

# 我国 12 种无尾类的鸣叫特征参数

徐俊晓<sup>①</sup> 谢 锋<sup>①\*</sup> 江建平<sup>①</sup> 莫运明<sup>②</sup> 郑中华<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>中国科学院成都生物研究所 成都 610041; <sup>②</sup>广西自然博物馆 南宁 530012)

**摘要:**分析了 12 种无尾类的求偶鸣叫特征参数,包括角蟾科(Megophryidae)2 种:峨眉角蟾(*Megophrys omeimontis*)、高山掌突蟾(*Leptolalax alpinus*);雨蛙科(Hylidae)2 种:华西雨蛙(*Hyla annectans*)、秦岭雨蛙(*H. tsinlingensis*);树蛙科(Rhacophoridae)5 种:斑腿树蛙(*Rhacophorus megacephalus*)、无声囊树蛙(*R. mutus*)、宝兴树蛙(*R. dugritei*)、经甫树蛙(*R. chenfui*)、锯腿小树蛙(*Philautus odontotarsus*);蛙科(Ranidae)2 种:弹琴水蛙(*Hylarana adenopleura*)、沼水蛙(*H. guentheri*);姬蛙科(Microhylidae)1 种:花姬蛙(*Microhyla pulchra*)。特征参数包括(时域)时长和(频域)基频、主能峰、共振峰等 9 个。与已有的描述作了对比,发现差别较小,并简单讨论了差别出现的原因。此外,对同域分布且繁殖时间重叠的两个近缘种——宝兴树蛙和经甫树蛙的鸣叫比较发现,二者声音的 9 个参数除了音节间隔之外,差异都极其显著( $P < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$  two-tailed test),它们的鸣叫有显著差异。

**关键词:**无尾类;求偶鸣叫;时域;频域;参数

中图分类号:Q958.11 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2005)03-12-08

## The Acoustic Features of the Mating Call of 12 Anuran Species

XU Jun-Xiao<sup>①</sup> XIE Feng<sup>①</sup> JIANG Jian-Ping<sup>①</sup> MO Yun-Ming<sup>②</sup> ZHENG Zhong-Hua<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041; <sup>②</sup> Guangxi Nature Museum, Nanning 530012, China)

**Abstract:** The present paper deals with the mating calls of 12 anuran species, which belong to 5 families and 7 genera and represented by: Megophryidae: *Megophrys omeimontis*, *Leptolalax alpinus*; Hylidae: *Hyla annectans*, *H. tsinlingensis*; Rhacophoridae: *Rhacophorus megacephalus*, *R. mutus*, *R. dugritei*, *R. chenfui*, *Philautus odontotarsus*; Ranidae: *Hylarana adenopleura*, *H. guentheri*; Microhylidae: *Microhyla pulchra*. The coefficient derived from the call is: call and note duration in the time domain and fundamental frequency, dominant frequency and formant. The parameters derived from 4 species are little different from what Matsui and Wu (2 species) and Mu and Zhao (2 species) reported. After compared the mating call's parameters between two allied species—*R. dugritei* and *R. chenfui* frogs, it's found that both of them have the contemporary breeding time and shared the same habitats. All the 9 parameters are different significantly ( $P < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$  two-tailed test) except note interval ( $t$ -test  $P = 0.055$  Mann-Whitney  $U$  test  $P = 0.416$ ). This suggested that the mating call is important for the female for conspecific discrimination between the closely related sympatric species.

**Key words:** Anuran; Mating call; Time domain; Frequency domain; Parameter

鸣叫是无尾类个体间通讯的重要手段。雄性利用求偶鸣叫来吸引雌性,是无尾类繁殖行为的重要一环。并且在种间识别<sup>[1,2]</sup>和雌性性选择<sup>[3~5]</sup>时扮演中心角色。鸣叫在雄性竞争时也起重要作用<sup>[6]</sup>。我国学者已经对部分无尾类

的鸣叫做了描述与分析<sup>[7~9]</sup>。

基金项目 中国科学院知识创新重要方向项目(No. KSCX2-1-03);

\* 通讯作者, E-mail: xhrl@163.net;

第一作者介绍 徐俊晓,男,硕士研究生;研究方向 动物学。

收稿日期 2004-11-16, 修回日期 2005-03-14

本文尝试对 12 种无尾类的求偶鸣叫进行类似语音的分析,提取其特征参数,包括鸣叫时长(call duration, call dur)、音节时长(note duration, note dur)、音节个数(note number)、基频(fundamental frequency, F0)、主能峰(dominant frequency, DF)和前 3 个共振峰(formant, F1 ~ F3)等 9 个参数。并且对其中两个同域分布的近缘种间的参数进行比较。

## 1 材料与方法

### 1.1 录音 所有录音都是求偶鸣叫(mating call)

鸣调用爱华录音机接 SGC568 型指向性话筒野外录音于 Sony 高保真磁带上。经过 A/D 转换转到计算机上。音效芯片为板载 Avance Logic ALC650 芯片。采样率为 22 050 Hz, 16 bit, 单声道, wav 格式。录音软件为 Cool Edit V2.1。采集物种和鸣声来源见表 1。

**1.2 预处理** 因为野外采集的声音一般都有或多或少的噪音,而且磁带、录音机和声卡也有本底噪音。因此进行分析之前首先使用 Cool Edit V2.1 进行降噪处理。

表 1 12 种无尾类的野外鸣叫采集信息

Table 1 The collection information of the calls of the 12 anurans

物种 Species	采集时间(年.月.日) Collected time (year. month. day)	采集地点 Location	水温(°C) Water temperature	个体数 No. of individuals	鸣叫数 Calls
峨眉角蟾 <i>Megophrys omeimontis</i>	2001.5.7	峨眉清音阁、瓦屋山代国槽 Qingyin cabinet, Mount Emei Daiguocao, Mount Wawu	缺 missing	2	3
高山掌突蟾 <i>Leptotalax alpinus</i>	2004.5.21	广西岑王老山 Mount Cenwanglao, Guangxi Province	16	1	11
华西雨蛙 <i>Hyla annectans</i>	2004.5.7	瓦屋山代国槽 Daiguocao, Mount Wawu	11.5	1	6
秦岭雨蛙 <i>H. tsinlingensis</i>	2003.7.23	陕西周至老县城 Zhouzhi Old County, Shaanxi Province	缺 missing	1	11
斑腿树蛙 <i>Rhacophorus megacephalus</i>	2004.5.21	底定自然保护区 Diding Nature Reserve	17	1	6
无声囊树蛙 <i>R. mutus</i>	2004.5.21	广西岑王老山 Mount Cenwanglao, Guangxi Province	17	5	> 50
宝兴树蛙 <i>R. dugritei</i>	2004.4.26	瓦屋山代国槽 Daiguocao, Mount Wawu	13 ~ 16	8	40
经甫树蛙 <i>R. chenfui</i>	2004.4.27	瓦屋山代国槽 Daiguocao, Mount Wawu	17.6	10	32
锯腿小树蛙 <i>Philautus odontotarsus</i>	2004.5.18	广西岑王老山 Mount Cenwanglao, Guangxi Province	17.4	1	3
弹琴水蛙 <i>Hylarana adenopleura</i>	1998.5.28	瓦屋山 Mount Wawu	缺 missing	1	11
沼水蛙 <i>H. guentheri</i>	2002.5.18	香港沙头角 Shatoujiao, Hongkong	29	1	8
花姬蛙 <i>Microhyla pulchra</i>	2004.5.21	底定自然保护区 Diding Nature Reserve	缺 missing	1	51

### 1.3 时域分析方法

**1.3.1 鸣叫(call) 音节(note) 脉冲(pulse) 的区分** 主要从时间长度和间隔的时间长度以及时域波形包络(envelope)来区分。从听觉上一般人很容易区分同一个体在一段时间内的不同鸣叫, 不至于把一个鸣叫分成几个, 或者把几个鸣叫认成一个。有声囊的种类可以用声囊收缩、扩张一次定为一个鸣叫<sup>[7]</sup>。Duellman 和 Trueb<sup>[10]</sup>根据时间、能量和它们之间的关系把鸣叫的成分进行划分。本文采用鸣叫的下一级单位为音节, 并说明音节是单脉冲还是多脉冲。

**1.3.2 时长的测量** 由于一些种类的鸣叫开始与结束部分渐强或减弱, 难于准确判断起止点, 因此, 当振幅包络大于最大振幅的 1/10 时, 算作声音的起始点; 当振幅小于最大振幅的 1/10 时, 作为声音的结束点。如果中间有振幅小于最大振幅的 1/10 的部分, 则也把它们算作声音时长的一部分。这一标准将应用于鸣叫、音节和脉冲的测量。

### 1.4 频域分析方法

**1.4.1 基频与共振峰的测量** 使用 Praat V-4.2.14 语音分析软件提取基频和共振峰。基频的算法为自相关法(auto-correlation), 共振峰提取方法为线性预测编码(LPC), 算法为 Burg 法<sup>[11]</sup>。因为原始数据会或多或少受到噪音干扰, 虽然经过降噪处理, 但并不能完全消除, 所以基频和共振峰会有一些野点, 例如基频会偏离真正基频的 1 倍到 2 倍。有声与无声的识别不准确或计算误差会出现一些散乱的点。这些都要通过观察排除, 然后再把真正的基频和共振峰取平均值(把无尾类的鸣叫看作平稳过程, 鸣叫有调频的部分另外描述)。

**1.4.2 能量分布测量** 使用 BatSound Standard V-3.10FFT(快速傅立叶变换, 512 点采样)作频谱图, 并结合语图、基频与共振峰观察分析主能峰和其它主要频率的能量分布。

**1.5 声音参数差异的比较方法** 分别用 *t*-检验和 Mann-Whitney *U* 检验进行差异性检验。

## 2 结果

12 种无尾类的鸣叫参数见表 2。

**2.1 峨眉角蟾(图 1:a)** 鸣叫音节数差别较大, 峨眉山峨眉角蟾为 10 个, 瓦屋山峨眉角蟾为 15、21 个。鸣叫包络具有地区差别(图 2)。峨眉山峨眉角蟾的鸣叫音节强度稳定, 而瓦屋山峨眉角蟾的鸣叫音节强度有规则的由弱变强, 鸣叫的包络区分很明显。

峨眉山地区的峨眉角蟾鸣叫主能峰与基频( $1\ 750 \pm 50$  Hz)较瓦屋山峨眉角蟾的鸣叫( $2\ 050 \pm 50$  Hz)低。由于样本较少( $n = 2$ )这种差别可能为个体间的差别, 也可能是地区间的差别, 需要更多数据验证。

**2.2 高山掌突蟾(图 1:b)** 鸣叫声音尖细, 类似某些昆虫, 为几乎连续不断的“唧唧”声。观察波形可发现数个或十余个脉冲就有比较规则的时间间隔, 而脉冲之间的间隔不太规则, 即每隔( $0.17 \pm 0.01$ ) s 就有数个或数十个间隔小于 0.04 s 的一组脉冲, 因而将间隔在 0.17 s 左右算作鸣叫的区分。间隔小于 0.04 s 的一组脉冲, 其间隔大部分小于 0.02 s, 只有前 2 个脉冲与后面的脉冲间隔在 0.038 s 左右。脉冲波形较固定, 放大后中部有一个鞍形的凹陷。

**2.3 华西雨蛙(图 1:c)** 鸣叫类似噪音, 波形不规则, 成锯齿状, 强度渐弱, 尾部强度弱且长。

**2.4 秦岭雨蛙(图 1:d)** 鸣叫脉冲约 40 个左右。声音渐强, 与华西雨蛙非常相似。

主能峰在( $1\ 500 \pm 50$ ) Hz 和( $3\ 000 \pm 100$ ) Hz, 两处能量基本相等。

**2.5 斑腿树蛙(图 1:e)** 鸣叫为“咯咯”声, 声音平直。鸣叫以一声为主, 有时会有连续几声鸣叫。

**2.6 无声囊树蛙(图 1:f)** 鸣叫是“咯”的一声。

主能峰在基频处。不同个体鸣叫基频在 450 ~ 800 Hz 之间。同一个体变幅在  $\pm 50$  Hz 之间, 多数在  $\pm 30$  Hz 之间。共振峰不明显, 能量分布在 2 000 Hz 以下。在基频的 2 倍、3 倍频率处有次能峰。

**2.7 宝兴树蛙(图 1:g)** 鸣叫之间的间隔视情况而定。在单个个体没有竞争的情况下比较固定。个体间差别较大, 为几秒到几十秒不等。可能与温度和湿度以及个体的生理状态(如激素水平)有关<sup>[12]</sup>。个体内鸣叫包络较固定, 个

体间鸣叫包络有差别;个体内音节数变化不大(2~3),个体间的音节数变化较大(11~17)。鸣叫包络有个体差异(图 3:a,b),但不同个体的音节包络相似度较高。

主能峰在基频处(约 $1\ 700 \pm 50$ ) Hz。次能峰在第三共振峰处(5 200 Hz 左右)。鸣叫有调频现象(图 3:a)。从开始的 1 600 左右到中间的 1 760 左右再到末尾的 1 700 Hz 左右。而且大部分音节也有调频现象,大约在 20~40 Hz。个体之间调频方向不同,有的上调,有的下调。但个体内鸣叫的音节调频方向一致。有的鸣叫的音节调频现象不明显。共振峰在 1 700、3 400、5 100 Hz( $\pm 30$  Hz)。适当调节阈值,从频

谱图中可以看出一般前 3 个音节的共振峰有 6 个。FFT 频谱看出 4~6 强度太小,可以忽略。

2.8 经甫树蛙(图 1:h) 个体内音节数变化不大,1 个。个体间音节数变化较大,在 3~4 个之间。

个体内鸣叫的基频有调频(图 3:b)。从开始处的 1 800~1 900 Hz 左右缓慢增加到 2 200~2 300 Hz 左右。共振峰也跟随基频变化,平均在 2 000、3 900、5 800 Hz 左右。在基频的半整数倍频上也有强度稍小(约为整数倍共振峰的 1/2,即大约低 2~3 dB)的共振峰,但比较散乱,强度也很低。

表 2 12 种无尾类的鸣叫参数

Table 2 Parameteres of the calls of 12 anurans

物种 Species	鸣叫时长 Call dur* (s)	音节数 Note num (/call)	音节时长* Note dur (s)	音节时长** Note dur (s)	主频 DF (Hz)	基频 F0 (Hz)	第一共振峰 F1 (Hz)	第二共振峰 F2 (Hz)	第三共振峰 F3 (Hz)
峨眉角蟾 <i>M. omeimontis</i>	6.403 ± 1.705	15 ± 6	0.194 ± 0.039	0.105 ± 0.015	1 750~2 050 ± 501	750~2 050 ± 50	1 750~2 050 ± 50	-	-
高山掌突蟾 <i>L. alpinus</i>	0.270 ± 0.069	9.45 ± 2.73	0.003 ± 0	+	6 700 ± 100	6 700 ± 100	6 700 ± 100	-	-
华西雨蛙 <i>H. annectans</i>	0.351 ± 0.091	※	※	※	3 500 ± 100	1 800 ± 50	3 500 ± 50	-	-
秦岭雨蛙 <i>H. tsinlingensis</i>	0.327 ± 0.015	40 ± 10	0.008 ± 0.001	+	1 500 ± 50/ 3 000 ± 100	1 500 ± 50	1 500 ± 50	3 000 ± 100	-
斑腿树蛙 <i>R. hacoborus megacephalus</i>	0.118 ± 0.042	10.7 ± 3.2	0.009 ± 0.002	+	1 540~1 660 ± 30	1 540~1 660 ± 30	1 540~1 660 ± 30	-	-
无声囊树蛙 <i>R. mutus</i>	0.047 ± 0.009	1 ± 0	-	-	400~800	400~800	400~800	1 000 ± 100	1 600 ± 200
宝兴树蛙 <i>R. dugritei</i>	1.238 ± 0.046	14.67 ± 2.09	0.013 ± 0.004	0.005 ± 0.001	1 700 ± 50	1 700 ± 30	1 700 ± 50	3 400 ± 100	5 200 ± 200
经甫树蛙 <i>R. chenfu</i>	0.418 ± 0.055	5.45 ± 1.51	0.015 ± 0.004	0.007 ± 0.002	2 000 ± 80	2 000 ± 80	2 000	3 900	5 800
锯腿小树蛙 <i>Philautus odontotarsus</i>	0.205 ± 0.019	14.3 ± 1.15	0.013 ± 0.002	+	2 100 ± 100	760 ± 200	1 600 ± 100	2 100 ± 100	5 100 ± 50
弹琴水蛙 <i>Hylarana adenopleura</i>	2.586 ± 0.547	4.64 ± 1.03	0.241 ± 0.071	0.070 ± 0.048	410 ± 30	410 ± 30	420 ± 30	1 700 ± 30	-
沼水蛙 <i>H. guentheri</i>	0.384 ± 0.046	6.88 ± 0.83	缺	缺	1 200 ± 100	440 ± 50	440 ± 50	850 ± 50	1 200 ± 100
花姬蛙 <i>Microhyla pulchra</i>	0.076 ± 0.004	9.80 ± 0.40	0.007 6 ± 0.000 4	+	2 000 ± 80	110 ± 10	1 130	1 600	2 200

数据均没有作温度校正 All the data do not adjusted by temperature.

\* 在鸣叫或音节最大强度的 1/10 处测得; \*\* 在音节最大强度的 1/2 处测得; - 无或强度太小, 不明显; + 时长太短,  $t < 3$  ms; ※ 无明显的音节区分。

\* : Measured at the 1/10 of the max amplitude of the call or note; \*\* : Measured at the 1/2 of the max amplitude of the call or note; - : No F1~F3 or there intensity are too weak; + : Time is too short,  $t < 3$  ms; ※ : There are no distinct notes.

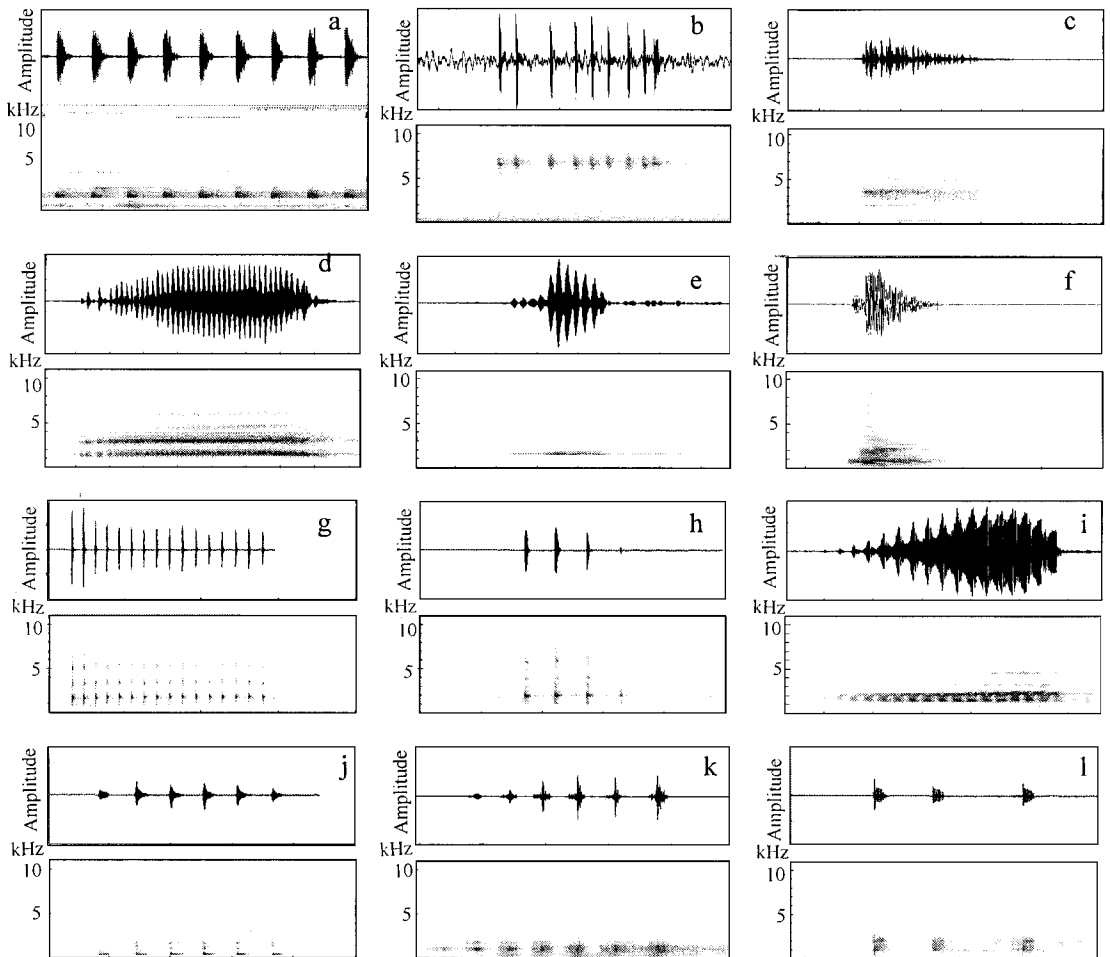


图 1 12 种无尾类的典型鸣叫

Fig. 1 Typical sound wave and sonogram of 12 anurans

软件 :BatSound ; 频率范围 0~11 025 Hz ; 均以 1 个鸣叫截图 鸣叫时长参见表 2。

Software : BatSound ; Frequency range : 0 ~ 11 025 Hz ; All the chart shows one call. The duration of the call is in table 2.

a 峨眉角蟾 (录于峨眉山) ; b 高山掌突蟾 ; c 华西雨蛙 ; d 秦岭雨蛙 ; e 斑腿树蛙 ; f 无声囊树蛙 ;

g 宝兴树蛙 ; h 经甫树蛙 ; i 锯腿小树蛙 ; j 弹琴水蛙 ; k 沼水蛙 ; l 花姬蛙。

a : *M. omeimontis* (recorded on Mt. Emei) ; b : *L. alpinus* ; c : *H. annectans* ; d : *H. tsinlingensis* ;

e : *R. megacephalus* ; f : *R. mutus* ; g : *R. dugritei* ; h : *R. chenfui* ; i : *P. odontotarsus* ; j : *H. adenopleura* ; k : *H. guentheri* ; l : *M. pulchra* .

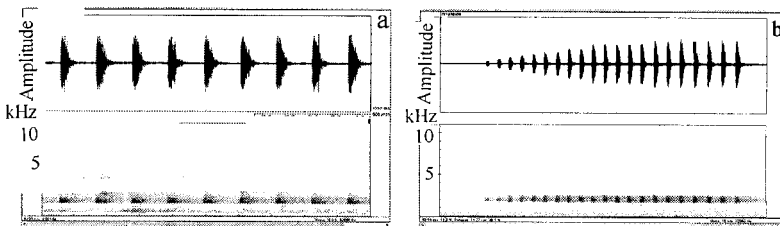


图 2 峨眉山与瓦屋山的峨眉角蟾鸣叫的比较

Fig. 2 Calls of *M. omeimontis*, show the difference between Mount Emei and Mount Wawu

a ; 峨眉山峨眉角蟾的鸣叫, 音节强度不变 ; b : 瓦屋山峨眉角蟾的鸣叫, 音节强度由弱变强。

a : Recorded on Mt. Emei. It's envelope is a line ; b : Recorded on the Mt. Wawu. It's envelope is a bias.

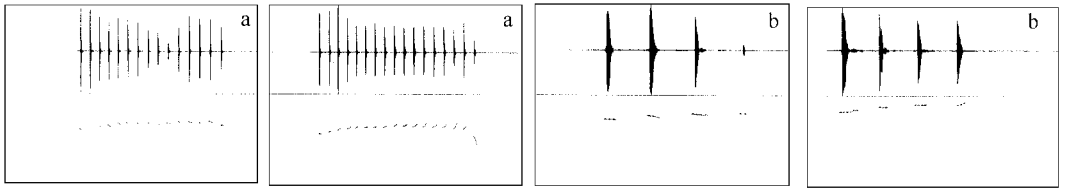


图 3 基频 示宝兴树蛙与经甫树蛙鸣叫的调频现象

Fig.3 To represent the frequency-modulation of *R. dugritei* and *R. chenfui*'s call

基频显示频率范围 :75 ~ 2 600 Hz 软件 :Praat

Frequency range :75 ~ 2 600 Hz ; Software : Praat.

a :为宝兴树蛙 鸣叫与音节都有调频 b :为经甫树蛙 鸣叫有调频 音节调频不明显。

a : *R. dugritei* , calls and notes all have Frequency-Modulation ; b : *R. chenfui* , calls have Frequency-Modulation , but not obvious in notes.

2.9 锯腿小树蛙(图 1 i) 鸣叫包络如竹节, 声音渐强。听起来好像“啾”的一声。

基频基本无能量,主能峰与次能峰相差约 9 dB。

2.10 弹琴水蛙(图 1 j) 每个鸣叫音节数在 3 ~ 6 个之间。音节较单纯。声音如拨动琴弦。

在基频的 1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 倍频的地方有能量峰起。次能峰在第二共振峰处,比主能峰小约 10 dB。

2.11 沼水蛙(图 1 k) 鸣叫不分音节。每个鸣叫的脉冲数为 6 ~ 8 个。

2.12 花姬蛙(图 1 l) 鸣叫为“嘎、嘎”声。鸣叫组(call group)与鸣叫区分不太明显。通过观察,以 0.8 s 为界限,一般每个鸣叫组的鸣叫数为 1 ~ 3 个,最高为 7 个。每个鸣叫有 9 ~ 10 个音节。

在 800 ~ 2 400 Hz 有一系列的(14 ~ 16 个)共振峰。

### 3 讨论

3.1 与已有描述的比较 在本文研究物种之前已有描述的有 4 个种:Matsui 和 Wu<sup>[13]</sup>描述的宝兴树蛙、经甫树蛙;与牟勇<sup>[7]</sup>描述的华西雨蛙、沼水蛙(表 3)。由于同种间的个体差异或不同地区间的地区性差异、测量时的误差和样本大小不同等原因,不同的作者描述的相同物种的鸣叫参数会略有不同(表 3)。姜仕仁<sup>[8]</sup>发现杭州地区与安徽宣城地区的饰纹姬蛙的鸣叫分析结果差异较大,可能是环境差异所致。根

据鸣叫差异,牟勇<sup>[7]</sup>提出湖北和北京两地的黑斑蛙可能已经有亚种的分化。说明无尾类同一物种鸣叫的地区性差异可能为普遍现象。

3.2 鸣叫调频 本文发现只有一部分宝兴树蛙与经甫树蛙的鸣叫有调频,而且不是特别明显。虽然可以从语图及计算结果中看出,但是在人的听觉能力范围内并不明显。有研究表明雌性泡蟾(*Physalaemus pustulosus*)只对具有特定调频的鸣叫产生反应<sup>[14,45]</sup>。泡蟾的调频约从 900 ~ 400 Hz,其幅度和相对幅度都比较大。雄性凹耳蛙(*Amolops tormotus*)可以发出多种多样的鸣叫,其调频非常明显,但是功能并不清楚<sup>[16]</sup>。由于宝兴树蛙与经甫树蛙的调频微弱,我们推测其调频可能并没有实质性的功能,即不会引起雌性趋声性的差异,可能仅仅只是鸣叫复杂化的一种倾向而已,需要雌性趋声行为方面的进一步研究。

3.3 声音通讯与物种识别 宝兴树蛙与经甫树蛙的生活环境基本相同,都是分布在静水塘边及附近的杂草丛中。生态位非常接近,繁殖季节一致,都是在 4 ~ 6 月,个体大小差异不大,只是在部分个体的体色和斑纹方面有所差异,两者的分类学地位也非常接近。经过对瓦屋山代国槽这 2 个同域分布的物种分析,二者声音的 9 个参数除了音节间隔之外( $t$ -test  $P = 0.055$ ; Mann-Whitney  $U$  test  $P = 0.416$ ),差异都及其显著( $P < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$  双尾检验)。然而,有研究表明,在有多种( $n = 5$ )共存的地区,雌性泡蟾有时会错误地识别相似的异种为同种<sup>[17]</sup>。Marquez 和 Bosch<sup>[18]</sup>

表 3 已有的 4 个物种的鸣叫描述与本文的比较

Table 3 Comparison the 4 species' calls description between this paper and the previous

物种 Species	文献 Previous description						本文 This paper					
	地点 Site	音节数 Note no. (个)	鸣叫时长 Call duration (s)	基频 FO (Hz)	主频 DF (Hz)	共振峰 F (个)	地点 Site	音节数 Note no. (个)	鸣叫时长 Call duration (s)	基频 FO (Hz)	主频 DF (Hz)	共振峰 F (个)
宝兴树蛙 <i>Rhacophorus dugrizei</i>	四川峨眉山 Mount Emer <sup>[13]</sup>	11~14 (2个音节) (4℃)	0.075 0.7		1 275~ 1 675	7	四川瓦屋山 Mount Wawu	13~16 (13~16℃)	1.238 ± 0.046		1 700 ± 50	6
		2~9 (10个音节) (8℃)	1.015 (14个音节)									
经甫树蛙 (峨眉山种群) <i>R. chenfui</i>	四川峨眉山 Mount Emer <sup>[13]</sup>	2~6	0.645 s (6个音节)		2 000 ~ 2 349		四川瓦屋山 Mount Wawu	5.45 ± 1.51	0.418 ± 0.055		2 000 ± 80	
	四川省普格县 Puge Country, Sichuan Province <sup>[7]</sup>	30~40	0.236 ± 0.02		1 780 ± 160	3 430 ± 210	四川瓦屋山 Mount Wawu	无明显的 音节 区分	0.351 ± 0.09		11 800 ± 50	3 500 ± 100
沼水蛙 <i>Hylarana guentheri</i>	福建省福清 城郊 Suburb of Fuqing Town, Fujian Province <sup>[7]</sup>		0.119 ± 0.02		1 450 ± 290		香港沙头角 Shatoujiao, Hongkong		0.384 ± 0.046		1 200 ± 100	

报道,产婆蟾(*Alytes obstetricans*)和西班牙产婆蟾(*A. cisternasii*)分布地区有部分重叠,雄性的鸣叫时长与频率都有部分重叠。同一个种的雄性鸣叫在重叠区和非重叠地区没有差异,但是两个种雌性的趋声性在重叠地区与非重叠地区却产生分化。例如,非重叠地区的西班牙产婆蟾趋向于更长的和频率更低的鸣叫,但重叠地区的西班牙产婆蟾不趋向于低频的鸣叫(统计意义上),因为产婆蟾也可以发出。这说明尽管是不同的物种,如果鸣叫有重叠,雌性还是有误识的可能。经过分析,宝兴树蛙( $n = 8$ )与经甫树蛙( $n = 10$ )的基频没有重叠。它们的基频以 1 850 Hz 为界线区分,由此可见,在声音分辨上可能不会出现上文所报道的错误识别。虽然宝兴树蛙和经甫树蛙雌性的趋声性还没有相关研究,但是由于它们形态相似,生活环境、生态位、繁殖季节等重叠较大,由此推断声音通讯在雌性的物种识别中起到重要作用。

参 考 文 献

[ 1 ] Borgert C M. The influence of sound on the behavior of amphibians and reptiles. In : Lanyon W E, Tavolga W N, eds. Animal

Sounds and Communication. Washington : AIBS, 1960 : 37 ~ 320.  
 [ 2 ] Blair W F. Acoustic behavior of Amphibia. In : Busnel R G, eds. Acoustic Behavior of Animals. New York : Elsevier, 1963 : 694 ~ 708.  
 [ 3 ] Ryan M J. Female mate choice in a Neotropical frog. *Science*, 1980, **209** : 523 ~ 525.  
 [ 4 ] Sullivan B K. Sexual selection in Woodhouse's toad (*Bufo woodhousei*). II. Female choice. *Anim Behav*, 1983, **31** : 1 011 ~ 1 017.  
 [ 5 ] Murphy C G, Gerhardt H C. Evaluation the design of mate-choice experiments : the effect of amplexus on mate choice by female barking treefrogs, *Hyla gratiosa*. *Anim Behav*, 1996, **51** : 881 ~ 890.  
 [ 6 ] Davies N B, Halliday T R. Deep croaks and fighting assessment in toads, *Bufo bufo*. *Nature*, 1978, **274** : 683 ~ 685.  
 [ 7 ] 牟勇, 赵尔宓. 无尾两栖类四属十三种叫声的研究. 见 : 江耀明主编. 两栖爬行动物学论文集. 成都 : 四川科技出版社, 1992 : 15 ~ 26.  
 [ 8 ] 姜仕仁, 丁平, 诸葛阳. 三种蛙鸣声特征比较研究. *动物学研究*, 1995, **16** (1) : 75 ~ 81.  
 [ 9 ] 江建平, 谢锋, 费梁等. 瓦屋山国家森林公园锄足蟾科 6 种的繁殖鸣声特性. *动物学研究*, 2002, **23** (1) : 89 ~ 94.  
 [ 10 ] Duellman W, Trueb L. Biology of Amphibians. Baltimore : The Johns Hopkins University Press, 1994 : 89.  
 [ 11 ] 杨行峻, 迟惠生编著. 语音信号数字处理. 北京 : 电子工业出版社, 1995 : 62 ~ 83.

- [ 12 ] Brooke P N ,Alford R A ,Schwarzkopf L. Environmental and social factors influence chorusing behaviour in a tropical frog : examining various temporal and spatial scales. *Behav Ecol Sociobiol* 2000 **49** :79 ~ 87.
- [ 13 ] Matsui M ,Wu G F. Acoustic characteristics of Treefrogs from Sichuan ,China ,with comments on systematic relationship of *Polypedates* and *Rhacophorus*( Anura ,Rhacophoridae ). *Zool Sci* ,1994 ,**11** :485 ~ 490.
- [ 14 ] Ryan M J ,Rand A S. Species recognition and sexual selection as a unitary problem in animal communication. *Evolution* , 1993 **47**( 2 ) :647 ~ 657.
- [ 15 ] Wilczynski W ,Rand A S ,Ryan M J. The processing of spectral cues by the call analysis system of the túngara frog ,*Physalaemus pustulosus* . *Anim Behav* ,1995 **49** :911 ~ 929.
- [ 16 ] Feng A S ,Narins P M ,Xu C H. Vocal acrobatics in a Chinese frog ,*Amolops tomotus* . *Naturwissenschaften* ,2002 ,**89** :352 ~ 356.
- [ 17 ] Ryan M J ,Rand W ,Hurd P L ,et al . Generalization in response to mate recognition signals. *The Amer Natural* ,2003 **161**( 3 ) :380 ~ 394.
- [ 18 ] Marquez R ,Bosch J. Male advertisement call and female preference in sympatric and allopatric midwife toads. *Anim Behav* ,1997 **54** : 1 333 ~ 1 345.



由于工作关系,该书作者对珍稀野生动物和许多拯救它们的‘辛德勒’都非常熟悉。因此,该书内容在科学性、知识性、纪实性、趣味性等方面都有很好的表述,文字清新引人、生动畅达,该书图文并茂,彩色照片的比重超过1/2,其中大部分作品都是科学家在野外拍摄的,充分展现了野生动物雄健优美的体态和丰富多彩的生活习性以及科学家在野外工作时的风采,因而具有珍贵的科学史料价值和艺术魅力。

马勇(中国科学院动物研究所)