

# 长白山地区4种常见螽蟖的发声器结构与声 学特征研究

指导教师:王寅亮

小组成员: 王剑桥 陈红霞 彭佳玥 荆 彤

刘晓枫 刘小田 胡 迪

实习时间: 2014年7月1日——2014年7月11日

中国・长春

二零一四年九月

# 长白山地区4种常见螽蟖的发声器结构与声 学特征研究

【摘要】鸣声是发声昆虫的主要通讯方式之一。昆虫利用鸣声使种内个体保持信息交流,种间保持生殖隔离。不同种类的昆虫,其鸣声特征不同。究其原因,在于产生鸣声的发声器结构存在差异;同时也受到遗传特性、性别、发育程度等内在因素的影响,受到温度、光照等外界环境因素的影响。螽蟖总科的昆虫是直翅目的第二大类群,其发声方式为双翅摩擦发声,并具有声锉和刮器构成的发声器结构。本实验对长白山 4 种常见螽蟖发声器结构和鸣声声学特征进行比较和研究,探讨这 4 种螽蟖发声器结构和声学特征之间的相关性和差异性;同时,结合对鸣声数据时域和频域两大特征的分析研究,发现每种螽蟖的鸣声具有很强的种内稳定性,不同种类的螽蟖鸣声同时具有一定的种间差异性,因此,螽蟖的鸣声差异可以为螽蟖分类提供数据补充。

【关键词】发声器 直翅目鸣声 时域特征 频域特征

## 1引言

### 1.1 长白山昆虫多样性与螽蟖多样性

东北地区,丰富的自然资源蕴藏了丰富的生物资源,生物多样性极其复杂:生长着 1800 多种高等植物,栖息着 50 多种兽类、280 多种鸟类、50 多种鱼类以及 3000 多种昆虫(其中国家 I、II级保护的濒危昆虫种类各 1 种,传粉昆虫 300 余种,食、药用昆虫种类也非常丰富)<sup>[11]</sup>。长白山是中国北方,尤其是东北生物多样性最为丰富的关键地区<sup>[22]</sup>。

螽蟖属于直翅目昆虫,体型为中到大型;触角丝状,较长,其长度可超过体长;前足胫节常常具有听器;雄性前翅常具发音器;雌性的腹端产卵器呈矛状、镰刀状或剑状。多数为植食性,少数为杂食性或捕食性,无寄生性。世界上已经描述的螽蟖有 6000 余种,隶属于1070 属。我国螽蟖种类丰富,现在已记载的至少有 330 多种,而且分布广泛。东北地区有硕螽科 Bradyporidae 3 种,露螽科 Phaneropteridae 6 种,螽蟖科 Tettigoniidae 23 种,草螽科 Conocephalidae 10 种,共计 17 属 42 种 2 亚种<sup>[3]</sup>。长白山地区分布有乌苏里蝈螽 Gampsocleis ussuriensis、短翅蝈螽 Gampsocleis gratiosa、鼓翅蝈螽 Gampsocleis inflatus、恩氏姬螽 Metrioptera engelhardti、短翅螽蟖 Tettigonia cantans、乌苏里螽蟖 Tettigonia ussuriana、乌苏里姬螽 Metrioptera ussuriana、中华草螽 Conocephalus chinensis、中华寰螽 Atlanticus sinensis、黑角露螽 Phaneroptera nigroantennata、姬钩额螽 Ruspolia jezoensis、秋掩耳螽 Elimaea fallax、日本条螽 Ducetia japonica 等类群。

#### 1.2 昆虫鸣声机制与功能概述

昆虫在长期进化过程中,不同类群形成了不同的发声机制。每个类群的发生机制是它们在长期进化过程中对环境的一种适应,对其生存和繁衍具有重要意义。总结众多昆虫的发生机制,大体可以分为这样 5 类;①昆虫身体敲击其他物体发声,②膜振动发声,③空气在昆

虫体内运动发声,④鸣声是昆虫另一种活动的副产品,以及⑤摩擦发声。由于研究对象的特殊性,这里重点介绍摩擦发声机制<sup>[4]</sup>。

摩擦发声是指昆虫体躯两个不同部位的体表相互摩擦发声。在这两个相互摩擦的部位往往产生一些特化的结构——声锉和刮器。声锉有一些坚硬的突起,叫声齿;而与之相摩擦的、具有一些脊状突起的,叫刮器。当昆虫发声时,刮器不断在声锉上摩擦,引起与声锉相连的膜的振动而发出声音。这种发声机制发出的声音具有较宽的频谱和极强的谐音,音质上也变化多端。这种发声机制以空气作为介质传播,不受传递介质的干扰,发出的声音也比较稳定。

昆虫的发声行为是由两方面的反应所引起的:一是感觉器官对外界刺激的反应,其鸣声非形式化,属低级行为的形式,大多数此类鸣声具报警和攻击信号的性质;二是各种生理状态:如饥饿、交配等所引起的反应,其鸣声具有一些重复的基本音节,特征形式化,此类声音用于传播大量信息,大多数群聚信号、呼唤信号、求偶信号、交配信号、识别信号等属于此类。

Matlhewa (1978) 将昆虫鸣声按其信号特征和功能意义意义分为 4 种声行为和 11 种类型,4 种声行为包括了群聚、进攻报警、生殖和社会活动。群聚行为包括的鸣声类型有群聚、呼唤、求偶、交配和进攻;进攻报警行为包括的鸣声类型有竞争、警告、飞行时的鸣声、反抗一报警;生殖行为包括的鸣声类型有呼唤、求偶、交配、进攻、竞争、警告和飞行时的鸣声;社会活动包括的鸣声类型有识别、发现食物和指示巢穴位置<sup>[5]</sup>。对直翅目昆虫而言,其鸣声主要用于求偶,以及相互响应,蟋蟀的鸣声还具有定位功能。

## 1.3 螽蟖鸣声和发声器的研究概况

国外学者在螽蟖鸣声研究方面做了很多工作。Bailey(1975,,1979)对非洲和澳大利亚草螽亚科的一些属进行修订时,曾研究了同属不同种鸣声的差异<sup>[6,7]</sup>。Heller(1988)详细研究了欧洲螽蟖 5 科 58 属 263 种雄性鸣声和发声齿,发现种间鸣声差异较大,同一物种在不同生境下的鸣声时域特征和频域特征稍有差异,但鸣声时域波形图保持一致<sup>[8]</sup>。Forrest和 Lajoie等(2006)研究了露螽科 *amblycorypha rotundifolia*(Scudder)和 *amblycorypha alexanderi*(Walker)的鸣声特征,结果表明这 2 种螽蟖频域特征相近,但时域特征差异明显<sup>[9]</sup>。Kolices 和 Orci等(2008)对螽蟖科 Saga 属 5 种的鸣声特征进行了研究,结果显示,种间脉冲序列类似,但脉冲持续时间、间隔时间差异很大<sup>[10]</sup>。Sylvain(2010)比较研究了2 个亚科 7 种的鸣声,认为 Nepheliphila、Paradecolya 和 Brachyphisis3 属间的特征差异显著,但属内种间特征差异较小<sup>[11]</sup>。

国内学者,近年来在螽蟖鸣声方面也做了一些工作。石福明等(2001, 2002, 2003)研究了鼻忧草螽 Euconocephalus nasutus、苍白忧草螽 Euconocephalus pallidus、中华寰螽 Atlanticus sinensis、日本条螽 Ducetia japonica 的鸣声特征[12,13,14]。常岩林等(2007)研究了 4 种草螽的鸣声结构,结果表明,4 种草螽名声结构简单,均由一种脉冲组序列组成[15]。 王世贵等(2008)对内蒙古的乌苏里蝈螽 Gampsocleis ussuriensis 和优雅蝈螽 Gampsocleis gratiosa 雄性鸣声结构进行了研究,认为 2 种螽蟖鸣声特征有相似之处,但在一次鸣叫持续

时间等特征方面存在差异<sup>[16]</sup>。李延友等(2010)从生态学角度研究了优雅蝈螽 *Gampsocleis gratiosa*、鼓翅鸣螽 *Uvarovites inflatus* 和暗褐蝈螽 *Gampsocleis sedakovii* 3 种螽蟖的鸣叫行为<sup>[17]</sup>。赵敏等(2011)对戈壁硕螽 *Zichya gobica* 和大棘螽 *Deracantha grandis* 雄性鸣声行为进行了比较研究,研究发现单头雄时鸣叫时间最长,而双雄时鸣叫时间最短<sup>[18]</sup>。

国外学者在螽斯雄性发声器结构的研究方面做了许多工作,Morris 和 Pipher(1972)研究了螽斯科 *Metrioptera sphagnorum* 的鸣声特征和发声器的结构,并对前翅的运动与发声的关系进行了深入研究<sup>[19]</sup>。Morris 和 Walker(1976)详细研究了草螽科 *Orchelimum* 属 18 种发声器结构,结果表明种间雄性发声锉的形状、发声齿的形状和排列差异显著<sup>[20]</sup>。Heller 和 Sevgili(2005),Heller 和 Korsunovskaya 等(2006)研究了露螽科 *Poecilimon* 属 8 种雄性的发声器结构,研究结果表明,这 8 种螽斯的外形相似,但发声锉的形状和长度、发声齿的数目差异显著<sup>[21,22]</sup>。Nickle(2005)研究了蛩螽亚科 *Phlugis* 属 12 种雄性的发声器结构,比较了发声锉的长度和发声齿的数目,并对其中的 5 种蛩螽发声锉的形状和长度、发声齿的形状、数目和排列进行了比较,结果表明,种间发声锉的长度、发声齿的形状、数目和排列进行了比较,结果表明,种间发声锉的长度、发声齿的形状、数目和排列差异显著,且特征稳定<sup>[23]</sup>。Ingrisch 和 Gorochov(2007)对露螽科半掩耳螽属 *Hemielimaea* 11 种雄性发声器的结构特征进行了详细研究,结果表明,种间发声锉的长度、发声齿的形状、数目和排列、Cu<sub>2</sub>脉形态、镜膜形状等差异显著<sup>[24]</sup>。

近年来,国内学者在螽蟖发声器的研究方面也做了一些工作。沈钧贤和关力(1988)研究了硕螽 Deracantha onos 雄性发声锉长度、结构和发声齿的长度、结构和数量<sup>[25]</sup>。 石福明和郑哲民(1998)研究了华绿螽属 Sinochlora 3 种的雄性发声器结构,结果表明华绿螽属发声锉的形态种内很相似,种间差异显著<sup>[36]</sup>。石福明和郑哲民(1999)研究了桑螽属 Kuwayamaea 3 种的雄性发声器结构,发声锉的形状和长度以及发声齿的数目和长度有显著差异<sup>[27]</sup>。石福明和杨培林等(2001)研究表明鼻优草螽 Euconocephalus nasutus 与苍白优草螽 Euconocephalus pallidus 发声锉的形态差异明显,鼻优草螽发声锉较弯曲,中部稍粗壮,两端稍细;苍白优草螽发声锉较直,呈棒状<sup>[28]</sup>。

## 2 材料与方法

#### 2.1 实验材料

本次野外实习,我们小组(动物三组)对长白山露水河镇红松种子园(E127°52″,N42°27″)4 种常见螽蟖:帮内特姬螽(Metrioptera bonneti)、乌苏里姬螽(Metrioptera ussuriana)、谢氏蝈螽(Gampsocleis sedakovii)、中华草螽(Conocephalus chinesis)进行研究。采集及记录时间在上午8:00——上午11:00,下午13:30——下午16:00,每个物种采集三至十头样本,并根据形态学特征进行分类。帮内特姬螽,乌苏里姬螽属于螽蟖科Tettigoniidae 姬螽属 Metrioptera;谢氏蝈螽属于螽蟖科Tettigoniidae 蝈螽属 Gampsocleis;中华草螽属于草螽科 Orchelimum 草螽属 Conocephalus。

#### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 野外鸣声录制与分析

对螽蟖进行录音,使用的是 SONY PCM—D50 数字录音机,采样率为 96kHz,频响范围 48kHz。在距离螽蟖鸣叫个体的 5—25cm 处,在不打扰螽蟖的情况下,将录音机正对鸣叫个体,直接录制单头螽蟖的鸣声;并挑选其中较好的声音样本,即波形处于录音机录制界面的 2/3 范围内;在录制完成后,记录时间、地点、相应编号。声音样本录制完成后用捕虫网将其抓获,带回实验室进行扫描电子显微镜拍照。

对螽蟖鸣声的声学特征分析,我们使用 Cool edit Pro 2.1 软件。分析内容包括脉冲组间隔、脉冲组长度,脉冲组中脉冲数、脉冲长度、脉冲间隔等时域特征和最低频率、最高频率、语谱图等频域特征。

#### 2.2.2 发声器扫描电镜样本制备

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,在不破损前翅完整性的前提下用手术镊轻轻将昆虫前翅取下,将取下的前翅放置于体视镜下确定声锉位置,并用眼科剪小心剪下前翅中声锉的部分,大小与电镜台一致而略小,剪下的样本先置于带有标号的双蒸水中轻轻用干净的毛笔刷去翅上附着的灰尘,之后分别置于 30%、50%、80%、95%、100%的酒精梯度脱水,室温干燥,用镊子将样本贴到带有双面胶的电镜金属台上,金属镀膜,扫描电镜观察并拍照。电镜工作环境为 20kV,工作距离为 21mm,每物种至少制备 3 个电镜样本,便于统计分析。

## 3 实验结果

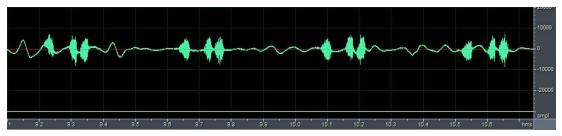
#### 3.1 鸣声分析结果

#### 3.1.1 帮内特姬螽 ( Metrioptera bonneti)

### A. 帮内特姬螽 ( Metrioptera bonneti) 鸣声时域分析

本次试验中,我们共捕获了5头样本进行分析,其结果如下:针对帮内特姬螽,其脉冲组间隔为0.298±0.017s,脉冲组长度为0.146±0.003s,脉冲组中脉冲数为3,脉冲长度为0.0308±0.005s,脉冲间隔为0.0458±0.002s。

该声音样本的波形图如图 1 所示:



图(1)帮内特姬螽鸣声脉冲组波形图

#### B. 帮内特姬螽 ( Metrioptera bonneti) 鸣声频域分析

对该声音样本进行频域分析,从图 2 可知,72dB 频率范围分布在 5906~33930Hz,主要集中在 12000~30460 Hz 范围。

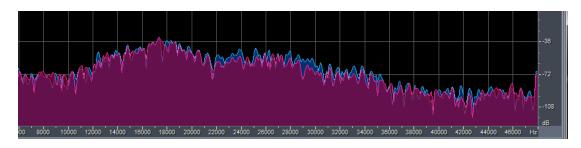


图 (2) 帮内特姬螽鸣声频谱分析图

除了对帮内特姬螽的频率分布进行研究,我们还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为集中的区域。从图 3 可知,该螽蟖鸣声频率分布范围是 5000~35000Hz,集中分布在 12000~32000Hz,这与频谱分析的结论相似。

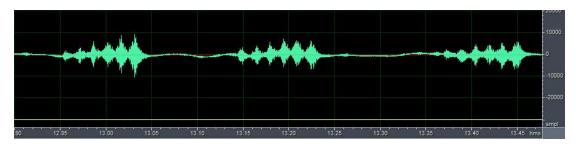


图 (3) 帮内特姬螽鸣声光谱图

### 3.1.2 乌苏里姬螽(Metrioptera ussuriana)

#### A. 乌苏里姬螽(Metrioptera ussuriana)鸣声时域分析

乌苏里姬螽声音样本中,脉冲组间隔为 0.0682±0.012s,脉冲组长度为 0.0874±0.008s,脉冲组中脉冲数为 6,脉冲长度为 0.0106±0.001s,脉冲间隔为 0.0046±0.002s。 该声音样本的波形图如图 4 所示:



图(4)乌苏里姬螽鸣声脉冲组波形图

### B. 乌苏里姬螽(Metrioptera ussuriana)鸣声频域分析

对该声音样本进行频域分析, 从图 5 可知, 84dB 频率范围分布在 5718~28590Hz, 主要集中在 6843~23250 Hz 范围。

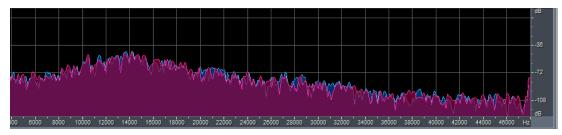


图 (5) 乌苏里姬螽鸣声频谱分析图

除了对乌苏里姬螽的频率分布进行研究,我们还分析了鸣声的光谱图。从图 6 可知,该螽蟖鸣声频率分布范围是 5008~29008Hz,集中分布在 7095~23791Hz,这与频谱分析的结论相似。

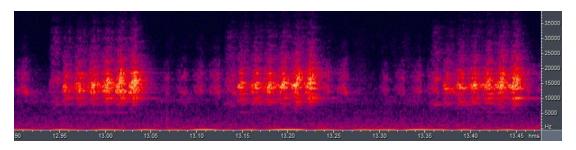


图 (6) 乌苏里姬螽鸣声光谱图

### 3.1.3 谢氏蝈螽 (Gampsocleis sedakovii)

#### A. 谢氏蝈螽(Gampsocleis sedakovii)鸣声时域分析

谢氏蝈螽声音样本中,脉冲组中脉冲表现为连续,其脉冲数大于 30 个。 该声音样本的波形图如图 7 所示:

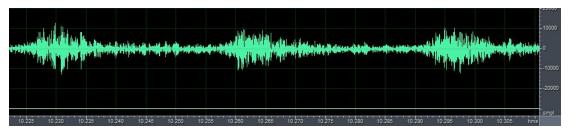
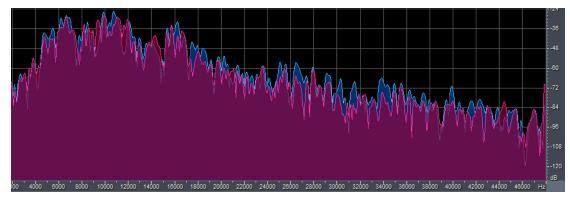


图 (7) 谢氏蝈螽鸣声脉冲组波形图

### B. 谢氏蝈螽(Gampsocleis sedakovii)鸣声频域分析

对该声音样本进行频域分析,从图 8 可知,66dB 频率范围分布在 3562~23530Hz,主要集中在 4216~17530 Hz 范围。



图(8)谢氏蝈螽鸣声频域分析图

除了对谢氏蝈螽的频率分布进行研究,我们还分析了鸣声的光谱图。从图 9 可知,该螽蟖鸣声频率分布范围是 3676~25531Hz,集中分布在 4493~17770Hz,这与频谱分析的结论相似。

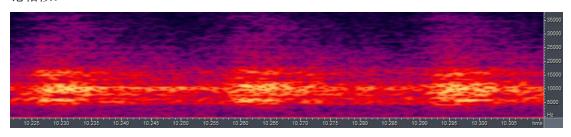


图 (9) 谢氏蝈螽鸣声光谱图

## 3.1.4 中华草螽(Conocephalus chinesis)

### A. 中华草螽(Conocephalus chinesis)鸣声时域分析

中华草螽声音样本中,脉冲组间隔为  $0.024\pm0.002s$ ,脉冲组长度为  $0.0704\pm0.001s$ ,脉冲组中脉冲数为 5,脉冲长度为  $0.0208\pm0.003s$ ,脉冲间隔为  $0.0236\pm0.002s$ 。

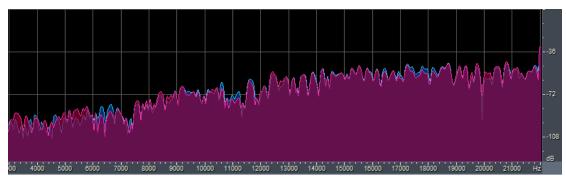
该声音样本的波形图如图 10 所示:



图(10)中华草螽鸣声脉冲组波形图

### B. 中华草螽(Conocephalus chinesis)鸣声频域分析

对该声音样本进行频域分析,从图 11 可知,66dB 频率范围分布在  $7493\sim22000$ Hz,主要集中在  $11450\sim21530$ Hz 范围。



图(11)中华草螽鸣声频域分析图

除了对中华草螽的频率分布进行研究,我们还分析了鸣声的光谱图。从图 12 可知,该 螽蟖鸣声频率分布范围是 7975~22000Hz,集中分布在 12104~21956Hz,这与频谱分析 的结论相似。

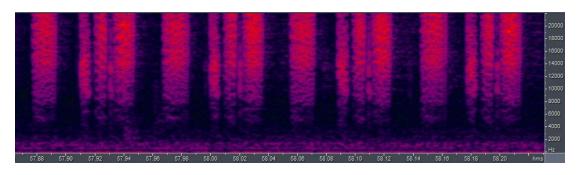


图 (12) 中华草螽鸣声光谱图

### 3.1.5 四种螽蟖鸣声的时域及频域分析数据结果与比较

表 1. 四种螽斯鸣声的时域及频域数据结果

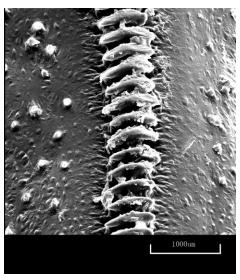
项目	帮内特姬螽	乌苏里姬螽	谢氏蝈螽	中华草螽
脉冲组间隔/s	$0.2980 \pm 0.017$	$0.0682 \pm 0.012$	脉冲连续	$0.0240\pm0.002$
脉冲组长度/s	$0.1460 \pm 0.003$	$0.0874 \pm 0.008$	脉冲连续	$0.0704 \pm 0.001$
脉冲间隔/s	$0.0458 \pm 0.002$	$0.0046 \pm 0.002$	脉冲连续	$0.0236 \pm 0.002$
脉冲长度/s	$0.0308 \pm 0.005$	$0.0106 \pm 0.001$	脉冲连续	$0.0208 \pm 0.003$
脉冲组中脉冲数	3	6	>30	5
频域分布范围	$5906 \sim 33930$	$5718 \sim 28590$	$3562 \sim 23530$	$7493 \sim 22000$
/Hz				
频域集中范围	12000~30460	$6843 \sim 23250$	$4216 \sim 17530$	$11450\sim21530$
/Hz				
光谱图中频率分	5000~35000	$5008 \sim 29008$	$3676 \sim 25531$	$7975\sim22000$
布范围/Hz				
光谱图中频率集	12000~35000	$7095\sim23791$	$4493 \sim 17770$	12104~21956
中范围/Hz				

### 3.2 发声器电镜扫描结果

## 3.2.1 帮内特姬螽(Metrioptera bonneti)扫描电镜分析

经过测量分析,可知帮内特姬螽的声齿长度为 750.  $0\pm53$ .  $72\mu m$ ,声齿间距为 86.  $25\pm10$ .  $60\mu m$ ,声齿数平均值为 102 个。

帮内特姬螽发生器声齿扫描电镜图如图 13 所示:

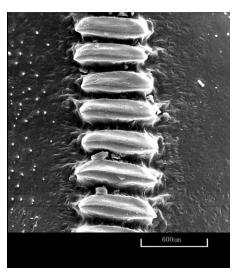


图(13)帮内特姬螽发声器扫描电镜图

### 3.2.2 乌苏里姬螽(Metrioptera ussuriana)扫描电镜分析

经过测量分析,可知乌苏里姬螽的平均声齿长度为 720.0 $\pm$ 42.06 $\mu$ m,平均声齿间距为 66.00 $\pm$ 11.86 $\mu$ m,声齿数平均值为 101 个。

乌苏里姬螽发生器声齿扫描电镜图如图 14 所示:



图(14)乌苏里姬螽发声器扫描电镜图

#### 3.2.3 谢氏蝈螽(Gampsocleis sedakovii)扫描电镜分析

经过测量分析可知谢氏蝈螽的声齿长度为  $450.0\pm19.77\mu m$ ,声齿间距为  $47.25\pm14.14\mu m$ ,声齿数平均值为 115 个。

谢氏蝈螽发生器声齿扫描电镜图如图 15 所示:



图 (15) 谢氏蝈螽发声器扫描电镜图

#### 3.2.4 中华草螽(Conocephalus chinesis)扫描电镜分析

经过测量分析可知中华草螽声齿长度为  $558.2\pm25.81\,\mu\text{m}$ ,声齿间距为  $163.5\pm24.93\,\mu\text{m}$ ,声齿数平均值为 37 个。

中华草螽发生器声齿扫描电镜图如图 16 所示:



图 (16) 中华草螽发声器扫描电镜图

#### 3.2.5. 四种螽蟖发声器声齿分析数据结果

表 2. 四种螽蟖发声器声齿分析数据比较

项目	帮内特姬螽	乌苏里姬螽	谢氏蝈螽	中华草螽
声齿长度/µm	750.0 $\pm$ 53.72	720.0 $\pm$ 42.06	$450.0 \pm 19.77$	$558.2\pm25.81$
声齿间隔/µm	86. $25 \pm 10.60$	66.00 $\pm$ 11.86	$47.25 \pm 14.14$	163. $5 \pm 24.93$
声齿数/个	102	101	115	37

## 4. 讨论分析

综合以上实验结果及数据,可以得出以下结论:

①实验中 4 种螽蟖种间鸣声差异较大,种内鸣声的时域和频域特征相似<sup>[8]</sup>。分析 4 种螽蟖种内的脉冲组间隔、脉冲组长度、脉冲长度、脉冲间隔等时域特征,其方差的数量级基本为-3,个别为-2,反应出这些数据的差异很微小;分析 4 种螽蟖种内的最低频率、最高频率、语谱图等频域特征,结果极为相似;说明每种螽蟖的鸣声具有很强的种内稳定性。分析 4 种螽蟖种间数据,普遍存在一定程度的差异,说明不同种类的螽蟖鸣声具有一定的种间差异性。

②实验中姬螽属的 2 种螽蟖,频域特征相近<sup>[5]</sup>,具有很高的发声频率;而且出现了 20000Hz 以上的超声。超声波由于频率较高,波长较短,通常的障碍物的尺寸远大于超声波的波长,因此超声波的衍射本领很差;在均匀介质中能够定向直线传播,具有良好的方向性;在螽蟖求偶时,可以准确而快速的确定异性个体的位置,并及时而迅速找到异性个体,进而实现交配。从时域特征上看,二者存在着显著差异。

③对 4 种螽蟖种内发声器特征进行分析,发现每种螽蟖声齿长度、声齿间隔的方差数量级为-1,差异不大。对 4 种螽蟖种间发声器特征进行分析,发现在声齿长度、声齿间隔以及声齿数方面差异显著,但是特征相对稳定<sup>[23]</sup>。另外,我们还发现:本次研究的 4 种螽蟖其体长与声齿长度在一定程度上表现为正相关。具体来说,邦内特姬螽雄性体长约为 16.0~22.0 mm,其声齿长度约为 750μm;乌苏里姬螽雄性体长约为 17.5~20.0 mm,其声齿长度约为 720μm;谢氏蝈螽雄性体长约为 33.0~36.0 mm,其声齿长度约为 450μm;中华草螽雄性体长约为 15.0~18.5 mm,其声齿长度约为 558μm。

本次实习,我们选择了长白山地区 4 种常见螽蟖为研究对象,对其发声器结构和鸣声声学特征进行了分析与研究;但对其求偶行为和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]任炳忠,王海涛. 长白山动物学综合实习指导. 北京: 高等教育出版社,2011,1-3
- [2]孟庆繁,高文韬. 长白山访华甲虫. 中国林业出版社,2008,1-4
- [3]刘伯温,李成德. 东北地区螽蟖总科调查报告[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(6): 114-116.
- [4]李娜,任炳忠. 东北地区螽斯总科分类学研究. 东北师范大学, 2008, 12-21

- [6] Baley, W. J. 1975. A review of the African species of the genus Ruspolia Schulthess (Orthoptera: Tettigoniidae). Bull. Inst. Fond. Afrique Noire, 37(1):117-226
- [7] Bailey, W. J. 1979. A review of Australian Copiphorini (Orthoptera: Tettigoniidae: Conocephalinae). Australian Journal of Zoology, 27: 1015-1049.
- [8]Heller, K. G. 1988. Bioakustik der Europaischen Laubheuschrecken. Josef Margraf, Weikersheim, Germany.
- [9] Forrest, T. G., Lajoie, D. R. & Cusick, D. 2006. Calling songs, duets, and auditory tuning in two cryptic katydids (Tettigoniidae: Phaneropterinae: Amblycorypha). Annals Entomological Society of America, 99(5): 978-987.
- [10] Kolics, B., Orci, K. M., Chobanov, D., Baska, F., Kondorosy, E., Müller, T. 2008. Description of the song of the bush-cricket Saga rammei Kaltenbach, 1965 (Orthoptera: Tettigoniidae). Biologia, 63(2): 254-260.
- [11] Sylvain, H. 2010. New and little known predatory katydids from Mascarene islands (Ensifera: Meconematinae and Hexacentrinae). Zootaxa 2543: 1-30.
- [12] 石福明,杨培林,蒋书楠. 2001. 鼻优草螽与苍白优草螽鸣声和发声器的研究. 动物学研究,22(2): 115-119.
- [13]石福明,刘缠民. 2002. 中华寰螽生殖行为和鸣声特征研究. 西北农业学报, 11(2): 111-114.
- [14]石福明,杨培林,杜喜翠.2003.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).动物分类学报,28(3):402-410.
- [15] 常岩林,杨培林,毛少利,石福明. 2007.四种草螽雄性鸣声的研究. 动物分类学报, 32(3):637-642.
- [16] 王世贵, 毛钟鸣, 芦荣胜, 郑哲民, 石福明. 2008. 乌苏里蝈螽和优雅蝈螽雄性鸣声结构的比较研究. 动物分类学报, 33(3): 553-557.
- [17] 李延友,杨春贵,林玉真. 2010. 三种螽斯鸣唱行为的比较研究.山东农业大学学报 (自然科学版),41(1):65-69.
- [18] Zhao, M, Lu, R-S 2011. A comparative study on the male songs structures of Zichya gobica (B-Bienk) and Deracmntha grandis (Lucas). Journal of shanxi Normal University (Natural Science Edition), 25 (1):91-94
- [19] Morris, G. K. & Pipher, R. E. 1972. The relation of song structure to the tegminal movement in Metrioptera sphagnorum (Orthoptera: Tettigoniidae). The Canadian Entomologist, 104: 977-985.
- [20] Morris, G. K. & Walker, T. J. 1976. Calling songs of Orchelimum meadow katydids (Tettigoniidae) I. Mechanism, terminology, and geographic distribution. The Canadian Entomologist, 108(8): 785-800.

- [21] Heller, K. G. & Sevgili, H. 2005. Systematics and bioacoustics of the Poecilimon sanctipauli-group (Orthoptera: Tettigonioidea: Phaneropteridae). European Journal of Entomology, 102: 265-277.
- [22] Heller, K. G., Korsunovskaya, O. S., Sevgili, H. & Zhantiev, R. D. 2006. Bioacoustics and systematics of the Poecilimon heroicus-group (Orthoptera: Phaneropteridae: Barbitistinae). European Journal of Entomology, 103: 853-865.
- [23] Nickle, D. A. 2005. Additional notes on the genus Phlugis (Orthoptera: Tettigoniidae: Meconematinae) with the descriptions of two new arboreal species from Costa Rica. Journal of Orthoptera Research, 14(1): 57-62.
- [24] Ingrisch, S. & Gorochov, A. V. 2007. Review of the genus Hemielimaea Brunner von Wattenwyl, 1878 (Orthoptera, Tettigoniidae). Tijdschrift voor Entomologie, 150: 87-100.
- [25]沈钧贤, 关力. 1988. 硕螽(Deracantha onos) 的发声与听觉. 声学学报, 13(1): 53-58
- [26]石福明, 郑哲民. 1998. 三种华绿螽雄性发声器的研究. 动物学研究, 19(3): 254-256.
- [27] 石福明, 郑哲民. 1999. 桑螽属雄性发声器的研究及一新种记述(直翅目: 露螽科). 昆虫学报, 42(4): 401-405.
- [28] 石福明,杨培林,蒋书楠. 2001. 鼻优草螽与苍白优草螽鸣声和发声器的研究. 动物学研究,22(2): 115-119.