

缓释载体对松墨天牛信息化学 物质诱捕效果的影响*

顾宇彤^{1**} 杨美平² 朱浩诚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. 平山县林业工作站, 石家庄 050400)

摘要 【目的】研究不同缓释载体对松墨天牛 *Monochamus alternatus* 信息化学物质诱捕效果的影响, 为研发对昆虫信息素和寄主挥发物释放效果更好的仿生诱芯提供依据。【方法】测试聚集性信息素不同缓释载体(低密度聚乙烯缓释袋、毛细管、橡胶头)对松墨天牛诱捕效果的影响, 并选出最优载体, 并设置不同厚度(0.06、0.08、0.12 和 0.16 mm)缓释袋, 进行进一步筛选。另外, 测试植物源信息素不同缓释载体(0.08 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; 0.12 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; 0.15 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; 0.15 mm 高密度聚乙烯缓释瓶)对松墨天牛诱捕效果的影响。【结果】低密度聚乙烯缓释袋作为松墨天牛聚集性信息素缓释载体, 其对松墨天牛诱捕效果显著高于毛细管和橡胶头载体, 且厚度为 0.08 mm 时的诱捕效果好于 0.06、0.12 和 0.16 mm 厚度的缓释袋。另外, 0.12 mm 低密度聚乙烯瓶作为植物源信息素缓释载体, 对松墨天牛诱捕效果最好, 显著高于 0.15 mm 低密度聚乙烯瓶以及 0.15 mm 高密度聚乙烯瓶。【结论】低密度聚乙烯是一种适合松墨天牛信息化学物质的优良缓释载体, 显著提高了松墨天牛引诱剂的诱捕效果, 并为生产上相关昆虫信息化学物质选用适宜的缓释载体提供了技术支持。

关键词 松墨天牛; 信息化学物质; 缓释载体; 诱捕效果

The impact of different sustained release carriers on semio-chemical substances used to trap *Monochamus alternatus*

GU Yu-Tong^{1**} YANG Mei-Ping² ZHU Hao-Cheng¹ 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. Forest Station of Pingshan, Shijiazhuang 050400, China)

Abstract 【Aim】To study the effects of different sustained release carriers on the semio-chemical lures used to trap *Monochamus alternatus*, and thereby provide a basis for the development of bionic lures with more sustained release of insect sex pheromones and host volatiles. 【Methods】The effects of different sustained release carriers (LDPE caps, polymicro and rubber stoppers) on the persistence of sex pheromone lures were tested and different thicknesses (0.06, 0.08, 0.12 and 0.16 mm) of the optimal sustained release carrier compared. In addition, we tested the effectiveness of different density LDPE bottles (low-density 0.08 mm, low-density 0.12 mm, low-density 0.15mm and high-density 0.15mm) and the effect of pheromone trapping effect on botanical pheromones. 【Results】The LDPE cap was the best sustained release carrier, and the optimum cap thickness was 0.08 mm. In addition, low-density LDPE bottles performed significantly better than high-density LDPE bottles. 【Conclusion】The type of sustained release carrier can significantly affect trap performance.

Key words *Monochamus alternatus*; semiochemicals; sustained release carrier; trapping effect

*资助项目 Supported projects: 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: 715166463@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: 21652249@qq.com

收稿日期 Received: 2022-06-07; 接受日期 Accepted: 2023-04-25

松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 是松材线虫病的病原体, 是世界上对针叶树最严重的威胁之一 (Vicente *et al.*, 2013)。松材线虫病传入我国之后, 对本地松树包括马尾松 *Pinus massoniana*、黄山松 *P. taiwanensis*、华山松 *P. armandii*、云南松 *P. yunnanensis* 等造成侵染, 对经济和环境破坏严重 (杨宝君, 2003)。在东亚地区, 松墨天牛 *Monochamus alternatus* Hope 是松材线虫病的主要传播媒介 (叶建仁, 2019)。松墨天牛携带松材线虫在不同松树植株间传播, 使得松材线虫病在短时间内大范围扩散, 有时候在一只天牛的气管系统里会有二三十万条线虫 (Zhao *et al.*, 2007, 2009)。因此, 对松墨天牛的防控, 是抑制松材线虫病传播的主要途径之一。

引诱剂诱捕法是近年来国内外研究运用较多且较为安全、有效的一种防治方法 (赵锦年等, 2000)。研究发现, 寄主植物挥发物是一种低分子量、亲脂性和高挥发性的化合物 (Pichersky *et al.*, 2006; Loreto and Schnitzler, 2010)。植食性昆虫通过寄主植物挥发物寻找、定位和识别寄主植物, 进行选择取食和产卵 (von Arx *et al.*, 2012; 王诗琪等, 2020)。雌蛾通过寄主植物挥发物来定位取食和产卵地点, 雄蛾通过寄主植物挥发物和性信息素来定位寄主地点和可能的雌性活动区域 (Bruce *et al.*, 2005)。研究发现, 墨天牛属 *Monochamus* 对宿主树挥发物如 α -蒎烯和乙醇有行为反应 (Billings and Cameron, 1984)。Fan 等 (2007) 发现受胁迫的松树 (+)- α -蒎烯含量明显提升, (+)- α -蒎烯在中国是松墨天牛定位寄主的关键因素, 引诱效果最好, 乙醇也是天牛定位寄主的重要因素。

越来越多证据表明, 寄主植物挥发物和昆虫性信息素在野外条件下是相互作用的 (Reddy and Guerrero, 2004)。寄主植物挥发物可以诱导某些昆虫中信息素的产生或释放, 并经常协同或增强昆虫对性信息素的反应 (Bendera *et al.*, 2015)。性信息素和(E)-2-乙酸己烯酯的混合物可以增加性信息素在田间对暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* 的诱捕 (Ju *et al.*, 2017)。Pajares 等 (2010) 研究得出樟子松墨天牛 *Monochamus*

galloprovincialis 雄虫可以产生聚集性信息素 2-十一烷氧基-1-乙醇, 在野外能同时引诱雌雄成虫。野外实验结果表明聚集性信息素对植物源信息素有显著的增效作用, 两者联合使用显著提高了对松墨天牛的诱捕效果 (樊建庭等, 2013)。目前, 松墨天牛引诱剂广泛应用于松墨天牛的绿色防控中, 主要由 α -蒎烯、乙醇 (植物挥发物) 和 2-十一烷氧基-1-乙醇 (聚集性信息素) 联合使用 (胡琴等, 2018)。

气味诱捕装置的选择对有害生物的监测和诱捕效果有重要的影响 (Mukabana *et al.*, 2012)。目前昆虫引诱剂的缓释载体主要包括橡胶头、硅胶垫、蜡块、中空纤维、聚乙烯、毛细管缓释和聚氯乙烯管和凝胶 (Torr *et al.*, 1997; Shulkin and Stöver, 2002; 左文等, 2007), 不同的缓释载体类型有不同的释放特性, 影响着引诱剂的释放速率其持效期 (王忠, 2017)。以天然橡胶为载体的诱芯中, 共轭二烯类物质的异构化速度很快, 导致诱芯中信息素含量下降 (Butler and McDonough, 1981)。聚乙烯材料价格低廉, 在经济成本方面适宜工业化生产和推广使用 (孔维娜等, 2018)。要提高松墨天牛引诱剂的林间诱捕效果和延长持效期, 就需要对其缓释载体展开深入研究, 进一步寻找缓释材料和技术。本文研究了不同类型的缓释载体对聚集性信息素和植物源信息素诱捕效果的影响, 旨在为进一步开展松墨天牛高效引诱剂开发提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地

试验地设在中国浙江省富阳洞桥。试验林为针叶林和阔叶混交林, 主要树种为马尾松 *Pinus massoniana*、老鼠矢 *Symplocos stellaris*、苦槠 *Castanopsis sclerophylla*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 和部分灌木。其中以马尾松为优势种, 林下冠层密度较高, 松材线虫病对马尾松造成严重破坏。试验于 2021 年 5 至 8 月进行。

1.2 试验材料

松墨天牛诱捕试验所用化合物和材料如表 1

所示。松墨天牛聚集性信息素 2-十一烷氧基-1-乙醇, 购自 Acros Organics, 产品纯度>95%; 植物源信息化合物 α -蒎烯和乙醇, J&K Chemical, 产品纯度>98.0%; 植物源挥发物 α -蒎烯和乙醇, 购自杭州大方化学试剂公司, 产品纯度>99.5%。

表 1 松墨天牛诱捕试验所用化合物和材料
Table 1 Experimental modalities for *Monochamus alternatus* trappings

成分 Components	配比 Ratio	释放载体 Sustained release carrier
2-十一烷氧基-1-乙醇 Monochamol	-	缓释袋、毛细管或橡胶头 LDPE cap, polymicro or rubber stopper
α -蒎烯和乙醇 α -Pinene+Ethanol	4:1	低密度聚乙烯瓶和高密度聚乙烯瓶 Low-density LDPE bottle and high-density LDPE bottle

缓释载体: 低密度聚乙烯缓释袋(厚度分别为 0.06、0.08、0.12 和 0.16 mm, 6.5 cm × 11.0 cm)、毛细管、橡胶头、200 mL 低密度聚乙烯缓释瓶(壁厚分别为 0.15、0.12 和 0.08 mm)和 200 mL 高密度聚乙烯缓释瓶(厚度 0.15 mm), 购于杭州费洛蒙生物科技有限公司。

1.3 试验方法

林间诱捕试验采用十字交叉型诱捕器。将诱捕器挂在松树侧枝上, 诱捕器的收集杯底距离地面 1.5 m, 试验采用区块(林分条件相对一致且通风良好的林地)内循环方法, 即每个区块内设置不同处理的诱捕器, 诱捕器之间距离为 15-20 m, 区块间距离为 50 m。测试聚集性信息素不同缓释载体(低密度聚乙烯缓释袋、毛细管和橡胶头)对松墨天牛诱捕效果的影响, 并选出最优载体, 并设置不同厚度(0.06、0.08、0.12 和 0.16 mm)载体, 进行进一步筛选。另外, 测试植物源信息素缓释载体(0.08 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; 0.12 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; 0.15 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; 0.15 mm 高密度聚乙烯瓶)对松墨天牛诱捕效果的影响。低密度聚乙烯瓶的瓶盖不打开, 信息素通过瓶壁释放; 高密度聚乙烯瓶的瓶盖打开, 信息素通过瓶口释放。每个处理设置 6 个重复, 区块内诱捕器位置随机排序悬挂。诱捕到的

天牛每 7 d 收集一次, 记录诱捕数量, 同时更换区域内各个处理诱捕器的位置, 避免位置因素造成的试验差异。

1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS17.0 软件进行分析, 不同处理间的天牛诱捕数量平均值采用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行比较, 不同处理间差异采用 LSD 多重比较检验, 并使用 GraphPad Prism 8 软件作图。

2 结果与分析

2.1 聚集性信息素缓释载体对诱捕效果的影响

2.1.1 聚集性信息素不同缓释载体对诱捕效果的影响 不同缓释载体的聚集性信息素对松墨天牛成虫的诱捕量如图 1 所示。试验结果表明, 不同缓释载体的诱捕量存在显著差异($F_{3,12}=27.801$, $P=0.000<0.01$)。使用低密度聚乙烯缓释袋作为聚集性信息素缓释载体时, 诱捕量均值

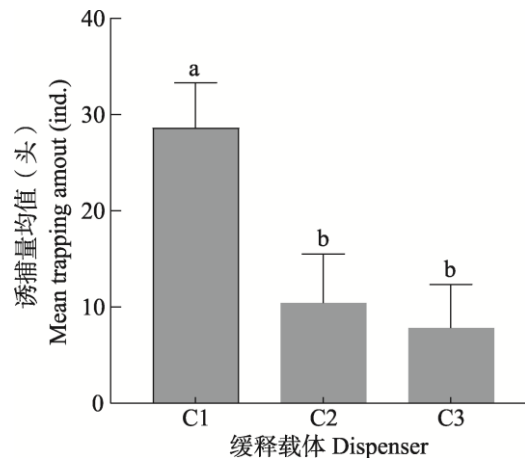


图 1 聚集性信息素不同缓释载体对诱捕效果的影响
Fig. 1 Effects of different dispensers of aggregate pheromone on the trapping effect

C1: 低密度聚乙烯瓶 Low-density LDPE bottle; C2: 毛细管 Polymicro; C3: 橡胶头 Rubber stopper. 柱上标有不同小写字母表示松墨天牛诱捕量在不同缓释载体之间差异显著($P<0.05$)。下同。

Histograms with different lowercase letters indicate significant difference at the 0.05 level among different dispensers of the trapping amount of *Monochamus alternatus*. The same below.

为 28.60 头, 诱捕效果最好, 显著高于毛细管和橡胶头载体, 而毛细管和橡胶头载体的诱捕量均值之间差异不显著 ($P = 1.000 > 0.05$)。

2.1.2 聚集性信息素缓释袋厚度对诱捕效果的影响 根据 2.1.1 试验结果, 低密度聚乙烯缓释袋作为缓释载体时, 诱捕效果最好。选择 0.06、0.08、0.12 和 0.16 mm 厚度的聚乙烯缓释袋继续筛选。试验结果如图 2 所示, 聚集性信息素缓释袋的厚度对诱捕效果影响显著 ($F_{3,12}=1.923$, $P=0.047 < 0.05$), 其中 0.08 mm 厚度低密度聚乙烯缓释袋对松墨天牛诱捕效果最好, 诱虫量均值为 40.20 头, 显著高于 0.06 mm 低密度聚乙烯缓释袋 ($P=0.048 < 0.05$), 但与 0.12 mm 低密度聚乙烯袋差异不显著 ($P=0.710 > 0.05$)。

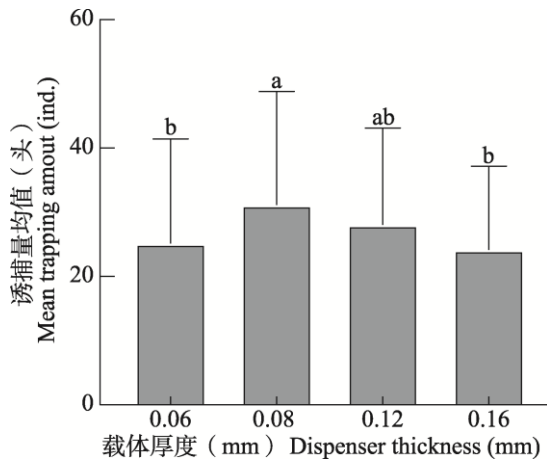


图 2 聚集性信息素缓释袋厚度对诱捕效果的影响
Fig. 2 Effects of dispenser's thickness of aggregate pheromone on the trapping effect

2.2 植物源信息素缓释载体对诱捕效果的影响

植物源信息素缓释载体对松墨天牛诱捕效果的影响如图 3 所示 (D1: 0.08 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; D2: 0.12 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; D3: 0.15 mm 低密度聚乙烯缓释瓶; D4: 0.15 mm 高密度聚乙烯瓶), 低密度聚乙烯缓释瓶作为植物源信息素的缓释载体, 对松墨天牛诱捕效果显著高于高密度聚乙烯瓶 ($F_{3,12}=8.822$, $P=0.001 < 0.01$)。其中, 壁厚 0.12 mm 低密度聚乙烯缓释瓶处理对松墨天牛的诱捕量最高, 均值为 35.80 头, 显著高于 0.08 mm 低密度聚乙烯缓释瓶

($P=0.0492 < 0.05$) 和 0.15 mm 高密度聚乙烯缓释瓶 ($P=0.0371 < 0.05$), 但与 0.15 mm 低密度聚乙烯缓释瓶差异不显著 ($P=0.759 > 0.05$)。

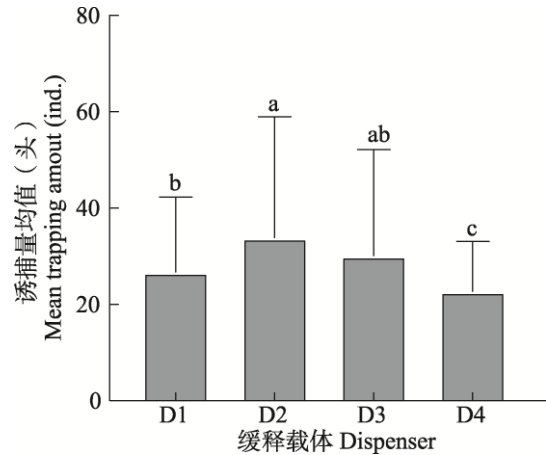


图 3 植物源信息素缓释载体对诱捕效果的影响
Fig. 3 The effect of plant-derived pheromone dispenser on trapping effect

D1: 0.08 mm 低密度聚乙烯缓释瓶 0.08 mm low-density LDPE bottle; D2: 0.12 mm 低密度聚乙烯缓释瓶 0.12 mm low-density LDPE bottle; D3: 0.15 mm 低密度聚乙烯缓释瓶 0.15 mm low-density LDPE bottle; D4: 0.15 mm 高密度聚乙烯瓶 0.15 mm low-density LDPE bottle.

3 讨论

松墨天牛是一种重要的检疫性害虫, 采用昆虫信息化合物制备的仿生诱芯对其进行加强监测和防治具有重要意义。目前, 很多材料被制成缓释载体, 不同的载体材料会影响性信息素的稳定性和持久性, 良好的载体对于害虫的诱集效果十分重要。缓释载体本身的物理特性会对引诱剂产生很大的影响, 比如蜡滴常因夏季的高温而缩短使用寿命 (Stelinski *et al.*, 2006), 部分昆虫信息化合物在橡胶塞上异构化很快 (荆慧荣和刘孟英, 1996), 聚乙烯管一般可作为一些小分子量挥发物的缓释载体, 而聚氯乙烯塑料膜一般可作为要求大释放量的信息化学物质的缓释载体 (李学琳等, 2015)。因此根据昆虫信息素的化学性质选择适宜的缓释载体尤为重要。我们通过对缓释载体的筛选, 得出聚乙烯缓释袋对松墨天牛聚集性信息化合物的缓释效果最好, 且持效

期较长,是制作松墨天牛诱芯的较好材料。

缓释载体的表面积大小、厚度、弹性等物理性质会影响化学信息素释放的动态变化(胡琴等,2018)。信息素挥发的气味可从聚乙烯类袋(瓶)壁内的微小孔中按一定量释放出来,调节壁的厚度可改变其引诱剂的释放量(李学琳,2016)。本研究发现低密度聚乙烯缓释袋厚度为0.08 mm时,使用前期诱捕效果较好,但同时壁薄,信息素释放速率较快,造成持效期下降,影响使用后期的诱捕效果,总体诱捕效果好于0.06、0.12和0.16 mm厚度的缓释袋。

另外,聚乙烯缓释瓶适用于部分植物源引诱剂的释放,它的材质和厚度对植物源信息化化合物的诱捕效果有显著影响。低密度聚乙烯(LDPE)具有较低的分子密度和良好的化学稳定性,能使引诱剂通过瓶壁稳定的挥发,不受雨水、风速等天气的影响,稳定发挥效果,不需要长时间补充(Mukabana *et al.*,2012)。高密度聚乙烯(HDPE)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,需要强调的是高密度聚乙烯瓶与其他塑料式缓释载体不同,因为信息化合物不能穿透瓶身释放,需要敞口进行释放,容易在下雨时进水,严重影响诱捕效果(朱诚棋等,2017)。研究发现,低密度聚乙烯瓶诱捕效果显著高于高密度聚乙烯瓶,并且厚度为0.12 mm的低密度聚乙烯瓶效果最好,比高密度聚乙烯瓶提高40%,这可能是低密度聚乙烯材料壁薄,内部信息化学物质透过性较好。

大多数信息素分子挥发性强且容易受到温度、阳光、风雨等环境因素的影响。不同的缓释载体类型影响着引诱剂的诱捕效果,缓释载体的技术参数常常涉及到多门学科(像生物化学、物理学、化学等)的要求,目前已经有部分商品化的信息素缓释产品,如基于物理或物理化学相结合的诱芯、微胶囊与微球(严力等,2019)。本研究对松墨天牛引诱剂常用的集中缓释载体进行了评价,但还需要科研工作者进行探索性的研究。昆虫信息素缓释技术的不断完善与应用,将有助于减少区域化学品总量水平,并带来显著的经济效益和社会效益。

参考文献 (References)

- Bendera M, Ekesi S, Ndung'u M, Srinivasan R, Torto B, 2015. A major host plant volatile, 1-octen-3-ol, contributes to mating in the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae). *Die Naturwissenschaften*, 102(9/10): 47.
- Billings RF, Cameron RS, 1984. Kairomonal responses of Coleoptera, *Monochamus-titillator* (Cerambycidae), *Thanasimus-dubius* (Cleridae), and *Temnochila-virescens* (Trogositidae), to behavioral chemicals of southern pine bark beetles (Coleoptera, Scolytidae). *Environmental Entomology*, 13(6): 1542-1548.
- Bruce TJA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2005. Insect host location: A volatile situation. *Trends in Plant Science*, 10(6): 269-274.
- Butler LI, McDonough LM, 1981. Insect sex pheromones: Evaporation rates of alcohols and acetates from natural rubber septa. *Journal of Chemical Ecology*, 7(3): 627-633.
- Fan JT, Kang L, Sun JH, 2007. Role of host volatiles in mate location by the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). *Environmental Entomology*, 36(1): 58-63.
- Fan JT, Meng JG, Wang BD, Zhao LL, Sun JH, 2013. Field trapping the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) using an aggregation pheromone and host volatiles. *Chinese Bulletin of 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.]
- Hu Q, Jin J, Du YB, Fan JT, 2018. Variation of the composition of attractants in lures for *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) in the field and its influence on trapping efficacy. *Acta Entomologica Sinica*, 61(11): 1310-1318. [胡琴, 金京, 杜永斌, 樊建庭, 2018. 野外条件下松墨天牛诱芯中引诱剂成分变化及其对诱捕效果的影响. 昆虫学报, 61(11): 1310-1318.]
- Jing HR, Liu MY, 1996. The influence of rubber substrates on isomerization of the sex pheromone compounds of the pine caterpillar moth in pheromone dispensers. *Acta Entomologica Sinica*, 39(2): 126-132. [荆慧荣, 刘孟英, 1996. 几种橡胶载体对马尾松毛虫性信息素几何构型异构化的影响. 昆虫学报, 39(2): 126-132.]
- Kong WN, Wang Y, Niu GF, Guo YF, Zhao F, Ma RY, Fan RJ, 2018. Screening and optimizing sex pheromone dispenser for *Grapholitha molesta*. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 38(7): 8-12. [孔维娜, 王怡, 牛国飞, 郭永福, 赵飞, 马瑞燕, 范仁俊, 2018. 梨小食心虫性信息素载体筛选与应用优化. 山西农业大学学报, 38(7): 8-12.]
- Li XL, 2016. Studies on controlled release characteristics of sex pheromone components of *Dendrolimus* spp. (Lepidoptera: Lasiocampidae) from microcapsule dispensers. Master dissertation.

- Guiyang: Guizhou University. [李学琳, 2016. 松毛虫性信息素微胶囊缓释载体研究. 硕士学位论文. 贵阳: 贵州大学.]
- 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.]
- Loreto F, Schnitzler JP, 2010. Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends in Plant Science*, 15(3): 154–166.
- Mukabana WR, Mweresa CK, Omusula P, Orindi BO, Smallegange RC, van Loon JJ, Takken W, 2012. Evaluation of low density polyethylene and nylon for delivery of synthetic mosquito attractants. *Parasites Vectors*, 5(1): 202.
- Pajares JA, Álvarez G, Ibeas F, Gallego D, Hall DR, Farman DI, 2010. Identification and field activity of a male-produced aggregation pheromone in the pine sawyer beetle, *Monochamus galloprovincialis*. *Journal of Chemical Ecology*, 36(6): 570–583.
- Pichersky E, Noel JP, Dudareva N, 2006. Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. *Science*, 311(5762): 808–811.
- Ju Q, Guo XQ, Li X, Jiang XJ, Jiang XG, Ni WL, Qu MJ, 2017. Plant volatiles increase sex pheromone attraction of *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeoidea). *Journal of Chemical Ecology*, 43(3): 236–242.
- Reddy GVP, Guerrero A, 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends in Plant Science*, 9(5): 253–261.
- Shulkin A, Stöver HDH, 2002. Polymer microcapsules by interfacial polyaddition between styrene-maleic anhydride copolymers and amines. *Journal of Membrane Science*, 209(2): 421–432.
- Stelinski LL, Miller JR, Ledebuhr R, 2006. Mechanized applicator for large-scale field deployment of paraffin-wax dispensers of pheromone for mating disruption in tree fruit. *Journal of Economic Entomology*, 99(5): 1705–1710.
- Torr SJ, Hall DR, Phelps RJ, Vale GA, 1997. Methods for dispensing odour attractants for tsetse flies (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, 87(3): 299–311.
- Vicente C, Nascimento F, Espada M, Barbosa P, Hasegawa K, Mota M, Oliveira S, 2013. Characterization of bacterial communities associated with the pine sawyer beetle *Monochamus galloprovincialis*, the insect vector of the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*. *Fems Microbiology Letters*, 347(2): 130–139.
- von Arx M, Schmidt-Büsser D, Guerin PM, 2012. Plant volatiles enhance behavioral responses of grapevine moth males, *Lobesia botrana* to sex pheromone. *Journal of Chemical Ecology*, 38(2): 222–225.
- Wang SQ, Zhang L, Wang ZD, Zhong YH, 2020. Research progress in the regulation of plant volatiles on the behavior of *Plutella xylostella* (L.). *Gansu Agricultural Science and Technology*, 51(4): 82–86. [王诗琪, 张啦, 王占娣, 仲一卉, 2020. 植物挥发物对小菜蛾行为的调节研究综述. 甘肃农业科技, 51(4): 82–86.]
- Wang Z, Cai WQ, Shi XH, Sun CH, 2017. Study on controlled-release rate of different carrier of *Monochamus qalernatus* attractant. *The Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 45(2): 14–16. [王忠, 蔡卫群, 史先慧, 孙朝辉. 松墨天牛引诱剂不同缓释载体释放速率的研究. 河北林业科技, 45(2): 14–16.]
- Yang BJ, 2003. Pine Wood Nematode Disease. Beijing: China Forestry Publishing House. 48–56. [杨宝君, 2003. 松材线虫病. 北京: 中国林业出版社. 48–56.]
- Yan L, Li ZW, Han GR, 2019. Progress of insect pheromone sustained release technology. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 36(10): 1099–1108. [严力, 李卓睿, 韩国志. 昆虫信息素缓释技术的研究进展. 应用化学, 36(10): 1099–1108.]
- Ye JR, 2019. Epidemic status of pine wilt disease in China and its prevention and control techniques and counter measure. *Forest Research*, 55(9): 1–10. [叶建仁, 2019. 松材线虫病在中国的流行现状、防治技术与对策分析. 林业科学, 55(9): 1–10.]
- Zhao JN, Jiang P, Zhang XY, Lin YH, Huang ZG, He YY, 2011. Study on the slow-release attractant for *Monochamus alternatus* and its attractive effect. *Forest Research*, 24(3): 350–356. [赵锦年, 蒋平, 张星耀, 林云华, 黄照岗, 何玉友, 2011. 松褐天牛缓释型引诱剂及其引诱效果研究. 林业科学研究, 24(3): 350–356.]
- Zhao LL, Jiang P, Sun JH, 2009. Within-tree distribution and attractant sampling of propagative pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*: An early diagnosis approach. *Forest Ecology and Management*, 258(9): 1932–1937.
- Zhao LL, Wei W, Liu XZ, Kang L, Sun JH, 2007. A novel rapid sampling method for pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Parasitaphelenchidae). *Canadian Journal of Forest Research*, 37(10): 1867–1872.
- Zhu CQ, Chen JY, Ma T, Mou J, Qin WQ, Wen XJ, 2017. Research on release rates of semiochemicals of *Monochamus alternatus*. *Forest Research*, 30(2): 315–321. [朱诚祺, 陈家颖, 马涛, 牟静, 秦文权, 温秀军. 松墨天牛信息化合物在不同缓释载体上的释放速率. 林业科学研究, 30(2): 315–321.]
- Zuo W, 2007. Co-effect of rice volatile and sex pheromone to the striped stem borer, *Chilo suppressalis* Walker. Master dissertation. Zhejiang: Zhejiang University. [左文, 2007. 水稻挥发物与二化螟性信息素对二化螟的协同作用. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学.]