

多功能昆虫鸣声信号采集和分析系统及其在褐飞虱鸣声研究中的应用

姚青¹ 赖凤香¹ 傅强¹ 张志涛¹ 程登发²

(¹ 中国水稻研究所 水稻生物学国家重点实验室, 浙江 杭州 310006; ² 中国农业科学院 植物保护研究所, 北京 100094)

Data Acquisition and Analysis System of Insect Acoustic Signal and Its Application in Signal Study of the Brown Planthopper

YAO Qing¹, LAI Feng-xiang¹, FU Qiang¹, ZHANG Zhi-tao¹, CHENG Deng-fa²

(¹ State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; ² Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: A set of data acquisition and analysis system of insect acoustic signal (DAASIAS) with friendly interface, simple operation and multifunction was developed. DAASIAS could sample and analyze insect acoustic signals in real time. By using DAASIAS, both observing insect behavior and analyzing signal could be conducted at the same time. DAASIAS was applied firstly in sampling and analyzing the brown planthopper signals and results showed that DAASIAS was steady and provided a powerful platform for deeply studying insect sound communication.

Key words: insect; acoustic signal; signal acquisition; signal analysis; brown planthopper

摘要: 建立了一套多功能昆虫鸣声信号采集和分析系统(DAASIAS), 该系统界面友好、操作简单、功能齐全, 可以对昆虫鸣声信号进行实时采集和各种时频分析, 实现了昆虫行为观察与信号分析同步。DAASIAS 首先运用在褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 鸣声的采集和分析, 结果证明该系统性能稳定, 为昆虫声通讯的深入研究提供了必需的技术平台。

关键词: 昆虫; 鸣声信号; 信号采集; 分析信号; 褐飞虱

中图分类号: Q967; S435.112+3

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2004)02-0171-05

昆虫声通讯的研究, 首先需要对昆虫鸣声进行记录, 而昆虫鸣声记录的好坏直接影响信号分析的结果。以前对昆虫鸣声的记录一般是通过传感器, 利用模拟磁带录音机进行录音。但磁带录音机在录音和放音过程中, 均不可避免地会引入一定的噪声, 且具有频率响应变化偏大, 谐波失真, 以及走带机构运行中引起磁带速度瞬时变化而造成放音抖动等现象; 同时, 磁带保存需要有适宜的环境, 且在每次播放过程中常会引起磁粒丢失, 数据的获取也相当费时, 很难对声音信号进行剪辑或修饰等; 如果对声音信号作进一步分析研究, 则要回放磁带上的录音, 通过滤波器滤波, 然后利用示波器或记录仪来观察声信号的波形图, 通过选频电平表、模拟频谱仪或声谱仪等仪器进行时频分析, 这些仪器不但价格昂贵、而且体积较大, 很难实现昆虫行为观察与信号分析同步, 更不适合野外工作。随着计算机软、硬件和数字信号处理技术的飞速发展, 这些缺点和不足可以得到克服。高速的 CPU 和优化的软件, 以及快速的 AD/DA 板, 数字化的 I/O 接口等新科技为昆虫鸣

声信号数字化记录、实时分析、实现行为观察与信号分析同步创造了条件。网络的发展也使数字声音的获取、拷贝变得更快捷、更方便。

笔者根据昆虫声通讯研究的需要, 利用现代计算机技术和信号分析手段, 建立了一套多功能昆虫鸣声信号采集和分析系统 (data acquisition and analysis system of insect acoustic signal, 简称 DAASIAS)。该系统克服了磁带录音的缺点, 集信号实时记录、实时分析及信号重放等多种功能于一机, 为昆虫声通讯研究提供了有力的技术保障, 大大提高了昆虫声通讯研究的效率和深度。

褐飞虱是东南亚、印度、澳大利亚北部等地为害水稻的一种重要农业害虫。其成虫具有鸣叫习性, 它们能沿寄主植株发出振动信号进行通讯^[1]。深入研究它们的鸣声特征, 将有助于筛选和优化褐飞

收稿日期: 2003-02-17; 修改稿收到日期: 2003-07-03。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070427); 浙江省自然科学基金资助项目(399404)。

第一作者简介: 姚青(1974—), 女, 助理研究员, 博士。

虱的诱集信号,加速褐飞虱声诱集技术的实用化。笔者利用该系统采集和分析了褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 的鸣声,达到了预期效果。

1 材料与方法

1.1 多功能昆虫鸣声信号采集和分析系统

多功能昆虫鸣声信号采集和分析系统(DAASIAS)是根据昆虫声通讯研究的需要而建立的,该系统由软、硬件两部分组成。

硬件环境:DAASIAS 硬件部分由一台计算机、一张数据采集卡和配套的拾音器组成。计算机的基本配置:显示器,主频 100 M 以上的 CPU,64 M 内存,10 G 硬盘以及键盘、鼠标等,以适应快速的信号采集和数据处理的需要。数据采集卡则选用了 ADLink 公司生产的 PCI-9118HG^[2],该卡具有 32 位 PCI 总线,12 位的分辨率,最高采样频率为 330 kHz,50-pin SCSI-II 连接器可以方便地连接外界设备,其功能完全可以满足大多数昆虫鸣声研究的需要。拾音器(即传感器)需具备频带宽、灵敏度高、失真小、固有噪音低、性能稳定等特点。在录制不同昆虫声音时,尽可能选择符合研究对象鸣叫特点的拾音器。

软件环境:DAASIAS 软件由信号采集和信号分析两部分组成。昆虫声信号采集程序是利用 Visual C++ 语言^[3]和 9118HG 卡附带的函数编制而成,而声音信号分析程序则是利用 MATLAB 语言集成的。

1.2 试虫准备及利用 DAASIAS 进行鸣声采集与分析

试虫褐飞虱取自中国水稻研究所养虫室。每天吸取初羽化成虫,雌、雄虫隔离饲养,备用。

饲虫和实验用苗均采用感虫品种 TN1。按张志涛等^[5]的方法制作小型观察笼,稻株植于小陶盆,观察笼顶盖用人造海绵制成,稻株从海绵中央小孔伸出笼顶 3 cm。试验前将试虫吸入笼内稻株上静置 1 h 以上,以张志涛等^[5]制作的拾音器连接 DAASIAS 采集通道和稻秆。试验室温(27±1)℃,环境保持安静,避免噪音干扰。

打开 DAASIAS 采集界面,预先为所要采集的信号设定一个文件名,然后根据需要调整采样频率,注意采样频率应满足采样定理,即采样频率必须大于信号最大频率的 2 倍。利用 DAASIAS 分析工具可以对所保存的文件进行各种时频分析。

2 结果与分析

2.1 DAASIAS 功能简介

DAASIAS 模拟信号采集部分提供了 8 个模拟采集通道,可同时进行采集。在采集某个信号之前,预先设定一个文件名,文件类型采用波形文件格式 Wav,该格式为数字音频技术中最常用的格式,可以在大多数媒体播放器中播放。DAASIAS 中的采样频率可以根据需要进行调整,范围为 0~330 000 Hz。采集界面可以实时显示信号的波形,不同通道可用不同颜色加以区分;并通过调整每帧采样数来控制波形运动的快慢。按开始键就可以对信号进行采集,采集界面还提供了暂停、恢复以及停止、退出等基本功能键。

DAASIAS 的声音信号分析部分主要包括波形剪辑、复制、粘贴、拉伸、压缩;信号回放、信号滤波处理、波形时频分析、人工合成模拟信号以及小波分析等各种功能,还可以对波形进行相似性比较、波形相加、减、乘等。

2.2 褐飞虱鸣声采集和分析结果

采样频率设定为 10 kHz,按 Start 键就可以采集褐飞虱的鸣声信号(图 1)。图中可以清晰地看出褐飞虱雌虫求偶鸣声中 4 个脉冲的波形图。DAASIAS 实现了褐飞虱鸣声数字化录音,具有更高的精确度,这为进一步深入研究褐飞虱如何进行声通讯提供了量化基础。

在 DAASIAS 信号分析界面中可以打开已保存的声音文件,根据需要还可以对褐飞虱信号进行任意剪辑和组合,从而更细致地研究这些信号片段和声学因子。图 2 是褐飞虱雌雄虫在求偶呼应过程中所记录下来的信号片段,从图 2 中可以明显地看出记录的雄虫求偶鸣声前面部分由数个不规则的连续脉冲组成,中间部分 b 由时间长度约 1.5 s、脉冲重复频率为 80 Hz 左右的密集脉冲组成,后面还有数个不连续的短脉冲;而雌虫鸣声是由一串声强比较稳定和频率在 20 Hz 左右的脉冲组成,这与张志涛等^[6]描述的情况相似。从波形图中还可以看出雌虫在雄虫一次完整求偶声没有结束时(但 b 段已结束)即开始应答,雄虫则在雌虫鸣叫过程中完成后面的数个脉冲。

利用 DAASIAS 对褐飞虱雌、雄虫求偶鸣声信号的各个信号片段进行频谱分析,结果表明褐飞虱雄虫一次求偶鸣声中的中间部分 b 的基音周期为脉冲重复频率的倒数,且 b 段脉冲重复频率值下降,下

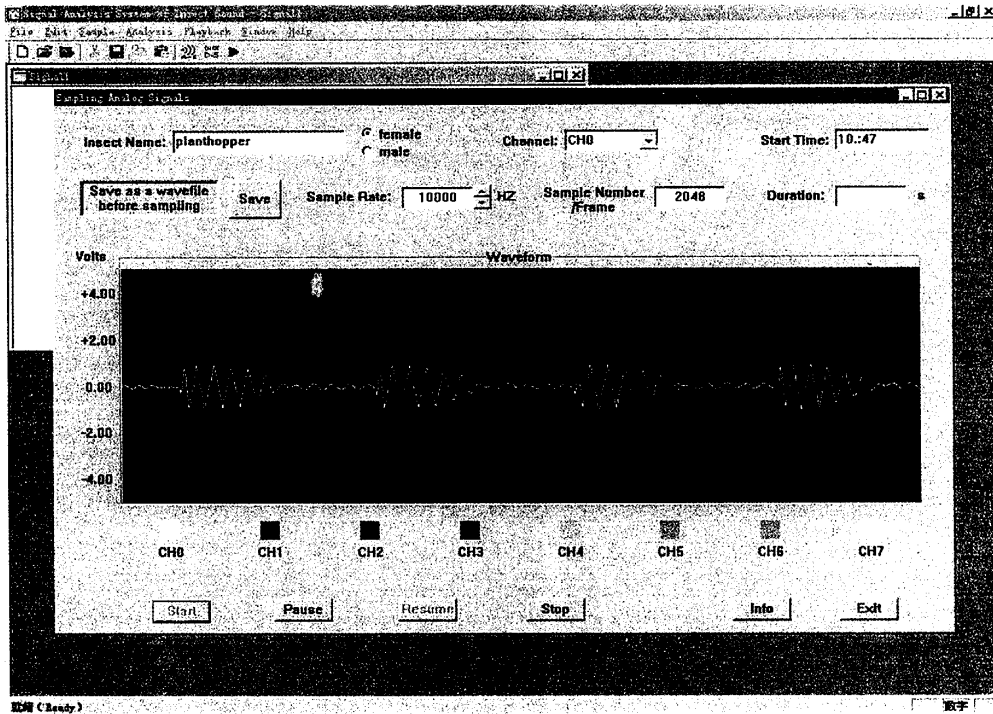


图1 褐飞虱雌虫求偶信号采集界面

Fig. 1. The sample interface of female courtship signal of the brown planthopper.

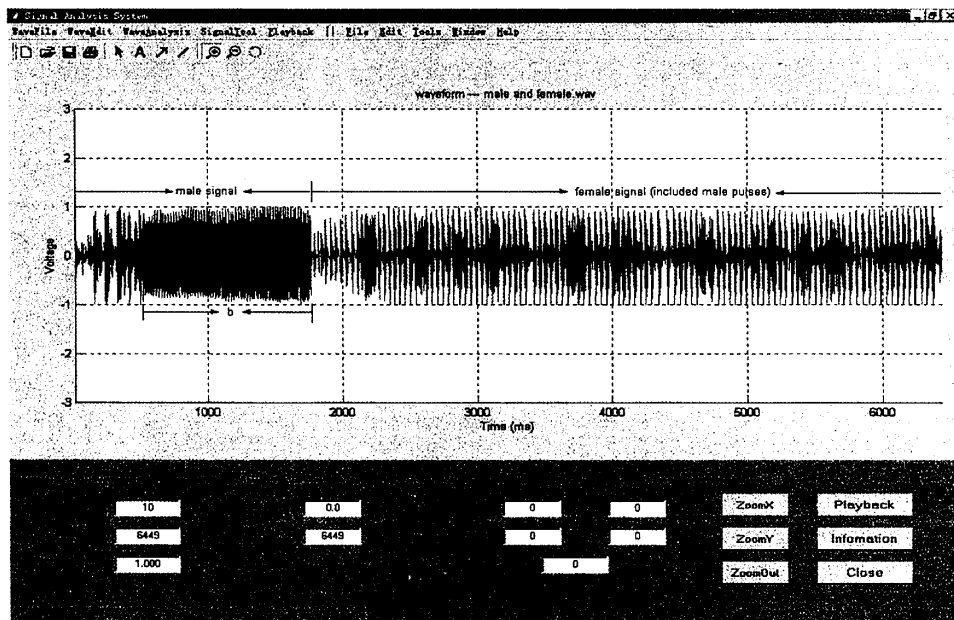


图2 褐飞虱雌、雄求偶互应时的波形图

Fig. 2. Waveform of the brown planthopper mating signal-response.

降幅度平均为 4.0 Hz;而雌虫求偶鸣声却不存在这种现象。由于昆虫求偶鸣声具有种的特异性,褐飞虱雌、雄虫在求偶互应过程中,一般都是雄虫主动鸣叫,所以其求偶鸣声中必定具有区别于其他昆虫的

特征,褐飞虱雄虫脉冲重复频率可能为雌虫提供了识别同类雄虫的信息。

图3是对褐飞虱雌虫一次求偶鸣声截取时间长度为1s的波形图以及利用DAASIAS进行频谱分

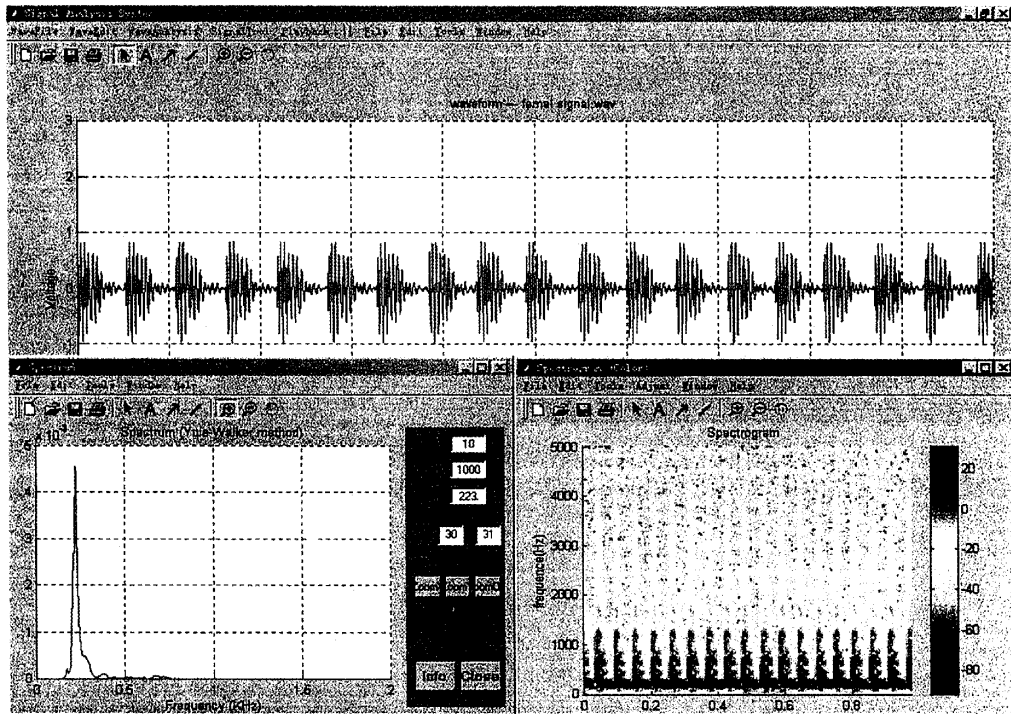


图3 褐飞虱雌虫鸣声(1 s)波形图以及其频谱图和声谱图

Fig. 3. Waveform of the brown planthopper female signal (1 s) and its spectrum and spectrogram.

析的图形。从波形图中可以看出雌虫求偶鸣声比较规则,脉冲重复频率为18.3 Hz,频谱图显示其求偶鸣声的主振频率为223.4 Hz,声谱图可以从三个维度即频率、时间及强度来分析信号。

通过 DAASIAS 的回放功能,回放褐飞虱雌、雄虫的各种模拟信号及其组合,并结合观察其行为反应,提取褐飞虱的敏感声学片段和声学因子,结果表明,褐飞虱雌虫仅在回放雄虫求偶鸣声中的中间片段 b 时才作出应答,由此表明该段是雌虫识别雄虫求偶鸣声的敏感声学片段。利用 DAASIAS 人工模拟信号的功能,改变脉冲重复频率、主振频率以及刺

激时间长度、间隔等各种声学因子进行人工模拟雌、雄虫的求偶鸣声并进行回放,分别观察雌、雄虫对各种信号的反应情况,结果见表1和表2。

从表1和表2可以看出,改变人工模拟信号的脉冲重复频率,雌、雄虫对模拟信号的反应比例明显下降;仅改变主振频率时,反应比例也有所下降,但总体上下降幅度没有前者大,由此表明脉冲重复频率是雌、雄虫识别异性的一个重要关键因子,而主振频率的变化对异性的性兴奋影响不大,但如超过一定阈值也会影响雌、雄虫对同类异性求偶鸣声的识别能力。

表1 褐飞虱雄虫对回放雌虫人工模拟信号的反应

Table 1. Male of the brown planthopper responding to female synthesized signal.

脉冲重复频率 Pulse repetition frequency/Hz	主振频率 Main vibration frequency/Hz	雄虫反应比例 Proportion of male response/%	雄虫样本数 No. of males
12	225	5.3	19
22	225	94.7	19
27	225	26.3	19
22	50	59.1	22
22	400	68.2	22

表2 褐飞虱雌虫对回放雄虫人工模拟信号的反应

Table 2. Female of the brown planthopper responding to male synthesized signal.

脉冲重复频率 Pulse repetition frequency/Hz	主振频率 Main vibration frequency/Hz	雌虫反应比例 Proportion of female response/%	雌虫样本数 No. of females
60	300	22.2	36
80	300	91.7	36
100	300	21.3	36
80	200	81.3	32
80	1900	65.6	32

3 讨论

DAASIAS 性能稳定, 经过对标准信号和褐飞虱鸣声信号进行时频分析, 各种结果都能准确地反映信号的声学特征, 表明 DAASIAS 用于昆虫鸣声信号采集和分析是可行的, 而且它具有以往昆虫鸣声信号研究无法比拟的优点。

DAASIAS 应用数字技术, 改变了以往利用磁带录音机录音的落后状况, 集信号记录、分析、重放于一机, 界面友好、操作简单、功能齐全。采集信号时预先设定好采样频率和文件名就可以对信号进行采集。以前实现信号片段的组合和编辑是一件比较烦琐的工作, 但利用 DAASIAS 信号编辑功能就变得方便而又简单, 它可以对信号进行任意剪切、复制、粘贴和反转、拉伸、压缩等。DAASIAS 信号分析部分提供了信号的各种时频分析, 可以得到更全面、细致和精确的结果。DAASIAS 实现了昆虫行为观察与信号分析同步, 无论是采集信号还是进行回放生测实验, 可以一边观察信号的波形动态图, 一边观察昆虫的行为反应, 如褐飞虱雄虫何时鸣叫, 雌虫何时回应, 雄虫如何搜寻雌虫等。根据波形图还可方便地计算出鸣叫时间、鸣叫间隔等, 从而进一步了解昆虫间如何进行“交流”, 从生物学意义上破译它们的“语言”。

DAASIAS 使用范围较广, 可供研究人员在室内对昆虫或其他生物的声音(根据拾音器的类型和敏感度)进行采集及各种时频分析和进行回放生测实验。将该套系统安装在笔记本电脑中, 就可以在野外录制有关生物的声音。

虽然 DAASIAS 提供了许多时频分析功能, 可以对信号进行细致的分析, 但我们不能盲目地使用它们, 而要根据实际情况, 选择合适的参数和函数,

否则会得到不正确的结论。值得注意的是, 信号采集时采样频率应满足采样定理, 即采样频率必须大于信号最高频率的 2 倍, 这样采集的数字样本才能把原始信号恢复出来。DAASIAS 分析部分使用 MATLAB 语言编程, 由于 MATLAB 语言执行效率相对较低, 因此在 DAASIAS 中打开或分析波形时, 文件不能太大, 一般不超过 2500 kB 为宜, 否则会花费较多时间; 如果文件太大, 在 DAASIAS 中提供了大文件分段截取的功能, 可以对文件先截取再打开或分析。

参考文献:

- 1 Ichikawa T, Ishii S. Mating signal of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae): Vibration of the substrate. *Appl Entomol Zool*, 1974, (9):196-198.
- 2 PCI-9118HG Manual. Los Angeles: ADLink Technology Inc, 1998.
- 3 Liu X S(刘小石), Zheng H(郑淮), Ma L W(马林伟), et al. Mastery of Visual C++6.0(精通 Visual C++6.0). Beijing: Tsinghua University Press(清华大学出版社), 2000. (in Chinese)
- 4 Zhou K(邹鲲), Yuan J Q(袁俊泉), Gong X Y(龚享钰). MATLAB 6.x Signal Analysis(MATLAB 6.x 信号处理). Beijing: Tsinghua University Press(清华大学出版社), 2002. (in Chinese)
- 5 Zhang Z T(张志涛), Chen L Y(陈伦裕). The technique for monitoring and playback of the substrate-transmitted vibration signals produced by insects. *Entomol Knowl* (昆虫知识), 1991, 28(3): 170-172. (in Chinese)
- 6 Zhang Z T(张志涛), Ying B T(殷柏涛), Chen L Y(陈伦裕). Courtship signals and mating behaviour of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Acta Entomol Sin* (昆虫学报), 1991, 34(3): 258-265. (in Chinese with English abstract)