

# 云南高黎贡山东白眉长臂猿鸣声声谱研究

李旭<sup>1</sup>, 周伟<sup>1</sup>, 彭超<sup>1,2</sup>, 李云臣<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学 林学院, 昆明 650224; 2. 昆明动物园, 昆明 650021)

**摘 要:**选取在云南高黎贡山赧允、板场和保山市隆阳区太保公园中录制的东白眉长臂猿 3 组鸣声, 用 cool edie pro 2.0 软件进行原始数据文件处理, 再通过 Raven pro 1.4 软件进行声谱分析, 得到图形化文件。据声谱分析结果, 东白眉长臂猿二重唱中, 雄性的鸣叫序列包括开始音节、重复音节和调节音节; 调节音节根据第二个音节的频率变化分为强调音节和弱调音节。雌性的鸣唱序列分为重复音节和激动鸣叫, 其激动鸣叫又可分为成功的激动鸣叫和失败的激动鸣叫。比较东白眉长臂猿与东、西黑冠长臂猿的鸣声, 发现雌性东白眉长臂猿能够发出黑冠长臂猿雌性个体没有的重复音节。此外, 雌性东白眉长臂猿失败的激动鸣叫的出现频率非常高, 在一次完整的二重唱中都会存在雌性东白眉长臂猿失败的激动鸣叫, 而东黑冠长臂猿的二重唱中没有。

**关键词:**东白眉长臂猿; 声谱分析; 二重唱; 鸣声比较; 黑冠长臂猿

**中图分类号:**Q959.8

**文献标志码:**A

作为树栖性小型猿类, 所有成年长臂猿都能发出嘹亮的、连续的、复杂而结构稳定的鸣叫声(Song)<sup>[1-3]</sup>。这种鸣叫常发生在早晨<sup>[3]</sup>。对长臂猿“晨鸣”的研究发现, 其鸣叫声具有种的特异性, 受遗传因素的影响<sup>[2]</sup>, 有专家通过对比不同长臂猿的鸣声结构差异来探讨其种间的进化关系<sup>[4-5]</sup>。随着研究的深入, 学者发现长臂猿通过鸣唱来宣誓主权(领域和资源防卫)、寻找配偶、加强配对关系<sup>[6-10]</sup>。自 Brockelman & Ali 提出, 长臂猿的鸣叫行为可用于长臂猿种群密度调查<sup>[11]</sup>, 该调查方法近年来得到广泛应用<sup>[12-14]</sup>。鸣声声谱研究目前已深入到鸣叫的影响因素和鸣叫对长臂猿的生态学作用的研究阶段。

东白眉长臂猿(*Hoolock leuconedys*) 分布于亲敦江(伊洛瓦底江的最大支流)和怒江(萨尔温江的上游)之间的中国云南、缅甸和印度的局部地区。由于东白眉长臂猿善于攀爬、移动速度快、生活环境又多处高山, 对其实体跟踪观察研究受到了极大限制, 数据收集和行为观察极为不易。通过鸣声研究东白眉长臂猿, 不仅可以推算出它们的种群数量, 还可以通过它们的鸣声(即它们的不同语音)相对应的肢体行动来分析、判断它们的语言内涵。将东白眉长臂猿的“鸣声语言”从只能听的状态, “翻译”成图形方式表达, 便于用眼睛观察和便于量化比较。目前尚无东白眉长臂猿鸣声量化分析的相关报道, 本项工作希望通过对其鸣声分析, 了解其“句里行间”的生物学意义。了解东白眉长臂猿的“语言”在其生活中的作用; 研究结果对于东白眉长臂猿的有效管理也将有积极重大的指导作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究材料

2010 年 11 月—2011 年 9 月, 研究组在云南高黎贡山赧允开展了长达一年的东白眉长臂猿鸣声资料的录制和收集。录音使用 Samson Zoom H4 便携式手持录音机和机身自带话筒, 录音格式 WAV, 采样率(sample rate)

收稿日期:2016-11-10; 修回日期:2017-02-23.

基金项目:云南省林业厅 2015 年极小种群物种拯救保护项目和 2016 年云南省野生动植物保护项目([2016]1 号); 云南省林学一流学科建设项目(51600625).

作者简介:李旭(1981—), 男, 浙江绍兴人, 西南林业大学副教授, 研究方向为野生动植物保护与利用, E-mail: lixu.swfu@hotmail.com.

通信作者:周伟(1957—), 西南林业大学教授, 博士, E-mail: weizhouyn@163.com.

48 kHz,音频采样精度(sample size)为 16 bit,存储介质为 SD 卡.当听到长臂猿的叫声后开始录音,在长臂猿鸣叫结束后 2 min 结束录音,录音距离在 50~100 m 的范围,由于长臂猿叫声嘹亮,在此距离范围内仍然能录到清晰的叫声.

共得到 12 组东白眉长臂猿鸣声的录音,其中一组是云南高黎贡山自然保护区百花岭板场东白眉长臂猿的鸣声录音,另一组是保山市隆阳区太保公园动物园的鸣声录音,其余为高黎贡山赧允的鸣声录音.为了获得较为理想的分析效果,按照环境噪音低、录制效果好和录音完整的标准,在这 12 组录音中,选出了其中 3 组录音作为研究材料,分别是 2010 年 11 月 7 日和 2011 年 8 月 31 日在云南高黎贡山赧允对同一家群(一雄一雌一幼猿)的录音(时长 34 min 40 s,时长 18 min 10 s),2011 年 4 月 12 日在云南高黎贡山自然保护区百花岭板场对一个家群(一雄一雌一亚成体一幼猿)的录音(时长 11 min 13 s),总长 64 min 4 s.

1.2 研究方法

1.2.1 声谱分析

声谱分析时采用了以下步骤:

(1) 将原始录音先用 Cool Edit Pro 2.0 降噪、格式转化以及录音剪切.剪切主要采用图音结合的方式进行,在听东白眉长臂猿合唱录音时,同时观看声波图像,将合唱完整切割下来,以确保所得声音片段的完整性.

(2) 使用 Raven pro 1.4 进行声谱分析(File-Open sound files, Brightness, contrast, view-choose measurements).

(3) 将声谱图保存为图形格式(\*.jpg),然后用“画图”工具和 PhotoShop 对图形文件贴字处理.

1.2.2 声学术语及定义

查阅白眉长臂猿的文献资料,没有找到具体的音节定义,现借鉴西黑冠长臂猿鸣声研究的定义,将雄性东白眉长臂猿的鸣叫分为开始音节(boom)、重复音节(aa notes)和调节音节(modulated phrase)三部分<sup>[4-5, 15]</sup>.鉴于雌性东白眉长臂猿的鸣叫相对特殊,作者认为雌性东白眉长臂猿也存在 aa 音节(aa notes).Boom 是在喉囊膨胀时发出的音节.aa 音节是一系列短促的,相对独立的音节组成,听起来像是短促而连续的爆破音.

音节(Note):在吸气或呼气时发出的一个单独连续的不同频率或调频的声音.

变频(Roll):雄性叫声的一个特点,每次变频包括一次频率急剧的上升和下降.

音句(Phrase):一个单独的声音活动,是包括一个大的或松散的音节的集合,可能一起发出或单独发出.

激动鸣叫(Great call):由雌性发出的固定刻板而又易于识别的声音.

雄性鸣叫序列(Male sequence):是雄性发出的一个完整的序列,由起始音节、简单的重复音节、调节前音节和调节音句组成,在此期间雌性不发出声音.

激动鸣叫序列(Great call):雌性的激动鸣叫和与之配合的雄性鸣叫序列的结合.

独唱(Solo song bout):由一个个体(雌性或雄性)单独发出的鸣叫.

二重唱(Duet song bout):一次鸣叫中由配对的雌雄两性相互配合发出的嘹亮的鸣叫声,包含多个雄性鸣叫序列和多个激动鸣叫序列.

1.2.3 数据分析

在数据分析中,将测出的各音句或音节的开始时间、结束时间、最高频率、最低频率和各音节间的间隔时间等数据进行统计分析,分析雌雄两性鸣叫的声谱特征和二重唱结构(表 1).所有数据使用统计软件 SPSS 17.0 进行频数分析,取  $P \leq 0.05$  作为拒绝  $H_0$  假设的基本标准.

2 结 果

2.1 东白眉长臂猿二重唱声谱特征

东白眉长臂猿二重唱的声谱可分为雄性的起始音节、重复音节、调节音句和雌性的重复音节、激动鸣叫.

二重唱一般以雄性个体的开始音节发起,紧接着雄性个体发出弱调音节,雌性发出激动鸣叫,随后雄性个体发出强调音节,雌雄个体开始一唱一和式的重复音节鸣唱.重复音节结束后,雄性个体再次发出强调音节,雌性发出失败的激动鸣叫.之后,伴随着一次强调音节和一次重复音节结束二重唱.

东白眉长臂猿鸣叫时,如果第一个二重唱没有出现失败的激动鸣叫,则紧随其后的第二个二重唱先出现一次成功的激动鸣叫,之后又出现一次失败的激动鸣叫.接下来再开始二重唱时,一般包含一个失败的激动鸣叫,一个成功的激动鸣叫和一个失败的激动鸣叫为循环的鸣唱序列,但失败的激动鸣叫的鸣唱次数相对较多.最开始的两次鸣唱中,强调音节和重复音节的组合一般出现 2~3 次,但在之后的循环鸣唱序列中,一般只出现一次强调和重复音节的组合.在分析的 3 组录音中都得到了同样的结果.

2.2 东白眉长臂猿雄性鸣叫的声谱特征

将雄性东白眉长臂猿的声谱结构分为起始音节 (boom)、调节音节(modulated phrase) 和重复音节 (aa notes) 等 3 个部分.起始音节一般出现在鸣叫开始前,由一个简单的音节组成,持续时间大约 0.35 s,基本频率 1 kHz (表 1).由于该音节声音持续时间特别短、强度很低,不易与背景噪音区别,很容易在降噪中被消除或在记录过程中没有记录到.所以在很多录音中都未能找到 (图 1a).调节音节一般出现在开始音节后,调节音节分为弱调音节 (weakly modulated phrase) 和强调音节(multi-modulated phrase),弱调音节一般由 2~3 个音节组成,在声谱图上呈一条稳定平滑的线状图形,频率最高时为 1 332.7 Hz,最低时为 218.1 Hz (表 1).弱调音节一般出现在鸣唱开始,与起始音节构

成了雄性东白眉长臂猿的开始序列 (图 1a).强调音节一般有 3~4 个音节组成,并且在第二音节有一个很明显的频率升高.调节音节一般出现在一次激动鸣叫过后,与重复音节相结合.重复音节由 1~13 个相似的音节组成 (图 1b).每个音节的平均持续时间为 0.16 s,每个音节的平均间隔时间为 0.1 s,频率范围为 242.3~1626.5 Hz (表 1).东白眉长臂猿的重复序列一般成对出现,在长臂猿声谱图中重复序列会出现两种图像,一种是能够从图像中很直观的看出重复音节是成对的,而另一种则是在重复音节中由于雌雄同时发声,导致在声谱图中图像重叠.为了便于区分,在这里称它们为重叠的重复音节和没有重叠的重复音节.

表 1 云南高黎贡山东白眉长臂猿二重唱分析结果

音节类型	特征	$f/\text{Hz}$		$t/\text{s}$	
		最低频率	最高频率	持续时间	间隔时间
开始音节 (67 次)	均值	942.4	1462.5	0.40	—
	最大值	1041.9	1671.9	0.67	—
	最小值	436.2	920.8	0.30	—
	标准差	105.6	113.2	0.06	—
重复音节 (399 次)	最大值	581.3	1526.5	0.37	0.33
	均值	416.9	1167.4	0.16	0.10
	最小值	242.3	993.5	0.08	0.00
	标准差	60.7	92.4	0.39	0.86
调节音节 (112 次)	均值	425.5	1257.5	0.81	0.10
	最大值	630.0	1696.2	1.33	0.45
	最小值	290.8	1138.8	0.53	0.01
	标准差	61.1	85.5	0.19	0.07

2.3 东白眉长臂猿雌性鸣叫的声谱特征

雌性东白眉长臂猿不仅能够发出呆板的激动鸣叫,还能够发出与雄性相配合的重复音节.根据雌性东白眉长臂猿在激动鸣叫时的完成程度,可将激动鸣叫分为成功的激动鸣叫 (great call) 和失败的激动鸣叫 (abortive great call).成功的激动鸣叫包括一个开始音节,2~3 个调节音节和一段频率较高的激动鸣叫序列组成.成功的激动鸣叫 (图 1c) 平均持续时间是 7~9 s,平均最低频率为 285.9 Hz,平均最高频率是 1325.8 Hz(表 1).失败的激动鸣叫也含有开始音节和调节音节,但在激动鸣叫序列频率明显偏低 (图 1d).

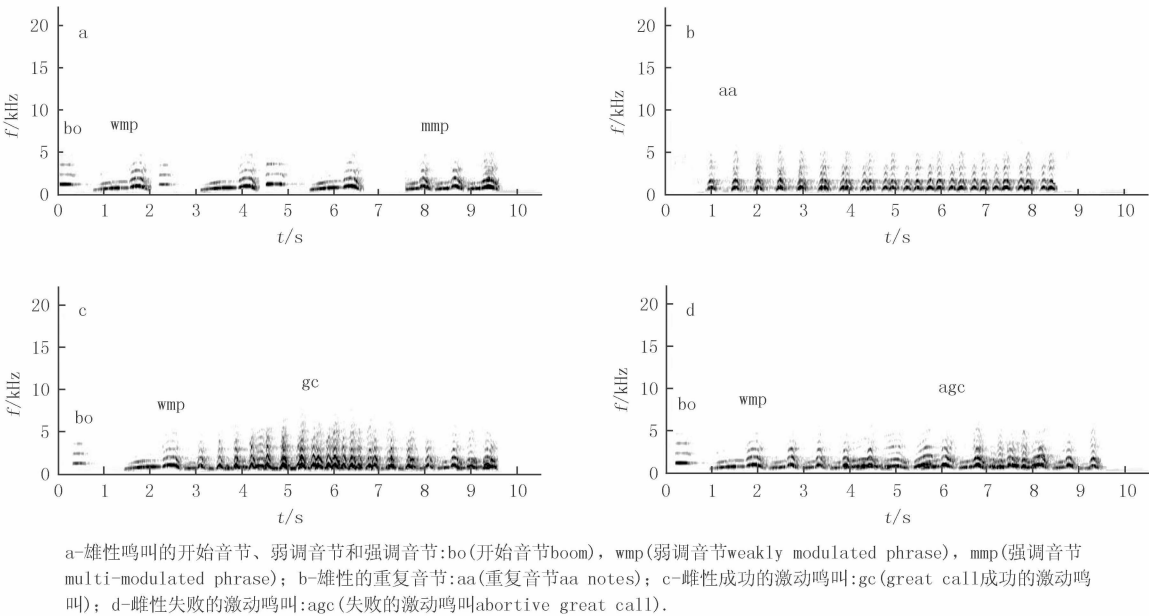


图1 云南高黎贡山东白眉长臂猿二重唱各音节的声谱图

3 讨 论

3.1 东白眉长臂猿的鸣叫功能

东白眉长臂猿雄猿鸣唱的目的在于保护领域和食物,一般只在早晨进食后发出鸣唱.在长达一年的生态习性观察和鸣声录制过程中发现,雌猿在发出激动鸣叫时常常摇晃树枝,但其他时间就很少移动.雄猿相对活跃,边鸣唱边四处跳跃.当发现有人或其他灵长类动物靠近或在周围时,雄猿会朝向人/动物移动.与人/动物保持一定距离,如果人/动物继续前行时,它就会逐渐后撤;当人/动物离开时它才会回到原先的位置.在其他长臂猿的研究中也得到了类似的结论,如:在合趾猿<sup>[16]</sup>、穆氏长臂猿<sup>[6]</sup>和白掌长臂猿<sup>[8]</sup>等研究中,学者们模拟入侵者,在长臂猿领域内播放、回放鸣叫,长臂猿均会对回放叫声发出鸣叫回应,并朝着领域内的回放发声点移动.

东白眉长臂猿的鸣唱对维持和加强配对有一定联系,研究中观察到在两次二重唱间隙,雌雄个体会相互靠近,有时会为对方理毛.东白眉长臂猿的鸣唱存在雌雄分工,但分工又不完全.在选择过夜树上,雌猿在选择过夜树后一般很少移动,但雄性则会在外巡视一圈后就近找树歇息,只有到了冬天雄猿才会和雌猿一起歇息.对于笼养的东白眉长臂猿,当它从一个活动场移动到另一个活动场时,雄性个体首先到活动场内巡视一圈后,雌性才进入活动场.雄性东白眉长臂猿就如同一个卫士,无论是发现入侵者、野外选择过夜树还是进入运动场,它都担负起了巡视的责任;而雌性对于领地护卫和领域安全都显得不是很敏感.这就加大了东白眉长臂猿雌性个体对于雄性东白眉长臂猿的依赖.这一点与合趾猿、穆氏长臂猿和白掌长臂猿不同,在发现入侵者时雌雄都会向入侵者移动<sup>[6, 8, 16]</sup>.配对雌雄东白眉长臂猿鸣唱往往引起孤猿的鸣叫,但孤猿的鸣唱很少引起配对雌雄东白眉长臂猿的鸣唱.

东白眉长臂猿在鸣唱功能上与其他长臂猿存在差异.虽然东白眉长臂猿也存在分工,但东白眉长臂猿的雌性个体不参于领域防卫.从而增加了雌性东白眉长臂猿个体对于雄性东白眉长臂猿的依赖.所以,对于已经有配偶的雌性东白眉长臂猿来说,它们通过鸣声向其他雌猿传递信息,说明自己与雄性的婚配状况;而对于没有配偶的雌性东白眉长臂猿则迫切的想通过鸣声传递信息,向无配偶的雄性发出信号,这就导致了它们需要加强鸣叫的频次.

3.2 东白眉长臂与东、西黑冠长臂猿声谱特征比较

东白眉长臂猿与东黑冠长臂猿和西黑冠长臂猿声谱组成基本相同,但存在一定差异(表 2)。黑冠长臂猿与东白眉长臂猿都存在重复音节和激动鸣叫却又各不相同,黑冠长臂猿的重复音节只存在于雄性个体,但东白眉长臂猿的雌、雄均能发出重复音节。两种黑冠长臂猿的鸣唱序列几乎没有差异,东黑冠长臂猿多了调节前音节;在雌性的鸣唱序列中两者都只发出激动鸣叫,但东黑冠长臂猿的声谱中没有找到失败的激动鸣叫,而西黑冠长臂猿中有失败的激动鸣叫。在激动鸣叫序列,黑冠长臂猿的失败的激动鸣叫序列相对较少,而东白眉长臂猿失败的激动鸣叫相对较多<sup>[17-18]</sup>。

表 2 东白眉长臂猿与东、西黑冠长臂猿的二重唱声谱比较

种类	性别	起始音节	重复音节	调节前音节	调节音节	激动鸣叫	资料来源
东白眉长臂猿 <i>Hoolock leuconedys</i>	♂	+	由 1—13 个相似的音节组成	无	弱调节音节(2~3 个音节)和强调节音节(3~4 个音节)		本研究
	♀		有			成功的激动鸣叫和失败的激动鸣叫	
西黑冠长臂猿 <i>Nomascus concolor</i>	♂	+	由 1—13 个相似的短的音节组成	无	弱调节音节(1~4 个音节)和强调节音节(3~5 个音节)		文献[17]
	♀		无			成功的激动鸣叫和失败的激动鸣叫	
东黑冠长臂猿 <i>Nomascus nasutus</i>	♂	+	1—19 个短而相似的音节组成,其频率变化不大	有	弱调节音节(1~2 个音节)和强调节音节(1~3 个音节)		文献[18]
	♀		无			呆板的激动鸣叫,没有录制到失败的激动鸣叫	

雌性东白眉长臂猿鸣声中发出的重复序列与 2 种黑冠长臂猿的也有所不同,重复音节成对且重叠(图 1b),一般为 1~10 对组成。

在鸣唱中,雌性长臂猿的鸣叫时间长短以及间隔等影响雌性长臂猿激动鸣叫的质量。因为东黑冠长臂猿的重复音节相对较长,对于整个鸣叫序列而言,不仅增长了两次激动鸣叫之间的间隔,同时还缩短了相对时间内合唱中雌性长臂猿的鸣叫时间,从而缩短了雌性东黑冠长臂猿的鸣叫时间。在对东黑冠长臂猿的声谱分析中没有找到失败的激动鸣叫。西黑冠长臂猿的雄性重复音节相对东黑冠长臂猿较少,在相同鸣叫时间的情况下,西黑冠长臂猿雌性个体的鸣唱时间相对较长,在西黑冠长臂猿的声谱研究中发现失败的激动鸣叫。东白眉长臂猿的雄性个体的重复音节与西黑冠长臂猿相比差距不是很大,但东白眉长臂猿的雌性个体参与了重复序列的鸣唱,所以相对于西黑冠长臂猿,东白眉长臂猿雌性个体在合唱中的鸣叫时间更长。在声谱分析中得到的结果是,几乎东白眉长臂猿在每次合唱中都会出现失败的激动鸣叫序列。东白眉长臂猿雌性鸣叫比东、西黑冠长臂猿多了重复音节,同时由于这个音节的出现增加了失败激动鸣叫的数量。

参 考 文 献

[1] Geissmann T. Evolution of communication in gibbons (Hylobatidae)[D]. Anthropological Institute, Faculty II, Zürich University, 1993.

[2] Geissmann T. Gibbon systematics and species identification [J]. International Zoo News, 1995, 42:467-501.

[3] Geissmann T. Duet-splitting and the evolution of gibbon songs [J]. Biological Reviews, 2002, 77:57-76.

[4] Konrad R, Geissmann T. Vocal diversity and taxonomy of nomascus in cambodia [J]. International Journal of Primatology, 2006, 27: 713-745.

[5] Ruppell J. Vocal diversity and taxonomy of nomascus in central Vietnam and southern Laos [J]. International Journal of primatology, 2009, 31: 73-94.

[6] Mitani J C. The behavioral regulation of monogamy in gibbons (Hylobates muelleri) [J]. Behavioral Ecology and sociobiology, 1984, 15: 225-229.

[7] Mitani J C. Gibbon song duets and intergroup spacing [J]. Behaviour, 1985, 92: 59-96.

[8] Reamaekers J J, Reamaekers PM Field playback of loud calls to gibbons (*Hyllobates lar*): Territorial, sex-specific and species-specific responses [J]. Animal Behaviour, 1985, 53: 481-493.

[9] Geissmann T. Duet songs of the siamang, *Hyllobates syndactylus*: II. Testing the pair-bonding hypothesis during a partner exchange [J]. Behaviour, 1999, 136: 1005-1039.

[10] Geissmann T, Orgeldinger M. The relationship between duet songs and pair bonds in siamangs, *Hyllobates syndactylus* [J]. Animal Behaviour, 2000, 60: 805-809.

[11] Brockelman W Y, Ali R. Methods of Surveying and Sampling Forest primate Populations [A]. In: Marsh CW, Mittermeier RA. (eds.). Primate Conservation in the Tropical Rain Forest [M]. New York: Alan R Liss inc, 1987: 23-62.

[12] Jiang X L, Luo Z H, Zhao S Y, et al. Status and distribution pattern of black crested gibbon (*Nomascus concolor jingdongensis*) in Wuliang Mountains, Yunnan, China: implication for conservation [J]. Primates, 2006, 47(3): 264-271.

[13] Phoonjampa R, Brockelman W. Survey of pileated gibbon *Hyllobates pileatus* in Thailand: populations threatened by hunting and habitat degradation [J]. Oryx, 2008, 42(4): 600-606.

[14] Fan P F, Xiao W, Huo S, et al. Distribution and conservation status of Hoolock leuconedys in China [J]. Oryx, 2011, 45: 129-134.

[15] Haimoff E H. Gibbon songs: An acoustical, organizational, and behavioural analysis [M]. London: Cambridge University, 1983.

[16] Chivers D, MacKinnon J. On the behaviour of siamang after playback of their calls [J]. Primates, 1977, 18: 943-948.

[17] 范朋飞, 蒋学龙, 刘长铭, 等. 无量山西黑冠长臂猿二重唱的声谱结构和时间特征[J]. 动物学研究, 2010, 31(3): 293-302.

[18] 冯军娟, 马长勇, 费汉榄, 等. 东黑冠长臂猿鸣叫声谱分析[J]. 兽类学报, 2013, 33(3): 203-214.

Sound Spectrum of Eastern Hoolock Gibbon (*Hoolock leuconedys*)  
at Mt. Gaoligong, Yunnan

Li Xu<sup>1</sup>, Zhou Wei<sup>1</sup>, Peng Chao<sup>1,2</sup>, Li Yunchen<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Kunming Zoo, Kunming 650021, China)

**Abstract:** It was selected that three group song records of eastern hoolock gibbon (*Hoolock leuconedys*) from Nankang, Banchang at Mt. Gaoligong and Taibao Park in Longyang District of Baoshan City. The song record would be analysed by software cool Edie Pro 2.0 and Raven Pro 1.4. The sound spectrum would be kept as graphical files. According to the results of sound spectrum of eastern hoolock gibbon, the male song sequence could include start, repeat and adjustment of syllables in the duet structure. According to the frequency of the second syllables, the adjustment of syllables could be divided into stressed syllables and weak tones. Female song sequence is divided into repeating syllables and excited tweets. The excited tweets could be divided into the success and failure excited tweets. Comparison sound spectrum of eastern hoolock gibbon with east and west black crested gibbons, it was found that female of eastern hoolock gibbon could send out the repeat syllables that could not send out by female individual east and west black crested gibbons. In addition, the failure excited tweets of female eastern hoolock gibbons appeared in very high frequency. In a complete duet of eastern hoolock gibbon, there were failed excited tweet which could not be found from a duet in the female eastern black crested gibbon.

**Keywords:** eastern hoolock gibbon (*Hoolock leuconedys*); sound spectrum analysis; duet; comparison song; black crested gibbon

[责任编辑 王凤产]