

文章编号: 1001-1498(2008)02-0258-04

红脂大小蠹及油松挥发物对捕食性天敌寄主选择行为的影响

张咏洁^{1,2}, 张培毅², 刘君², 金幼菊¹, 张真^{2*}

(1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091)

摘要:利用树木解剖及昆虫饲养选择的方法调查红脂大小蠹的捕食性天敌,发现一种鞘翅目顎甲科的昆虫为红脂大小蠹的天敌。利用 Y型嗅觉仪进一步研究发现健康油松挥发物、虫害油松挥发物及虫粪挥发物对该天敌昆虫都有显著的引诱作用,尤其对虫害油松挥发物趋向行为更强烈。该天敌昆虫在栖境定位和寄主选择过程中所利用的挥发物主要来自上述 3类挥发物。4种单萜烯化合物对此种天敌昆虫的室内引诱实验发现,(S)-(+)-3-萜烯对天敌的引诱作用较为强烈。

关键词:顎甲科天敌;红脂大小蠹;油松;挥发物;行为反应

中图分类号: S769

文献标识码: A

Effect of Volatiles from *Dendroctonus valens* and *Pinus tabulaeformis* on the Behavioral Selection of Natural Enemy

ZHANG Yong-jie^{1,2}, ZHANG Pei-yi², LIU Jun², JIN You-ju¹, ZHANG Zhen^{2*}

(1. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF; Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: The predators of Red turpentine beetle (RTB), *Dendroctonus valens* were investigated by the method of anatomizing of the pine trunk and rearing choice test. One of predator species of RTB (*Prostomis* sp.) was found in the larval gallery. Behavioral response of this natural enemy to the volatiles emitted from healthy pines (*Pinus tabulaeformis*), RTB damaged pines and fecal pellets of RTB were studied with a Y-tube olfactometer. The results showed that natural enemies were attracted to all the volatiles above, especially to that of damaged pines. Volatiles from healthy pines, RTB damaged pines and fecal pellets of RTB could be used by the natural enemies to locate the host habitat and to discriminate the pines damaged from healthy ones. The predator species of RTB (*Prostomis* sp.) was more sensitive to (S)-(+)-3-Carene than three other monoterpene in the lab experiment.

Key words: *Prostomis* sp.; *Dendroctonus valens*; *Pinus tabulaeformis*; volatile; behavioral selection

红脂大小蠹 (*Dendroctonus valens* Leconte), 属于 (鞘翅目 (Coleoptera), 小蠹科 (Scolytidae), 大小蠹属 (*Dendroctonus* Erichson), 是一种蛀干、蛀根性害虫。国外分布于美国、墨西哥、加拿大、危地马拉和洪都

收稿日期: 2006-11-23

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973计划)“农林生态系统对危险生物入侵的抵御机制”(2002CB111404),“十一五”林业科技支撑计划 (2006BAD08A192)

作者简介: 张咏洁 (1981—), 女, 河北秦皇岛人, 在读硕士生, 研究方向: 化学生态学。

致谢: 感谢河北大学任国栋老师帮助鉴定天敌昆虫。

*通讯作者: 张真, Tel: 010-62889567, E-mail: zhangzhen@caf.ac.cn

拉斯。我国自 1998 年在山西发现红脂大小蠹危害健康油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr) 以来,其危害程度日趋严重,现已扩展到河南、河北和陕西,危害油松、华山松 (*P. amandi* France) 和白皮松 (*P. bungeana* Zucc), 给我国林业经济的发展带来严重的损失^[1]。我国从比利时曾经引进大啮蜡甲 (*Rhizophagus grandis* Gyllenhal) 防治红脂大小蠹^[2], 但是红脂大小蠹本地天敌昆虫的研究还比较少。笔者通过树干解剖及饲养观察,发现了鞘翅目颚甲科 (*Prostomidae*) 的一种昆虫 (*Prostomis* sp.) 为红脂大小蠹的专一性捕食性天敌。

信息化合物在调节昆虫与植物、昆虫与昆虫的行为关系方面起着重要作用,在很大程度上决定着食物网中某种取食与被取食,寄生与被寄生的关系是否发生,以及发生的强度等^[3]。野外红脂大小蠹诱捕的结果显示,(S)-(+) - 3 萜烯的吸引作用最强,增加柠檬烯能显著降低诱芯的引诱作用^[4]。在对红脂大小蠹后肠挥发物的鉴定中,除了含有油松挥发性物质 蒎烯、-蒎烯、3 萜烯、月桂烯和柠檬烯外,还含有马鞭草烯醇和马鞭草烯酮。利用触角电位技术,对马鞭草烯醇、马鞭草烯酮以及 3-(+) 萜烯进行了触角电生理和室内趋向实验结果表明,浓度为 $1 \mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的马鞭草烯酮和 3-(+) 萜烯引起红脂大小蠹的正趋向反应而马鞭草烯醇则对红脂大小蠹具有驱避作用^[5]。但这些挥发物对第三营养级的天敌昆虫作用的研究涉及很少。本文以油松红脂大小蠹捕食性天敌为研究系统,研究不同来源的挥发物对天敌寄主选择行为的影响,以明确天敌栖境选择和寄主定位中所利用的挥发物的来源及其作用。

通过对当地天敌的调查以及信息化合物在天敌寄主选择中的作用研究,为保护利用本地天敌资源以及为树体、小蠹与天敌之间的适应机制和抗性机制提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地设在山西省沁源县太岳林业局灵空山林场的油松林。该林场位于太岳林区中部,沁源县西南部,面积 $4\,931 \text{ hm}^2$,地理位置为 $112^\circ 02' \sim 112^\circ 09' \text{ E}$, $36^\circ 31' \sim 36^\circ 43' \text{ N}$ 。林场平均海拔 $1\,500 \text{ m}$,最高 $2\,088 \text{ m}$,最低 $1\,150 \text{ m}$ 。属暖温带大陆性季风气候,年均气温 8°C ,无霜期 125 d 左右,年降水量 650 mm ,集中于 6—9 月,以 7、8 月为最,年平均相对湿度 65% 。

1.2 天敌的调查与饲养

天敌调查主要采用树木解剖的方法,在 4 月、6 月与 9 月分别进行 3 次调查。每次在红脂大小蠹危害地选取 6 棵濒临死亡的油松,在树干距地面 1.5 m 以下(红脂大小蠹危害处),扒开韧皮部,对其中的各种昆虫进行观察、记录、鉴定;对其中可能的天敌幼虫及成虫进行饲养观察。

由于林场的气候条件更适合天敌对环境条件的要求,所以天敌的饲养也在林场进行。将解剖中发现的可能天敌分别放入培养皿中,每天放入一定数量的红脂大小蠹幼虫,24 h 后记录红脂大小蠹剩余数目,并观察其对红脂大小蠹的捕食情况。

1.3 生物样品的准备

1.3.1 油松挥发物采集与处理 在红脂大小蠹侵入高峰期,虫害较严重的地方选取 5 棵健康油松,用于采集健康树体挥发物;然后选 5 棵有新侵入孔的油松,用于采集虫害后的树体挥发物;再选取 5 棵健康油松,模拟虫害对油松进行机械损伤,然后采集树体挥发物。所选油松胸径在 25 cm 左右。

利用动态顶空采集法进行挥发物的采集,用 QC221 大气采集仪(北京劳动保护研究所生产),采样管内担体为迪玛公司的 Porapak-Q。树干用无味的保鲜膜包裹,从树干基部向上 0.5 m 外包裹,90% 红脂大小蠹侵入孔在此部位。开口端密封,使树干内部成为一个密闭的环境。将大气采集仪进出口两端的接管插入到薄膜的内部,用脱脂棉密封插口。先将包裹膜内原有的空气用大气采集仪排空,然后送入同样量的经过活性炭过滤的新鲜空气,再在进气管端加上吸附管,管内装 100 mg 预处理后的 Porapak-Q,进行样品的采集。抽气时间为 30 min ,抽气流量为 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。采集后的管用 Parafilm 封闭吸附管两端,置于干燥冷藏箱内备用^[6]。

用正己烷溶液淋洗每个吸附管,收集洗脱液 3 mL ,每次取 $10 \mu\text{L}$ 用于生测实验。

1.3.2 虫粪提取液制备 小蠹科 (Scolytidae) 昆虫信息素产生的部位还不清楚,但已经从许多小蠹科昆虫的虫粪中发现了具有生物活性的物质^[7]。作者从 5 棵被害树上分别收集成虫和幼虫的虫粪 50 g ,用正己烷溶液分别浸提,得到虫粪的提取液。每次取 $10 \mu\text{L}$ 用于生测实验。

1.3.3 室内生测所用的标准品 各取 $10 \mu\text{L}$ (R)-(+) - 蒎烯(纯度 98%)、(S)-(-) - 蒎烯(纯度 98%)、(S)-(-) - 蒎烯(纯度 98%)、(S)-(+) - 3-

萘烯 (90%) (均由比利时 ACROS 公司生产) 原液, 作为引诱剂, 以空白为对照。

1.4 室内生测实验

对解剖树干时发现的颚甲科天敌进行室内 Y-型嗅觉仪生测实验。分别测定天敌在虫害与对照、健康与对照、虫害与健康、虫粪与对照、健康与机械损伤挥发物之间的行为选择, 对照为正己烷溶液, 每次测试使用同一批从野外取回的成虫 20 头 (每头重复使用 2 次), 对各样品进行一轮试验, 作为 1 个重复, 每组样品进行 5 次重复; 室内用上述 4 种单萜对颚甲科天敌进行 Y-型嗅觉生物测定, 每次测试同样使用同一批从野外取回的成虫 20 头, 对各样品进行一轮试验, 作为 1 个重复, 每个样品进行 5 次重复。

实验方法如下: 在圆形滤纸中央滴加样品, 待正己烷挥发完全后放入嗅觉仪的其中一个臂端作为引诱臂, 将滴加正己烷的滤纸放入另一个臂端作为对照。嗅觉仪的两臂及直管均长 30 cm, 内径 5 cm, 两臂夹角 60°; 在气流进入两支臂之前, 先经过一个活性炭过滤器和一个蒸馏水瓶, 以净化空气和增加空气湿度。两臂的气流流量通过气体流量计控制在 $80 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 。生测时, 将天敌引入嗅觉仪的直管内, 然后观察记载 20 min 内天敌的行为反应。记录标准如下: 当天敌爬至超过 1/2 支臂处并持续 5 min 以上或到达支臂出口处者, 就记该天敌对该臂的气味源做出了选择。如 20 min 后, 天敌还未作出选择, 则结束对该天敌的行为观察, 并记为不反应。每测定 10 次调换嗅觉仪方位一次。当更换处理时, 用去污粉清洗整个装置, 并用 95% 乙醇清洗、吹干。

1.5 数据处理方法

采用 *t* 检验, 分别分析天敌昆虫对红脂大小蠹和油松挥发物以及 4 种单萜烯化合物的嗅觉行为反应的数据。将天敌昆虫对 4 种单萜进行嗅觉行为反应所得的数据进行 ANOVA 分析, 如果差异显著, 再用 LSD 多重比较分析各处理的差异显著性。

2 结果与分析

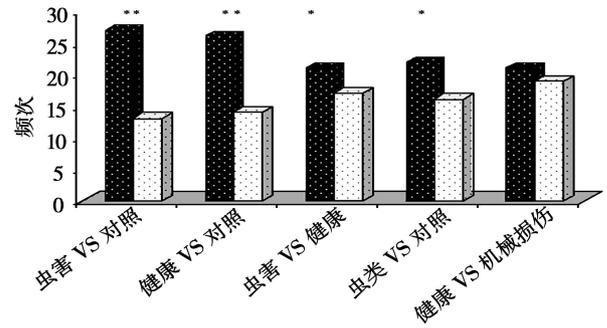
2.1 捕食性天敌的确定

通过 2005 年 4—9 月的 3 次调查和饲养观察, 发现 1 种鞘翅目颚甲科的昆虫 (*Prostomis* sp.) 与红脂大小蠹的生态位相同, 并且该昆虫的幼虫、成虫均取食红脂大小蠹幼虫, 平均每 24 h 取食 1~2 头。该昆虫在山西沁源 1 a 发生 1 代, 成虫在油松树皮下红脂大小蠹虫道中越冬, 4 月一龄幼虫出现, 白色,

透明状, 喜群居在红脂大小蠹虫道中, 5~20 余头不等, 幼虫期 65~75 d, 蛹期 15~20 d。

2.2 天敌对树体和虫体挥发物的行为反应结果

在红脂大小蠹危害树的树体挥发物的淋洗液与健康树挥发物淋洗液之间, 天敌显著趋向选择前者。而在健康油松、受害树以及虫粪挥发物淋洗液与正己烷对照之间, 天敌都显著选择前者。结果表明, 健康油松、受害油松及虫粪都能释放出对此种天敌有引诱活性的挥发物, 天敌主要是根据虫体挥发物与受害后的诱导挥发物来区分有虫树与无虫树。进一步试验发现, 天敌对机械损伤树和健康树挥发物的淋洗液的行为选择无显著差异, 表明机械损伤不能诱导油松释放出引诱天敌的特异挥发物。(如图 1)



* 代表天敌昆虫在引诱臂和对照臂中出现的频次间差异显著 ($P < 0.05$), ** 代表差异极其显著 ($P < 0.01$)。

图 1 天敌对树体及虫体挥发物的行为反应

2.3 4 种单萜对天敌的引诱能力的室内生测实验结果

室内 4 种单萜对颚甲科天敌的引诱能力的 *t* 检验结果表明: 各种单萜都显著地优于对照。对 4 种单萜间的引诱能力用 LSD 法进行多重比较结果表明: (S)-(+) - 3 萘烯对天敌的引诱作用极显著地优于其它单萜, (S)-(-) - 蒎烯显著地优于 (S)-(-) - 蒎烯, (R)-(+) - 蒎烯和 (S)-(-) - 蒎烯没有显著的区别 (表 1)。

表 1 天敌对 4 种单萜的行为反应的多重差异比较 (平均值 ± 标准差)

处理	频次 (n)
(S)-(+) - 3 萘烯	15.20 ± 0.84 aA
(S)-(-) - 蒎烯	12.00 ± 0.71 bB
(R)-(+) - 蒎烯	11.40 ± 1.14 bcB
(S)-(-) - 蒎烯	10.40 ± 0.89 cB

注: 表中数据 (平均值 ± 标准差) 利用 LSD 进行多重比较, 具有不同字母的频次间差异显著或极显著 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

3 讨论

植物挥发物在 3 层营养系统中起着重要的作用。植物挥发物不仅为寄主昆虫寻找寄主提供信息,也为天敌寻找栖境提供信息。本文研究结果表明,健康油松的挥发物对天敌具有显著的引诱作用。同时天敌还可以区分受害油松与健康油松挥发物,并显著地趋向受害油松。表明来自寄主植物的挥发物为天敌搜索植食性昆虫栖境提供信息。寄主植物在遭受植食性昆虫危害后,能诱导释放出某些特异性挥发物强烈地引诱天敌。本实验中天敌能够区分受害油松挥发物与健康油松挥发物,表明这些受害寄主诱导的植物挥发物具有可靠性,可以为天敌搜索植食性昆虫提供信息。同时虫粪的挥发物对天敌也有显著的引诱作用,表明来自植食性昆虫的信息素虽然量少,但其提供的信息具有准确性高的特点^[8]。

植食性昆虫危害诱导的挥发物的相对含量或成分明显不同于机械损伤诱导的植物挥发物。研究表明,虫害诱导植物挥发物的产生是由于昆虫唾液腺和反刍液中诱导物的存在,将昆虫的唾液或反刍液涂抹到损伤的植物组织上即会产生与昆虫取食相同的挥发物释放模式^[9]。迄今为止,已经在植食性昆虫的口腔分泌物中分离、鉴定出 4 种能诱导机械损伤植物释放类似于虫害诱导物的化学诱导物^[10-12],但小蠹取食寄主树后的树体挥发物的化学诱导物的研究还没有报道。由于红脂大小蠹成虫身体上都附有伴生菌和螨类,所以关于红脂大小蠹危害油松后的树体挥发物与机械损伤油松挥发物的不同,是由于伴生菌或寄生螨的影响,还是由特殊的口腔分泌物引起,还有待进一步研究。

通过 4 种单萜进行室内实验发现 (S)-(+) -3-萹烯对两种天敌的引诱作用较好,同时 (S)-(+) -3-萹烯对红脂大小蠹的引诱效果也较好^[12],表明在寄主栖境定位过程中红脂大小蠹和这种天敌所依靠的信息化物质基本一致。同时在寄主定位过程中,虫害诱导挥发物与虫体信息素具有准确性高的特点,所以对起引诱作用的这些化合物还有待进一步研究。例如,在北美颚甲 *Tan nochila chlorodia* (Mannerheim) 是红脂大小蠹的一种天敌,在 (R)-(+) -蒎烯、(S)-(-)-蒎烯、(S)-(+) -3-萹烯等单萜中添加 *exo-brevicom in*,可以显著增加对这种天敌的引诱作用^[13]。这为天敌防治红脂大小蠹也提供了

新思路,通过进一步研究信息化化合物的成分,期望找到对天敌起引诱作用而又对红脂大小蠹驱避的物质。

天敌昆虫的野外单萜引诱实验没有与天敌调查同时进行,所以在进行野外单萜引诱实验时,没有发现颚甲科的这种天敌昆虫,可能是由于气候条件与天敌调查时不一致。但是在天敌调查时,曾经在监测诱捕器中发现此天敌。另外,在诱捕器引诱实验中发现了另一种步甲科的红脂大小蠹天敌,并且进行了统计分析,发现此天敌对 (S)-(+) -3-萹烯反应也较强烈。这两种天敌均未确定种名,下一步还要进行野外实验及更加深入的研究。

参考文献:

- [1] 刘随存. 红脂大小蠹研究文献综述 [J]. 山西林业科技, 2003 (1): 24 - 27
- [2] 杨忠岐. 利用天敌昆虫控制我国重大林木害虫研究进展 [J]. 中国生物防治, 2004, 20 (4): 221 - 227
- [3] 钦俊德. 昆虫与植物的关系——论昆虫与植物的相互作用及其演化 [M]. 北京: 科学出版社, 1987
- [4] Sun Jianghua, Miao Zhengwan, Zhang Zhen, et al Red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Coleoptera: Scolytidae), response to host semiochemicals in China [J] Environ Entomol, 2004, 33 (2): 206 - 212
- [5] 闫争亮, 方宇凌, 孙江华, 等. 红脂大小蠹后肠挥发性物质的鉴定、触角电位和室内趋向实验 [J]. 昆虫学报, 2004, 47 (6): 695 - 700
- [6] 王鸿斌, 张真, 孔祥波, 等. 油松萜烯类挥发物释放规律与红脂大小蠹危害的关系 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27 (2): 75 - 80
- [7] Raffa K F. Mixed messages across multiple trophic levels: the ecology of bark beetle chemical communication systems [J]. Chemoecology, 2001 (11): 49 - 65
- [8] 娄永根, 汪霞, 杜孟浩, 等. 寄生性天敌寄生行为及研究中应注意的若干问题 [J]. 生态学杂志, 2005, 24 (4): 438 - 442
- [9] Robert P Doss, James E Oliver, William M. Proebsting Bruchins: Insect-derived plantregulators that stimulate neoplasm formation [J]. PNAS, 2000, 97: 6218 - 6223
- [10] 彭金英, 黄勇平. 植食性昆虫诱导的挥发物及其在植物通讯中的作用 [J]. 植物生理学通讯, 2005, 41 (5): 679 - 683
- [11] Eichenseer H., Mathews M C, Bi J L, et al Salivary glucose oxidase: multifunctional roles for *Helicoverpa zea*? [J] Arch Insect Biochem. Physiol, 1999, 42 (1): 99 - 109
- [12] 苗振旺, 张钟宁, 王培新. 外来入侵害虫红脂大小蠹对寄主挥发物的反应 [J]. 昆虫学报, 2004, 47 (3): 360 - 364
- [13] Fettig C J, Borys R. R., Cluck D R et al Field response of *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Scolytidae) and a major predator, *Tan nochila chlorodia* (Coleoptera: Trogositidae), to host kairomones and a *Dendroctonus* spp. pheromone component [J] Journal of Entomological Science, 2004, 39 (4): 490 - 499