

松阴吉丁对不同树种的选择*

曹丹丹^{1,2**} 门金¹ 赵斌¹ 魏建荣^{1***}

(1. 河北大学生命科学学院, 保定 071002; 2. 河北省生物工程技术研究中心, 河北大学, 保定 071002)

摘要 【目的】松阴吉丁 *Phaenops yin* Kubán & Bily 是危害油松的重要蛀干害虫, 研究其成虫对不同树种的行为趋向反应, 可为配制人工植物源引诱剂, 利用化学生态手段开展有效防控奠定基础。【方法】室内利用养虫笼观察松阴吉丁对不同树种的选择行为, 采用 Y-型嗅觉仪和单盒单头饲养方式进一步测试松阴吉丁对于具引诱活性的植物气味源的趋性反应及取食量。【结果】松阴吉丁成虫在阔叶树毛白杨、国槐、垂柳的枝条上既无着落现象, 也无取食现象; 在雪松枝条上偶有着落现象, 但无取食痕迹; 在油松及白皮松枝条上均有着落和取食现象。松阴吉丁雌性成虫对白皮松针叶、油松针叶以及油松韧皮部的趋性反应与空白对照相比均达到显著水平, 其对白皮松针叶的趋性反应及取食量均大于油松针叶, 但差异不显著。雄性成虫对白皮松针叶、油松针叶的趋性反应与空白对照相比均达到显著水平, 对油松韧皮部的趋性反应大于空白对照, 但差异不显著。与白皮松针叶相比, 雄虫更趋向于油松针叶气味源, 但差异不显著, 其对油松针叶的取食量也明显高于白皮松针叶, 差异达到显著水平。【结论】松阴吉丁不喜阔叶树。白皮松针叶和油松针叶均能引诱松阴吉丁雌雄成虫, 且伴有取食现象。野外尚未发现松阴吉丁危害白皮松, 因此白皮松可能是松阴吉丁的潜在危害寄主。另外, 在防控松阴吉丁时, 除利用油松和白皮松的挥发性成分配制植物源引诱剂外, 可考虑采用阔叶树中对试虫具有拒避作用的挥发性物质配制拒避剂, 以期更好的利用“推拉”理论, 有效防控松阴吉丁。

关键词 松阴吉丁, 油松, 白皮松, 寄主选择行为, 取食量

Preference of *Phaenops yin* Kubán & Bily for different tree species

CAO Dan-Dan^{1,2**} MEN Jin¹ ZHAO Bin¹ WEI Jian-Rong^{1***}

(1. College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China;

2. Research Center of Biotechnology, Hebei University, Baoding 071002, China)

Abstract [Objectives] *Phaenops yin* Kubán & Bily is an important bark beetle endangering *Pinus tabulaeformis* Carr. in western areas of Beijing city. Studies of the behavioral responses of *P. yin* to the volatiles of different tree species provide a foundation for developing plant-based attractants for this pest. [Methods] The preferences of virgin adult *P. yin* for the foliage of different tree species were first observed in cages under laboratory conditions. A Y-tube olfactometer was then used to test the relative attractiveness of volatiles from *P. tabulaeformis* and *Pinus bungeana* and the quantity of foliage of both tree species consumed by male and female adults was also measured. [Results] Adult *P. yin* did not land or feed on the branches of the broad-leaved species *Populus tomentosa*, *Sophora japonica*, and *Salix babylonica*. However, both female and male adults landed and fed on the needle-leaved species *P. tabulaeformis* and *P. Bungeana*. Although they also occasionally landed on another needle-leaved species, *Cedrus deodara*, they did not feed on that species. Olfactory bioassays show that the odor of needles and phloem of *P. bungeana* and *P. tabulaeformis*, were significantly more attractive to female adults than the clean air control. *P. bungeana* needles were slightly more attractive to *P. yin* females than those of *P. tabulaeformis*, and female beetles also consumed a slightly greater amount of *P. bungeana* needles than those of *P. tabulaeformis*, but these differences were not significant. The odors of *P. bungeana* and *P. tabulaeformis* needles were significantly more attractive to adult male

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (3107053)

**第一作者 First author, E-mail: caodandan666@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: weijr@hbu.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-11-06, 接受日期 Accepted: 2016-12-14

beetles than the clean air control, but the phloem odor of *P. tabulaeformis* was no more attractive to adult male beetles than the control. *P. tabulaeformis* needles were slightly more attractive to male beetles than that those of *P. bungeana* but this difference was not significant. However, adult males consumed significantly more *P. tabulaeformis* needles than *P. bungeana* needles. [Conclusion] Broad-leaved trees appear to repel *P. yin* adults, which preferred the needle-leaved species *P. tabuliformis* and *P. bungeana* to the other tree species tested. Although there is no record of *P. bungeana* being infected by *P. yin* in field, our results suggest that *P. bungeana* is a potential host of *P. yin*. The results of this study provide a foundation for developing new plant-based attractants and repellents for *P. yin* that could allow the “push-pull” management of this pest in the field.

Key words *Phaenops yin*, *Pinus tabuliformis*, *Pinus bungeana*, host-selection behavior, feeding amount

油松 *Pinus tabuliformis* Carrière 是我国重要的乡土绿化树种,也是“三北”地区屈指可数的大面积造林用材树种之一,具有涵养水源、调节小气候的生态功能,其挥发物还具有很好的抑菌及保健功能(郭浩等,2008)。近几年在北京地区常有油松死亡,死亡株率约36%(付怀军等,2007;宋强等,2009),严重影响了油松林所带来的生态效益及经济价值,而造成这些油松死亡的直接原因是松阴吉丁 *Phaenops yin* Kubán & Bíly 的危害(曹亮明等,2016)。松阴吉丁隶属鞘翅目吉丁虫科木吉丁属,主要分布在山西、陕西、甘肃、河北(Kubán and Bíly,2009)及北京地区(曹亮明等,2016)。近些年来该虫发生频繁,逐渐由一个次要害虫向主要害虫过渡。目前,关于松阴吉丁生活史规律、生物学特性、天敌情况(曹亮明等,2016)及其大规模发生的机理(周章义等,2009)等研究内容已有报道。松阴吉丁的幼虫在油松的树皮与韧皮部隐蔽为害,木屑和虫粪留在蛀道内。危害初期从树干外部看不到被害状,但一旦发现羽化孔时,被害树已经无法挽救,故早期的虫情监测及大暴发时的应对措施是有效防控松阴吉丁亟待解决的重要问题。

昆虫信息化学物质在害虫综合治理中具有明显的优势,已成功地应用于种群监测、大量诱杀和干扰交配,成为国内外特别是欧美等发达国家防治害虫的重要措施(孙江华等,2000;林强,2015)。近年来,随着人们对昆虫与植物间信息化学相互作用的认识日益深化,利用化学生态原理,综合寄主植物自身产生并释放的化学物质调控昆虫的多种行为,诸如定向、交配产卵、取食、拒避、聚集等行为,从而调节、控制有害生物逐

步成为研究热点。由于松阴吉丁一直被视为松黑木吉丁(松迹地吉丁) *Melanophila acuminata* DeGeer,后因中足窝后方缺少红外感器而被更正为松阴吉丁(虞国跃等,2016),因此之前文献记载的松黑木吉丁的寄主种类并不适用于松阴吉丁。若能明确松阴吉丁的寄主范围,利用其与寄主之间的信息化学物质配制人工植物源引诱剂,可为松阴吉丁的有效防控奠定基础。本研究拟通过观测松阴吉丁对不同树种的趋向反应,确定对其具有引诱或拒避作用的植物种类。对有引诱作用的树木种类,分别测定其对雌、雄成虫的引诱活性及取食量。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

于2016年4月在中国林科院华北林业实验中心(北京门头沟区九龙山林场,116°4'59"E,39°57'39"N)油松皮下采集松阴吉丁幼虫,带回实验室内以人工饲料单盒单头饲养,在温度(26±0.5)、相对湿度60%±5%、光周期为14L:10D的培养箱内饲喂至其化蛹、羽化。羽化2d后,分别挑选健康有活力且未经交配的松阴吉丁雌、雄成虫作为本研究的实验用虫。

1.2 实验方法

1.2.1 室内定性观察松阴吉丁对不同树种枝叶的选择 分别以北方常见绿化树种毛白杨 *Populus tomentosa* Carrière、国槐 *Sophora japonica* Linn.、垂柳 *Salix babylonica*、油松、白皮松 *Pinus bungeana* Zucc.以及雪松 *Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don 作为测试气味源。将采摘的新鲜植物枝条

用自来水冲洗去除表面的灰尘,然后将表面的水用滤纸吸干净,再用保鲜膜将一吸水棉球包裹于枝条截面,保证行为观察期间枝条不会萎焉。每次观察期间,于养虫笼(长 100 cm × 宽 60 cm × 高 40 cm)两端直立放入同一树种的带叶枝条(25 cm 长)。然后将刚羽化的松阴吉丁雌雄成虫各 15 头引入笼中,每隔 2 h 观察一次,连续观察 2 d,记录有无着落和取食情况。6 个树种,共设 6 个养虫笼。

1.2.2 油松和白皮松对松阴吉丁引诱活性测定

分别以干净的油松针叶(1 年生嫩松针及 2 年生松针各 2.5 g,合计共 5 g)、白皮松针叶(1 年生嫩松针及 2 年生松针各 2.5 g,合计共 5 g)、油松韧皮部(6 g)为气味源,测试松阴吉丁雌、雄成虫的趋向行为。采用玻璃 Y-型嗅觉仪,主臂长 25 cm,两侧臂各长 30 cm,夹角 75°,管内径均为 4 cm。Y-型管的两臂分别通过 Teflon 管与两味源瓶相连,味源瓶为 500 mL 锥形瓶。在气流进入味源瓶之前,先经过 1 个活性炭过滤装置和 1 个蒸馏水瓶,以净化空气和增加空气湿度。每臂的气流流量通过气体流量计控制在 300 mL·min⁻¹。待植物材料放入气味源通气 15 min 后,将待测的松阴吉丁雌、雄成虫分别单头引入 Y-型嗅觉仪主臂内,观察 10 min 内其对两臂气味源的选择行为,当成虫第 1 次越过某臂中部并持续 1 min 以上,就记为该试虫选择该臂气味源。如果试虫在 10 min 内未作出选择,记为无反应。每气味源分别重复测试 30 头以上的雌、雄试虫。为了消除对称度、光照对松阴吉丁行为产生的影响,每测试 5 头试虫,将气味源对调位置。为消除松阴吉丁及气味源留下的气味对后期测定试虫行为的影响,每测试一气味源,都要更换 Y-型管,并用 75%乙醇溶液清洗 Y-型管,高热风吹干。生测室一直保持在 23~26 和相对湿度 60%±10% (魏建荣等, 2015)。

1.2.3 松阴吉丁对油松针叶和白皮松针叶取食量的测定

在成虫发生高峰期,采用单盒单头的饲养方式,连续 3 d 每天测量松阴吉丁雌、雄成虫对油松和白皮松针叶的取食量。具体方法如下:在 100 mL 的圆形塑料饲养盒(PE 材质)中

分别放入 1 束当年生嫩松针叶和 1 束 2 年生松针叶,取食 1 d 后测量被取食松针的长度,通过松针长度和质量的关系换算求得每天单头松阴吉丁成虫的取食量(mg),每种松针每天分别饲喂 20 头雌、雄成虫,每天更换松针,重复 3 d 取平均值。

1.3 数据处理

松阴吉丁成虫对不同气味源的测试结果用两变量相关的非参数检验(Wilcoxon test)进行分析。雌雄成虫对不同松针的取食量差异以单因素方差分析 One-way ANOVA (LSD 法)进行多重比较,雌雄成虫对同种松针取食量的差异采用 *t*-检验进行分析比较。所有数据的统计分析均借助 SPSS 17.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 松阴吉丁成虫对不同树种的选择

室内定性观察养虫笼中松阴吉丁成虫对不同树种枝叶的选择,结果表明:观察期间,松阴吉丁未在阔叶树毛白杨、垂柳以及国槐的枝叶上停落,而一直在养虫笼的四壁上活动;松阴吉丁在雪松枝叶上偶有着落,但是没有取食现象;松阴吉丁在白皮松和油松枝叶上大量着落,并伴有明显的取食现象。

2.2 松阴吉丁雌、雄成虫对不同气味源的趋性反应

用 Y-型嗅觉仪测试了油松针叶、白皮松针叶和油松韧皮部对松阴吉丁雌、雄成虫的引诱作用。由图 1 可以看出,与空气对照相比,松阴吉丁雌性成虫对 3 种气味源均有较强的选择性,且都达到极显著水平($P \leq 0.01$)。另外,以油松针叶和白皮松针叶作为 Y-型管两端的气味源进行比较时,趋向白皮松针叶气味源的雌性个体数(21)高于油松针叶气味源(11),但是差异不显著(供试虫数 33 头,有反应虫数 32 头, $P = 0.077 > 0.05$)。

由图 2 可以看出,以油松针叶、白皮松针叶为气味源,与空气对照相比,松阴吉丁雄性成虫对两种气味源均有正趋性反应,且差异均达到显

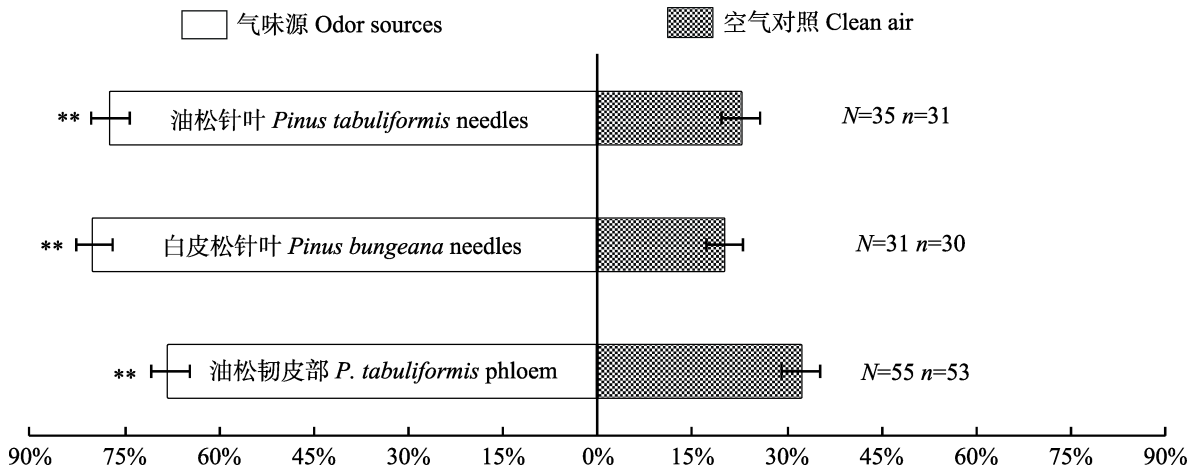


图 1 松阴吉丁雌成虫对于不同气味源的趋性反应
 Fig. 1 Response of *Phaenops yin* females to different odor sources

N 为供试成虫的数量, n 为做出选择的成虫个体数。图 2 同。**表示差异极显著 ($P \leq 0.01$), Wilcoxon 检验。
 N: Number of test samples; n: Individuals number of making choices. The same as Fig. 2.
 ** means extremely significant difference at 0.01 level by Wilcoxon test.

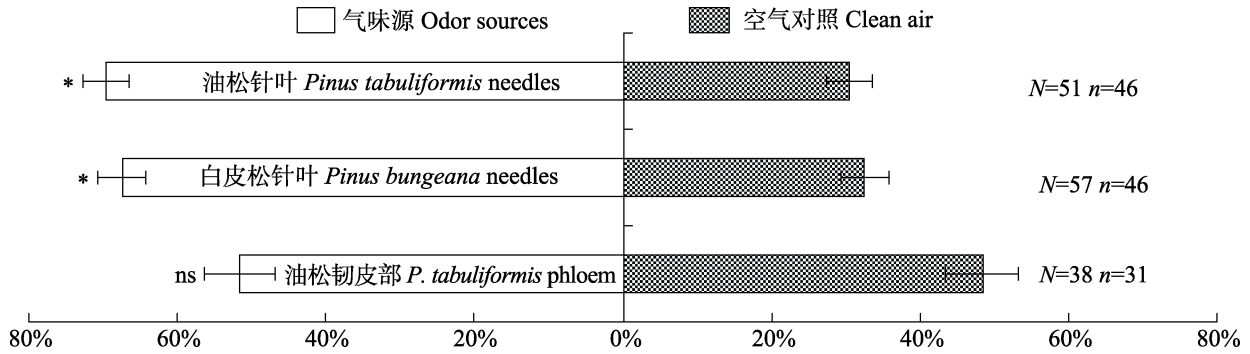


图 2 松阴吉丁雄成虫对于不同气味源的趋性反应
 Fig. 2 Response of *Phaenops yin* males to different odor sources

*表示差异显著 ($P \leq 0.05$), ns 表示无显著差异, Wilcoxon 检验。
 * means significant difference at 0.05 level, while ns means no significant difference by Wilcoxon test.

著水平 ($P \leq 0.05$)。油松韧皮部对雄虫没有明显的引诱作用。以油松针叶和白皮松针叶为 Y-型管两侧的气味源, 测试结果表明趋向油松针叶气味源的雄性个体数 (18) 高于白皮松针叶气味源 (12), 但是差异不显著 (供试虫数 31 头, 有反应虫数 30 头, $P=0.273 > 0.05$)。

2.3 松阴吉丁对白皮松及油松针叶取食量测定

无论是哪种松针, 雌性成虫的单头日取食量均大于雄性成虫, 且差异都达到显著水平 (图 3)。松阴吉丁雌性成虫喜食当年生嫩松针, 取食量由大到小依次为: 白皮松 1 年生松针 > 油松 1 年生松针 > 白皮松 2 年生松针 > 油松 2 年生松针。由此

可见, 雌虫较喜食白皮松针叶, 其对白皮松 1 年生和 2 年生针叶的总取食量大于对 1 年生和 2 年生油松针叶的总取食量, 但是差异不显著 ($t=1.509, P=0.27$)。

松阴吉丁雄性成虫较喜食油松当年生针叶, 取食油松 2 年生松针、白皮松 1 年生松针和 2 年生松针的量均较小, 取食量由大到小依次为: 油松 1 年生松针 > 油松 2 年生松针 > 白皮松 1 年生松针 > 白皮松 2 年生松针。总体来说, 对油松当年生针叶和 2 年生针叶的总取食量高于对白皮松 1 年生和 2 年生松针的总取食量, 且差异达到显著水平 ($t=7.580, P=0.017$)。

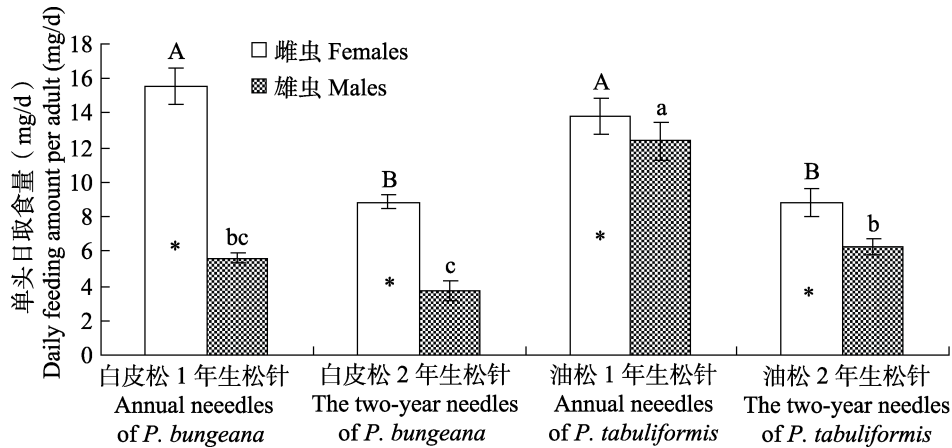


图 3 松阴吉丁雌雄成虫对两种松针的单头日取食量

Fig. 3 Daily amount per *Phaeonops yin* adult feeding *Pinus tabuliformis* and *Pinus bungeana* needles

柱上标有不同大写字母表示雌性成虫取食不同松针的差异显著, 不同小写字母表示雄性成虫取食不同松针的差异显著 (单因素方差分析)。*表示雌雄成虫对同种松针的取食量差异显著 (t -检验, $P \leq 0.05$)。

Histograms with different capital letters indicate the significant difference between different treatments of females, while with different small letters indicate significant difference between males (One-way ANOVA). * indicates significant difference between females and males at 0.05 level by t -test when feeding on the same kind of needle.

3 讨论

近几年, 松阴吉丁对油松的高致死率多有报道。我们在野外采集松阴吉丁幼虫的过程中发现, 当年油松针叶变黄时已有幼虫侵入树体, 次年春天在死亡的油松树皮下会发现大量的幼虫危害。说明在一年的时间里, 松阴吉丁便可导致油松死亡, 周章义等 (2009) 从树木生理的角度详细报道了松阴吉丁成灾条件和机理, 认为油松树势衰弱后, 树体营养物质比例的变化及树体温度的增高, 促进了松阴吉丁生长发育加速, 在短时间内达到种群个体数量的扩增。但是在这么短的时间内达到如此高的致死率, 除了幼虫在皮下的啃食行为, 还有可能是松阴吉丁虫体在取食或产卵过程中携带了其他病原物, 导致油松快速死亡, 具体致死机制有待进一步深入研究。

研究物种的适生寄主对于害虫的综合管理有很大意义。如入侵种红脂大小蠹 *Dendroctonus valens*, 其寄主除油松外, 还有白皮松等其他针叶树种。从萜烯成分看, 虽然其他被危害的针叶树挥发物的成分比例与油松有很大不同, 但都含有对红脂大小蠹起引诱作用的活性成分 (王鸿斌等, 2007)。本研究经室内取食实验发现松阴吉丁雌雄成虫均取食白皮松针, 且雌虫对白皮松针的取食量还大于油松针, 行为生测结果亦是如此。但已有的文献记载松阴吉丁只危害油松, 未

见危害白皮松的报道, 说明白皮松为松阴吉丁的潜在危害寄主, 也有可能是松阴吉丁在野外同时危害白皮松, 只是在目前的调查中尚未被发现。白皮松针挥发物中极有可能含有对松阴吉丁雌虫具有引诱活性的信息化学物质, 如果与油松针的挥发性成分进行分析比较, 将有利于得到对松阴吉丁雌性成虫具有引诱活性的化学信息物质的配比, 为配制人工引诱剂提供了另一种选项。

同种植物不同部位的挥发性物质不同, 会影响吉丁科昆虫对寄主的嗅觉选择和利用 (Crook and Mastro, 2010)。白蜡窄吉丁 *Agrius planipennis* 雌性成虫能被绿叶挥发物 (Z)-3-hexenol 所吸引, 但相较于树皮挥发物而言, 以 (Z)-3-hexenol 为引诱剂诱捕到的白蜡窄吉丁雌虫多数为未生殖成熟或是卵正在发育阶段的成虫 (Marshall *et al.*, 2010), 说明寄主不同部位挥发物在吉丁类昆虫寄主搜寻过程中发挥不同的生态功能。本研究结果表明, 松阴吉丁雌雄成虫对松针的趋向性均大于韧皮部, 应该是由刚羽化成功的成虫首先需要补充营养以维持自身生命或促进生殖成熟。而如果试验昆虫是交配后的成虫, 则可能会得到不同的结果。本次实验未设置白皮松韧皮部作为气味源, 作者下一步将测试交配后雌虫对寄主油松及白皮松韧皮部的气味选择及其室内产卵实验。

已有研究表明, 吉丁科昆虫利用嗅觉器官对

不同的树木气味进行辨别,从而趋向一定的寄主种类 (Silk and Ryall, 2015)。室内观察松阴吉丁对不同植物的栖落反应结果表明,松阴吉丁不会在阔叶树的枝叶上着落,在油松和白皮松枝叶有着落现象并伴有明显的取食现象,说明阔叶树中可能含有拒避作用的化学物质,而针叶树对其具有引诱作用。因此造林时可考虑利用针阔混交林预防松阴吉丁危害,也可考虑根据“推-拉”(Pull-push strategy)的化学生态学原理,将反聚集信息素或具有排斥性的非寄主挥发物与具有引诱性的信息素相结合防治害虫,如喷洒反聚集信息素或甲基环己烯酮与以信息素为基础的大量诱杀方法相结合防治山松大小蠹 *Dendroctonus ponderosae* Hopkins 取得了不错的效果 (Borden *et al.*, 2006; 2007)。在下一步实验中,我们将再增加观测松阴吉丁成虫对其他常见的造林绿化阔叶树种及与油松亲缘关系相近的针叶树种的选择行为,并量化,以更准确的评价分析松阴吉丁对不同树种的选择行为。将具有拒避作用的阔叶树挥发性物质与具有引诱作用的针叶树挥发物质综合利用,有望达到控制松阴吉丁种群数量的目的,对我国油松营林健康具有较大意义。

致谢:对中国林科院华北林业实验中心(北京门头沟区九龙山林场)张永安研究员和余海高级工程师在试验昆虫采集过程中提供的帮助表示衷心的感谢!

参考文献 (References)

- Borden JH, Birmingham AL, Burleigh JS, 2006. Evaluation of the push-pull tactic against the mountain pine beetle using verbenone and non-host volatiles in combination with pheromone-baited trees. *Forestry Chronicle*, 82(4): 579–590.
- Borden JH, Sparrow GR, Gervan NL, 2007. Operational success of verbenone against the mountain pine beetle in a rural community. *Arboriculture and Urban Forestry*, 33(5): 318–324.
- Cao LM, Wang XY, Zhang YA, 2016. Morphological and biological observations of the black pine borer *Phaenops yin* (Coleoptera: Buprestidae), a potential severe pest of *Pinus tabulaeformis* in Beijing. *Acta Entomologica Sinica*, 59(5): 573–580. [曹亮明, 王小艺, 张永安, 2016. 北京地区油松潜在重要害虫松阴吉丁的形态和生物学特性观察. *昆虫学报*, 59(5): 573–580.]
- Crook DJ, Mastro VC, 2010. Chemical ecology of the emerald ash borer *Agrilus planipennis*. *Journal of Chemical Ecology*, 36(1): 101–112.
- Fu HJ, Song Q, Yu SJ, Zheng Q, 2007. *Melanophila acuminata* DeGeer-new wood borer found on *Pinus tabulaeformis* in Beijing. *Plant Protection*, 33(6): 147–149. [付怀军, 宋强, 俞思佳, 郑清, 2007. 北京油松上新发生的蛀干害虫-松黑木吉丁. *植物保护*, 33(6): 147–149.]
- Ge F, Ou YF, Zhao ZH, 2014. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 597–605. [戈峰, 欧阳芳, 赵紫华, 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. *应用昆虫学报*, 51(3): 597–605.]
- Guo H, Wang B, Ma XQ, Zhao GD, Li SN, 2008. Ecological service function assessment of *Pinus tabulaeformis* forest in China. *China Science C: Life Science*, 38(6): 565–572. [郭浩, 王兵, 马向前, 赵广东, 李少宁, 2008. 中国油松林生态服务功能评估. *中国科学 C 辑: 生命科学*, 38(6): 565–572.]
- Kubán V, Bily S, 2009. *Phaenops yin* sp. nov. and *P. yang* sp. nov. from China (Coleoptera: Buprestidae: Buprestinae: Melanophilini). *Folia Heyrovskyana, Series A*, 17(3/4): 111–126.
- Lin Q, 2015. Insect semiochemicals and the prospects of their applications in pest insect integrated management. *Forest Pest and Disease*, 34(1): 38–42. [林强, 2015. 昆虫信息化学物质及其在综合治理中应用的前景. *中国森林病虫*, 34(1): 38–42.]
- Marshall JM, Storer AJ, Fraser I, Mastro VC, 2010. Efficacy of trap and lure types for detection of *Agrilus planipennis* (Col., Buprestidae) at low density. *Journal of Applied Entomology*, 134(4): 296–302.
- Silk P, Ryall K, 2015. Semiochemistry and chemical ecology of the emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Canadian Entomologist*, 147(3): 277–289.
- Song Q, Zhou ZY, Cheng W, Fu HJ, Yu SJ, 2009. Integrated control of *Melanophila acuminata*. *Forest Pest and Disease*, 28(5): 27–29. [宋强, 周章义, 程炜, 付怀军, 俞思佳, 2009. 松黑木吉丁的综合防治. *中国森林病虫*, 28(5): 27–29.]
- Sun JH, Roques A, Yan SC, 2000. Behavioral manipulation methods and forest pest management. *World Forestry Research*, 13(2): 24–29. [孙江华, Roques A, 严善春, 2000. 害虫行为调节与森林害虫管理. *世界林业研究*, 13(2): 24–29.]
- Wang HB, Zhang Z, Kong XB, Liu SC, Shen ZR, 2007. Preliminary deduction of potential distribution and alternative hosts of invasive pest, *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Scolytidae). *Scientia Silvae Sinicae*, 43(10): 71–76. [王鸿斌, 张真, 孔祥波, 刘随存, 沈佐锐, 2007. 入侵害虫红脂大小蠹的适生区和适生寄主分析. *林业科学*, 43(10): 71–76.]
- Wei JR, Su Z, Dong LJ, 2015. Volatile chemical cue for *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae) discriminating the larval frass of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae feeding on different host tree species. *Chinese Journal of Ecology*, 34(10): 2814–2820. [魏建荣, 苏智, 董丽君, 2015. 花绒寄甲辨别光肩星天牛蛀食不同树木所产生虫粪的挥发性化学信号. *生态学杂志*, 34(10): 2814–2820.]
- Yu GY, Zhao HD, Zhang CL, Wang H, 2017. The identity of “*Melanophila acuminata*” from Beijing is *Phaenops yin* Kubán et Bily (Coleoptera: Buprestidae). *Journal of Environmental Entomology*, 39(1): 232–235. [虞国跃, 赵怀东, 张崇岭, 王合, 2017. 北京“松黑木吉丁”或“松迹地吉丁”学名考. *环境昆虫学报*, 39(1): 232–235.]
- Zhou ZY, Wu D, Yu SJ, Fu HJ, Song Q, Shen YB, 2009. Relationship between *Melanophila acuminata* outbreak and moisture content as well as tree temperature of *Pinus tabulaeformis*. *Journal of Beijing Forestry University*, 31(3): 71–76. [周章义, 乌达, 俞思佳, 付怀军, 宋强, 沈应柏, 2009. 松黑木吉丁成灾与油松体内水分和温度的关系. *北京林业大学学报*, 31(3): 71–76.]