternatus*, which was 1.5 and 13.7 time of plant volatile attractant and aggregation pheromone alone. Aggregation pheromone with 0.02-1.0 mL could increase the amount of trapped *M. alternatus*.

**Key words:** *Monochamus alternatus*; aggregation pheromone; plant volatile attractant; dosage; different ratios; trapping effect

松墨天牛 *Monochamus alternatus* 是松树蛀干害虫, 也是松树毁灭性病害——松材线虫病的主要媒介昆虫<sup>[1-2]</sup>。在松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 的传播扩散过程中, 松墨天牛发挥了携带、传播和协助病原侵入寄主的作用<sup>[3-4]</sup>, 因此, 有效控制松墨天牛的发生是切断松材线虫病传播扩散的关键。在现代森林害虫防控中, 引诱剂

收稿日期: 2021-05-02; 修回日期: 2021-09-05

基金项目: 中央财政林业科技推广示范资金项目([2018]TS 09)

作者简介: 阿力木·艾克木, 硕士, 从事害虫生物防治工作, E-mail:1141262517@qq.com; 通信作者: 王义平, 博士, 教授, 从事有害生物防治和昆虫分类研究; E-mail:wyp@zafu.edu.cn。

因其具有使用方便和效果明显等特点,已成为害虫监测与防治的重要方法之一<sup>[5-6]</sup>。而针对于松墨天牛的防控,引诱剂诱捕是一种有效抑制其种群增长的无公害生态防控技术,并已得到较广泛的应用<sup>[7-10]</sup>。Pajares 等鉴定出樟子松墨天牛 *M. galloprovincialis* 雄虫产生的聚集性信息素 2-undecyloxy-1-ethanol, 该性信息素可以诱捕到松墨天牛的雌雄两性成虫,且与植物源信息素协同使用有增效作用<sup>[11]</sup>。近年来,樊建庭等进一步研究了植物源引诱剂和聚集素协同作用,开发出了以虫源和植物源化合物为主成分的松墨天牛复合型引诱剂<sup>[12]</sup>, 实践应用结果显示松墨天牛复合型引诱剂与植物源引诱剂相比,具有诱捕效率高、使用剂量低等优点,目前已经在松墨天牛的防治中广泛应用<sup>[13]</sup>。

本研究通过比较植物源引诱剂和聚集素对松墨天牛的诱捕效果,并使用不同剂量的聚集素配套相同剂量的植物源引诱剂,比较不同处理对松墨天牛引诱效果的影响,期望筛选出对松墨天牛诱捕效果最佳的聚集素剂量,旨在为松墨天牛的监测和生态防控提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地点设在浙江省杭州市临安区龙岗镇(119°08'~120°04' E, 29°59'~30°09' N),属中亚热带季风气候,温暖湿润,雨量充沛,夏季平均气温为 26.5℃,年均降水量为 1 613.9 mm。试验样地为以马尾松 *Pinus massoniana* 和火炬松 *P. taeda* 为主的混交林,样地管理措施为粗放管理,样地面积为 5 hm<sup>2</sup>,树龄在 15~25 a,平均树高为 7 m,胸径为 15~35 cm,郁闭度在 0.7 左右。样地受松墨天牛严重危害,虫口密度较大。

### 1.2 试验材料

采用自行研发的植物源引诱剂( $\alpha$ -萜烯、 $\beta$ -萜烯、乙醇和乙醛以一定比例配置)及配套的缓释瓶装置,聚集素引诱剂[以 1-(undlosy) ethanol 为溶剂配制成溶液滴入到基质中制成诱芯,剂量为 0.1 mL],撞板式诱捕器(由挂钩、圆形顶盖、十字挡板、圆形漏斗和集虫瓶构成,十字挡板表面和漏斗内侧有增效涂层),显微镜(Nikon ECLIPSE 50i, Nikon),移液枪(200  $\mu$ L),培养皿,无菌水。

### 1.3 试验方法

1.3.1 植物源引诱剂与聚集素诱捕效果比较试验 在试验基地选取林间较空旷且通风良好的地方,量取相同的间距点做标记,作为诱捕器的悬挂点。每个诱捕器悬挂在距离地面 1.5~2.0 m 处,且每 2 个诱捕器之间的距离不小于 50 m。试验共设 3 个处理,分别为本试验组研发的植物源引诱剂(180 mL),计为 X 处理;聚集素诱芯(2 袋,每袋为 0.1 mL),计为 Y 处理;植物源引诱剂(180 mL)和聚集素诱芯(2 袋,每袋为 0.1 mL)配套使用,计为 Z 处理。每个处理设置 5 个重复,共计 15 个诱捕器。将含 3 种不同处理诱芯的诱捕器交叉放置于试验地中。试验于 2018 年 6 月 15 日开始到 7 月 27 日结束,每隔 10 d 进行一次野外收集,并对收集到的松墨天牛的数量、雌雄比、雌虫孕卵量及松墨天牛携带线虫量进行镜检统计。

1.3.2 不同时期诱捕到的松墨天牛携带松材线虫数量比较试验 本试验诱捕器的悬挂方法同 1.3.1。共悬挂 5 套诱捕器,每个诱捕器中均挂植物源引诱剂(180 mL)和聚集素(2 $\times$ 0.1 mL),用以统计不同时期诱捕到的松墨天牛携带松材线虫的情况。试验于 2018 年 6 月 15 日至 8 月 30 日进行,每隔 10 d 进行一次野外收集,共收集 7 次;每隔 15 d 更换一次诱芯。松材线虫携带量的统计:取一头松墨天牛置于直径为 10 cm 的培养皿中,将 10 mL 的无菌水倒入培养皿中浸泡松墨天牛,并将松墨天牛的肢体充分剪碎,保证松墨天牛携带的线虫游离在溶液中。静置 1 h 后,使用移液枪从培养皿中吸取 10  $\mu$ L 的线虫溶液,滴到载玻片上,放在显微镜下进行计数,每个载玻片重复计数 3 次,取平均值,每头松墨天牛设置 3 个生物学重复。根据计数结果计算松墨天牛携带松材线虫量:携带松材线虫量 = 10  $\mu$ L 线虫溶液平均线虫数量 $\times$ 1 000;计算松墨天牛携带松材线虫比例:松墨天牛携带松材线虫比例=(携带松材线虫的松墨天牛数量/诱捕到的松墨天牛总数) $\times$ 100%。

1.3.3 不同剂量聚集素配合植物源引诱剂对松墨天牛诱捕效果试验 诱捕器悬挂方法同 1.3.1。聚集素剂量共设置 6 个处理,使用前配置诱芯,将不同剂量(0.02、0.05、0.10、0.50、1.00、2.00 mL)聚集素溶液滴入备好的

诱芯上, 将诱芯按各自分类装入长、宽分别为 3 cm 和 8 cm 的黑色缓释袋, 置于冰箱内低温保存备用, 每个处理设置 5 个重复, 共计 30 个诱捕器。将含不同剂量聚集素的诱捕器交叉放置于试验地中, 保证同一片小实验地均包含 6 种剂量的聚集素, 将诱捕器悬挂于木棍和铁丝做成的支架上, 并将装有聚集素的黑色缓释袋, 用铁丝悬挂在诱捕器交叉板的空挡位置, 每个诱捕器配套悬挂等量植物源引诱剂 (180 mL), 每隔 10 d 收集一次, 同时记录每个诱捕器内松墨天牛的数量。试验于 2019 年 6 月 24 日至 7 月 22 日进行, 整个诱捕周期为 29 d。

#### 1.4 数据分析

为减小不同区域松墨天牛虫口密度差异所带来的影响, 林间诱捕松墨天牛量均转换为相对诱捕率。相对诱捕率 (%) = (某处理诱捕量/同一区域内所有处理的诱捕量总和) × 100%。

将不同处理相对诱捕率数据进行反正弦平方根转换后再进行单因素方差分析。不同处理的平均数用 Duncan's 法进行差异性分析。数据由 Excel 2010 和 SPSS 22.0 处理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物源引诱剂与聚集素诱捕效果比较

2018 年 6 月 15 日至 7 月 27 日, 对 3 种不同引诱剂诱芯所诱捕到的松墨天牛数量进行统计, 结果见表 1。由表 1 可知, 3 种引诱剂处理总共诱捕到成虫 4 568 头, 其中雌虫为 3 855 头, 雄虫为 713 头, 其雌雄比为 5.4 : 1, 诱捕到的雌虫明显多于雄虫。其中, Z 处理可显著提高对松墨天牛的诱捕效果, 其诱捕量分别为 X 处理和 Y 处理聚集素的 1.5 倍和 13.7 倍; 3 种引诱剂处理之间的诱捕效果均差异显著 ( $P < 0.05$ ), 以 Z 处理的诱捕效果最好, 其诱捕量占总诱捕量的 57.88%, 平均诱捕量为  $132.2 \pm 10.9$  头·诱捕器<sup>-1</sup>; X 处理的诱捕效果次于 Z 处理, 其平均诱捕量为  $86.6 \pm 9.1$  头·诱捕器<sup>-1</sup>; Y 处理的诱捕效果最差, 其平均诱捕量为  $9.7 \pm 2.9$  头·诱捕器<sup>-1</sup>。

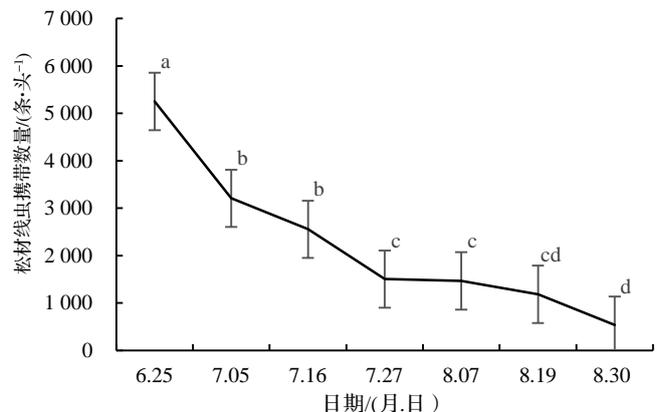
表 1 松墨天牛引诱剂不同处理林间诱捕结果  
Table 1 Trapped *M. alternatus* by different attractant treatments

处理	诱捕总数/头	♂虫数量/头	♀虫数量/头	性别比/(♂:♀)	平均诱捕量/(头·诱捕器 <sup>-1</sup> )	平均孕卵量/(个·头 <sup>-1</sup> )	平均线虫量/(10 <sup>3</sup> 条·头 <sup>-1</sup> )
X	1 731	172	1 559	1 : 9.1	86.6±9.1 b	7.3±0.4 a	2.97±0.26 ab
Y	193	34	159	1 : 4.7	9.7±2.9 c	6.0±1.1 a	2.09±0.42 b
Z	2 644	507	2 137	1 : 4.2	132.2±10.9 a	6.3±0.4 a	3.75±0.46 a
合计或平均	4 568	713	3 855	1 : 5.4	76.1	6.5	2.94

在  $P < 0.05$  水平上, 采用 Duncan 检验作不同处理之间差异性分析; 同列中不同字母表示差异显著。

对诱捕到的松墨天牛成虫镜检并统计后发现 (表 1), Z 处理诱捕到的松墨天牛携带的松材线虫量与 X 处理、Y 处理诱捕到的松墨天牛携带的松材线虫量之间均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), Z 处理诱捕到的松墨天牛携带的平均松材线虫量为 3 748 条·头<sup>-1</sup>, 高于 X 处理捕到的松墨天牛携带的平均松材线虫量 (2 970 条·头<sup>-1</sup>), 显著高于 Y 处理诱捕到的松墨天牛携带的平均松材线虫量 (2 091 条·头<sup>-1</sup>) ( $P < 0.05$ )。对诱捕到的松墨天牛的孕卵量进行统计发现, 捕获的雌成虫卵巢均有深黄色成熟卵和白色未成熟卵。由表 1 还可看出, X、Y 和 Z 三种处理诱捕到的松墨天牛雌成虫的平均孕卵量分别为 7.3 个·头<sup>-1</sup>、6.0 个·头<sup>-1</sup>和 6.3 个·头<sup>-1</sup>, 三者间的差异均不显著。

### 2.2 不同时期诱捕到的松墨天牛携带松材线虫数量



注: 不同时期字母不同, 代表差异性在  $\alpha = 0.05$  水平上差异性显著。

图 1 不同时期诱捕到的松墨天牛携带松材线虫数量  
Figure 1 Number of *B. xylophilus* carried by *M. alternatus* on different days

诱捕到的松墨天牛携带的松材线虫调查结果显示,从6月15日至8月30日期间,松墨天牛携带松材线虫量呈递减趋势(图1),7月5日和7月16日松墨天牛携带松材线虫数量没有显著性差异;从7月27日到8月19日,不同调查日期间线虫携带量没有显著性差异;其余调查日上,线虫携带量存在显著性差异( $\alpha = 0.05$ )。从6月26日至8月30日前后7次收回来的松墨天牛镜检中发现,分别有77.53%、58.23%、53.28%、60.23%、43.38%、26.74%、14.06%的成虫携带松材线虫,其中在6月份诱捕到的天牛中有67.79%体内携带着松材线虫,携带线虫比例最高;其次为7月份的,携带线虫比例为56.76%;8月份的最低,携带线虫比例仅为28.06%。

### 2.3 不同剂量聚集素配合植物源引诱剂对松墨天牛诱捕效果的影响

选取2019年6月24日至7月22日用不同聚集素剂量引诱剂配合植物源引诱剂所诱捕到的松墨天牛,对其进行数量统计,结果如表2。由表2可知,共诱捕到松墨天牛成虫828头,其中雌虫502头,雄虫326头,其性比( $\delta$ : $\eta$ )为1:1.5,诱捕到的雌虫多于雄虫。聚集素的剂量对诱捕效果影响较大,在0.02~1.00 mL范围内,聚集素的剂量越高,诱捕效果越好,捕获的松墨天牛数量越多,其中剂量为1.00 mL诱芯的诱捕效果最好,其相对诱捕率为 $37.13\% \pm 7.53\%$ ,与其他处理间均差异显著( $P < 0.05$ );剂量为0.10 mL和0.50 mL诱芯的诱捕效果次之,其相对诱捕率分别为 $19.00\% \pm 3.58\%$ 和 $18.00\% \pm 5.59\%$ ;最高诱芯剂量2.0 mL的诱捕效果反而最差,其相对诱捕率仅为 $2.80\% \pm 0.88\%$ (表2)。

表2 不同剂量聚集素配合植物源引诱剂在林间的诱捕效果  
Table 2 Trapping effect of different doses of aggregation pheromone attractant of on *Monochamus alternatus*

聚集素剂量/mL	诱捕总数/头	♂虫数量/头	♀虫数量/头	性别比/(♂:♀)	平均诱捕量/(头·诱捕器 <sup>-1</sup> )	相对诱捕率/%
0.02	73	25	48	1:1.9	4.9±1.7 b	6.73±1.97 bc
0.05	131	55	76	1:1.4	8.7±3.7 ab	10.87±2.91 bc
0.10	181	67	114	1:1.7	12.1±3.8 ab	19.00±3.58 b
0.50	157	65	92	1:1.4	10.5±3.8 ab	18.00±5.59 b
1.00	260	104	156	1:1.5	17.3±4.9 a	37.13±7.53 a
2.00	26	10	16	1:1.6	1.7±0.6 b	2.80±0.88c
合计或平均	828	326	502	1:1.5	9.2±1.4	15.76±2.09

注:表中数值为平均值+标准误,同列中不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 3 结论与讨论

昆虫产生的聚集性信息素能引诱到昆虫两性成虫,而且对植物源信息素有增效作用,相比聚集性信息素或植物源信息素单独施用,二者联合施用的诱捕效果可不同程度地获得提高<sup>[11,13-14]</sup>。本研究也发现,植物源引诱剂与聚集素配套使用,可显著提高对松墨天牛的诱捕效果。此外,2种引诱剂联用时诱捕到的松墨天牛携带的线虫量明显高于其余两种处理,而松材线虫主要是通过松墨天牛成虫羽化初期在健康寄主上的营养补充活动时传入寄主植物<sup>[15]</sup>,组合诱芯能诱捕到更多的羽化初期急需营养补充的松墨天牛,针对性地引诱羽化初期携带线虫量高的松墨天牛,可较大幅度地减少松材线虫传入健康松树的可能性。相关研究表明,在羽化高峰期出孔的松墨天牛其成虫携带的线虫数量最多<sup>[16]</sup>,线虫在松墨天牛出孔20天后进入传递高峰期,到约第30天之后显著减小<sup>[17-19]</sup>,松墨天牛雌、雄成虫携带的线虫脱离松墨天牛的高峰期分别出现在20~30日龄和10~20日龄之间<sup>[20]</sup>。浙江地区松墨天牛的羽化高峰期在6月上旬至7月上旬,本研究对在浙江省杭州市临安区马尾松和火炬松为主的混交林中诱捕到的松墨天牛进行线虫数量统计,结果呈现出在6月中旬羽化高峰期时,松墨天牛携带线虫数量保持在比较高的水平,然后随着时间的增加,携带线虫数量显著减小,之后下降速度比较缓慢,调查结果与松墨天牛羽化高峰期时携带的松材线虫数量多这一特征基本一致。

本研究结果表明,配套使用等量的植物源引诱剂时,聚集素使用剂量在0.02~2.0 mL范围内,捕获的松墨天牛量随着聚集素剂量的增加呈先升高后降低的趋势,即聚集素剂量在0.02~1.0 mL时,松墨天牛的诱捕量随着使用剂量的增加而增加,当使用剂量大于1.0 mL以后,诱捕量开始明显下降。通常情况下,信息素释放量的大小直接由诱芯内放置的信息素剂量的高低决定,当信息素使用剂量增加时,其对应的诱捕量也相应增加,但到某一最佳使用剂量点时,诱捕量就不再增加。但对于某些昆虫,诱芯内信息素剂量超过使用最适点时,诱捕

量反而下降<sup>[21]</sup>。邓建宇<sup>[22]</sup>的研究表明, 在以硅橡胶塞为剂型时, 随着斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 性信息素的使用剂量 (100 ~ 300  $\mu\text{g}$ ) 的增加, 其诱蛾量也随之增加, 当使用剂量增加到 500  $\mu\text{g}$  时, 其诱蛾量反而下降。Huang 等<sup>[23]</sup>在日本对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 性信息素的使用剂量试验中发现, 当使用剂量在 1 ~ 100  $\mu\text{g}$  时, 其诱蛾量随着性信息素剂量的增加而增加, 当继续增加剂量时, 其诱蛾量反而下降。笔者认为造成松墨天牛聚集素的剂量在诱虫上的差异, 可能是不同地理种群的松墨天牛对聚集素的感受阈值不同, 但具体原因有待进一步探索。此外, 聚集素的使用剂量在 1.0 ~ 2.0 mL 时, 可能存在诱捕效果更好的聚集素剂量临界点, 需要在这区间设置不同浓度的聚集素使用剂量进行田间测定。根据本文结果可知, 在松墨天牛成虫羽化高峰期, 选用 1 mL 剂量的聚集素, 配套使用植物源引诱剂在林间诱捕松墨天牛成虫, 可大幅度降低松墨天牛的虫口密度, 减少松材线虫的传播风险。

#### 参考文献:

- [1] KOBAYASHI F, YAMANE A, IKEDA T. The Japanese Pine Sawyer Beetle as the vector of Pine Wilt Disease[J]. *Ann Rev Entomol*, 1984, 29 (1): 115 - 135.
- [2] BAO J Y, QOU L W. Distribution of the pinewood nematode in China and susceptibility of some Chinese and exotic pines to the nematode[J]. *Can J For Res*, 2011, 19 (12): 1527 - 1530.
- [3] STAMPS W T, LINIT M. Interaction of intrinsic and extrinsic chemical cues in the behavior of *Bursaphelenchus xylophilus* (Aphelenchida: Aphelenchoididae) in relation to its beetle vectors[J]. *Nematology*, 2001, 3 (4): 295 - 301.
- [4] 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 (07): 17 - 20.
- [5] 朱宁, 张冬勇, 吴利平, 等. 聚集信息素和寄主植物挥发物对光肩星天牛和星天牛的引诱作用[J]. *昆虫学报*, 2017, 60 (04): 421 - 430.
- [6] 李为争, 胡晶晶, 陈汉杰, 等. 挥发性植物源害虫引诱剂筛选与混配方法的新视角[J]. *应用昆虫学报*, 2015, 52 (05): 1094 - 1106.
- [7] 严善春, 张丹丹, 迟德富. 植物挥发性物质对昆虫作用的研究进展[J]. *应用生态学报*, 2003 (02): 310 - 313.
- [8] 陈元生, 罗致迪, 赖福胜, 等. 松褐天牛引诱剂及诱捕器色泽筛选试验[J]. *中国植保导刊*, 2014, 34 (12): 44 - 46.
- [9] 洪承昊, 戴丽, 王少明, 等. 利用 APF-I 型化学引诱剂监测松褐天牛种群动态的研究[J]. *植物检疫*, 2017, 31 (03): 56 - 61.
- [10] TEALE, STEPHEN A, WICKHAM, et al. A male-produced aggregation pheromone of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a major vector of Pine Wood Nematode[J]. *J Econ Entomol*, 104 (5): 1592 - 1598.
- [11] PAJARES J A, ALVAREZ G, IBEAS F, et al. Identification and field activity of a male-produced aggregation pheromone in the pine sawyer beetle, *Monochamus galloprovincialis*[J]. *J Chem Ecol*, 2010, 36 (6): 570 - 583.
- [12] 樊建庭, 孟俊国, WANG B D, 等. 聚集性信息素和植物源信息素对松墨天牛的联合诱捕作用[J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50 (5): 1274 - 1279.
- [13] 陈龙, 李俊楠, 张飞萍, 等. 松墨天牛诱捕器空间位置的野外对比试验[J]. *福建林学院学报*, 2014, 34 (01): 11 - 14.
- [14] DICKENS J C. Plant volatiles moderate response to aggregation pheromone in Colorado potato beetle[J]. *J App Entomol*, 2006, 130 (1): 26 - 31.
- [15] ENDA N, MAMIYA Y. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) By *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)[J]. *Nematologica*, 1972, 18 (2): 159 - 162.
- [16] 柴希民, 张都海, 张国贤, 等. 松褐天牛成虫携带松材线虫的数量[J]. *东北林业大学学报*, 2000, 28 (5): 99 - 102.
- [17] TOGASHI K. Transmission curves of *Bursaphelen chusxylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) from its vector, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), to pine trees with reference to population performance[J]. *App Entomol Zool*, 1985, 20 (3): 246 - 251.
- [18] 刘曙雯, 孙国定, 嵇保中, 等. 松墨天牛成虫补充营养期间传递线虫的特点[J]. *林业科技开发*, 2007, 21 (1): 17 - 21.
- [19] 蒋平, 吾中良, 柴希民, 等. 松褐天牛传递松材线虫数量的研究[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2002, 26 (3): 69 - 71.
- [20] 张永丹. 松墨天牛成虫羽化及 APF-I 型诱剂释放速率的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [21] 杜家伟. 昆虫信息素及其应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988.
- [22] 邓建宇. 昆虫信息素剂型的研究和植物气味物质对昆虫信息素诱蛾效果的影响[D]. 北京: 中国科学院研究生院(上海生命科学研究院), 2004.
- [23] HUANG Y P, TAKANASHI T, HOSHIZAKI S, et al. Geographic variation in sex pheromone of Asian Corn Borer, *Ostrinia furnacalis*, in Japan[J]. *J Chem Ecol*, 1998, 24 (12): 2079 - 2088.