

4种引诱剂林间诱捕松墨天牛效果比较

温小遂^{1,2}, 喻爱林^{1*}, 唐艳龙³, 廖三腊⁴, 施明清⁵

(1. 江西省林业科学院, 江西 南昌 330013; 2. 江西环境工程职业学院, 江西 赣州 341000;
3. 遵义师范学院生物与农业科技学院, 贵州 遵义 563002; 4. 江西省新干县森防站 江西 新干 331300;
5. 江西省林业有害生物防治检疫局, 江西 南昌 330077)

摘要: [目的]明确 APF-I 型诱剂样品(A)和 F 型诱剂样品(C)对松墨天牛的诱捕效果。[方法]以生产上使用的 APF-I 持久增强型诱剂(B)和 F1 型诱剂(D)为对照,在林间进行了诱杀松墨天牛成虫试验。[结果]表明:诱剂 A 的平均诱虫量最高,分别为诱剂 B、诱剂 C 和诱剂 D 的 1.17 倍、1.41 倍和 1.58 倍,且显著高于诱剂 C 和诱剂 D。在持效试验中,诱剂 A 平均诱虫量也高于其他 3 种诱剂。在 161 d 诱捕期内 4 种诱剂诱到的松墨天牛雌虫是雄虫的 1.65~1.93 倍,平均 1.76 倍。诱剂 C 也优于同类产品的诱剂 D。[结论]诱剂 A 释放信息素均匀稳定,诱虫活性和持效作用强,最适合用于林间松墨天牛的测报及诱杀防治,因此建议在松材线虫病防治工作中优先选用。

关键词: 松墨天牛;信息素诱剂;诱捕效果;差异

中图分类号:S763

文献标识码:A

文章编号:1001-1498(2017)05-0765-06

Comparison on Efficiency of Pheromone Lures Equipped with Panel Traps in Catching Japanese Pine Sawyer *Monochamus alternatus* Adults

WEN Xiao-sui^{1,2}, YU Ai-lin¹, TANG Yang-long³, LIAO San-la⁴, SHI Ming-qing⁵

(1. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 2. Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 3. School of Life Science and Agrotechnological Academy, Zunyi Normal College, Zunyi 563002, Guizhou, China;
4. Xin'gan Forest Pest and Disease Control Station, Xin'gan 331300, Jiangxi, China;
5. Jiangxi Forest Pest and Disease Control and Quarantine Bureau, Nanchang 330077, Jiangxi, China)

Abstract: [Objective] To screen effective pheromone lures. [Method] A field test was carried out to investigate the attractiveness to *Monochamus alternatus* of 2 new pheromone lures (lure A and lure C) in compare with lure B and lure D. [Result] The results showed that lure A could catch more *M. alternatus* beetles than the other lures, which were 1.17, 1.41 and 1.58 times as many as that of lure B, lure C and lure D respectively. The trapping amount of lure C was higher than that of lure D, but no significant difference was found between them. The average amount of female beetles attracted by the pheromone lures were 1.76 times as many as that of male ones. [Conclusion] Lure A, with higher efficiency, stability and persistence, is more effective and reliable than the other 3 lures. So the priority should be given to lure A in monitoring and controlling *M. alternatus* adults.

Keywords: *Monochamus alternatus*; pheromone lure; trapping efficiency; difference

松墨天牛(*Monochamus alternatus* Hope)是松树的蛀干害虫,也是毁灭性病害松材线虫病(*Bursaph-*

lenchus xylophilus (Steiner and Buhrer) Nickle)在我国最主要的传播媒介。松材线虫病与松墨天牛的协同

危害,给我国造成了巨大的经济损失,并对森林资源、自然景观和生态环境产生了重大危害^[1-3]。在松材线虫病的发生和扩散过程中,松墨天牛发挥了携带、传播和协助病原侵入寄主的作用^[4-5]。因此,控制松墨天牛发生和为害就成为防治松材线虫病的关键环节。由于松墨天牛幼虫为害具有钻蛀性、隐蔽性和成虫羽化不整齐等特点,利用传统的化学药剂防治难以奏效^[6]。鉴于松墨天牛为害的严重性以及防治的艰巨性,基于化学信息物质的引诱技术是国内外研究的热点。已有研究表明,寄主松树的挥发性物质在松墨天牛成虫的寄主搜索、补充营养和产卵等行为的生境定位中起着重要作用^[7-10],日本最早利用这些活性物质研制植物源引诱剂诱杀松墨天牛^[3]。我国于20世纪80年代末期陆续开发出多种植物源引诱剂产品在生产上推广应用^[11-14];由于该类引诱剂只能诱捕到产卵期的松墨天牛,而此时这些天牛已传播了大量的松材线虫,因此,在生产上植物源引诱剂主要用于松材线虫病的监测^[14-15]。

Pajares 在樟子松墨天牛 *M. galloprovincialis* Olivier 发现了聚集性信息素 2-undecyloxy-1-ethanol, 并且研究证实该物质对植物源信息素引诱樟子松墨天牛和松墨天牛均有增效作用^[16-19]。由此一种以聚集性信息素和植物源化合物为主成分的松墨天牛复合型引诱剂被开发并形成了商业化的产品。实践表明,该复合型引诱剂具有诱捕效率高、使用剂量低、省工省力等优点,诱捕天牛效果是植物源引诱剂的4~5倍,因此迅速取代了植物源引诱剂,成为松墨天牛监测和防治的主要措施,同时在松材线虫病综合治理方面显示出强大的潜力^[18-19]。目前生产上使用的主要有 APF- I 型系列引诱剂和 F1 型引诱剂。近期,APF- I 型和 F 型引诱剂分别研制出新引诱剂和 F2 型引诱剂样品,由于尚未在市场使用,因此缺乏其诱集效果等相关研究数据。此外应用发现,不同类型引诱剂的诱捕效果存在差异。为此,作者于2016年5—10月用 APF- I 型新引诱剂和 F2 型引诱剂两种试验样品以及生产上使用最广泛的 APF- I 型持久增强型引诱剂和 F1 型引诱剂对松墨天牛的诱捕效果进行了

比较,旨在明确这2种诱剂样品的相关参数,评估不同类型诱剂的诱杀能力与实用性,为防控松材线虫病提供指导。

1 材料和方法

1.1 试验地概况与试验材料

1.1.1 试验地概况 试验地设在江西省新干县金川镇林场(24°54' N, 114°45' E, 海拔约100 m), 面积约80 hm², 群落类型为马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.) + 乌饭子(*Vaccinium bracteatum* Thunb.) + 芒萁(*Dicranopteris Dichotoma* (Thunb.) Bernh.), 主要林下植被还有石斑木(*Raphiolepis indica* (L) Lindl)、黄栀子(*Gardenia jasminoides* Ellis)、轮叶蒲桃(*Syzygium grijsii* (Hance) Merr. et Perry)等。马尾松树龄15~40 a, 松林密度1 000~1 500 株·hm⁻², 平均树高7 m, 胸径8~30 cm, 坡度10~20°, 郁闭度0.7~0.8。据调查,林间松墨天牛危害严重。

1.1.2 试验材料 APF- I 型新引诱剂样品由福建农林大学林学院研制; APF- I 持久增强型引诱剂及其配套的 ZM-60 型诱捕器由厦门三涌生物科技有限公司生产; F2 型样品由浙江农林大学林业与生物技术学院研制; F1 型引诱剂及其配套的 BF-1 型诱捕器由杭州费洛蒙生物科技有限公司生产。4 种诱剂分别标记为 A、B、C、D; ZM-60 型、BF-1 型 2 种诱捕器分别标记为 E、F; 如表 1 所示。

表 1 信息素诱剂和诱捕器来源

Table 1 The sources of pheromone lures and traps

标记 mark	性信息素诱剂以及诱捕器型号 pheromone lure& trap	来源 source
A	APF- I 型新引诱剂样品	福建农林大学林学院研制
B	APF- I 型持久增强型诱剂	厦门三涌生物科技有限公司
C	F2 型诱剂样品	浙江农林大学林业与生物技术学院研制
D	F1 型诱剂	杭州费洛蒙生物科技有限公司
E	ZM-60 型诱捕器	厦门三涌生物科技有限公司
F	BF-1 型诱捕器	杭州费洛蒙生物科技有限公司

诱捕器构件主要包括顶盖、十字挡板、漏斗和集虫瓶等。2 种诱捕器主要构件参数如表 2 所示。

表 2 2 种诱捕器主要构件参数

Table 2 The main component parameters of 2 panel traps

诱捕器 trap	圆形顶盖直径 circular top cover diameter(cm)	十字挡板 cross baffle		圆形漏斗 circular cone		集虫瓶 insect collection bottle		颜色 colour
		长 length/cm	宽 Width/cm	直径 Diameter/cm	高 Height/cm	直径 Diameter/cm	高 Height/cm	
ZM-60	44	60	32	32	18	10	22	黑色
BF-1	50	65	35	35	19	10	27	黑色

1.2 试验方法

1.2.1 不同诱芯的诱杀效果 设置4个处理:采用配套的ZM-60型撞板式诱捕器挂放诱剂A、诱剂B, BF-1型撞板式诱捕器挂放诱剂C、诱剂D,每个处理重复5次。试验于2016年5月14日开始到10月21日结束。林间诱捕器挂放高度约3 m,相邻诱捕器之间间隔约20 m,每重复中各处理均单独随机排序。试验开始时均装新诱芯,每隔7 d左右调查记录1次诱捕器内的松墨天牛成虫数量,分别雌、雄,清理集虫瓶内杂物;诱捕一直至林间天牛消失为止。试验期间,诱剂A不更换诱芯,诱剂B、诱剂C和诱剂D 54 d后更换诱芯。

1.2.2 不同诱剂的特效诱杀效果 由于诱剂A不更换诱芯,只需将前试验54 d后更换下来的诱剂B、诱剂C和诱剂D继续诱捕松墨天牛成虫,同时记录诱剂A诱杀数据。其他方法同上。

1.2.3 不同诱捕器的诱杀效果 采用ZM-60型和BF-1型分别挂诱剂B和诱剂D,每个处理重复5次。试验于6月15日开始到9月28日结束历时105 d。其他方法同上。

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 19.0软件进行分析,不同处理间的天牛诱捕数量采用ANOVA进行方差分析,同时用LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同诱剂诱捕松墨天牛数量变化

整个诱捕天数为161 d(5月14日—10月21日),ZM-60型诱捕器中诱剂A的诱捕总量为3 478头、大于诱剂B的2 969头、BF-1型诱捕器中诱剂C的诱虫量为2 464头,大于诱剂D的2 201头。同时亦可显示ZM-60型诱捕器中A诱剂的诱虫量亦更大于在BF-1型诱捕器中C、D诱剂的诱虫量。图1显示,4种诱剂的诱捕量在5月—6月处于诱捕的高峰期;7月中旬以后松墨天牛数量明显减少,林间低虫口状态一直到10月中旬结束。4种不同诱剂的诱捕量动态基本一致。统计数据显示:在5月14日—7月16日近2月的诱捕高峰期,在使用各自配套诱捕器的条件下,诱剂A的诱捕量为2 898头,诱剂B为2 384头,诱剂C为2 040头,诱剂D为1 767;分别占其诱捕总量的83.32%、80.30%、82.79%和80.28%。

2.2 不同诱剂的诱捕质量

结果分析表明:两组不同诱剂,在各自的诱捕器中对松墨天牛雌雄总体、雌虫的诱捕量均有显著影响(♀+♂: $F = 4.996, df = 3, 16, P = 0.012$; ♀: $F = 6.6729, df = 3, 16, P = 0.004$)。由表1可知,使用ZM-60型诱捕器的诱剂A雌雄总体诱虫量

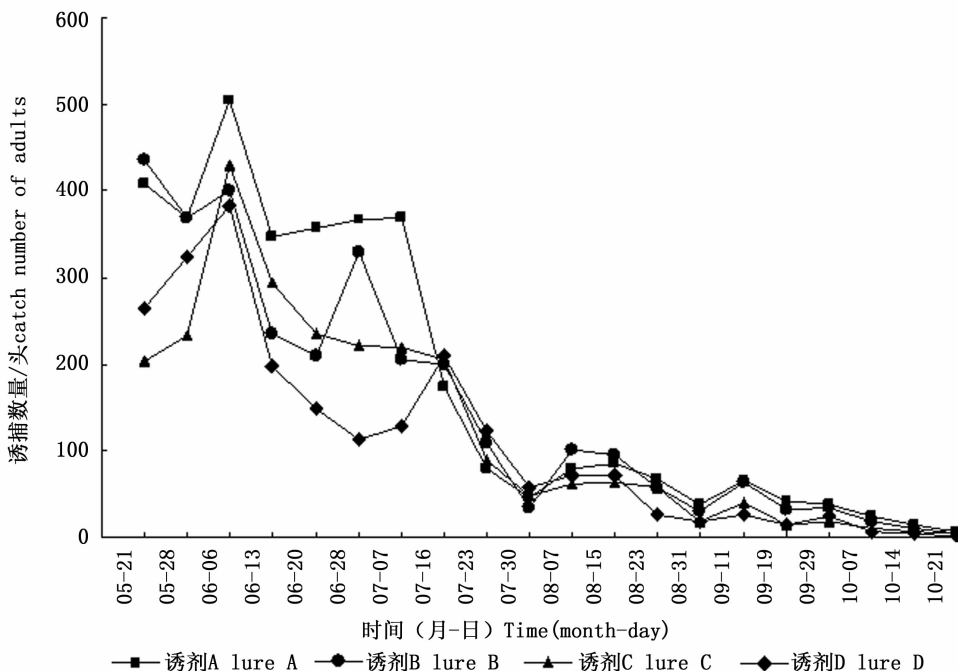


图1 不同信息素诱剂周诱捕松墨天牛数量曲线

Fig. 1 The quantity curve of *M. alternatus* adults caught by different pheromone lures in different weeks

均值最高,为 695.6 ± 123.68 头·诱捕器⁻¹,为诱剂 B 的 1.17 倍,为使用 BF-1 型诱捕器的诱剂 C 和诱剂 D 的 1.41 倍和 1.58 倍;诱剂 A 与诱剂 B 差异不显著,与诱剂 C 和诱剂 D 差异显著;诱剂 B 与诱剂 C 差异不显著,与诱剂 D 差异显著;诱剂 C 和诱剂 D

无差显著;4 种诱剂的雌虫诱虫量差异与总体一致。不同诱剂对雄虫的诱捕量无显著影响($\delta : F = 2.221, df = 3, 16, P = 0.125$)。4 种不同信息素诱剂诱到的松墨天牛雌虫是雄虫的 1.65 ~ 1.93 倍,平均 1.76 倍。

表 3 不同诱剂对松墨天牛的诱集量

Table 3 The number of *M. alternatus* adults caught by different pheromone lures

诱捕器 trap	诱剂 lure	诱虫总量均值/(头·诱捕器 ⁻¹) average number of <i>M. alternatus</i> adults caught per trap			♀ : ♂
		♀ + ♂	♀	♂	
ZM60	A	695.6 ± 123.68 a	457.8 ± 74.01 a	237.8 ± 60.87 a	1.93
ZM60	B	593.8 ± 70.74 ab	375.0 ± 59.46 ab	218.8 ± 20.83 a	1.71
BF-1	C	492.8 ± 104.87 bc	312.4 ± 61.945 bc	180.4 ± 43.83 a	1.73
BF-1	D	440.2 ± 140.85 c	273.8 ± 79.66 c	166.4 ± 61.83 a	1.65

注:不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,下同。

Different letters mean that there are significant differences at $P < 0.05$. the same below.

使用各自配套诱捕器的 4 种不同诱剂在三个不同时段所诱到的松墨天牛成虫头数见表 4。结果分析表明:在处于高峰期的第 1 个时段,不同诱剂及其配套诱捕器对松墨天牛诱捕量有显著影响($F = 5.080, df = 3, 16, P = 0.012$)。使用 ZM-60 型诱捕器的诱剂 A 诱虫量最高,均值为 471 ± 79.01 头·诱捕器⁻¹,分别为使用同一诱捕器的诱剂 B、使用 BF-1 型诱捕器的诱剂 C 和诱剂 D 的 1.19 倍、1.46 倍和 1.65 倍;诱剂 A 与诱剂 B 差异不显著,与诱剂 C 和诱剂 D 差异显著;诱剂 B 与诱剂 C 差异不显著,与诱剂 D 差异显著;诱剂 C 和诱剂 D 无差显著。在虫情处于下降的第 2 个时段,不同诱剂对松墨天牛诱捕量差异不显著($F = 0.525, df = 3, 16, P = 0.671$),仍然以诱剂 A 的诱虫量最多,为诱剂 B 次之,诱剂 C 第三,诱剂 D 最少。在虫情处于低虫口的第 3 个时段,不同诱剂对松墨天牛诱捕量有显著影响($F = 4.982, df = 3, 16, P = 0.013$),诱剂 A 诱虫量最高,均值为 58.4 ± 22.53 头·诱捕器⁻¹,分别为诱剂 B、诱剂 C 和诱剂 D 的 1.18 倍、1.81 倍和 2.63 倍。

表 4 不同诱剂在不同时段松墨天牛诱集量

Table 4 The number of *M. alternatus* adults caught by different pheromone lures in different periods

诱捕器 trap	诱剂 lure	诱虫总量均值/(头·诱捕器 ⁻¹)		
		05.14 ~ 06.28	06.29 ~ 08.15	08.16 ~ 10.21
ZM60	A	471.0 ± 79.01a	166.2 ± 68.74	58.4 ± 22.53a
ZM60	B	396.0 ± 35.51ab	148.4 ± 21.07	49.4 ± 19.93ab
BF-1	C	323.2 ± 82.03bc	137.4 ± 32.44	32.2 ± 10.80bc
BF-1	D	285.6 ± 110.72c	132.4 ± 48.19	22.2 ± 7.29c

由表 4 还可知,4 种诱剂及其配套诱捕器均在第 1 个时段(6 周)诱到的松墨天牛最多,分别占总体诱虫量的 67.71%、66.69%、65.58% 和 64.88%。

2.3 不同诱芯的持效诱杀效果

持效试验诱捕天数为 105 d(7 月 8 日—10 月 21 日),在使用各自配套诱捕器中,诱剂 A 诱捕量最高为 689 头、诱剂 C 为 602 头、诱剂 B 为 523 头、诱剂 D 最少为 367 头。图 2 显示,诱剂 A 在持效期的诱捕效果最好,诱剂 C 次之,诱剂 B 第三,诱剂 D 最差;4 种诱剂在持效试验期内诱捕量动态基本一致。

结果分析表明:在使用各自配套诱捕器的持效试验中,诱剂 A 引诱成虫雌雄总体、雌虫和雄虫数量最多,诱剂 C 次之,诱剂 B 第三,诱剂 D 最少。不同诱剂对松墨天牛雌雄总体、雌虫的诱捕量无显著影响($\text{♀} + \text{♂} : F = 2.212, df = 3, 16, P = 0.138$; $\text{♀} : F = 1.494, df = 3, 16, P = 0.254$);但对雄虫的诱捕量存在显著影响($F = 3.298, df = 3, 16, P = 0.048$),在雄虫诱虫量均值比较中,诱剂 A、诱剂 B 和诱剂 C 三者无显著差异,诱剂 D 诱虫量最少。

2.4 不同诱捕器的诱杀效果

结果分析表明:在挂放诱剂 B 的 2 个处理中,不同诱捕器对松墨天牛诱捕量无显著影响($\text{♀} + \text{♂} : F = 0.669, df = 1, 8, P = 0.437$);同样,在挂放诱剂 D 的 2 个处理中,不同诱捕器对松墨天牛诱捕量也无显著影响($\text{♀} + \text{♂} : F = 0.003, df = 1, 8, P = 0.956$)。但注意到使用诱捕器 E 的 2 个处理诱虫量均稍低于诱捕器 F。

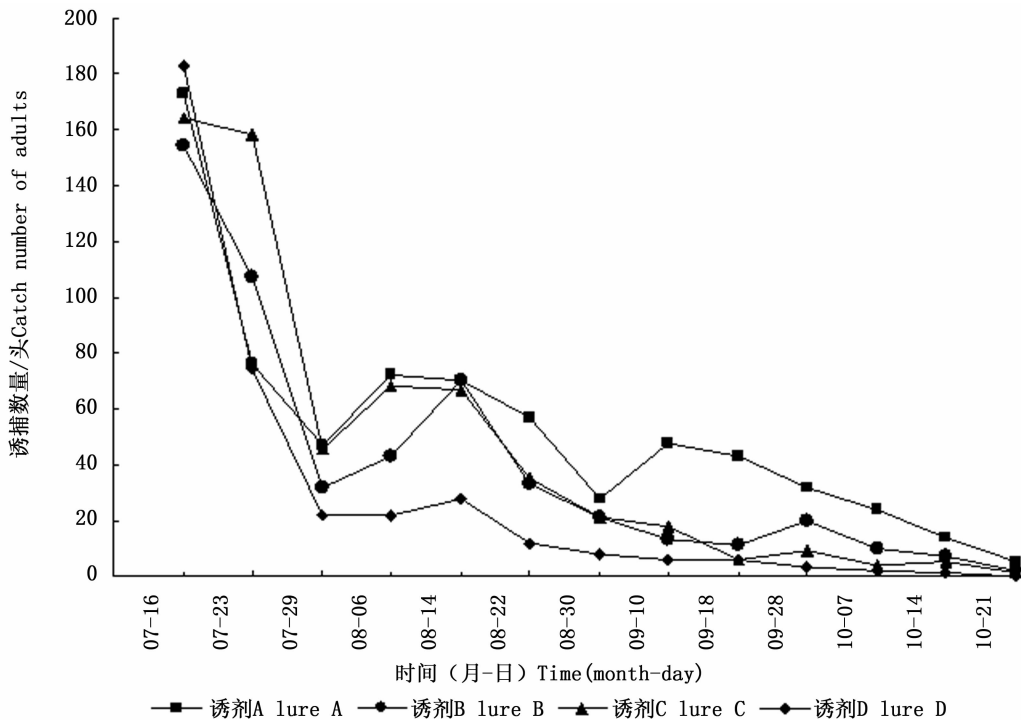


图2 不同诱剂持效诱虫量曲线

Fig. 2 The quantity curve of *M. alternatus* adults caught by different pheromone lures in persistent insect-attracting test

表5 不同诱剂对松墨天牛的持效诱集量

Table 5 The number of *M. alternatus* adults caught by different pheromone lures in persistent insect-attracting test

诱捕器 trap	诱剂 lure	诱虫总量均值/(头·诱捕器 ⁻¹) average number of <i>M. alternatus</i> adults caught per trap		
		♀+♂	♀	♂
ZM-60	A	137.8 ± 52.15 a	91.6 ± 39.89 a	46.2 ± 13.03 a
ZM-60	B	104.6 ± 44.29 a	74.6 ± 34.35 a	31.8 ± 9.76 ab
BF-1	C	120.4 ± 39.70 a	79.2 ± 26.98 a	41.2 ± 17.80 ac
BF-1	D	73.4 ± 28.25 a	50.6 ± 21.20 a	22.8 ± 8.32 b

3 讨论

近年来,在我国松材线虫病疫区,松墨天牛复合诱剂已广泛应用,产品也在不断更新换代。本研究以目前生产上普遍使用的诱剂 B 和诱剂 D 为对照,测试了诱剂 A 和诱剂 C 2 种样品的诱虫效果。结果表明,使用 ZM-60 型诱捕器的诱剂 A 松墨天牛诱虫量最高,分别为使用同一诱捕器的诱剂 B、使用 BF-1 型诱捕器的诱剂 C 和诱剂 D 的 1.17 倍、1.41 倍和 1.58 倍。在 3 个不同时间段的诱捕量比较也表明,在成虫高峰期的 5 月至 6 月,在使用各自配套诱捕器的条件下,诱剂 A 的诱虫量分别为诱剂 B、诱剂 C 和诱剂 D 的 1.19 倍、1.46 倍和 1.65 倍,且与诱剂 C 和诱剂 D 存在显著差异,这可能是因为在成虫高

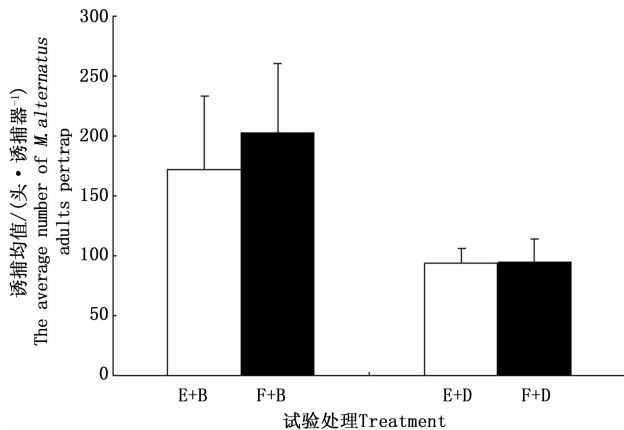


图3 不同诱捕器松墨天牛平均诱捕量

Fig. 3 The average number of *M. alternatus* adults caught by different panel traps

峰期,林间天牛密度大,使诱剂 A 能发挥更好的诱效。在虫情处于下降的 7 月至 8 月中旬,虽然不同诱剂的诱捕量之间无显著差异,但诱剂 A 诱虫量仍然最高。在虫情处于低虫口的 8 月下旬至 10 月中下旬,诱剂 A 的诱虫量与其他 3 种诱剂的诱捕量差异最大,分别为诱剂 B 诱剂 C 和诱剂 D 的 1.18 倍、1.81 倍和 2.63 倍。持效试验中,虽然不同诱剂的诱捕量无显著差异,但仍然以诱剂 A 诱捕量最高。这都说明,诱剂 A 释放信息素均匀稳定,诱虫活性

好,整个诱捕期不需更换诱芯,这不仅可以节约成本,而且极大地减少劳动量,给林间诱捕操作带来极大的便利,最适合作林间测报及诱杀防治。

尽管改进后的诱剂 A 和诱剂 C 的诱捕量分别与同类型的诱剂 B 和诱剂 D 比较差异均不显著,但诱剂 A 诱捕量高于诱剂 B,且在试验期没有更换诱芯;同样,诱剂 C 诱剂诱捕量也高于诱剂 D,且显示出较强的持效作用。因此,建议诱剂 A 和诱剂 C 能尽快上市用于松墨天牛监测与防治。

本研究显示,在使用诱剂 B 和诱剂 D2 种诱芯的条件下,诱捕器 E 和诱捕器 F 的诱捕量均无显著差异,且后者的诱虫量稍多于前者,这很可能是诱捕器 F 十字挡板面积和漏斗较大,较利于林间天牛的诱捕。本研究还表明,APF-I 系列的诱剂 A 和诱剂 B 松墨天牛诱虫量均值分别为 695.6 头·诱捕器⁻¹和 593.8 头·诱捕器⁻¹,平均为 644.7 头·诱捕器⁻¹,诱捕效果较 F 系列的诱剂 C 和诱剂 D 好;并且试验期间不同诱剂捕获的平均雌虫量是雄虫的 1.76 倍,诱剂 A 高达 1.93 倍(表 3);大量雌虫被诱杀后,不但会直接降低下一代天牛种群数量,而且使林间害虫种群性比发生了变化,干扰了松墨天牛的正常繁育。研究证实,这类复合诱剂不但诱捕效率高,还能够诱杀补充营养期和产卵期的松墨天牛^[18-19],由于成虫的大量诱杀,对天牛种群起到了较好的控制效果,进而减少了传播松材线虫的几率,减轻了松林的危害^[20]。因此,可以将信息素诱剂诱杀作为控制松材线虫病蔓延的关键措施。

4 结论

在 4 种诱剂林间诱捕松墨天牛效果比较中,诱剂 A 的松墨天牛诱虫量最高,且显著高于诱剂 C 和诱剂 D;并且整个诱捕期诱剂 A 不需更换诱芯。在持效试验中,也是以诱剂 A 的诱捕量最高。这说明,诱剂 A 释放信息素均匀稳定,诱虫活性和持效作用强,最适合用于林间松墨天牛的测报及诱杀防治,因此建议在松材线虫病防治工作中优先选用。

参考文献:

[1] Yang B J, Wang Q. Distribution of the pine wood nematode in China and susceptibility of some Chinese and exotic pines to the nematode [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1989, 19(12): 1527-1530.

[2] 杨宝君,朱克恭,周元生. 中国松材线虫病的流行与治理[M]. 北京:中国林业出版社,1995:113-114.

[3] 杨宝君,王玉嫵,潘宏阳,等. 松材线虫病[M]. 北京:中国林业出版社,2003:47-48.

[4] Stamps W T, Linit M J. Interaction of intrinsic and extrinsic chemical cues in the behaviour of *Bursaphelenchus xylophilus* (Aphelenchida: Aphelenchoididae) in relation to its beetle vectors[J]. Nematology, 2001, 3(4): 295-301.

[5] 郝德君,樊斌琦,唐进根,等. 松墨天牛引诱剂的筛选及其引诱作用[J]. 东北林业大学学报,2009a,37(11):86-87.

[6] 赵锦年. 松墨天牛幼虫生息坑道的研究[J]. 林业科学研究,2005,18(1):62-65.

[7] 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(4): 150-152.

[8] Yamasaki T, Sakai M, Miyawaki S. Oviposition stimulants for the beetle, *Monochamus alternatus* Hope, in inner bark of pine [J]. Journal of Chemical Ecology, 1989, 15(2): 507-516.

[9] 郝德君,杨剑霞,戴华国. 松墨天牛化学生态学[J]. 生态学杂志,2008a,27(7):1227-1233.

[10] 郝德君,杨建霞,唐进根,等. 松墨天牛对雪松挥发物的触角电位和嗅觉反应[J]. 福建林学院学报,2008b,28(3):233-236.

[11] 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.

[12] 李馥纯,黄咏槐,范军祥,等. A-3 型松墨天牛引诱剂诱虫谱研究[J]. 昆虫天敌,2006,28(3):103-108.

[13] 黄金水,何学友,杨希. 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.

[14] 蒋丽雅,朋金和,周健生,等. 松墨天牛引诱剂 Mat-1 号的研究[J]. 森林病虫通讯,1997(3):5-7.

[15] 王敏敏,叶建仁,潘宏阳. 松材线虫病致病机理和防治技术研究进展[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006(2):103-107.

[16] 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]. Journal of Chemical Ecology, 2010, 36(6): 570-583.

[17] Teale S, Wickham J, Zhang F, et al. A male-produced aggregation pheromone of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a major vector of pine wood nematode [J]. Economic Entomology, 2011, 104(5): 1592-1598.

[18] 樊建庭,孟俊国, Baode Wang, 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.

[19] 陈龙,林强,李俊楠,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(1):11-14.

[20] 王四宝,刘云鹏,樊美珍,等. 不同诱捕技术对松墨天牛的诱捕效果[J]. 应用生态学报,2005,16(3):505-508.

(责任编辑:崔 贝)