

噪音环境下花臭蛙求偶鸣声特征分析

张方^① 陈烛青^① 赵娟^① 陈潘^②

① 安徽师范大学生命科学学院 芜湖 241000; ② 安徽师范大学环境科学与工程学院 芜湖 241000

摘要: 2012年7月份,在黄山浮溪地区利用超声录音设备录制并分析了繁殖季节雄性花臭蛙(*Odorrana schmackeri*)个体的求偶鸣声。观察发现花臭蛙繁殖活动主要集中在7月中旬,繁殖高峰期活动无昼夜规律,全天均可见求偶鸣叫及抱对产卵等行为,并且多在浅水滩处活动。花臭蛙鸣声根据音节数和声谱特征可分为4种类型:即单音节音、婴儿音、双音节音和多音节断奏音,其中,单音节音、双音节音和婴儿音较为常见。利用Selena软件给出4种声音的语图以及各自对应的能谱图,利用Sound Analysis pro v1.2对单音节音、双音节音和婴儿音的鸣声特征参数进行定量分析,分析的声音参数包括鸣叫持续时间、音节数、音节持续时间、音节间隔、主频、脉冲率等。结果表明,花臭蛙鸣声的主频范围为1.8~4.5 kHz ($n = 65$)。鸣声不包括超声组分,主频峰值(3.1 ± 0.7) kHz,与前人电生理实验所得花臭蛙听觉敏感峰值一致,说明花臭蛙主要在这一频段进行通讯。对3种常见鸣叫音声音参数的单因素方差分析结果表明,双音节音与单音节音和婴儿音在声音持续时间上存在显著性差异($P < 0.01$),双音节音和单音节音在第二谐波声强上也具有显著性差异($P = 0.01$)。花臭蛙的双音节音在3种常见鸣叫音中具有最长的持续时间,为(99.5 ± 8.4) ms,故推测,双音节音为花臭蛙繁殖期主要求偶鸣声,并通过其鸣声时长的变化来体现自身品质的好坏。

关键词: 花臭蛙; 声特征; 环境噪音

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2015) 01-52-07

Analyzing the Characteristics of Courtship Calls of *Odorrana schmackeri* in Noisy Environment

ZHANG Fang^① CHEN Zhu-Qing^① ZHAO Juan^① CHEN Pan^②

① College of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000; ② College of Environmental Science and Engineering, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

Abstract: We collected the courtship calls from male *Odorrana schmackeri* at Fuxi, Mount Huangshan using ultrasonic recording devices in July 2012 and analyzed the characteristics of these sounds in our laboratory later. From our observation, we discovered that breeding activities of *O. schmackeri* mainly peaked around mid-July when courtship calls, spawning, and other mating activities occurred throughout the day and night, mostly near shallow waters. *O. schmackeri* calls can be categorized (by note number and sound spectrum)

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31272326), 安徽省教育厅重点项目 (No. KJ2012A142);

第一作者介绍 张方, 男, 副教授; 研究方向: 动物生态及保护生物学; E-mail: biologyzhf@126.com.

收稿日期: 2014-04-14, 修回日期: 2014-09-03 DOI: 10.13859/j.cjz.201501007

into four different vocal types: single-note, 'infant'-note, double-note, and multi-note staccato. Among these four vocal types, single-note, double-note, and 'infant'-note are most common. Using the SELINA software, we generated the spectrograms and the corresponding power spectrums for each of the 4 vocal types. Using Sound Analysis pro v1.2, we performed quantitative analysis on the sound characteristic parameters of three vocal types: single-note, double-note, and 'infant'-note. Sound parameters we analyzed include: call duration (ms), note number, note duration (ms), note interval (ms), dominant frequency (Hz), pulse rate (1/s), etc. Our results showed that the range of dominant frequency of *O. schmackeri* was from 1.8 to 4.5 kHz ($n = 65$). Excluding the ultrasonic range, the auditory sensitivity peak value was (3.1 ± 0.7 kHz) which is consistent with the results of prior electrophysiological experiments. Such consistency indicates that *O. schmackeri* mainly communicates in this frequency band. The univariate ANOVA analysis revealed that there were significant differences in the call duration between double-note, single-note and 'infant'-note ($P < 0.01$). Results also showed significant differences in the intensity of the 2nd harmonic sound between double-note and single-note ($P = 0.01$). Between the three common vocal types, the double-note had the longest call duration (99.5 ± 8.4 ms). Therefore, we speculated that this type of call might be used by *O. schmackeri* as its primary courtship call, and the duration of these double-note mating calls might be able to reflect the overall body situation.

Key words: *Odorrana schmackeri*; Vocal characteristics; Ambient noise

声通讯在动物的生存和繁殖方面有着重要作用, 通常认为与动物之间的相互识别、信息传递、求偶、占域以及协调个体间的行为等方面均有密切关系 (Marler et al. 1977)。鸣叫作为无尾两栖类繁殖期的常见行为, 对其生存和繁殖尤为重要 (Narins et al. 2006), 例如, 雄性所发出求偶鸣叫会对其繁殖成功率产生直接的影响 (Lingnau et al. 2007)。雌性基于雄性的发声特征来选择配偶, 例如频率、音调、脉冲率、振幅、鸣叫率、发声持续时间 (Gerhardt et al. 1988)。通常雌蛙倾向于能够发出更大叫声的雄性个体, 更大叫声的个体通常代表其体力充沛、健康、周围食源丰富 (Sullivan et al. 1995)。同时, 雄性个体发出求偶鸣声表示其占有某个领地, 从而使不同个体在空间上保持距离以避免激烈的资源竞争 (Ryan et al. 1993)。由于求偶鸣声具有种属特异性, 无尾两栖类的求偶鸣声也被用于亲缘关系鉴定及分类研究 (Nunes et al. 2007, Heyer et al. 2009)。目前, 有关无尾两栖类的求偶鸣声及其影响因素国内外多有报道 (Heyer et al. 2009, Chen et al. 2011,

Cui et al. 2011, 韦力等 2013), 而影响因素主要是受到生理结构 (如声囊的有无)、生境 (如海拔) 以及环境条件 (如气温、噪音等) 等的影响 (Cui et al. 2011, 张方等 2013)。

花臭蛙 (*Odorrana schmackeri*) 为我国特有种, 生活在海拔 200 ~ 1 400 m 的山涧溪流, 7 ~ 8 月为其繁殖期 (费梁 1999)。在黄山地区, 花臭蛙和能够发出超声的凹耳蛙 (*O. tormota*) 生活在同一高噪音的环境下, 而凹耳蛙已经被证实高噪音环境下采用高频声信号进行通讯 (Feng et al. 2006), 高噪音环境下的花臭蛙会采用什么样的通讯策略? 为此我们首先需要了解该蛙在噪音环境下的鸣声特征, 从而为更加深入地理解花臭蛙在噪音环境下的通讯策略奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究地点

本研究地点位于黄山汤口浮溪一段 ($30^{\circ}05'N$, $118^{\circ}08'E$), 海拔为 550 ~ 650 m。年平均降雨量约为 2 390 mm (Feng et al.

2002)。录音期间,当地夜晚温度 22 ~ 24°C,湿度 40% ~ 80%。

1.2 声音录制

2012年7月5~15日,采用便携式专业录音机(Sound Devices, Model 702, 频率范围 10 Hz ~ 96 kHz)并连接超声话筒(G.R.A.S. 40BE, G.R.A.S. Sound & Vibration A/S, Holte, Denmark, 频率范围 5 Hz ~ 100 kHz)在野外对雄性花臭蛙求偶鸣声进行录制。声音录制于蛙鸣叫最集中的时段 05:00 ~ 09:00 时及 17:00 ~ 23:00 时。共录到 10 只雄性花臭蛙有效声音 67 声,其中包括 2 个个体录到 2 声断奏音。录音时根据叫声位置寻找并确定目标个体,然后一人持话筒慢慢靠近目标个体,距离约 0.5 m。另外一人用头灯光束照着目标个体(光照不足时使用),同时用数码摄像机(Cannon, Model HF-M40, Japan)记录发声行为。录音后,捕捉目标个体,用游标卡尺(Spi2000, Wiha)测量吻端到泄殖腔的体长(精确到 0.02 mm),用便携式电子天平(JY10001, 上海良平)称量体重(精确到 0.1 g),剪蹼标记后第 2 天在捕捉地放回以免重复录音。

1.3 声音和数据分析

利用 SELENA 声学软件给出 4 种声音的语图(spectrograms)和各自对应的能谱图(power spectrum),同时通过标准声级校准器(Brüel & Kjær, Type 4231, German; 1.0 kHz, 94 dB SPL)对声音进行校准并获得花臭蛙每个叫声的绝对声强。为清晰展示单音节音的能量峰值构成情况,利用 Batsound Pro vs.3.31 (Elektronik, Uppsala, Sweden)给出其中一个单音节音的能谱图,分析采用哈密窗(Hamming),分析精度为 22 Hz。2 种声音软件的声音采样频率均为 48.0 kHz。利用 Sound Analysis pro v1.2 (Ofer Tchernichovski CCNy, America)对鸣声特征参数进行定量分析,仅分析单音节音、双音节音和婴儿音。分析的声音参数包括鸣叫持续时间(call duration, 单位: ms)、音节数(note number)、音节持续时间(note duration, 单位:

ms)、音节间隔(note interval, 单位: ms)、主频(dominant frequency, 单位: Hz)、脉冲率(pulse rate, 单位: 1/s)等,各参数定义详见 Bee (2004) 和 Yu 等(2009)。利用 SPSS13.0 for Windows 的单因素方差分析(One-Way ANOVA)进行统计分析,显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 发声行为与声图分析

花臭蛙繁殖高峰期几乎占据整条溪流,除武夷湍蛙(*Amolops wuyiensis*)外未见其他蛙类伴生,06:00 ~ 24:00 时的不同时间段均可听到其叫声。由于录音期间一直没有下雨,溪水出现大量浅滩。雄蛙多占据溪边或溪中石块鸣叫,会出现相邻蛙争斗占领领域现象。当雌蛙出现时,往往会有十几只雄蛙跟在雌蛙身后,雄蛙往往会不停地进行鸣叫,特别是新到来的雄蛙鸣叫尤甚。一些雄蛙会试探着靠近雌蛙,此时雄蛙常常会停止鸣叫,不过大多数靠近者会被雌蛙用后肢踢开,在雌蛙成功抱对离开后还会有雄蛙尾随其后。

根据音节数和声谱特征,可将花臭蛙的鸣声分为 4 种类型,即 2 种单音节鸣叫,包括单音节音和婴儿音(图 1a, b)、1 种双音节鸣叫(图 1c, d)以及 1 种多音节断奏音(图 1e, f)。其中,单音节鸣叫、婴儿音鸣叫和双音节鸣叫较为常见,多音节断奏音仅在 2 个个体中录到。

单音节音(图 1a): 鸣声多为频率变化幅度较小的声音。单音节鸣声的能量主要集中在第一谐波(1st harmonics),即第一谐波为主频。声音平均持续时间为 (39.5 ± 19.8) ms,平均主频 (3.3 ± 0.8) kHz(表 1)。

婴儿音(图 1b): 鸣声类似于人类婴儿的叫声,能量主要集中在第二谐波(2nd harmonics),即第二谐波为主频。声音平均持续时间为 (32.1 ± 12.7) ms。平均主频为 (2.9 ± 0.7) kHz(表 1)。

双音节音: 声音由两个音节组成,两音

表 1 雄性花臭蛙声音参数统计 (平均值 ± 标准差)

Table 1 The acoustic parameters statistics of advertisement calls from male

Odorrana schmackeri (Mean ± SD)

声音参数 Vocal parameters	单音节音 Single-note call (n = 28)	双音节音 Double-note call (n = 28)	婴儿音 'Infant' call (n = 9)	方差 Variance	组间多重比较		P
					单音节 Single-note call	双音节 Double-note call	
总时间 (ms) Call duration	39.5 ± 19.8	99.5 ± 8.4	32.1 ± 12.7	$F_{2,66} = 137.9^{**}$	单音节	双音节	< 0.01
					Single-note call	Double-note call	
					单音节	婴儿音	0.594
					Single-note call	'Infant' call	
脉冲率 (1/s) Pulse rate	2.5 ± 1.2	1.9 ± 0.5	1.5 ± 0.4	$F_{2,35} = 3.395^*$	双音节	婴儿音	< 0.01
					Double-note call	'Infant' call	
					单音节	双音节	0.214
					Single-note call	Double-note call	
主频 (kHz) Dominant frequency	3.3 ± 0.8	3.1 ± 0.5	2.9 ± 0.7	$F_{2,66} = 2.286$	单音节	婴儿音	0.018
					Single-note call	'Infant' call	
					双音节	婴儿音	0.111
					Double-note call	'Infant' call	
主频声强 (dB SPL) Call intensity	72.3 ± 7.9	76.5 ± 7.1	74.1 ± 5.9	$F_{2,66} = 2.349$	单音节	双音节	0.420
					Single-note call	Double-note call	
					单音节	婴儿音	0.262
					Single-note call	'Infant' call	
第一谐波声强 (dB SPL) 1st harmonic intensity	70.3 ± 9.6	70.6 ± 8.9	67.8 ± 7.5	$F_{2,65} = 0.356$	双音节	婴儿音	0.779
					Double-note call	'Infant' call	
					单音节	双音节	0.104
					Single-note call	Double-note call	
第二谐波声强 (dB SPL) 2nd harmonic intensity	61.9 ± 11.3	74.7 ± 11.5	70.5 ± 8.3	$F_{2,63} = 9.234^{**}$	单音节	婴儿音	0.817
					Single-note call	'Infant' call	
					双音节	婴儿音	0.694
					Double-note call	'Infant' call	
第一谐波声强 (dB SPL) 1st harmonic intensity	70.3 ± 9.6	70.6 ± 8.9	67.8 ± 7.5	$F_{2,65} = 0.356$	单音节	双音节	1.000
					Single-note call	Double-note call	
					单音节	婴儿音	0.753
					Single-note call	'Infant' call	
第二谐波声强 (dB SPL) 2nd harmonic intensity	61.9 ± 11.3	74.7 ± 11.5	70.5 ± 8.3	$F_{2,63} = 9.234^{**}$	双音节	婴儿音	0.772
					Double-note call	'Infant' call	
					单音节	双音节	0.010
					Single-note call	Double-note call	
第二谐波声强 (dB SPL) 2nd harmonic intensity	61.9 ± 11.3	74.7 ± 11.5	70.5 ± 8.3	$F_{2,63} = 9.234^{**}$	单音节	婴儿音	0.166
					Single-note call	'Infant' call	
					双音节	婴儿音	0.640
					Double-note call	'Infant' call	

参照陈寒嫣等 (2014), 选择录音效果较好的个体鸣叫声, 每个叫声包含多个相同或不同的音节类型, 对每种音节类型只选择一个用于声波分析, 然后将所有同种音节类型样本进行参数统计。单因素方差分析的差异显著性: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

We made numerous recordings of the mating calls. These recordings contained multiple identical or different note types. For each note type, we selected ones with the most superior sound quality to be used as test studies in our acoustic analysis. We performed parametric statistical test on these same type notes (Chen et al. 2014). Significance difference of Univariate ANOVA analysis: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

节间有间隔, 且音节间隔小于 200.0 ms。有单音节音加婴儿音(图 1c)和婴儿音加婴儿音(图 1d) 两种。声音平均持续时间为 (99.5 ±

8.4) ms。平均主频 (3.1 ± 0.5) kHz (表 1)。

多音节断奏音(图 1e, f): 由有规律的 4~5 个简短音节组成。主频为 3.3 kHz, 声音持续

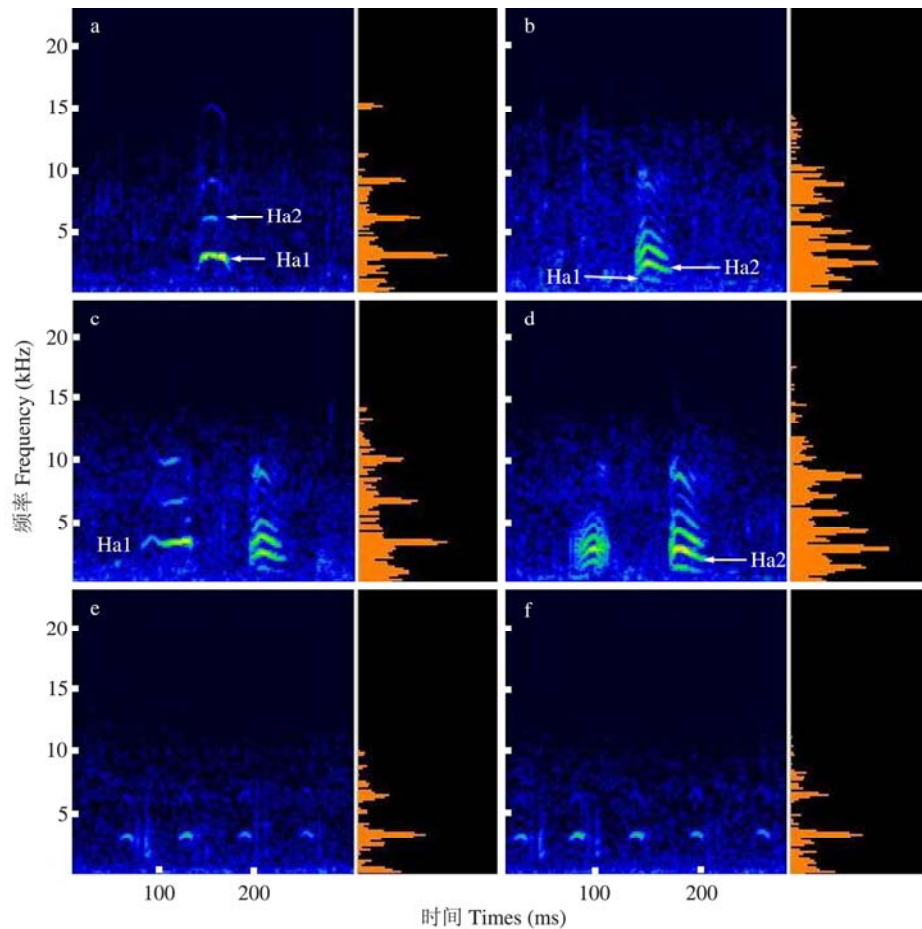


图 1 雄性花臭蛙 4 种鸣叫类型的语图及能谱图

Fig. 1 Spectrograms and power spectrum of four call-types of male *Odorrana schmackeri*

a. 单音节音; b. 婴儿音; c, d. 双音节音; e, f. 多音节节奏音。左侧为语图, 右侧为能谱图; Ha1. 第一谐波; Ha2. 第二谐波。

a. Single-note call; b. 'Infant'-note call; c, d. Double-note call; e, f. Multi-note staccato call. Spectrograms on the left, power spectrum on the right; Ha1. 1st harmonic; Ha2. 2st harmonic.

时间小于 200.0 ms。

由单音节音得到的能谱图显示, 雄性花臭蛙鸣叫能量集中在 3 个谐波(图 2), 且谐波均未达到超声频率范围, 可见花臭蛙的鸣叫不包括超声组分。

2.2 声音参数分析

对雄性花臭蛙 3 种鸣叫类型(单音节音、双音节音、婴儿音)的声音进行统计分析, 结果表明鸣声平均持续时间为 57.1 ms, 平均主频为 3.1 kHz, 平均主频声强为 74.3 dB SPL。不同鸣声的主频范围 1.84 ~ 4.47 kHz, 最大值与

最小值之差达到 2.63 kHz。对 3 种声音参数的统计分析表明, 双音节音的音节持续时间明显大于单音节音和婴儿音并表现出显著性差异, 而双音节音的第二谐波声强明显大于单音节音并具有显著性差异(表 1)。

3 讨论

无尾两栖类雄体鸣声特征对于吸引交配对象以及雌雄个体的成功交配具有重要作用(Pröhl 2003)。野外观察发现花臭蛙的繁殖属于爆发式, 集中在 7 月中旬, 繁殖高峰期活动

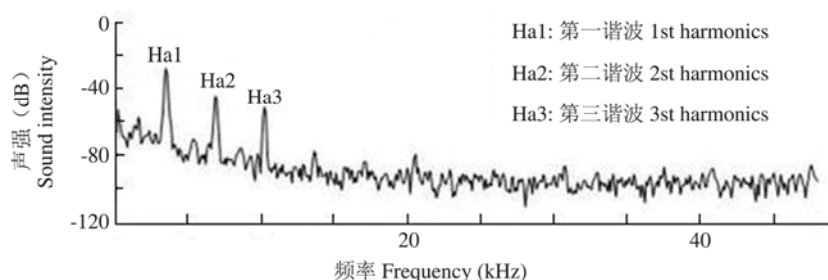


图 2 雄性花臭蛙鸣声能谱图

Fig. 2 Power spectrum of male *Odorrana schmackeri* callings

无昼夜规律, 全天均可见求偶鸣叫及抱对产卵等行为, 与前人描述有较大不同(费梁等 1990)。繁殖期降雨较少, 溪流出现大量浅滩, 推测有利于蛙卵的孵化以及避免被水流冲走(臭蛙属蝌蚪均不具有吸盘)(李丕鹏等 2006)。

研究发现, 夜间繁殖期的花臭蛙可以发出不同类型的鸣叫, 其中单音节音、双音节音和婴儿音较常见, 且 3 种声音类型的主频范围均在 3.0 kHz 左右(表 1)。Yu 等(2006)通过电生理实验测得花臭蛙的 2 个听觉敏感峰值分别为 2.0 kHz 和 3.5~4.0 kHz, 这与我们测得的花臭蛙求偶鸣声主频(1.8~4.5 kHz)相一致, 说明花臭蛙主要在这一频段进行种内通讯。统计结果表明, 单音节音与双音节音占总声音的比例均为 43%, 对 3 种声音类型的第一谐波声强与第二谐波声强作单因素方差分析发现, 双音节音不仅在第二谐波声强上明显大于单音节音并表现出显著性差异(表 1), 而且双音节音中有 68% 为第二谐波主频。因为花臭蛙将能量主要集中在双音节音的第二谐波, 因此根据 Bee 等(2001)对牛蛙(*Rana catesbeiana*)领域内雄蛙识别的研究结果, 推测双音节音可能主要用于花臭蛙的个体识别以及雌蛙选择。由于声音的持续时间是个体身体是否强壮的表现, 这在雌性配偶选择上具有重要作用(Gerhardt et al. 2002)。有研究证实, 雌性会优先选择鸣叫声音持续时间长的配偶(Sullivan et al. 1995)。由于花臭蛙的 3 种声音在持续时间上差异极显著,

其中, 双音节音持续时间最长, 达(99.5 ± 8.4) ms, 因此我们推测花臭蛙的双音节音是主要求偶鸣声, 而且花臭蛙和武夷湍蛙一样可能是通过鸣声时长的变化来体现自身品质的好坏(张方等 2013), 并以此吸引雌蛙以及完成种内通讯(Sullivan et al. 1995)。此外, 研究中发现花臭蛙也可以发出类似凹耳蛙的多音节断奏音(Feng et al. 2009), 在凹耳蛙研究中, 断奏音被认为具有警告靠近的雄蛙和向附近雌蛙提示自己存在的作用(Feng et al. 2009)。由于本次花臭蛙实验中, 只录得 2 声断奏音, 数据不足以用来分析说明问题, 故该声音的意义有待进一步研究。

花臭蛙与凹耳蛙都生活在噪音很大的溪流环境下, 张方等(2013)认为同域分布的凹耳蛙是采用较高频率的单一声脉冲发声方式, 以避免周围环境噪音的干扰完成个体识别和种内交流(Feng et al. 2006)。而花臭蛙的鸣叫不包含超声组分, 不具有超声通讯的基础, 因此有关花臭蛙在噪音环境下的通讯策略将是下一步的主要研究目标。

致谢 感谢美国伊利诺斯大学 Albert S. Feng 教授所提供的超声录音设备以及在野外工作和写作过程中给予的指导与帮助。

参 考 文 献

- Bee M A. 2004. Within-individual variation in bullfrog vocalizations: Implications for a vocally mediated social recognition system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6):

- 3770–3781.
- Bee M A, Gerhardt H C. 2001. Neighbour-stranger discrimination by territorial male bullfrogs (*Rana catesbeiana*): I. Acoustic basis. *Animal Behaviour*, 62(6): 1129–1140.
- Chen Q, Cui J G, Fang G Z, et al. 2011. Acoustic analysis of the advertisement calls of the music frog, *Babina daunchina*. *Journal of Herpetology*, 45(4): 406–416.
- Cui J G, Song X Y, Fang G Z, et al. 2011. Circadian rhythm of calling behavior in Emei Music Frog (*Babina daunchina*) is associated with habitat temperature and relative humidity. *Asian Herpetological Research*, 2(3): 149–154.
- Feng A S, Narins P M, Xu C H. 2002. Vocal acrobatics in a Chinese frog, *Amolops tormotus*. *Naturwissenschaften*, 89(8): 352–356.
- Feng A S, Narins P M, Xu C H, et al. 2006. Ultrasonic communication in frogs. *Nature*, 440(7082): 333–336.
- Feng A S, Riede T, Arch V S, et al. 2009. Diversity of the vocal signals of concave-eared torrent frogs (*Odorrana tormotus*): Evidence for individual signatures. *Ethology*, 115(11): 1015–1028.
- Gerhardt H C, Huber F. 2002. *Acoustic Communication in Insects and Anurans: Common Problems and Diverse Solutions*. Chicago, Illinois: University of Chicago Press.
- Gerhardt H C, Klump G M. 1988. Masking of acoustic signals by the chorus background noise in the green tree frog: a limitation on mate choice. *Animal Behaviour*, 36(4): 1247–1249.
- Heyer W R, Barrio-Amorós C L. 2009. The advertisement calls of two sympatric frogs, *Leptodactylus lithonaetes* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) and *Pristimantis vilarsi* (Amphibia: Anura: Strabomantidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 122(3): 282–291.
- Lingnau R, Bastos R P. 2007. Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. *Journal of Natural History*, 41(17/20): 1227–1235.
- Marler P, Peters S. 1977. Selective vocal learning in a sparrow. *Science*, 198(4316): 519–521.
- Narins P M, Feng A S, Fay R R, et al. 2006. *Hearing and Sound Communication in Amphibians*. New York: Springer.
- Nunes I, Sampaio R S, Juncá F A. 2007. Advertisement calls of four Hylid frogs from the state of Bahia, Northeastern Brazil (Amphibia, Anura, Hylidae). *South American Journal of Herpetology*, 2(2): 89–96.
- Pröhl H. 2003. Variation in male calling behaviour and relation to male mating success in the strawberry poison frog (*Dendrobates pumilio*). *Ethology*, 109(4): 273–290.
- Ryan M J, Rand A S. 1993. Species recognition and sexual selection as a unitary problem in animal communication. *Evolution*, 47(2): 647–657.
- Sullivan B K, Ryan M J, Verrell P A. 1995. Female choice and mating system structure // Heatwole H, Sullivan B K. *Amphibian Biology: Vol. 2*. NSW, Australia: Surrey Beaty & Sons, 469–517.
- Yu B G, Zheng R Q. 2009. The advertisement call of the giant spiny frog *Paa spinosa*. *Current Zoology*, 55(6): 411–415.
- Yu Z L, Qiu Q, Xu Z M, et al. 2006. Auditory response characteristics of the piebald odorous frog and their implications. *Journal of Comparative Psychology A*, 192(8): 801–806.
- 陈寒嫣, 张亢亢, 张琳, 等. 2014. 白腹管鼻蝠成体交流声波多样性. *动物学杂志*, 49(1): 13–23.
- 费梁. 1999. *中国两栖动物图鉴*. 郑州: 河南科学技术出版社, 198–200.
- 费梁, 叶昌媛, 黄永昭. 1990. *中国两栖动物检索*. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1–364.
- 李丕鹏, 陆宇燕, 吕顺清. 2006. 凹耳蛙的分类地位及蛙亚科一新属. *四川动物*, 25(2): 206–211.
- 韦力, 邵伟伟, 林植华. 2013. 饰纹姬蛙求偶鸣声特征分析. *动物学研究*, 34(1): 14–20.
- 张方, 陈潘, 赵书仪. 2013. 同一噪音环境下武夷湍蛙与凹耳蛙的求偶鸣声特征比较及其适应策略. *动物学研究*, 34(3): 196–203.