

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.03.12

杨树木段内光肩星天牛幼虫数量的声学检测

祁晓杰, 卜宇飞, 许志春, 温俊宝*

(北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 光肩星天牛是重要的检疫性林木害虫, 由于幼虫在树干内部取食, 现有的方法很难检测到幼虫的为害情况。利用声音检测技术在室内对杨树木段中不同数量的光肩星天牛幼虫产生的声音信号进行检测, 结果显示: 不同数量光肩星天牛幼虫产生的声音信号在时域、频域方面均无显著差异, 脉冲持续时间在 3–6 ms 范围内; 信号的频率在 7235.20–7924.20 Hz 范围内, 且主频为 7725.00 Hz。但不同数量光肩星天牛幼虫产生的声音信号的脉冲个数之间存在显著的差异 ($P < 0.05$), 且脉冲个数与幼虫数量之间存在线性关系, 即 $y = 13.14x - 3.55$ ($R^2 = 0.986$), 利用此数量关系可以在今后的检测中判断光肩星天牛幼虫的虫口数量和危害状况。

关键词: 光肩星天牛; 幼虫; 声音检测; 脉冲个数

中图分类号: Q965; S433.5

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 02-0529-06

Using acoustic technology detect the different numbers of *Anoplophora glabripennis* larvae in poplar

QI Xiao-Jie, BU Yu-Fei, XU Zhi-Chun, WEN Jun-Bao* (Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae) an invasive pest quarantined in China, is difficult to detect because the larvae feed inside trees. Acoustic technology was used to detect the different numbers of larvae sound. The result indicates there were no significant differences between different numbers of larval and signal impulses characteristics. The signal impulses duration is 3–6 ms, average impulses duration of 4.6 ms, signal frequency range 7235.20–7924.20 Hz, and dominant frequency for 7752.00 Hz. But there were significant differences between numbers of larvae and numbers of signal impulse which exist a linear relationship. This may provide basic evidence for detect different numbers of larvae.

Key words: *Anoplophora glabripennis*; larvae; acoustical detection; signal impulses

光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) 属鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae 星天牛属 *Anoplophora* (陈世骧, 1959), 是我国杨树等阔叶树种的重要蛀干害虫, 2003 年和 2013 年两次被列入全国林业危险性有害生物名单, 也是世界性的重要检疫性害虫。光肩星天牛生命周期较长, 生活隐蔽, 自然控制作用

较弱, 防治难度大。它的危害导致树木千疮百孔、树干整株枯死, 造成重大的经济损失 (骆有庆等, 1999)。光肩星天牛自身扩散的能力很弱, 远距离的传播主要是随着虫害木的扩散。对光肩星天牛的检疫、防治一直是森防工作的难题。

传统的蛀干害虫检疫采用目视、剖检等手段, 对于藏匿在树干内部的钻蛀性害虫检疫效果不佳

基金项目: 北京市科技专项 (Z131105002813017)

作者简介: 祁晓杰, 男, 1990 年生, 硕士研究生, 研究方向为蛀干害虫声音探测, E-mail: qxiaojie_1214@126.com

* 通讯作者 Author of correspondence, E-mail: wenjb@bjfu.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-07-09; 接受日期 Accepted: 2015-08-26

且费工费时。声音检测技术作为一种新型的检测方法,在降低检测成本,提高检测准确性和灵敏度等方面有很大的潜力。声音检测技术最早是用于仓储害虫和地下害虫的检测,如耿森林等(2006)对仓储害虫活动声信号特征进行了分析研究,建立了仓储害虫活动声的数据库,郭敏等(2006)研究了赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*、谷蠹 *Rhizopertha dominica*、杂拟谷盗 *Tribolium confusum* 等5种储粮害虫爬行声的特征。Mankin等(2002, 2002a, 2002b)探测了印度谷螟 *Plodia interpunctella*、葡萄象以及白蚁等昆虫的声学特性。

近几年随着技术的进步,声音检测技术也逐渐应用于蛀干害虫的研究中,美国农业部研究人员利用 AED-2000 对红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* 等危害棕榈树的象甲类蛀干害虫进行了声音特性的研究,并根据提取出的声音信号特征应用于野外的实际检测,效果良好能满足实际应用(Mankin *et al.*, 2011; Herrick *et al.*, 2012)。赵元吉(2009)、韦雪青(2010)等也利用 AED-2000 对红脂大小蠹 *Dendroctonus valens*、双条杉天牛 *Semanotus bifasciatus* 等蛀干害虫进行了声音探测的初步研究,证明了声音检测应用于蛀干害虫检测的可行性。王鸿斌等(2012)研究了红脂大小蠹两性成虫声音信号特性,利用自主开发的昆虫声音采集与录制系统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分析。许小芳等(2011)对木材钻蛀性害虫活动声信号进行了采集,提取并分析其活动声征。潘杰等(2014)阐述了缝锤小蠹 *Gnathotrichus materiarius* 与美西部云杉小蠹 *Gnathotrichus sulcatus* 的声学特征,发现同种小蠹的取食和爬行声信号差异明显,两种小蠹间取食和爬行声信号差异也较大。由于害虫声学特征的监测容易受到环境噪声的干扰,目前声音探测的研究主要侧重于害虫声学特征的研究,用于害虫数量监测相对较少(陈梅香等, 2015)。本文旨在通过研究不同数量光肩星天牛幼虫声音信号的特性,明确幼虫声音信号特点,找到幼虫数量与声音信号之间的关系,为今后检测光肩星天牛幼虫的危害提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 光肩星天牛幼虫及带虫木段的准备

试验中所用光肩星天牛幼虫采集自青海省西宁市乐家湾镇防护林区。将有虫杨树木段带回实验室,抛开木段挑选大小相似的幼虫30头(长约22.73–32.91 mm,重约0.24–0.45 g)。取健康无虫杨树木段12根,木段长为30 cm,直径15 cm,分为4组。按照1, 2, 3, 4头幼虫数量数量分别在1, 2, 3, 4组杨树木段中放入挑选出的头光肩星天牛幼虫。每组木段按照所接幼虫头数分别在木段上钻孔,钻孔深度为6 cm,直径为10 mm,钻孔位置均匀分布在木段上。在每个孔内插入一小块纸巾,防止幼虫从孔内爬出。在每根木段的中心位置钻一直径1/14 cm,深为8 cm的孔,作为检测点。将接好幼虫的木段在室温条件下放置1 d后进行录音。

1.1.2 试验仪器

使用美国 AEC 公司生产的 AED-2010 型声音探测器组件进行音频录制。AED-2010 组件包括 AED-2010 检测器, SP-4L 型探头, DMH-30 型磁性附着体以及与其相连接的在探头的基部有一个磁性附着体(DMH-30 型)使其与长为8 cm,直径1/14 cm的钻头相连接,以便将传感器插入待测木段中进行探测。

AED-2010 的主机与数字录音机(日本罗兰公司生产的 ROLAND EDIROL R09)连接,数字录音机的采样频率为44.41 kHz,位深32 bit。以对采集到的音频信号进行存储和回放,存储的音频信号为 Wav 格式。

1.1.3 分析软件

使用 Raven pro 1.5(美国康奈尔大学鸟类研究实验室 <http://www.birds.cornell.edu/brp/raven/RavenOverview.html>) 音频信号分析软件对所录制的音频信号进行剪切、降噪、检测等处理,利用 SPSS 软件对所得数据结果进行统计分析。

1.2 试验方法

1.2.1 音频数据的采集

在安静的隔音室内对带虫木段进行声音录制。将带虫木段至于吸音海绵上,把 SP-4L 探头的钻头部分插入检测点后开始声音录制,在录音过程中要避免接触传感器产生噪音。每个木段每次录音10 min,录音时间为9:00–17:00。

将录制的各组音频数据在 Raven pro 1.5 中读取, 从每段录音中选取 2 min 的音频片段作为检测音频。在选择时挑选含有幼虫活动信号最为集中的位置进行截取。每组各选取 10 段录音作为重复。

1.2.2 信号降噪及检测

利用带通滤波器对截取的 2 min 原始音频信号进行滤波降噪处理, 以降低背景噪音对探测信号的干扰。在 Raven pro 1.5 中设计一个带通滤波器, 滤波范围在 0.5 – 12 kHz。对降噪处理后的音频保存, 做进一步的检测分析。

利用 Raven pro 1.5 软件中的限制带宽能量探测器功能对信号特征和脉冲个数进行检测。自定义设置检测参数 (检测频率范围在 500 – 10000 Hz, 最短持续时间为 3 ms, 最长持续时间为 30 ms, 最短间隔时间为 50 ms), 对各组录音进行自动检测, 以测定每段幼虫声音中的单个脉冲数量, 脉冲持续时间以及频率值等相关特征值。检测结果如图 1 所示, 软件会自动对符合设定参数的脉冲信号进行选取标记, 计算出其相应的信号特征值并对所选脉冲信号进行计数。

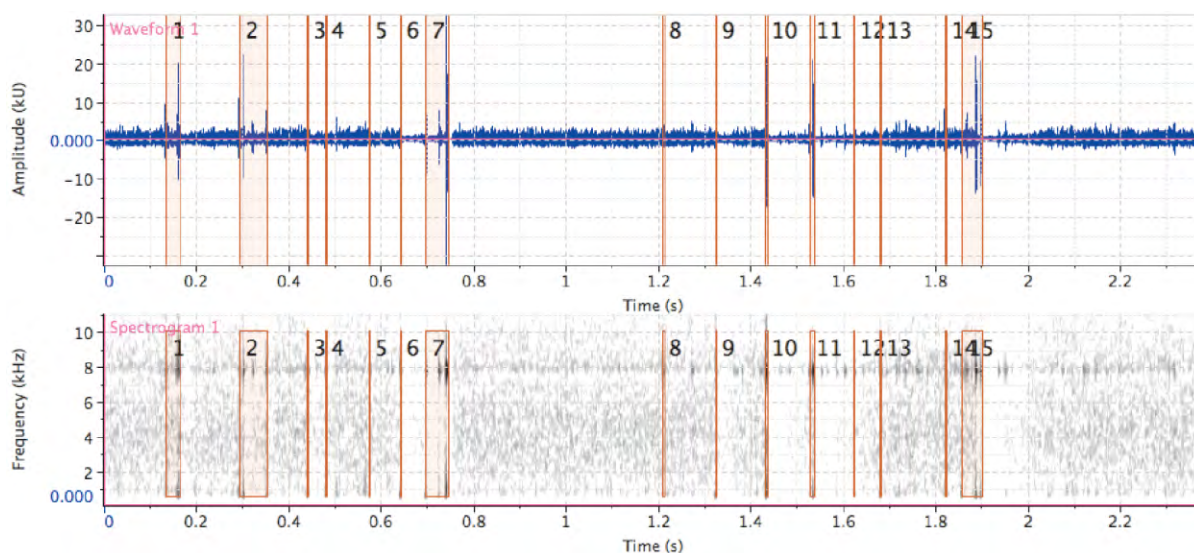


图 1 Raven pro 1.5 中限制带宽能量探测器检测结果示例

Fig. 1 Examples of band limited energy detector result

注: 带数字编号的红色方框即为检测到的脉冲信号。Note: The sound impulses in red boxes with number indicate detection result.

2 结果与分析

2.1 不同数量光肩星天牛幼虫声音信号的波形特性

利用 Raven pro 1.5 软件对处理后的不同数量光肩星天牛幼虫声音信号绘制波形图和频谱图, 如图 2 所示。通过对波形图和频谱图的观察可以发现, 不同数量光肩星天牛幼虫产生的声音信号脉冲相似, 信号脉冲的振幅和频率范围较大, 在 500 – 10000 Hz 之间。振幅范围大约高于背景噪音水平两个数量级。并且能从波形图中可以看到, 随着幼虫数量的增加幼虫产生的脉冲个数也呈增加趋势。

2.2 不同数量光肩星天牛幼虫声音信号的时域特性

不同数量光肩星天牛幼虫声音中单个脉冲持

续时间结果如图 3 所示。利用 SPSS 对各组数据之间进行差异性分析, 结果表明不同数量的光肩星天牛幼虫产生的声音信号的脉冲持续时间之间没有显著的差异。光肩星天牛幼虫的单个脉冲持续时间在 3 – 6 ms 范围内, 平均脉冲持续时间为 4.7 ms。

2.3 不同数量光肩星天牛幼虫声音信号的频域特性

不同数量光肩星天牛幼虫声音信号脉冲的峰值频率如表 1 所示, 光肩星天牛幼虫的单个脉冲频率在 7235.20 – 7924.20 Hz 范围之间。对不同数量光肩星天牛幼虫声音信号的峰值频率进行频数统计, 结果表明不同数量的光肩星天牛幼虫声音信号的主频值均为 7752.00 Hz。

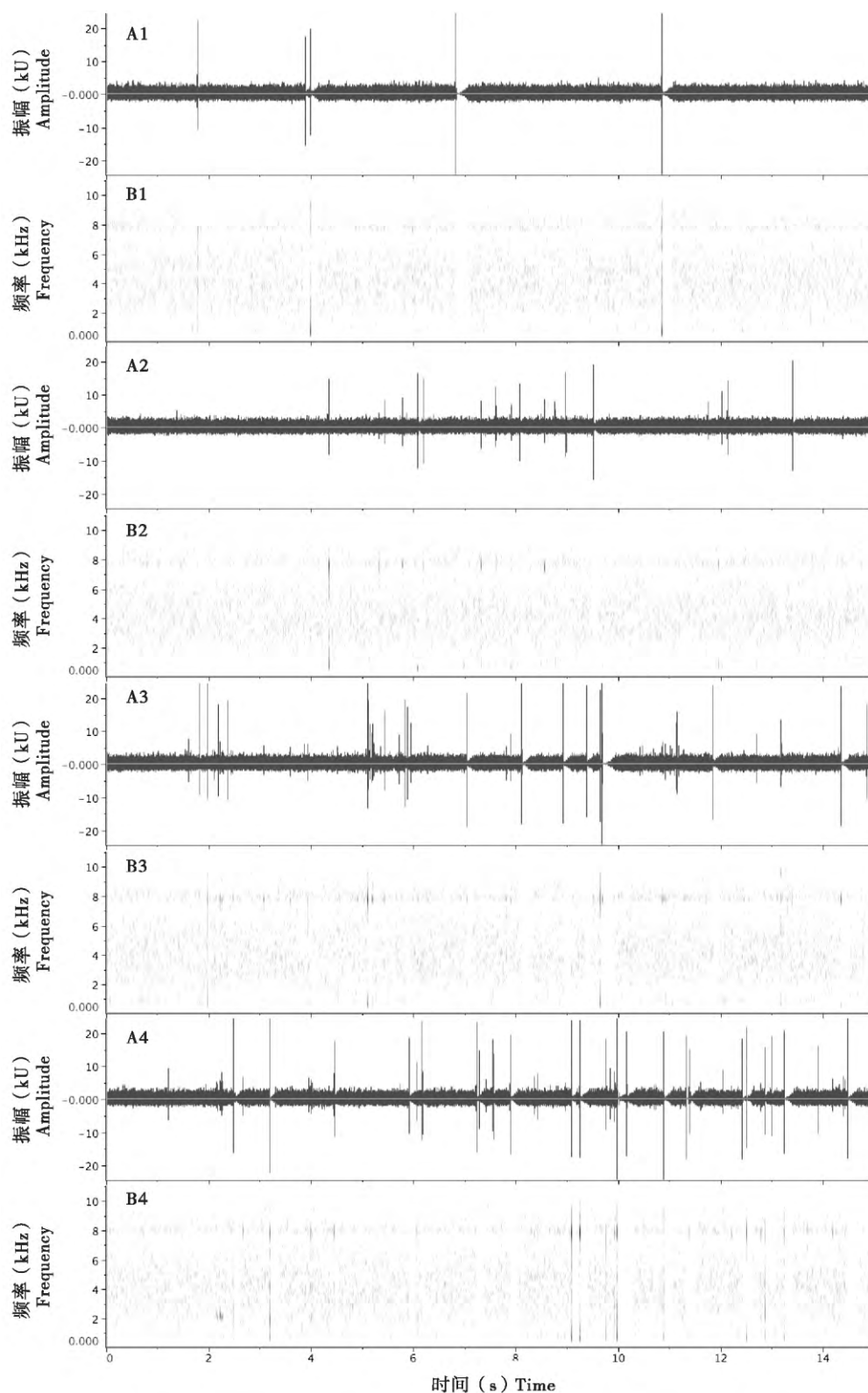


图2 不同数量光肩星天牛幼虫声音的波形图 (A) 和频谱图 (B) 示例

Fig. 2 Examples of oscillogram (A) and spectrogram (B) of sound impulses produced by different numbers of *Anoplophora glabripennis* larval

注: 1、2、3、4 分别表示对应图信号中光肩星天牛幼虫的数量。Note: The 1, 2, 3, 4 indicate numbers of larval, respectively.

表 1 不同数量光肩星天牛幼虫声音峰值频率统计表

Table 1 Rate time distribution table of sound impulses peak frequency produced by different numbers of *Anoplophora glabripennis* larval

峰值频率 (Hz)	1 头幼虫	2 头幼虫	3 头幼虫	4 头幼虫
Peak frequency	One larvae	Two larvae	Three larvae	Four larvae
7235. 20	1	1	0	0
7407. 40	4	9	0	2
7579. 70	46	28	6	14
7752. 00	73	105	169	463
7924. 20	4	2	165	26

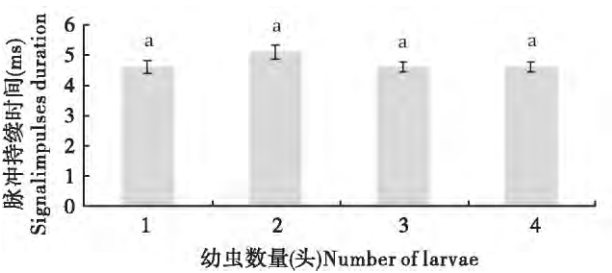


图 3 不同数量光肩星天牛幼虫脉冲持续时间

Fig. 3 The duration of sound impulses produced by different numbers of *Anoplophora glabripennis* larval

2. 4 不同数量光肩星天牛幼虫声音信号的脉冲数量分析

对光肩星天牛幼虫数量与声音信号的脉冲个数之间关系进行统计分析 (图 4), 结果表明, 分别含有 1, 2, 3, 4 头幼虫的信号脉冲个数之间存在显著性差异, 表明幼虫数量对信号脉冲个数具有显著性影响, 且随着幼虫数量的增加, 相应的脉冲个数也随之增加。利用 SPSS 对幼虫个数与单个脉冲数量之间进行线性拟合分析, 发现两者间存在线性关系, 即 $y = 13.14x - 3.55$ ($R^2 = 0.986$)。

3 结论与讨论

不同种类幼虫声音信号差异主要反应在时域、频域特性上, 如宽斑脊虎天牛 *Xylotrechus colonus* Fabricius、鳞毛粉蠹 *Minthea rugicollis*、黑双棘长蠹 *Sinoxylon conlgerum* 的蛀食声信号脉冲持续时间主要分布于 7 - 13 ms 区间、7 - 14 ms 区间、10 - 50 ms 区间, 信号频率主要分布于 1.50 - 6.20 kHz、1.50 - 1.70 kHz、3.60 - 6.70 kHz (姜定风等,

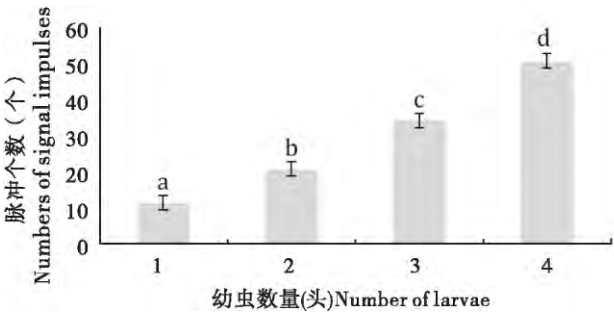


图 4 不同数量光肩星天牛幼虫声音信号脉冲个数差异

Fig. 4 The numbers of sound impulse produced by different numbers of *Anoplophora glabripennis* larval

2013)。光肩星天牛幼虫的声音信号特征与这几种钻蛀类害虫有明显区别, 可以利用这些信号特征对不同种类的钻蛀性害虫进行识别。

时域和频域特征反应了钻蛀性害虫声音的种间差异, 但同种幼虫产生的声音信号在时域和频域特性上没有显著差异。在对光肩星天牛幼虫声音信号脉冲个数与幼虫数量之间的分析中发现, 不同数量光肩星天牛幼虫在信号脉冲数量上存在显著差异 ($P < 0.05$), 且幼虫数量和脉冲个数之间存在线性关系, 即 $y = 13.14x - 3.55$ ($R^2 = 0.986$)。Mankin 等 (2001) 利用声音探测方法对柑桔象鼻虫 *Diaprepes abbreviatus* (L.) 进行了数量探测的研究中, 也发现了脉冲数与害虫生物数量之间存在一个明显的回归关系。利用这一线性关系可以在今后的实际应用中对被测木段内幼虫的虫口数量进行估计。

本试验是在实验室条件下完成, 试验中的光肩星天牛幼虫数量是由人为接入的幼虫所决定, 这在一定程度上不能完全反应自然条件下幼虫的分布规律。光肩星天牛幼虫生活史较长, 在同一

木段内可能存在不同龄期大小的幼虫, 也可能对声音信号的分析产生干扰。Herrick 等 (2012) 对红棕象甲的初龄和末龄幼虫进行声音信号的研究中发现两者的信号间存在一定差异。Mankin 等 (2008) 还对光肩星天牛幼虫在不同种类的寄主中产生的声音信号进行了分析, 结果表明声音信号在不同寄主之间也存在一定差异。因此在本试验的基础上还需对其他影响因素进行控制试验以及野外实际验证以提高害虫声音探测的准确性。

声音检测技术在蛀干害虫的检测方面有很大的优越性, 在预测预报林木蛀干害虫的发生情况和早期防治方面有很大的发展前景。但目前声音探测技术的实际应用还有一定的困难, 如何在野外环境中降低背景噪音的干扰, 如何甄别多种昆虫声音等问题还需要进一步的研究。

参考文献 (References)

- Cheng SX. Economic Insect Fauna of China [M]. Beijing Science Press, 1959. 陈世骧. 中国经济昆虫志 [M]. 北京: 北京科学出版社, 1959]
- Chen MX, Yang XT, Shi BC, *et al.* Research progress and prospect of technologies for automatic identifying and counting of pests [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (1): 176–183.
- 陈梅香, 杨信廷, 石宝才, 等. 害虫自动识别与计数技术研究进展与展望 [J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37 (1): 176–183]
- Geng SL, Shang ZY. Research progress and prospects of stored grain insect sound detection technology [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 4: 204–207. 耿森林, 尚志远. 储粮害虫声音检测技术研究进展与展望 [J]. *农业工程学报*, 2006, 4: 204–207]
- Guo M, Shang ZY, Bai Y. Collecting and analyzing the sound signal character of pest in stored grain [J]. *Journal of Yunnan University* (Natural Sciences Edition), 2006, 28 (6): 497–503. 郭敏, 尚志远, 白雅. 储粮害虫微弱声音信号特征提取与分析 [J]. *云南大学学报 (自然科学版)*, 2006, 28 (6): 497–503]
- Herrick NJ, Mankin RW. Acoustical detection of early instar *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in Canary Island date palm, *Phoenix canariensis* (Arecaceae) [J]. *Fla. Entomol.*, 2012, 95: 983–990.
- Luo YQ, Li JG. Bionomics and occurrence of *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) [J]. *Plant Quarantine*, 1999, 1: 7–9. 骆有庆, 李建光. 光肩星天牛的生物学特性及发生现状 [J]. *植物检疫*, 1999, 1: 7–9]
- Lou DF, Xu XF, Li J, *et al.* Acoustic characteristics and their comparison of six species of wood borers [J]. *Plant Quarantine*, 2013, 1: 6–10. 娄定风, 许小芳, 李嘉, 等. 6 种木材钻蛀性昆虫的声学特征与比较 [J]. *植物检疫*, 2013, 1: 6–10]
- Mankin RW, Lapointe SL, Franqui RA. Acoustic surveying of subterranean insect populations in citrus groves [J]. *J. Econ. Entomol.*, 2001, 94 (4): 853–859.
- Mankin RW. Increase in acoustic detectability of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae in stored products after electrical stimulation [J]. *Fla. Entomol.*, 2002, 85: 524–526.
- Mankin RW, Fisher JR. Acoustic detection of black vine weevil, *Otiiorhynchus sulcatus* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae) larval infestations in nursery containers [J]. *J. Environ. Hort.*, 2002, 20: 166–170.
- Mankin RW, Osbrink WL, Oi FM, *et al.* Acoustic detection of termite infestations in urban trees [J]. *J. Econ. Entomol.*, 2002, 95: 981–988.
- Mankin RW, Smith MT, Tropp JM, *et al.* Detection of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae in different host trees and tissues by automated analyses of sound – impulse frequency and temporal patterns [J]. *J. Econ. Entomol.*, 2008, 101: 838–849.
- Mankin RW. Recent developments in the use of acoustic sensors and signal processing tools to target early infestations of red palm weevil in agricultural environments [J]. *Fla. Entomol.*, 2011, 94: 761–765.
- Pan J, Liu X, Shao PZ, *et al.* Acoustic characteristics and their comparison of *Gnathotrichus materiarius* and *Gnathotrichus sulcatus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 3: 395–401.
- 潘杰, 刘翔, 邵沛泽, 等. 缝锤小蠹与美西部云杉小蠹的声学特征与比较 [J]. *环境昆虫学报*, 2014, 3: 395–401]
- Wang ZG. Study on the Occurrence Dynamics of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) and its Control Measures [D]. Northeast Forestry University, 2004. 王志刚. 中国光肩星天牛发生动态及治理对策研究 [D]. 东北林业大学, 2004]
- Wei XQ. Primary Study on Sound Monitoring Technology of Wood Boring Insects [D]. Beijing Forestry University, 2010. 韦雪青. 林木蛀干害虫声音监测技术初探 [D]. 北京林业大学, 2010]
- Wang HB, Zhao LW, Luo Q, *et al.* Acoustic signals of *Dendroctonus valens* and structure of its stridulatory apparatus [J]. *Forest Research*, 2012, 1: 17–22. 王鸿斌, 赵丽稳, 罗茜, 等. 红脂大小蠹声音信号记录、分析与发声器官电镜观察 [J]. *林业科学研究*, 2012, 1: 17–22]
- Xu XF, Zhou HS, Lou DF, *et al.* Acquisition and power spectrum analysis of wood borer insects' activity sound [A]. Technical Acoustics, 2011. 许小芳, 周红生, 娄定风, 等. 木材钻蛀性害虫活动声信号的采集与分析 [A]. 声学学会, 2011]
- Zhao YJ. Study on Acoustic Detection Technique for *Semanotus blfasciatus* (Motschulsky) larvae [D]. Beijing Forestry University, 2009. 赵源吉. 双条杉天牛幼虫声信号监测技术研究 [D]. 北京林业大学, 2009]