

# 黑蚱蝉鸣声的结构和音色特征\*

蒋锦昌 王 强 刘向群

(中国科学院生物物理研究所, 北京)

**摘要** 本文对北京、河北和福建等地黑蚱蝉 (*Cryptotympana atrata* Fabricius) 的三种鸣声进行了分析, 并对发声机理进行了讨论。

黑蚱蝉野外的自然鸣声具有基本相同的结构层次, 都由重复频率为 43—49Hz 的节奏组成, 每个节奏含有 4 个单音节, 每个单音节含有 3 个脉冲群, 每个脉冲群含有若干个脉冲。但是音色有明显的差异, 即分别为单音色、双音色和具有高幅低频声的复合声。黑蚱蝉室内的惊鸣声和自鸣声, 虽然音色有一定的变化, 但仍保持自然鸣声的结构层次。鸣声的结构层次明显取决于发声膜的结构特征, 这表明具有种类的特性。音色的差异性不仅与调音、扩音结构的功能有关, 而且可能与发声膜的力学性质和发声的原初过程有关, 即可能具有地区性和种下差异。

这些结果可为蝉类发声机制和有害昆虫声引诱的声学模型的研究提供依据。

**关键词** 黑蚱蝉 鸣声结构 音色差异

蝉鸣特性的研究早为人们所关注 (Kato, 1932), 近 20 年来, 随着电声技术的迅速发展, 蝉鸣特性的研究更为精确, 并已深入到发声机理的研究 (Hagiwara & Ogura, 1966; Young, 1972; Young & Josephson, 1983a, b)。我国在 50 年代对某些常见蝉类的鸣声有一些定性的描述 (蔡邦华, 1956), 较为精确的研究近年来刚刚开始 (蒋锦昌, 1985a; 蒋锦昌等, 1986; 何忠等, 1985; 蒋锦昌等, 1987)。但是对不同地区的同属或同种蝉鸣声的比较研究至今尚属少见。从鸣虫防治的角度来看, 这种比较研究不仅可为用于以声引诱的声学模型中的种属和地区特性提供直接的依据, 同时有助于对发声机理和调音、扩音结构功能特性的理解, 借以进一步提高对鸣虫防治的效果。

本文对北京、河北、广西和福建等地黑蚱蝉 (*Cryptotympana atrata* Fabricius) 的自然鸣声、惊鸣声和室内自鸣声进行了计算分析。结果表明, 不同地区黑蚱的鸣声具有基本相同的结构层次, 即具有与发声膜的结构特征有关的种类特性。但其音色具有明显的差异, 这不仅与调音、扩音结构的功能有关, 而且可能与发声膜的力学性质和发声的原初过程有关, 即可能具有一定的地区性和种下差异。

## 记录和分析方法

在野外直接记录单只黑蚱蝉的自然鸣声, 捕捉后记录抓住时的惊鸣声和室内饲养的自鸣声。北京、河北地区使用 SANYO-MR-V8 型录音机 (频响 60—12,000Hz)。广西和福建地区使用 OLYMPUS-X-O2 型微型录音机和外接话筒 (频响 300—6,000Hz)。

记录结果由 SHARP-GF-515 型录音机 (频响 30—14,000Hz) 节选后, 直接输入

本文于 1986 年 3 月收到。

\* 本项研究得到国家自然科学基金资助。国家地震局分析预报中心邢如英等同志协助进行计算机分析, 并得到中国科学院声学研究所齐士铃同志的有益讨论, 一并致谢。

MULTI-20 型计算机进行分析。采样频率 ( $F_s$ ) 为 20KHz, 2,048 个采样点 ( $n$ ), 即  $\Delta f = F_s/n = 9.765625\text{Hz}$ , 采样周期  $\Delta t = 1/F_s = 0.05\text{ms}$ , 采样时间  $T = \Delta t \cdot n = 102.4\text{ms}$ , 最高分析频率 ( $F_m$ ) 为 10kHz。可直接得到时程 102.4ms 的鸣声波形示波图和其中部分片段鸣声波形的扩展示波图 (取样长度不小于鸣声波形中的一个声脉冲群, 见图 2), 及其相应的功率谱。同时给出各个功率谱中每个通道频率点 ( $\Delta f \cdot n$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots, 1024$ ) 的功率谱密度 ( $\text{PSD} = \text{power spectral density}$ )。

为了进一步定量分析各种鸣声的特征, 引用了调幅纯音谱的基本分析方法。对于一个载波  $f_c$  和调制波  $f_{am}$  的调幅纯音, 其功率谱由  $f_c$  及其两侧若干强度递减的旁带所组成。各个旁带的中心频率  $f_n = f_c \pm nf_{am}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ , (1)。

若  $f_c$  和  $f_n$  的功率谱密度分别为  $\text{PSD}_c$  和  $\text{PSD}_n$ , 则在相应的对数功率谱中  $A_n$  的幅值  $A_n(\text{dB}) = 10\text{LogPSD}_n/\text{PSD}_c$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ , (2)。在这里,  $f_c$  的幅值  $A_c$  显然为 0dB。通常  $f_n$  的幅值  $A_n$  小于  $f_c$  的幅值  $A_c$ 。

### 鸣声的结构特征

黑蚱蝉野外的自然鸣声 ( $\text{NS} = \text{natural solo}$ ) 的波形 (图 1), 由 SM-2700 型 FFT 分析仪和 SR-6620 型数字绘图仪直接分析得到。选用 10kHz 带宽和 32K 内存 (40 ms/K 字节)。

图 1 表明, 这四个地区黑蚱蝉的自然鸣声具有基本相同的三个结构层次。其鸣声都有一定周期的节奏 ( $\text{Rh} = \text{rhythm}$ ) 组成 (A—a, B—a, C—a 和 D—a)。节奏的平均重复频率分别约为 47Hz, 41Hz, 47Hz 和 44Hz。但河北黑蚱蝉 (B—a) 和福建黑蚱蝉 (C—a) 的节奏更为明显, 周期较均一。每个节奏主要含有 4 个高幅单音节 ( $\text{S} = \text{syllable}$ ), 每个单音节内含有 3 个脉冲群 ( $\text{PG} = \text{pulse group}$ ) (A—b, B—b, C—b 和 D—b)。但是北京黑蚱蝉 (A—b) 和河北黑蚱蝉 (B—b) 的声脉冲较有规则, 近似正弦波, 而福建黑蚱蝉 (C—b) 和广西黑蚱蝉 (D—b) 的声脉冲都呈不规则型。

由它们的功率谱 (图 3) 所给出的  $f_c$  与两侧  $f_n$  的关系, 即由式 (1) 可分别求得各自的  $f_{am} \pm \text{SD}$  (表 1)。

由表 1 可见, 不同地区黑蚱蝉自然鸣声节奏重复频率的计算值与示波图 (图 1) 的测定结果是基本一致的。同时, 北京临近的两个地区, 即怀柔 and 密云黑蚱蝉自然鸣声节奏的重复频率非常接近, 分别为  $47.6 \pm 1.6\text{Hz}$  和  $48.3 \pm 2.1\text{Hz}$ 。这与其它三个地区的差异不大。河北黑蚱蝉稍偏低, 可能与测定时阴雨天有关。

由此可见, 不同地区黑蚱蝉自然鸣声不仅具有基本相同的结构层次, 即由周期节奏、单音节和脉冲群三个层次组成, 而且节奏的平均重复频率的差异不大。但是声脉冲的波形特征具有明显的差异。

黑蚱蝉被抓住时的惊鸣声 ( $\text{PS} = \text{protest songs}$ ) 和室内的自鸣声 ( $\text{FS} = \text{free songs}$ ) 的波形, 见图 2。

图 2 中, 北京黑蚱蝉的惊鸣声 (A) 与其自然鸣声 (图 1—A—a) 无明显区别, 而其自鸣声 (B) 的节奏较明显。广西黑蚱蝉的惊鸣声 (C), 福建黑蚱蝉的惊鸣声 (D) 和自鸣声 (E) 都失去自然鸣声 (图 1—E—a, D—a) 的明显节奏, 近似由等幅的单音节组

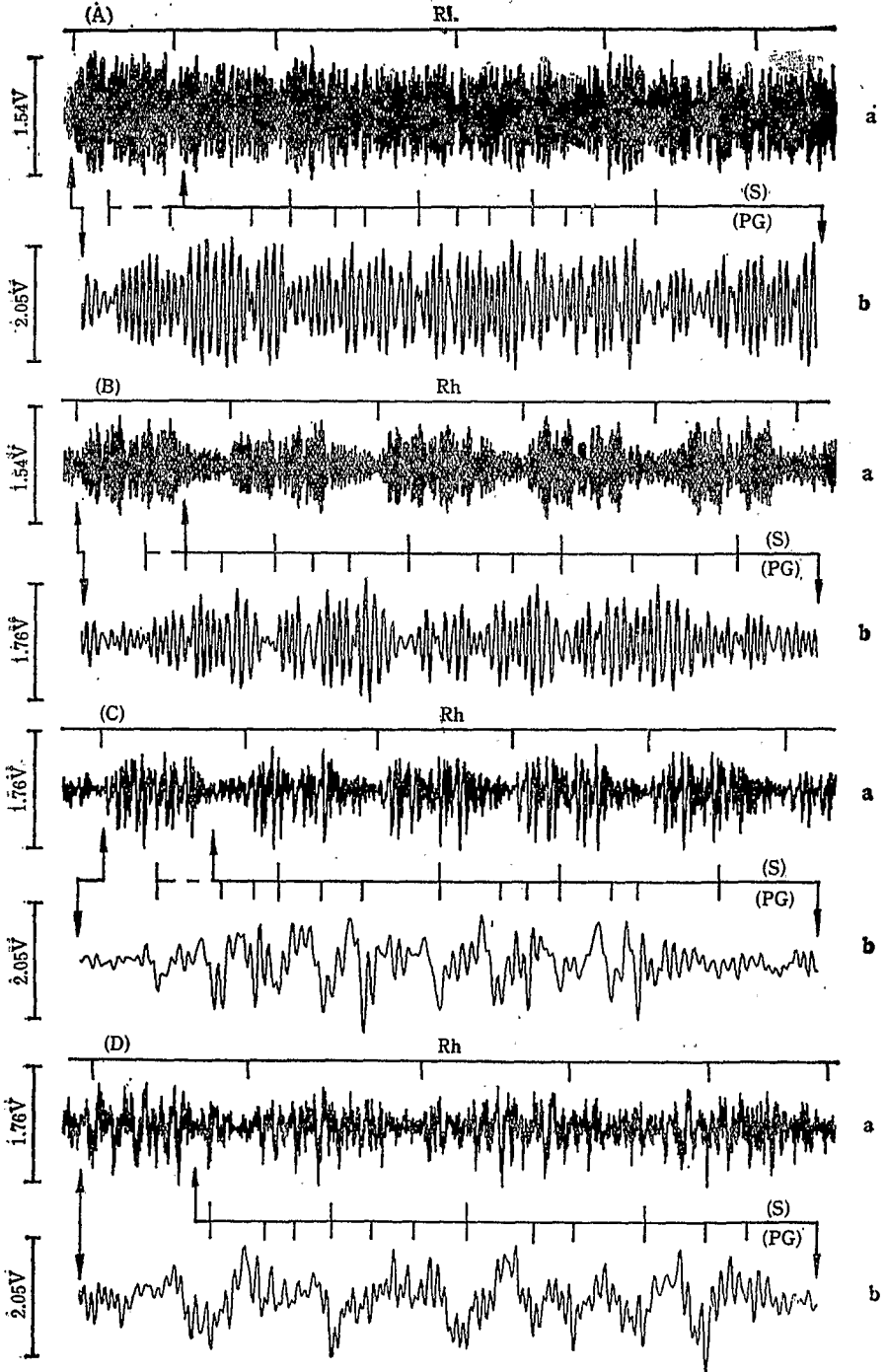


图 1 黑蚱蝉自然鸣声的示波图

A. 北京黑蚱蝉 (密云, 1984.7.20); B. 河北黑蚱蝉 (易县, 1984.7.31) C. 福建黑蚱蝉 (厦门, 1984.6.29); D. 广西黑蚱蝉 (柳州, 1984.6.9)

Rh = 节奏, S = 单音节, PG = 脉冲群, 取样长度: A-a、B-a、C-a 和 D-a 为 120 ms, A-b、B-b、C-b 和 D-b 为 20ms

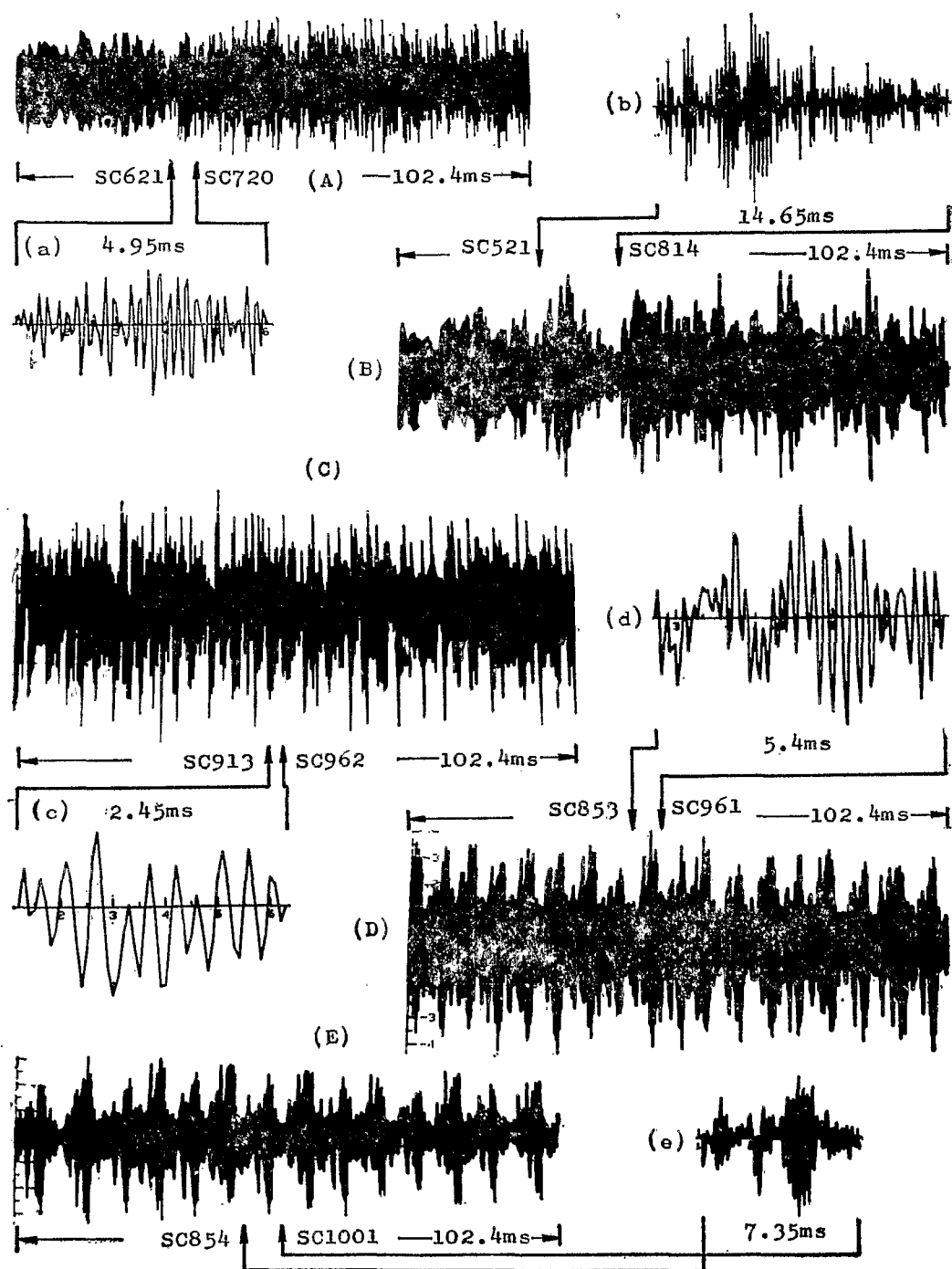


图2 黑蚱蝉惊鸣声和自鸣声的示波图(SC: 取样通道)

A和B分别为北京黑蚱蝉的 PS 和 FS (隔音室内), C为广西黑蚱蝉的 PS  
D和E分别为福建黑蚱蝉的 PS 和 FS (盒内)

表 1 黑蚱蝉自然鸣声节奏的重复频率 ( $\bar{f}_{am} \pm SD$ )\*

| 鸣 声 | 蝉 | $f_c(\text{Hz})$<br>(PSD) | $f_n$ 的 频 段<br>$f_n(\text{Hz})/A_n(\text{dB})$                                                                   | $\bar{f}_{am} \pm SD$<br>(Hz) | 备 注                   |
|-----|---|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| NS  | A | 5654<br>(895.87)          | $f_{49}3320/-6.3-f_{15}5611/-1.2-f_c$<br>$-f_{15}5703/-5.9-f_{19}6592/-8.5$                                      | $47.6 \pm 1.6$<br>N = 55      | 据图 3-(1) 中的 A、B、C、D、E |
|     | B | 5215<br>(1407.5)          | $f_{33}3535/-9.4-f_{15}5166/-8.8-f_c$<br>$-f_{15}5264/-7.4-f_{13}5830/-9.5$                                      | $48.3 \pm 2.1$<br>N = 48      |                       |
|     | C | 5537<br>(948.87)          | $f_{49}3525/-9.1-f_{15}488/-3.5-f_c$<br>$-f_{15}5576/-2.2-f_{22}6503/-7.7$                                       | $42.9 \pm 2.1$<br>N = 71      |                       |
|     | D | 5977<br>(410.25)          | $f_{120}205/-7.7-f_{104}986/8.0$<br>$-f_{45}3809/-5.5-f_{15}5928/-2.5-f_c$                                       | $47.8 \pm 1.8$<br>N = 44      |                       |
|     | E | 4658<br>(621.62)          | $f_{92}244/-7.7-f_{62}1621/-6.1$<br>$-f_{28}3340/-6.7-f_{14}4619/-1.8-f_c$<br>$-f_{14}4717/-2.0-f_{24}5850/-6.5$ | $48.5 \pm 2.3$<br>N = 67      |                       |
| PS  | A | 5732<br>(609.44)          | $f_{47}3467/-10.1-f_{15}5693/-1.8-f_c$<br>$-f_{15}5772/-6.7-f_{18}6592/-17.6$                                    | $48.2 \pm 1.9$<br>N = 62      | 据图 4-(1) 中的 A、B、C、D、E |
| FS  | B | 4736<br>(1287.74)         | $f_{22}3672/-12.6-f_{14}4688/-2.2-f_c$<br>$-f_{14}4775/-12.0-f_{34}6397/-16.0$                                   | $48.5 \pm 2.5$<br>N = 56      |                       |
| PS  | C | 3867<br>(709.99)          | $f_{33}2295/-4.0-f_{13}3819/-8.1-f_c$<br>$-f_{13}3912/-0.3-f_{13}4580/-10.8$                                     | $47.2 \pm 2.2$<br>N = 48      |                       |
| PS  | D | 4248<br>(1673.74)         | $f_{26}3223/-18.1-f_{14}4199/-6.4-f_c$<br>$-f_{14}4287/-2.3-f_{38}5879/-14.4$                                    | $42.0 \pm 2.1$<br>N = 62      |                       |
| FS  | E | 4326<br>(1038.62)         | $f_{17}3691/-14.1-f_{14}4287/-4.4$<br>$-f_c-f_{14}4356/-2.4-f_{20}5030/-18.9$                                    | $36.2 \pm 1.9$<br>N = 30      |                       |

\*  $f_n$  和  $PSD_n$  由计算机给出,  $A_n$  由式 (2) 给出; NS 为自然鸣声, PS 为惊鸣声, FS 为自由鸣声; A 为北京黑蚱蝉(怀柔, 1984.7.20.), B 为北京黑蚱蝉(密云, 1984.7.20.), C 为河北黑蚱蝉(易县, 1984.7.31.), D 为广西黑蚱蝉(柳州, 1984.6.9.), E 为福建黑蚱蝉(厦门, 1984.6.29.).

成的连续声。

同时, A—a 中的一个单音节约为 4.95ms, 若由 4 个单音节组成一个节奏, 则其  $\bar{f}_{am}$  约为 50Hz; B 中  $\bar{f}_{am}$  约为 49.9Hz; C、D、E 中单音节的平均重复频率分别约为 200Hz、173Hz 和 138Hz, 若 4 个单音节组成一个节奏, 则其  $\bar{f}_{am}$  分别约为 50Hz、43Hz 和 34.5Hz。这与计算结果(表 1)基本一致。同时, 由图 2—A—a, B—b, C—c, D—d 和 E—e 可见, 每个单音节含有 3 个高幅脉冲群, 每个脉冲群都含有若干个声脉冲。

由此可见, 黑蚱蝉的惊鸣声和室内的自鸣声, 虽然节奏的明显程度可出现一定的变化, 但仍都保持与自然鸣声基本相同的结构层次。

### 鸣声的音色特征

黑蚱蝉自然鸣声的功率谱, 见图 3。

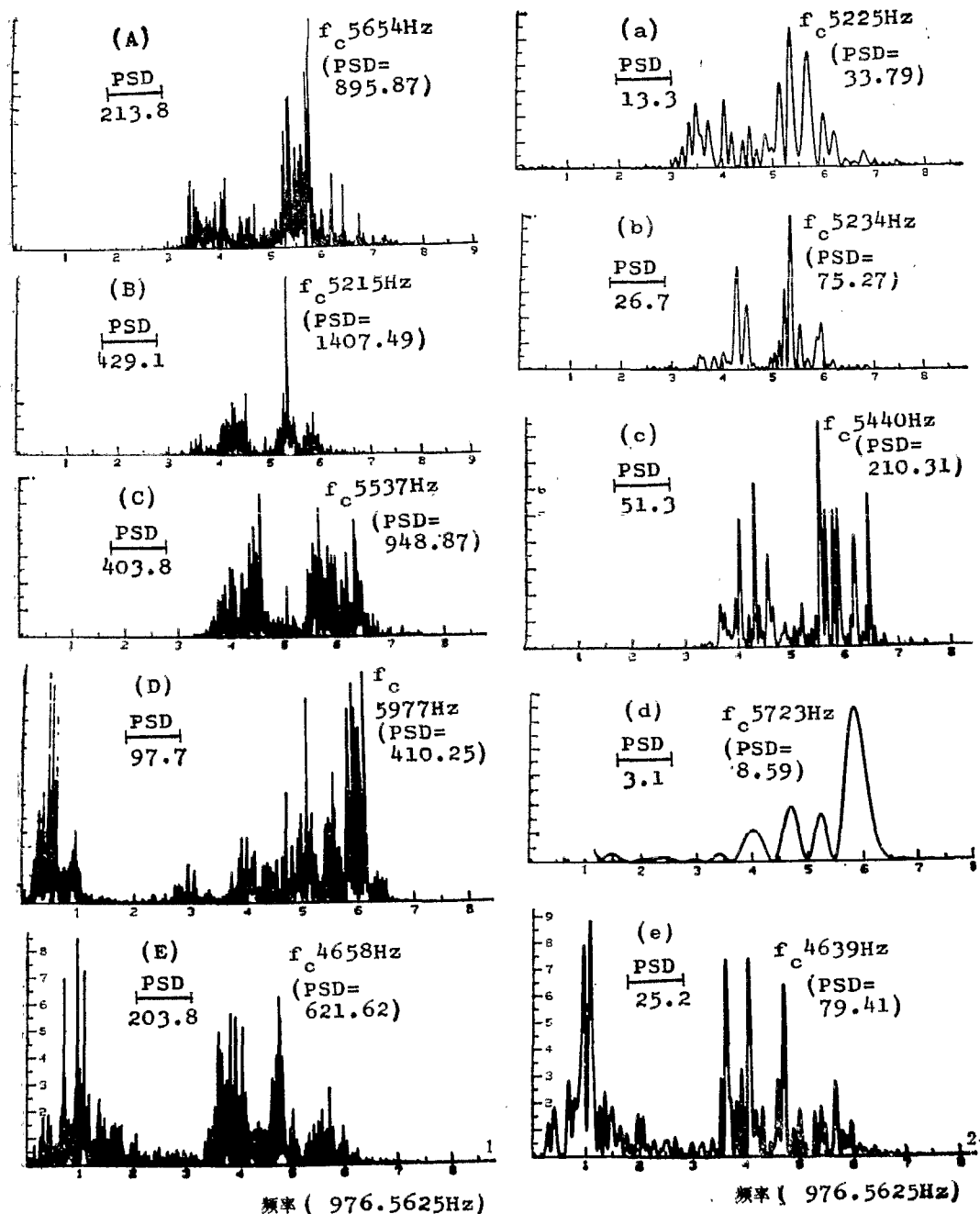


图3 黑蚱蝉自然鸣声的功率谱(纵坐标:功率谱密度 PSD)

(1)—A 和 (2)—a: 北京怀柔黑蚱蝉, (1)—B 和 (2)—b: 北京密云黑蚱蝉, (1)—C 和 (2)—c: 河北易县黑蚱蝉, (1)—D 和 (2)—d: 广西柳州黑蚱蝉, (1)—E 和 (2)—e: 福建厦门黑蚱蝉; (1)—A、B、C、D、E 的取样长度为 102.4ms, (2)—a、b、c、d、e 的取样长度分别为 9.15ms、12.1ms、24.15ms、2.9ms、19.7ms

图 3 表明, 102.4ms 鸣声段的功率谱 (1) 与其部分片段的功率谱 (2) 是基本相同的。其中, A 和 a、B 和 b、C 和 c、D 和 d、E 和 e 的  $\bar{f}_c \pm SD$  分别为  $5,440 \pm 303\text{Hz}$ 、 $5,225 \pm 13\text{Hz}$ 、 $5,489 \pm 69\text{Hz}$ 、 $5,850 \pm 180\text{Hz}$ 、 $4,649 \pm 13\text{Hz}$ , 即  $\bar{f}_c$  的相对偏差率 ( $SD/\bar{f}_c \times 100\%$ ) 分别为 5.5%、0.25%、1.26%、3.1%、0.28%。

图 3—(1) 中, 北京黑蚱蝉的自然鸣声为单音色调幅声, 其能量主要集中在  $f_c$  (A—5,654Hz, B—5,215Hz) 两侧 5,000—6,000Hz 的频带内, 3,000Hz 以下的旁带几乎都无显示 (A、B)。河北黑蚱蝉的自然鸣声为双音色调幅声, 其能量主要集中在  $f_c$  (5,537Hz) 和 4,424Hz 两侧, 即 5,500—6,500Hz 和 3,800—4,500Hz 两个频带内, 3,000Hz 以下的旁带几乎都无显示。广西和福建黑蚱蝉的自然鸣声都为低频声丰富的复音调幅声。D 中有一个低频高能旁带 273Hz (−3.9dB)—440Hz (+0.25dB)—586Hz (−0.9dB) 和二一个高频高能旁带 4,590Hz (−3.2dB)—4,951Hz (−0.5dB)—5,459Hz (−3.9dB)、5,684Hz (−2.9dB)—5,781Hz (−0.2dB)—5,859Hz (−1.3dB)。E 中有一个低频高能旁带 684Hz (+0.5dB)—928Hz (+1.4dB)—1,055Hz (+0.7dB) 和一个高频高能旁带 3,535Hz (−1.0dB)—3,760Hz (−0.4dB)—3,975Hz (−0.9dB)。

同时, 由自然鸣声的波形 (图 1) 可看出鸣声的音色与声脉冲结构的关系。北京密云黑蚱蝉自然鸣声单音节中的声脉冲较规则, 其重复频率约为 4,861Hz (图 1—A—b), 与其功率谱 (B) 中的  $f_c$  基本一致, 即近似正弦载波  $f_c$  被  $f_{am}$  调制的调幅声。河北黑蚱蝉自然鸣声的每个单音节中声脉冲较规则, 其重复频率分二组, 其中单音节 1 和 3 基本相同, 约为 5,000Hz, 单音节 2 和 4 基本相一致, 约为 4,690Hz (图 1—B—b), 即基本上分别与功率谱 (C) 中的  $f_c$  和另一峰值频率 4,424Hz 相对应, 构成双音色。广西黑蚱蝉自然鸣声的每个单音节中有 2 个高幅脉冲, 平均间隔约  $1.886 \pm 0.532\text{ms}$ , 重复频率约为 414Hz—530Hz—739Hz; 低幅声脉冲的重复频率约为 5,680Hz (图 1—D—b), 即基本上分别与功率谱 (D) 中的低频高能旁带和  $f_c$  相对应, 构成低频声丰富的复合声。福建黑蚱蝉自然鸣声的每个单音节中有 3 个高幅声脉冲, 平均间隔约  $1.113 \pm 0.459\text{ms}$ , 重复频率约为 636Hz—899Hz—1,529Hz; 每个单音节内声脉冲的平均重复频率约为  $3,346 \pm 367\text{Hz}$  (图 1—C—b), 即基本上与功率谱 (E) 中的低频高能旁带和高频高能旁带相对应, 构成低频声丰富的复合声。

事实上, 主观感觉就可分辨出这些不同地区黑蚱蝉自然鸣声的音色差异。

黑蚱蝉惊鸣声和室内自由鸣声的功率谱, 见图 4。

图 4 表明, 102.4ms 鸣声段的功率谱 (1) 与其部分片段的功率谱 (2) 基本相同。其中, A 和 a、B 和 b、C 和 c、D 和 d、E 和 e 的  $\bar{f}_c \pm SD$  分别为  $5,513 \pm 310\text{Hz}$ 、 $4,727 \pm 13\text{Hz}$ 、 $3,985 \pm 166\text{Hz}$ 、 $4,303 \pm 40\text{Hz}$ 、 $4,311 \pm 21\text{Hz}$ , 即  $\bar{f}_c$  的相对偏差率分别为 5.6%、2.8%、4.2%、0.9%、0.5%。

图 4 与图 3 相比较可见, 北京黑蚱蝉的惊鸣声, 旁带 3,818Hz (−4.9dB)—4,130Hz (−1.2dB)—5,234Hz (−2.7dB) 的幅值明显增高 (图 4—(1)—A), 即近似双音色。它的自鸣声的  $f_c$  虽然稍偏低 (4,736Hz), 但仍为单音色 (图 4—(1)—B)。广西黑蚱蝉的惊鸣声虽然  $f_c$  明显偏低 (3,867Hz), 但仍为低频声很强的复合声 (图 4—(1)—C)。福建黑蚱蝉的惊鸣声和自鸣声谱基本相同, 1,000Hz 以下和 3,200—4,200Hz 的幅值都明显下

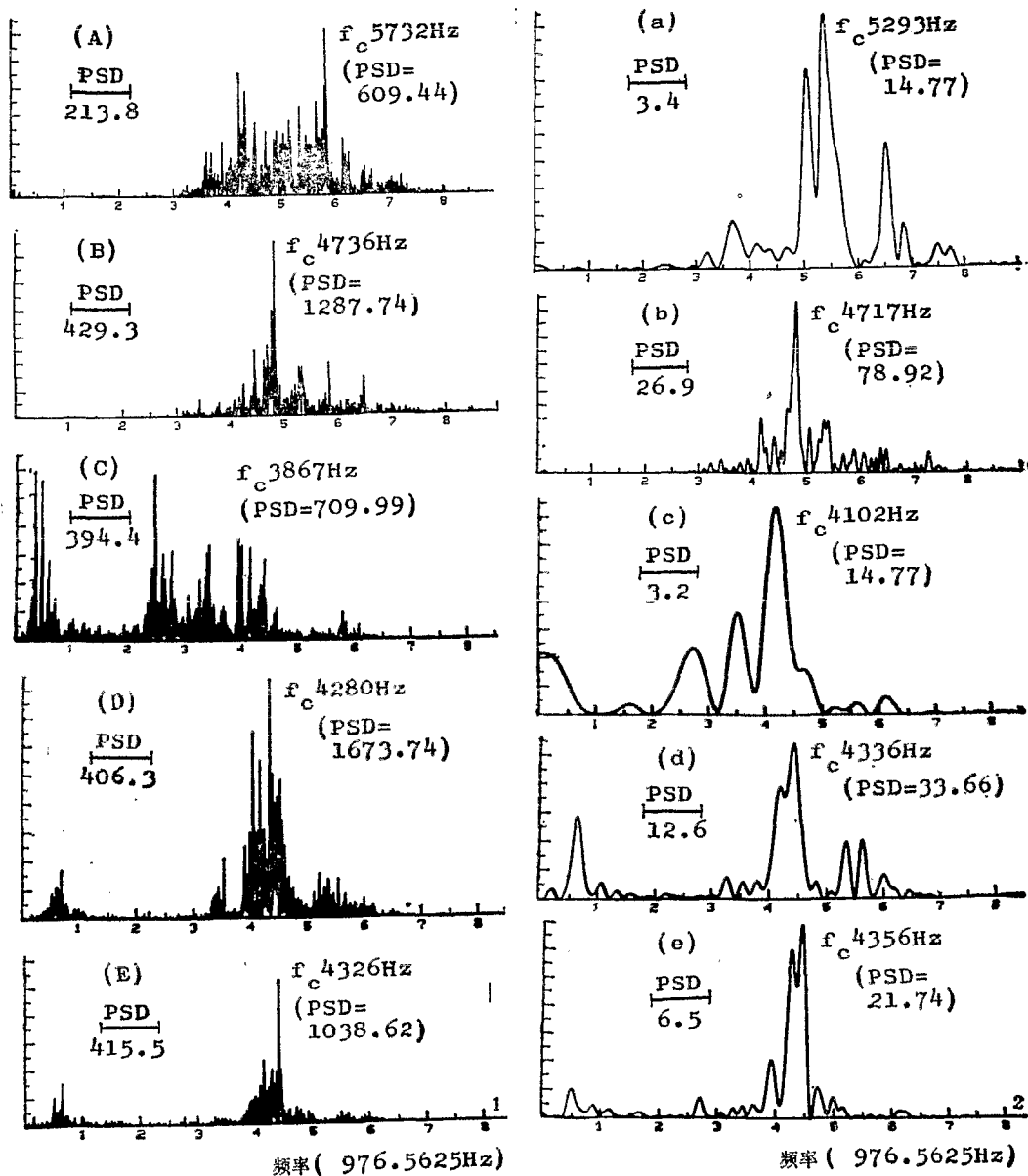


图4 黑蚱蝉惊鸣声和自鸣声的功率谱(纵坐标: PSD)

(1)—A、B、C、D、E 分别为图 2-A、B、C、D、E 的功率谱

(2)—a、b、c、d、e 分别为图 2-a、b、c、d、e 的功率谱

降,即都近似单音色(图4—(1)—D、E)。

由此可见,黑蚱蝉惊鸣声的音色可出现明显的变化。空间较大,有光照并栖在树枝上的室内自鸣声的音色基本不变,但在暗盒内自鸣声的音色与其惊鸣声相近似。

### 发声机制的讨论

从黑蚱蝉的鸣声是由两侧发声膜交替动作产生(蒋锦昌等,1986),及其单侧发声膜

的单发声特征来看, 鸣声的每个节奏中的 4 个单音节 (S) 是由两侧发声膜交替动作二次产生的, 即为 “ $\cdots S_L \cdot S_R \cdot S_L \cdot S_R - O - S_L \cdot S_R \cdot S_L \cdot S_R \cdots$ ” 或 “ $\cdots S_R \cdot S_L \cdot S_R \cdot S_L - O - S_R \cdot S_L \cdot S_R \cdot S_L \cdots$ ” 的结构形式, 其中  $S_L$  和  $S_R$  为左、右侧发声膜动作一次产生的单音节,  $-O-$  为节奏之间的间歇。当  $-O-$  与  $S_L$  和  $S_R$  的间隔相接近时, 呈 “ $\cdots S_L \cdot S_R \cdot S_L \cdot S_R \cdot S_L \cdots$ ” 的形式, 即为节奏不明显的连续声 (图 1—A—a)。

有关的研究结果表明, 不同种类蝉鸣声的波形特征与发声膜的结构形式有关 (Young, 1972), 但有些种类的蝉鸣声波形结构并不完全受控于发声膜的结构特征, 而与腹部运动明显有关 (蒋锦昌等, 1987)。图 5 表明, 不同地区黑蚱蝉的发声膜具有基本相同的结构形式。上半部都有 3 条近似平行的长肋 (2、4、6), 上方各有一条短肋 (1、3、5); 下半部有 3 个凸起 (7、8、9)。

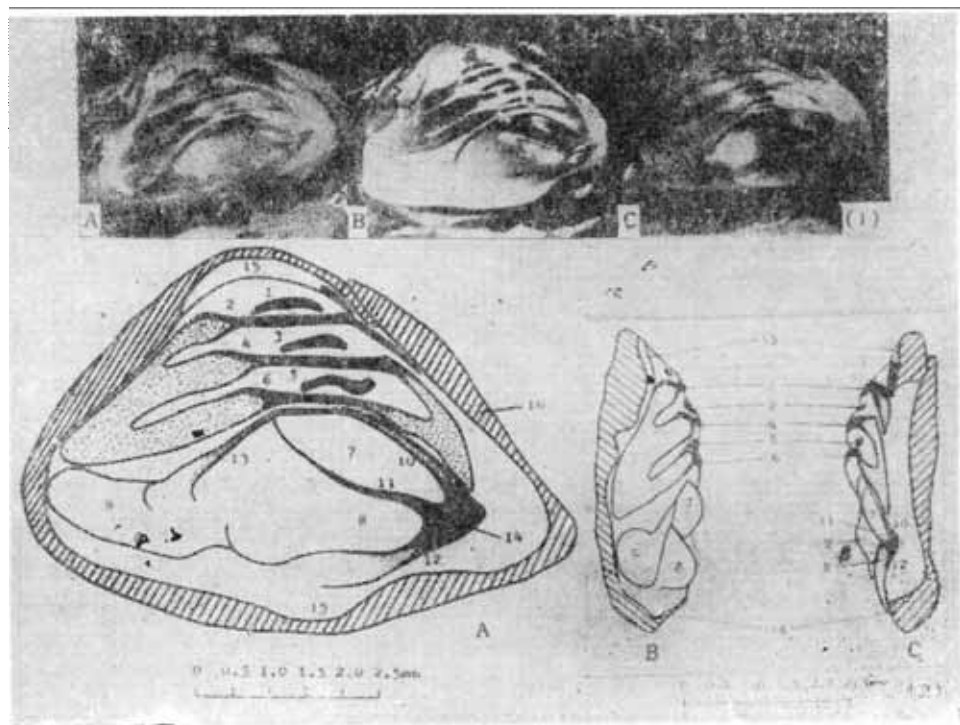


图 5 黑蚱蝉的左侧发声膜

(1) 标本照片 A. 北京黑蚱蝉 B. 广西黑蚱蝉 C. 福建黑蚱蝉, (2) 北京黑蚱蝉左侧发声膜测绘图 (A: 侧视, B 和 C 分别为腹背 85° 视, 1、3、5: 短肋, 2、4、6: 长肋, 7、8、9: 下部凸起, 10、11、12、13: 下部凸起的筋, 15: 与鼓膜肌腱突起的连接区, 16: 膜边, 17: 膜框)

由此看来, 黑蚱蝉鸣声的每个单音节中的 3 个声脉冲群可能是由发声膜上的三条长肋依次向内弯曲运动产生的。作者的进一步研究结果表明, 发音肌的收缩力主要通过下部凸起 (7), 传至长肋 (6), 驱动长肋 (6、4、2) 依次向前向内弯曲运动, 产生复合脉冲群。可见, 不同地区黑蚱蝉的鸣声具有基本相同的结构层次, 主要取决于它们具有相同结构形式的发声膜。这表明黑蚱蝉鸣声的结构层次具有明显的种类特性。

由黑蚱蝉发声装置的调音和扩音结构受阻后, 鸣声的音色和音量产生一定的变化, 但结构特征保持基本不变 (蒋锦昌等, 1986), 及黑蚱蝉的惊鸣声和室内自鸣声的音色可出

现一定的变化,其结构层次保持基本不变来看,不同地区黑蚱蝉自然鸣声音色的差异可能与其多重组合的调音和扩音结构的功能特性有关。事实上,调音和扩音结构简单的不同地区的非洲蝼蛄 (*Gryllotalpa africana*.) 鸣声音色的差异就不明显(蒋锦昌等, 1985b)。

同时,由黑蚱蝉自然鸣声的音色与声脉冲的结构形式的关系来看,音色的差异还可能与两侧发音肌的收缩特性、发声膜的力学特性和长肋的弯曲特性等有关。北京黑蚱蝉自然鸣声中的声脉冲较规则,表明两侧发声膜的力学性质和长肋的弯曲过程都较均一。河北黑蚱蝉自然鸣声中,  $S_L$  和  $S_R$  的主峰频率相差约 1,000Hz (图 3—C), 表明两侧发声膜的力学性质或两侧发音肌的收缩强度可能具有一定的差异,这也许与测定时阴雨天气有关(两侧发声膜受湿程度不同)。广西和福建黑蚱蝉自然鸣声的声脉冲为不规则型,含有突出的高幅声脉冲。由其波形特征来看,不像是由录音机的性能引起,而同一录音机记录到的江西庐山和广西其它地区不同种类的蝉鸣声,并没有出现这种波形(蒋锦昌等, 1987)。看来,这可能与长肋向内弯曲过程的不均匀性有关。

由此可见,不同地区黑蚱蝉自然鸣声的音色差异不仅可能存在地区性,而且可能具有种下差异。

上述分析结果表明,有害鸣虫声防治研究最佳声模式的提取,不仅要首先考虑同属鸣声结构层次的特性,因为鸣虫声通讯中传递信息的关键是波动音节的时程特性(Frings等, 1976),而且要考虑其音色的地区性和种下差异,才能使之具有更好的效率。同时,实验室可控条件下得到的声模式,虽然具有一定的相似性,但必须用自然鸣声加以校正,才能获得更好的结果。

## 参 考 文 献

- 何忠等 1985 北京地区五种常见鸣虫的鸣声结构。动物学报 31(4): 324—9。  
 蒋锦昌等 1985a 云南景洪地区蝉鸣特点的分析。昆虫学报 28(3): 257—65。  
 蒋锦昌等 1985b 北京地区非洲蝼蛄 (*G. africana*.) 鸣声特点的分析。生物物理学报 1(4): 279—85。  
 蒋锦昌等 1986 蚱蝉 (*C. atrata* Fabr.) 发声装置的结构和功能。声学学报(英文版) 5(2): 174—84。  
 蒋锦昌等 1987 蝉的发声膜结构和腹部运动对鸣声的影响。生物物理学报 3(2) 105—11。  
 蔡邦华编著 1956 昆虫分类学(上册)财政经济出版社。  
 加藤正世 (Kato, M) 1932 蝉の研究。三省堂发行。  
 Frings, H. and Frings, M. 1976 Animal communication. University of Oklahoma Press Norman.  
 Hagiwara, S. and Ogura, K. 1966 Analysis of songs of Japanese cicadas. *J. Insect. Physiol.* 5: 259—63.  
 Young, D. 1972 Neuromuscular mechanism of sound production in Australian cicadas. *J. Comp. Physiol.* 79: 343—62.  
 Young, D. and Josephson, R. K. 1983a Mechanisms and sound-production and muscle contraction kinetics in cicadas. *J. Comp. Physiol.* 152: 183—95.  
 Young D. and Josephson, R. K. 1983b Pure-tone songs in cicadas with special reference to the genus *Magicicada*. *J. Comp. Physiol.* 152: 197—207.

## CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURE AND TIMBRE OF SONGS OF THE BLACK CICADA *CRYPTOTYMPANA ATRATA* FABRICIUS

JIANG JIN-CHANG    WANG QIANG    LIU XIANG-QUN

(*Institute of Biophysics, Academia Sinica, Beijing*)

Three kinds of songs of the black cicada *Cryptotympana atrata* Fabricius distributed in Beijing, Hebei and Fujian Provinces are analyzed. The natural calling songs in the field of different places have basically the same structural levels; they consist of rhythms with repetition frequency of 43—49 Hz, each rhythm with four syllables, each syllable with three pulse groups and each pulse group with several pulses. But the timbres present obvious difference; they differentiate into single timbre, dual timbre and complex timbre with a low frequency sound of high amplitude. The protest songs and the free songs in the room still retain the structural level of the natural songs though the timbres present some changes. It seems most likely that the structural levels of the songs depend on the structural characteristics of the tymbals which show specificity of the species. The differences of the timbres are related not only to the functions of the sound regulators and the resonant cavities, but also to the mechanical property of the tymbals and the original process of sound production. These differences may be present in the black cicadas from different geographical regions. The results of the present work may provide informations for further study of the mechanism of sound production in cicadas and deriving acoustic model for luring the injurious species.

**Key words**

*Cryptotympana atrata* Fabricius—song structure—timbre difference