

松墨天牛信息化合物在不同缓释载体上的释放速率

朱诚棋, 陈家颖, 马涛, 牟静, 秦文权, 温秀军*

(华南农业大学林学与风景园林学院, 广东广州 510642)

摘要: [目的]为研究目前常用的4种缓释载体对松墨天牛信息化合物的释放速率,以筛选合适的缓释材料应用于仿生诱芯制作。[方法]选用(+)- α -蒎烯、(-)- β -蒎烯、2-十一烷氧基-1-乙醇,按9:1:1的成分比配制成为引诱剂,聚乙烯缓释瓶A(LDPE)、聚乙烯缓释瓶B(HDPE)、聚乙烯管(PE)及灯芯瓶(PP)作为松墨天牛信息化合物的缓释材料,制作成松墨天牛诱芯悬挂于室外,并以APF-I型松墨天牛引诱剂为对照。每5d称量诱芯的重量并对缓释材料内的引诱剂成分进行GC分析,连续观察记录60d,探究不同材料的缓释效果。[结果]灯芯瓶作为缓释材料,能使三种松墨天牛信息化合物比例长时间保持在较好水平,60d后三种组分的相对含量分别为85.69%、9.23%、5.08%,缺点在于日挥发量较低。而聚乙烯缓释瓶A、聚乙烯缓释瓶B、聚乙烯管三种缓释材料组分挥发比例不协调,表现在聚乙烯缓释瓶A不能在较长时间内保持初始组分比例,物质释放在第19d达到高峰,然后迅速下降并保持低释放水平;聚乙烯缓释瓶B中信息化合物的释放速率长期处于不稳定状态,第34d是其释放速率的高峰,但该缓释材料能将释放量长期处于较高释放水平;聚乙烯管能在初期测试时就达到释放最高水平,然后随观测时间推移释放量持续下降,不能保持长时间高释放量。[结论]对照常见的APF-I缓释材料,聚乙烯管缓释曲线最接近。实验明确了松墨天牛信息化合物在4种常用缓释载体上的释放模式及释放动态特征,能对缓释材料的选择应用提供指导,但这些材料都有一定缺陷,有必要加强对松墨天牛引诱剂缓释材料的进一步研究。

关键词: 松墨天牛;信息化合物;缓释材料;缓释

中图分类号:S763

文献标识码:A

文章编号:1001-1498(2017)02-0315-07

Research on Release Rates of Semiochemicals of *Monochamus alternatus*

ZHU Cheng-qi, CHEN Jia-ying, MA Tao, MOU Jing, QIN Wen-quan, WEN Xiu-jun

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: [Objective] To study the release rates of different types of commonly used dispensers in order to select the suitable dispensers. [Method] Selecting 3 major semiochemicals of *Monochamus alternatus* including (+)- α -Pinene, (-)- β -Pinene, and 2-undecyloxy-1-ethanol which were loaded with different amounts in a 9:1:1 ratio in 4 dispensers. The release rates of these compounds from LDPE bottle (3 mL), HDPE bottle (13 mL), PE tube, and PP bottle (14 mL) were evaluated by using Gravimetric method and Gas chromatography analysis. The results were compared with APF-I lures under the same environmental conditions as $28 \pm 3^\circ\text{C}$, $75 \pm 10\%$ RH. [Result] The results indicated that the wick bottle can keep the three compounds releasing at a good and stable level for 70 days. The proportions of the three semiochemicals in the end were 85.69%, 9.23%, and 5.08%, respectively. The release rates of the three semiochemicals of *M. alternatus* from Wick bottle maintained a relatively low level over the whole testing period. The LDPE bottle, HDPE bottle and PE tube can not keep a stable proportion of the three com-

收稿日期:2016-06-12

基金项目:中央财政林业科技推广示范项目(2015)GDTK-09;国家林业公益性行业科研专项(201304401)。

作者简介:朱诚棋(1992—),男,浙江嘉兴人,硕士研究生。研究方向:害虫综合防治及昆虫信息素。E-mail:cqzhu@stu.scau.edu.cn

* 通讯作者:温秀军(1965—),男,教授,研究方向:化学生态学和森林昆虫学。

ponents. The release rates from LDPE bottle increased during the 4th to the 19th days with a peak of released rates at the 19th day, and then dropped to and maintained at a low level after its peak. The three semiochemicals from the HDPE bottle maintained a high release rate but varied during the whole observation period; and reached the peak at the 34th day. The dynamic release pattern of semiochemicals from PE tube was similar with APF-I. [Conclusion] Studies on the release patterns of different types of dispensers could help us understand the dynamic releasing characteristics. And the result would provide some effective information on the selection of suitable dispensers. It is needed to indicate that these dispensers have some defects, and it is necessary to strengthen the research on lure sustained-release materials.

Keywords: *Monochamus alternatus*; semiochemicals; dispensers; release

松墨天牛 (*Monochamus alternatus* Hope) 属鞘翅目 (Coleoptera) 天牛科 (Cerambycidae) 墨天牛属 (*Monochamus*), 是一种严重危害马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、湿地松 (*Pinus elliottii* Engelm.) 等林木的害虫, 其成虫也是松材线虫 (*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner&Buhner) Nickle) 的主要传播媒介^[1-2]。目前, 松墨天牛的引诱剂应用广泛, 主要为植物源物质, 以 (+)- α -蒎烯、(-)- β -蒎烯为主^[3-4], 此外松墨天牛产生的聚集信息素 2-十一烷氧基-1-乙醇也能很好引诱雌雄成虫, 配合植物源信息化合物有显著增效作用^[5]。

昆虫信息素配合植物源引诱剂制成诱芯, 能够在生产上很好地达到大量诱捕害虫和干扰害虫交配的目的^[6]。但是, 实践证明这类诱芯存在着防治持续时间短, 受外界环境影响大, 稳定性差等缺点^[7-8], 阻碍了诱芯的大面积推广应用。因此有必要在仿生诱芯的制作中, 引入或改良现有的缓释技术, 选择适宜的缓释载体, 保护信息化合物免受环境降解并能保持长期稳定释放, 以最大发挥诱芯的生物活性。

目前主要有两大类缓释技术, 一类是将活性物质溶解、包埋或者分散在缓释材料中以减少扩散速率的物理缓释法, 报道应用多的有硅橡胶诱芯^[9]、性信息素微胶囊^[10]、空心纤维^[11]、迷向丝、蜡滴^[12]等; 另一类是通过化学反应将引诱活性物质和缓释剂进行反应, 形成以化学键相连的释放体系, 该体系能有效延长缓释时间^[13]。通过物理材料进行缓释是主要的延长引诱剂使用时间的办法, 缓释载体本身的特性常会对引诱剂造成一定影响, 比如蜡滴常因夏季的高温而缩短使用寿命^[14], 橡胶载体中因存在交联剂硫会影响昆虫信息化合物的稳定性^[15]等, 这些都容易造成某种材质的载体不容易推广使用。目前生产上应用较多的缓释载体是橡胶塞和迷

向丝。

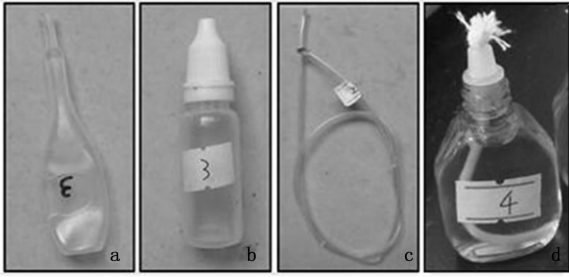
本研究选用 4 种缓释材料作为诱芯, 分别为低密度聚乙烯材料 (LDPE)、高密度聚乙烯材料 (HDPE)、聚乙烯管 (PE) 和灯芯瓶 (PP)。低密度聚乙烯材料 (LDPE) 又称高压聚乙烯, 由于其材质具有较低的分子密度、良好的延伸性、电绝缘性、化学稳定性, 使得它能广泛应用于农膜、包装膜以及管材等制品, 在生产上有重要作用。高密度聚乙烯材料 (HDPE) 是乙烯经聚合制得的一种热塑性树脂, 该材料无毒, 无臭, 具有良好的耐热性和耐寒性, 而且化学稳定性较好, 能耐大多数酸碱的侵蚀。聚乙烯管 (PE) 常用来制作迷向丝, 目前已经有很多企业进行工业化生产和防治应用, 这种缓释技术为物理缓释, 性信息素每小时从迷向丝的释放速率是处于召唤期雌蛾的 600 ~ 1 000 倍^[16]。灯芯瓶的材质为普通塑料, 内部有一根连接液体和外部的棉灯绳, 用以帮助挥发内部物质。APF-I 型引诱剂是松墨天牛高效引诱剂, 具有诱捕效率高、靶标专一、使用剂量低的特点, 在天牛的防治及松材线虫病的防控中有重要的作用^[17]。研究松墨天牛信息化合物在 4 种缓释载体上的释放模式及释放动态特征, 寻找合适的缓释载体材料, 进而提高松墨天牛诱芯的引诱效果 (图 1)。

1 材料与方法

1.1 信息化合物成分、缓释载体

松墨天牛信息化合物。植物源引诱剂: (+)- α -蒎烯、(-)- β -蒎烯 (北京百灵威科技有限公司, 纯度 98% 以上)。松墨天牛聚集信息素: 2-十一烷氧基-1-乙醇 (北京中捷四方生物科技股份有限公司提供, 纯度 95% 以上)。对照组诱芯: APF-I 型诱芯 (厦门三涌生物科技有限公司)。

缓释材料。聚乙烯缓释瓶 A (LDPE 材质, 3 mL,



a 聚乙烯缓释瓶 A; b 聚乙烯缓释瓶 B; c 聚乙烯管; d 灯芯瓶
E bottle (3mL); b HDPE bottle (13mL); c PE tube; d PP bottle (14mL)

图1 4种实验缓释材料
Fig. 1 Four dispenser types

壁厚 0.067 ± 0.016 mm, 质量 0.6217 ± 0.0087 g)、聚乙烯缓释瓶 B (HDPE 材质, 13 mL, 壁厚 0.407 ± 0.054 mm, 质量 1.6821 ± 0.0136 g)、聚乙烯管 (PE 材质, 长 120 cm, 壁厚 0.322 ± 0.025 mm, 质量 2.2368 ± 0.0086 g) 及灯芯瓶 (PP 材质, 14 mL, 壁厚 0.771 ± 0.046 mm, 质量 5.0143 ± 0.0253 g)。

1.2 方法

1.2.1 引诱剂配制 将 (+)- α -萘烯、(-)- β -萘烯、2-十一烷氧基-1-乙醇按照 9:1:1 的比例配制成松墨天牛信息化合物混合液, 用移液枪将信息化合物混合液转移到缓释瓶中, 加至瓶口处。聚乙烯管由于管孔较小, 用进样针注射 2 mL 信息化合物混合液, 两端用打火机封口。每样品设置 7 组进行试验, 其中 2 组用于 GC 分析混合物比例, 另 5 组用于称重计算损失量。模拟野外诱芯放置状态, 将不同载体诱芯悬挂于同一撞击型松墨天牛诱捕器 (北京中捷四方生物科技股份有限公司) 同一位置。

1.2.2 缓释速率的测定 称重法主要测定不同缓释材料中松墨天牛信息化合物的释放速率, 松墨天牛信息化合物的释放量和其相对比例都会影响其对松墨天牛的引诱效果。本实验采用精密电子天平称量缓释载体内信息化合物的挥发量 (电子天平精度: 0.0001 g, AL204-1C, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司)。称量采用每种缓释载体的 3~7 号样品, 每 5 d 称量重量, 记录样品的总量和损失量及天气情况, 每次称量结束, 将样品放回原位置以便继续试验。

1.2.3 气相色谱 (GC) 分析 气相色谱分析法主要检测 (+)- α -萘烯、(-)- β -萘烯和 2-十一烷氧基-1-乙醇 3 种信息化合物释放速率是否同步, 随着时间延长, 剩余的引诱剂中 3 种化学物质的比例是否有较大的变化。采用 7820A 气相色谱仪 (气

相色谱仪 7820A, Agilent 公司) 进行分析, 色谱柱为 DB-5 MS 非极性毛细管色谱柱 ($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$)。分析条件: 升温程序 80°C 保持 1 min, 然后 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 上升到 230°C , 保持 5 分钟。将每种缓释载体的 1、2 号样用于分析, 用进样针吸取 $1 \mu\text{L}$ 信息化合物, 正己烷稀释 1 000 倍后取 $1 \mu\text{L}$ 稀释液进样分析, 每次 GC 分析后都将缓释载体的取样口密封。

谱图定性方法: 将 (+)- α -萘烯、(-)- β -萘烯和 2-十一烷氧基-1-乙醇单独进样进行 GC 分析, 得到三种信息化合物峰的保留时间, 根据物质的保留时间确定混合信息化合物中的物质峰; **谱图定量方法:** 对检测的引诱剂按面积归一法进行定量分析, 分别求得各信息化合物的相对百分含量。

1.3 数据分析

数据以 $\text{mean} \pm \text{SE}$ 在曲线图上表示, 所有数据均采用 SPSS 22 软件进行数据处理, 采用 ANOVA 进行方差分析, Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 3 种信息化合物在聚乙烯缓释瓶 A (LDPE) 中的释放模式

对于 3 种信息化合物在聚乙烯缓释瓶 A 中释放模式试验表明 (图 2), 3 种信息化合物在初期处于较低释放水平, 日均挥发量随着时间显著提高, 第 19 天达到最大释放量 ($85.84 \pm 2.54 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$), 然后日均挥发量呈现显著下降趋势, 直到第 33 天, 日均挥发量缓慢下降, 并达到一个极低的释放状态, 在观测末期第 68 天, 释放量仅为 (2.57 ± 0.21) $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。经过多重比较分析 (Duncan, $\alpha = 0.05$) 发现第 19 天释放速率显著高于其他时间。

在释放初期第 8 d, 3 种信息化合物的比例接近初始比 9:1:1, (+)- α -萘烯、(-)- β -萘烯和 2-十一烷氧基-1-乙醇的相对含量分别为 84.45%, 9.18%, 6.35%。从第 28 天开始, 3 种信息化合物组分比出现显著变化, 具体表现在 (+)- α -萘烯挥发量增大, 2-十一烷氧基-1-乙醇的比例显著升高, 到观测末期第 68 d, 3 者的相对含量为 2.20%, 0.07%, 95.82%。对比 68 d 内的释放模式, 松墨天牛信息化合物 (+)- α -萘烯在聚乙烯缓释瓶 A 中释放较快, 不能长期保持信息化合物初始有效配比。

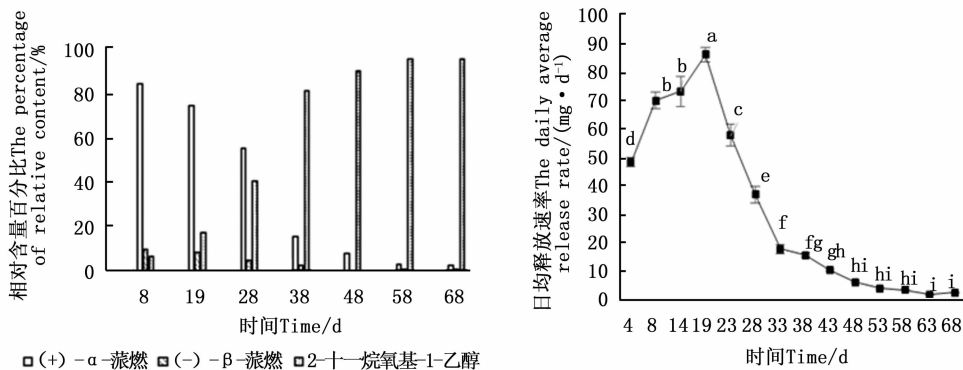


图2 3种信息化合物在聚乙烯缓释瓶A(LDPE)中的释放动态

Fig.2 Dynamic release rates of three semiochemicals in LDPE bottle

2.2 三种信息化合物在聚乙烯缓释瓶B(HDPE)中的释放模式

三种松墨天牛信息化合物在聚乙烯缓释瓶B中的日均释放量有一定的波动性(图3),但波动变化不明显。在第34天达到最大释放速率为 $(50.48 \pm 5.54) \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

在观察初期第10天(+)-α-萜烯,(-)-β-萜烯和2-十一烷氧基-1-乙醇的相对含量分别为75.13%,

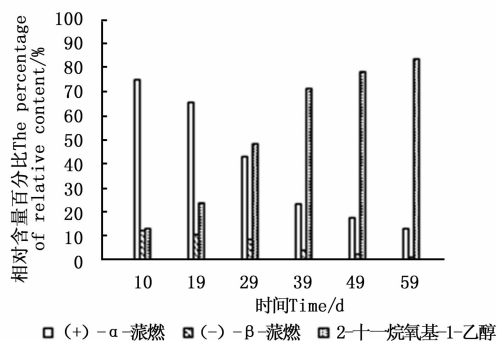


图3 3种信息化合物在聚乙烯缓释瓶B(HDPE)中的释放动态

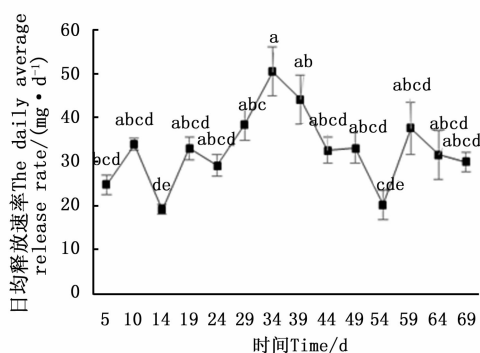
Fig.3 Dynamic release rates of three semiochemicals in HDPE bottle

2.3 3种信息化合物在聚乙烯管(PE)中的释放模式

3种松墨天牛信息化合物在聚乙烯管中的日均释放速率呈逐渐下降的趋势(图4)。表现在初始释放时3种信息化合物就达到释放高峰,第4~14天释放速率迅速下降,此后日均释放速率减缓,第33天后保持低释放速率状态。经过多重比较分析(Duncan, $\alpha = 0.05$)发现第43~68天,释放速率差异变化不显著,第4、8天平均释放速率高于其他测试时间,分别为 $120.10 \pm 8.17 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$, $70.96 \pm 5.49 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

3种松墨天牛信息化合物在聚乙烯管中相对含

量为12.02%, 12.80%, 在60天左右,三者相对含量分别为12.90%, 1.21%, 83.84%。(+)-α-萜烯,(-)-β-萜烯在10~60天内的相对含量下降率分别为82.83%, 89.93%, 2-十一烷氧基-1-乙醇的相对含量上升率为555.00%。期间,在前20天,(+)-α-萜烯相对含量在65%以上,在40天左右,下降为23.39%。



量变化量较大(图4)。第8天左右,(+)-α-萜烯,(-)-β-萜烯和2-十一烷氧基-1-乙醇相对含量分别为82.27%, 8.52%, 9.14%,第68天,三者相对含量分别为37.49%, 6.62%, 53.63%,(+)-α-萜烯,(-)-β-萜烯的相对含量下降率分别为54.43%, 22.30%, 2-undecyloxy-1-ethanol的相对含量上升率高达486.76%。期间,前20天左右,(+)-α-萜烯组分比例75%以上,2-十一烷氧基-1-乙醇组分比例在15%以下,但在40天左右,(+)-α-萜烯相对含量下降到了49.10%,2-十一烷氧基-1-乙醇的组分比例达到在40%以上。

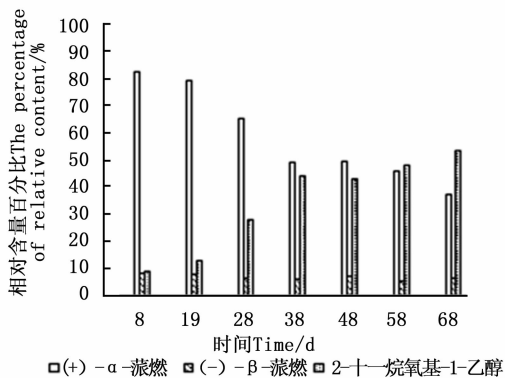
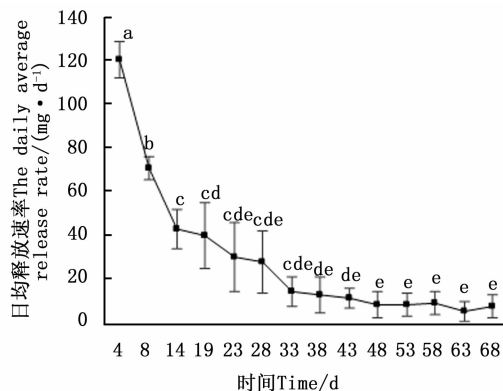


图4 3种信息化合物在聚乙烯管(PE)中的释放动态

Fig.4 Dynamic release rates of three semiochemicals in PE tube



2.4 3种信息化合物在灯芯瓶(PP)中的释放模式

3种松墨天牛信息化合物的日均释放速率如图4,对于灯芯瓶中损失量的计算发现,在第5天初次测试时释放量较高,然后释放速率迅速下降直至第10天,而后直到观测末期,3种信息化合物的释放量一直处于极低的释放水平。在进行Duncan多重比较分析时发现三种信息化合物在第69天的释放速率显著低于第34天($P < 0.05$);第5天释放速率最大为 $24.11 \pm 0.56 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。但由于该材料本身

没有缓释效果,其缓释方式依赖于棉灯绳,该材料的总体释放速率较低。

在灯芯瓶缓释载体中,在第10天左右,(+)-α-萜烯,(-)-β-萜烯和2-十一烷氧基-1-乙醇的相对含量分别为85.69%,9.28%,3.75%,第60天左右,三者相对含量分别为85.67%,9.23%,5.06%。(+)-α-萜烯,(-)-β-萜烯的相对含量下降率分别为0.02%,0.54%,2-十一烷氧基-1-乙醇的相对含量上升率为34.93%。三者组分比例变化不明显。

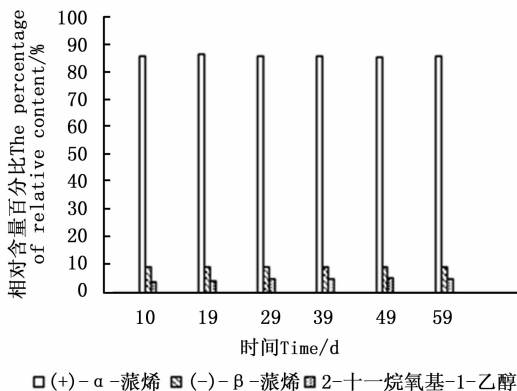
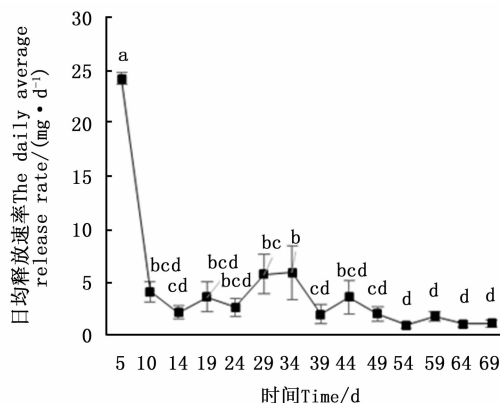


图5 3种信息化合物在灯芯瓶(PP)中的释放动态

Fig.5 Dynamic release rates of three semiochemicals in PP bottle



2.5 APF-I型引诱剂中三种松墨天牛信息化合物的释放模式

引诱剂中信息化合物的释放曲线与聚乙烯管相类似,即在初次测试时释放量最高,第4天释放速率显著高于其他测试时间点($P < 0.05$),达到 $97.12 \pm 1.57 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$,第4~8天释放速率迅速下降,8~38天时,呈有规律的浮动变化,并在38天时达到第8天后的第一次最大释放量(图5)。之后,释放

量又逐渐回到低速率释放状态($P < 0.05$)。

APF-I型引诱剂在第8天初始GC分析时,(+)-α-萜烯,(-)-β-萜烯和2-十一烷氧基-1-乙醇三者的相对含量分别为97.84%,1.55%,0.61%,在观测末期,三种组分的比例分别为15.48%,0.35%,84.17%,(+)-α-萜烯,(-)-β-萜烯相对含量下降率分别为61.24%,1.9%,但2-十一烷氧基-1-乙醇的比例偏高。第48天时,保持在75%以上的相对含

量。第 60 天以后, (+)- α -萜烯已经下降到 20.66%, 此时诱芯需要更换。

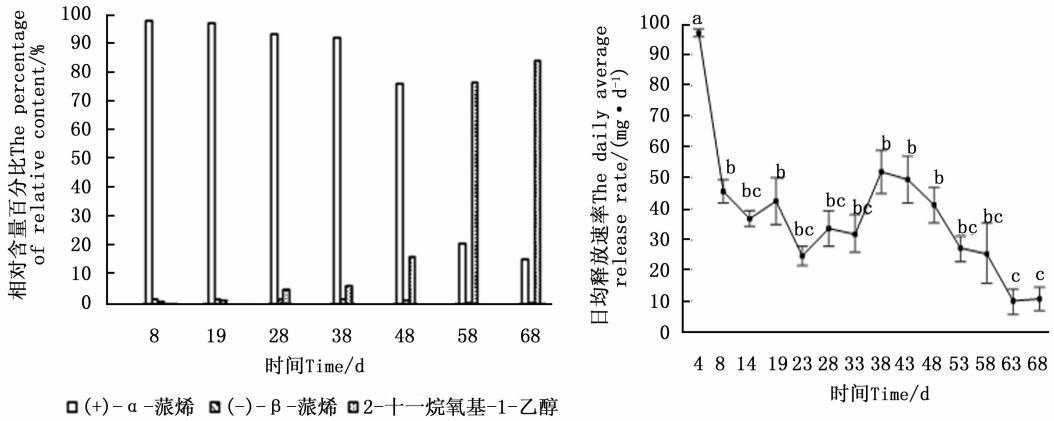


图6 APF-I型引诱剂中三种松墨天牛信息化合物的释放动态

Fig. 6 Dynamic release rates of three semiochemicals in APF-I attractant

3 讨论

昆虫信息化化合物的释放速率与缓释载体的特性有关,包括缓释载体的厚度、长度、是否开口以及开口的孔径大小等因素^[18]。灯芯瓶作为缓释载体信息化化合物的释放速率差异不显著,灯芯瓶的瓶身材质为普通塑料(PP),物质穿透性较差,内部引诱物质主要通过发散的棉灯绳扩散到外部。由于灯芯瓶缓释载体挥发物从灯芯部位向外挥发,容易堵塞,因而挥发速率也慢。昆虫信息化化合物同样可以通过管(瓶)壁的微孔中释放,调节壁厚可使引诱剂的释放量改变^[8,19],因此可以适当选择薄壁材质缓释载体。

聚乙烯缓释瓶 A 和聚乙烯缓释瓶 B 的缓释模式有一定相似性,表现在松墨天牛信息化化合物释放的高峰期不在初次测试时,两者的最高缓释速率分别在第 19 天和 33 天,这可能是由于内部引诱物质需要逐渐渗透缓释载体瓶壁,故在初次测试时释放量较低,缓释速率的高峰期也有延迟,并且聚乙烯缓释瓶 A 中松墨天牛引诱物质的释放速率高于聚乙烯缓释瓶 B,这可能是 LDPE 缓释材料壁薄,内部信息化学物质透过性较好。Wang 等通过观察 α -萜烯在微球载体中的缓释情况,发现 α -萜烯初始阶段释放速率增加快,后期释放缓慢,猜测可能是后期芯材物质大量外涌释放,堵住了壁材的小孔,所以释放变的缓慢^[20]。本缓释实验用的聚乙烯缓释瓶可能在实验末期也有一定的管壁缓释孔堵塞的情况,加之缓释瓶野外放置有一定的老化,所以导致实验后期缓释效果不佳。灯芯瓶和 APF-I 型材料在初次测试时就达到缓释效果最大值,这与刘奎伟等在研究发现性信息素在复合橡胶载体初试阶段的释放量显著

大于其他测试阶段现象相似^[21]。另外,Bradley 等^[22]指出信息素成分在聚乙烯管载体中的缓释曲线呈现对数状下降,本试验测试中聚乙烯管中的松墨天牛信息化化合物有相同的缓释模式,在观测末期,松墨天牛化学信息物质缓释效果不佳的原因可能是内部信息化学物质的异构化。

不同缓释材料之间保持内部昆虫信息化化合物协调释放的能力也有较大差异。聚丙烯材质的灯芯瓶能较好的保持内部物质比,(+)- α -萜烯是引诱松墨天牛的主要信息化化合物,(+)- α -萜烯的相对含量要保持在一定的浓度内才能发挥引诱作用^[23]。内部 α -萜烯在观察期内相对含量下降率仅为 0.02%,而在聚乙烯缓释瓶 A、聚乙烯管、APF-I 引诱剂中,它的相对含量下降率分别为 97.39%,54.43%,61.24%, α -萜烯的相对变化量较大。尽管灯芯瓶作为缓释材料能较好保持内部组分的挥发比,但由于其日均释放量较低,故室外实际引诱效果不佳,而 α -萜烯在聚乙烯缓释瓶 A、PE 管中前期缓释量较大,3 种信息化化合物的比例较为协调,因此可作短期的缓释材料考虑。

作为对照的 APF-I 引诱材料,(+)- α -萜烯的相对含量在 40 天时,有高达 91.96% 的相对含量,在 50 天时,其比例仍有 76.17%。说明该引诱剂的持效期长,可达到少更换诱芯,减少人工成本的目的。APF-I 引诱材料在实际使用时能保持长期的使用效果,但也有一定的局限性,表现在初始时有较高释放量,同时释放期间有一定波动会影响松墨天牛接收化学信号的强弱,导致监测松墨天牛种群动态时不准确。室外的缓释试验常会受到外界条件环境的影响,Teale 等研究发现,聚乙烯类昆虫信息素的缓释载体中(+/-)- α -萜烯的释放速率为 $2 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$,显

著大于试验中聚乙烯缓释瓶 A 中 $30.93 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 和聚乙烯缓释瓶 B 中 $31.01 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 的日均释放速率^[24]。这可能与试验中缓释材料的壁厚以及外界风速、温度等环境因子有关。

4 结论

本研究中 4 种不同的缓释载体在 70 天左右仍能释放,说明这 4 种材料理论上都能在野外达到较长的引诱效果,但从物质缓释的协调性来看,3 种松墨天牛信息化合物在聚乙烯缓释瓶 A(LDPE)、聚乙烯缓释瓶 B(HDPE)和聚乙烯管(PE)中组分的挥发比例不协调,即不能较好保持 3 种信息化合物的初始比例;从 4 种缓释材料内部信息化合物的日均释放速率来看,聚乙烯缓释瓶 A、聚乙烯管及灯芯瓶材料试验初期信息化合物释放量大,随试验时间延长,释放量减小(灯芯瓶试验后期 70 d 的释放量极小),这不利于保持引诱剂长期引诱效果,聚乙烯缓释瓶 B 的挥发量波动较为稳定。相比较 APF-I 型引诱剂的释放动态,聚乙烯管缓释曲线最接近,但聚乙烯管的转载量较小是阻碍其应用的问题。

参考文献:

- [1] Kobayashi F, A Yamane A, Ikeda T. The Japanese Pine Sawyer Beetle as the Vector of Pine Wilt Disease[J]. Annual Review of Entomology, 2003, 29(2):115-135.
- [2] 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]. Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 2001, 56(6):1019-1024.
- [3] 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, 2009, 37(11):86-87.
- [4] 刘博. 松墨天牛化学通讯机理研究与高效引诱剂的研制[D]. 临安:浙江农林大学, 2012.
- [5] 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(05):1274-1279.
- [6] 马涛, 温秀军, 李兴文. 昆虫性信息素人工合成技术研究进展[J]. 世界林业研究, 2012, 25(6):46-51.
- [7] 李庆燕, 刘金龙, 赵龙龙, 等. 缓释技术在性信息素防治害虫中的应用[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(4):589-593.
- [8] 李学琳, 孔祥波, 张苏芳, 等. 4 类昆虫信息化合物在不同缓释载体上的释放速率[J]. 林业科学, 2015, 51(12):63-70.
- [9] 孟宪佐, 胡菊华, 魏康年, 等. 梨小食心虫性外激素不同诱芯对诱蛾活性及持效期的影响[J]. 昆虫学报, 1981, 24(3):332-335.
- [10] 杨兴翠, 马涛, 易思雨, 等. 性信息素微胶囊迷向防治梨小

食心虫田间试验[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(3):410-415.

- [11] Knight A L. Testing an attracticide hollow fibre formulation for control of codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. Journal of the Entomological, 2003, 100(Dec).
- [12] Delwiche M, Atterholt C, Rice R. Spray application of paraffin emulsions containing insect pheromones for mating disruption. [J], Transaction of the American Society of Agriculture Engineers. 1998, 41(2):475-480.
- [13] 陈增良, 方宇凌, 张钟宁. 小菜蛾性信息素微胶囊的合成及其田间诱捕和迷向活性研究[J]. 科学通报, 2007, 52(7):797-802.
- [14] Stelinski L L, Miller J R, Ledebuhr R, et al. Mechanized Applicator for Large-Scale Field Deployment of Paraffin-Wax Dispensers of Pheromone for Mating Disruption in Tree Fruit[J]. Journal of Economic Entomology, 2006, 99(5):1705-1710.
- [15] Brown D F, McDonough L M. Insect Sex Pheromones: Formulations to Increase the Stability of Conjugated Dienes[J]. Journal of Economic Entomology, 1986, volume 79(79):922-927.
- [16] 周超华, 黄冬华, 徐雷, 等. 用迷向丝防治梨小食心虫效果研究[J]. 生物灾害科学, 2013(2):161-163.
- [17] 梁玮莎, 余海滨, 谢伟忠, 等. 松褐天牛不同引诱剂和诱捕器组合诱捕效能比较[J]. 广东林业科技, 2015(4):6-9.
- [18] Gallego D, Galián J, Diez J J, et al. Kairomonal responses of *Tomticus destruens* (Col. Scolytidae) to host volatiles α -pinene and ethanol[J]. Journal of Applied Entomology, 2008, 132(8):654-662.
- [19] Hodges R J, Addo S, Farman D I, et al. Optimising pheromone lures and trapping methodology for *Prostephanus truncatus*, (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) [J]. Journal of Stored Products Research, 2004, 40(4):439-449.
- [20] Wang D, Chi D F. Morphology and Release Profile of Microcapsules Encapsulated Alpha-Pinene by Complex Coacervation [J]. Advanced Materials Research, 2013, 602-604:1285-1288.
- [21] 刘奎伟, 孔祥波, 张真, 等. 共轭二烯性信息素在 2 种载体上的释放速率和异构化效果[J]. 林业科学, 2012, 48(7):72-78.
- [22] Bradley S J, Suckling D M, Menaughton K G, et al. A temperature-dependent model for predicting release rates of pheromone from a polyethylene tubing dispenser[J]. Journal of Chemical Ecology, 1995, 21(6):745-760.
- [23] Erbilgin N, Krokene P, Kvamme T, et al. A host monoterpene influences *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) responses to its aggregation pheromone[J]. Agricultural & Forest Entomology, 2007, 9(2):135-140.
- [24] Teale S A, Wickham J D, Zhang F, et al. A male-produced aggregation pheromone of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a major vector of pine wood nematode[J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 104(5):1592-1598.

(责任编辑:崔 贝)