

不同地区螳蛄蝉求偶鸣声的比较

雷仲仁 蒋锦昌¹ 李 莉 周 尧²

(中国农业科学院植物保护研究所 北京 100094; ¹中国科学院生物物理研究所 北京 100101; ²西北农业大学昆虫研究所 杨陵 712100)

摘要 北京西郊 (BX)、陕西西安 (SX)、四川峨嵋山 (SE)、山东潍坊 (SW)、福建福州 (FF) 和陕西杨陵 (SY) 地区螳蛄蝉鸣声都含高潮声“Zhi…”声、脉冲的单一式调幅特性和高潮声的载波主频率 ($6\,433 \pm 375$) Hz 等基本相同, 显示种的同一性。但是高潮声的基频和主频率的品质因数 (Q_{3dB}) 等显示出不同程度的地区性种下差异。BX、SX 和 SE 的基频相同 (550 Hz), 都为高 Q_{3dB} , 即无明显的地区差异。SW 和 FF 的基频分别为 450 Hz 和 650 Hz, Q_{3dB} 都明显降低, 即呈一定的地区差异。SY 不仅呈节奏变化的单次声-高潮声-尾声的特有模式, 而且基频增高为 800 Hz, 即地区差异更明显。

关键词 螳蛄蝉, 鸣声比较, 地区差异

蝉类的鸣声主要用来求偶, 这已为人们所共识。通常所听到的蝉鸣主要是招引雌蝉产生飞行趋声反应的呼叫声, 其声响效果主要由载频带所提供^[1]。有些具有群居习性的蝉类, 其召唤声具有召集同性个体群居和群鸣, 是增强吸引雌蝉和提高交配率的策略之一^[2]。已有的研究表明, 蝉类的鸣声具有明显的种特性, 是生殖隔离的重要标志之一^[3~13]。但是, 至今对蝉类鸣声的地区性差异了解甚少。不同地区黑蝉 (*Cryptotympana atrata* Fabr.) 鸣声的比较, 有迹象表明蝉类的鸣声可能存在一定的地区差异^[14]。螳蛄蝉是我国分布较广泛的一种中小型蝉, 本文比较了 6 个地区螳蛄蝉鸣声的声学特性, 结果表明不同地区螳蛄蝉的鸣声不仅具有明显的同种特性, 而且存在明显的地区性种下差异。这不仅为蝉类鸣声的地区性提供了进一步的依据, 而且为蝉类鸣声的种标志和分类学研究提供了新的启示。同时, 可为鸣虫的种下分类研究和地理种群的鉴定提供一种新方法, 并对由不同地区的蝉鸣特性开辟蝉害声学防治的新途径具有重要意义。

1 记录和分析方法

螳蛄蝉一般栖居在杨树等林区。鸣叫期约在每年 5~7 月, 全天鸣叫。野外记录用 TOSHIBA-KT-V850 型录音机 (频响 80~10 000 Hz) 和 SONY-EF60 型盒式磁带, 鸣声的记录距声源约 3~5 m。由于野外记录有较高的 50 Hz 和低于 500 Hz 的本底噪声, 而鸣声信号主要在 4 000~12 000 Hz, 为此采用 RC 滤波 ($f=500$ Hz, $R=1\,000\ \Omega$, $C=0.33\ \mu\text{f}$), 使之 50 Hz 的噪声幅值下降 10 dB。记录结果经 RC 滤波后输入 SHARP-GF515 型录音机 (频响 30~14 000 Hz) 节选, 输入 SM-2 700 型 FFT 分析仪进行时间波形和频谱分

析。分析带宽0~20 000 Hz, 取样长度32 k 和64 k 字节, 每 k 字节20 ms。结果由3.5英寸磁盘存储和SR6620型数字绘图仪给出。

考虑到雌蝉大范围飞行趋声反应和小范围求偶分别主要取决于雄蝉鸣声载波的主频率特性和求偶声基频所表征的脉冲时间参数^[15,16], 因此不同地区螳蛄蝉鸣声的比较, 主要依据与脉冲重复频率 (pulse repetiton frequency, PRF) 相对应的基频 (fundamental frequency f_0)、载波主频率 (principal frequency, PF) 和 PF 的品质因数 (quality factor, $Q_{3dB} = PF/PF$ 幅值下降3dB 的带宽)。

2 主要结果

2.1 不同地区螳蛄蝉鸣声的语音比较

螳蛄蝉的呼叫声一般描述为“Zhi...”的持续声, 但实际上是有一定起伏变化的持续声。北京西郊^[16]、山东潍坊和福建福州地区螳蛄蝉的鸣声基本相类似, 主声段声都是由低潮声“Zhi...”和高潮声“Zhi...”组成的起伏变化的“Zhi...Zhi...”声的重复持续声。有时在主声段前或主声段之间出现单次声“Zhi”的重复声“Zhi·Zhi...”。陕西西安和四川峨嵋山地区螳蛄蝉鸣声的主声段与北京等地相类似, 但未记录到重复单次声。陕西杨陵地区螳蛄蝉的鸣声别具一格, 呈“Zhi·Zhi...” (慢节奏单次声)。“Zhi·Zhi...” (快节奏单次声)。“Zhi...” (高潮声)。“qi...” (尾声)的重复声。可见, 除陕西杨陵之外, 其它地区螳蛄蝉声主声段的语音特征无显著差异。

2.2 不同地区螳蛄蝉鸣声的声学特性

2.2.1 山东潍坊地区螳蛄蝉的鸣声 (图1): 图1: A 中, 单次声“Zhi”由含3个亚脉冲结构的起始脉冲 (P_0) 与调幅特性和间隔不规则的脉冲列 ($P_{1\sim14}$) 组成, 持续时间约为数十毫秒, 4个单次声的 PRF 平均为 (350 ± 41) Hz。图1: B 中, 低潮声的持续时间由数百至数千毫秒, 并由较规则的调幅脉冲 ($P_{1\sim15}$) 组成, PRF 约383 Hz (200 ms 含76.5个脉冲), 图1: C 中, 高潮声的持续时间数百至数千毫秒, 并由较规则的调幅脉冲 ($P_{1\sim19}$) 组成, PRF 约467 Hz (120 ms 含56个脉冲)。相应的频谱 (图1: D、E 和 F) 特性 (f_0 、PF 和 Q_{3dB}), 见表1: B。

2.2.2 福建福州地区螳蛄蝉鸣声 (图2): 图2: A 中, 单次声“Zhi”由含调幅特性较规则的脉冲列 ($P_{1\sim10}$) 组成, 持续时间约为数十毫秒, PRF 平均为500 Hz (60 ms 含20个脉冲)。图2: B 中, 低潮声的持续时间由数百至数千毫秒, 由较规则的调幅脉冲 ($P_{1\sim24}$) 组成, PRF 约600 Hz (60 ms 含36个脉冲)。图2: C 中脉冲幅值逐渐增高, P_{17} 起已明显由低潮声演变为高潮声。图2: D 中, 高潮声和持续时间数百至数千毫秒, 由较规则的调幅脉冲 ($P_{1\sim26}$) 组成, PRF 约650 Hz (60 ms 含39个脉冲)。相应的频谱 (图2: E、F 和 G) 特性 (f_0 、PF 和 Q_{3dB}), 见表1: C。

2.2.3 陕西西安地区螳蛄蝉鸣声 (图3): 图3: A 中, 低潮声的持续时间数百至数千毫秒, 由较规则的调幅脉冲 ($P_{1\sim9}$) 组成, PRF 约467 Hz (60 ms 含28个脉冲)。图3: B 中, 高潮声的持续时间数百至数千毫秒, 由较规则的调幅脉冲 ($P_{1\sim11}$) 组成, PRF 约550 Hz

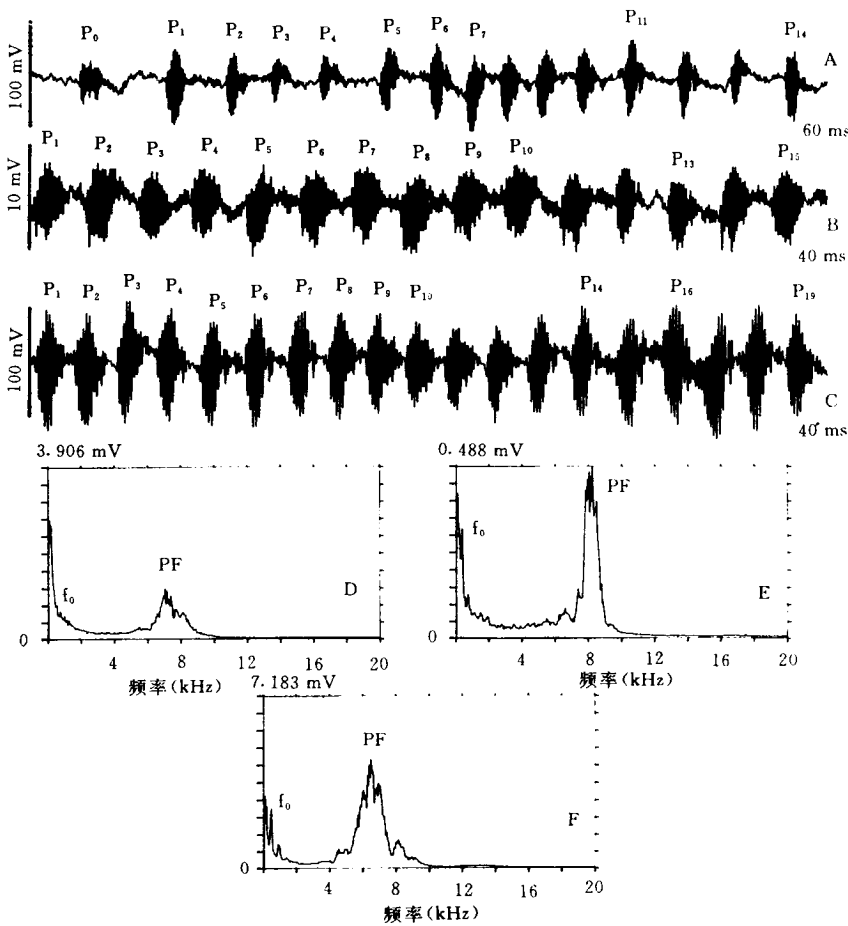


图1 山东潍坊地区螳螂蝉鸣声局部声段的时间波形和频谱

A: 单次声; B: 低潮声; C: 高潮声; D: A 的频谱; E: B 的640 ms 声段谱; F: C 的640 ms 声段谱。
 P_0 起始脉冲, $P_1\sim_{19}$ 脉冲, f_0 基频, PF 载波主频率

(60 ms 含33个脉冲)。相应的频谱 (图3: C 和 D) 特性 (f_0 、PF 和 Q_{3dB}), 见表1: D。

2.2.4 四川峨眉山地区螳螂蝉鸣声 (图4): 图4: A 中低潮声的持续时间数百至数千毫秒, 由较不规则的调幅脉冲 ($P_1\sim_{19}$) 组成, PRF 约433 Hz (60 ms 含26个脉冲)。图4: B 中, 高潮声的持续时间数百至数千毫秒, 由较不规则的调幅脉冲 ($P_1\sim_{11}$) 组成, PRF 约550 Hz (60 ms 含33个脉冲)。相应的频谱 (图4: C 和 D) 特性 (f_0 、PF 和 Q_{3dB}), 见表1: E。

2.2.5 陕西杨陵地区螳螂蝉鸣声 (图5): 图5: A 中, 慢节奏单次声的持续时间约为数十毫秒, 间歇约150 ms, 由调幅特性不规则的脉冲 ($P_1\sim_{13}$) 组成, PRF 平均为649 Hz (37 ms 含24个脉冲)。图5: B 中, 快节奏单次声 (SS_1 、 SS_2) 的持续时间约为数十毫秒, 间歇约8 ms, 由起始脉冲 (P_0) 和调幅特性不规则的脉冲组成, PRF 平均为725 Hz (60 ms

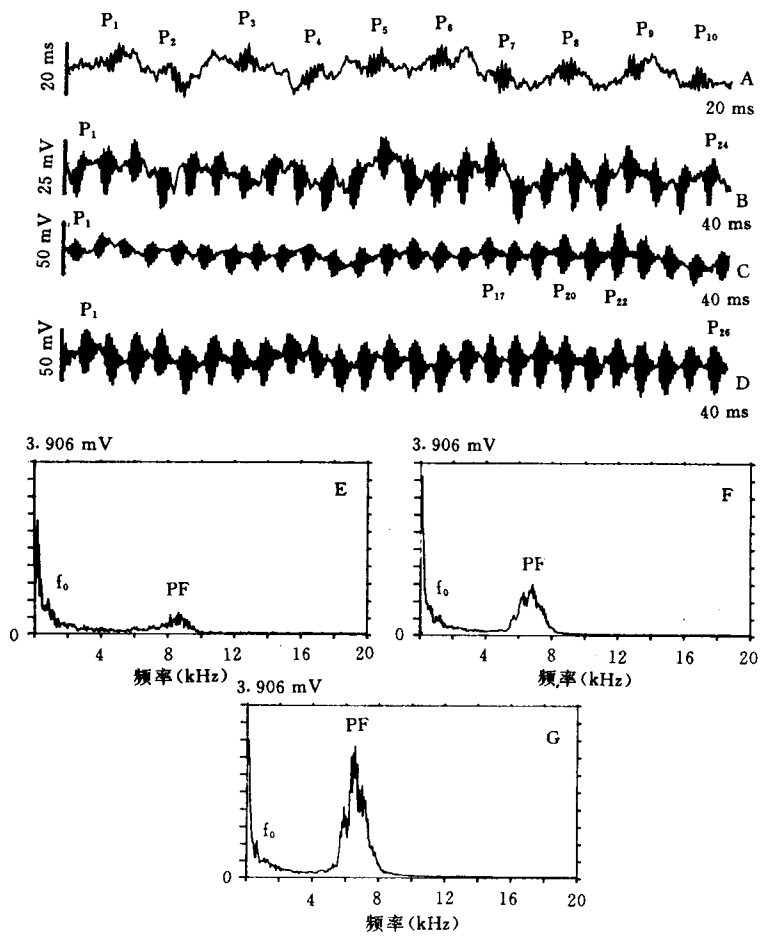


图2 福建福州地区螳蛄蝉鸣声局部声段的时间波形和频谱

A: 单次声; B: 低潮声; C: 低潮声演变为高潮声 (P_{17} 起); D: 高潮声; E: A 的 60 ms 声段谱;
F: B 的 640 ms 声段谱; G: C 的 300 ms 声段谱。 $P_1\sim P_{26}$ 脉冲, f_0 基频, PF 载波主频率

含 43.5 个脉冲)。图 5: C 中, 高潮声的持续时间由数百至数千毫秒, 由较规则的调幅脉冲 ($P_1\sim P_{60}$) 组成, 但是 $P_{32}\sim P_{60}$ 不仅幅值逐渐降低, 而且调幅特性和周期逐渐呈不规则性, 即逐渐演变为尾声 (P_{60} 后)。高潮声 PRF 约 775 Hz (40 ms 含 31 个脉冲), 尾声的 PRF 约 526 Hz (38 ms 含 20 个脉冲)。相应的频谱 (图 5: D、E、F 和 G) 特性 (f_0 、PF 和 Q_{3dB}), 见表 1: F。图 5: G 中, F_1 (6 050 Hz) 与高潮声的 PF (6 150 Hz, 图 5: F) 相接近, 即表征高潮声中 $P_{46}\sim P_{60}$ 的 PF, F_1 后的 PF 为 P_{60} 后的尾声主频率。

表 1 可见, 不同地区螳蛄蝉鸣声具有明显的同种特性。例如, 高潮声的载波主频率 (PF) 不仅基本相同, 平均为 (6433 ± 375) Hz, 而且幅值都明显高于各自的单次声和低潮声 (或尾声), 即鸣声不仅都呈一定的起伏变化, 而且雌蝉的飞行趋声反应都主要取决

表1 不同地区螳螂蝉鸣声声学特性的比较

项目	特性	A-北京 ^[16]	B-潍坊	C-福州	D-西安	E-峨嵋山	F-杨陵
SS	f_0 (Hz)	450/425 ^	350	500	—	—	700/700 \$
	PF (Hz)	7 025/7 300 ^	7 050	8 650	—	—	6 850/6 800 \$
	PF (dB)	-9.8/-18.8 ^	-12.5	-15.2	—	—	-5.5/-16.6 \$
CSS	f_0 (Hz)	450	400	600	450	450	500 *
	PF (Hz)	7 350	8 250	6 850	8 000	8 550	6 050 *
	PF (dB)	-15.2	-20.1	-8.0	-7.7	-14.0	-17.8
CLS	f_0 (Hz)	550	450	650	550	550	800
	PF (Hz)	5 850	6 500	6 550	6 900	6 650	6 150
	Q_3 dB	51.8	5.9	9.7	12.0	66.5	18.9
北纬 (°N)	—	39.8	36.6	26.1	34.3	29.5	34.3
东经 (°E)	—	116.3	119.1	119.3	108.9	103.4	108.2
录音温度 (°C)	—	29	29	30	30	30	29

注：SS：单次重复声 [A 中为高音量和低音量 (^) SS, F 中为快节奏和慢节奏 (\$) SS], CSS 和 CLS, 低潮声和高潮声 (F 中, * 尾声), SS 和 CSS 中 PFR 的 dB 值分别以各自 CLS 的 PF 电压幅值 (A_0) 为基准 ($\text{dB}=20 \log A/A_0$, A: SS 和 CSS 的 PF 电压幅值)

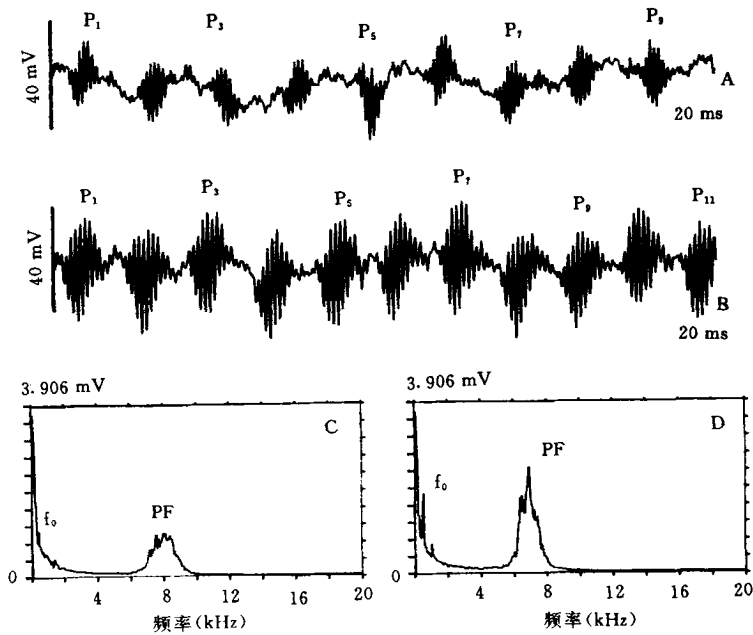


图3 陕西西安地区螳螂蝉鸣声局部声段的时间波形和频谱

A：低潮声；B：高潮声；C：A 的 640 ms 声段谱；D：B 的 640 ms 声段谱。P₁~P₁₁脉冲， f_0 基频，PF 载波主频率于主频率接近的高潮声。单次声、低潮声和高潮声不仅都由单一式调幅脉冲组成，而且 PRF 与各自的基频相接近，即具有相似的脉冲产生原初机制。单次声和低潮声（或尾声）

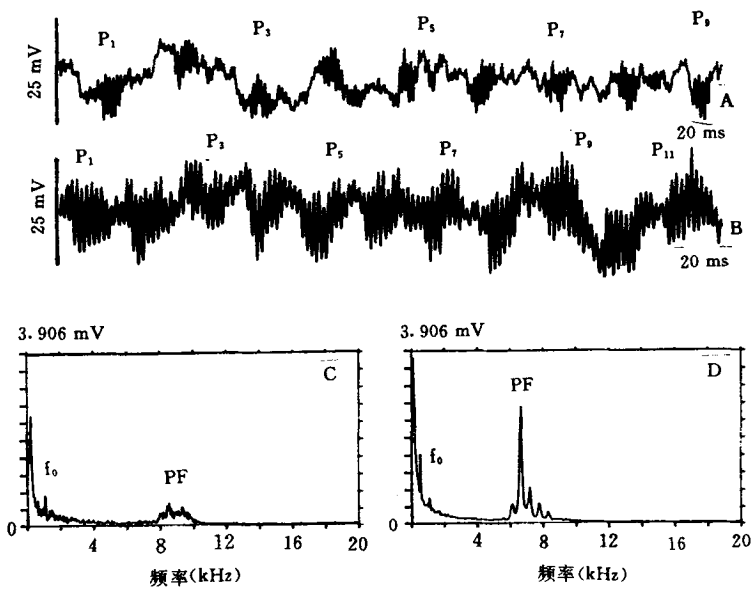


图4 四川峨嵋地区螳蛄蝉鸣声局部声段的时间波形和频谱

A: 低潮声; B: 高潮声; C: A 的 640 ms 声段谱; D: B 的 640 ms 声段谱。P₁~P₁₁脉冲, f₀基频, PF 载波主频率的基频都低于各自的高潮声,即发声肌的收缩运动都呈减慢特性。同时,不同地区螳蛄蝉的鸣声呈现不同程度的地区性差异。北京、西安和峨嵋山螳蛄蝉的鸣声,不仅高潮声的 f₀ 都相同 (550 Hz)、PF 相接近和 Q_{3dB} 都很高,而且低潮声的 f₀ 和 PF 都相接近,即无显著性地区差异。与此相比较,潍坊和福州地区螳蛄蝉高潮声的 PF 虽差异不大,但基频显著性低至 450 Hz 和高至 650 Hz,而且 Q_{3dB} 都明显降低。陕西杨陵地区螳蛄蝉高潮声的 PF 和 Q_{3dB} 虽无显著差异,但不仅鸣声具有单次声节奏变化和带尾声的特有模式,而且高潮声的基频显著高至 800 Hz。由雌蝉接近雄蝉过程中的种识别主要依赖于求偶声的基频所表征的脉冲时间参数,及其高潮声与求偶声的基频基本相同来看^[16],潍坊和福州地区螳蛄蝉高潮声的基频和 Q_{3dB} 的差异,可能具有一定的地区性种下差异。杨陵地区螳蛄蝉鸣声的模式和高潮声的基频差异更具有地区性种下差异。

3 讨论

由北京地区螳蛄蝉鸣声和求偶声脉冲产生的原初机制^[16],及其发声器的构造来看^[17],其脉冲的单一式调幅特性主要取决于与发声膜结构相适应的3条长肋的激励方式有关。同时,蝉鸣声的音色变化主要取决于发声肌的神经调控和动作特性,及其辅助发声结构的动作特性,鸣声的脉冲重复频率主要取决于两侧发声肌的收缩速率。可见,不同地区螳蛄蝉的鸣声都由相似形式的单一调幅脉冲所组成,而且载波的主频率都相接近,表明其发声膜的结构和声学特性,3条长肋的激励方式和激励特性都显示相同的种属特性。

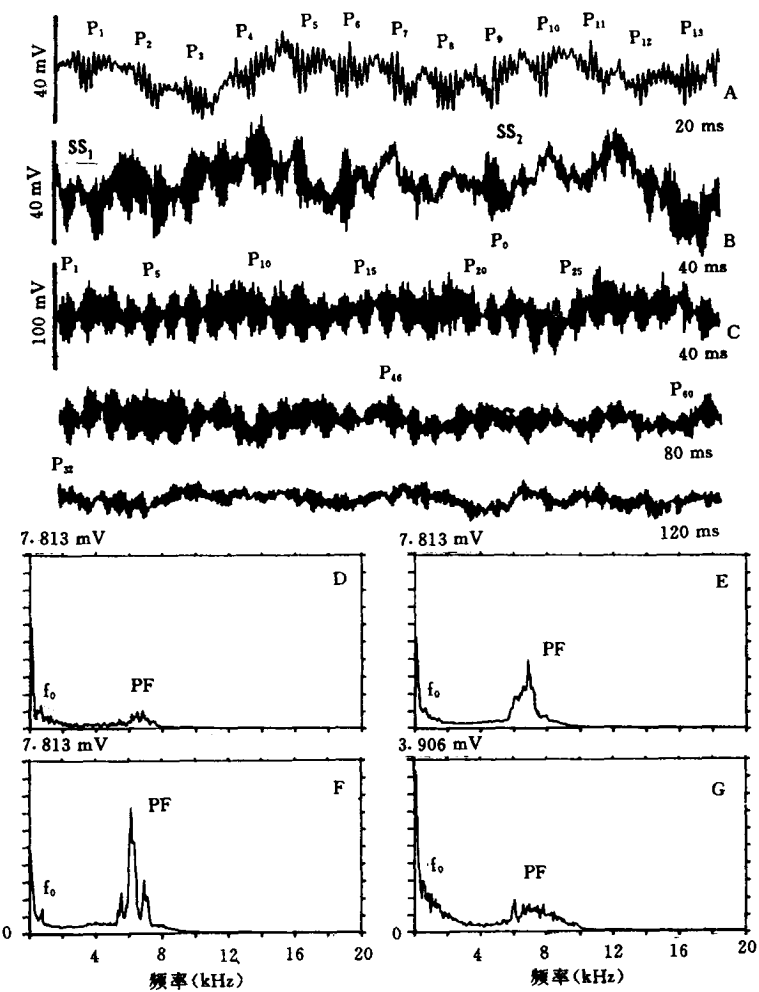


图5 陕西杨陵地区螳螂蝉声局部声段的时间波形和频谱

A 和 B: 慢节奏和快节奏单次声 (SS₁、SS₂); C: 高潮声接尾声 (P₆₀以后); D: A 的 60 ms 声段谱; E: B 的 640 ms 声段谱; F: 640 ms 高潮声谱; G: P₄₆起 300 ms 尾声谱 (F₁为 P₄₆~₆₀的 PF)。P₁~₆₀脉冲, f₀基频, PF 载主频率, P₀起始脉冲

但是，鸣声的结构模式和基频特性的地区性差异，显然主要与发声肌的神经控制和动作特性的差异性有关。这就表明不同地边的螳螂蝉不仅外部形态特征显示同种特性，而且发声膜的结构和鸣声脉冲发生的原初过程都显示同种特性，但发声肌的神经调控和动作特性显示出地区性差异。

由此可见，通过不同地区间螳螂蝉鸣声的比较分析，进一步明确其鸣声的主要信息特征，为其声诱捕器的生物原型和数学模型的设计提供重要依据，并加深了鸣虫声信息

在生殖隔离方面的理解。但是, 不同地区螳蛄蝉的鸣声虽然呈一定的地区性种下差异, 但是否达到亚种差异的水平, 还需要结合其它特征作进一步的研究。

参 考 文 献

- 1 蒋锦昌, 杨新宇等. 蝉类用于声通讯的鸣声特性及其飞行趋声范围的估计. 声学学报, 1995, **20** (3): 226~231
- 2 Doolad J M. Nally R M. Spatial dynamics and breeding ecology in the cicada *Cystosoma saundersii*; the interaction between distributions of resources and intraspecific behaviour. J. Anim. Ecol. 1981, **50**: 925~940
- 3 Kato M. Study of Cicadidae. Publi. Sansentan. 1932
- 4 Pringle J W S. A physiological analysis of cicada song, J. Exp. Biol. 1954, **31**: 525~560
- 5 Dugdale J S *et al.* Two New Zealand cicadas collected on Cook's endeavour voyage, with description of new genus. N. Z. J. Sci. 1969, **12** (4): 929~959
- 6 Fleming C A. A new species of cicada from Rock Fans Wellington with a review of three species with similar songs and habitat, N. Z. J. 1971, **14** (3): 443~474
- 7 Young D *et al.* Pure-tone songs in cicadas with specieal reference to the genus *Magiccicada*. J. Comp. Physiol., 1983, **152**: 197~207
- 8 蔡邦华编著, 昆虫分类学 (上册). 北京: 财政经济出版社, 1959
- 9 何 忠等, 北京地区五种常见鸣虫的鸣声结构. 动物学报, 1985, **31** (4): 324~330
- 10 蒋锦昌等, 云南景洪地区蝉鸣特点的分析. 昆虫学报, 1985, **28** (3): 257~265
- 11 蒋锦昌等, 蝉的变音调复合声和发声机制的分析. 昆虫学报, 1991, **34** (2): 159~164
- 12 蒋锦昌等, 斑蝉鸣声调幅特性的衰变及发声机制的分析. 声学学报, 1994, **19** (4): 290~299
- 13 雷仲仁等, 蝉鸣特征及其在分类学上的意义. 昆虫分类学报, 1994, **16** (1): 51~59
- 14 蒋锦昌等, 黑蝉鸣声的结构和音色特征. 昆虫学报, 1988, **31** (2): 129~139
- 15 Doolan J N, Young D. Relative importance of song parameters during flight phonotaxis and courtship in the bladder cicada (*C. saundersii*). J. Exp. Biol. 1989, **141**: 113~131.
- 16 雷仲仁等, 螳蛄蝉的发声器构造及鸣声分析, 西北农业大学学报, 1994, **22** (2): 23~27.

A COMPARATIVE STUDY OF CALLING SONGS IN KAEMPFER CICADA AT DIFFERENT REGIONS

LEI Zhongren Jiang Jinchang¹ Li li Chou Io²

(*Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094*)

(¹*Institute of Biophysics, Academia Sinica Beijing 100101*)

(²*Institute of Entomology, Northwestern Agricultural University, Yangling Shaanxi 712100*)

Abstract In this paper, the calling songs of kaempfer cicada *Platypleura kaempferi* (Fabricius) distributing in the western suburbs of Beijing (BX), Xian (Shaanxi) (SX), Mt. Emei (Sichuan) (SE), Weifang (Shandong) (SW), Fuzhou (Fujian) (FF) and Yangling (Shaanxi) (SY) are analyzed. The natural calling songs from these different regions all have a high tide sound “Zhi...”, a characteristics of single amplitude modulation of pluses, and the principal frequencies of high tide sound ($6\,433 \pm 375$ Hz) are the same on the whole. These indicate the specificity of the species. But the fundamental frequencies of high tide sound and the quality factors (Q_{3dB}) of principal frequencies show some differences between populations from different regions. The fundamental frequencies of SW and FF are 450 Hz and 650 Hz respectively and the quality factors of principal frequency are lower, showing some regional differences. Especially the fundamental frequency of SY is raised to 800 Hz, namely, the differences between regions are more obvious.

Key words *Platypleura kaempferi*, variations of songs, geographic differences