

缓释载体对两种植物挥发物释放速率的影响*

毛钰懿^{1**} 胡新苗² 郑爱春² 周思焯¹ 郑凯文¹ 董奕帆¹ 樊建庭^{1***}

(1. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 生物农药高效制备技术国家地方联合工程实验室, 杭州 311300;

2. 南京市浦口区林业站, 南京 211800)

摘要 【目的】研究不同缓释载体对植物挥发物释放速率的影响, 以期对相关昆虫引诱剂研究选择合适的缓释载体提供技术支撑, 从而达到最佳的诱捕效果和更长的持效期。【方法】采用称重法测定了室外条件下 α -蒎烯和顺-3-己烯醇在不同规格的聚乙烯缓释瓶和聚乙烯缓释袋上的释放速率和持效期。【结果】缓释瓶释放试验结果表明, 不同大小缓释瓶和不同剂量植物挥发物的释放速率具有显著性差异, 15 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合 16 d 内日均释放速率最小, 为 $(268.3\pm 70.3) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$, 显著低于 100 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合的 $(580.0\pm 119.5) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 100 mL 缓释瓶+50 mL α -蒎烯组合的 $(913.3\pm 133.8) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ 。100 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合持效期在 16 d 左右, 而 15 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合和 100 mL 缓释瓶+50 mL α -蒎烯组合可以达到 50 d 以上的持效期。缓释袋释放速率试验表明, 2 mL 顺-3-己烯醇在 0.02 mm 缓释袋 12 d 内日均释放速率最高, 为 $(110.7\pm 28.0) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$, 显著高于其他厚度的缓释袋 ($P < 0.05$); 2 mL 顺-3-己烯醇在 0.06、0.08、0.10 和 0.16 mm 缓释袋日均释放速率分别为 (48.3 ± 14.4) 、 (42.0 ± 11.5) 、 (36.3 ± 14.4) 和 $(31.0\pm 7.9) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$, 差异不显著 ($P > 0.05$); 2 mL 顺-3-己烯醇在 0.02 mm 缓释袋上持效期大约有 16 d, 而在 0.06-0.16 mm 缓释袋上释放速率比较稳定, 持效期可以达到 50-60 d。【结论】本文试验结果显示, 通过采用不同容积、不同厚度缓释载体以及不同剂量植物挥发物等方式可以达到精确控制释放速率的目的, 以满足不同昆虫引诱剂的需求。本研究结论可为生产上昆虫引诱剂缓释载体的选择提供一定的参考, 并为种群监测和害虫防控提供技术支持。

关键词 植物挥发物; 缓释载体; 释放速率; 持效期

Effects of different slow-release carriers on the release rate of two plant volatiles

MAO Zheng-Yi^{1**} HU Xin-Miao² ZHENG Ai-Chun² ZHOU Si-Ye¹ ZHENG Kai-Wen¹
DONG Yi-Fan¹ FAN Jian-Ting^{1***}

(1. National and Local Joint Engineering Laboratory for Biopesticide Efficient Preparation Technology, School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 2. Nanjing Pukou District Forest Station, Nanjing 211800, China)

Abstract 【Objectives】To study the effects of different slow-release carriers on the release rate of plant volatiles, in order to provide technical support for the selection of appropriate release carriers for the research of related insect attractants, so as to achieve the best trapping effect and longer duration. 【Methods】The release rate and duration of α -pinene and cis-3-hexenol in LDPE bottles and LDPE bags with different specifications were measured by weighing method under outdoor conditions. 【Results】The release rate test of LDPE bottles showed that there were significant differences in the release rates of plant volatiles between different sizes of LDPE bottles and different doses. The average daily release rate of 15 mL LDPE bottle +15 mL α -pinene within 16 days was the lowest, which was $(268.3\pm 70.3) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$, significantly lower than $(580.0\pm 119.5) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ of 100 mL LDPE bottle +15 mL α -pinene and $(913.3\pm 133.8) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ of 100 mL LDPE bottle +50 mL α -pinene. The

*资助项目 Supported projects: 浙江省基础公益研究计划 (LGN21C160005); 中央财政林业科技示范推广项目 ((2022) TS); 浙江省本级林业科技推广项目 (2022B05); 浙江省重点研发项目 (2019C02023)

**第一作者 First author, E-mail: 1254353767@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: fanjt@zafu.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-11-18; 接受日期 Accepted: 2023-03-06

duration of 100 mL LDPE bottle +15 mL α -pinene combination is about 16 days, while the duration of 15 mL LDPE bottle +15 mL α -pinene combination and 100 mL LDPE bottle+50 mL α -pinene combination can reach more than 50 days. The release rate test of LDPE bag showed that, The average daily release rate of 2 mL cis-3-hexenol in 0.02 mm LDPE bag within 12 days was the highest, which was $(110.7\pm 28.0) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$, significantly higher than that of other thickness LDPE bags; The daily average release rate of 2 mL cis-3-hexenol in 0.06, 0.08, 0.10 and 0.16 mm LDPE bags were (48.3 ± 14.4) , (42.0 ± 11.5) , (36.3 ± 14.4) and $(31.0\pm 7.9) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$, with no significant difference; The duration of 2 mL cis-3-hexenol in 0.02 mm LDPE bag is about 16 days, while the release rate on 0.06-0.16 mm LDPE bags is relatively stable, and the duration can reach 50-60 days.

[Conclusion] The test results show that the release rate can be accurately controlled by using different volumes, different thicknesses of slow-release carriers and different doses of plant volatiles to meet the needs of different insect attractants. The conclusion of this study can provide some reference for the selection of slow-release carriers of insect attractants in production, and provide technical support for insect pest monitoring and pest control.

Key words plant volatiles; slow-release carriers; release rate; duration

植物挥发性有机化合物 (Volatile organic chemicals, VOCs) 是昆虫确定栖息地、寻找和定位寄主的关键化学信息纽带, 在植物与昆虫的相互依存关系中发挥着重要作用 (卢伟等, 2007), 可分为植物自然释放和害虫诱导产生。植物自然释放的挥发物由多种挥发性次生物质混合而成, 包括醇、醛、酮、酯和萜类化合物, 其中绝大多数植物所共有的如醇类、醛类、不饱和脂肪酸衍生物和单萜类等, 称为一般气味组分 (General odor components)。

植食性昆虫利用植物挥发物进行寄主定位、取食、交配和产卵, 因此通过研制植物源引诱剂进行生态调控已成为害虫防控的主要措施之一 (von Arx *et al.*, 2011; Gharaei *et al.*, 2020)。阐明植物挥发物对昆虫的引诱作用为昆虫引诱剂开发提供了重要的理论基础 (徐正浩等, 2004)。

研究表明, 对不同昆虫种类起引诱作用的植物挥发物也有所不同。比如松树挥发物中的 α -蒎烯、 β -蒎烯、月桂烯、苧烯和葑烯等能有效引诱以针叶树为寄主的天牛科 (Cerambycidae)、象甲科 (Curculionidae)、小蠹科 (Scolytidae) 和郭公甲科 (Cleroidae) 昆虫 (Chenier and Philogene, 1989)。樊建庭等 (2014) 的野外试验证明, α -蒎烯是松墨天牛 *Monochamus alternatus* Hope 取食及产卵的重要引诱物质。雌性小菜蛾 *Plutella xylostella* 成虫通过十字花科植物次生代谢物异硫氰酸酯确定寄主植物, 从而实现产卵 (Liu *et al.*, 2020)。健康欧洲山毛榉 *Fagus*

sylvatica 释放的绿叶挥发物能吸引花园金龟 *Phyllopertha horticola* (Ruther, 2004)。大菜粉蝶 *Pieris brassicae* 能对甘蓝挥发物中异硫氰酸烯丙酯以及对黑芥子硫苷酸钾起反应 (钦俊德, 1985)。桃小食心虫 *Carposina niponensis* Walsingham 雌性成虫能够对苹果果实中的挥发物, 如正壬醛、 α -法尼烯和十四烷化合物产生显著的 EAG 反应 (刘柳等, 2022)。花绒寄甲 *Dastarcus helophoroides* Fairmaire 雌雄虫都对顺-3-己烯醇有显著的 EAG 反应, 顺-3-己烯醇可诱导其交配和产卵 (Ren *et al.*, 2017)。

诱芯由信息化学物质和缓释载体组成。生产上已经证明昆虫信息素配合植物源引诱剂制成的诱芯可以达到大量诱捕害虫以及干扰其繁殖的目的 (马涛等, 2012), 但是持效期短、稳定性差等问题仍然是制约诱芯大范围应用的重要因素 (李庆燕等, 2012; 李学琳等, 2015)。缓释载体影响诱芯的释放速率 (Johansson *et al.*, 2001), 一个理想的缓释载体在昆虫的整个羽化期都具有持续稳定的释放速率 (Byers, 1988)。因此有必要选择合适的缓释载体, 使信息化学物质在特定的释放速率下长期稳定释放。昆虫信息化学物质缓释载体主要分为固体型和液体喷雾型 2 种。固体型载体中聚乙烯袋 (Torr *et al.*, 1997)、橡胶塞 (Jordan *et al.*, 2013)、聚乙烯管 (Bruce *et al.*, 2011) 和空心纤维 (Knight, 2003) 在生产中应用最广泛, 而由微胶囊和石蜡载体制成的可降解微乳液液体喷雾型载体在生产上应

用较少 (De Vlieger, 2001)。信息化学物质缓释载体本身的物理特性对其释放量会产生很大的影响。例如, 聚氯乙烯塑料膜用于小蠹虫聚集信息素的缓释载体, 能满足每天毫克数量级的释放要求 (Evenden and Gries, 2010)。因此有必要在诱芯的制作中, 选择适宜的缓释载体, 保持长期稳定释放, 以最大发挥诱芯的生物活性。

不同昆虫种类对信息化学物质的释放量要求不同, 需要采用不同的缓释载体从而达到不同数量级的释放量。本文测定了不同规格的缓释载体在室外的释放速率, 以期对相关昆虫引诱剂研究选择合适的缓释载体提供技术支撑, 从而达到最佳的诱捕效果和更长的持效期。

1 材料与方法

1.1 试验材料

植物挥发物: α -蒎烯、顺-3-己烯醇 (购自北京百灵威科技有限公司); 缓释载体: 15 mL 缓释瓶 (低密度聚乙烯 LDPE, 底径 2.5 cm, 高 4.5 cm, 壁厚 50 mm) (图 1: A)、100 mL 缓释瓶 (LDPE, 底径 3.9 cm, 高 9.8 cm, 壁厚 40 mm)、0.02 mm 缓释袋 (LDPE, 10 cm \times 8 cm, 壁厚 0.02 mm)、0.06 mm 缓释袋 (LDPE, 10 cm \times 8 cm, 壁厚 0.06 mm)、0.08 mm 缓释袋 (LDPE, 10 cm \times 8 cm, 壁厚 0.08 mm) (图 1: B)、0.10 mm 缓释袋 (LDPE, 10 cm \times 8 cm, 壁厚 0.10 mm)、0.16 mm 缓释袋 (LDPE, 10 cm \times 8 cm, 壁厚 0.16 mm) (购自

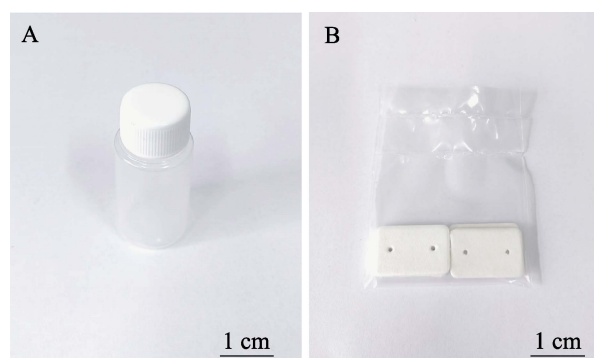


图 1 15 mL 低密度聚乙烯缓释瓶 (A) 和 0.08 mm 低密度聚乙烯缓释袋 (B)
Fig. 1 15 mL LDPE bottle (A) and 0.08 mm LDPE bag (B)

杭州费洛蒙生物科技有限公司)。所有缓释袋均内置蚊香原纸片 (长 3.4 cm, 宽 2.1 cm, 厚 0.3 cm)。

1.2 试验方法

按照表 1, 分别取不同剂量的化合物加入相应的缓释载体里, 每种处理设置 5 个重复, 称量诱芯初始重量。试验条件: 浙江农林大学实验室外 (30°15'N, 119°43'E), 气温 (30 \pm 5) °C, 相对湿度 52% \pm 15%, 风力 1-3 级, 光照良好的条件下, 将不同载体诱芯悬挂在同一棵树上, 设置 5 个重复。其中 ABC 处理, 每隔 2-4 d 称量一次诱芯重量, D-H 处理每隔 4 d 称量一次诱芯重量, 每次称量结束, 将诱芯互换位置, 避免因为位置造成的误差。详细记录诱芯重量以及相应时间内日均挥发速率。

表 1 不同试验处理和缓释载体组合

Table 1 Different test treatments and combinations of slow-release carriers

处理 Treatments	组合 Combinations
A	15 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯 15 mL LDPE bottle+15 mL α -pinene
B	100 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯 100 mL LDPE bottle+15 mL α -pinene
C	100 mL 缓释瓶+50 mL α -蒎烯 100 mL LDPE bottle+50 mL α -pinene
D	0.02 mm 缓释袋+2 mL 顺-3-己烯醇 0.02 mm LDPE bag+2 mL cis-3-hexenol
E	0.06 mm 缓释袋+2 mL 顺-3-己烯醇 0.06 mm LDPE bag+2 mL cis-3-hexenol
F	0.08 mm 缓释袋+2 mL 顺-3-己烯醇 0.08 mm LDPE bag+2 mL cis-3-hexenol
G	0.10 mm 缓释袋+2 mL 顺-3-己烯醇 0.10 mm LDPE bag+2 mL cis-3-hexenol
H	0.16 mm 缓释袋+2 mL 顺-3-己烯醇 0.16 mm LDPE bag+2 mL cis-3-hexenol

1.3 数据分析

不同缓释载体的释放速率均采用 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, 并使用 Origin 2018 软件作图。

2 结果与分析

2.1 缓释瓶释放速率

缓释瓶释放试验结果表明 (图 2), 不同大小缓释瓶和不同剂量植物挥发物的释放速率具有显著性差异。缓释瓶 16 d 内的平均释放速率显示, 15 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合的释放速率最小, 为 $(268.3\pm 70.3) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$, 显著低于 100 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合的 $(580.0\pm 119.5) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 100 mL 缓释瓶+50 mL α -蒎烯组合的 $(913.3\pm 133.8) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

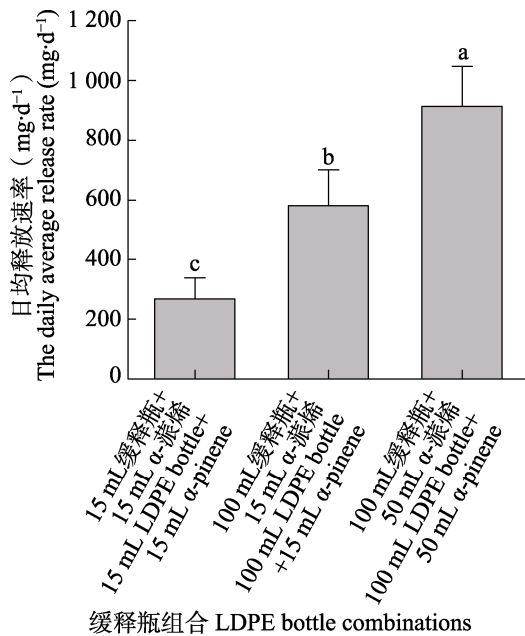


图 2 不同大小缓释瓶和不同剂量植物挥发物 16 d 日均释放速率

Fig. 2 Daily release rate of different slow-release bottle and different dose of plant volatiles within 16 days

柱上标有不同字母表示不同处理间日均释放速率差异显著 ($P<0.05$, Duncan 氏多重比较)。图 4 同。

Histograms with different letters indicate that the daily average release rate between different treatments are significantly different ($P<0.05$, Duncan's multiple range test). The same as Fig. 4.

15 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合日均挥发量有一定波动性, 但变化不明显, 第 4、16 和 28 天挥发量最大, 在第 46 天后挥发量就开始显著下降, 在第 60 天时日均挥发量仅为 (20.7 ± 20.1)

$\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

100 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合日均挥发量下降比较显著, 其中第 2 天释放速率最大, 在第 16 天后挥发量就开始显著下降, 在第 28 天时日均挥发量降为 $(56.7\pm 36.4) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

100 mL 缓释瓶+50 mL α -蒎烯组合日均挥发量同样存在一定的波动性, 其中第 4、16 和 28 天释放速率最大, 表现出与 15 mL 缓释瓶+15 mL α -蒎烯组合相似的规律, 在第 50 天后挥发量开始显著下降, 在第 60 天时日均挥发量降到 $(156.7\pm 48.8) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ (图 3)。

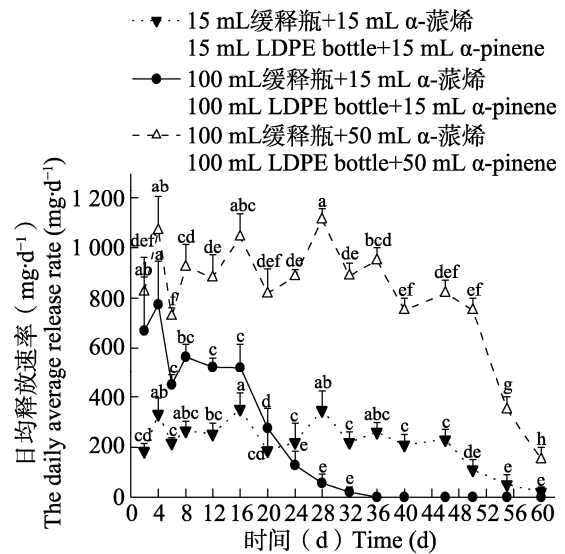


图 3 不同大小缓释瓶和不同剂量植物挥发物日均释放速率动态变化

Fig. 3 Dynamic daily release rate of different slow-release bottle and different dose of plant volatiles

图中折线上标有不同字母代表同一处理不同时间日均释放速率差异显著 ($P<0.05$, Duncan 氏多重比较)。图 5 同。Different letters above broken lines indicate that the daily average release rate between different times of the same treatment are significantly different ($P<0.05$, Duncan's multiple range test). The same as Fig. 5.

2.2 缓释袋释放速率

缓释袋释放速率试验表明 (图 4), 0.02 mm 缓释袋 12 d 内日均释放速率最高, 为 $(110.7\pm 28.0) \text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$, 显著高于其他厚度的缓释袋 ($P<0.05$); 0.06、0.08、0.10 和 0.16 mm 缓释袋日均释放速率分别为 (48.3 ± 14.4) , (42.0 ± 11.5) ,

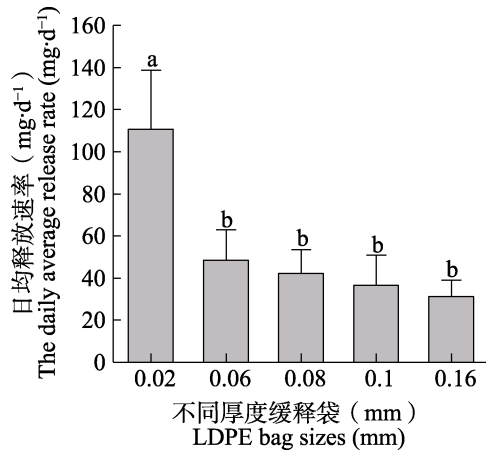
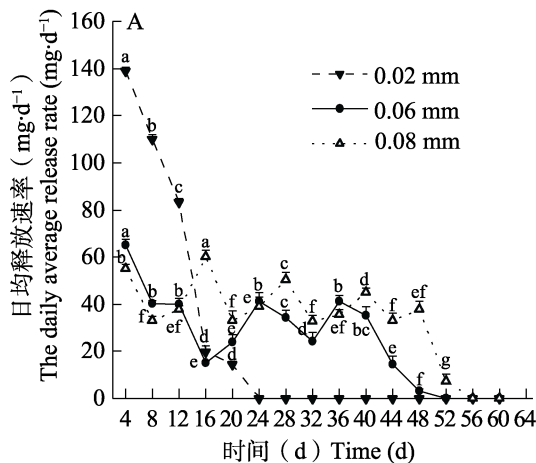


图 4 不同厚度缓释袋植物挥发物 12 d 日均释放速率

Fig. 4 Daily release rate of plant volatiles in different slow-release bag within 12 days

(36.3±14.4) 和 (31.0±7.9) mg·d⁻¹, 差异不显著 ($P > 0.05$)。

0.02 mm 缓释袋表现在初始释放时日均释放速率就达到高峰, 为 (139.0±1.4) mg·d⁻¹, 之后呈逐渐下降趋势, 在第 16 天日均释放速率仅为 (19.8±2.4) mg·d⁻¹, 各观测时期释放速率均有显著性差异。0.06 mm 缓释袋日均释放速率在不同时间段有一定的波动性, 但是波动不大, 在第 40 天后, 释放速率开始显著下降 ($P < 0.05$), 在第 48 天时释放速率几乎为零。0.08 mm 缓释袋的日均释放速率在第 48 天后开始显著下降 ($P < 0.05$), 在第 56 天时降为零 (图 5: A)。



0.10 和 0.16 mm 缓释袋的日均释放速率都是在第 52 天后开始显著下降 ($P < 0.05$), 在第 60 天时分别降为 (8.3±3.5) mg·d⁻¹ 和 (10.7±2.5) mg·d⁻¹ (图 5: B)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

本文中缓释瓶试验显示, 同样 15 mL α -萜烯在 100 mL 缓释瓶中的释放速率是 15 mL 缓释瓶释放速率的 2.15 倍, 可见在加大缓释载体表面积后, 释放速率显著增加, 这与张瑜 (2017) 的试验结果一致。另外, 同样在 100 mL 缓释瓶中, 50 mL α -萜烯比 15 mL α -萜烯释放速率提高 56.90%, 这说明载体内化合物剂量也是影响释放速率的一个重要因素, 可以通过增加化合物剂量来提高释放速率。总体上, 15 和 100 mL 缓释瓶展现出的日均释放速率在 278-918 mg·d⁻¹ 之间, 如果需要达到更大的释放速率, 可以采用更大容积的缓释瓶或者添加更大剂量的化合物来实现。 α -萜烯等植物源信息素采用 200 mL 的聚乙烯塑料瓶, 释放速率为 4 000 $\mu\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ (樊建庭等, 2013), 而 20 mL α -萜烯在缓释袋中的释放速率为 2 g·d⁻¹ (Teale *et al.*, 2011)。

昆虫信息化学物质的释放速率与缓释载体的特性有关, 包括缓释载体的厚度、长度以及是

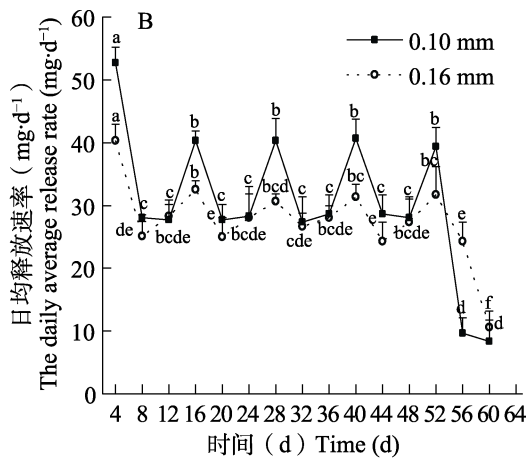


图 5 不同厚度缓释袋植物挥发物日均释放速率动态变化

Fig. 5 Dynamic daily release rate of plant volatiles in different slow-release bag

A. 0.02、0.04 和 0.06 mm 厚度缓释袋; B. 0.10 和 0.16 mm 厚度缓释袋。

A. 0.02, 0.04 and 0.06 mm slow-release bag; B. 0.10 and 0.16 mm slow-release bag.

否开口等因素 (Gallego *et al.*, 2008)。昆虫信息化学物质可以通过缓释袋壁的微小孔中释放, 调节壁厚可使信息化学物质的释放量改变 (Hodges *et al.*, 2004; 李学琳等, 2015), 因此可以适当选择薄壁材质缓释载体。本文缓释袋试验结果显示, 缓释袋的壁厚对植物挥发物的日均释放速率有显著影响, 我们测试的 2 mL 顺-3-己烯醇在 0.02-0.16 mm 缓释袋中的日均释放速率在 31-111 mg·d⁻¹ 之间, 可以达到比缓释瓶更低的释放速率水平。

在缓释载体持效期方面, 100 mL 缓释瓶+15 mL α -萘烯组合日均挥发量在第 16 天后就开始显著下降, 而 15 mL 缓释瓶+15 mL α -萘烯组合日均挥发量是在第 46 天才开始下降, 因此, 通过减小缓释瓶容积的方法可以达到延长引诱剂持效期的效果。而 100 mL 缓释瓶+50 mL α -萘烯组合也可以达到 50 d 以上的持效期, 所以, 在缓释载体不变的情况下, 增加化合物剂量也可以达到延长引诱剂持效期的目的。

0.02 mm 缓释袋日均释放速率下降非常快, 持效期大约有 16 d, 而 0.06-0.16 mm 缓释袋释放速率比较稳定, 持效期可以达到 50-60 d。桃红颈天牛信息素缓释试验结果显示, 在缓释袋里添加了棉花棒后, 可以将其信息素的持效期从 7 d 提高到 14 d (Yasui *et al.*, 2021)。本文中在缓释袋中添加了蚊香原纸片, 与棉花棒有类似效果, 可以达到显著延长持效期的目的。

在昆虫引诱剂的生产 and 应用上, 需要更长持效期的引诱剂, 这样可以达到减少更换诱芯, 节省人工成本的目的, 因此, 如何选取缓释载体就显得尤为重要。

本文试验中选取了缓释瓶和缓释袋两类缓释载体测试释放速率, 适合植物源挥发物等引诱剂成分的需要, 一般日均释放速率在几十毫克或者几千毫克之间, 而昆虫性信息素往往需要的日均释放速率比较小, 一般为毫克甚至更低的水平 (李庆燕等, 2012), 如何选择合适的缓释载体, 比如毛细管和橡胶头等, 值得再进一步研究讨论。

3.2 结论

本研究中两种植物挥发物在适宜的缓释载

体上可以持续释放 50-60 d (100 mL 缓释瓶+15 mL α -萘烯和 0.02 mm 缓释袋+2 mL 顺-3-己烯醇除外), 具有一定的缓释功能, 基本能够达到生产上昆虫诱芯持效期的要求。本文试验结果显示, 通过采用不同容积、不同厚度缓释载体以及不同剂量信息化学物质等方式可以达到精确控制释放速率的目的, 以满足不同昆虫引诱剂的需求。本文研究结论可为生产上昆虫引诱剂缓释载体的选择提供一定的参考, 并为种群监测和害虫防控提供技术支持。

参考文献 (References)

- Bruce TJ, Martin JL, Smart LE, Pickett JA, 2011. Development of semiochemical attractants for monitoring bean seed beetle, *Bruchus rufimanus*. *Pest Management Science*, 67(10): 1303-1308.
- Byers JA, 1988. Novel diffusion-dilution method for release of semiochemicals: Testing pheromone component ratios on western pine beetle. *Journal of Chemical Ecology*, 14(1): 199-212.
- Chenier JV, Philogene BJ, 1989. Field responses of certain forest Coleoptera to conifer monoterpenes and ethanol. *Journal of Chemical Ecology*, 15(6): 1929-1945
- De Vlioger JJ, 2001. Development of a sprayable slow-release formulation for the sex pheromone of the Mediterranean corn borer, *Sesamia nonagroides*. *The Environmentalist*, 28(1): 45-48.
- Evenden M, Gries R, 2010. Assessment of commercially available pheromone lures for monitoring diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in Canola. *Journal of Economic Entomology*, 103(3): 654-661.
- Fan JT, Meng JG, Baode W, Zhao LL, Sun JH, 2013. Field trapping the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) using an aggregation pheromone and host volatiles. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(5): 1274-1279. [樊建庭, 孟俊国, Baode Wang, 赵莉茜, 孙江华, 2013. 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. *应用昆虫学报*, 50(5): 1274-1279.]
- Fan JT, Zhang DY, Zhang ZP, Meng JG, Wang YP, 2014. Feeding behavior of *Monochamus alternatus* and its relationship with the host volatiles. *Journal of Zhejiang A & F University*, 31(1): 78-82. [樊建庭, 张冬勇, 章祖平, 孟俊国, 王义平, 2014. 松墨天牛取食行为及其与寄主挥发物的关系. *浙江农林大学学报*, 31(1): 78-82.]

- Gallego D, Galián J, Diez JJ, Pajares JA, 2008. Kairomonal responses of *Tomicus destruens* (Col., Scolytidae) to host volatiles α -pinene and ethanol. *Journal of Applied Entomology*, 132(8): 654–662.
- Gharaei AM, Ziaaddini M, Frérot B, Ebrahimi SN, Jalali MA, Reddy GVP, 2020. Identification and evaluation of four cucurbitaceous host plant volatiles attractive to *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Chemoecology*, 30(4): 173–182.
- Hodges RJ, Addo S, Farman DI, Hall DR, 2004. Optimising pheromone lures and trapping methodology for *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Stored Products Research*, 40(4): 439–449.
- Johansson BG, Anderbrant O, Simandl J, Avtzis ND, Salvadori C, Hedenström E, Edlund H, Högberg HE, 2001. Release rates for pine sawfly pheromones from two types of dispensers and phenology of *Neodiprion sertifer*. *Journal of Chemical Ecology*, 27(4): 733–745.
- Jordan TA, Zhang A, Pfeiffer DG, 2013. Blend chemistry and field attraction of commercial sex pheromone lures to grape berry moth (Lepidoptera: Tortricidae), and a nontarget tortricid in vineyards. *Environmental Entomology*, 42(3): 558–563.
- Knight AL, 2003. Testing an attracticide hollow fibre formulation for control of codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 100: 71–78.
- Li QY, Liu JL, Zhao LL, Ma RY, 2012. Applications of slow release technique of sex pheromone in pest control. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(4): 589–593. [李庆燕, 刘金龙, 赵龙, 马瑞燕, 2012. 缓释技术在性信息素防治害虫中的应用. 中国生物防治学报, 28(4): 589–593.]
- Li XL, Kong XB, Zhang SF, Wang HB, Zhang Z, Yang MF, 2015. Researches on the release rates of four types of insect semiochemicals from four dispenser types. *Scientia Silvae Sinicae*, 51(12): 63–70. [李学琳, 孔祥波, 张苏芳, 王鸿斌, 张真, 杨茂发, 2015. 4 类昆虫信息化学物质在不同缓释载体上的释放速率. 林业科学, 51(12): 63–70.]
- Liu XL, Zhang J, Yan Q, Miao CL, Han WK, Hou W, Yang K, Hansson BS, Peng YC, Guo JM, Xu H, Wang CZ, Dong SL, Knaden M, 2020. The molecular basis of host selection in a crucifer-specialized moth. *Current Biology*, 30(22): 1–7.
- Liu L, Sun LN, Zhang HJ, Qiu GS, Yan WT, Yue Q, 2022. EAG and olfactory behavior responses of *Carposina sasakii* female adults to 22 volatiles from apple fruit. *China Fruits*, 221(3): 69–73. [刘柳, 孙丽娜, 张怀江, 仇贵生, 闫文涛, 岳强, 2022. 桃小食心虫雌成虫对苹果果实 22 种挥发物 EAG 和嗅觉行为反应. 中国果树, 221(3): 69–73.]
- Lu W, Hou ML, Wen JH, Li JW, 2007. Effects of plant volatiles on herbivorous insects. *Plant Protection*, 33(3): 7–11. [卢伟, 侯茂林, 文吉辉, 黎家文, 2007. 植物挥发性次生物质对植食性昆虫的影响. 植物保护, 33(3): 7–11.]
- Ma T, Wen XJ, Li XW, 2012. Research advance in artificial synthesis of insect sex pheromone. *World Forestry Research*, 25(6): 46–51. [马涛, 温秀军, 李兴文, 2012. 昆虫性信息素人工合成技术研究进展. 世界林业研究, 25(6): 46–51.]
- Qin JD, 1985. The relationship between insects and plants. *Bulletin of Biology*, 20(10): 16–18. [钦俊德, 1985. 昆虫与植物的关系. 生物学通报, 20(10): 16–18.]
- Ren LL, Balakrishnan K, Luo YQ, Schütz S, 2017. EAG response and behavioral orientation of *Dastarcus helophoroides* (Fairmaire) (Coleoptera: Bothrideridae) to synthetic host-associated volatiles. *PLoS ONE*, 12(12): e0190067.
- Ruther J, 2004. Male-biased response of garden chafer, *Phyllopertha horticola* L., to leaf alcohol and attraction of both sexes to floral plant volatiles. *Chemoecology*, 14(3): 187–192.
- Teale SA, Wickham JD, Zhang F, Su J, Chen Y, Xiao W, Hanks LM, Millar JD, 2011. A male-produced aggregation pheromone of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a major vector of pine wood nematode. *Journal of Economic Entomology*, 104(5): 1592–1598.
- Torr SJ, Hall DR, Phelps RJ, 1997. Methods for dispensing odour attractants for tsetse flies (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, 87(3): 299–311.
- von Arx M, Schmidt-Büsser D, Guerin PM, 2011. Host plant volatiles induce oriented flight behaviour in male European grapevine moths, *Lobesia botrana*. *Journal of Insect Physiology*, 57(10): 1323–1331.
- Xu ZH, Cui SR, He Y, Li D, Zhao M, Zhang X, Yu LQ, 2004. Plant secondary metabolites and their effects on insect management. *Plant Protection*, 30(4): 8–11. [徐正浩, 崔绍荣, 何勇, 李迪, 赵明, 张旭, 余柳青, 2004. 植物次生代谢物质和害虫防治. 植物保护, 30(4): 8–11.]
- Yasui H, Fujiwara-Tsujii N, Kugimiya S, Haruyama N, 2021. Extension of sustained pheromone release for monitoring an emerging invader, red-necked longicorn beetle *Aromia bungii* (Coleoptera: Cerambycidae). *Applied Entomology and Zoology*, 56(2): 291–297.
- Zhang Y, 2017. The study of the semiochemical and dispensers of *Monochamus alternatus*. Master dissertation. Guangzhou: South China Agricultural University. [张瑜, 2017. 松墨天牛信息化学物质与缓释载体研究. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学.]