

黄腹山雀的鸣唱特征分析

肖华¹, 周智鑫, 王宁, 张雁云²

(北京师范大学 生命科学学院, 北京 100875)

摘要: 2006年4—5月及2007年6月, 在北京小龙门林区录制了黄腹山雀(*Parus venustulus*)的鸣唱, 利用Avisoft-SASLab Pro鸟声声谱分析软件(德国)测量鸣唱特征参数后进行统计分析, 发现该地区的黄腹山雀种群鸣唱句法简单, 鸣唱句子均为相同音节的不断重复。所采集的音节曲目中包含了56种音节型, 音节类型数与采样个体数($r=0.973$, $P=0.000<0.05$)呈显著正相关, 不同个体的领域性鸣唱存在显著差异。与同域分布的大山雀、褐头山雀、煤山雀、沼泽山雀相比较, 黄腹山雀的鸣唱句子最短($D_v=0.83\pm 0.48$), 频率较高($F_{\max}=7.64\pm 1.01$, $F_{\min}=3.27\pm 1.13$), 句子中音节的重复次数最少($N_{s,v}=2.0\pm 0.2$)。

关键词: 黄腹山雀; 鸣唱特征; 曲目; 音节变异

中图分类号: Q959.739 文献标识码: A 文章编号: 0254-5853-(2008)03-0277-08

Analyzing Song Characteristics of Yellow-bellied Tits

(*Parus venustulus*)

XIAO Hua¹, ZHOU Zhi-xin, ZHANG Yan-yun²

(College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The songs of Yellow-bellied Tits (*Parus venustulus*) were recorded during April and March, 2006 and June, 2007 in Beijing Xiaolongmen forest. The acoustic characteristics of songs were measured and analyzed with Avisoft-SASLab Pro software (Germany). The songs of Yellow-bellied Tits have simple verse structure, formed with repeat syllables. The repertoire of Yellow-bellied Tits includes 56 syllable types. Significant positive correlation was found between the number of syllable types and sampling individuals ($r=0.973$, $P=0.000<0.05$). Differences in territory songs found among individuals may be related to individual identification. Compared with four other species distributed in the same area, the Yellow-bellied Tit had the shortest verse ($D_v=0.83\pm 0.48$), higher maximum frequency ($F_{\max}=7.64\pm 1.01$, $F_{\min}=3.27\pm 1.13$), and the least repeat syllables in its verse ($N_{s,v}=2.0\pm 0.2$).

Key words: *Parus venustulus*; Song characteristic; Repertoire; Syllable variation

鸟类鸣声具有寻求配偶、保卫领域、躲避捕食、社会交往等多种作用, 是协调个体间和群体间行为的一种重要方式 (Catchpole & Slater, 1995)。通过鸣声研究可以了解鸟类的鸣声通讯, 如个体识别和物种识别 (Braaten *et al.*, 2007; Nelson & Poesel, 2007)、性选择 (Dowse & Taly, 2004) 等; 此外, 在分类学中也起着重要的作用, 既可发现新物种, 还可评估物种地位等级和分析系统发育关系 (Alström *et al.*, 2007; Baptista & Krebs, 2000)。因此鸟声研究也被广泛应用于神经生物学、动物行为

学、进化生物学等领域 (Kumar, 2003)。

山雀鸣声种类多, 句法或语调多变, 鸣唱的复杂程度适中, 且分布广泛, 成为鸟声研究的重点 (Hailman, 1989)。黄腹山雀 (*Parus venustulus*) 隶属于雀形目 (Passeriformes) 山雀科 (Paridae) 山雀属 (*Parus*), 是中国特有鸟类, 无亚种分化, 分布相对较广。在北京西部山区, 黄腹山雀与大山雀 (*P. major*)、褐头山雀 (*P. songarus*)、煤山雀 (*P. ater*)、沼泽山雀 (*P. palustris*) 同域分布 (Zhao, 2001; Zheng, 2005)。但人们对该物种却了解甚少, 迄今仅见志

收稿日期: 2008-01-07; 接受日期: 2008-04-14

基金项目: 北京师范大学资助

*通讯作者 (Corresponding author), E-mail: zhangyy@bnu.edu.cn

第一作者简介: 肖华, 女, 硕士研究生。研究方向为鸟类学

书中对黄腹山雀的一些简单描述, 尚未开展关于此物种的深入工作。本项工作对黄腹山雀领域鸣唱进行研究, 阐明了其鸣唱特点, 并与同域分布的其他 4 种山雀进行了比较研究。

1 研究地区自然概况

野外工作在北京市门头沟区小龙门林场进行, 小龙门林场 (E115° 26.158', N39° 57.892') 位于北京的最西部, 地处太行山脉北段, 其西、南分别与河北涿鹿、涞水两县接壤, 海拔 1000—1700 m; 属于暖温带半湿润季风气候区, 四季分明, 昼夜温差大, 夏季高温多雨, 冬季寒冷干燥。植被以次生天然落叶阔叶林、人工针叶林和天然灌丛为主。其中阔叶林的主要树种有山杨(*Populus davidiana*)、青杨(*P. cathayana*)、绢柳(*Salix viminalis*)、黄花柳(*S. caprea*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、棘皮桦(*B. dahurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、元宝槭(*Acer truncatum*)、大叶白蜡树(*Fraxinus rhynchophylla*)、北京丁香(*Syringa pekinensis*)等; 针叶林的主要树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、日本落叶松(*L. kaempferi*)等; 此外, 天然阔叶林及混交林中还有多种灌木构成灌丛, 如荆条(*Vitex negundo*)、山杏(*Prunus armeniaca*)、六道木(*Abelia biflora*), 以及绣线菊属(*Spiraea*)植物。人工油松林林下灌木层和草本层较贫乏, 人工落叶松林林下灌木层和草本层稀疏。研究区内山沟狭窄陡峭, 沟底宽约 10—60 m, 山坡坡度约 30—60。

在北京小龙门地区分布的山雀属鸟类有 5 种, 即大山雀、褐头山雀、黄腹山雀、煤山雀、沼泽山雀。其中黄腹山雀在小龙门林区为夏候鸟, 分布于 1070—1450 m 的森林中为优势种 (Sun & Wang, 2001)。繁殖期 4—6 月, 在该地区的观察发现, 黄腹山雀不同于其他山雀, 它营巢于地洞中或地面石缝内, 不进驻树上的人工巢箱, 碗状巢, 窝卵数 5—7 枚, 卵白色, 具褐色点斑。

2 方法

2.1 鸣声录制

2006 年 4—5 月及 2007 年 6 月, 采用 TASCAM HD-P2 便携式数字录音机 (日本) 和 Sennheiser MKH416 P48 外接强指向性话筒 (德国), 于晨昏时段在北京小龙门林场录制黄腹山雀及其他山雀的

领域鸣唱, 录音的采样频率为 44.1 kHz, 每个个体鸣声的录制时间至少为 3 min, 录音范围为距鸣叫个体 5—10 m 距离。通过对黄腹山雀领域面积大小的估测, 将个体间的录音间隔距离定为 100 m, 每个录音地点仅录制一只个体。本研究于 2006 年录制 8 只、2007 年录制 27 只雄性黄腹山雀的领域鸣唱, 2006 年录制 13 只大山雀、9 只褐头山雀、6 只煤山雀、3 只沼泽山雀的领域鸣唱。

2.2 鸣声术语

鸟类鸣声 (vocalization) 包括鸣叫 (call) 和鸣唱 (song), 鸣叫为鸟类发出的短促、简单的鸣声。雌、雄个体在全年内一般都会鸣叫。鸣唱一般由雄鸟在繁殖期内发出的较长的、相对较复杂的鸣声。参照 Martens et al (2004)、Päckert et al (2004) 与 Päckert et al (2005) 和《声学名词术语》(GB/T 3974-1996) 的定义, 将有关术语介绍如下 (图 1):

音素 (note/element): 在声谱图上表现为一连续曲线结构, 是最小的声音单位。

音节 (syllable/element-group): 固定组合在一起的音节, 并在一个句子中多次重复出现, 是能区分词意的最小语音单位, 也称音位。

音节型 (syllable type): 音节的形态特征, 主要包括其音素组成和排列顺序。

句子 (song/verse): 为鸣唱系列中包含音素或音节的连续段落, 句子与句子之间通常由空白的暂停所分隔, 通常直接被称为鸣唱。

鸣唱型 (song type/syntax): 鸣唱句子的结构特征, 主要包括其音节组成和排列顺序, 也称句式、句法。

曲目 (repertoire): 某一指定个体或种群的所有鸣唱或音节。

起始音节 (introductory syllable): 鸣唱句首出现的单一的、持续时间较短的音节, 通常以固定的形式存在。

颤音 (trill): 由一组急促、重复的音素构成。

2.3 鸣声测量

利用 Avisoft-SASLab Pro 鸟声声谱分析软件 (德国) 进行鸣声参数测量。软件的语图参数设置为: sampling rate 22.05 kHz, sample size 16 bits; 100-point transform (300 Hz); FFT length 256 points, FlatTop window, 86 Hz frequency resolution; overlap 50%, 5.80 ms temporal resolution。山雀的鸣唱句子与句子之间一般具有较明显的时间间断, 相邻两个

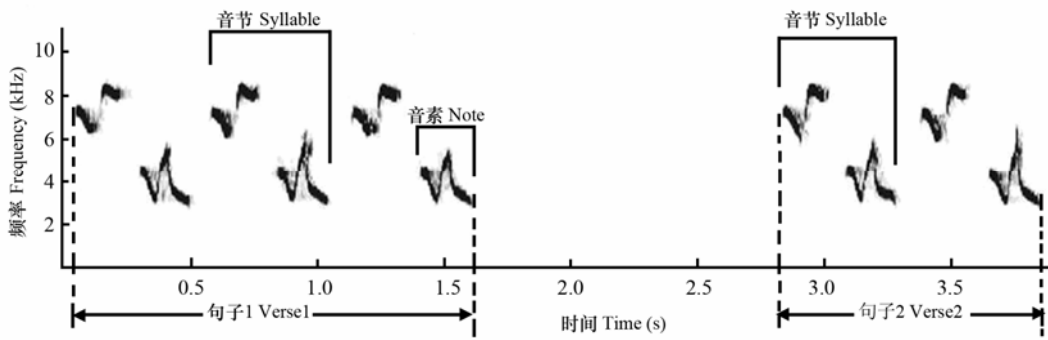


图 1 黄腹山雀的鸣唱语图
Fig. 1 Song spectrum of *Parus venustulus*

鸣唱的时间间隔在 1s 以上，否则属于一个鸣唱 (Tu & Liu-Severinghaus, 2004)。选择清楚的鸣唱，分别选取各种山雀的每个个体鸣唱的每种鸣唱型 5 个句子进行测量，测量参数包括：句子的持续时间 (duration of verse, D_v)、音节的持续时间 (duration of syllable, D_s)、句子的最高频率 (maximum frequency, F_{max})、句子的最低频率 (minimum frequency, F_{min})、频宽 (frequency bandwidth, F_b)。目测统计每个鸣唱句子的音节个数 (number of syllables/song, $N_{s,v}$)、每个鸣唱句子的音素个数 (number of notes/song, $N_{n,v}$) 及每个音节的音素个数 (number of notes/syllables, $N_{n,s}$) 和音节曲目 (图 2)。

2.4 数据分析

音节型总数的计算，仿照 Wildenthal (1965) 估计曲目的指数分析法和捕获一再捕获方法 (Catchpole & Slater, 1995)，运用 Microsoft Excel 进行 VBA (Visual Basic for Application) 编程，采用 Rand 函数对所有个体进行随机排序 100 次，每排序一次便计算一组每增加一只个体后所得的音节型总数，最后对 100 组数进行平均做图，并统计

音节类型总数与采样个体数的相关关系，利用回归分析的曲线估计方法建立曲线方程。

对黄腹山雀不同个体的鸣唱特征参数进行 Kolmogorov-Smirnov 检验，考察数据是否符合正态分布，正态分布的数据用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 进行多组间比较，非正态分布的数据则进行 Kruskal-Wallis ANOVA 检验，比较个体间的鸣唱差异。采用 SPSS for Windows 14.0 软件统计分析数据，文中平均数以 Mean \pm SE 的方式表示。

3 结 果

3.1 鸣唱特征

对黄腹山雀每只个体的领域鸣唱进行分析，共测量了 580 个鸣唱句子的特征参数，得到 56 种音节型 (图 3)，黄腹山雀的每个鸣唱句子均为相同音节的不断重复，故有 56 种鸣唱型。其每个句子的音节重复次数平均为 2.63 ± 0.21 个，每个句子包含的音素个数平均为 6.29 ± 0.65 个，每个音节所

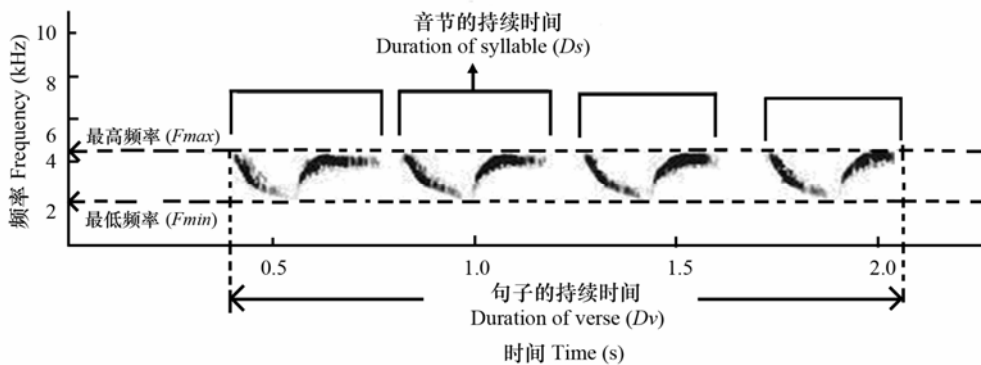


图 2 参数测量示意图
Fig. 2 Method of measuring the parameters

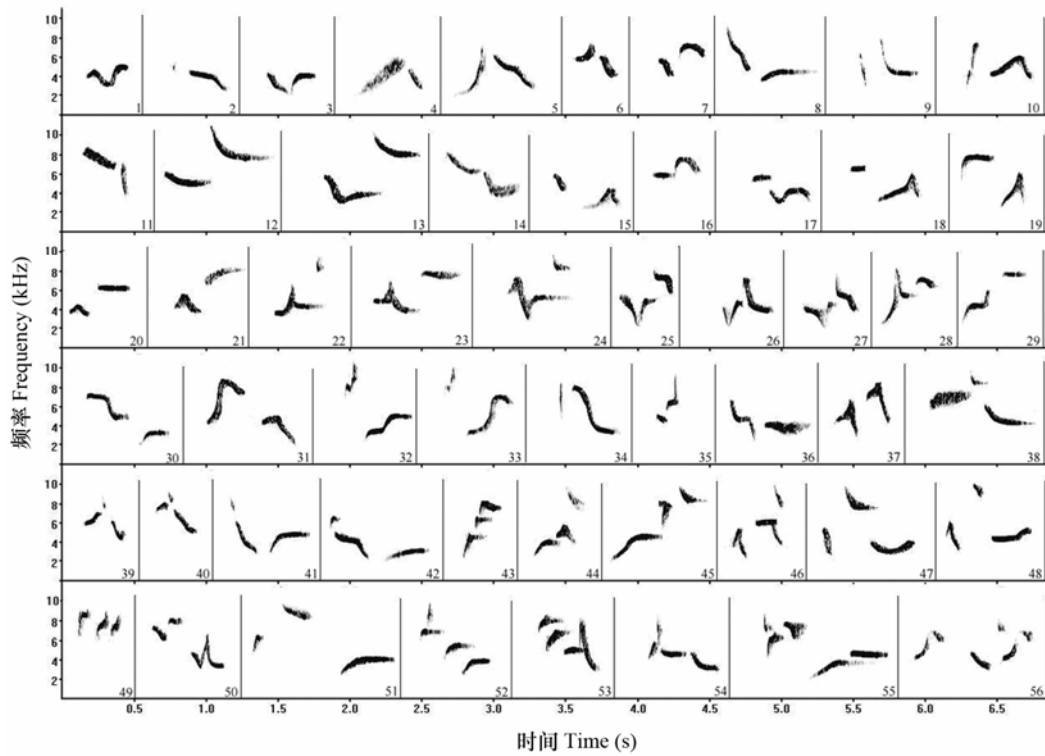


图 3 35 只黄腹山雀领域性鸣唱的 56 种音节型 (按照每个音节型包含的音节数由少到多编排)

Fig. 3 56 syllable types in territory songs of 35 Yellow-bellied Tit individuals

包含的音素个数平均为 2.46 ± 0.11 个。其领域性鸣唱的时间和频率特征见表 1, 句子和音节的持续时间变异系数最大, 其次是频宽。

黄腹山雀的音节类型数与采样个体数 ($r=0.973$, $P=0.000 < 0.05$) 呈显著正相关, 说明随着录音个体数的增加, 所采集到的黄腹山雀的音节类型数量也

随之增加, 但增加到一定值时, 音节类型数的增加逐渐趋于平缓 (图 4), 采用 Logarithmic 线性模型对曲线进行拟合后得出拟合方程 $Y = -7.72 + 17.17 \ln X$ ($R^2=0.990$, $P=0.000 < 0.05$)。受样本量所限, 同域分布的大山雀、褐头山雀、煤山雀、沼泽山雀的曲目大小还不能准确估计。

表 1 黄腹山雀鸣唱时间和频率特征参数及其变异系数

Tab. 1 Song characteristic parameters and variation coefficient of Yellow-bellied Tit

	句子的持续时间 D_v (s)	音节的持续时间 D_s (s)	句子的最高频率 F_{max} (kHz)	句子的最低频率 F_{min} (kHz)	句子的频宽 F_b (kHz)
样本量 Sample size	35	35	35	35	35
平均值±标准误(范围) Mean±SE (range)	1.11 ± 0.07 (0.16—2.65)	0.41 ± 0.02 (0.16—0.57)	8.00 ± 0.13 (6.22—9.95)	3.04 ± 0.12 (2.21—5.15)	4.96 ± 0.20 (1.31—6.60)
变异系数 (%) Variation coefficient	39.29	25.48	10.24	24.56	24.47

对 2006 年录制的五种山雀的鸣唱特征进行比较, 发现黄腹山雀的鸣唱句子最短 ($D_v=0.83 \pm 0.48$), 频率较高 ($F_{max}=7.64 \pm 1.01$, $F_{min}=3.27 \pm 1.13$), 句子中音节的重复次数最少 ($N_{s,v}=2.0 \pm 0.2$), 且没有起始音节和颤音 (表 2)。

3.2 鸣唱的个体差异

选取鸣唱测量数大于 15 句的 11 只个体进行了领域性鸣唱 6 个参数进行了比较。11 只个体的数据不符合正态分布, 故采用非参数统计检验, 检验结果显示个体的领域性鸣唱在句子和音节的持

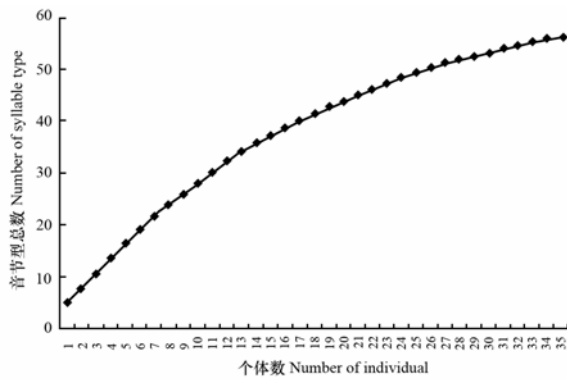


图 4 黄腹山雀个体数与音节类型总数关系图

Fig. 4 The correlation of the number of syllable type with individual Yellow-bellied Tits

续时间、最高和最低频率、频宽、句子包含的音节数和音素个数上差异显著(Kruskal-Wallis test, $P < 0.05$)(表 3)。

在所录制的个体中, 第 28、42、44、54 等 4 种音节(图 3) 分别被 5—7 只个体共享, 有 12 种音节被 3—4 只个体共享, 其余 40 种音节则分别被 1

—2 只个体共享。由多个个体共享的 4 种音节中, 同一种音节的语图结构在个体内比较稳定, 变异较少, 而在不同个体间存在着明显的变异, 其变异包括时间修饰及频率修饰, 如 42、54 两种音节(图 5), 但有关音节在鸣唱句中的重复次数则未发生变化。

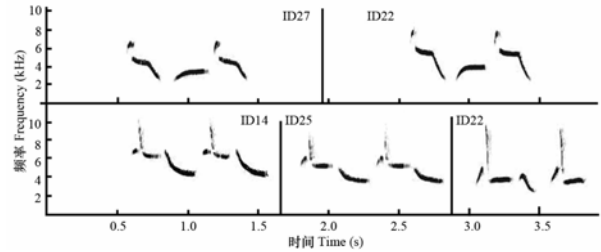


图 5 不同个体的音节变异

Fig. 5 Syllable variation in different individuals

ID 为不同黄腹山雀个体的编号, 其中 ID27 和 ID22 为第 42 种音节的变异, ID14、ID22 和 ID25 为第 54 种音节的变异。

ID is the number of the different individuals, ID27 and ID22 is the variation of the syllable 42, ID14、ID22 and ID25 is the variation of the syllable 54.

表 2 2006 年录制的同域分布的 5 种山雀鸣唱特征

Tab. 2 Song characteristic of 5 tit species collected in the same area in 2006

物种 Species	句子的持续时间 D_v	句子的最高频率 F_{max}	句子的最低频率 F_{min}	句子的音节数 $N_{s,v}$	起始音节 Introductory syllable	颤音 Trill	各句的最大音节型数 Max. number of syllable types
黄腹山雀 <i>Parus venustulus</i>	0.83±0.48	7.64±1.01	3.27±1.13	2.0±0.2	—	—	1
大山雀 <i>P. major</i>	1.93±1.11	7.75±0.63	3.02±0.58	4.8±1.0	—	+	1
褐头山雀 <i>P. songarus</i>	1.06±0.29	4.46±0.83	3.12±0.24	2.9±0.4	+	—	2
煤山雀 <i>P. ater</i>	2.18±1.06	6.86±1.62	3.05±0.42	5.7±1.1	—	—	1
沼泽山雀 <i>P. palustris</i>	1.61±0.29	7.08±1.56	2.57±0.65	7.6±0.3	—	—	1
<i>P</i>	0.003	0.000	0.694	0.003			

—表示该物种鸣唱不存在此特征; +表示该物种鸣唱存在此特征。

“—”show the species doesn't have this characteristic; “+”show the species have this characteristic.

表 3 黄腹山雀的领域性鸣唱的个体差异分析 (Kruskal-Wallis test)

Tab. 3 Differences in analyses of territory song among yellow-bellied tit individuals

	D_v	F_{max}	F_{min}	F_b	$N_{s,v}$	$N_{n,v}$
Chi-Square	142.558	27.113	46.554	29.995	157.127	126.497
<i>df</i>	10	10	10	10	10	10
<i>P</i>	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000

4 讨 论

黄腹山雀的领域鸣唱结构较为简单, 每个句子全部为同一音节的多次重复, 故其鸣唱复杂性的表现形式属于平稳过渡型 (eventual variety) (Hartshorne, 1956, 1973; Lei et al, 2003), 如 AAA... BBB..., 即黄腹山雀鸣唱的多样性主要表现在音节类型的多样性上。

大多数鸣禽都拥有由多种句子组成的曲目, 约 72% 具有鸣唱行为的鸟类能够鸣唱一种以上的音节型或鸣唱型 (MacDougall, 1997)。曲目可分为音节曲目和鸣唱曲目两种类型, 由于黄腹山雀的鸣唱句子为相同音节的不断重复, 故其鸣唱曲目与音节曲目大小相等。曲目的大小可量化鸟类鸣唱的复杂性和变异性, 其大小和声谱结构是鸟声比较研究的基础, 常被用来比较物种间鸣唱的相似性和差异性 (Catchpole & Slater, 1995)。目前估计曲目大小最常用的方法是 Wildenthal (1965) 在分析小嘲鸫 (*Mimus polyglottus*) 时提出的指数分析法, 这种方法以录制的句子总数和音节型总数绘图, 随着所分析的句子不断增多, 音节总数的增加会越来越来少, 所绘曲线的水平渐近线便可近似地认为是该物种曲目的实际大小。此外, Catchpole (1995) 还提出了捕获—再捕获法 (capture-recapture techniques)。我们参考上述方法, 通过 Excel 宏编程, 以随机选取个体的方法, 做出个体总数和增加了新音节型后的音节类型总数的曲线, 曲线基本趋于水平, 依据水平渐近线可基本推断黄腹山雀实际的音节曲目接近于 56 种, 表明本研究收集的样本可以较好地反映本地区黄腹山雀的鸣唱情况。

对黄腹山雀不同个体的领域性鸣唱的比较发现, 在时间、频率和句子的音节重复次数上都存在显著的个体差异。而同一音节型在不同的个体中也存在着变异, 变异发生在时间和频率特征的调整上, 个体间的音节变异进一步丰富了黄腹山雀鸣唱的多样性。黄腹山雀为小龙门地区优势种, 密度较大, 不同个体的鸣唱差异可能是繁殖竞争在鸣唱上的体现, 同一个音节的变异可能与个体改变鸣唱的某些特征以凸显自己有关 (Jiang & Chen, 2006), 也可能是不同个体保卫领域的方式和兴奋程度不同所致 (Nowicki et al, 2002)。

不同鸟类的鸣唱存在着个体差异, 这些差异可保证种内识别 (Catchpole & Slater, 1995; Marle & Isaac, 1960), 而同一种群中, 不同成员间也存在个

体差异 (Lovell & Lein, 2004)。已知领域性鸟类通过鸣声的个体差异能够识别邻居和陌生者 (Rebbeck et al, 2001; Bard et al, 2002), 而且能够区分不同的邻居个体 (Godard & Wiley, 1995; Blumenrath et al, 2007)。黄腹山雀个体间的音节变异程度高于个体内, 不同个体的鸣唱间存在显著差异, 表明种内可以通过鸣唱特征进行个体识别。这种个体鸣唱差异主要受到领域质量、遗传状态和生理状态等因素影响 (Wang et al, 2003)。

物种的分化和新种的形成有赖于两个亲缘种群中生殖隔离机制的建立, 或依赖种群的基因突变产生新的种群。与其他脊椎动物相比, 鸟类种间的遗传距离小 (Johnson & Zink, 1983), 通过遗传变异产生新种的几率很小。大多数情况下, 鸟类繁殖隔离的发展不涉及染色体的变化 (Shields, 1987)。因此鸟类近缘种的物种分化, 通常依赖环境隔离形成。对于鸣禽, 特别是雀形目某些科属的鸟类, 由于鸣声在繁殖过程中的重要作用, 使得某些亲缘种群之间一旦出现隔离机制, 造成基因流的中断, 随着时间的推移, 鸣声差异逐渐形成。当两个隔离种群再次相遇时, 由于鸣声差异造成无法识别、繁殖受阻, 最终导致生殖隔离的建立和新种的形成 (Lei & Wang, 2002)。因此, 鸣声差异为确立鸟类分类地位 (Robbins & Stiles, 1999; Zhang et al, 2006; Alström et al, 2007) 和探讨新种形成、种系发生历史 (Bretagnolle, 1995; Baptista & Krebs, 2000; Packert et al, 2005) 的重要依据和手段。

北京小龙门地区同域分布的 5 种山雀在食性、栖息地利用等方面都很相近, 但鸣唱特征存在明显不同。如褐头山雀的最大频率明显低于其他 4 种山雀, 具起始音节, 且有些句子由 2 种音节组合而成, 推测与其他 4 种山雀亲缘关系较远一些, 这与 Frederick et al (1992)、Salzburger et al (2002) 和 Zink (2005) 基于分子生物学的研究结果一致。黄腹山雀的音节结构和句法组成与大山雀接近, 且其形态也非常接近, 表明黄腹山雀和大山雀可能存在较近的亲缘关系。以上只是一些初步的结果, 关于山雀之间的鸣声分化尚需采集更多的声音资料进行深入分析。同时需要指出的是, 由于鸟类的鸣唱特征在鸣唱学习的过程中可能受到环境、文化传承 (cultural evolution) 等因素的影响, 这些影响会模糊系统演化关系 (McCracken & Sheldon, 1997; Packert et al, 2003), 因此, 仅靠鸣唱特征分析还不

能精准阐明种间的亲缘关系, 还要借助回放 (playback) 研究以及形态学、行为生态学、分子遗传学等综合分析。

参考文献:

- Alström. P, Olsson U, Pamela CR, Chengte Y, Ericson PGP, Sundberg P. 2007. Morphological, vocal and genetic divergence in the *Cettia acanthizoides* complex (Aves: Cettiidae) [J]. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **149**: 437-452.
- Baptista LF, Krebs R. 2000. Vocalizations and relationships of Brown Creepers *Certhia americana*: a taxonomic mystery [J]. *Ibis*, **142**: 457-465.
- Bard SC, Hau M., Wikelski M, Wingfield JC. 2002. Vocal distinctiveness and response to conspecific playback in the spotted antbird, a Neotropical subsong [J]. *The Condor*, **104**: 387-394.
- Blumenrath SH, Dabelsteen T, Pedersen SB. 2007. Vocal neighbour - mate discrimination in female great tits despite high song similarity [J]. *Animal Behaviour*, **73**: 789-796.
- Braaten RF, Petzoldt M, Cybenko A. 2007. Recognition memory for conspecific and heterospecific song in juvenile zebra finches, *Taeniopygia guttata* [J]. *Animal Behaviour*, **73**: 403-413.
- Bretagnolle V. 1995. Systematics of the Soft-plumaged Petrel *Pterodroma mollis* (Procellariidae): New insight from the study of vocalizations [J]. *Ibis*, **137**: 207-218.
- Catchpole CK, Slater PJB. 1995. Bird Song: Biological Themes and Variations [M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dowse HB, Taly BC. 2004. The role of courtship song in sexual selection and species recognition by female *Drosophila melanogaster* [J]. *Animal Behaviour*, **68**: 1165-1180.
- Frederick H, Sheldon, Beth Slikas, Kinnarney M, Frank B, Gill, Zhao E, Silverin B. 1992. DNA-DNA hybridization evidence of phylogenetic relationships among major lineages of *Parus* [J]. *Auk*, **109**(1): 173-185.
- Godard R, Wiley RH. 1995. Individual recognition of song repertoires in two wood warblers [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **37**: 119-123.
- Hailman JP. 1989. The organization of major vocalization in the paridae [J]. *Wilson Bulletin*, **101**(2): 305-343.
- Hartshorne C. 1956. The monotony threshold in singing birds [J]. *Auk*, **34**: 69-76.
- Hartshorne C. 1973. Born to sing: An interpretation and world survey of bird song[M]. Bloomington: Indiana University Press, 304.
- Jiang SR, Chen SH. 2006. Variations in Songs of Brownish-flanked Bush-Warblers (*Cettia fortipes*) Within a Single Habitat[J]. *Zool Res*, **27** (5): 473-480 [J]. [姜仕仁, 陈水华. 2006. 同一生境中强脚树莺鸣声的个体差异及多样性. *动物学研究*, **27** (5): 473-480.]
- Johnson NK, Zink RM, 1983. Speciation in sapsuckers (*Sphyrapicus*) [J]. *Auk*, **100**: 871-884.
- Kumar A. 2003. Acoustic communication in birds-differences in songs and calls, their production and biological significance [J]. *Resonance*, 44-56.
- Lei FM, Wang G. 2002. An approach to differentiation and speciation of birds based on vocalization[J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, **27** (3): 641-648. [雷富民, 王 刚. 2002. 鸟类鸣声行为对其物种分化和新种形成影响. *动物分类学报*, **27** (3): 641-648.]
- Lei FM, Wang G, Yin ZH. 2003. The diversity and complexity of birdsong [J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, **28** (1): 163-171. [雷富民, 王 刚, 尹祚华. 2003. 鸟类鸣唱的复杂性与多样性. *动物分类学报*. **28** (1): 163-171.]
- Lovell SF, Lein MR. 2004. Song variation in a population of alder flycatchers [J]. *Journal of Field Ornithology*, **75**: 146-151.
- MacDougall S. 1997. Sexual selection and the evolution of song repertoires. In: *Current Ornithology*[J]. *New York: Plenum Press*, **14**: 81-124.
- Marle P, Isaac D. 1960. Song variation in a population of Brown Towhees [J]. *The Condor*, **62**(4): 272-283.
- Martens J, Tietze DT, Eck S, Veith M. 2004. Radiation and species limits in the Asian Pallas' s warbler complex (*Phylloscopus proreguluss* s.l.) [J]. *Journal of Ornithology*, **145**: 206-222.
- McCracken KG & Sheldon FH. 1997. Avian vocalizations and phylogenetic signal. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **94**: 3833-3836.
- Nelson DA, Poesel A. 2007. Segregation of information in a complex acoustic signal: Individual and dialect identity in white-crowned sparrow song [J]. *Animal Behaviour*, **74**: 1073-1084.
- Nowicki S, Searcy WA, Krueger T, Hughes M. 2002. Individual variation in response to simulated territorial challenge among territory-holding song sparrows [J]. *Journal of Avian Biology*, **33**: 253-259.
- Päckert M, Martens J, Eck S, Nazarenko AA, Valchuk OP, Peter B, Veith M, 2005. The great tit (*Parus major*): A misclassified ring species [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, **86** (2): 153-174.
- Päckert M, Martens J, Kosuch J, Nazarenko AA, Veith M. 2003. Phylogenetic signal in the song of Crests a Kinglets (Aves: *Regulus*) [J]. *Evolution*, **57**(3): 616-629.
- Päckert M, Martens J, Sun YH, Veith M. 2004. The radiation of the *Seicercus burkii* complex and its congeners (Aves: Sylviidae): Molecular genetics and bioacoustics [J]. *Organisms, Diversity & Evolution*, **4**: 341-364.
- Rebeck M, Corrick R, Eagleston B, Stainton C. 2001. Recognition of individual European nightjars *Caprimulgus europaeus* from their song [J]. *Ibis*, **143**: 468-475.
- Robbins MB, Stiles FG. 1999. A new species of pygmy-owl (Strigidae: *Glaucidium*) from the Pacific slope of the northern Andes [J]. *Auk*, **116**: 305-315.
- Salzburger W, Martens J, Alexander AN, Sun YH, Dallinger RS. 2002. Phylogeography of the Eurasian Willow Tit (*Parus montanus*) based on DNA sequences of the mitochondrial cytochrome b gene [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **24**: 26-34.
- Shields GF. 1987. A population and ecological approach [J]. *Avian Genetics*, State 79-104.
- GB/T 3974-1996, Acoustical Terminology[S]. Standard of the P. R. China. [GB/T 3974-1996, 声学名词术语. 国家标准.]
- Sun X, Wang L. 2001. Ecological analysis and classification of forest bird communities at Xiaolongmen, Beijing [J]. *Chinese Journal of Ecology*, **20**(5): 25-31. [孙忻, 王 丽. 2001. 北京小龙门森林鸟类群落划分与生态分析. *生态学杂志*, **20**(5): 25-31.]
- Tu HW, Liu-Severinghaus L. 2004. Geographic variation of the highly complex Hwamei (*Garrulax canorus*) songs [J]. *Zoological Studies*, **43**(3): 629-640.
- Wang AZ, Lei FM, Jia ZY. 2003. Female Choice and Evolution of Male Songs in Birds [J]. *Zool Res*, **24**(4): 305-310. [王爱真, 雷富民, 贾志

- 云. 2003. 雌性选择与雄鸟鸣唱的进化. 动物学研究, **24**(4): 305-310.]
- Wildenthal JL. 1965. Structure in primary song of the mockingbird (*Mimus polyglottus*) [J]. *Auk*, **82**: 161-189.
- Zhang YY, Wang N, Zhang J, Zheng GM. 2006. Acoustic difference of narcissus flycatcher complex. [J]. *Acta Zoologica Sinica*, **52**(4): 648-654.
- Zhao ZJ. 2001. The Avifauna of China (2nd Vol: Passeriformes)[M]. Jilin: Jilin Science & Technology Press. [赵正阶. 2001. 中国鸟类志(下卷: 雀形目). 吉林: 吉林科学技术出版社.]
- Zheng GM. 2005. A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of China[M]. Beijing: Science Press. [郑光美. 2005. 中国鸟类分类与分布名录. 北京: 科学出版社.]
- Zink RM. 2005. Natural selection on mitochondrial DNA in *Parus* and its relevance for phylogiographic studies [J]. *Proc R Soc B*, **272**: 71-78.



附照 1 黄腹山雀 *Parus venustulus*

全长约 10 cm。雄鸟头部及喉、胸黑色, 头侧具大型白斑, 枕部有一白色沾黄的块斑。背蓝灰色。飞羽暗褐色, 翼上具两条白色沾黄的翅斑。尾羽和尾上覆羽黑色。体腹面黄色。雌鸟额、头顶、眼先和背灰绿色, 喉、两颊及耳羽白色, 下体淡黄沾绿色。

栖息于海拔 500—2 000 m 的山地, 活动于高大的针叶树和阔叶树上或穿梭与灌丛间, 主要取食昆虫, 也吃植物性食物。4 月开始繁殖, 在洞中营巢, 每窝产卵 5—7 枚, 卵白色, 具红色或褐色点斑。我国特有种, 在华中、华东、华南和东南地区为留鸟, 在北京地区为夏候鸟, 数量较多。