

辽宁抚顺松材线虫入侵松林内天牛种类调查*

袁 源** 任利利 余 润 李佳星 石丰铭 曾建华 骆有庆***

(北京林业大学, 林木有害生物防治北京市重点实验室, 中法欧亚森林入侵生物联合实验室, 北京 100083, 中国)

摘 要 【目的】松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer) Nickle 的媒介昆虫云杉花墨天牛 *Monochamus saltuarius* Gebler 在辽宁省被发现意味着我国北方松林的生态安全正在遭受严重的威胁。明确松材线虫入侵松林内的天牛种类、数目, 可以为早期监测松材线虫媒介昆虫和潜在媒介昆虫的种群动态以及预测松材线虫病的发生提供参考。【方法】为了明确天牛广谱型引诱剂、APF I 持久增强型松墨天牛高效诱剂、F8 型松墨天牛引诱剂及其复配诱芯的诱捕效果, 于 2019-2020 年的 5-10 月在辽宁省抚顺市的油松林、红松林、落叶松林开展诱捕天牛试验。【结果】将天牛广谱型引诱剂和 F8 型松墨天牛引诱剂放在同一诱捕器中具有较好引诱效果, 每诱捕器捕获的天牛物种数量 (油松林 18 种, 红松林 14 种, 共计 19 种) 和天牛样本数量 (油松林 (18.31±8.86) 头/周, 红松林 (23.44±10.92) 头/周) 最多。在试验林地共计诱捕到 34 种共计 13 307 头天牛, 其中云杉花墨天牛数量最多, 占总诱捕量的 67%, 褐梗天牛 *Arhopalus rusticus*、锯天牛 *Prionus insularis*、小灰长角天牛 *Acanthocinus griseus*、松皮花天牛 *Rhagium japonicum* 分别占总诱捕量的 13.2%、6.6%、4.1%和 2.7%。【结论】捕获到危害针叶树的天牛 8 种, 包括云杉花墨天牛 (优势种)、小灰长角天牛、灰长角天牛 *Acanthocinus aedilis*、褐梗天牛、脊鞘幽天牛 *Asemum striatum* 和锯天牛。根据天牛的取食产卵习性推测, 小灰长角天牛、灰长角天牛在补充营养的时候可能会传播松材线虫到健康松树上, 而褐梗天牛、脊鞘幽天牛和锯天牛羽化成虫后不需补充营养且产卵在衰弱木的树皮缝隙或者表土处, 它们有效传播松材线虫的几率较小。

关键词 松材线虫; 云杉花墨天牛; 引诱剂

Investigation of cerambycid beetle species in pine forests invaded by pine wood nematode in Fushun, Liaoning province

YUAN Yuan** REN Li-Li YU Run LI Jia-Xing SHI Feng-Ming
ZENG Jian-Hua LUO You-Qing***

(Beijing Forestry University, Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control,
Sino-France Joint Laboratory for Invasive Forest Pests in Eurasia, Beijing 100083, China)

Abstract 【Objectives】*Monochamus saltuarius* Gebler, a vector of *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer) Nickle was discovered in Liaoning province, which indicates the fact that the security of pine forests in northern China is now under serious threat. Identification of species and individuals of cerambycid beetles in pine forests invaded by pine wood nematode can provide references for early monitoring for population dynamics of vector beetles and potential vector beetles and forecast of pine wilt disease's occurrence. 【Methods】To identify the relative effectiveness of cerambycid multi-pheromone components, APF I attractant, F8 attractant and compounds lures, a trapping experiment for longhorn beetles was carried out from May to October in 2019 and 2020, in mature forests of *Pinus tabulaeformis*, *Pinus koraiensis* and *Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* in Fushun city, Liaoning province. 【Results】Cerambycid multi-pheromone components and F8 attractant in the same trap among all these comparative groups achieved the best performance, due to the fact that each trap of

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划“人工林重大灾害防控关键技术研究”(2018YFD0600200); 北京市科技计划“北京生态公益林重大有害生物防控关键技术”(Z191100008519004)

**第一作者 First author, E-mail: yuanyuan710@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: youqingluo@126.com

收稿日期 Received: 2021-04-08; 接受日期 Accepted: 2021-11-03

this group captured the highest number of cerambycid beetle species (19 species; 18 species in *P. tabulaeformis* forest and 14 in *P. koraiensis* forest) and individuals ((18.31±8.86) ind./week in *P. tabulaeformis* forest and (23.44±10.92) ind./week in *P. koraiensis* forest). The cerambycid beetles trapped in three forests for a grand total include 34 species and 13 307 individuals. *M. saltuarius* accounts for 67% of the all species trapped, with the percentage of *Arhopalus rusticus*, *Prionus insularis*, *Acanthocinus griseus* and *Rhagium japonicum* being 13.2%, 6.6%, 4.1% and 2.7% respectively. **[Conclusion]** Cerambycid multi-pheromone components and F8 attractant in the same trap captured the highest number of longhorn beetle species and individuals, therefore, this is an effective method for monitoring potential longhorn beetle vectors of pine wood nematode. 8 species of cerambycid beetles having already been proved to damage pines trees were captured, including *M. saltuarius*, *A. griseus*, *Acanthocinus aedilis*, *A. rusticus*, *Asemum striatum* and *P. insularis*. Based on their feeding and oviposition habits, what can be suspected is that pine wood nematode is more likely to be transmitted to healthy pine trees by *A. griseus* and *A. aedilis* rather than by *A. rusticus*, *A. striatum* and *P. insularis*, because the latter three species don't need to supplement nutrition after eclosion and lay their eggs in bark gaps or in rotten wood, thereby reducing the possibility to spread pine wood nematode.

Key words pine wood nematode; *Monochamus saltuarius*; lures

松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer) Nickle 自传入我国以来, 主要危害南方的马尾松 *Pinus massoniana*、黑松 *Pinus thunbergii*、白皮松 *Pinus bungeana*、华山松 *Pinus armandii* 和云南松 *Pinus yunnanensis*, 媒介昆虫为松墨天牛 *Monochamus alternatus* (Linit *et al.*, 1983; Kobayashi *et al.*, 1984; 王玉嫵等, 1985)。自 2016 年在辽宁省大连市暴发疫情以来, 松材线虫病在丹东市、抚顺市和本溪市等地相继发生, 松材线虫由南向北不断扩张。2018 年, 首次确认云杉花墨天牛 *Monochamus saltuarius* Gebler 是松材线虫在我国的新传播媒介(理永霞和张星耀, 2018; Li *et al.*, 2020; Pan *et al.*, 2020)。随后又确认红松 *Pinus koraiensis*、长白落叶松 *Larix olgensis*、日本落叶松 *Larix kaempferi*、华北落叶松 *Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* 和樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* 为松材线虫在我国的自然感病寄主(潘龙等, 2019; 于海英等, 2019, 2020)。

松材线虫利用媒介昆虫羽化离开感病的寄主松树到达健康松树, 通过媒介昆虫在取食、产卵时对健康松树造成的伤口进入新的寄主松树内部。根据国内外文献报道, 至少有 48 种昆虫可以携带松材线虫, 但可作为传播媒介的昆虫均属于天牛科 Cerambycidae 沟胫天牛亚科 Lamiinae 墨天牛属 *Monochamus* (Nickle *et al.*, 1971; Nickle *et al.*, 1980; Linit *et al.*, 1983; Kobayashi *et al.*,

1984; 王玉嫵等, 1985; 徐福元等, 1993; Sousa *et al.*, 2001; 张建军等, 2007)。在我国, 褐梗天牛 *Arhopalus rusticus*、西藏墨天牛 *Monochamus nigromaculatus*、椎天牛 *Spondylis buprestoides*、樟泥色天牛 *Uraecha angusta*、瘤胸簇天牛 *Aristobia hispida*、桃红颈天牛 *Aromia bungii*、粗鞘双条杉天牛 *Semanotus sinoauster*、小灰长角天牛 *Acanthocinus Griseus* 和台湾长角天牛 *Acanthocinus gundaiensis* 等都被报道过可携带松材线虫(徐福元等, 1993; 刘曙雯等, 2000; 孙绪良和崔为友, 2001; Wang *et al.*, 2020)。一般来说, 只有那些幼虫期危害松属植物、成虫期进行能对树体造成伤口的补充营养和产卵等行为、生活史与松材线虫生活史相吻合的昆虫才有可能传播松材线虫。

墨天牛属的幼虫营隐蔽生活, 蛀食树木内部, 成虫携带松材线虫进行传播, 其发生危害具有周期性、暴发性 and 隐蔽性, 采用松墨天牛引诱剂能有效地监测媒介昆虫动态及预测预报松材线虫病的发生(王玉嫵等, 1991)。目前, 基层常用的松墨天牛引诱剂有 APF I 持久增强型松墨天牛高效引诱剂和 F8 型松墨天牛引诱剂, 这两种都是针对松墨天牛的高效型引诱剂。此外, 不同亚科族系属种天牛产生的信息素之间重叠率较高, 同一种天牛信息素成分可能会对多种天牛中发挥作用, 多种天牛产生的信息素与植物源挥发物相结合形成的天牛广谱型引诱剂, 可以高效、低成本地诱捕多种天牛科昆虫(Fan *et al.*,

2019; 胡发广等, 2020)。

目前, 松墨天牛的引诱剂已成功应用于生产实践, 但针对我国北方新媒介昆虫云杉花墨天牛的引诱剂研究尚且较少。因此, 本研究利用天牛广谱型引诱剂、APF I 持久增强型松墨(褐)天牛高效诱剂和 F8 型松墨天牛引诱剂诱捕云杉花墨天牛及松材线虫潜在媒介昆虫, 以期为我国北方松林的松材线虫病监测预警提供有力的支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地选在辽宁省抚顺市抚顺县上马镇苍什村(N41°53'33.9", E124°21'24.9"), 实验地林地为油松 *Pinus tabulaeformis* 人工林(少量樟子松)、红松人工林和华北落叶松人工林, 树龄 40-50 年, 样地林内有少量火炬树 *Rhus typhina*、山核桃 *Carya cathayensis*、茶条枫 *Acer tataricum* subsp. *ginnala*、蒙古栎 *Quercus mongolica*、忍冬 *Lonicera japonica*、槐树 *Styphnolobium japonicum* 和榆树 *Ulmus pumila* 等阔叶树。

1.2 试验诱捕器诱芯设置

本研究使用的诱芯有: 1) 两种松墨天牛高效型引诱剂: APF I 持久增强型松墨天牛高效诱剂(简称 A), 由湖南林科达农林技术服务有限公司生产; F8 型松墨天牛引诱剂(简称 F), 由杭州费洛蒙生物科技有限公司生产; 2) 一种天牛广谱型引诱剂: 8 种天牛信息素混合物((E)-6,10-二甲基十一烷-5,9-二烯醇(50 mg/mL)、(E)-6,10-二甲基-5,9-十一二烯-2-乙酸乙酯(50 mg/mL)、香叶基丙酮(25 mg/mL)、2-十一烷氧-1-乙醇(50 mg/mL)、3-羟基-2-己酮(50 mg/mL)、丙酸(0.5 mg/mL)、2-甲基-1-丁醇(50 mg/mL)、(2R*,3S*)-2,3-己二醇(50 mg/mL)溶于 1 mL 异丙醇)及植物挥发物成分((-)- α -蒎烯 125 mL、乙醇 250 mL)的混合物(简称 M), 由法国农业食品环境研究院奥尔良森林动物研究中心提供; 3) 两种复配诱芯: 50%M 和 A(简称 MA) 放置在同一诱捕器里, 50%M 和 F(简

称 MF) 放置在同一诱捕器里。

为了验证诱芯效果, 实验设置底物对照和空白对照。底物对照: 1 mL 异丙醇(简称 J), 由北京昌回林海生态科技有限公司生产; 空白对照: 不悬挂诱芯的诱捕器(简称 CK)。

本试验选择涂有特氟龙的绿色十字挡板形天牛诱捕器(ZM-80 型), 由湖南林科达农林技术服务有限公司生产。

1.3 不同诱芯对天牛科昆虫的诱集效果比较

诱捕器悬挂在林地里的阔叶树侧枝上, 诱捕器底部距离地面 1.5 m 以上, 每个诱捕器之间相隔 20 m 以上, 每 3 周轮换诱捕器的位置以消除随机误差。8 种天牛信息素混合物、异丙醇每 3 周更换 1 次, APF I 持久增强型松墨天牛高效诱剂、F8 型松墨天牛引诱剂、(-)- α -蒎烯及乙醇每 2 个月更换 1 次。每周收集 1 次捕获到的昆虫, 分类、鉴定捕获的天牛种类及雌雄, 并统计数量。

1.3.1 天牛广谱型引诱剂与复配诱芯诱集效果比较 2019 年 5 月至 2019 年 10 月, 在油松林内悬挂放置诱芯 M、MA 和 MF 的诱捕器, 另外设置空白对照 CK, 每种处理 3 个重复, 共 12 个诱捕器。红松林内处理同油松林(图 1: A)。

1.3.2 两种松墨天牛高效型引诱剂诱集效果比较 2019 年 5 月至 2019 年 10 月, 在落叶松林内悬挂放置诱芯 A 和 F 的诱捕器, 另外设置空白对照 CK, 每种处理设置 4 个重复, 共 12 个诱捕器。

2020 年 5 月至 2020 年 7 月, 在油松林内悬挂放置诱芯 A 和 F 的诱捕器, 另外设置空白对照 CK, 每种处理 4 个重复, 共 12 个诱捕器。红松林、落叶松林内诱捕器的设置同油松林(图 1: B)。

1.3.3 底物异丙醇对广谱型引诱剂和复配诱芯诱集效果的影响 2020 年 7 月至 2020 年 10 月, 在油松林内分别悬挂放置诱芯 M、MA 和 MF 的诱捕器, 并设置空白对照 CK、底物对照 J, 每种处理 3 个重复, 共 15 个诱捕器。红松林内诱捕器的设置同油松林。在落叶松林内悬挂放置诱芯 A 和 F 的诱捕器, 并设置空白对照 CK、底物

对照 J, 每种处理 3 个重复, 共 12 个诱捕器 (图 1: C)。

1.4 数据收集与处理

用 R 语言对实验数据进行分析, 采用非参数 Friedman’ Q 检验来检验每个试验设计的总体处

理效果, $P<0.05$ 时具有统计学意义, 并用 Wilcoxon 符号秩和检验作两两比较, 显著性水平 α 用 Bonferroni 方法进行调整。在任何处理中都不包含有问题物种样本的重复, 只分析在一个样地由至少有 8 个标本以上的物种, 符合统计上显著处理效果的最小数量。

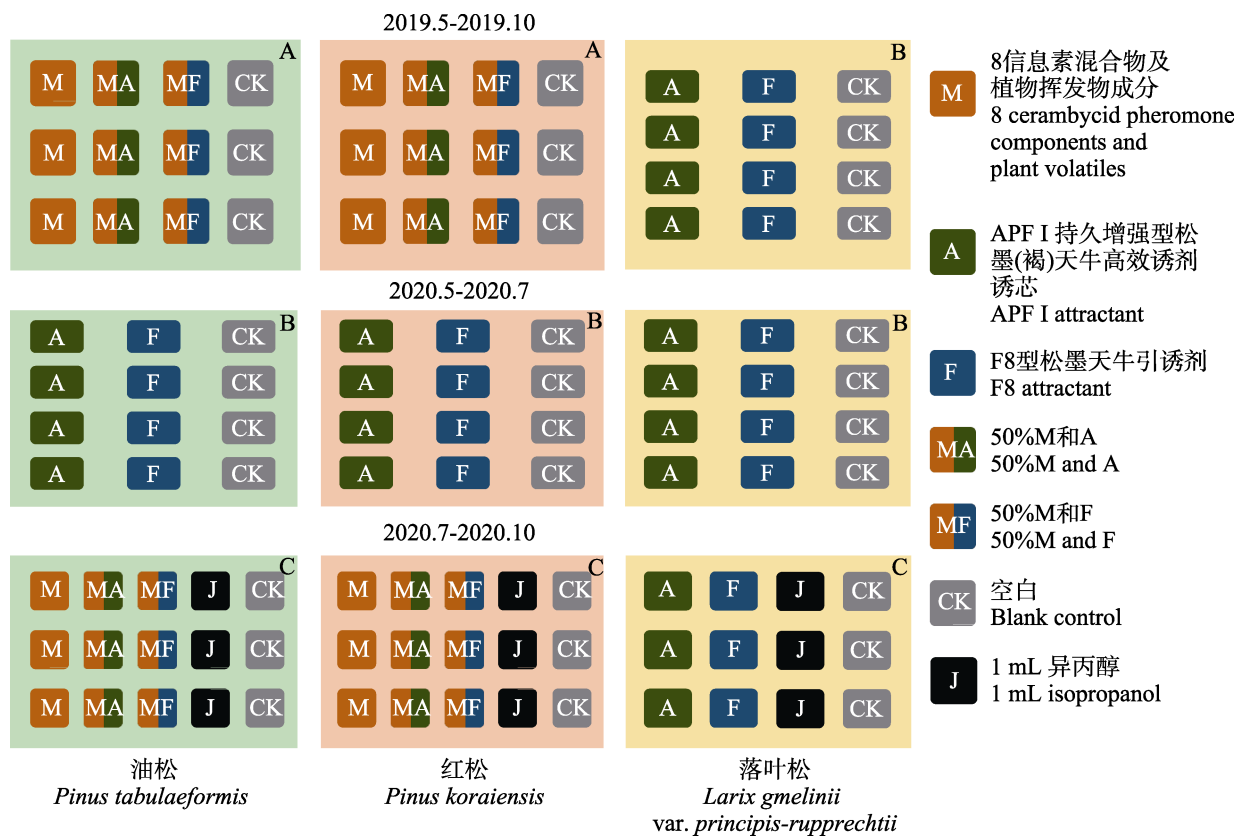


图 1 辽宁抚顺针叶林内诱捕器放置
Fig. 1 Setting of traps in pine forests in Fushun, Liaoning province

- A. 天牛广谱型引诱剂 (M) 与复配诱芯 (MA 和 MF) 诱集效果比较; B. 两种松墨天牛高效型引诱剂 (A 和 F) 诱集效果比较; C. 底物异丙醇 (J) 对广谱型引诱剂 (M) 和复配诱芯 (MA 和 MF) 诱集效果的影响。
A. Comparison of trapping effect between cerambycid multi-pheromone components (M) and compound lures (MA and MF);
B. Comparison of trapping effect between two kinds of efficient attractants (MA and MF) for *M. alternatus*;
C. Effect of isopropanol (J) on cerambycid multi-pheromone components (M) and compound lures (MA and MF).

2 结果与分析

2.1 不同诱芯对天牛科昆虫的诱集效果比较

2019 年 5 月至 2019 年 10 月和 2020 年 5 月至 2020 年 10 月, 在辽宁省抚顺市抚顺县上马镇苍什村的油松林、红松林、落叶松林中, 捕获到 34 种天牛, 共计 13 307 头 (图 2)。其中锯天牛

亚科 Prioninae 1 族 1 属 1 种, 共计 879 头, 幽天牛亚科 Spondylidinae 1 族 2 属 2 种, 共计 1 966 头, 花天牛亚科 Lepturinae 2 族 6 属 7 种, 共计 375 头, 天牛亚科 Cerambycinae 4 族 11 属 14 种, 共计 272 头, 沟胫天牛亚科 Lamiinae 6 族 8 属 10 种, 共计 9 812 头, 包括 1 个中国新纪录种 (*Oberea heyrovskyi*) 和 2 个辽宁省新纪录种 (中带天牛 *Phymatodes mediofasciatus*、北京脊

虎天牛 *Xylotrechus pekingensis*)。其中, 云杉花墨天牛、褐梗天牛、锯天牛 *Prionus insularis*、小灰长角天牛、松皮花天牛 *Rhagium japonicum*、四点象天牛 *Mesosa myops*、脊鞘幽天牛 *Asemum striatum* 和中黑肖亚天牛 *Amarysius altajensis altajensis* 的诱捕量依次占总诱捕量的 67.0%、13.2%、6.6%、4.1%、2.7%、1.5%、1.6%和 1.1%。

2.1.1 天牛广谱型引诱剂与复配诱芯诱集效果比较 在 2019 年 5 月至 2019 年 10 月期间, 每周收集并统计瓶中天牛科昆虫的种类和数量。结果显示, 不同诱芯对天牛的诱集效果(捕获天牛物种数量和天牛样本数量)存在显著差异(均 $P<0.05$)。从每周每诱捕器捕获天牛物种数量来看: 在油松林, M、MA 和 MF 诱到的天牛种类

锯天牛亚科 Prioninae	Prionini	锯天牛	879	<i>Prionus insularis insularis</i>
		褐梗天牛	1 757	<i>Arhopalus rusticus rusticus</i>
		脊鞘幽天牛	209	<i>Asemum striatum</i>
幽天牛亚科 Spondylidinae	Asemmini	曲纹花天牛	5	<i>Leptura (Leptura) annularis annularis</i>
		十二斑花天牛	1	<i>Leptura (Leptura) duodecimguttata</i>
		赤杨伞花天牛	4	<i>Stictoleptura succedanea</i>
花天牛亚科 Lepturinae	Lepturini	黑角瘤花天牛	1	<i>Gaurotina nigroantennata</i>
		松皮花天牛	362	<i>Rhagium (Rhagium) japonicum</i>
		凹缘金花天牛	1	<i>Paragaurotis ussuriensis</i>
	Rhagiini	红翅隆花天牛	1	<i>Sivana bicolor</i>
		赤天牛	1	<i>Oupyrrhidium cinnaberinum</i>
		中带天牛*	1	<i>Phymatodes (Paraphymatodes) mediofasciatus</i>
	Callidiini	杨柳绿虎天牛	31	<i>Chlorophorus motschulskyi</i>
		黄纹曲虎天牛	26	<i>Cyrtoclytus capra</i>
		红肩丽虎天牛	1	<i>Plagionotus christophi</i>
	Clytini	尖纹林虎天牛	9	<i>Rhabdoclytus acutivittis acutivittis</i>
		北京脊虎天牛*	22	<i>Xylotrechus pekingensis</i>
		咖啡脊虎天牛	4	<i>Xylotrechus (Xylotrechus) grayii grayii</i>
天牛亚科 Cerambycinae		弧纹脊虎天牛	1	<i>Xylotrechus (Xylotrechus) hircus</i>
		桑脊虎天牛	1	<i>Xylotrechus (Xyloclytus) chinensis chinensis</i>
		北亚拟修天牛	1	<i>Eumecocera impustulata</i>
	Saperdini	中黑肖亚天牛	146	<i>Amarysius altajensis altajensis</i>
		红缘亚天牛	13	<i>Anoplistes halodendri pirus</i>
		帽斑紫天牛	15	<i>Purpuricenus lituratus</i>
	Trachyderini	灰长角天牛	104	<i>Acanthocinus (Acanthocinus) aedilis</i>
		小灰长角天牛	546	<i>Acanthocinus (Acanthocinus) griseus</i>
		双簇污天牛	34	<i>Moechotypa diphysis</i>
沟胫天牛亚科 Lamiinae	Lamiini	双带粒翅天牛	4	<i>Lamiomimus gottschei</i>
		云杉花墨天牛		<i>Monochamus (Monochamus) saltuarius</i> 8 910
		四点象天牛	201	<i>Mesosa (Mesosa) myops</i>
	Mesosini	筒天牛属某种**	2	<i>Oberea heyrovskyi</i>
		黄斑弱脊天牛	2	<i>Menesia (Menesia) flavotecta</i>
		断条楔天牛	8	<i>Saperda (Lopezcolonia) interrupta</i>
	Phytoeciini	黑八点楔天牛	1	<i>Saperda (Lopezcolonia) octomaculata</i>

图 2 辽宁抚顺松林内诱捕到天牛亚科、族、物种及个数

Fig. 2 Subfamily, tribe, specie and individuals of cerambycid beetles attracted in pine forests in Fushun, Liaoning province

*表示中国辽宁省新纪录种; **表示中国新纪录种。天牛物种名参考《Catalogue of Chinese Coleoptera Volume 9 Chrysomeloidea Vesperidae Disteniidae Cerambycidae》(Lin and Yang, 2019)

* indicates new record species in Liaoning province; ** indicates new record species in China. Scientific names of cerambycid beetles refer to 《Catalogue of Chinese Coleoptera Volume 9 Chrysomeloidea Vesperidae Disteniidae Cerambycidae》(Lin and Yang, 2019)

无显著差异 (均 $P>0.05$), 而 MF 诱到的天牛种类与 CK 存在显著差异 ($P=0.02$); 在红松林, M、MA、MF 和 CK 之间无显著差异 (均 $P>0.05$)。从每周每诱捕器捕获天牛样本数量来看: 在油松林, M、MA 和 MF 之间无显著差异 (均 $P>0.05$), 而 MF 与 CK 显著不同 ($P=0.04$); 在红松林, M 与 MA 存在显著差异 ($P=0.03$), M 与 MF 无显著差异 ($P>0.05$), MA 与 MF 无显著差异 ($P>0.05$), M、MA、MF 和 CK 之间并无显著差异 (均 $P>0.05$)。

总体上看, 在油松林和红松林内, MF 捕获天牛物种数量共计 19 种, 其中油松林 18 种 (黑角瘤花天牛 *Gaurotina nigroantennata* 仅在此被诱捕到), 红松林 14 种; MF 每周每诱捕器捕获

天牛样本数量最多, 油松林 (18.31 ± 8.86) 头/周, 红松林 (23.44 ± 10.92) 头/周。但 MF 与 MA、M 及 CK 诱到的天牛种类及数量差异不显著。MA 捕获的天牛物种数量 (油松林 16 种, 红松林 16 种 (凹缘金花天牛 *Paragaurotes ussuriensis* 仅在此被诱捕到), 共计 19 种)、天牛样本数量 (油松林 (9.54 ± 3.10) 头/周, 红松林 (17.29 ± 4.56) 头/周) 其次。M 捕获的天牛物种数量为油松林 14 种 (十二斑花天牛 *Leptura duodecimguttata*、中带天牛、弧纹脊虎天牛 *Xylotrechus hircus* 仅在此被诱捕到), 红松林 11 种, 共计 15 种, 天牛样本数量为油松林 (13.21 ± 5.40) 头/周, 红松林 (9.42 ± 2.03) 头/周。赤天牛 *Oupyrrhidium cinnaberinum* 仅在红松林中被 CK 诱捕到 (图 3)。

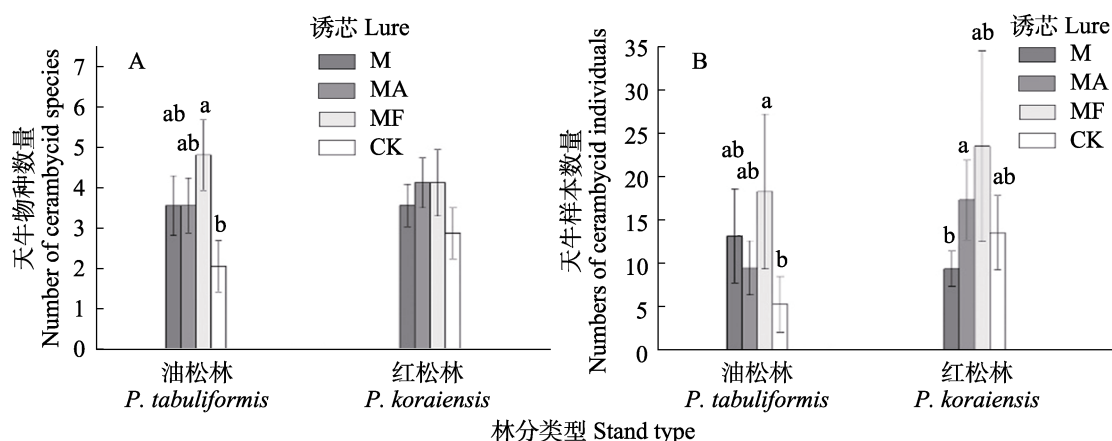


图 3 天牛广谱型引诱剂 (M) 与复配诱芯 (MA 和 MF) 诱集效果比较

Fig. 3 Comparison of trapping effect between cerambycid multi-pheromone components (M) and compound lures (MA and MF)

A. 平均天牛物种数量 (±标准误); B. 平均天牛样本数量 (±标准误)。柱上标有不同小写字母表示组内均值差异显著 (Wilcoxon 符号秩和检验, $P<0.05$)。M: 8 信息素混合物及植物挥发物;

MA: 50%M 和 A; MF: 50%M 和 F; CK: 空白。图 5 同。

A. Mean (±SE) number of cerambycid species; B. Mean (±SE) number of cerambycid individuals.

Histograms with different lowercase letters indicate that the mean differences within the group are significant (Wilcoxon signed rank sum test, $P<0.05$).

M: 8 cerambycid pheromone components and plant volatiles;

MA: 50%M and A; MF: 50%M and F; CK: Blank control. The same as Fig. 5.

2.1.2 两种松墨天牛高效型引诱剂诱集效果比较 在 2020 年 5 月至 2020 年 7 月 16 日, 每周收集并统计瓶中天牛科昆虫种类及数量。统计结果显示不同诱芯的诱集效果 (捕获天牛物种数量、天牛样本数量) 差异显著 (均 $P<0.05$)。从每周每个诱捕器捕获天牛物种数量来看: 在油松林、红松林及落叶松林内, A 和 F 之间均无显著

差异 (均 $P>0.05$)。而在油松林、红松林内, F 与 CK 显著不同 ($P=0.02$)。从每周每个诱捕器捕获天牛样本数量来看: 在油松林、红松林内, A 和 F 之间均无显著差异 (均 $P>0.05$), 在落叶松林内, A 与 F 显著不同 ($P=0.018$)。在油松林、红松林内, A、F 与 CK 均显著不同 (油松林: A vs CK: $P=0.01$; F vs CK: $P=0.01$; 红松林: A vs

CK: $P=0.027$; F vs CK: $P=0.027$), 在落叶松林内, F 与 CK 显著不同 ($P=0.03$), 而 A 与 CK 之间无显著差异 ($P>0.05$)。

总体上看, 在 3 种林分内, F 每周每诱捕器捕获天牛物种数量 (油松林 12 种 (红翅隆花天牛 *Sivana bicolor* 和黑八点楔天牛 *Saperda octomaculata* 仅在此被诱捕到), 红松林 15 种, 落叶松林 8 种, 共计 19 种)、天牛样本数量 (油松林 (24.85 ± 7.44) 头/周, 红松林 (26.28 ± 8.33) 头/周, 落叶松林 (10.95 ± 2.54) 头/周) 最多, 且与 CK 显著不同。A 捕获的天牛物种数量 (油松林 10 种 (北亚拟修天牛 *Eumecocera impustulata* 仅在此被诱捕到), 红松林 10 种, 落叶松林 8 种, 共计 15 种) 和天牛样本数量 (油松林 (17.55 ± 4.74) 头/周, 红松林 (16.85 ± 5.40) 头/周, 落叶松林 (4.70 ± 1.19) 头/周) 其次。在落叶松林内, A 与 F 每周每诱捕器捕获天牛样本数量显著不同, *O. heyrovskyi* (中国新纪录种) 仅在此被 CK 诱捕到 (图 4)。

2.1.3 底物异丙醇对广谱型引诱剂和复配诱芯诱集效果的影响 在 2020 年 7 月 17 日至 2020 年 10 月, 每周统计收集瓶中昆虫种类及数量。统计结果表明不同诱芯的诱集效果 (捕获天牛物种数量、天牛样本数量) 差异显著 (均 $P<0.05$)。在油松林和红松林内, 底物对照 J 与

空白对照 CK 每周每诱捕器捕获天牛物种数量、天牛样本数量并无显著差异 (均 $P>0.05$) (图 5)。桑脊虎天牛 *Xylotrechus chinensis chinensis* 仅在落叶松林中被诱芯 F 诱捕到。

2.2 不同诱芯对云杉花墨天牛的诱集效果比较

2019 年 5 月至 2019 年 10 月和 2020 年 5 月至 2020 年 10 月, 每周统计收集瓶中云杉花墨天牛雌雄成虫的数量。统计结果表明不同诱芯不同时期在油松林、红松林、落叶松林中诱捕云杉花墨天牛雌雄成虫的诱集效果差异均具有统计学意义 (均 $P<0.05$)。

2019 年 5 月至 2019 年 10 月, 在油松林和红松林内, M、MA、MF 和 CK 之间无显著差异 (雌雄均 $P<0.05$); 在落叶松林内, A 和 F 诱芯对云杉花墨天牛的诱集效果无显著差异 (雌雄均 $P<0.05$), 而与 CK 的诱集效果相比, 均存在显著不同 (雌虫: A vs CK: $P=0.01$; F vs CK: $P=0.01$; 雄虫: A vs CK: $P=0.027$; F vs CK: $P=0.027$)。2020 年 5 月至 2020 年 7 月 16 日, A 和 F 诱芯在 3 种林分中对云杉花墨天牛的诱集效果无显著差异 (雌雄均 $P<0.05$), F 与 CK 在 3 种林分中显著不同 (油松林: 雌虫: $P=0.018$; 红松林: 雌虫: $P=0.027$, 雄虫: $P=0.027$; 落叶松林: 雌虫: $P=0.027$, 雄虫: $P=0.042$),

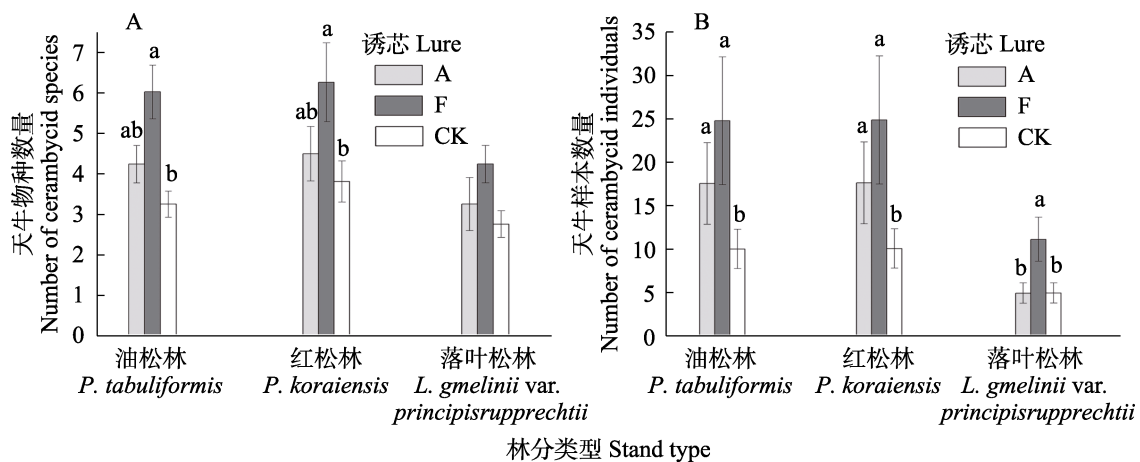


图 4 两种松墨天牛高效型引诱剂 (MA 和 MF) 诱集效果比较

Fig. 4 Comparison of trapping effect between two kinds of efficient attractants for *Monochamus alternatus* (MA and MF)

A. 平均天牛物种数量 ($\pm$ 标准误); B. 平均天牛样本数量 ($\pm$ 标准误)。

A: APF I 持久增强型松墨天牛高效诱剂; F: F8 型松墨天牛引诱剂。

A. Mean ($\pm$ SE) number of cerambycid species; B. Mean ($\pm$ SE) number of cerambycid individuals.

A: APF I attractant; F: F8 attractant.

A 与 CK 在油松林和红松林中显著不同 (油松林: 雄虫: $P=0.027$; 红松林: 雄虫: $P=0.027$)。2020 年 7 月 16 日至 2020 年 10 月, 3 种林分内不同诱芯之间均无显著差异 (雌雄均

$P<0.05$)。

总体上看, 在 3 种林分内, F 诱芯每周每个诱捕器捕获的云杉花墨天牛雌雄虫数量最多, 且与 CK 显著不同 (图 6)。

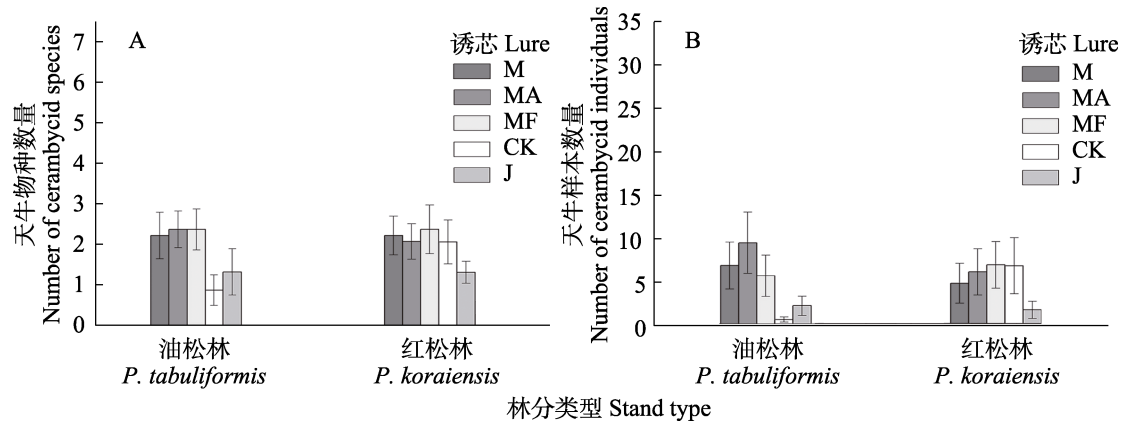


图 5 底物异丙醇 (J) 对广谱型引诱剂 (M) 和复配诱芯 (MA 和 MF) 诱集效果的影响

Fig. 5 Effect of isopropanol (J) on cerambycid multi-pheromone components (M) and compound lures (MA and MF)

A. 平均天牛物种数量 ($\pm$ 标准误差); B. 平均天牛样本数量 ($\pm$ 标准误差)。J: 1 mL 异丙醇。

A. Mean ($\pm$ SE) number of cerambycid species; B. Mean ($\pm$ SE) number of cerambycid individuals. J: 1 mL isopropanol.

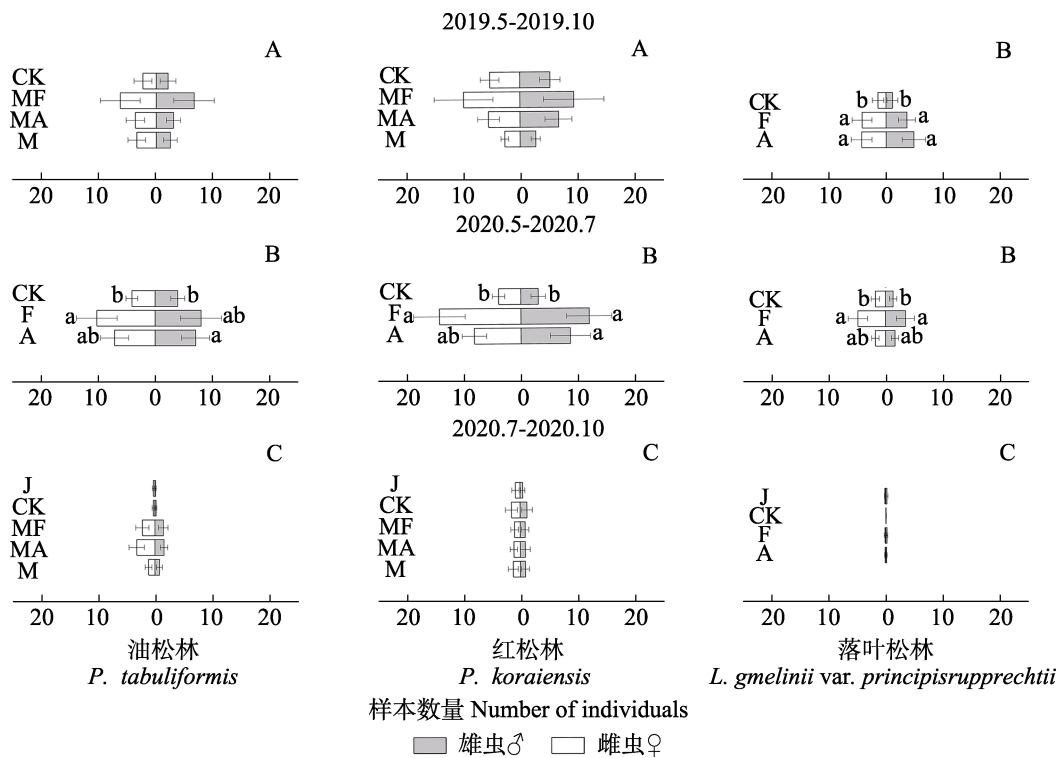


图 6 每周每诱捕器捕获云杉花墨天牛雌雄成虫样本数

Fig. 6 Number of individuals of *Monochamus saltuarius* per week and trap

A. 天牛广谱型引诱剂 (M) 与复配诱芯 (MA 和 MF) 诱集效果比较; B. 两种松墨天牛高效型引诱剂 (A 和 F)

诱集效果比较; C. 底物异丙醇 (J) 对广谱型引诱剂 (M) 和复配诱芯 (MA 和 MF) 诱集效果的影响。

A. Comparison of trapping effect between cerambycid multi-pheromone components (M) and compound lures (MA and MF);

B. Comparison of trapping effect between two kinds of efficient attractants (MA and MF) for *M. alternatus*;

C. Effect of isopropanol (J) on cerambycid multi-pheromone components (M) and compound lures (MA and MF).

3 讨论

为验证 APF I 持久增强型松墨天牛高效诱剂、F8 型松墨天牛引诱剂、天牛广谱型引诱剂及其复配诱芯的诱捕效果,本研究于 2019 年和 2020 年的 5-10 月在辽宁省抚顺市开展天牛的诱捕试验。结果表明天牛广谱型引诱剂和 F8 型松墨天牛引诱剂能够高效诱捕到大量的云杉花墨天牛,同时可诱捕到更多不同亚科、族系及属种的天牛,捕获的天牛种类和数目最多。

两年间共计捕获到 34 种天牛,其中云杉花墨天牛诱捕量最多,占总诱捕量的 67.0%,褐梗天牛、锯天牛、小灰长角天牛和松皮花天牛依次占总诱捕量的 13.2%、6.6%、4.1%和 2.7%。这 34 种天牛中,危害针叶树的有 8 种:云杉花墨天牛、锯天牛、褐梗天牛、脊鞘幽天牛 *Asemum striatum*、松皮花天牛、灰长角天牛 *Acanthocinus aedilis*、小灰长角天牛和断条楔天牛 *Saperda interrupta*。危害阔叶树的有 25 种:十二斑花天牛、赤杨伞花天牛 *Stictoleptura rubra*、凹缘金花天牛、曲纹花天牛 *Leptura annularis annularis*、赤天牛、中带天牛、杨柳绿虎天牛 *Chlorophorus motschulskyi*、黄纹曲虎天牛 *Cyrtoclytus capra*、北京脊虎天牛、红肩丽虎天牛 *Plagionotus christophi*、尖纹林虎天牛 *Rhabdoclytus acutivittis acutivittis*、咖啡脊虎天牛 *Xylotrechus grayii grayii*、弧纹脊虎天牛、桑脊虎天牛、中黑肖亚天牛、红缘亚天牛 *Anoplistes halodendri pirus*、帽斑紫天牛 *Purpuricenus lituratus*、双簇污天牛 *Moechotypa diphysis*、双带粒翅天牛 *Lamiomimus gottschei*、四点象天牛、黄斑弱脊天牛 *Menesia flavotecta*、黑角瘤花天牛、红翅隆花天牛 *Sivana bicolor*、北亚拟修天牛和黑八点楔天牛。而 *O. heyrovskyi* 未见其寄主报道 (Cherepanov, 1990a, 1990b, 1991; 华立中等, 2009; 王小奇等, 2012; Lin and Yang, 2019; Lin *et al.*, 2021)。

在 3 种林分内捕获到的 8 种危害针叶树的天牛中,除了已知的媒介云杉花墨天牛,小灰长角天牛、褐梗天牛、脊鞘幽天牛均被报道过可携带松材线虫 (Linit *et al.*, 1983; Wang *et al.*, 2020)。

云杉花墨天牛、小灰长角天牛、灰长角天牛和断条楔天牛属于沟胫天牛亚科,成虫羽化后会取食健康松树的新鲜枝梢补充营养来促进性成熟,在此阶段,松材线虫有很大几率通过媒介昆虫入侵健康松树。云杉花墨天牛雌虫会在衰弱木上造成刻槽产卵,松材线虫可能会在此阶段入侵衰弱木,小灰长角天牛、灰长角天牛和断条楔天牛多产卵在衰弱木的树皮缝隙处并不造成伤口,松材线虫在此阶段入侵衰弱木的几率较小 (Cherepanov, 1991; Schroeder, 1997)。而幽天牛亚科的褐梗天牛、脊鞘幽天牛和锯天牛亚科的锯天牛,成虫羽化后不需补充营养即可交配,褐梗天牛和脊鞘幽天牛多产卵在衰弱木的树皮缝隙处,锯天牛多产卵在表土,它们有效传播松材线虫的几率较小 (Cherepanov, 1990a; 武海卫等, 2006; 冯波, 2007; 任成龙, 2017; 陈潜等, 2018; 彭陈丽, 2019)。由此可知,对危害针叶树的天牛进行线虫分离,观察其是否能够携带松材线虫,确定潜在媒介昆虫,是下一步的研究重点。

本研究通过诱捕器监测法明确了辽宁省抚顺市苍什村松材线虫入侵松林内的天牛种类,共计诱捕到 34 种 13 307 头天牛,包括 1 个中国新纪录种 (*O. heyrovskyi*) 及 2 个辽宁省新纪录种 (中带天牛和北京脊虎天牛)。其中危害针叶树的有 8 种,主要是云杉花墨天牛 (优势种)、小灰长角天牛、灰长角天牛、褐梗天牛、脊鞘幽天牛和锯天牛。根据它们的取食产卵习性推测,小灰长角天牛与灰长角天牛可能在补充营养的时候传播松材线虫到健康松树上,但关于其是否能够携带、传播松材线虫,还需要更多的研究。

致谢: 感谢中国科学院动物研究所动物进化与系统学院重点实验室的林美英老师在标本鉴定过程中给予的帮助。

参考文献 (References)

- Cherepanov AI, Violovich NA, Kothekar VS, 1988. Cerambycidae of Northern Asia. Volume 1. Prioninae, Disteniinae, Lepturinae,

- Aseminae. Department of Agriculture, Washington, DC (United States).
- Cherepanov AI, Kothekar VS, 1988. Cerambycidae of Northern Asia. Volume 2, Cerambycinae. Department of Agriculture, Washington, DC (United States).
- Cherepanov AI, 1991. Cerambycidae of Northern Asia, Volume 3, Lamiinae. Department of Agriculture, Washington, DC (United States).
- Chen Q, Xu ZC, Zhang LS, Lu PF, Zhang YF, 2018. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Arhopalus rusticus* larvae and adults. *Acta Ecologica Sinica*, 38(3): 975–983. [陈潜, 许志春, 张连生, 陆鹏飞, 张永福, 2018. 褐梗天牛幼虫和成虫空间分布的地统计学研究. *生态学报*, 38(3): 975–983.]
- Enda N, Nobuchi A, 2019. Studies on the pine bark and wood boring beetles: Maturation of the ovary and its parasitic nematodes. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 81: 274–276.
- Fan JT, Denux O, Courtin C, Bernard A, Javal M, Millar JG, Hanks LM, Roques A, 2019. Multi-component blends for trapping native and exotic longhorn beetles at potential points-of-entry and in forests. *Journal of Pest Science*, 92 (1): 281–297.
- Feng B, 2007. Taxonomy and fauna of Prioninae in China. Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [冯波, 2007. 中国锯天牛亚科分类与区系研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Hu FG, Bi XF, Fu XF, Li GP, Li YN, Lv YL, Huang JX, 2020. Research advances in cemoiochemicals of Cerambycid beetles. *Journal of Tropical Biology*, 11(4): 517–522. [胡广发, 毕晓菲, 付兴飞, 李贵平, 李亚男, 吕玉兰, 黄家雄, 2020. 天牛信息素的研究进展. *热带生物学报*, 11(4): 517–522.]
- Hua LZ, Nara H, Saemulson GA, Steven WL, 2009. Iconography of Chinese Longicorn Beetles (1406 Species) in Color. Guangzhou: Sun Yat-Sen University Press. 1–474. [华立中, Nara H, Saemulson GA, Steven WL, 2009. 中国天牛(1406种)彩色图鉴. 广州: 中山大学出版社. 1–474.]
- Kobayashi F, Yamane A, Ikeda T, 1984. The Japanese pine sawyer beetle as the vector of pine wilt disease. *Annual Review of Entomology*, 29(1): 115–135.
- Li M, Li H, Sheng RC, Sun H, Sun SH, Chen FM, 2020. The first record of *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) as vector of *Bursaphelenchus xylophilus* and its new potential hosts in China. *Insects*, 11(9): 1–10.
- Li YX, Zhang XY, 2018. Analysis on the trend of invasion and expansion of *Bursaphelenchus xylophilus*. *Forest Pest and Disease*, 37(5): 1–4. [理永霞, 张星耀, 2018. 松材线虫入侵扩张趋势分析. *中国森林病虫*, 37(5): 1–4.]
- Lin MY, Ge SQ, Xiao NW, 2021. A study of the genus *Xylotrechus Chevrolat* (Coleoptera: Cerambycidae) from Beijing, China. *Entomotaxonomia*, 43(3): 205–224.
- Lin MY, Yang XK, 2019. Catalogue of Chinese Coleoptera Volume 9 Chrysomeloidea Vesperidae Disteniidae Cerambycidae. Beijing: Science Press. 1–604.
- Linit MJ, Kondo E, Smith MT, 1983. Insects associated with the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae), in Missouri. *Environmental Entomology*, 12(2): 467–470.
- Liu SW, Ji BZ, Huang ZY, Sun H, Ju F, 2000. Species of pine wood pests and their relationship with pine wood nematode disease in Purple Mountain. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 27(S1): 75–76. [刘曙雯, 嵇宝中, 黄振裕, 孙辉, 居峰, 2000. 紫金山松材害虫种类及其与松材线虫病的关系. *江苏林业科技*, 27(S1): 75–76.]
- Nickle WR, 1971. Behavior of the shothole borer, *Scolytus rugulosus*, altered by the nematode parasite *Neoparasitylenchus rugulosi*. *Annals of the Entomological Society of America*, 64(3): 751–751.
- Nickle WR, Friedman W, Spilman TJ, 1980. *Monochamus scutellatus*: Vector of pine wood nematode on Virginia pine in Maryland. *Cooperative Plant Pest Report*, 5: 383.
- Pan L, Li YX, Cui R, Liu ZK, Zhang XY, 2020. *Monochamus saltuarius* endangers *Pinus tabulaeformis* Carr. and carries *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner) in China. *Forests*, 11(10): 1–6.
- Pan L, Li YX, Liu ZK, Meng FL, Chen J, Zhang XY, 2019. Isolation and identification of pine wood nematode in *Pinus koraiensis* in Fengcheng, Liaoning province. *Forest Pest and Disease*, 38(1): 1–4. [潘龙, 理永霞, 刘振凯, 孟繁丽, 陈军, 张星耀, 2019. 辽宁凤城市红松中松材线虫的分离与鉴定. *中国森林病虫*, 38(1): 1–4.]
- Peng CL, 2019. Taxonomic and phylogeny of Chinese Spondylidinae (Coleoptera, Cerambycidae). Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [彭陈丽, 2019. 中国幽天牛亚科分类与系统发育研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Ren CL, 2017. Taxonomic and phylogeny of Chinese Prioninae (Coleoptera, Cerambycidae). Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [任成龙, 2017. 中国锯天牛亚科分类与系统发育研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Schroeder LM, 1997. Oviposition behavior and reproductive success of the cerambycid *Acanthocinus aedilis* in the presence and

- absence of the bark beetle *Tomicus piniperda*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 82(1): 9–17.
- Sousa E, Bravo MA, Pires J, Naves P, Penas AC, Bonifacio L, Mota MM, 2001. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda; Aphelenchoididae) associated with *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera; Cerambycidae) in Portugal. *Nematology*, 3(1): 89–91.
- Sun XG, Cui WY, 2001. Research on pine wood nematode disease and *Monochamus alternatus*. *Shandong Forestry Science and Technology*, 2001(1): 44–47. [孙绪良, 崔为友, 2001. 松材线虫病与松墨天牛研究概况. 山东林业科技, 2001(1): 44–47.]
- Wang XQ, Fang H, Zhang ZL, 2012. Color Atlas of Liaoning Beetles. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House. 1–452. [王小奇, 方红, 张治良, 2012. 辽宁甲虫原色图鉴. 沈阳: 辽宁科学技术出版社. 1–452.]
- Wang Y, Chen FM, Wang LC, Li M, 2020. Investigation of beetle species that carry the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner) Nickle, in China. *Journal of Forestry Research*, 32(4): 1745–1751.
- Wang YY, Shi YL, Zhou XS, Bai GH, Liu J, 1985. Preliminary observation on the occurrence of wilt nematode disease of *Pinus thunbergii* in Nanjing. *Forest Pest and Disease*, 1985(2): 15–17. [王玉嫵, 石运琳, 周新胜, 柏桂华, 柳俊, 1985. 南京地区黑松萎蔫线虫病发病规律的初步观察. 森林病虫通讯, 1985(2): 15–17.]
- Wang YY, Shu CR, Sun YC, 1991. Preliminary report on attractant experiment of *Monochamus alternatus*. *Scientia Silvae Sinicae*, 27(2): 186–189. [王玉嫵, 舒超然, 孙永春, 1991. 松褐天牛引诱试验初报. 林业科学, 27(2): 186–189.]
- Wu HW, Luo YQ, Tang WD, Tao WQ, Liu X, Chen WM, 2006. Infestation of major insect named *Asemum amurense* Kraatz in forest. *Forest Pest and Disease*, 25(4): 15–18. [武海卫, 骆有庆, 汤宛地, 陶万强, 刘曦, 陈伟民, 2006. 重要林木害虫松幽天牛危害特点的研究. 中国森林病虫, 25(4): 15–18.]
- Xu FY, Yang BJ, Ge MH, 1993. Investigation on vector insects of *Bursaphelenchus xylophilus*. *Forest Pest and Disease*, 1993(2): 20–21. [徐福元, 杨宝君, 葛明宏, 1993. 松材线虫病媒介昆虫的调查. 森林病虫通讯, 1993(2): 20–21.]
- Yu HY, Wu H, Huang RF, Wang J, Zhang RX, Song YS, 2020. Separation and identification of *Bursaphelenchus xylophilus* from *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in Fushun city. *Forest Pest and Disease*, 39(2): 6–10. [于海英, 吴昊, 黄瑞芬, 王蛟, 张睿轩, 宋玉双, 2020. 辽宁抚顺樟子松松材线虫分离与鉴定. 中国森林病虫, 39(2): 6–10.]
- Yu HY, Wu H, Zhang XD, Wang LM, Zhang XF, Song YS, 2019. Preliminary study on *Larix* spp. infected by *Bursaphelenchus xylophilus* in natural environment. *Forest Pest and Disease*, 38(4): 7–10. [于海英, 吴昊, 张旭东, 王立明, 张歆逢, 宋玉双, 2019. 落叶松自然条件下感染松材线虫初报. 中国森林病虫, 38(4): 7–10.]
- Zhang JJ, Zhang RZ, Chen JY, 2007. Species and dispersal ability of pine wood nematode vector insects. *Journal of Zhongjiang Forestry College*, 24(3): 350–356. [张建军, 张润志, 陈京元, 2007. 松材线虫媒介昆虫种类及其扩散能力. 浙江林学院学报, 24(3): 350–356.]