

文章编号:1001-1498(2012)01-0017-06

红脂大小蠹声音信号记录、分析与 发声器官电镜观察

王鸿斌, 赵丽稳, 罗茜, 张真, 孔祥波

(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:应用开发设计的昆虫声音采集与录制系统,对在不同实验条件下(玻璃板夹心、木段钻孔、室外直接测定)的红脂大小蠹两性成虫声音信号进行了采集、放大与数字化记录,并应用 Adobe Audition 与 matlab 软件分别对雌雄成虫的胁迫声、雄虫求偶声、雄虫竞争声、雌虫回应声等声音信号进行了脉冲组、频率、持续时间、频谱等特征分析,此外,还应用扫描电镜对其摩擦发声器官进行了观察与记录。研究结果表明:红脂大小蠹整体摩擦声音频率为3~5.3 kHz;雌雄间声音有显著区别,其摩擦发音结构音锉也有明显不同;而不同行为下所发出的声音信号在时域和频域上也略有差异,显示其与行为交流密切相关。

关键词:红脂大小蠹;摩擦声信号;记录和分析;发声器官

中图分类号:S763

文献标识码:A

Acoustic Signals of *Dendroctonus valens* and Structure of Its Stridulatory Apparatus

WANG Hong-bin, ZHAO Li-wen, LUO Qian, ZHANG Zhen, KONG Xiang-bo

(Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry;

Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: The bioacoustic signals often work alone or together with other signals like visual or olfactory signals in insect communication. The adult stridulatory signals of red turpentine beetle (RTB), *Dendroctonus valens*, were recorded and stored digitally after amplification in three experiments (glass phloem sandwich rearing, bolt rearing and directly field recording). The signals in different behavior were then analyzed by a specific acoustic software Adobe Audition and Matlab for echeme, duration, frequency, time domain and frequency domain analysis. The stridulatory apparatus of both male and female were observed by scanning electron microscope. The result showed that the frequency of the stridulatory sound by *D. valens* was from 3 kHz to 5.3 kHz, and there were clearly differences between the males and females, both in the sounds frequency and in apparatus structure. There were slightly differences with the signals recorded in different behavior, which proved the signals played a role in RTB behavior.

Key words: *Dendroctonus valens*; stridulatory signals; recording and analyzing; Stridulatory Apparatus

红脂大小蠹(*Dendroctonus valens* LeConte)又名强大小蠹,属鞘翅目(Coleoptera)小蠹科(Scolytidae),是一种蛀干、蛀根性害虫^[1]。1998年以来,在山西省油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)分布区暴发,

造成重大危害和经济生态损失^[2-4]。研究确认其为从北美入侵的外来种害虫,十几年来已经从多角度对该害虫的生物、生态学特性以及综合治理进行了相关研究^[5-9]。研究表明:化学信息素是红脂大小

收稿日期:2011-04-11

基金项目:国家“863”高技术研究发展计划项目(2006AA10Z211);中国林业科学研究院基本科研业务专项资金 CAFRIF200710

作者简介:王鸿斌(1967—),男,河北保定人,博士,副研究员,研究方向森林昆虫。

蠹雌雄成虫选择寄主的决定方式,并针对这一特性开始利用植物源引诱剂进行该害虫的监测与防治^[10-14];但是红脂大小蠹的雌雄如何寻找配对并在繁殖坑道中始终保持一雌一雄的现象,通过对寄主油松与红脂大小蠹间的化学信息联系机理的深入研究却一直没有发现其化学信息的联系。

听觉信息常常与视觉、嗅觉等其它信息一起在昆虫种内与种间行为与交流中单独或共同起作用。大小蠹属昆虫摩擦发声的特性早已被报道,其发声机制属于典型的翅—腹摩擦结构^[15-16]。红脂大小蠹发声器官也曾被电镜扫描,但未能对不同发声行为进行解释与比较^[17],且限于当时计算机运算分析条件等限制,对声音信号的分析只限于模拟信号,进行波形图和频率的比较发现不同行为下声音信号的波形图、保留时间等存在差异,但未对频域信号等进行分析。本研究试从红脂大小蠹摩擦声音信号角度入手,重新利用计算机数字化的信号分析记录及软件分析该类声音信号的特征与两性差别,为进一步阐述这一现象的信息控制过程,探寻该害虫的内在于行为调节机理提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 昆虫来源

试验用的红脂大小蠹来自山西沁源县灵空山林场,应用该虫化学信息素监测的漏斗型诱捕器采集。每3天查看1次诱捕器,收集并分置雌雄成虫,并用寄主油松的韧皮部饲养,保持成活与活力;还有部分虫源直接来自伐桩,用以录制雌雄成虫未交尾前的声音。

1.2 发声器官的电镜观察

将鞘翅与虫体分开,分别经30%、50%、70%、80%、90%、100%乙醇溶液逐级脱水,每次10 min;乙酸异戊酯置换2次,每次15 min。然后使用CO₂临界点干燥仪干燥。制好的样品用导电胶粘在铜制的样品台上,真空喷金(铂金),使用HITACHI S-570扫描电子显微镜(电子探针)进行扫描观察。

1.3 声信号的采集

1.3.1 采集设备 主要由Edirol R-4数字录音机、声望SM4001传感器、Sony监听耳机等组装构成。

1.3.2 采集方法 主要有3种,即玻璃夹心法、室内木段法、直接野外测定。①玻璃夹心法:取无菌、干净透明的有机玻璃2块(20 cm × 20 cm),在油松活立木上取一同样大小带韧皮部的树皮。将取回的

树皮夹于2块玻璃中间,在树皮四角加高,便于成虫活动。之后夹紧、固定树皮,放入蘸有矿泉水或蒸馏水的药棉,再用透明宽胶带或塑料布将玻璃四周边缘夹缝空隙包住,防止红脂大小蠹逃脱;然后再用大头针在胶带或塑料布上每隔3 cm扎孔,以利于通气。在封口前,将成虫放入,以便观察成虫的行为并及时录音。②室内木段法:取油松木段带回室内,在木段上钻孔先接入雌虫,传感器对准洞口录音,1天后再接入雄虫并再录音。③直接室外测定法:在虫害区,伐濒危油松1棵,守住伐桩,当有成虫被吸引落在伐桩附近,用传感器测定其是否发出声信号,跟随并录音。

1.3.3 采集声音信号的类型 胁迫声音信号:指用大拇指与食指捏住红脂大小蠹头胸相连处时发出的声音信号,此信号能够代表本种的特性,雌虫胁迫声音信号虽然声压比雄虫弱,但是频率却高于雄虫。

雄虫竞争信号:指2只雄虫处在同1只雌虫洞内时发出的竞争信号,先侵入的雄虫发出低频有力的声音信号,并用头部抵制后侵入的雄虫,直到把其赶出洞外为止。

雄虫求偶信号:雄虫用前足碰雌虫尾部时发出的声信号,为召唤雌虫交尾信号。

雌虫回应信号:表示同意交尾时的信号,在雌雄交尾过程中没有声音信号产生。

1.4 声信号的处理分析与比较统计方法

红脂大小蠹每次发声由多个脉冲组构成,而每个脉冲组包含多个脉冲串,每个脉冲串又由不同数量的单脉冲组成,所发出的声音信号属于非平稳信号。该信号质量受到信号采集录音、放大及信号调理等多方面因素影响,需要针对记录数据选取噪声干扰小、声音较为清晰的片段进行特征提取与分析;而录音时,各种行为下小蠹距离声音信号传感器远近有所不同,即使同种信号间能量强弱(振幅)也差异较大,故分析忽略了对能量强度的振幅比较,仅针对过去文献上的脉冲持续时间以及未进行的频域特征进行分析比较。

首先,用音频编辑处理软件Adobe Audition 2.0读取雌雄不同行为下采集的声音文件,进行选择性片段分割与脉冲组的确定与截取,其中,每类声信号取10组重复,每组重复提取10组脉冲组片断,计每种声信号类型100组脉冲片断。对提取的特征脉冲组进行取样去噪,对持续时间进行测量,

最终以 spss 统计软件进行方差分析,比较差异显著性,并和北美以往发表的统计数据进行比较,判断该虫是否由于地区和寄主的变异在声脉冲信号特征上有所不同;然后,应用 matlab 编制程序对不同去噪片段进行频域特征提取与分析,比较雌雄个体及不同行为下声音信号在频域特征上的差异。

2 结果与分析

2.1 红脂大小蠹的发声器官电镜结果

红脂大小蠹雌雄虫均发声,发声机制为摩擦发声,即具有音挫和刮器(图1~4)。音挫位于鞘翅尾部内侧中缝边缘部分,紧邻翅锁结构。刮器位于最后一部分腹节末端。每发声1次,腹部运动1次,左右两翅均有音挫结构。雌虫发声时腹部运动频率要远远低于雄虫,声压也远远小于雄虫。电镜观察摩擦发声器官,雄虫音挫褶皱的深度和密度都比雌虫的高。

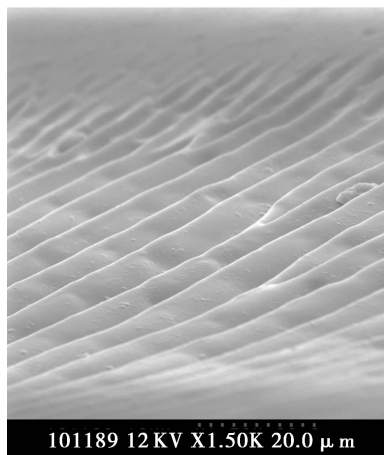


图1 雄性左翅音挫结构(1 500 ×)

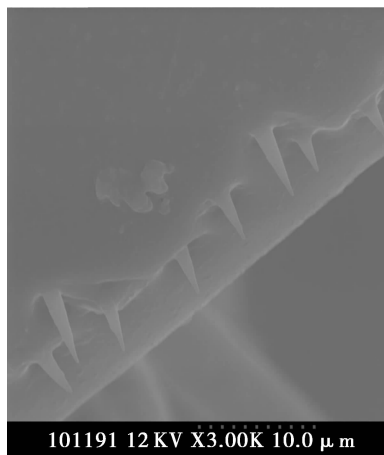


图2 雄性腹部刮器(3 000 ×)

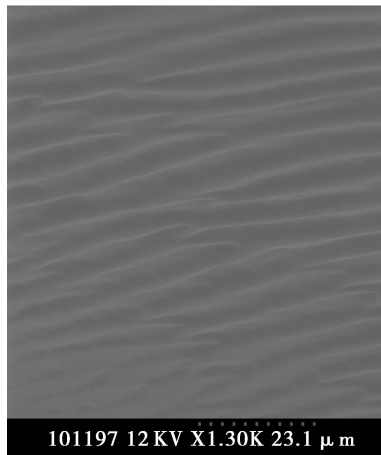


图3 雌性左翅音挫结构(1 300 ×)

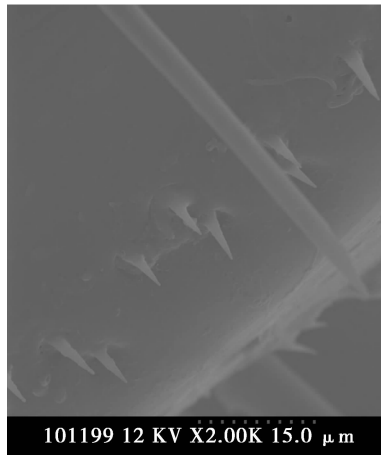


图4 雌性腹部刮器(2 000 ×)

2.2 声信号的分析

对脉冲持续时间的实验测定数据见表1,与已有文献报道^[11]比较发现:数据间差异不显著。说明本实验所采用的实验方法可靠性与前人结果一致,另一方面也说明红脂大小蠹在从北美侵入中国后,随着时空与寄主的改变并未造成红脂大小蠹声音信息交流的明显变异。

表1 实验所测脉冲持续时间与文献值比较

发声行为	试验测定/s	文献数据 ^[11] /s
雌虫胁迫	0.092 ± 0.020b	0.162 ± 0.009
雄虫胁迫	0.042 ± 0.013c	0.033 ± 0.001
雄虫竞争	0.325 ± 0.015a	0.323 ± 0.016
雄虫求偶	0.031 ± 0.007c	0.031 ± 0.003
雌虫回应	0.275 ± 0.032a	0.292 ± 0.016

注:表中数据为平均值 ± 标准差($n = 100$);不同字母表示差异显著性($P < 0.05$)。

过去受条件限制,并未进行频域分析。根据目前的实验条件和声音信号分析与处理软件的发展,对红脂大小蠹声音信号从时域和频域两个方面进行了分析。

图5~16为典型声音信号片段的时域与频域特征图,其中,时域波形图所选取的均为红脂大小蠹发声的一个脉冲串,持续时间与表1对应,选取片断的依据是表1的平均值。由图5~16可以看出:不同声信号有明显的波形特征差异。雄虫较雌虫单脉冲频次高且密集,而在不同行为情形下,胁迫、竞争、求偶时单脉冲的强度变化差异明显,分别为由强到弱、由弱到强以及弱强弱的变化,充分说明了小蠹发声与行为间的协调与相关性。

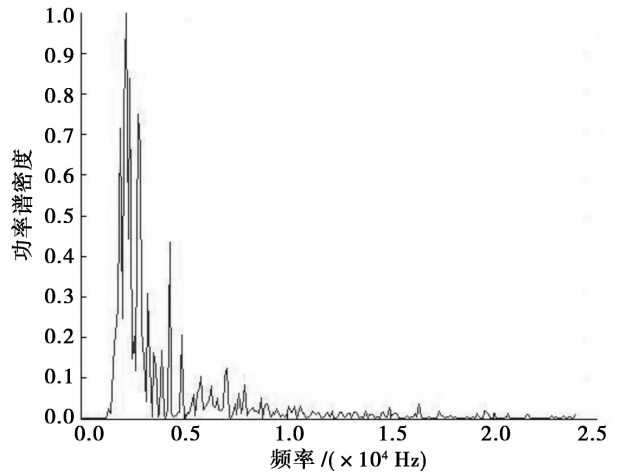


图8 雄虫竞争频域图

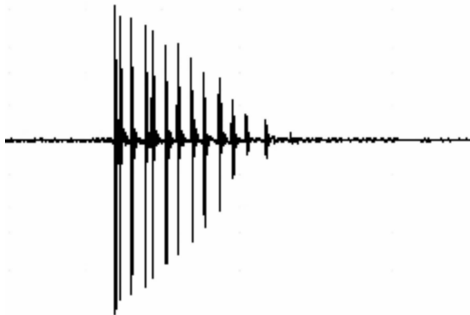


图5 雄虫胁迫时域图

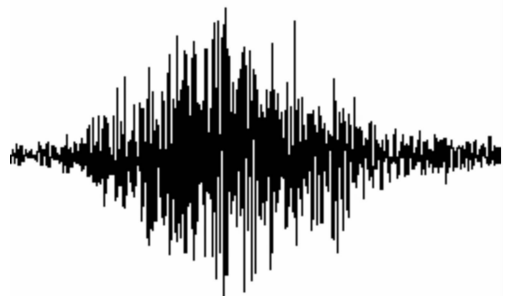


图9 雄虫求偶时域图

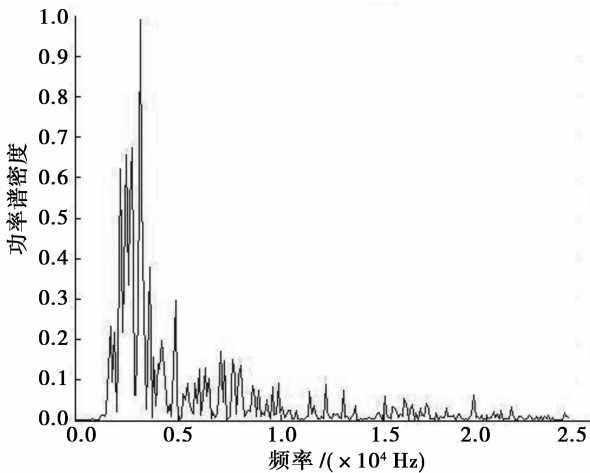


图6 雄虫胁迫频域图

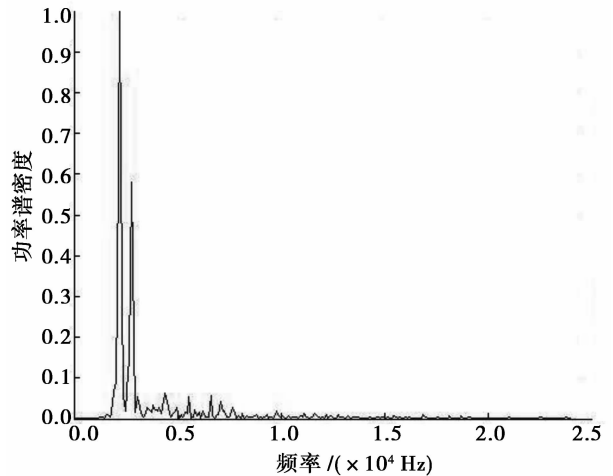


图10 雄虫求偶频域图

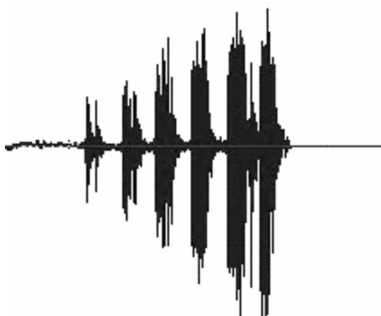


图7 雄虫竞争时域图



图11 雌虫胁迫时域图

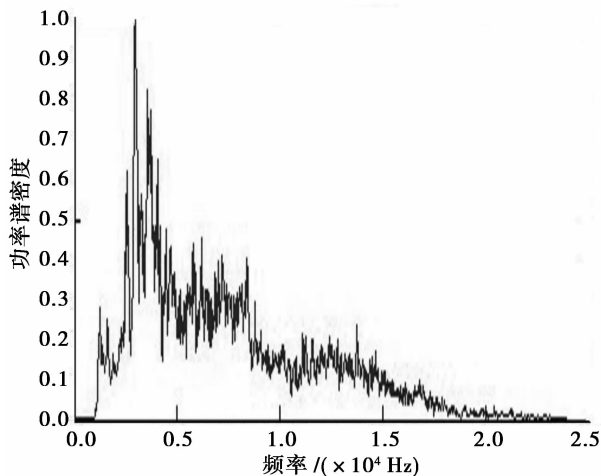


图12 雌虫胁迫频域图

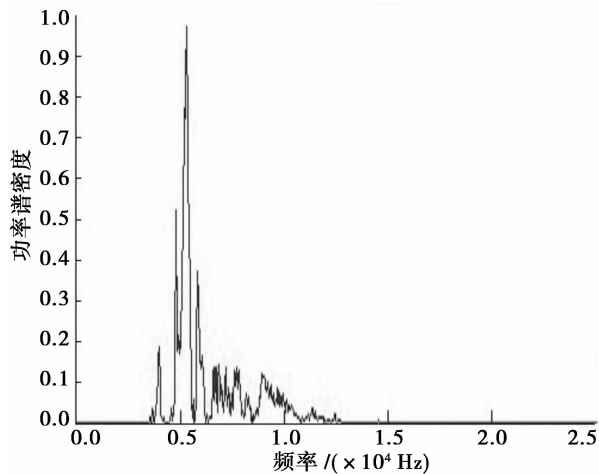


图16 雌虫回应频域图

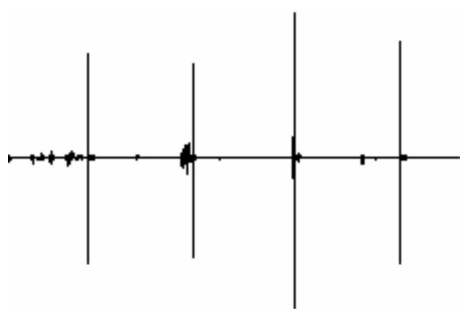


图13 雌虫独处时域图

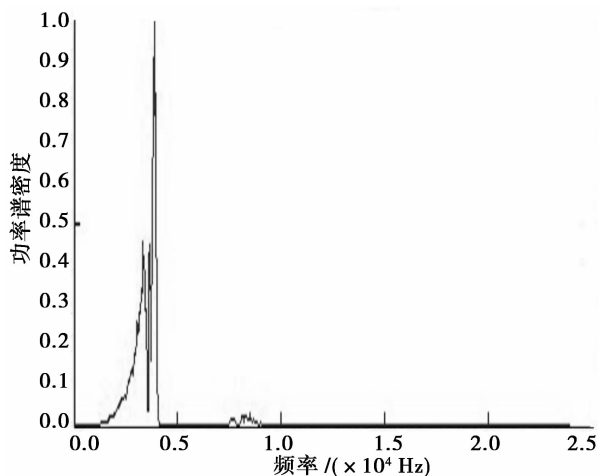


图14 雌虫独处频域图

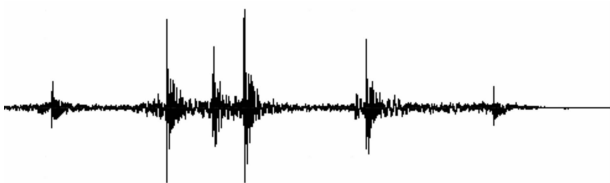


图15 雌虫回应时域图

从频域分析图上看,无论红脂大小蠹雌雄成虫声音信号,还是不同行为的声音信号,其整体主峰频率为3~5.3 kHz,仅波形略有差别,反应了该种在频域上的相对一致性。

3 讨论

红脂大小蠹雌雄两性均发声,发声机制是典型的翅—腹型摩擦发声,两性都具有音锉和刮器两部分结构,雄性音锉要比雌性尖锐,所以雄虫发声声压远远大于雌虫,很容易被人耳识别,雌虫声音信号微弱,不易被人耳捕获,这也是野外区别雌雄最简单的方法,已经被广泛采用。本实验研究中得出雌虫交配后不再发声的结论,与前人得出雌虫一生只交配一次的理论相一致,也说明声信号在雌雄成虫交流中确实起着重要作用。

红脂大小蠹声音信号的时域分析结果与国外研究结论一致,包括脉冲的持续时间和波谱图,说明在我国山西发生的红脂大小蠹与国外种类在声音信息交流方面,没有发生时空严重变异;而在前人研究的基础上,对红脂大小蠹声音信号的频域特征的初步分析表明:各种行为下发出声音信号的主峰频率略有不同,总体主峰频率范围在3~5.3 kHz,这是否能反应种类的特性,还需进一步研究,为今后揭示声音信息对行为的调节作用确定基础。

本研究属国内首次对林业害虫小蠹科昆虫的声音信号进行研究,相对以往的鸣虫声音研究,小蠹科昆虫虫体小,隐蔽性强,声音信号微弱,虽然成功地采集、录制了声音信息,取得了几种行为下的试验结果;但实验中对于该虫的行为可控性较难掌握,录制信号噪声也较高;另外,虫体的活性及时间温度等因

素的影响也未能考虑,需要进一步研究提高静音设备及环境稳定性。

今后研究除了应对发声器官的结构定量测定比较外,在对声音信号的分析应采用更加深入先进的分析方法。除了时域分析和频域分析外,目前声学分析已经在运用的还有时频分析,对于昆虫发出的短暂的、非平稳的信号,采用二维时频分析方法,短时傅立叶变换也是一种研究趋势。相对于时域图分析只显示声音信号随时间的变化规律,频域图分析只显示频率变化幅度,而时频分析则结合了二者的特点,应在今后研究结合应用。

参考文献:

- [1] 殷惠芬. 强大小蠹的简要形态学特征和生物学特征[J]. 动物分类学报, 2000(1):122-145
- [2] 常宝山,刘随存,招小梅,等. 红脂大小蠹发生规律研究[J]. 山西林业科技, 2001(4):1-4
- [3] 宋玉双,杨安龙. 森林有害生物红脂大小蠹的危险性分析[J]. 森林病虫通讯, 2000,19(6):34-37
- [4] 王天录. 中条山林区强大小蠹危害状况及防治的研究[J]. 山西师范大学学报:自然科学版, 2000(3):68-71
- [5] 苗振旺,周维民,霍履远,等. 强大小蠹生物学特性研究[J]. 山西林业科技, 2001(1):34-37
- [6] 张历燕,陈庆昌,张小波. 红脂大小蠹形态学特征及生物学特性研究[J]. 林业科学, 2002,38(4):95-99
- [7] 苗振旺,郭保平,张晓波,等. 塑料裙干基密闭熏蒸法防治红脂大小蠹试验[J]. 中国森林病虫, 2002,21(4):24-25
- [8] 赵建兴,杨忠岐,李广武,等. 释放大啮蜡甲控制红脂大小蠹技术效果评价[J]. 现代农业科技, 2010(3):161-163
- [9] 赵建兴,杨忠岐,梁廷杰. 利用捕食性天敌大啮蜡甲防治大小蠹属害虫的研究进展[J]. 林业科学, 2008,44(1):151-156
- [10] 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
- [11] 苗振旺,赵明梅,芦学林. 大小蠹植物引诱剂对红脂大小蠹诱引效果试验[J]. 山东林业科技, 2002(1):23-25
- [12] 苗振旺,张钟宁,王培新,等. 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] 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
- [14] 贾洪敏,黄大庄,曹逸霞,等. 松脂单萜类物质与油松对红脂大小蠹抗性的关系[J]. 东北林业大学学报, 2008,36(1):48-50
- [15] Rudinsky J A, Michael R R. Sound production in Scolytidae: stridulation by female *Dendroctonus* beetles[J]. Journal of Insect Physiology, 1973,19(3):689-705
- [16] Rudinsky J A, Ryker L C, Michael R R, et al. Sound production in Scolytidae: female sonic stimulus of male pheromone release in two *Dendroctonus* beetles[J]. Journal of Insect Physiology, 1976,22(12):1675-1681
- [17] Ryker L C, Rudinsky J A. Sound production in Scolytidae: Acoustic signals of male and female *Dendroctonus valens* LeConte[J]. Z. Angew. Entomol., 1976;80,113-118