



长白山区直翅目鸣虫发生器结构及鸣声多样性研究

作者： 端智卓玛 孙明伟 周芮宇 张悦 张欣 金革近 康柱英

组别： 动物五组

指导老师： 王寅亮

摘要

语言、表情、肢体动作等都是人与人之间进行信息交流的方式方法。而作为在自然界中占有一定地位的昆虫，它们彼此也有很多交流方式，比如：声音语言（如蝗虫等）、气味语言（如蛾子等）、舞蹈语言（如蜜蜂等）以及光语言（如萤火虫等）等^[1]。本文以声音语言为主，就直翅目昆虫鸣声自身具有的高种间特异性和种内稳定性特点，结合分子生物数据，对长白山露水河地区常见的几种直翅目鸣虫（长须跃度蝗、土门岭跃度蝗、乌苏里姬螽、谢氏蝈螽）的发生器结构和鸣声的时域、频域等特征进行了分析研究，探讨这几种鸣虫发生器结构及鸣声多样性。通过对两种蝗虫总科昆虫和两种螽斯总科昆虫发声器结构、鸣声的时域和频域特征两种声学特征进行系统研究，结果表明：直翅目螽斯和蝗虫的发声器结构有很大的差别，但同科不同属的物种发声器结构并没有明显差异；昆虫鸣声的声学特征表现出高度的种间特异性和内稳定性。

关键词 直翅目 鸣声 时域 频域 发生器 蝗虫 螽斯

Abstract

Language facial expressions, body movements, such as are all means of exchange of information among people. Occupying a certain position in nature, insects also have a lot of communication with each other, such as voice language (grasshoppers), smells languages (moth), dance (honey bees) and the language (firefly). Basing on the voice language mainly and combining molecular biological data, orthopteran song itself is high within the specificity and stability characteristics. So we analysis several common Orthoptera insect's (P.dolichocerca, P.tumenlin-gensis, M.ussuriana, G.xieshi) vocal characteristics and Song of time-domain and frequency-domain characteristics of the Lushuihe area in Changbai mountain, discussing this several sound insect generator structure and the song diversity. In the study of Orthoptera acoustic communications, 2 species of katydids and 2 species of crickets were studied on their calling songs, which included the frequency domain and time domain characters of their songs, and the micro structure of their song generators, the results showed that Orthoptera katydids and locusts piercing structure have very big difference. But the species of the genus in different

acoustic generator structure and there were no significant differences. All the characters had a high stability within species and a high variety between species.

Keywords: Orthoptera, chirp, time domain, frequency domain, generator, locusts ,katydid

1. 引言

直翅目 (Orthoptera) 是动物界、节肢动物门、有颚亚门、六足总纲、昆虫纲、有翅亚纲的 1 目。本目动物多为中、大型体较壮实的昆虫，前翅为覆翅，后翅扇状折叠。后足多发达善跳。包括蝗虫、螽斯、蟋蟀、蝼蛄等。通常雄性具有发达的发声器，可以产生动听的鸣声。

鸣声的研究最早起源于国外，从公元前 330 年记载有关蝗虫的摩擦发声，到 1837 年 Goureau 对 *Leptophyes punctatissima* 雄性鸣声进行研究，发现雄虫会通过振动前翅发声。此后鸣声开始作为一项特征用于种类鉴定，Yersin 研究了欧洲 38 种直翅目昆虫的鸣声结构，并尝试用乐谱来描述鸣声特点，并利用鸣声区分开 3 种外形很相似的雏蝗，对利用鸣声鉴定相似种有重要意义；Scudder 对北美洲 50 种直翅目昆虫的鸣声特征进行了描述，这极大地促进了各种类群鸣声的研究；Fulton 通过对北美蝗虫的研究认为蝗虫鸣叫与前翅有关^[2]。

随着科技的不断发展，对鸣声的录制、模拟、分析等技术的相继问世，对鸣声的研究有了更大的进步^[3]。Ragge 和 Reynold 对不同种蝗虫的鸣声进行研究，发现不同物种的鸣声差异较大，并且根据鸣声特征的差异，对西欧 170 种蝗虫、蟋蟀和螽斯编制了分种检索表；Tischechkin 研究了跃度蝗属一些物种鸣声特征的差异；Varvara 和 Nikolay 通过在蝗虫后足股节安装自制的光电感应接受器对蝗虫的鸣声进行了记录，从而更清楚地了解了蝗虫鸣叫时股节的摩擦规律^[4,5]。

国内对鸣声的研究起步较晚于西方国家，在 20 世纪 80 年代，我国学者开始科学地研究直翅目昆虫鸣声。主要有：曹立民等对东北地区跃度蝗属鸣声特征和发生器结构的研究，通过比较发现，8 种蝗虫的鸣叫节律明显不同，并通过鸣声分析鉴定出二声跃度蝗 *Podismopsis bisonita*、镜泊跃度蝗 *Podismopsis jinbensis*、宽径域跃度蝗 *Podismopsis ampliradiareas* 三个新种；到 21 世纪，卢荣胜等比较研究了肿脉蝗 *Stauroderus scalaris scalaris*、东方雏蝗 *Chorthippus intermedius* 等雄性蝗虫鸣声，研究表明蝗虫种间鸣声特征差异显著，肿脉蝗的脉冲序列组分化为 2 种类型，通过比较分析不同地理环境的东方雏蝗雄性鸣声结构，发现不同地理环境种群鸣声结构基本相同；李敏等研究了亚洲飞蝗 *Locusta gratioiosa* 的鸣声特征，研究发现亚洲飞蝗的脉冲组是由 2 种类型的脉冲组成^[6,7]。

就螽斯而言，从 Bailey 开始研究螽斯鸣声，极大地促进了系统学的发展；Heller 细致研究了欧洲螽斯科 263 种的鸣声时域和频域特征^[8]；Forrest 和 Lajoie 等对同一地理环境的两种露螽科螽斯雄性鸣声结构进行了比较，研究发现两种螽斯的时域特征差异显著，但主能峰频率相近^[9]；Sylvain 通过研究发现属间鸣声时域特征差异显著，但属内种间鸣声的脉冲组持续时间、间隔时间和脉冲组重复率以及主能峰频率等较相似^[10]。

中国对螽斯的研究稍早于蝗虫。何忠和陈念丽对北京地区优雅蝈螬 *Gampsocleis grationa* 鸣声的声谱、节律以及声压的瞬时变化做了研究；沈钧贤和关力研究笨棘颈螬 *Deracantha onos* 是如何发声和如何听到声响的，研究表明，该螽斯是靠覆翅的左右翅互相摩擦从而产生声响，且其鸣叫声由大量脉冲序列组成；李延友等研究优雅蝈螬、鼓翅鸣螬和暗褐蝈螬 3 种螽斯的鸣叫行为及鸣声类型，发现它们具有明显的昼夜节律；王寅亮和任炳忠还对不同生态型同种螽斯的鸣叫进行了研究，发现长翅型的雄性螽斯鸣声更能吸引雌性^[11-14]。

国外学者对蝗虫发声齿研究较少，Roseow 研究了条纹草地蝗 *Stenobothrus lineatus* 不同发育阶段音齿特征；Pitkin 研究了英国槌角蝗亚科和 *Omocestus viridulus* 的发声锉结构，并对后者不同地理环境个体发声齿的异同进行比较；Saldamando 等比较研究了 *Chorthippus brunneus* 和 *Chorthippus jacobai* 2 种雏蝗的鸣声和发声器结构，发现鸣声特征与发声齿数目并没有关系，这两个近缘种的发声齿虽然存在差异，但猜测发声齿的不同与物种形成无关，只是一种中性特征^[15,16]。

金杏宝，夏凯玲对 40 多种雏蝗的发音器的形状、数量进行了研究，发现种间的发声齿形态和数目均不同，且发声齿着生于一个小窝内，而同种的不同个体差异较小，从而了解了发音器在蝗虫分类中的作用，并根据音齿结合外部形态编制了分种检索表^[17]；印象初观察总结了我国蝗总科昆虫的发声器结构，认为中国蝗虫的发声形式主要有 8 种^[18]；曹立民等对东北地区跃度蝗属 *Podismopsis* 8 种雄性的发声齿做了比较研究^[19]；李敏等用扫描电子显微镜对亚洲飞蝗 *Locusta migratoria migratoria* 的发声器进行了研究，研究发现亚洲飞蝗靠前翅中闰脉上的发音齿与后足股节摩擦发声，雄性发声齿较为规律，种内差异较小，雌性发声齿发育不完全；董佳佳基于形态学测量，发现雏蝗属种

间前翅和发声齿排列有明显差异^[20]。

国外对蠹斯的发声齿研究也比较早，Morris 等对蠹斯科 *Metrioptera sphagnorum* 和草蠹科 *Orchelimum* 属 18 种雄性蠹斯的发声器的结构和前翅与发声的关系进行了详细的研究，表明雄性蠹斯的发声锉形状和发声齿排列在种间存在很大差异；Heller 利用电镜技术，研究了欧洲蠹斯 5 科 58 属 263 种雄性的发声锉结构，记录了露蠹科 *Poecilimon* 属 8 种外形很相似的雄性蠹斯的发声器结构，发现 8 种蠹斯的发声锉形状、发声锉长度、发声齿数目、发声齿的排列规律差异显著，表明发声器可作为鉴定特征属性来区别这 8 种蠹斯；Orci 和 Nagyb 等研究发现亲缘关系较近的 2 种的雄性发声器结构的发声锉外形、长度以及齿的形状、数目和长宽比差异较大，认为发声齿可作为鉴定近缘种的数据依据；Ingrisch 和 Gorochov 研究发现种间发声锉的长度、发声齿的形状、数目和排列、Cu2 脉形态、镜膜形状等差异较大。除此之外还对蠹斯总科雌性的发声器做了部分研究，发现雌性的发声锉位置与雄性相反，其位于右前翅，结构及形态与雄虫发声器不同^[21-25]。

沈钧贤等对北京西山的硕蠹 *Deracantha onos* 雄性发声齿进行观察分析发现，其声锉两端音齿较小，共有 80 个音齿组成^[26]；通过对优雅蝟蠹发生器结构的观察分析，研究认为蠹斯靠左右鞘翅摩擦发声，左鞘翅有 100 多个音齿组成音锉，右鞘翅为刮器^[27]；石明福等研究了 5 种掩耳蠹雌性的发声刺结构，研究表明不同物种的发声刺差异明显，发声刺可以作为露蠹科雌性的一个鉴定特征^[28]；吴山对优雅蝟蠹和暗褐蝟蠹等河北常见种的发声器进行研究，发现蠹斯对的发声锉形状、长度以及发声齿的数目、间距存在较大差异，发声器分化明显，且发声器数目较少^[29]。

直翅目昆虫声学通讯的研究内容较多，但也是被研究的最为深入的种类。从内容上划分，其研究主要可以分为发声机制的研究、发声行为学研究、发声进化研究、发生器结构研究、声学建模研究和听觉机制研究等^[30]。

在昆虫的鸣声声学特征分析中，主要分为时域特征（time domain）和频域特征（frequency domain）。前者是指，声音强度随时间变化的一类特征，其中横轴表示时间，纵轴表示的是声音的幅度；昆虫鸣声的时域特征主要包括脉冲组个数、脉冲个数、脉冲结构、脉冲持续时间、脉冲组持续时间、脉冲间隔持续时

间等等。后者是指昆虫的鸣声在某个特定时刻的声学频率结构，其横轴为频率，纵轴为声音中所含对应频率的比例。还有一种以时间为横轴，以频率为纵轴，频率成分的大小由颜色的深浅表达的声学图，称为频谱图^[31]。

直翅目昆虫的两个前翅上都具有声锉，但有一定的不对称性。某些蝗虫由于发声形式的不同（如前面提到的 11 种），声锉所在位置也不同；螽斯与蟋蟀相反，一般左翅在上，提供声锉，右翅在下提供刮器发声。直翅目昆虫发声器的结构特征具有很高的种间特异性和种内稳定性，可以作为物种鉴定和进化研究的工具。作为声源器官，发声器结构的研究有助于我们更好的理解昆虫的声学进化史^[32]。

蝗虫的发声器结构同通常是身体某一部位的颗粒状突起成为发音齿，身体对应部位有刮器，两者互相摩擦产生声音。我国蝗虫的发声方式有 11 种类型：（1）网翅蝗科的蝗虫为后足股节——前翅型，即后足腿节内侧下隆线上排列的一条发声齿，与前翅纵脉互相摩擦发声；（2）异痴蝗属的蝗虫为后足腿节——后翅型，即后足腿节外侧上隆线端半部具发声齿，和后翅纵脉膨大部分摩擦发声；（3）斑腿蝗属的蝗虫为后足腿节上侧中隆线——后翅型，即后足腿节上侧中隆线具细齿，飞行时 2 同后翅摩擦发声；（4）斑翅蝗科的蝗虫为前翅中闰脉——后足腿节型，即前翅中 闰脉上具一系列发声齿，和后足腿节内侧隆线相摩擦而发声；（5）异距蝗属的蝗虫为前翅中脉域横脉——后足腿节型，即前翅中脉域中闰脉之前的横脉上具发声齿同后足腿节内侧隆线摩擦发声；（6）稻蝗属的蝗虫为前翅前缘——后足腿节型，即前翅端部翅脉具发声齿，同后足腿节内列刺摩擦发声；（7）长腹蝗属的蝗虫为前翅径脉域横脉——后足胫节型，即前翅径脉域横脉具发声齿，同后足胫节的内列刺摩擦发声；（8）剑角蝗属的蝗虫为后翅——前翅型，即后翅端半部具发声齿，飞行时同前翅相摩擦而发声；（9）皱膝蝗属的蝗虫为后翅——后足腿节上侧中隆线型，即后翅纵脉加粗，下面具发声齿，同后足腿节上隆线和基部膨大处摩擦发声；（10）短鼻蝗属的蝗虫为腹部第二节摩擦板——后足腿节型，即腹部第 2 节背板两侧的摩擦板上具发声齿，同后足腿节基部隆线相摩擦发声；（11）皱腹蝗属的蝗虫为腹部——后足型，即腹部背板两侧具有明显的皱纹，同后足腿节或胫节相摩擦而发声^[33]。

螽斯的发生器是由左前翅 Cu2 脉腹面异化成的发声锉和右前翅后缘基部骨

化形成的刮器形成。通常左前翅在上，右前翅 Cu2 脉腹面的齿状结构暂时没有发现功能。右前翅基部有膜质的镜膜。蟋蟀的发声器是右前翅 Cu2 脉特化为发声锉，左前翅的后缘基部位硬化成刮器，通常右前翅在上^[34]。

鸣声是鸣虫在生命活动中与外界联系的纽带。不同种类的名叫习性、鸣声特征及发声器的结构差异显著^[35]。通过对昆虫鸣声与发声器的研究，可以揭示类群的亲缘关系，鉴定近缘物种；在生产实践中，通过研究鸣叫与起飞的关系，预测害虫可能的迁飞时间；利用昆虫的趋声性，可诱集捕杀害虫^[36]。除此之外，直翅目昆虫的鸣声具有一定的行为学意义，如求偶、警报、拟态或发出干扰信号对天敌的捕食行为进行干扰等^[37]。

对于直翅目昆虫鸣声通讯的研究，不仅对理解其系统演化具有重要意义，也可以为人类更好地理解其种间、种内及与环境间的信息交流模式提供理论依据与基础实验数据^[38]。

2. 材料与方法

2.1 实验材料

本实验研究的声音样本采集与长白山露水河镇附近，分别是土门岭跃度蝗、长须跃度蝗、乌苏里姬螽和谢氏蝈螽。

2.2 研究方法

直翅目昆虫鸣声分析：昆虫鸣声采集在野外录制获得。使用 SonyPCM-50 数字录音机（两个内置麦克、最高采样率为 96kHz）对昆虫声音进行录制。声音样本采集时，选择正在鸣叫的雄虫，与其距离大约 0.5 至 1.5m 之间，录制样本时同时观察录音机波形显示，录制样本结束后，立即对录入样本语音进行标号，并用捕虫网捕捉鸣虫并对应标号。昆虫采集后放入毒瓶中处死，并放入 7-8% 的甲醛溶液固定，以便后续的发声器结构研究。

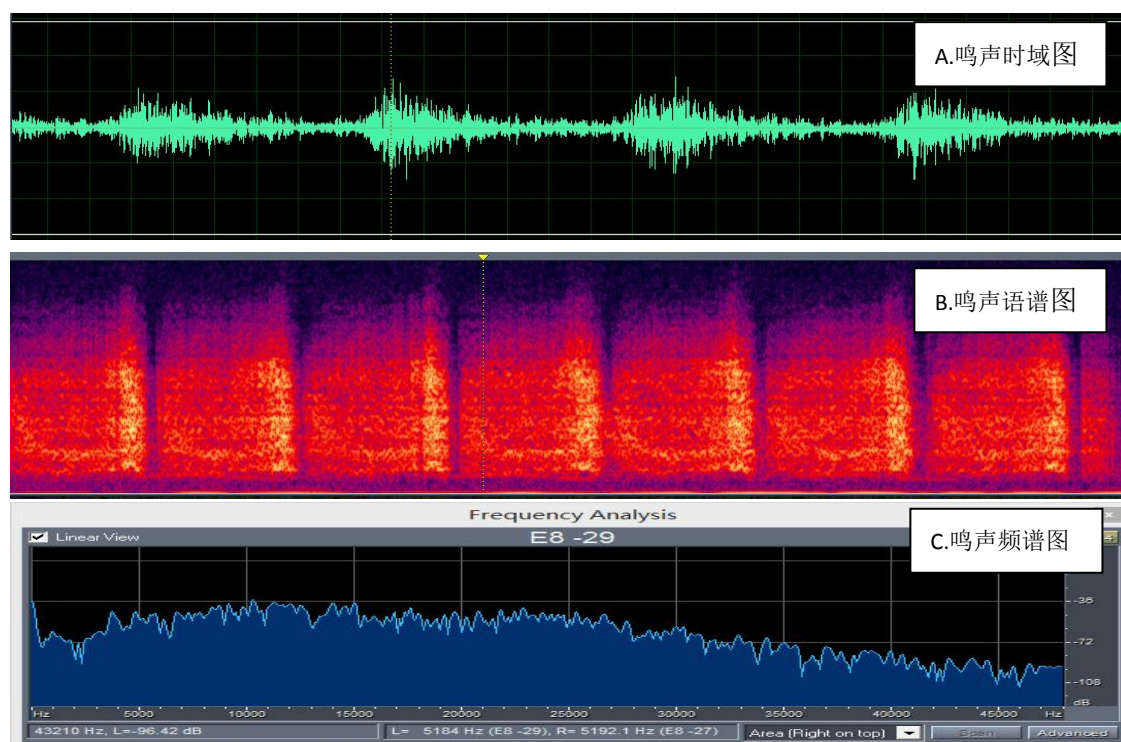
声音样本采用 Cool Edit 软件进行时域、频域分析。分析声音样本前，首先采用高通滤波去除低频率噪声，滤波频率为 200kHz，所录制的样本频率分布范围一般大于 3kHz，因此 200 kHz 的滤波频率可以较好的去除低频背景噪声并不影响原始声音成分。

直翅目昆虫的发生器结构：本实验所有昆虫材料为录制声音样本后毒杀带回实验室的昆虫。在实验室将固定好的昆虫取出，流水冲洗 24h，在不破坏蝗虫右

后足腿节和螽斯左前翅完整性的情况下，将其自基部剪下，用无水乙醇清洗 2-3 次。清洗后将其置于体视显微镜下确定声锉位置。确定之后对清洗后的螽斯左前翅发声锉、发声齿和蝗虫的后足腿节结构进行观察和拍摄。每种观察 3 头，测量数据取其平均值。

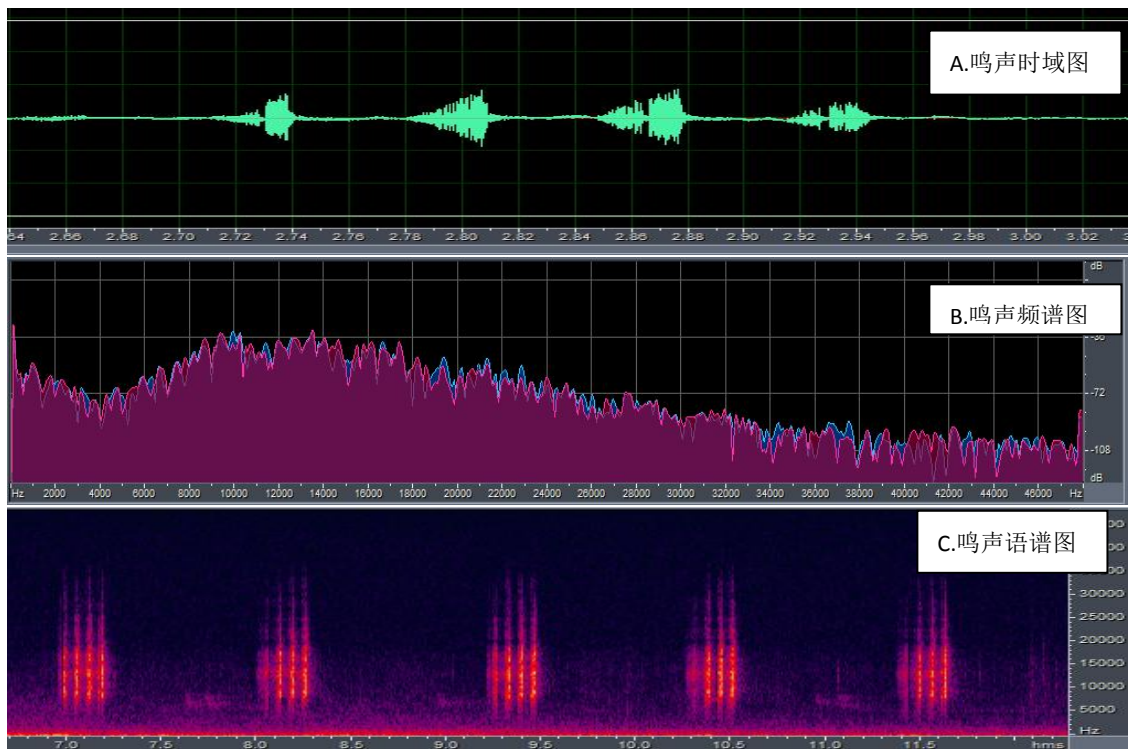
3. 结果讨论与分析

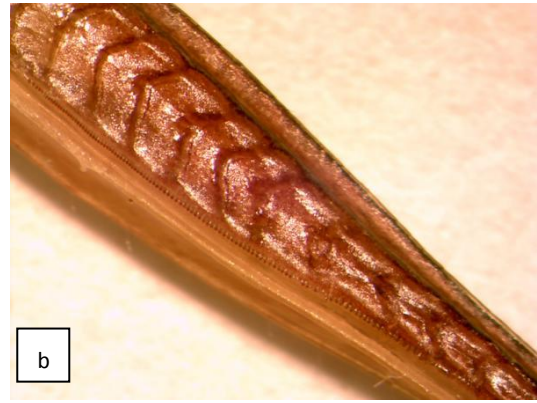
长须跃度蝗：每个脉冲组持续时间为 1.516s，脉冲组间隔为 3.565s，脉冲组中 18 个单脉冲持续时间分别为 0.0102s，单脉冲的脉冲间隔约为 0.0588s（如下图 A. B. C）；根据对其音齿特征的数据统计得出：长须跃度蝗的音齿列长为 13.01mm，音齿密度为 0.13，音齿宽度为 0.15mm，音齿个数为 106.71；（如下图 a. b. c）



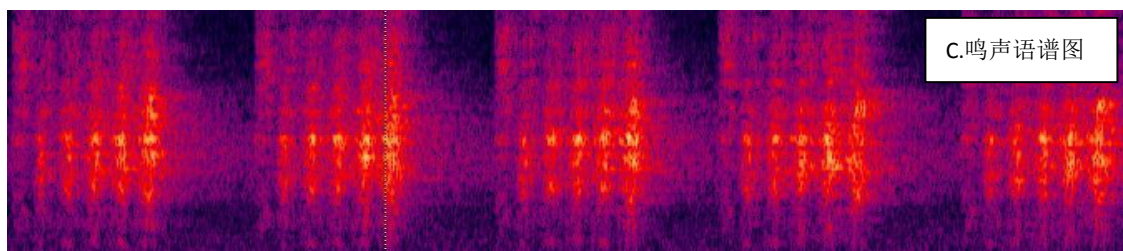
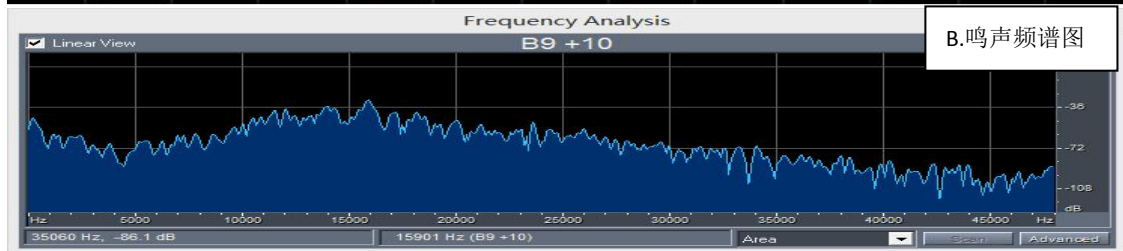
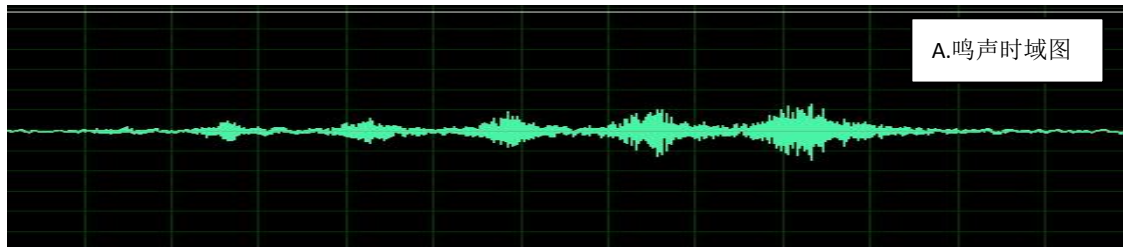


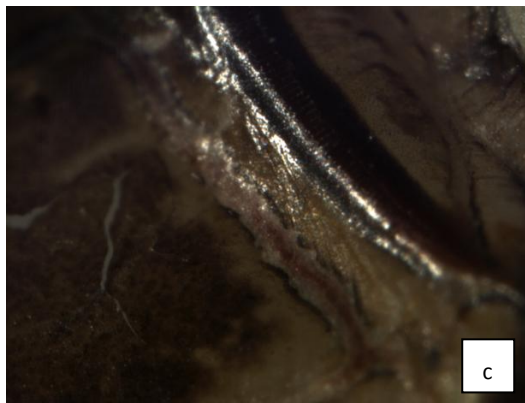
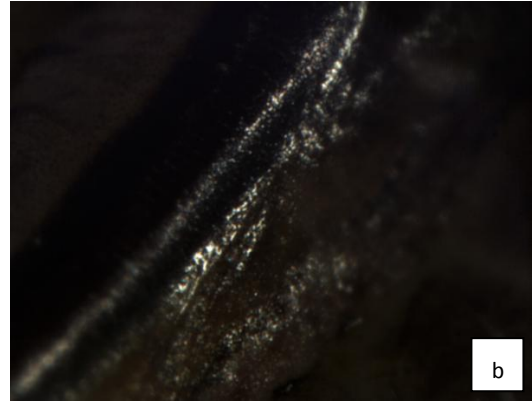
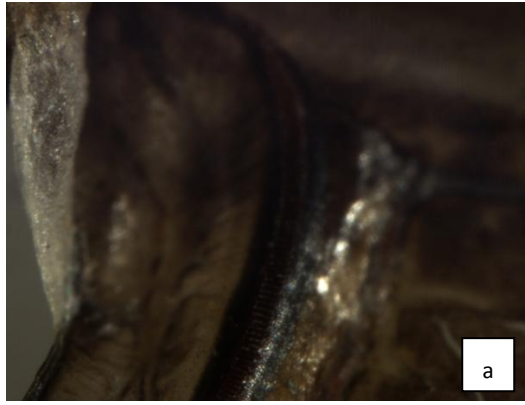
土门岭跃度蝗:平均每个脉冲组持续时间为 0.334Ss, 脉冲组间隔为 1.0656s, 脉冲组中单脉冲持续时间为 0.0428s, 脉冲间隔为 0.0355s (如下图 A. B. C); 通过对其音齿的数据统计得出: 土门岭跃度蝗的音齿列长为 13.84, 音齿密度为 0.11, 音齿宽度为 0.11mm, 音齿个数为 121.43; (如下图 a. b)



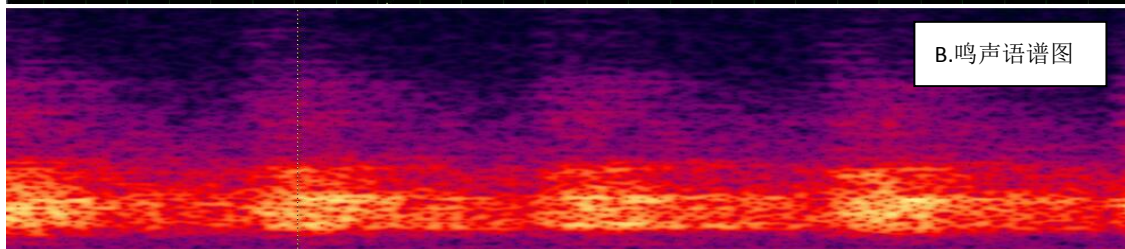
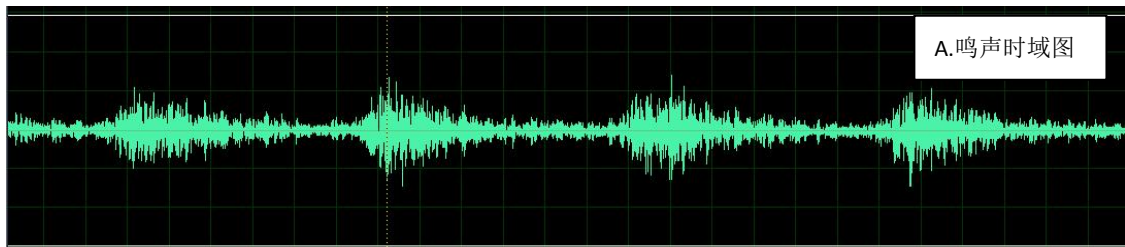


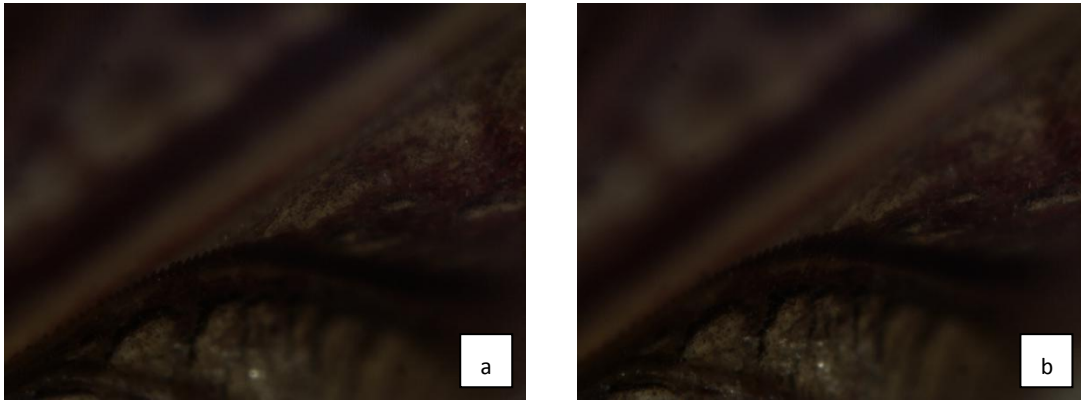
乌苏里姬螽:每个脉冲组持续时间为 0.0926s, 脉冲组间隔为 0.0496s, 脉冲组中单脉冲持续时间分别为 0.0095s, 单脉冲的脉冲间隔约为 0.0071s (如下图 A. B. C); 声齿呈直线状排列, 单一声齿棒状, 声齿形状和排列较为不规则。(如下图 a. b. c)





谢氏蝈蝈:其脉冲组持续时间不同,一般为 6.538s,脉冲组多个脉冲组成,脉冲间隔时间短,几乎为零,脉冲组中单脉冲持续时间基本相同为 0.036s,每个脉冲含有一个脉冲串(如下图 A. B. C);谢氏蝈蝈的发声锉两边弯曲,近中部发声齿间距稍宽,两端较窄,由 87-92 个发声齿组成。(如下图 a. b)





通过观察两种跃度蝗的发声器，比较发现，同一属中不同的种类之间也有一定差异。长须跃度蝗的音齿密度较大于土门岭跃度蝗。通过查阅资料发现，音齿具有属征的可能性，有些属依据音齿就可以确定属特征，而有些属还需要依据其他的一些特征才能确定。

乌苏里姬螽和谢氏蝈螽其声齿形状均为棒状，声齿排列形状为直线型，但它们的声齿宽度具有一定差异。

鸣虫的发生器结构是影响声学特征的重要的、最直接的因素，就发声器来看，蝗虫发声齿为颗粒状突起，种间发声锉长度、发声齿直径、发声齿间距差异较为显著；螽斯的发声器一般较薄呈片状，且不倾斜。直线排列，其声齿均属棒状，从乐器理论来讲，发声器结构越厚，其产生声音的频率越高，故其鸣声较蝗虫的鸣声频率高^[39, 40]。

根据查阅文献和实验总结发现：（1）直翅目昆虫鸣声的时域、频域特征表现出非常高的中特异性和种内稳定性；（2）直翅目螽斯和蝗虫的发声器结构有很大的差别，但同科不同属的物种发声器结构并没有明显差异；（3）直翅目昆虫的鸣声与发声器结构有密切联系。近年来，学者将发声器与形态特征和鸣声共同使用，以增加不同种之间的差异量，更好的解决了一些混淆种问题^[41]；（4）直翅目蝗虫和螽斯的发声器结构具有较大的差异性，而同科内不同属之间，蝗虫的不同属鸣虫，其发声方式具有一定的差异性；螽斯不同属之间发声器结构无明显差异；直翅目不同种鸣虫发声机制呈多样性，对于其不同发声方式的演化，现在还不清楚。但从分类学上讲，雄性发生器结构和鸣声特征可作为物种鉴定的一个重要依据^[42]。

参考文献:

- [1] 王寅亮. 部分种类昆虫声学(直翅目)及嗅觉通讯(双翅目)研究[D]. 东北师范大学, 2014.
- [2] Novotny, Vojtech, Basset, et al' Low host specificity of herbivorous insects in a tropical forest[J]. Nature, 2002, 416 (6883): 841-844.
- [3] Erwin, Terry L. , Reaka-Kudla M. L?, Wilson D. E. , et al. , Biodiversity II: understanding and protecting our biological resources[M]. Washington D.C, US: Joseph Henry Press, 1997, 27-40
- [4] Cator L. J. , Arthur B. J, Harrington L. C, Hoy R. R, Harmonic convergence in the love songs of the dengue vector inosquito[J]. Science, 2009, 323 (5917): 1077-1079.
- [5] Xia Y, et al. , The molecular and cellular basis of olfactory-driven behavior in Anopheles gambiae larvae [J]. Proc Natl Acad Sci. USA, 2008, 105: 6433-6438.
- [6] Grafen, A. Biological signals as handicaps. [J]. Theor. Biol. 1990, 144, 517-546.
- [7] Godfray, H. C. J. Signalling of need by offspring to their parents. [J]. 1991, Nature, Lond. 352, 328-330.
- [8] 王寅亮 , 鲁莹, 任炳忠. 昆虫鸣声通讯研究概述[N]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(4).
- [9] 顾世璠. 昆虫之间怎样交流信息[J]. 发明与创新, 2007(8):8-9.
- [10] Shaw K L , Herlihy D P .Acoustic preference functions and song variability in the Hawaiian cricket Laupala cerasina [J] .Proceedings of the Royal Society of London , Series B, 2000 , 267:577-584.
- [11] Kirsten Klappert, Klaus Reinhold. Acoustic preference functions and sexual selection on the male calling song in the grasshopper Chorthippus biguttulus [J] .Animal Behaviour, 2003 , 65 :225-233.
- [12] Russ, Racey .Species-specificity and individual variation in the song of male Nathusius' pipistrelles (Pipistrellus nathusii) [J] . Behavioral Ecology and Sociobiology, 2007, 61 (5):669-677 .
- [13] Sueur J, Windmill J F C, Robert D. Sexual dimorphism in auditory mechanics : tympanal vibrations of Cicada orni . Journal of Experimental Biology , 2008 , 211:2379-2387.
- [14] Shieh B S, Liang S H, Chen C C, et al. Acoustic adaptations to anthropogenic noise in the cicada Cryptotympana takasagona Kato (Hemiptera :Cicadidae)[J] .Acta Ethologica, 2011, article in press.
- [15] King M J, Buchmann S L. Sonication dispensing of pollen from Solanum laciniatum flowers [J] .Functional Ecology , 1996 , 10 :449-456 .
- [16] 卢荣胜, 石福明, 黄原. 四种蝗虫雄性鸣声的比较研究[J]. 动物分类学报, 2004, 10(4):639-645.
- [17] 李敏, 王寅亮, 宋慧华, 刘斐, 任炳忠. 亚洲飞蝗发生器结构与鸣声时域特征研究[N]. 应用昆虫学报, 2011, 48(4).
- [18] 廉振民, 李恺. 蟋蟀常见鸣声类型的比较研究(直翅目:蟋蟀总科)[J]. 昆虫分类学报, 2002. 3(24):45-51.

- [19] 何忠, 陈盛丽. 北京地区五种常见鸣虫的鸣声结构 [N] 动物学报, 1985. 31(4).
- [20] 李恺, 郑哲民. 槽头蟋属六种常见蟋蟀 鸣声特征分析与种类 鉴定 [N]_昆虫丹樊学报. 1999, 21(1).
- [21] 李恺, 康振民. 湖北省 三种蟋蟀鸣声结构分析 [N] 昆虫丹樊学报, 1999, 21(3).
- [22] 吴幅植, 冯平章. 何怠. 北京及银 川常觅蟋蟀鸣叫习性与种类鉴定[N]. 昆虫学报, 1985. 29(1).
- [23] 曲业宽, 王文慧, 王寅亮. 长白山地区 3 种跃度蝗鸣声结构的比较研究[J]. 安徽农业通报, 2014, 20(17):21-23.
- [24] 卢亚玲. 昆虫鸣声信号特征参数提取的研究 [J]. 武汉工业学院学报, 2008, 27(3): 53-56.
- [25] 曹立民, 郑哲民, 康振民. 东北地区跃度蝗属鸣声结构的比较研究(直翅目:网翅蝗科)[J]. 昆虫分类学报, 1995, 17(1):70-74.
- [26] Ragge, D. R, Reynolds, W. J. The songs of the grasshoppers and crickets of Western Europe[M]. Published by Harley Books, 1998:1-348.
- [27] Reynolds, W. J. A re-examination of the characters separating *Chorthippus montanus* and *C. parallelus* (Orthoptera: Acrididae). Journal of Natural History, 1980, 14(2):283-303.
- [28] 印象初. 青藏高原的蝗虫[M]. 北京:科学出版社, 1984:111-120.
- [29] 席瑞华, 刘举鹏, 陈念丽. 长白山自然保护区蝗虫鸣声结构的特点[J]. 昆虫知识, 1990, 27(6):329-331.
- [30] 王静. 螽斯部分种鸣声及发声齿的研究[D]. 山西师范大学生命科学学院, 2013.
- [31] Bailey, W. J. & Rentz, D. C. F. The Tettigoniidae: biology, systematics and evolution. Crawford House Press, Bathurst. 1990.
- [32] Ragge, D. R. & Reynolds, W. 1998. The songs of the grasshoppers and crickets of Western Europe. Harley Books, Colchester, U. K.
- [33] Naskrecki, P. Katydid of Costa Rica. Vol. 1. Systematics and bioacoustics of the cone head katydids (Orthoptera: Tettigoniidae: Conocephalinae sensu lato). The Orthopterists! Society at The Academy of Natural Sciences of

Philadelphia. 2000.

- [34] 芦荣胜, 常岩林. 中国昆虫鸣声与发声器研究进展. 山西师范大学学报[J]. 2001, 15(3) :61-65.
- [35] 石福明, 刘缠民. 中华寰螽生殖行为和鸣声特征研究[J]. 西北农业学报, 2002, 11(2): 111-114.
- [36] 石福明, 杨培林, 杜喜翠. 日本条螽不同地理种群雄性鸣声的比较研究(直翅目: 露螽科) [J]. 动物分类学报, 2003, 28(3): 402- 410.
- [37] 常岩林, 杨培林, 毛少利, 石福明. 四种草螽雄性鸣声的研究[J]. 动物分类学报, 2007, 32(3): 637-642.
- [38] 王世贵, 毛钟鸣, 芦荣胜, 郑哲民, 石福明. 乌苏里蝈螽和优雅蝈螽雄性鸣声结构的比较研究[J]. 动物分类学报, 2008, 33(3): 553-557.
- [39] 李延友, 杨春贵, 林玉真. 三种螽斯鸣唱行为的比较研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2010, 41(1): 65-69.
- [40] 周志华, 李东风. 蟋蟀鸣叫节律与行为的观察[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2010, 2: 117-120.
- [41] 李敏, 王寅亮, 宋慧华, 刘斐, 任炳忠. 亚洲飞蝗发声器结构与鸣声时域特征研究[J]. 应用虫学报, 2011, 4:95-99.
- [42] 赵敏, 芦荣胜. 戈壁硕螽和大棘螽雄性鸣声结构研究[J]. 山西师范大学学报 2011, 25(1):91-94.
- [43] Wang, Y L, Zhang J, Li X Q, et al. Acoustic and Molecular differentiation between macropters and brachypters of *Eobiana engelhardti engelhardti* (Orthoptera: Tettigonioidae) [J]. Zoological Studies, 2011, 50 (5): 636-644.