

大卫鼠耳蝠回声定位声波、翼型特征及夏季食性分析

尹皓^① 林洪军^① 齐彤辉^① 张稳^① 冯江^{①*} 施利民^②

① 东北师范大学 吉林省动物资源保护与利用重点实验室 长春 130024;

② 云南师范大学生命科学学院 昆明 650092

摘要:2005~2009年,野外采集大卫鼠耳蝠(*Myotis davidii*)的回声定位声波、翼型数据及粪便样本,分析了其回声定位声波、翼型特征和夏季食性。结果表明,大卫鼠耳蝠回声定位声波主频为(60.4 ± 10.0) kHz (Mean ± SD),带宽为(54.7 ± 8.5) kHz,能率环为7.4% ± 3.5%;翼展比为6.2 ± 0.8,翼载为(5.3 ± 0.9) N/m²,翼尖指数为2.2 ± 0.8;夏季食物主要以鞘翅目(57.7%,体积百分比)和双翅目(36.0%)昆虫为主。根据其回声定位声波、翼型特征及食性结果,推测大卫鼠耳蝠主要在相对复杂的森林生境中捕食。

关键词:食性;回声定位声波;翼型;大卫鼠耳蝠

中图分类号:Q958 **文献标识码:**A **文章编号:**0250-3263(2011)06-34-06

Echolocation Calls, Wing Shape and Summer Diet of *Myotis davidii*

YIN Hao^① LIN Hong-Jun^① QI Tong-Hui^① ZHANG Wen^① FENG Jiang^{①*} SHI Li-Min^②

① Northeast Normal University, Jilin Province, Protection and Utilization of Animal Resources Laboratory, Changchun 130024;

② Yunnan Normal University, College of Life Sciences, Kunming 650092, China

Abstract: From 2005 to 2009, we collected the samples of *Myotis davidii*'s echolocation calls, wing shape and faecal pellets, and analyzed the echolocation calls, wing shape and summer diet of an endemic Chinese bat, *M. davidii*. The results indicated that the peak frequency, bandwidth and duty cycle of echolocation calls is 60.4 ± 10.0 kHz (Mean ± SD), 54.7 ± 8.5 kHz and 7.4% ± 3.5%, respectively. Aspect ratio, wing loading and tip shape index is 6.2 ± 0.8, 5.3 ± 0.9 N/m² and 2.2 ± 0.8, respectively. The summer diet of *M. davidii* is mainly consisted of the insects of Coleoptera (57.7%, volume percent) and Diptera (36.0%) insects from fecal analysis. Based on the analysis of echolocation calls, wing shape and summer diet, we speculate that *M. davidii* mainly probably forages in complex forest habitat.

Key words: Diet; Wing shape; Echolocation calls; *Myotis davidii*

大卫鼠耳蝠(*Myotis davidii*)隶属翼手目蝙蝠科(Vespertilionidae)鼠耳蝠属^[1],为中国特有的3种鼠耳蝠之一,主要分布于北京、内蒙古、陕西、江西、云南等地^[2]。由于资料缺乏,2010年世界自然保护联盟(IUCN)将大卫鼠耳蝠列为较少关注物种(least concern, LC)^[3]。《中国濒危动物红皮书》将其列为接近易危种(NT/VU)^[4]。目前,对大卫鼠耳蝠的研究主要

集中于分类地位^[5-6]和分子系统地理学^[3]等方面,有关其回声定位声波、翼型及食性等的生态

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30870371),东北师范大学国家大学生创新性实验计划项目(No. 091020042);

* 通讯作者, E-mail: fengj@nenu.edu.cn;

第一作者介绍 尹皓,女,本科生;研究方向:保护生物学; E-mail: yinh117@nenu.edu.cn。

收稿日期:2011-06-06,修回日期:2011-09-21

数据还较为缺乏。

蝙蝠的回声定位声波及翼型特征可以很大程度上反映其捕食策略、栖息环境^[7]、飞行能力等。食性分析是研究蝙蝠营养生态位的主要途径。本文报道了大卫鼠耳蝠的回声定位声波、翼型特征和夏季食性,为大卫鼠耳蝠的保护和深入研究提供基础数据及参考资料。

1 材料与方法

1.1 研究地点 2005年5~7月在云南省晋宁县双河乡(102°20' E, 24°30' N)开展野外工作。研究区地处云贵高原,平均海拔2 064 m,年均温13℃,年均降水量907.1 mm。在当地的龙须洞中栖息着约400只大卫鼠耳蝠,洞穴周围以森林为主,植被覆盖率为73%,主要树种为核桃楸(*Juglans mandshurica*)、云南松(*Pinus yunnanensis*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)及金竹(*Phyllostachys sulphurea*)。

1.2 回声定位声波的录制与分析 于日落前半小时,在洞口布设雾网,蝙蝠撞网后立即解下,单只放置在干净的布袋中带回实验室。将蝙蝠在实验室(3.5 m × 5.0 m × 4.0 m)内放飞,待放飞的蝙蝠完全适应室内环境后,录制飞行状态下的回声定位声波,每次录音时保证实验室内只有1只蝙蝠。录音时,当蝙蝠径直飞向超声波监听仪(D980, Ultrasound Detector, Pettersson Elektronik AB, Sweden)时,将麦克风对准蝙蝠头部,在蝙蝠距监听仪探头约1 m时对准蝙蝠头部录音,并将回声定位声波转换为原频率的1/10后转存至笔记本电脑中。每只个体录制6个音频文件。

采用专门的声波分析软件Batsound 3.0 (Pettersson Elektronik AB),在录制6个声音文件中选择信噪比高,且无回声重叠的声波样本进行分析,每个声波样本选择15~20个声脉冲。分析内容包括能量谱图(声强-频率图)、声谱图(频率-时间图)及时域波形图(声强-时间图)。采样频率为44.1 kHz,声谱图(哈明窗分析)分析精度为256个频段,分析衰减为60 dB(对数能量值),能量谱图分析的FFT点数为

512。分析的声波参数选择起始频率(start frequency, kHz)、终止频率(end frequency, kHz)、带宽(bandwidth, kHz)、主频(dominant frequency, kHz)、脉冲持续时间(duration, ms)、脉冲间隔(inter-pulse interval, ms)及能率环(duty cycle, 声脉冲时程占声脉冲时程与声脉冲间隔之和的百分比)。将能率环参考值分为低(≤5%)、中(5%~10%)、高(≥10%)3类^[8]。

1.3 形态学参数的测量 捕捉的28只成年蝙蝠中有12只雌蝠,16只雄蝠。对雄性和雌性大卫鼠耳蝠分别进行体重和翼型的测量。使用电子天平(Proscale LC-50, 美国;精确度为0.1 g)测量蝙蝠的体重。把蝙蝠的翼自然伸展开后,将其固定在一张白纸上,然后沿着翼的边缘绘制整个翼型^[9]。使用数码相机对绘制翼型拍照,利用SigmaScan 5.0测量蝙蝠翼型参数,依据Norberg等^[10]的方法计算翼载、翼展比和翼尖指数。计算公式:翼载=体重/翼面积,翼展比=翼长²/翼面积,翼尖指数=翼尖面积比/(翼尖长度比-翼尖面积比)。对翼展比和翼载采用Bininda-Emonds等^[11]及Aldridge等^[12]的分类标准,即翼展比,低≤6.1,一般6.1~7.3,高≥7.3;翼载,非常低≤6.45 N/m²,较低6.45~7.50 N/m²,一般7.50~10.30 N/m²,高≥10.30 N/m²;翼尖指数,低≤1.3,一般1.3~1.9,高≥1.9。

1.4 夏季食性组成

1.4.1 粪便收集及食物组成分析 在大卫鼠耳蝠凌晨捕食结束归来前,在洞口设置雾网,蝙蝠撞网后立即解下,单只放置在干净的布袋中,第二天收集布袋里遗留的粪便。粪便风干后密封保存,待鉴定。实验结束后将蝙蝠在原捕捉地释放。将夏季采集到的22只大卫鼠耳蝠的81颗风干的粪使用70%的酒精软化后,用解剖针将其铺展在带有计数框的载玻片上^[13-14],对粪便中的残余物进行鉴定,依据《贵州农林昆虫志》^[15],至少鉴定至目,尽量鉴定到科,无法确定的种类定为未知,目测各种昆虫残余物所占的体积百分比(该目昆虫的体积占总样品体积的百分比)^[16],同时记录各种昆虫在所有样本中出现的频次,即视野中该目昆虫出现的次

数占样本视野总数的百分比。

1.4.2 背景昆虫的采集及鉴定 与大卫鼠耳蝠的观察同步,我们于夜间 20:01 时至次日 2:00 时在其捕食生境用灯光诱捕昆虫,同时利用昆虫网和雾网网捕昆虫,以测定大卫鼠耳蝠捕食区域的背景昆虫组成。把昆虫样品保存在 70% 的酒精中,待鉴定。记录鉴定的各目昆虫频次百分比,即捕捉到的各目昆虫数量占所有昆虫样本数量的百分比。

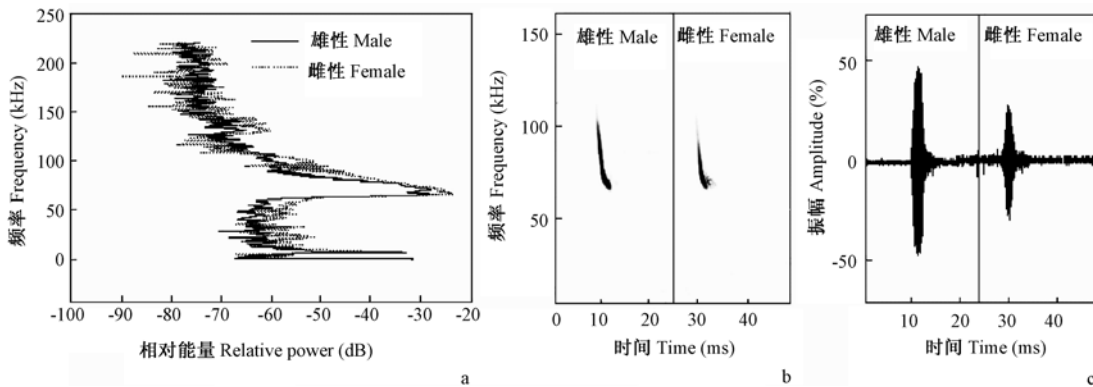


图 1 大卫鼠耳蝠能量谱图(a)、声谱图(b)及波形图(c)

Fig. 1 The power spectra (a), spectrograms (b) and oscillograms (c) of echolocation pulses of *Myotis davidii*

飞行状态下,声波主频率为 (60.40 ± 10.03) kHz,第一谐波从 (96.97 ± 15.47) kHz 下调到 (42.28 ± 14.14) kHz,1 次完整的声波的脉冲持续时间为 (3.65 ± 0.94) ms,声波脉冲间隔时间为 (55.01 ± 25.42) ms,能率环为 $7.37\% \pm 3.54\%$,带宽为 (54.69 ± 8.53) kHz。

2.2 翼型特征 大卫鼠耳蝠翼展为 (25.2 ± 0.5) cm,翼宽 (4.9 ± 1.1) cm,翼面积为 (105.0 ± 19.0) cm²,翼展比适中,为 6.2 ± 0.8 ,翼载很低,为 (5.3 ± 0.9) N/m²,翼尖指数较高,为 2.2 ± 0.8 ($n=28$)。

2.3 夏季食性 共分析了 22 个个体的 81 颗粪便样品,其中,以鞘翅目(Coleoptera, 体积百分比为 57.70%)、双翅目(Diptera, 36.0%)和鳞翅目(Lepidoptera, 5.7%)昆虫为主。在大卫鼠耳蝠的粪便中还发现了膜翅目(Hymenoptera)、同翅目(Homoptera)、半翅目(Hemiptera)、毛翅目(Trichoptera)和脉翅目(Neuroptera)昆虫的残余物。

2 结果

2.1 回声定位声波特征 室内飞行状态下,共分析 12 只大卫鼠耳蝠(雄性 7 只,雌性 5 只) 1 155 个声波脉冲,分析结果表明,一次完整的声波脉冲包括 1~2 个谐波,其中能量主要集中在第 1 谐波(图 1a),其回声定位声波为持续时间较短、频带较宽的调频(frequency modulation, FM)声波(图 1b~c)。

由粪便分析结果,5 月份,鳞翅目、鞘翅目及双翅目昆虫的出现频次百分比分别为 27.43%、36.35%、34.73%;6 月份,三者的频次百分比分别为 24.36%、37.52%、36.32%;7 月份,三者频次百分比分别为 18.35%、39.41%、39.26%(图 2)。而根据体积百分比计算,5 月份大卫鼠耳蝠以鞘翅目昆虫为主要食物,占其食物总量的 69.8%,双翅目、鳞翅目昆虫分别占食物总量的 24.2% 和 5.7%,6 月份则以鞘翅目和双翅目昆虫为主要捕食对象,分别占食物总量的 49.2% 和 43.1%,7 月份时鞘翅目昆虫(54.25%)为大卫鼠耳蝠主要食物(图 3)。

从 2005 年 5~7 月,在云南大卫鼠耳蝠觅食地共捕获 6 248 只分属于 21 目(包括蛛形纲、多足纲)的背景昆虫。其中,鞘翅目、双翅目、鳞翅目昆虫 5 月份的出现频次百分比分别为 17.0%、20.9% 和 23.0%;6 月份的出现频次百分比分别为 24.2%、19.4% 和 20.9%;7 月份分别为 19.3%、24.8% 和 30.1%(图 3)。

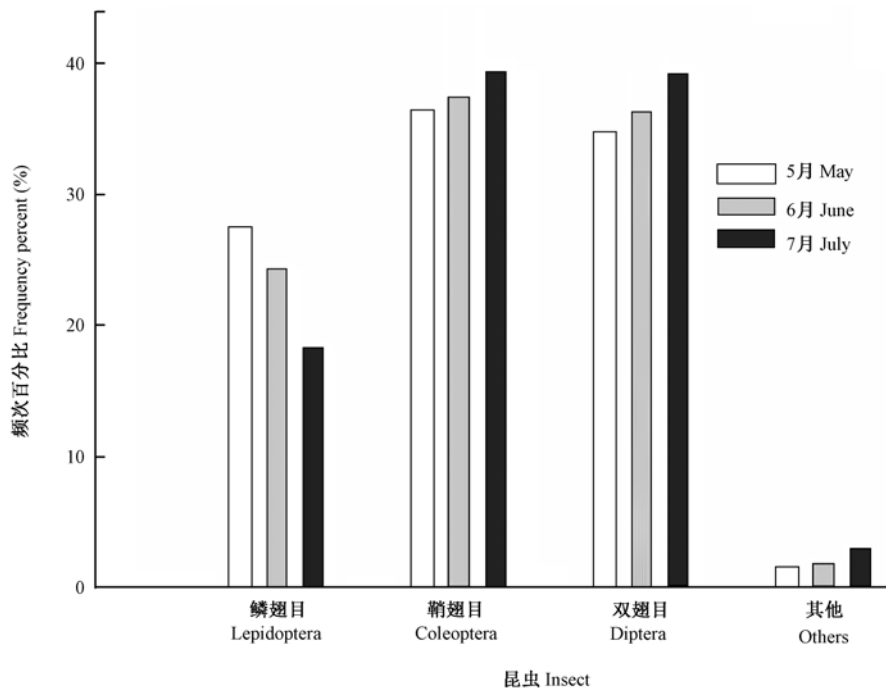


图 2 5~7 月份大卫鼠耳蝠粪便中昆虫残余物出现频次百分比对比图

Fig. 2 The comparison of *Myotis davidii*'s faeces insects in frequency percent

3 讨论

3.1 回声定位声波 飞行状态下大卫鼠耳蝠最高能量处频率约为 60 kHz,为较高频率声波。同时,其声波具有较宽的频带。高频声波比低频声波衰减速度快,在复杂栖息地捕食的蝙蝠使用高频声波是一种短距离探测对策^[17]。而频带越宽,声波所携带的周围环境信息越丰富^[18]。因此,高频宽带的回声定位声波有助于提高大卫鼠耳蝠对森林复杂环境中猎物的探测能力。

研究表明,在复杂生境捕食的蝙蝠发出的声波比在开阔平坦的地段捕食的蝙蝠发出的声波脉冲宽度小,能率环低^[19]。因为蝙蝠在发声期间其听觉通路是阻断的,发射声波和反射声波的重叠会导致很多重要信息丢失,蝙蝠通过较低的能率环,可以避免这种重叠,才能够接收到环境反射声波中的详细信息,从而更有效地捕食并避免自身能量的浪费^[19]。能率环较低的蝙蝠适于在树冠之间的开阔空间进行捕食,在树叶上或地面上进行拾遗式捕食等^[20-21]。

大卫鼠耳蝠能率环低(小于 20%),推测其适于在比较复杂的环境中捕食。

3.2 大卫鼠耳蝠翼型 高翼展比通常具有长而窄的翼,在飞行过程中具有更高的空气动力学效率和较少的能量损失,低的翼展比则具有短的翼及较低的飞行效率^[10]。大卫鼠耳蝠的翼展比适中,推测其飞行的能量损失及飞行速度适中。

翼载与飞行速度成正相关而与飞行的灵活性和敏捷性成负相关^[12],低的翼载意味着蝙蝠的飞行灵活性好,行动敏捷^[22]。大卫鼠耳蝠翼载为 $(5.3 \pm 0.9) \text{ N/m}^2$,其翼载很低,具有较好的灵活性。

根据翼尖指数确定翼尖的尖锐程度,高翼尖指数的蝙蝠具有短圆的翼尖,能够在空中盘旋^[10]。大卫鼠耳蝠翼尖指数为 2.2 ± 0.8 ,较高,推测其具有较好的灵活性,能够更有效地捕食空中飞行的昆虫。

3.3 大卫鼠耳蝠夏季食性 本文结果显示,夏季大卫鼠耳蝠对于生境中的鞘翅目、双翅目昆

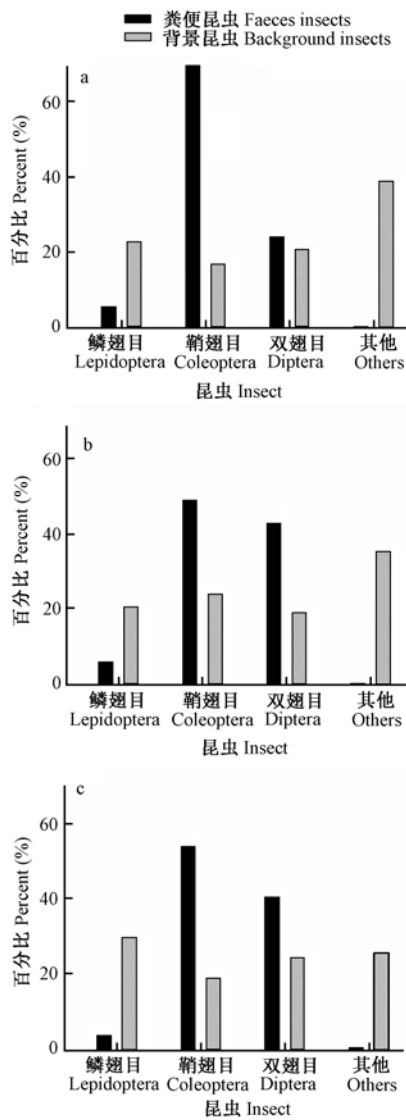


图3 大卫鼠耳蝠粪便中昆虫残余物(体积百分比)及背景昆虫(频次百分比)对比图

Fig. 3 The comparison of *Myotis davidii*'s faeces insects (volume percent) and background insects

a. 5月份; b. 6月份; c. 7月份。
a. May; b. June; c. July.

虫捕食较多,这可能是由于此时捕食生境中的鞘翅目(20.2%)、双翅目(21.7%)所占比例(频次百分比)较高的缘故。生境中的昆虫生物量越丰富,大卫鼠耳蝠能够捕食到该种昆虫的几率也越大。

通过对蝙蝠粪便残余物分析,得到鳞翅目的体积百分比比较低,仅为5.66%,与背景昆虫

的频次百分比相差较大(图3),但是在粪便分析过程中21.8%的视野中都可以发现鳞翅目昆虫残余物(图2),因此,推测大卫鼠耳蝠并非很少捕食鳞翅目昆虫,而是由于鳞翅目昆虫易于被蝙蝠消化,所以对大卫鼠耳蝠粪便中的鳞翅目残余物体积百分比可能估计偏低。鞘翅目昆虫的几丁质外壳难于消化,可能导致对鞘翅目的估测值偏高,造成最终结果的偏差。

食虫蝙蝠栖息生境中昆虫种类和数量随季节变化而波动^[23-24],且蝙蝠的食物组成和季节变化与环境中食物的丰富程度有关^[22-25],因此蝙蝠捕食对象随之受到影响。对不同月份大卫鼠耳蝠的食性分析与背景昆虫进行对比,大卫鼠耳蝠的食物组成在不同的月份中波动较明显,推测在不同的季节中大卫鼠耳蝠的食物组成会因生境中昆虫生物量的波动而发生较大改变。

致谢 在选题及研究过程中得到孙克萍老师的悉心指导。论文修正阶段得到了罗金红、王磊、金龙如等人的帮助。在此向所有给予帮助的老师、同学致以诚挚的谢意。

参 考 文 献

[1] Wilson D E, Reeder D A M. Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference. Columbia; Johns Hopkins University Press, 2005: 1968.

[2] Wang Y X. Chinese Mammal Species and Subspecies of Taxonomic and Distribution. Beijing; China Forestry Press, 2003: 40-56.

[3] You Y Y, Sun K P, Xu L J, et al. Pleistocene glacial cycle effects on the phylogeography of the Chinese endemic bat species, *Myotis davidii*. BMC Evolutionary Biology, 2010, 10: 208.

[4] 汪松. 中国濒危动物红皮书: 兽类. 北京: 科学出版社, 1998: 9-24.

[5] Kawai K, Nikaido M, Harada M, et al. The status of the Japanese and East Asian bats of the genus *Myotis* (Vespertilionidae) based on mitochondrial sequences. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2003, 28(2): 297-307.

[6] Zhang Z Z, Tan X Y, Sun K P, et al. Molecular systematics of the Chinese *Myotis* (Chiroptera, Vespertilionidae) inferred

- from cytochrome-*b* sequences. *Mammalia*, 2009, 73(4): 323-330.
- [7] 韦力. 黑髯墓蝠的食性、回声定位信号特征及其出飞时间的研究. 桂林: 广西师范大学硕士学位论文论文, 2007.
- [8] Jennings N V, Parsons S, Barlow K E, et al. Echolocation calls and wing morphology of bats from the West Indies. *Acta Chiropterologica*, 2004, 6(1): 75-90.
- [9] Bowie R C K, Jacobs D S, Taylor P J. Resource use by two morphologically similar insectivorous bats (*Nycteris thebaica* and *Hipposideros caffer*). *South African Journal of Zoology*, 1999, 34(1): 27-33.
- [10] Norberg U M, Rayner J M V. Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Biological Sciences*, 1987, 316(1179): 335-427.
- [11] Bininda-Emonds O R P, Russell A P. Flight style in bats as predicted from wing morphometry: the effects of specimen preservation. *Journal of Zoology*, 1994, 234(2): 275-287.
- [12] Aldridge H D J N, Rautenbach I L. Morphology, echolocation and resource partitioning in insectivorous bats. *The Journal of Animal Ecology*, 1987, 56(3): 763-778.
- [13] Kunz T H, Whitaker J O Jr. An evaluation of fecal analysis for determining food habits of insectivorous bats. *Canadian Journal of Zoology*, 1983, 61(6): 1317-1321.
- [14] Shiel C B, McAney C M, Fairley J S. Analysis of the diet of Natterer's bat *Myotis nattereri* and the common long eared bat *Plecotus auritus* in the West of Ireland. *Journal of Zoology*, 1991, 223(2): 299-305.
- [15] 郭振中, 李子忠. 贵州农林昆虫志. 贵州: 贵州人民出版社, 1989: 97-269.
- [16] Kunz T H, Parsons S. *Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats*. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1988: 20-21.
- [17] 张树义, 赵辉华, 冯江, 等. 蝙蝠回声定位与捕食对策的研究. *动物学杂志*, 1999, 34(6): 47-50.
- [18] Siemers B M, Schnitzler H U. Echolocation signals reflect niche differentiation in five sympatric congeneric bat species. *Nature*, 2004, 429(6992): 657-661.
- [19] 冯江. 蝙蝠回声定位行为生态研究. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001: 1-26.
- [20] Neuweiler G. Foraging ecology and audition in echolocating bats. *Trends in Ecology & Evolution*, 1989, 4(6): 160-166.
- [21] Schnitzler H U, Kalko E K V. *How Echolocating Bats Search and Find Food*. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1998: 183-196.
- [22] Altringham J D. *Bats Biology and Behavior*. Oxford: Oxford University Press, 1996: 262-264.
- [23] Anthony E L P, Kunz T H. Feeding strategies of the little brown bat, *Myotis lucifugus*, in southern New Hampshire. *Ecology*, 1977, 58(4): 775-786.
- [24] Whitaker J O Jr. Food of the big brown bat *Eptesicus fuscus* from maternity colonies in Indiana and Illinois. *American Midland Naturalist*, 1995, 134(2): 346-360.
- [25] Kurta A, Whitaker J O Jr. Diet of the endangered Indiana bat (*Myotis sodalis*) on the northern edge of its range. *The American Midland Naturalist*, 1998, 140(2): 280-286.