

长白山地区四种蝗虫鸣声比较

陈琪 胡彦波 刘丹丹 刘俊程 孟月 冉丽雪 王宇强 杨文 由婷婷 韩叶* 任炳忠*

(1. 东北师范大学生命科学学院, 吉林 长春 130024)

【摘要】蝗总科特有前翅和后腿股节间的摩擦发声机制,在自然选择和进化过程中,鸣声受不同的环境因素影响而产生显著的功能性分化^[1]。本实验主要通过对长白山露水河地区长须跃度蝗(*P. dolichocerca*)、土门岭跃度蝗(*P. tumenlingeensis*)、狭翅跃度蝗(*P. angustipennis*)以及小黑雏蝗(*Chorthippus minutus* Zhang)进行鸣声的研究,探讨这几种蝗虫鸣声和发声特点之间的相关性和差异性,包括对鸣声数据时域和频域以及对音铗形态的分析。通过本次研究发现,跃度蝗属和雏蝗属的蝗虫发出的声音有一定的区别,跃度蝗属叫声清脆响亮,富有节奏感;小黑雏蝗的声音则相对低沉。经体视镜进一步观察后发现跃度蝗属与雏蝗属中的小黑雏蝗以及跃度蝗属内的种类之间鸣声的时域和频域都有一定的差别,因此蝗虫的鸣声差异可以作为蝗虫分类的辅助依据。

【关键词】跃度蝗属 雏蝗属 鸣声 时域 频域

[Abstract] Acridoidea has forewing and hind leg strands of internal friction sound mechanism. In the natural selection and evolution process, calling song by different environmental factors and produces significant functional differentiation^[1]. This experiment mainly through the Changbai mountain LuShui river area *P. dolichocerca*, *P. tumenlingeensis*, *P. angustipennis* and *Chorthippus minutus* Zhang' Calling song, and discuss the several locusts' song and voice of the relationship between the characteristics and differences, including on the analysis of the oscillogram, spectra and the sound file form. Through this study found that the calling song belong to *Podismopsis* Zub and *Chorthippus* Fieb has a certain distinction. *Podismopsis* Zub is ringing loud sounds, rich rhythm; *Chorthippus* Fieb voice is relatively low. Stereoscope further observation found that *Podismopsis* Zub and *Chorthippus* Fieb belong to *Ch. minutus* Zhang and *Podismopsis* Zub belong to the types of the song in between oscillogram and spectra have certain difference, so the song differences can be used as the basis for classification of auxiliary.

[Key Words] *Podismopsis* Zub *Chorthippus* Fieb Calling song Oscillogram Spectra

1 引言

昆虫同人类一样,也需要与外界进行信息交流。经过上亿年的进化,昆虫进化出了其自身独特的“语言”。昆虫与外界的交流通讯大致可分为物理交流和化学交流两大类,而化学交流主要依赖信息素。目前,昆虫信息素的研究已经较为成熟,许多种类的信息素已被分离出来,信息素的化学感受受体——嗅觉感受蛋白(OBPs)也在许多种类的昆虫体内发现,相关研究也已深入到分子生物学和结构化学层面。而昆虫的主要通讯方式——声学通讯相比其他交流方式而言具有更高效、传播面广、传播距离远等优势。声音信号对于几乎所有的动物来说都是极其重要的。动物(包括人类)利用声音信号来进行交流,寻找猎物,趋避天敌。

动物界的各个物种在其各自的发声机制、行为学意义、声信号的频率分布上也进化出了多种多样的发声方式与听觉系统,不同种类生物发声的声学特征也千差万别。昆虫纲中,很多的种类都能发声,总体上看,昆虫产生鸣声的机制大体上分为两大类:一类是由专门的发声器官产生的;另一类是昆虫在取食、清洁、筑巢和飞翔过程中产生的一些副产物形成的声波,而没有专门的发声器,其发声方式也多种多样,如气流振动发声(这种发声方式与人的发声原理很相似,只是目前还没有充足的证据)、膜振动发声(是指膜状发声器通过肌肉的收缩与松弛作用振动发出的声波。这类发声方式为同翅目、半翅目、鳞翅目中的某些种类所具有,是昆虫中发声效率最高的方式之一。)、摩擦发声(是指昆虫体表的的不同部位相互摩擦而产生的声波。这种发声方式在昆虫中最为普遍,有11个目的昆虫能以摩擦的方式发声,其中最为普遍的是直翅目、半翅目、鞘翅目的昆虫有报道称,即使是一些前翅退化种类的蝗虫,也进化出了其独有的发声方式。)等发声方式。同一类群内不同种属鸣声的时域和频域都具有明显的差异,主要表现在一个鸣叫周期内脉冲组数以及构成脉冲组的单脉冲数目的差异性。昆虫鸣声的种间特异性与种内稳定性目前也被应用为一项重要的进化分类指标。

鸣声通讯是蝗虫通讯的主要方式之一,许多学者在这方面做了大量的工作,如Ragge等(1998)对西欧直翅目昆虫鸣声的研究^[3], Reynolds(1980)对雏蝗属*Chorthippus*一些种类鸣声的研究^[4]。国内亦有一些报道,如印象初(1982)曾对我国蝗总科的发声器进行了细致的研究,并发现我国蝗虫总科的发声器有11种不同的类型,林凤鸣对黄星蝗的发声器亦有详细的研究^[5]。席瑞华等(1990)报道了长白山自然保护区雏蝗属*Chorthippus*、跃度蝗属*Podismopsis*等6属7种蝗虫的鸣声;席瑞华等(1992)报道了新疆阿勒泰地区的束颈蝗属*Sphingonotus*等8属10种蝗虫的鸣声。曹立民等(1995)对东北地区跃度蝗属*Podismopsis*部分种类的鸣声作过比较研究。廉振民(2001)对雏蝗属*Chorthippus*等蝗总科一些种类的鸣声作过研究。芦荣胜等(2003a, 2003b)研究了米纹蝗属*Notostaurus*2种和雏蝗属*Chorthippus*4种的鸣声。

随着科学技术的不断发展,许多新兴的物理及生物技术也不断应用于昆虫鸣声的研究中,为昆虫鸣声通讯的研究注入了新的活力,昆虫鸣声特征的分析已达到数字化的水平,借助计算机技术,不仅能对鸣声序列、脉冲组等进行分析,也能客观准确地记录和分析鸣声的脉冲持续时间、间隔等。本文主要应用计算机技术软件和数学统计学原理对四种蝗虫的鸣声进行了研究,并通过体视镜对四种蝗虫的音锉和音齿结构进行观察。

2 材料与方 法

2.1 实验材料

本实验我们小组对长白山露水河镇附近常见种长须跃度蝗(*P. dolichocerca*)、土门岭跃度蝗(*P. tumenlingensis*)、狭翅跃度蝗(*P. angustipennis*)和小黑雏蝗(*Chorthippus*

minutus Zhang) 进行研究。采集及记录的时间在上午 8:00-下午 16:00, 每个物种采集二至十头样本, 取平均值进行相关数据的记录。

2.2 实验方法

2.2.1 蝗虫鸣声处理方法

本次试验我们对蝗虫的录音使用的是 SONY PCM-D50 型数字录音棒(采样率为 96 kHz)。在距离蝗虫鸣叫个体 6—30cm 处, 用话筒正对鸣叫个体直接录取单头雄性的鸣声^[5]。录制完成后说明记录的时间、地点及相应编号, 之后用捕虫网将其捕捉, 带回实验室进行种类鉴定, 并制作标本。

对于蝗虫鸣声分析, 我们主要通过 Cool edit Pro 2.1 系统软件进行分析。分析的数据主要包括脉冲组个数, 脉冲组的持续时间, 脉冲间隔, 脉冲组中脉冲个数, 单个脉冲持续时间等以及频域中的频率范围以及音谱图的相关分析。

2.2.2 蝗虫发声器处理方法

音锉分析方法如下: 将每个雏蝗和跃度蝗的后足自基部剪下, 分别放在小纸包里, 在用体视镜对小纸包中的蝗虫样本进行观察前, 用乙醇对蝗虫样本进行清洗, 洗去可能粘附在蝗虫样本上的纸纤维, 清洗工作结束后, 应用体视镜(moticam 2506 5.0M Pixel USB 2.0)观察各个雏蝗和跃度蝗后足上的音锉和音齿, 分别记录音齿列长, 音齿密度, 音齿间距, 音齿宽, 音齿数, 然后计算平均数、方差, 计数结果如表 1 所示。

3 实验结果

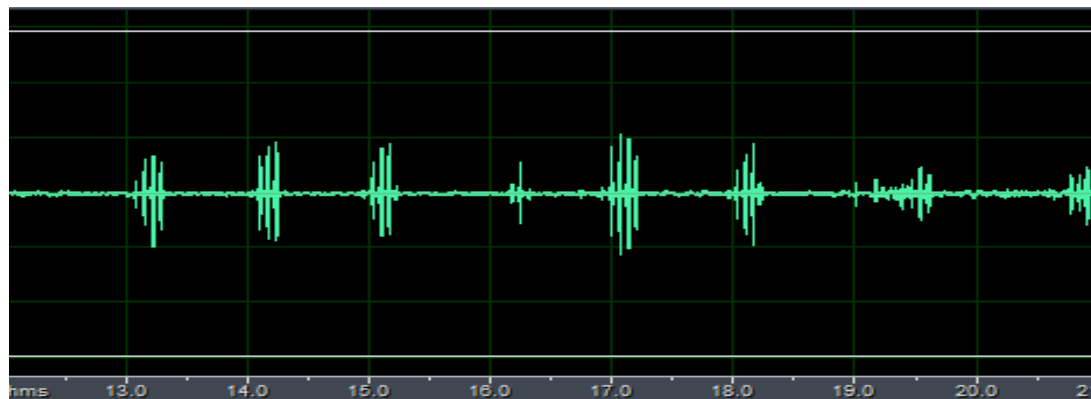
3.1 鸣声分析结果

3.1.1 土门岭跃度蝗 (*P.tumenlingensis*)

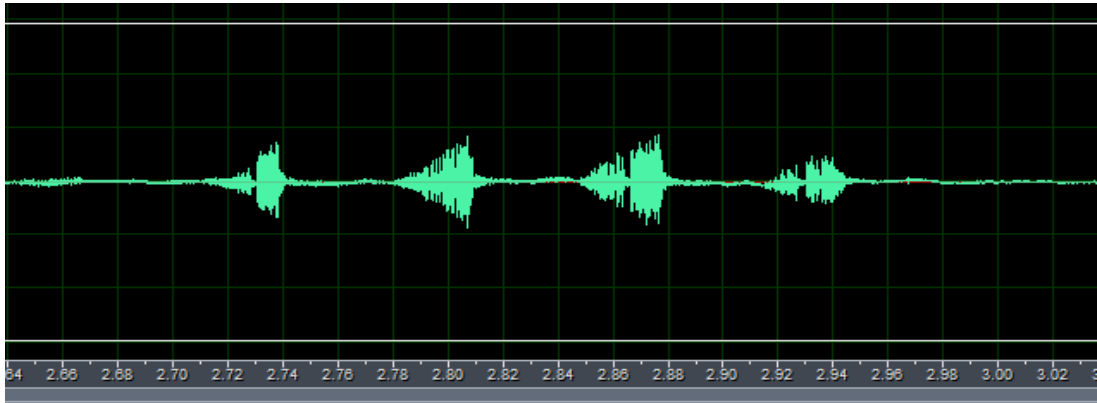
3.1.1.1 土门岭跃度蝗 (*P.tumenlingensis*) 鸣声时域分析

本次试验中, 我们选取 10 只样本进行分析。针对土门岭跃度蝗 (*P. tumenlingensis*), 我们所取得的声音样本平均每次鸣叫周期中脉冲组数为 10 个, 脉冲组的持续的平均时间是 0.334s, 脉冲组间隔的平均时间是 1.0656s。平均每个脉冲组的脉冲个数为 5, 脉冲间隔的平均时间是 0.0355s, 脉冲的平均持续时间 0.0428s。

该声音样本的波形图如下所示:



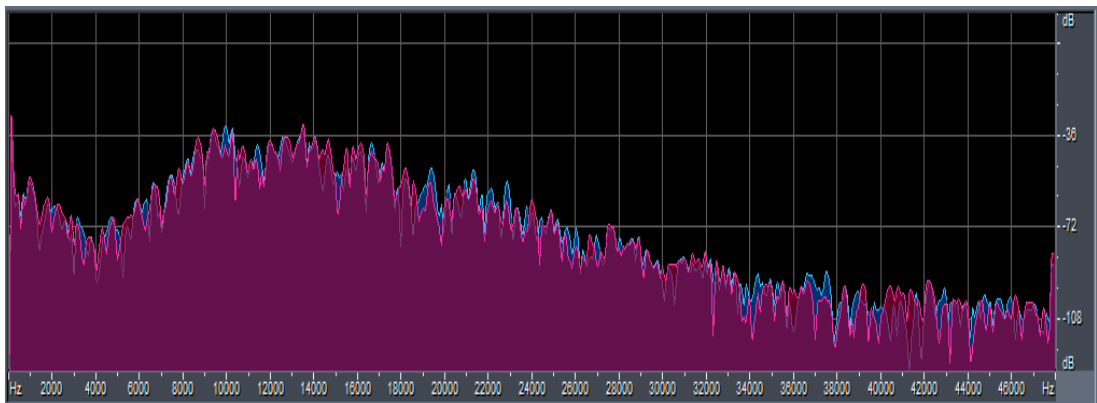
图(1). 土门岭跃度蝗鸣叫周期



图(2). 土门岭跃度蝗脉冲组中的脉冲数

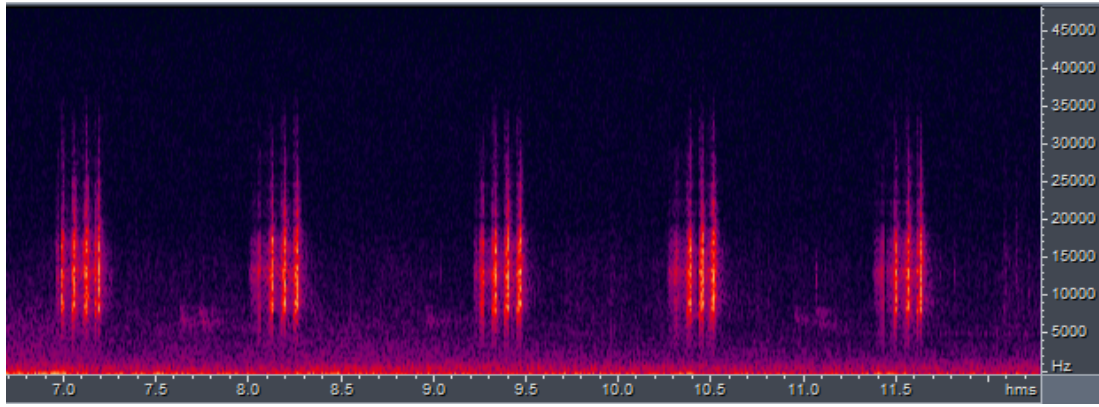
3.1.1.2 土门岭跃度蝗 (*P.tumenlingensis*) 鸣声频域分析

对于该声音选取段落进行频率分析，从下图可知，我们选择的语音样本中 72dB 频率范围分布在 3000—33000Hz，主要集中在 5000—26000Hz 范围。对于该段的频率，从整体上看，其分布并没有不呈现明显的函数关系，主要在 10000-15000Hz 范围内分布。而在 20000Hz 以上也有一定频率分布，说明此种蝗虫鸣声时含有少量超声成分。



图(3).土门岭跃度蝗 (*P. tumenlingensis*) 频域分析

除了对频率的分布进行研究，我们也分析了鸣声的光谱图，光谱图是频率分布的另一种分析方式，颜色较亮的区域即是声音频率较集中的区域。对所选取的土门岭跃度蝗鸣叫的声音片段的光谱图进行分析可知，光谱图清晰地展现了鸣叫的频率和时域分布状态。由图谱可见，蝗虫鸣叫频率分布范围是 3000—35000Hz，集中分布范围在 5000—24000Hz，这与其鸣叫的频率分析图谱得出了相似的结论。



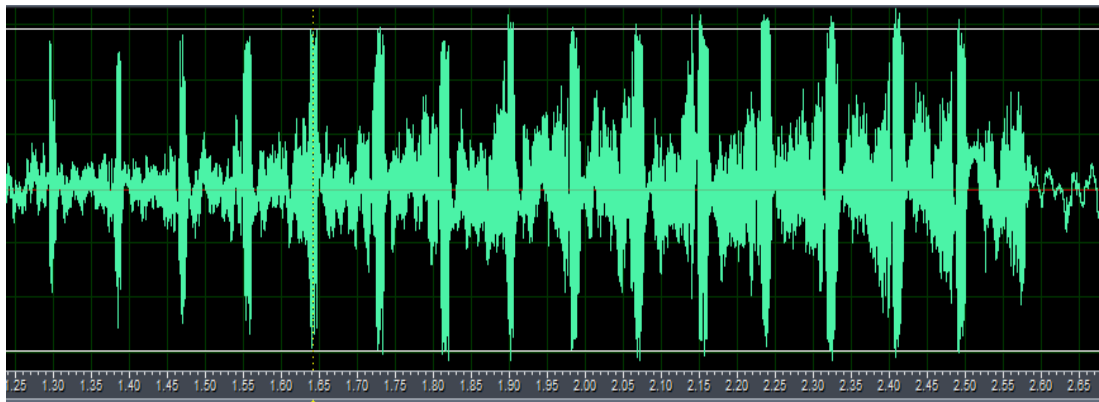
图(4). 土门岭跃度蝗鸣声光谱图

3.1.2 长须跃度蝗 (*P.dolichocerca*)

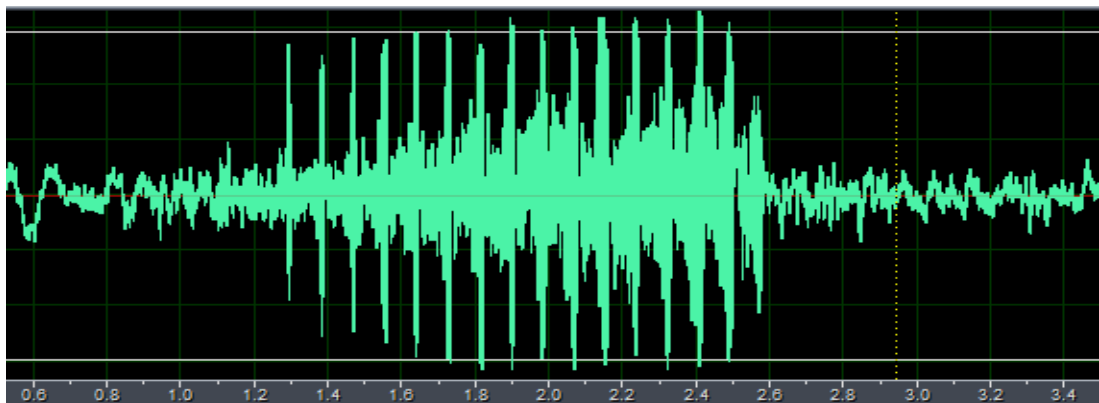
3.1.2.1 长须跃度蝗 (*P.dolichocerca*) 鸣声时域分析

跃度蝗属的另一种蝗虫：长须跃度蝗 (*P. dolichocerca*)，其发声和土门岭跃度蝗 (*P. tumenlingensis*) 有明显的不同，脉冲的持续时间很长，针对长须跃度蝗 (*P. dolichocerca*)，我们采取的声音样本平均每次鸣叫中脉冲组数为 16 个，脉冲组的持续的平均时间是 0.966s，脉冲组间隔的平均时间是 5.89s。平均每个脉冲组的脉冲个数为 16，脉冲间隔的平均时间是 0.011s,脉冲的平均持续时间 0.075s。

该声音样本的波形图如下所示：



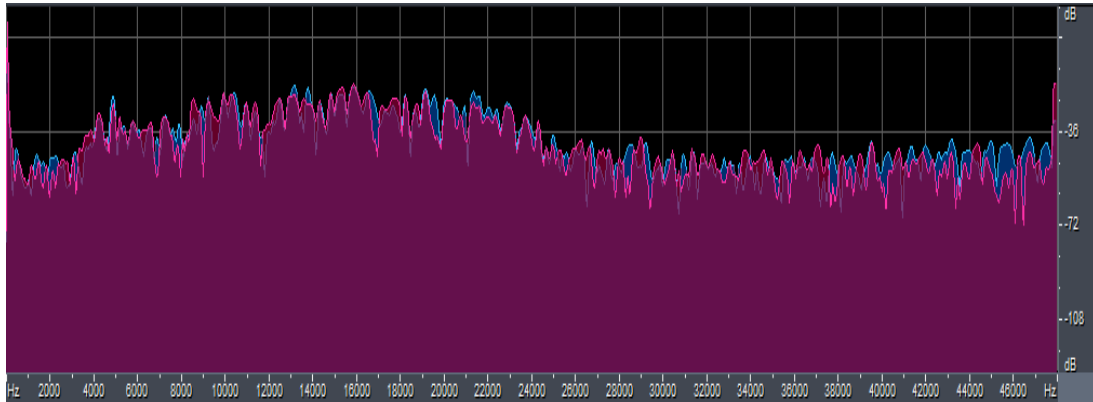
图(5).长须跃度蝗鸣叫周期



图(6).长须跃度蝗脉冲组中的脉冲数

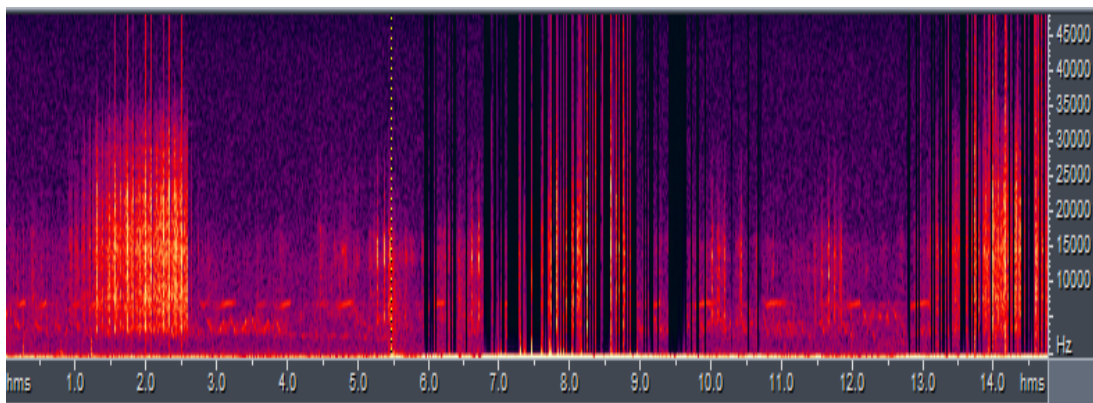
3.1.2.2 长须跃度蝗 (*P.dolichocerca*) 鸣声频域分析

长须跃度蝗 (*P. dolichocerca*) 的声音样本中 72dB 频率范围分布在 2000—45000Hz, 跨度明显大于土门岭跃度蝗, 主要集中在 4000—26000Hz 范围, 和土门岭跃度蝗 (*P. tumenlingensis*) 相同的是频率分布并不呈现明显的函数关系, 并且趋于平稳, 具有典型的宽带噪声特点。在 20000Hz 以上有一定频率分布, 说明此种蝗虫鸣声中含有少量超声成分。



图(7).长须跃度蝗 (*P. dolichocerca*) 频域分析

对所选取的长须跃度蝗鸣叫的声音片段的光谱图进行分析可知, 光谱图清晰地展现了鸣叫的频率和时域分布状态。由图谱可见, 蝗虫鸣叫频率分布范围是 3000—45000Hz, 集中分布范围在 4000—24000Hz, 这与其鸣叫的频率分析图谱得出的结论相似。



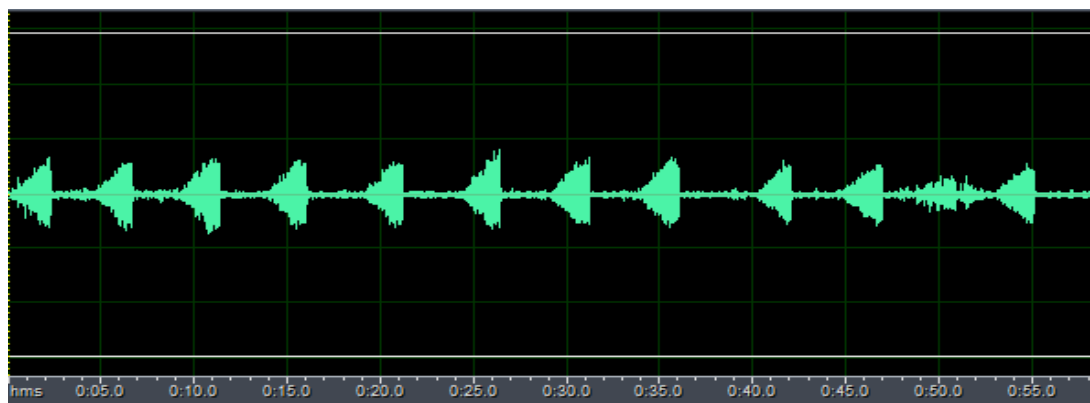
图(8).长须跃度蝗 (*P. dolichocerca*) 鸣声光谱图

3.1.3 狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*)

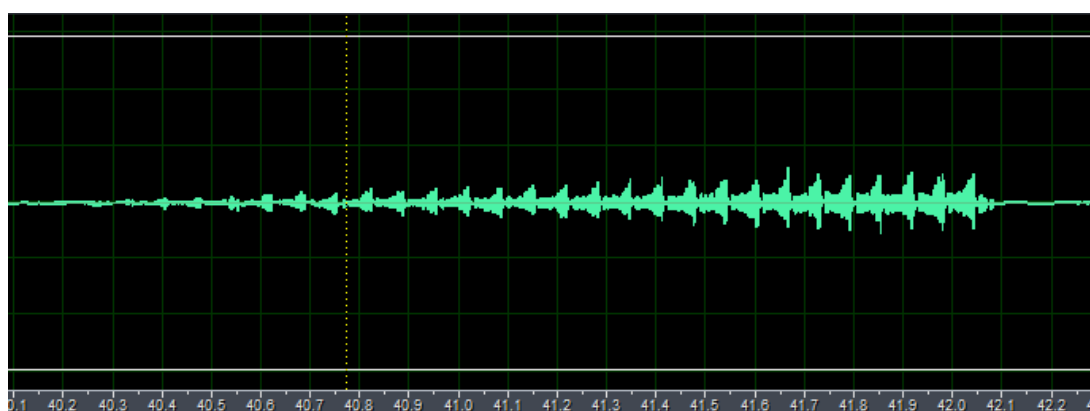
3.1.3.1 狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*) 时域分析

实验中第三种跃度蝗: 狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*), 对它研究时我们选取了 10 号虫 (此标号为本小组野外实习时为方便采取的声音样本与蝗虫样本一一对应所设) 的声音进行分析, 可以得出平均每次鸣叫中脉冲组数为 11 个, 脉冲组的持续的平均时间是 2.8007s, 脉冲组间隔的平均时间是 3.6715s。平均每个脉冲组的脉冲个数为 34 个, 脉冲间隔的平均时间是 0.0133s, 脉冲的平均持续时间 0.0650s, 从下图的鸣叫的脉冲和脉冲组中, 我们可以

看出其发声的周期明显比上述两种蝗虫长。



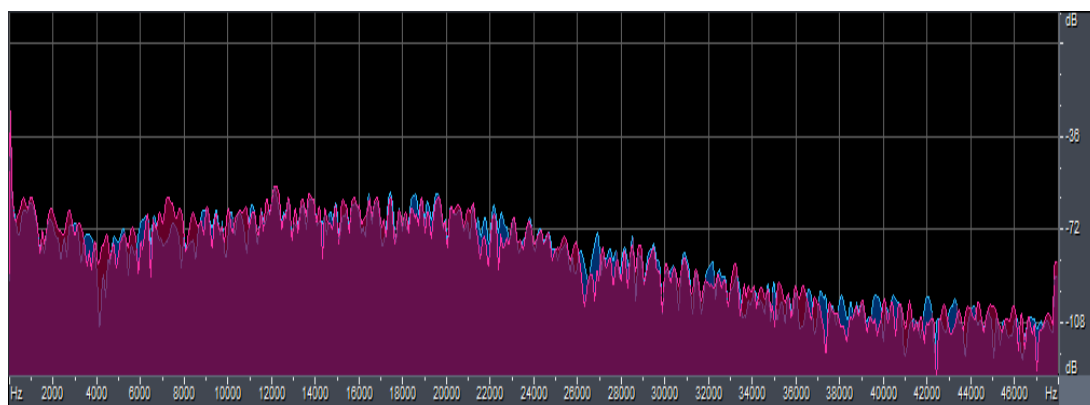
图(9). 狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*) 鸣叫周期



图(10). 狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*) 脉冲组中的脉冲数

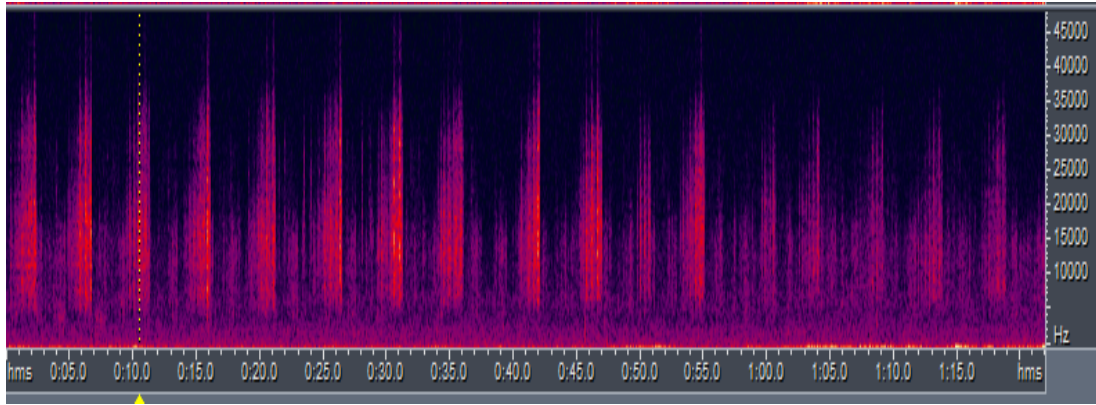
3.1.3.2 狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*) 鸣叫的频域分析

狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*) 的样本中 72dB 频率范围分布在 6000—24000Hz，其在 72dB 范围内分布都很均匀，不同频率的分布并没有很大的差异。同样的，在 20000Hz 以上有一定频率分布，但明显没有前两种蝗虫明显，几乎可以忽略，即发声时产生的超声很少。



图(11). 狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*) 频域分析

由狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*) 的鸣叫的光谱图分析可知，蝗虫鸣叫频率分布范围是 5000—45000Hz，集中分布范围在 5000—25000Hz，这与其鸣叫的频率分析图谱得出的结论相似。



图(12). 跃度蝗鸣声光谱图

3.1.4 小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang)

3.1.4.1 小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang) 时域分析

除了跃度蝗属，我们捕捉并记录了小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang) 的鸣声的特点，我们所取的样本时间长为 12s，并且对该样本进行了分析：每次鸣叫的脉冲组数是 6 个。每次鸣叫的脉冲组平均的时间间隔为 1.5348s，脉冲组平均持续时间为 0.756s，平均每个脉冲组的脉冲个数为 6，单个脉冲组的平均持续时间为 0.0513s，脉冲间隔的平均时间是 0.0579s。

小黑雏蝗鸣叫的时域特征如下图：

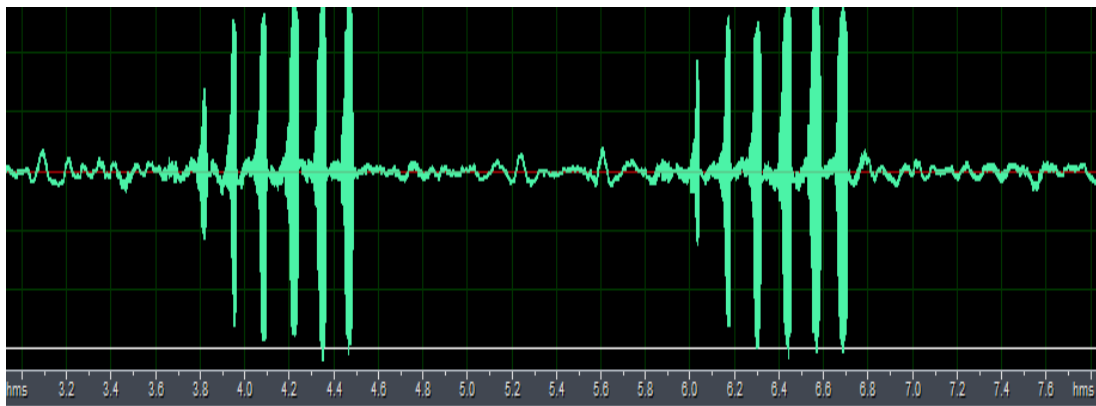


图 (13) . 小黑雏蝗鸣叫周期

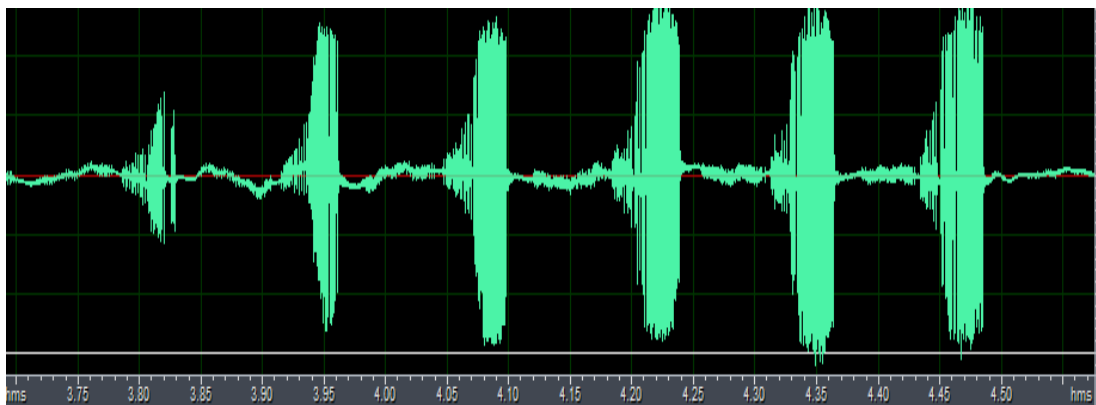
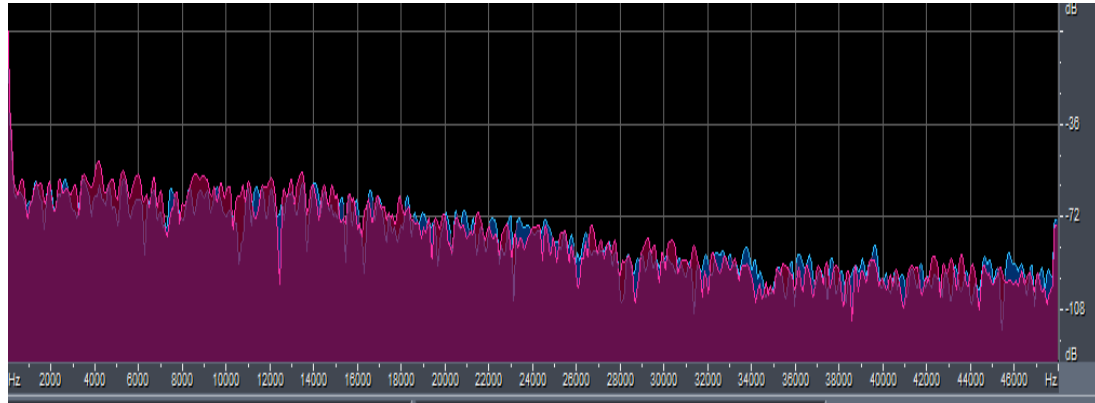


图 (14) . 小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang) 脉冲组中的脉冲数

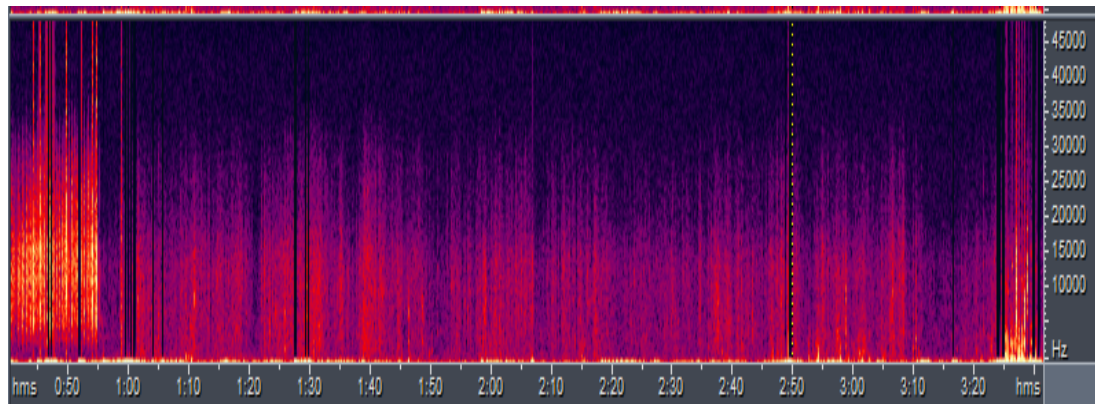
3.1.4.2 小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang) 频域分析

对小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang) 测定声音选取段落进行频率分析可得，该声音样本 72dB 频率范围大致为 2000—20000Hz，其分布表均匀，从整体上看，频率分布并不呈现明显的函数关系，杂乱无章，具有典型的宽带噪声特点。



图(15). 小黑雏蝗频域分析

对小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang) 鸣声所选取声音片段的光谱分析图进行分析可知，图中颜色较亮的区域即是声音频率较集中的区域，光谱图清晰地展现了鸣叫的频率时域分布。由图谱可见，蝗虫鸣叫频率范围是 2000—35000Hz，主要集中的范围在 2000—20000Hz，这与其鸣叫的频率分析图谱得出了相似的结论。



图(16). 小黑雏蝗鸣声光谱图

四种蝗虫的时域分析数据比较如表 1 所示：

| 数据名称 | 土门岭跃度蝗 | 长须跃度蝗 | 狭翅跃度蝗 | 小黑雏蝗 |
|-----------|--------|-------|--------|--------|
| 样本时长/s | 20 | 26 | 24 | 12 |
| 每次鸣叫脉冲组个数 | 10 | 16 | 11 | 6 |
| 脉冲组持续时长/s | 0.334 | 0.966 | 2.8007 | 0.756 |
| 脉冲组间隔时长/s | 1.0656 | 5.89 | 3.6715 | 1.535 |
| 脉冲组中脉冲个数 | 5 | 16 | 34 | 6 |
| 脉冲持续时长/s | 0.0428 | 0.075 | 0.055 | 0.0650 |
| 脉冲间隔时长/s | 0.0355 | 0.011 | 0.054 | 0.0133 |

| | | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| 频域集中分布范围/ Hz (72dB) | 5000—26000 | 4000—26000 | 4000—24000 | 2000—20000 |
| 光谱图中频率集中分布/Hz | 5000—24000 | 4000—24000 | 5000—35000 | 2000—20000 |

表 1. 四种蝗虫的时域分析数据比较

3.2 音齿分析结果

针对蝗虫发声的器官的分析,我们主要对其音齿形状、密度、数量、音齿宽度、音齿间距、音齿列长等方面进行了研究和处理。并对其形态的分析中则应用了体视镜进行计数和拍照。

下面是四种蝗虫发声部位音齿的比较:

3.2.1 土门岭跃度蝗音齿特征的统计数据:

| | 样本 1 | 样本 2 | 样本 3 | 样本 4 | 样本 5 | 样本 6 | 样本 7 | 平均数 | 方差 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------|
| 音齿列长(mm) | 10.3 | 15.1 | 15.0 | 16.8 | 14.3 | 12.5 | 12.9 | 13.84 | 3.62 |
| 音齿密度 | 0.08 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.00024 |
| 音齿宽度(mm) | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.16 | 0.11 | 0.0016 |
| 音齿个数(个) | 123 | 120 | 125 | 127 | 121 | 122 | 112 | 121.43 | 19.67 |

3.2.2 长须跃度蝗音齿特征的统计数据

| | 样本 1 | 样本 2 | 样本 3 | 样本 4 | 样本 5 | 样本 6 | 样本 7 | 平均数 | 方差 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| 音齿列长 (mm) | 15.10 | 13.67 | 14.08 | 11.92 | 12.25 | 12.75 | 11.33 | 13.01 | 1.51 |
| 音齿密度 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.00017 |
| 音齿宽度 (mm) | 0.17 | 0.16 | 0.20 | 0.12 | 0.16 | 0.12 | 0.12 | 0.15 | 0.0016 |
| 音齿个数 (个) | 111 | 105 | 104 | 107 | 107 | 106 | 107 | 106.71 | 4.21 |

3.2.3 狭翅跃度蝗音齿特征的统计数据

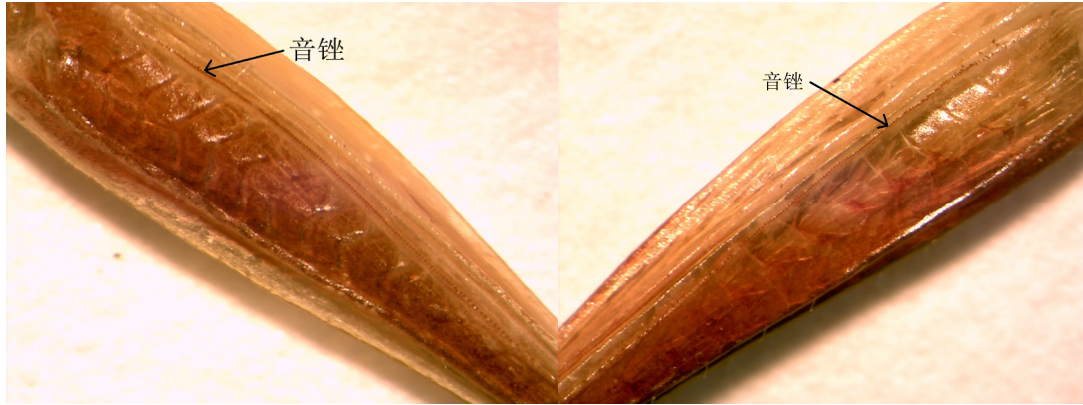
| | 样本 1 | 样本 2 | 样本 3 | 样本 4 | 平均数 | 方差 |
|-----------|-------|-------|------|-------|--------|----------|
| 音齿列 (mm) | 10.04 | 9.40 | 9.60 | 10.01 | 9.76 | 0.074 |
| 音齿密度 | 0.095 | 0.095 | 0.10 | 0.097 | 0.097 | 0.000042 |
| 音齿宽度 (mm) | 0.12 | 0.16 | 0.13 | 0.12 | 0.13 | 0.000069 |
| 音齿个数 (个) | 106 | 99 | 95 | 103 | 100.75 | 17.19 |

3.2.4 小黑雏蝗音齿形态特征的统计数据

| | 样本 1 | 样本 2 | 平均数 | 方差 |
|-----------|--------|--------|-------|---------|
| 音齿列长 (mm) | 20.833 | 14.167 | 17.5 | 11.0889 |
| 音齿密度 | 0.164 | 0.110 | 0.14 | 0.0007 |
| 音齿宽 (mm) | 0.0602 | 0.0803 | 0.070 | 0.0001 |
| 音齿数 (个) | 127 | 129 | 128 | 1 |

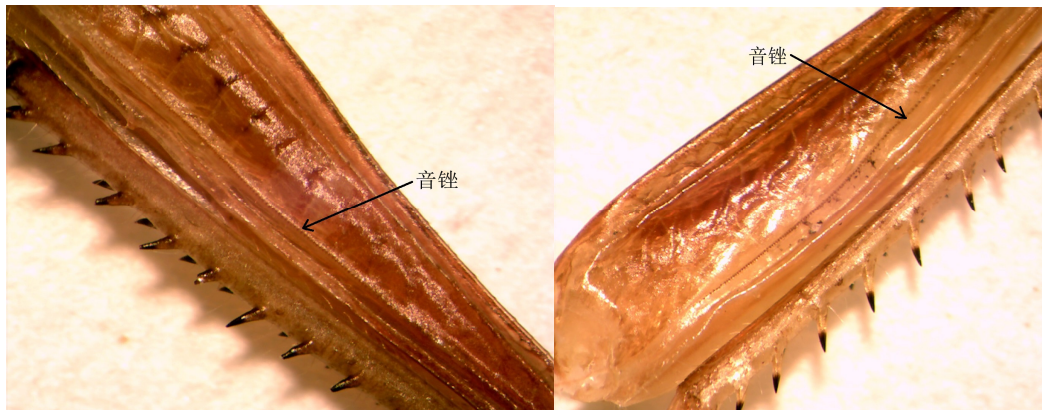
从上述的四组数据我们可以看出，其样本的方差都不大，说明所得的实验数据有一定的可靠性，对于同属的蝗虫来说，音齿的数目、音齿密度和音齿宽也会有一定的差异。可以明显的看出狭翅跃度蝗的音齿明显小于其他三种跃度蝗。

为进一步分析四种蝗虫的发声机制，我们对四种蝗虫的发声部位即音锉也进行了体视镜观察，结果如下：



土门岭跃度蝗 (*P. tumenlingensis*) 音锉

长须跃度蝗 (*P. dolichocerca*) 音锉



小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang)

狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*)

上图是在同等放大倍数(1x12)的体视镜下观察的四种跃度蝗的发声部位，长须跃度蝗和土门岭跃度蝗的音锉相差不大，而在体视镜下，可以明显看出小黑雏蝗的音齿的分布很密集，这可能也是种属之间的一个差异。

5 讨论

在长白上地区跃度蝗和雏蝗分布相对比较广泛，本次研究主要对长须跃度蝗 (*P. dolichocerca*)、土门岭跃度蝗 (*P. tumenlingensis*)、狭翅跃度蝗 (*P. angustipennis*) 和小黑雏蝗 (*Chorthippus minutus* Zhang) 进行了比较。研究发现不同属的蝗虫发声有明显的不同，同一属但不同种类之间也有差异。土门岭跃度蝗、长须跃度蝗、狭翅跃度蝗属于蝗总科跃度蝗属，小黑雏蝗属于网翅蝗科雏蝗属。在观察过程中我们发现，跃度蝗属和雏蝗属的蝗虫发出的声音有一定的区别，跃度蝗的叫声清脆响亮，富有节奏感；而小黑雏蝗的声音则相对低沉。

5.1 不同属之间的比较

通过跃度蝗属和雏蝗属的蝗虫鸣叫的频域与时域的分析，可以看出：跃度蝗属每次鸣叫的脉冲组数比小黑雏蝗多出一倍多，小黑雏蝗脉冲组中的脉冲数又明显小于跃度蝗属，小黑雏蝗的脉冲组持续时长与长须跃度蝗相接近，但明显小于狭翅跃度蝗。对于脉冲的持续时间，不同属之间的差异不太显著，都集中于0.05左右。跃度蝗属的高频成分的分布范围率大于雏蝗属。

不同属之间的差异特征分化的结果，使物种在进化过程中保持物种间生殖隔离。在形态结构和行为学上，表现为发声器结构和鸣叫行为的差异。因此，鸣声特征可以作为种类鉴定的依据之一，同时可以作为探讨物种起源于进化的依据之一，对于蝗虫的鸣叫声，主要是为了吸引相对间隔远的雌性，所以，不同属之间的鸣叫的差异也是物种繁衍的进化方式。

此次通过应用体视镜和 Cool edit Pro 2.1 版声音分析软件观察和分析跃度蝗属和小黑雏蝗的鸣叫，对其形状、数量、密度的比较及音齿间距、音齿宽度、音齿列长度的测量，得出以下结论：

- (1) 雏蝗属的音齿的数量明显大于跃度蝗属的音齿的数量，可能与发声的周期长度有一定的联系；
- (2) 不同属之间音齿的密度的差异可能与其发声的强弱和持续时间有关；
- (3) 三种跃度蝗在 20000Hz 以上都有一定的声音，虽然长须跃度蝗的超声分布很少，但和雏蝗属的小黑雏蝗比，明显大于它的超声分布，这可能与物种之前的隔离有一定的关系。

5.2 同一属不同种类之间的比较

通过观察三种跃度蝗的发声器官和发声时域和频域，比较可以看出，同一属中不同的种类之间也有一定的差异。

对于发声的时域和频域进行分析：三种跃度蝗鸣叫一个周期的脉冲组数相差不多，但脉冲组的持续时间以及一个脉冲组的脉冲数狭翅跃度蝗明显高于其他的两种跃度蝗，这可能是长期进化的结果。针对样品的频域分析，三种跃度蝗发声是的频率分布范围都比较大，而且在 20000Hz 以上有超声波的出现，这可能与物种亲缘性有一定的关系。

对于体视镜下观察蝗虫的发声器官我们发现，狭翅跃度蝗的音锉的长度明显小于其他两种跃度蝗，而长须跃度蝗的音齿密度比其他两种跃度蝗大。通过查阅资料我们发现，音齿具有属征的可能性，有些属仅依据音齿就可以确定属征，而有些属还需依据其他一些特征才能确定^[11]。也如陈阿兰的《雏蝗属四种雌雄性发音器的比较研究》中所阐述的，“发声器特征可以用作系统分类的一个分类形状”^[12]。

本次实习课题中，我们选择了长白山分布广泛的三种跃度蝗和一种雏蝗为研究对象，对其发声的器官进行了研究，并对其发声的样本进行了处理与分析，但对其鸣叫的机制以及其

发声机制的演变方向尚不明确，还有待于进一步的学习和研究。

[参考文献]

- 【1】芦荣胜, 石福明, 杜喜翠; 四种雏蝗雄性鸣声结构的比较研究(直翅目: 蝗总科) [J]; 广西科学; 2003年02期
- 【2】芦荣胜, 石福明, 黄原. 四种蝗虫雄性鸣声的比较研究(直翅目, 蝗总科) 动物分类学报 29 (4): 639-645 (Oct., 2004)
- 【3】芦荣胜, 杨培林, 石福明等, 2002. 历山自然保护区四种蟋蟀鸣声结构的比较研究(直翅目: 蟋蟀总科). 动物分类学报, 27 (3) : 491~497
- 【4】芦荣胜, 石福明, 杨培林; 两种米纹蝗雄性鸣声的比较研究(直翅目, 蝗总科) [J]; 动物分类学报; 2003年03期
- 【5】隋艳晖, 徐洪富, 孙淑君, 刘勇, 孙炳香. 昆虫发声行为的研究现状 山东农业大学学报(自然科学版), 2003, 34 (3): 443~446
- 【6】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年03期
- 【7】石福明, 杨培林, 2002. 鼻优草螽和苍白优草螽鸣声和发声器的研究. 动物学研究, 22 (2) : 13~16
- 【8】林凤鸣. 黄星蝗的发声 (J). 昆虫知识 1982, 19 (5) : 32
- 【9】李恺, 郑哲民. 棺头蟋属六种常见蟋蟀鸣声特征与种类鉴定 [J]. 昆虫分类学报 1999, 21 (1) 17-21
- 【10】谢令德, 郑哲民, 音蟋属三种蟋蟀发生器特征的比较, 武汉工业学院学报 1009-488 (2002) 04-0099-03
- 【11】陈阿兰, 雏蝗属四种雌雄性发音器的比较研究(直翅目: 网翅蝗科) 青海师范大学学报(自然科学版) 1001-7542 (2003) 01-0072-03
- 【12】Ragge, K. R. and Reynolds, W. J. 1998. The songs of the Grasshoppers and Crickets of Western Europe. Published by Harli y Books in Association with The Natural Bistort Museum. London. 12348.
- 【13】Reynolds, W. J. 1980. A re2examination of the characters separating *Chorthippus montanus* and *C. parallelus* (Orthoptera: Acrididae). Journal of Natural History, 14 : 1832303.
- 【14】Walker, T J and Carlisle, T C. Stridulatory File Teeth in Crickets: Taxonomic and Acoustic Implications (Orthoptera: Gryllidae) [J]. I J Insect Morphol & Embryol, 1975, 4 (2) : 151-158
- 【15】Fernando Montealegre-Z, Andrew G. Mason. The mechanics of sound production in *Panacanthus pallicornis* (Orthoptera: Tettigoniidae: Conocephalinae): the stridulatory motor patterns. The Journal of Experimental Biology 208, 1219-1237.