

## 华南菊头蝠的回声定位声波特征与分析

郭伟健<sup>1</sup>, 王晓云<sup>1</sup>, 张秋萍<sup>1</sup>, 李锋<sup>1</sup>, 陈柏承<sup>1</sup>, 吴毅<sup>1</sup>, 余文华<sup>1\*</sup>, 李玉春<sup>2\*</sup>

(1. 广州大学生命科学学院, 华南生物多样性保护与利用重点实验室, 广州 510006;

2. 山东大学(威海)海洋学院, 山东威海 264209)

**摘要:** 使用 Petterson D500X 超声波接收仪对华南菊头蝠 *Rhinolophus huananus* 飞行和静止状态的回声定位声波进行录制, 利用独立样本 *t* 检验对 2 种状态的回声定位声波参数进行分析。结果显示, 华南菊头蝠的回声定位声波类型为 FM-CF-FM 型, 有 1~2 个谐波, 不同状态下的峰频、声脉冲时间、声脉冲间隔时间差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。与相似种大耳菊头蝠 *R. macrotis* 比较, 二者在飞行状态下的回声定位声波峰频存在差异, 可作为区分 2 个种之间的声学依据。

**关键词:** 翼手目(蝙蝠); 华南菊头蝠; 回声定位声波

**中图分类号:** Q959.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7083(2016)01-0070-04

### Characteristics and Analysis of Echolocation Calls in *Rhinolophus huananus*

GUO Weijian<sup>1</sup>, WANG Xiaoyun<sup>1</sup>, ZHANG Qiuping<sup>1</sup>, LI Feng<sup>1</sup>, CHEN Bocheng<sup>1</sup>,

WU Yi<sup>1</sup>, YU Wenhua<sup>1\*</sup>, LI Yuchun<sup>2\*</sup>

(1. Key Laboratory of Conservation and Application in Biodiversity of South China, School of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. Marine College, Shandong University (Weihai), Weihai, Shandong Province 264209, China)

**Abstract:** Using Petterson D500X ultrasound recorder, echolocation calls of *Rhinolophus huananus* at flying and resting status were recorded respectively. The records showed that echolocation calls of *R. huananus* was FM-CF-FM type with 1-2 harmonics. Based on the results of *t*-test, the peaking frequency, pulse duration and inter-pulse interval were significantly different between flying and resting statuses. Furthermore, peaking frequency of *R. huananus* and *R. macrotis* at flying status were different, and they could be a good acoustical indicator to distinguish the two species.

**Key words:** Chiroptera (bats); *Rhinolophus huananus*; echolocation calls

复杂且高度进化的回声定位是动物行为学中重要的发现之一。具有回声定位能力的蝙蝠通过对自身发射的声波回声进行分析, 可建立周围环境的声音“图像”以感知外界环境(Hill & Smith, 1984)。回声定位声波的特征与生物体的形态结构、生态习性 & 行为状态均有联系, 如: 发声器官(鼻叶、舌头或喉部)和接收器官(耳廓、内耳、中耳或听小骨)的特征(冯江, 2001; 姚倩等, 2007; 廖阳, 闫荣玲, 2011)、捕食策略(Britton & Jones, 1999; 张喜臣, 2006)、生境状况(Wund, 2006; Jung *et al.*, 2007; Zhu *et al.*, 2008; 李艳丽, 2013)、个体识别和种群内部交流(Jones, 2008)、母婴识别(吴磊, 2006; Ruczynski *et al.*, 2007)、行为状态(Burnett *et al.*, 2001; 陈敏, 赵辉华, 2002; 陈敏, 2003; 刘颖等, 2004)等。

菊头蝠属 *Rhinolophus* 隶属于翼手目 Chiroptera 菊头蝠科 Rhinolophidae, 是翼手目中的第二大属(Simmons, 2005)。其形态各异的鼻叶与耳部结构均与其发出的回声定位声波有关, 且不同种的回声定位声波具有种间差异性以及种内稳定性, 因此, 也常作为野外种类识别和鉴定的重要依据之一(冯江等, 2002)。

华南菊头蝠 *Rhinolophus huananus* 为 2008 年发现的新种(Wu *et al.*, 2008), 与大耳菊头蝠 *R. macrotis* 十分相似, 在鉴别这 2 个物种时存在一定的困难。本研究结合在广东、云南、江西等地获取的大耳菊头蝠种群回声定位声波数据, 以及 Sun 等(2008)在云南和广西获得的大耳菊头蝠种群在飞行状态下的回声定位声波结果, 对 2 种菊头蝠的体型和峰频等特

**收稿日期:** 2015-03-30 **接受日期:** 2015-07-24 **基金项目:** 国家自然科学基金国际合作重大项目(31110103910); 国家科技基础性工作专项项目(2013FY111500); 国家自然科学基金青年基金项目(31300314); 广州市属高校科技计划项目青年项目(1201430683)

**作者简介:** 郭伟健(1992—), 男, 硕士研究生, 动物学专业, 主要研究方向: 动物资源保护与利用, E-mail: gdfsgwj2015@126.com

\* 通信作者 Corresponding author, E-mail: wenhua\_yu@gzhu.edu.cn; li\_yuchun@foxmail.com

征进行比较,为鉴定和区分上述 2 个物种提供声学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集、体型测量与声波录制

2015 年 1 月于广东省封开县河儿口镇千层峰石碑旁无名洞内(23°30.114' N,111°47.098' E,海拔 112 m)采集到雄性华南菊头蝠 1 只。2013—2014 年于广东、江西和云南三省捕捉到大耳菊头蝠共 20 只(14 ♂♂,6 ♀♀),将捕捉到的蝙蝠于室内放飞(4 m×5 m×3 m),待其适应环境后开始录音。采用 Pettersson D500X(瑞典)超声波接收器录制了飞行和静止 2 种状态下蝙蝠的回声定位声波(采样频率 500 kHz)。其中,室内飞行时的声波是指蝙蝠在室内飞行时飞至距录音仪 50~100 cm 处录制的声音;静止状态时的声波是指蝙蝠在室内静止时将录音仪慢慢靠近其 30~40 cm 处录制的声音。使用数显游标卡尺(精度 0.01 mm,成都成量工具集团有限公司)对其头体长(head and body length, HB)、尾长(tail length, TL)、耳长(ear length, E)、后足长(hind-foot length, HF)、前臂长(forearm length, FA)、胫骨长(tibia length, TIB)进行测量。使用 TANITA 电子天平(精度 0.1 g)对其体质量进行称量。

### 1.2 回声定位声波分析

采用 Batsound 4.14 软件(Pettersson Elektronik AB, Sweden)分析回声定位声波,绘制声谱图(频率-时间图)和能量谱图(声强-频率图)。能量谱图(哈明窗分析)分析精度为 512 波段,能量谱图分析的 FFT 点数为 1024,分析衰减 60 dB。声波参数选择峰频(peaking frequency, PF, kHz)、声脉冲时间(pulse duration, PD, ms)、声脉冲间隔时间(inter-pulse interval, PI, ms)、前端 FM 带宽(frequency range of initial FM, IFM, kHz)和后端 FM 带宽(frequency range of terminal FM, TFM, kHz)。SPSS 19.0 统计软件(Norusis, 2012)计算回声定位声波的平均值和标准

差( $\bar{x} \pm SD$ ),并利用独立样本  $t$  检验对不同状态下回声定位声波参数进行统计分析。

## 2 结果

### 2.1 不同状态下的回声定位声波比较

飞行和静止状态下,华南菊头蝠回声定位声波类型均为 FM-CF-FM(调频-恒频-调频)型(图 1),谐波数量多为 1 个,静止时偶见 2 个谐波,若有 2 个谐波,能量主要集中于第 2 谐波,每次发声多为 1 个脉冲。飞行状态下发射的单脉冲除上调带宽高于静止状态之外,其余参数均低于静止状态下相应参数的值,其中峰频和声脉冲间隔时间的差异有高度统计学意义( $P < 0.01$ ),声脉冲时间差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),前端 FM 带宽和后端 FM 带宽差异无统计学意义(表 1)。

### 2.2 与大耳菊头蝠飞行状态下回声定位声波比较

华南菊头蝠在飞行状态下,与本研究来自广东、江西、云南的大耳菊头蝠种群相比,其峰频略高;与 Sun 等(2008)来自云南的大耳菊头蝠种群数据相比,其峰频较高,而与广西隐藏种种群的峰频差异不大(表 2)。

## 3 讨论

### 3.1 华南菊头蝠在 2 种状态下回声定位声波的差异

华南菊头蝠飞行状态与静止状态下的峰频差异有统计学意义,飞行状态的峰频比静止状态下的低约 0.7 kHz,这可能源于多普勒补偿效应(Fenton, 2001),大部分恒频类型的蝙蝠在飞行过程中,在快速接近前方物体的时候,回声信号会由于距离缩短导致主频上升,因此飞行中的蝙蝠为了听到回声的频率在其听觉最为敏感的频率范围,会主动将发出的声音频率降低(马杰等, 2002)。该现象已在部分恒频蝙蝠(如中华菊头蝠 *R. sinicus* 和马铁菊头蝠 *R. ferrumequinum*)中发现(Schnitzler, 1968;冯江等, 2000;孙克萍等, 2006;李艳丽, 2013)。

对于回声定位声波时间变量而言,华南菊头蝠

表 1 华南菊头蝠在飞行和静止状态下的回声定位声波的比较  
Table 1 Comparison of echolocation calls of *Rhinolophus huananus* at flying and resting status

	峰频 PF/kHz	声脉冲时间 PD/ms	声脉冲间隔时间 PI/ms	前端 FM 带宽 IFM/kHz	后端 FM 带宽 TFM/kHz
飞行状态 Flying status( $n = 23$ )	67.55 ± 0.29	28.72 ± 5.02	33.86 ± 8.00	8.83 ± 0.78	10.83 ± 1.19
静止状态 Resting status( $n = 17$ )	68.25 ± 0.19	32.89 ± 6.81	43.13 ± 7.25	8.53 ± 0.72	11.35 ± 1.60
$t$	-8.628	-2.230	-3.766	1.232	-1.187
$P$	<0.001**	0.032*	0.001**	0.226 <sup>NS</sup>	0.243 <sup>NS</sup>

注:  $n$  为分析的脉冲数; \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , <sup>NS</sup>  $P > 0.05$ 。

Notes:  $n$  means the number of pulse analyzed; \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , <sup>NS</sup>  $P > 0.05$ .

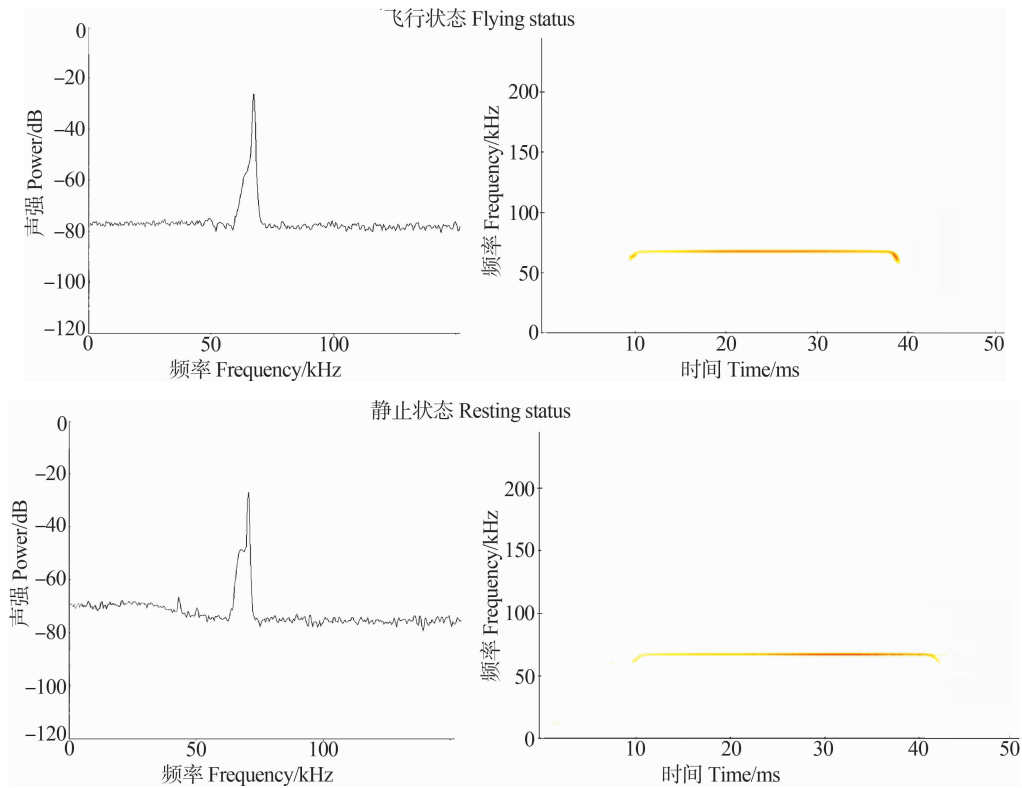


图 1 华南菊头蝠不同行为状态下能量谱图和声谱图  
Fig. 1 Power spectrums and sound spectrograms of *Rhinolophus huananus* at flying and resting status

表 2 华南菊头蝠与大耳菊头蝠的体型及飞行状态下的回声定位声波 (长度单位: mm; 体质量单位: g)  
Table 2 List of external measurements and echolocation calls (flying status) of *Rhinolophus huananus* and *Rhinolophus macrotis* (length unit: mm; weight unit: g)

参数 Parameters	华南菊头蝠 <i>Rhinolophus huananus</i>					大耳菊头蝠 <i>Rhinolophus macrotis</i>				
	This study	Sun et al., 2008		Sun et al., 2008		This study				
	广东 Guangdong	广西 Guangxi		云南 Yunnan		广东 Guangdong	江西 Jiangxi		云南 Yunnan	
	♂ (1)	♀ (2)	♂ (4)	♀ (6)	♂ (3)	♂ (9)	♀ (4)	♂ (4)	♀ (2)	♂ (1)
体质量 Wt	4.30	5.30, 5.00	4.38 ± 0.38	5.87 ± 0.23	6.01 ± 0.38	8.24 ± 0.86	8.73 ± 0.76	8.02 ± 0.46	7.30, 7.70	6.60
头体长 HB	41.08	35.00, 35.50	34.00 ± 2.20	34.80 ± 4.10	34.00 ± 2.00	48.32 ± 2.97	44.11 ± 4.15	47.92 ± 2.47	47.43, 45.31	44.08
前臂长 FA	42.20	39.50, 40.00	39.80 ± 0.50	42.30 ± 0.80	43.50 ± 0.50	48.03 ± 1.56	47.95 ± 0.71	46.27 ± 1.15	46.76, 45.61	42.63
尾长 TL	19.76	22.00, 21.00	21.50 ± 1.30	21.30 ± 1.20	19.80 ± 2.30	23.67 ± 4.02	24.62 ± 3.45	24.86 ± 3.44	24.53, 22.71	21.74
耳长 E	19.12	20.00, 20.00	20.00 ± 0.80	22.30 ± 1.30	21.30 ± 2.00	25.20 ± 1.27	24.97 ± 1.30	25.68 ± 1.01	24.72, 22.71	23.67
后足长 HF	5.72	—	—	—	—	7.91 ± 0.61	9.68 ± 0.93	8.98 ± 0.74	8.36, 8.87	7.57
胫骨长 TIB	17.84	17.00, 16.50	17.50 ± 0.60	17.80 ± 1.80	18.30 ± 0.60	20.14 ± 0.87	20.19 ± 0.29	20.06 ± 0.47	18.15, 18.87	18.32
峰频 PF/kHz*	67.55 ± 0.29 (n = 23)	67.30 ± 0.30 (n = 43)	66.10 ± 0.20 (n = 50)	57.70 ± 0.30 (n = 89)	56.40 ± 0.30 (n = 19)	46.21 ± 0.53 (n = 114)	49.24 ± 0.08 (n = 42)	49.29 ± 0.16 (n = 36)	59.87 ± 0.74 (n = 55)	60.48 ± 0.24 (n = 19)

注: 峰频中的 n 表示所分析的叫声脉冲数。  
Note: n in PF represents the number of pulse analyzed.

在飞行状态下的声脉冲时间和声脉冲间隔时间均短于静止状态, 与其他菊头蝠种类的报道相符 (冯江等, 2000; 孙克萍等, 2006)。这主要是因为, 在飞行状态下, 环境要比静止状态下复杂, 较短的声脉冲时间和声脉冲间隔时间能更精确地感知不断变化的

环境。

### 3.2 叫声频率与形态特征的关系

Neuweiler 等 (1987)、冯江等 (2002) 曾指出, 菊头蝠的回声定位声波峰频与前臂长呈负相关, 在华南菊头蝠和大耳菊头蝠声波频率与前臂长关系上也

得到印证:华南菊头蝠体型(体质量与前臂长)较小,声波频率较高,而大耳菊头蝠则体型较大,声波频率较低(表2)。赵辉华等(2003)指出回声定位声波频率与耳长之间存在密切的相关性,本研究结果也与之相符,华南菊头蝠的耳长比大耳菊头蝠小,前者的声波频率较高(表2)。值得注意的是,Sun等(2008)从回声定位声波、形态和分子三个方面分析,提出大耳菊头蝠种群中存在一隐藏种(cryptic species)。而根据本研究结果,结合前者描述的隐藏种回声定位声波和形态特征等(表2),我们认为该隐藏种实际为华南菊头蝠 *R. huananus*。自2008年华南菊头蝠作为新种发表以来,一直未见后续相关研究报道。本研究从声学的角度分析了该种与大耳菊头蝠的差异,补充和丰富了菊头蝠的生物学基础资料,然而该种与大耳菊头蝠的亲缘关系、生态位划分等问题仍有待研究。

## 参考文献:

- 陈敏. 2003. 七种蝙蝠回声定位行为生态研究[D]. 长春: 东北师范大学.
- 陈敏, 赵辉华. 2002. 蝙蝠科六种蝙蝠回声定位声波频率与体型的相关性[J]. 东北师范大学学报(自然科学版), 34(4): 64-69.
- 冯江. 2001. 蝙蝠回声定位行为生态研究[M]. 长春: 吉林科学出版社.
- 冯江, 陈敏, 李振新, 等. 2002. 八种菊头蝠回声定位声波频率与体型的相关性[J]. 动物学报, 48(6): 819-823.
- 冯江, 张树义, 李振新, 等. 2000. 马铁菊头蝠不同行为下的回声定位叫声[J]. 动物学报, 46(2): 230-232.
- 李艳丽. 2013. 两种恒频蝙蝠在不同状态、不同生境复杂条件下的回声定位声波可塑性研究[D]. 吉首: 吉首大学.
- 廖阳, 闫荣玲. 2011. 普通长翼蝠听觉器官的解剖研究[J]. 解剖学研究, 33(4): 294-297.
- 刘颖, 冯江, 陈敏, 等. 2004. 普通长翼蝠福建亚种不同行为状态下回声定位声波研究[J]. 兽类学报, 24(4): 293-297.
- 马杰, 沈钧贤, 赵辉华, 等. 2002. 回声定位蝙蝠及其声通讯[J]. 动物学杂志, 37(6): 79-82.
- 孙克萍, 冯江, 金龙如, 等. 2006. 马铁菊头蝠不同状态下回声定位声波分析[J]. 生态学杂志, 25(8): 959-962.
- 吴磊. 2006. 2种蝙蝠个体发育阶段回声定位声波及母婴交流行为的研究[D]. 长春: 东北师范大学.
- 姚倩, 曾今尧, 郑咏梅, 等. 2007. 回声定位蝙蝠耳蜗毛细胞静纤毛的长度特征[J]. 中国科学(C辑), 3: 358-362.
- 张喜臣. 2006. 大耳菊头蝠回声定位声波与夏季捕食策略研究[D]. 长春: 东北师范大学.
- 赵辉华, 左明雪, 梁冰, 等. 2003. 菊头蝠耳长与叫声频率的相关性[J]. 动物学报, 49(1): 128-133.
- Britton AR, Jones G. 1999. Echolocation behavior and prey-capture success in foraging bats: laboratory and field experiments on *Myotis daubentonii* [J]. The Journal of Experimental Biology, 202(13): 1793-1801.
- Burnett SC, Kazial KA, Masters WM. 2001. Discriminating individual big brown bat (*Eptesicus fuscus*) sonar vocalization in different recording situations[J]. Bioacoustics, 11(3): 189-210.
- Fenton MB. 2001. Communication in the Chiroptera revised edition[M]. Bloomington: Indiana University.
- Hill JE, Smith JD. 1984. A natural history[M]. London: British Museum.
- Jones G. 2008. Sensory ecology: echolocation calls are used for communication[J]. Current Biology, 18(1): 34-35.
- Jung K, Kalko EKV, Von HO. 2007. Echolocation calls in central American emballonurid bats: signal design and call frequency alternation [J]. Journal of Zoology, 272(2): 125-137.
- Neuweiler G, Metzner W, Heilmann U, et al. 1987. Foraging behavior and echolocation in the rufous horseshoe bat (*Rhinolophus rouxi*) of Sri Lanka[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 20(1): 53-67.
- Norušis MJ. 2012. IBM SPSS statistics 19 statistical procedures companion[M]. New Jersey: Prentice Hall.
- Ruczyński I, Kalko EKV, Siemers BM. 2007. The sensory basis of roost finding in a forest bat, *Nyctalus noctula* [J]. The Journal of Experimental Biology, 210(20): 3607-3615.
- Schnitzler HU. 1968. Die Ultraschall-Ortungslaute der Hufeisen-Fledermäuse (Chiroptera-Rhinolophidae) in verschiedenen Orientierungssituationen[J]. Zeitschrift für vergleichende Physiologie, 57(4): 376-408.
- Simmons NB. 2005. Order Chiroptera[M]// Wilson DE, Reeder DM. Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference 3rd ed. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press: 312-529.
- Sun KP, Feng J, Jiana TL, et al. 2008. A new cryptic species of *Rhinolophus macrotis* (Chiroptera: Rhinolophidae) from Jiangxi Province, China[J]. Acta Chiropterologica, 10(1): 1-10.
- Wu Y, Motokawa M, Harada M. 2008. A new species of horseshoe bat of the genus *Rhinolophus* from China (Chiroptera: Rhinolophidae) [J]. Zoological Science, 25(4): 438-443.
- Wund MA. 2006. Variation in the echolocation calls of little brown bats (*Myotis lucifugus*) in response to different habitats[J]. American Midland Naturalist, 156(1): 99-108.
- Zhu X, Wang J, Sun KP, et al. 2008. Echolocation calls of *Rhinolophus ferrumequinum* in relation to habitat type and environmental factors[J]. Acta Ecologica Sinica, 28(11): 5248-5258.