

圆蟾舌蛙鸣声特征分析

汪继超^① 王同亮^① 王培培^① 崔建国^{②*}

① 海南师范大学生命科学院, 热带动植物生态学省部共建教育部重点实验室 海口 571158;

② 中国科学院成都生物研究所 成都 610041

摘要: 为研究体型较小的蛙类的鸣声特征, 2012年7~8月, 采用录音机和指向性话筒, 在野外录制51只雄性圆蟾舌蛙 (*Phrynoglossus martensii*) 鸣声并对应测量了录音个体的体重、体长及头宽等体征数据。雄性圆蟾舌蛙的体重为 (1.26 ± 0.55) g, 体长为 (21.04 ± 2.57) mm, 头宽为 (6.76 ± 0.75) mm。该种蛙可发出广告鸣声和争斗鸣声。广告鸣声为单音节鸣叫, 主频 $(3\ 782.25 \pm 167.78)$ Hz, $3\ 100 \sim 4\ 349$ Hz; 基频 $(1\ 519.69 \pm 70.60)$ Hz, $1\ 057 \sim 1\ 765$ Hz。广告鸣声主频和基频均与体重、体长、头宽呈显著负相关, 而音节间隔与体重和头宽呈正相关 (相关性分析)。争斗鸣声主频 $(3\ 752.64 \pm 174.47)$ Hz, $(3\ 304 \sim 4\ 081)$ Hz; 基频 $(1\ 674.88 \pm 79.88)$ Hz, $1\ 367 \sim 1\ 870$ Hz。与广告鸣声相比, 争斗鸣声的基频显著增高 ($t = -5.374$, $df = 56$, $P < 0.001$), 音节时长和音节间隔显著降低 ($P < 0.05$), 而主频在两种鸣声类型中无显著差异 ($t = 0.436$, $df = 56$, $P = 0.665$) (独立样本 T 检验)。结果表明, 作为体型较小的蛙类, 体型影响了圆蟾舌蛙的鸣声结构和类型。

关键词: 圆蟾舌蛙; 鸣声; 主频; 基频; 形态学特征

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 02-214-07

Calls Characteristics in Round-tongued Floating *Phrynoglossus martensii*

WANG Ji-Chao^① WANG Tong-Liang^① WANG Pei-Pei^① CUI Jian-Guo^{②*}

① Ministry of Education Key Laboratory for Tropical Animal and Plant Ecology, College of Life Sciences, Hainan Normal University,

Haikou 571158; ② Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: We recorded the calls from 55 males of round-tongued floating (*Phrynoglossus martensii*), whose body size is small by directional microphone connected to a digital audio recorder from July to August in 2012. We analyze the relationship between call structure and body size, snout-vent length, and head width. The average body size, snout-vent length, and head width of the 55 samples was 1.26 ± 0.55 g, 21.04 ± 2.57 mm, and 6.76 ± 0.75 mm, respectively. Male frog produced two kind of call, named advertisement call and aggressive call. The advertisement call consists with a single note, dominant and fundamental frequencies at $3\ 782.25 \pm 167.78$ Hz (range $3\ 100 - 4\ 349$ Hz) and $1\ 519.69 \pm 70.60$ Hz (range $1\ 057 - 1\ 765$ Hz), respectively (Table 1). Remarkably, both the dominant and fundamental frequencies of the advertisement call

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31260518) 和海南省教育厅项目 (No.00501023523);

* 通讯作者, E-mail: cuijcn@gmail.com;

第一作者介绍 汪继超, 男, 教授; 研究方向: 两栖爬行动物学; E-mail: jichao-wang@263.net。

收稿日期: 2015-06-25, 修回日期: 2015-10-28 DOI: 10.13859/j.cjz.201602007

were negatively correlated with body size and snout-vent length, whereas the inter-note intervals were positively correlated with body size and head (Correlation analysis, Fig. 2 - 4). The dominant and fundamental frequencies of the aggressive call were $3\,752.64 \pm 174.47$ Hz (range 3 304 - 4 081 Hz) and $1\,674.88 \pm 79.88$ Hz (range 1 367 - 1 870 Hz, respectively, Table 1). Compared with the advertisement call, the aggressive call had much higher fundamental frequency ($t = -5.374$, $df = 56$, $P < 0.001$) and lower note duration and inter-note interval ($P < 0.05$) (Independent-samples *T* test); while no any difference was found in the dominant frequencies between the two kinds of calls. As a small frog, the individual body size variations did not produce influence on their call structure and type.

Key word: Round-tongued floating *Phrynoglossus martensii*; Calls; Dominant frequency; Fundamental frequency; Morphological indexes

声音通讯是无尾两栖类信息交流的有效方式 (Gerhardt et al. 2002, Narins et al. 2006)。雄蛙通过鸣声实现对领地的占领、炫耀等竞争过程 (Davies et al. 1978, Cui et al. 2012)。繁殖期间, 雄蛙发出特别的鸣声吸引雌蛙抱对 (Ryan 1980, Sullivan 1983, Murphy et al. 1996)。因此, 鸣声在蛙类生存、繁殖等生活史过程中起重要作用。此外, 无尾两栖类的鸣声因具有物种特异性, 还常被作为分类鉴定的依据 (Narins 1983)。

体型可影响无尾两栖类的鸣声特征, 通常个体越大 (体重或体长), 鸣声频率越低, 鸣声时长越长, 脉冲率越高, 在雄性竞争及繁殖中处于有利地位 (Tárano 2001)。研究发现, 大泛树蛙 (*Rhacophorus dennysi*) 鸣声主频率在 $1\,090.3 \sim 1\,521.3$ Hz 之间, 且与体重呈负相关 (Wang et al. 2012)。在对产婆蛙 (*Alytes obstetricans*) 和西班牙产婆蟾 (*A. cisternasii*) (Márquez 1995) 及无斑雨蛙 (*Hyla arborea*) (de Orense et al. 1990) 的研究中均得到相似的结果。以上研究集中在体型相对较大的蛙类中, 而体型较小的蛙类鸣声特征与体型的报道相对较少 (徐俊晓等 2005, 韦力等 2013)。

圆蟾舌蛙 (*Phrynoglossus martensii*) 隶属于浮蛙科 (Occidozygidae) 蟾舌蛙属, 该物种体型小, 体长 $20 \sim 30$ mm (费梁等 2012)。本研究在野外录制圆蟾舌蛙鸣声并对应测量了录音个体的体重、体长及头宽等形态学指标, 分

析了该物种的鸣声特征与形态学指标的关系, 以期揭示小体型蛙类鸣声特征及其与形态学指标的关系。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2012年7~8月, 在海南省定安县黄竹镇 ($19^{\circ}28'57''$ N, $110^{\circ}24'49''$ E) 录制 51 只雄性成体圆蟾舌蛙的鸣声。录音期间, 环境温度 (27.40 ± 0.44) $^{\circ}$ C, 湿度 $81.40\% \pm 1.90\%$, 噪音 (59.51 ± 1.94) dB。每只蛙取 6 个鸣声。

1.2 实验方法

野外研究期间, 每天 20:00 ~ 24:00 时选择圆蟾舌蛙栖息的稻田边、路边、山间洼地沼泽区采用录音机 (MARANTZ-PMD661, 日本马兰士公司) 和指向性话筒 (SENNHEISER-K6, 德国森海塞尔公司) 进行录音, 话筒距离蛙体约 1 m。录音时采用单声道模式 (mono), 文件以 wav 格式保存。每只个体录音结束后, 采用电子天平 [SI234, 丹佛仪器 (北京) 有限公司, 精度 0.1 mg] 称量体重, 采用数显游标卡尺 (10810206, 广州百威狮工具有限公司, 精度 0.01 mm) 测量体长 (snout-vent length, SVL, 吻端至泄殖腔孔的长度) 和头宽 (head width, HW, 头两侧之间的最大距离)。

2 数据分析

数据采用 SPSS19.0 软件 (SPSS Inc,

Chicago, IL, USA) 进行统计分析。所有数据在统计分析前, 经正态分布 (Kolmogorov-Smirnov test) 和方差齐性检验 (Levene tests)。采用 Praat 声音分析软件和 Adobe Audition 3.0 声音分析软件对鸣声的主频、基频、音节时长、音节间隔等特征进行分析。采用相关性分析 (Pearson correlation analysis) 对鸣声参数与形态学指标进行数据处理。每只蛙随机取 6 个广告鸣声, 计算主频、基频、音节时长、音节间隔的平均值作为该个体的广告鸣声特征数据, 然后对所有个体的鸣声特征数据和体征数据进行相关性分析。录音期间发现 8 只个体偶尔发出短暂且急促的鸣声, 且在其附近均能发现 1 只或几只雄性圆蟾舌蛙, 我们将这种可能用于领地占领、炫耀等竞争过程的鸣声称为争斗鸣声。广告鸣声与争斗鸣声的鸣声特征采用独立样本 *T* 检验分析。数据均以平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著 (双尾检验)。

3 结果

3.1 圆蟾舌蛙的鸣声类型

本研究所录制的声音均取自 51 只成年雄性圆蟾舌蛙, 体重 (1.26 ± 0.55) g, 体长 (21.04 ± 2.57) mm, 头宽 (6.76 ± 0.75) mm。

繁殖期圆蟾舌蛙主要发出广告鸣声和争斗鸣声。与广告鸣声相比, 争斗鸣声的基频显著升高 ($t = -5.374$, $df = 56$, $P < 0.001$), 音节

时长和音节间隔显著缩短 ($P < 0.001$), 而主频在广告鸣声和争斗鸣声中差异不显著 ($t = 0.436$, $df = 56$, $P = 0.665$) (表 1)。

3.2 圆蟾舌蛙的鸣声波形图和语图

圆蟾舌蛙的广告鸣声均为单音节 (图 1a)。争斗鸣声短暂且急促 (图 1b)。圆蟾舌蛙广告鸣声和争斗鸣声的语图分别见图 1c 和图 1d。

3.3 广告鸣声与体征的相关性

圆蟾舌蛙的体重与其广告鸣声的主频 (图 2a) 和基频 (图 2b) 均呈极显著负相关性 ($P < 0.001$), 与音节时长 (图 2c) 无相关性 ($P = 0.989$), 但与音节间隔 (图 2d) 呈显著正相关性 ($P = 0.032$)。

圆蟾舌蛙体长与其广告鸣声的主频 (图 3a) 和基频 (图 3b) 均呈显著负相关 ($P < 0.001$)。音节时长 (图 3c) ($P = 0.630$) 和音节间隔 (图 3d) ($P = 0.101$) 与体长间无显著相关性。

圆蟾舌蛙头宽与其广告鸣声主频 (图 4a) 和基频 (图 4b) 均呈显著负相关性 ($P < 0.001$), 与音节时长 (图 4c) 间无显著相关性 ($P = 0.724$), 与音节间隔 (图 4d) 呈显著正相关性 ($P = 0.041$)。

4 讨论

4.1 圆蟾舌蛙鸣声特点

圆蟾舌蛙广告鸣声属于单音节鸣叫, 本研究中取样的 51 只雄性圆蟾舌蛙个体均能发出单音节的广告鸣声。对广告鸣声进行分析时发现, 除少数鸣声主频在 3.6 kHz ($n = 5$) 以下或

表 1 广告鸣声和争斗鸣声的声音特征

Table 1 The character of advertisement calls and aggressive calls made by round-tongued floating

	主频 (Hz) Dominant frequency	基频 (Hz) Fundamental frequency	音节时长 (ms) Note duration	音节间隔 (ms) Inter-note interval
广告鸣声 Advertisement calls	3 782.25 \pm 167.78	1 519.69 \pm 70.60*	51.92 \pm 3.39*	2 101.98 \pm 395.07*
争斗鸣声 Aggressive calls	3 752.64 \pm 174.47	1 674.88 \pm 79.88*	47.36 \pm 0.64*	89.05 \pm 10.19*

数据以平均值 \pm 标准差表示, 同列数据相比, * 表示差异极显著 ($P < 0.001$)。

Data are expressed as Mean \pm SD, Compared with column data, * indicate significant difference ($P < 0.001$).

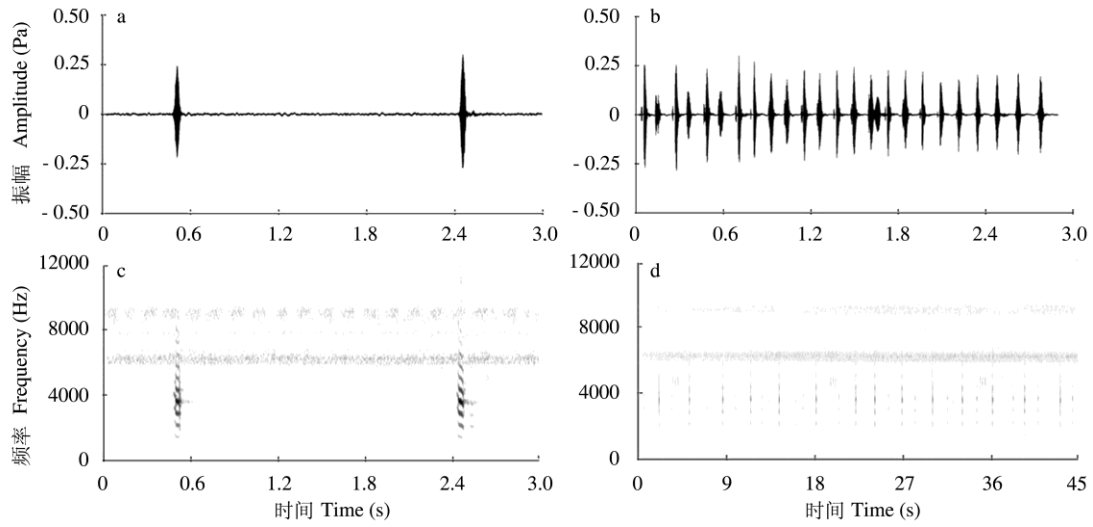


图 1 圆蟾舌蛙鸣声

Fig. 1 The calls in round-tongued floating

a. 广告鸣声波形图; b. 争斗鸣声波形图; c. 广告鸣声语图; d. 争斗鸣声语图。

a. The waveform of advertisement call; b. The waveform of aggressive call; c. The sonogram of advertisement call; d. The sonogram of aggressive call.

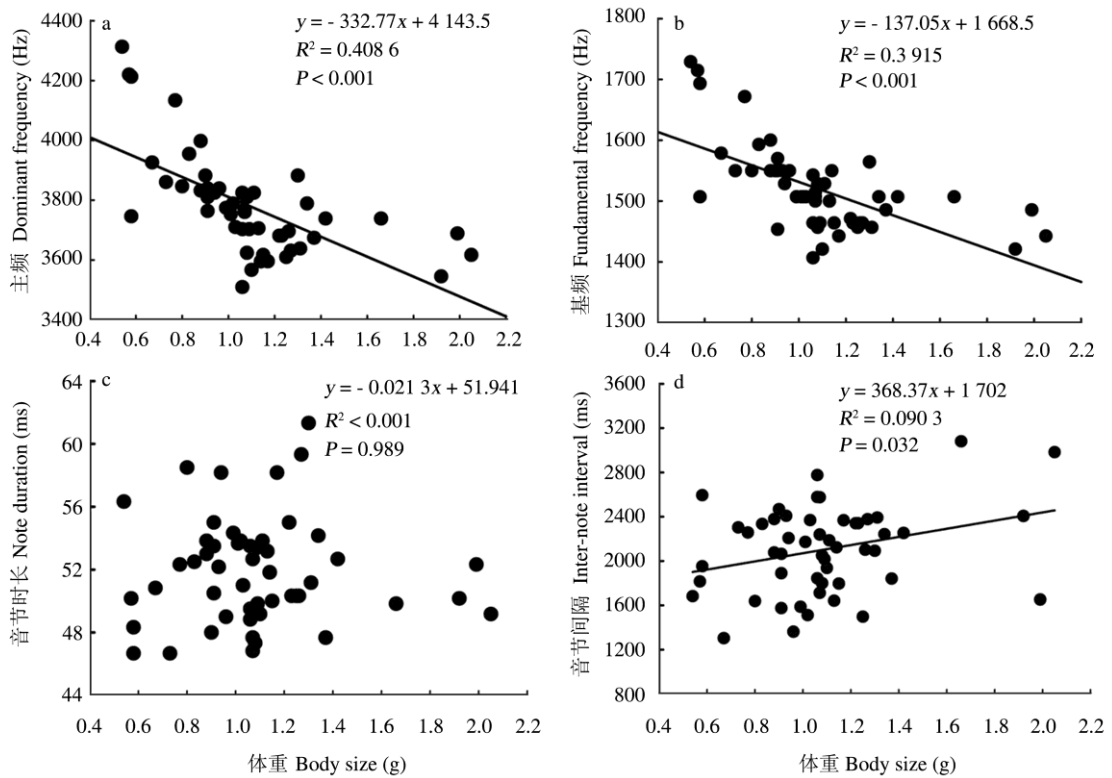


图 2 圆蟾舌蛙体重与广告鸣声的关系

Fig. 2 The relationship between body size and advertisement call of round-tongued floating

a. 主频; b. 基频; c. 音节时长; d. 音节间隔。 a. Dominant frequency; b. Fundamental frequency; c. Note duration; d. Inter-note interval.

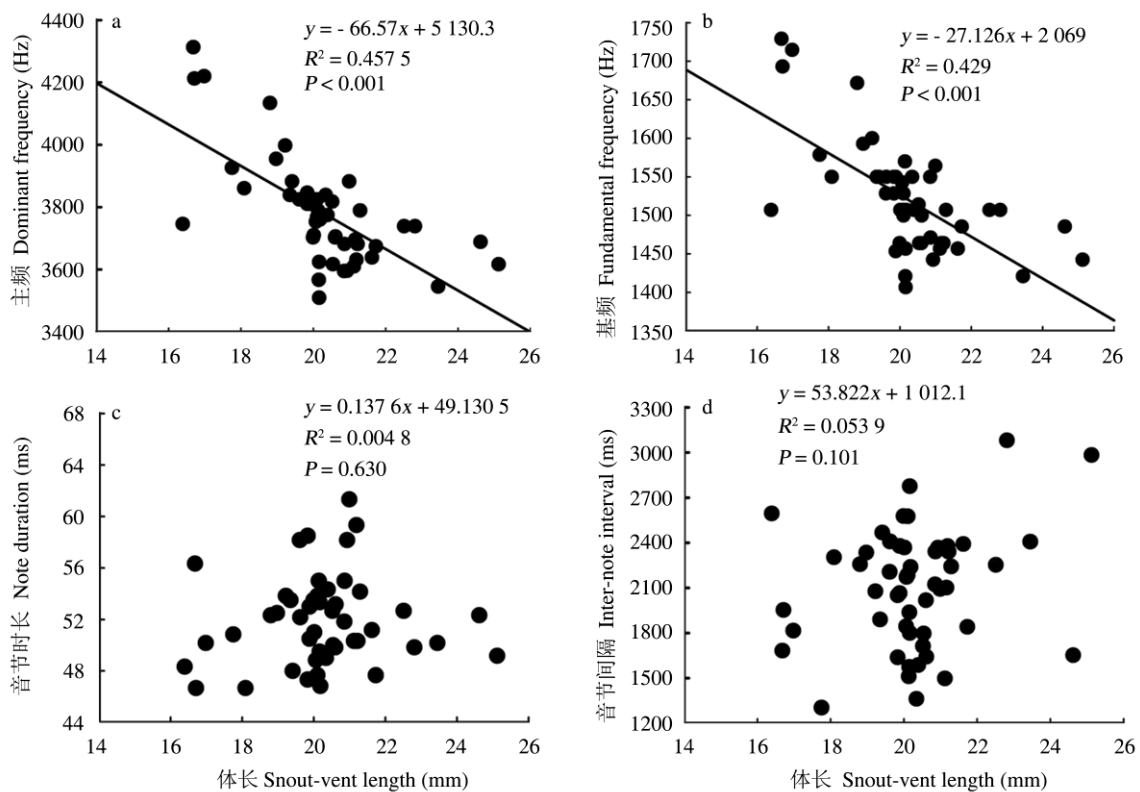


图 3 圆蟾舌蛙体长与广告鸣声的关系

Fig. 3 The relationship between snout-vent length and advertisement call of round-tongued floating

a. 主频; b. 基频; c. 音节时长; d. 音节间隔。a. Dominant frequency; b. Fundamental frequency; c. Note duration; d. Inter-note interval.

4 kHz ($n = 4$) 以上, 多数鸣声的主频为 3.6 ~ 3.9 kHz ($n = 42$), 这可能与物种具有单个咽下声囊有关。韦力等 (2013) 对饰纹姬蛙 (*Microhyla ornata*) 鸣声特点的研究也得出了相似结论。

无尾两栖类雄性鸣声是雄性间相互竞争, 实现对资源占有的有效方式 (Davies et al. 1978, Pröhl 2003)。在取样的所有个体中发现 8 只个体偶尔发出短暂且急促的鸣声, 且在其附近均能发现 1 只或几只雄性圆蟾舌蛙, 我们将这种可能用于领地占领、炫耀等竞争过程的鸣声称为争斗鸣声。与广告鸣声相比, 争斗鸣声的基频显著提高, 音节时长和音节间隔显著降低, 且主频无显著性差异。因此, 雄性圆蟾舌蛙可能主要通过提高鸣声频率和基频的策略, 进行雄雄间的竞争。

4.2 圆蟾舌蛙广告鸣声与体重、体长、头宽等形态学指标间的关系

无尾两栖类的鸣声能表达个体的性成熟度、位置和体型等信息, 而体型大的雄性通常发出频率低、持续久的鸣声 (Welch et al. 1998, Narins et al. 2006)。对蛙类而言, 个体的体型与其鸣声的主基频通常呈负相关关系 (Ramer et al. 1983, Keddy-Hector et al. 1992)。本研究中, 圆蟾舌蛙广告鸣声的主频和基频均与体重和体长呈显著负相关, 即体型越小, 主频和基频越高, 这与 Wang 等 (2012) 对大泛树蛙及赵帅 (2012) 对东北雨蛙 (*Hyla japonica*) 鸣声特征的研究结果一致。然而, 蛙类的体重、体长、头宽等生物因素并不总是与鸣声特征存在相关性, 陈平等 (2012) 发现棘胸蛙 (*Paa*

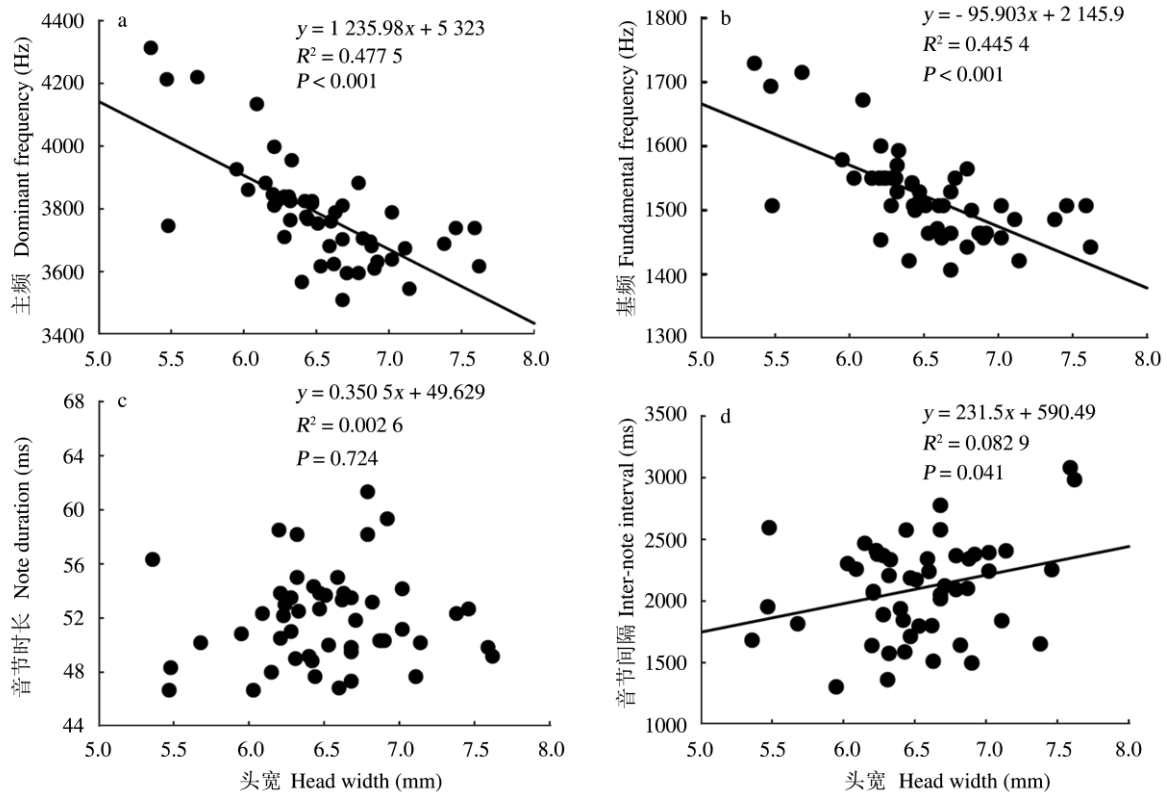


图 4 圆蟾舌蛙头宽与广告鸣声的关系

Fig. 4 The relationship between head width and advertisement call of round-tongued floating

a. 主频; b. 基频; c. 音节时长; d. 音节间隔。a. Dominant frequency; b. Fundamental frequency; c. Note duration; d. Inter-note interval.

spinosa) 求偶鸣声特征受环境温度的影响, 而与体型无关。因此, 蛙类鸣声特征可能受生物因素和非生物因素的影响 (Wong et al. 2004, Cui et al. 2011, Wang et al. 2012)。此外, 有研究表明, 鹤科的鸟类在种间水平上体重与鸣声主频存在显著的负相关 (侯雨辰等 2015), 而鸚科灰眉岩鸚 (*Emberiza godlewskii*) 的体重、喙长与鸣声特征无相关性 (鲁思凡等 2014)。由于同一科属蛙类的鸣声数据不足, 有关同一科属蛙类的鸣声种间水平上鸣声属性与形态学特征的关系尚需进一步研究。

致谢 在数据处理过程中得到中国科学院成都生物研究所硕士研究生朱弼成及海南师范大学硕士研究生龙再忠的帮助, 在图形制作过程中得到海南师范大学硕士研究生龙再忠、孙志新的帮助, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- Cui J G, Song X Y, Fang G Z, et al. 2011. Circadian rhythm of calling behavior in the Emei music frog (*Babina daunchina*) is associated with habitat temperature and relative humidity. *Asian Herpetological Research*, 2(3): 149–154.
- Cui J G, Tang Y Z, Narins P M. 2012. Real estate ads in Emei music frog vocalizations: female preference for calls emanating from burrows. *Biology Letters*, 8(3): 337–340.
- Davies N B, Halliday T R. 1978. Deep croaks and fighting assessment in toads *Bufo bufo*. *Nature*, 274(5672): 683–685.
- de Orense R M, Tejedo-Madueño M. 1990. Size-based mating pattern in the tree frog *Hyla arborea*. *Herpetologica*, 46(2): 176–182.
- Gerhardt H C, Huber F. 2002. *Acoustic Communication in Insects and Anurans: Common Problems and Diverse Solutions*. 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press.

- Keddy-Hector A C, Wilczynski W, Ryan M J. 1992. Call patterns and basilar papilla tuning in cricket frogs. II. Intrapopulation variation and allometry. *Brain, Behavior and Evolution*, 39(4): 238–246.
- Márquez R. 1995. Female choice in the midwife toads (*Alytes obstetricans* and *A. cisternasii*). *Behaviour*, 132(1): 151–161.
- Murphy C G, Gerhardt C H. 1996. Evaluating the design of mate-choice experiments: the effect of amplexus on mate choice by female barking treefrogs, *Hyla gratiosa*. *Animal Behaviour*, 51(4): 881–890.
- Narins P M. 1983. Divergence of acoustic communication systems of two sibling species of eleutherodactylid frogs. *Copeia*, 1983(4): 1089–1090.
- Narins P M, Feng A S, Fay R R. 2006. *Hearing and Sound Communication in Amphibians*. New York: Springer Verlag.
- Prchl 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.
- Ramer J D, Jenssen T A, Hurst C J. 1983. Size-related variation in the advertisement call of *Rana clamitans* (Anura: Ranidae), and its effect on conspecific males. *Copeia*, 1983(1): 141–155.
- Ryan M J. 1980. Female mate choice in a neotropical frog. *Science*, 209(4455): 523–525.
- Sullivan B K. 1983. Sexual selection in Woodhouse's toad (*Bufo woodhousei*). II. Female choice. *Animal Behaviour*, 31(4): 1011–1017.
- Táranó Z. 2001. Variation in male advertisement calls in the Neotropical frog *Physalaemus enesefae*. *Copeia*, 2001(4): 1064–1072.
- Wang J C, Cui J G, Shi H T, et al. 2012. Effects of body size and environmental factors on the acoustic structure and temporal rhythm of calls in *Rhacophorus dennysi*. *Asian Herpetological Research*, 3(3): 205–212.
- Welch A M, Semlitsch R D, Gerhardt H C. 1998. Call duration as an indicator of genetic quality in male gray tree frogs. *Science*, 280(5371): 1928–1930.
- Wong B B M, Cowling A N N, Cunningham R B, et al. 2004. Do temperature and social environment interact to affect call rate in frogs (*Crinia signifera*)? *Austral Ecology*, 29(2): 209–214.
- 陈平, 郑荣泉, 黄华, 等. 2012. 棘胸蛙求偶鸣声与温度有关但与体大小无关. *四川动物*, 31(4): 513–517.
- 费梁, 叶昌媛, 江建平. 2012. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴. 成都: 四川科学技术出版社.
- 侯雨辰, 丁楠, 夏灿玮. 2015. 鹤科鸟类鸣声特征的演化. *动物学杂志*, 50(1): 31–40.
- 鲁思凡, 刘金, 夏灿玮. 2014. 体征对灰眉岩鹑鸣唱频率特征的影响. *动物学杂志*, 49(3): 334–340.
- 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.
- 徐俊晓, 谢锋, 江建平, 等. 2005. 我国 12 种无尾类的鸣叫特征参数. *动物学杂志*, 40(3): 12–19.
- 赵帅. 2012. 东北雨蛙 (*Hyla ussuriensis*) 繁殖期鸣声特征及影响因素研究. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学硕士学位论文.