

河北塞罕坝褐柳莺鸣唱特征分析

刘建平^① 张振群^② 谷德海^② 禡来坤^① 侯建华^{②*}

① 河北农业大学动物科技学院 保定 073100; ② 河北大学生命科学技术学院 保定 073100

摘要: 2014年7月至8月,在天气良好的情况下,每天上午5:00至10:00时,利用TASCAM DR-680型录音机外接Sennheiser ME67话筒,录制了河北塞罕坝林场处于繁殖期的褐柳莺(*Phylloscopus fuscatus*)鸣声。录音的采样精度为16 bit,采样频率设置为44.1 kHz。共获得41只个体清晰可供分析的录音,平均每只个体录到(47 ± 16)句录音。利用Raven pro分析软件测量鸣唱参数,如每个句子和音节的最低频率、最高频率、起始频率及终止频率、持续时间和音节(音素)个数。进行统计分析后,发现河北地区褐柳莺鸣唱语句包含两种类型,句型较单一不变的S-song和句型多变的V-song。褐柳莺鸣唱句子的最高频率为(7.04 ± 0.89) kHz,最低频率为(1.75 ± 0.30) kHz,起始频率为(4.53 ± 2.00) kHz,终止频率(3.22 ± 1.43) kHz,句子的持续时间(1.24 ± 0.32) s,由(6.50 ± 1.91)个音节组成。基于语图上音节形态的差异,共发现49种不同的音节类型,每只个体鸣唱中使用2到30种音节类型。

关键词: 褐柳莺; 鸣唱; 音节类型

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 02-207-07

Song Characteristics Analysis of the Dusky Warbler (*Phylloscopus fuscatus*) at Saihanba in Hebei

LIU Jian-Ping^① ZHANG Zhen-Qun^② GU De-Hai^② MA Lai-Kun^① HOU Jian-Hua^{②*}

① College of Animal Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 073100; ② College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 073100, China

Abstract: The dusky warbler (*Phylloscopus fuscatus*) is a summer migrant at Saihanba Forest Farm in Hebei Province, where it mainly inhabits in thin forests or thickets along the streams. During July to August 2014, we recorded dusky warbler songs between 5:00 a.m. and 10:00 a.m. within a distance of 10 meter in fine days in the breeding season. We used a TASCAM DR-680 recorder and a Sennheiser ME67 microphone with a Rycote Softie windshield to record the songs at a 44.1 kHz sampling rate and 16-bit depth. Sonagrams were generated by Raven Pro sound analysis software. We got voices from 41 males, with an average of 47 ± 16 songs from each individual. Original measurements were taken to record the start and end time, start and end frequency, as well as the minimum and maximum frequency of each song. Count the numbers of the notes in

基金项目 河北省自然科学基金项目 (No. C2012204087), 河北大学自然科学研究计划项目 (No. 2014-299);

* 通讯作者, E-mail: 13633325718@163.com;

第一作者介绍 刘建平, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态学; E-mail: 1096135059@qq.com.

收稿日期: 2015-08-19, 修回日期: 2015-12-10 DOI: 10.13859/j.cjz.2016020006

the song by eye within Raven. For each syllable, the start and end time, start and end frequency, the minimum and maximum frequency were also measured. The measurements of the syllable were used for discriminant analysis to ensure the objectivity of syllable classification. We found the dusky warbler at Saihanba had two distinct kinds of songs, one was individually specific, stereotype song type (S-song); the other was highly variable song type (V-song) (Fig. 1). The maximum and minimum song frequency were 7.04 ± 0.89 kHz and 1.75 ± 0.30 kHz, beginning and ending song frequency were 4.53 ± 2.00 kHz and 3.22 ± 1.43 kHz, with duration of songs being 1.24 ± 0.32 s and 6.50 ± 1.91 syllables in each song (Table 1). Altogether 49 syllable types were found based on the structure in sonagrams of 41 males (Fig. 2), and 2 to 30 syllable types for each male. We analyzed the correlation of the number of syllable types with the number of songs from 10 males with most number of songs, and found the number of syllable types increased with more number of songs, and became stable when over 40 songs (Fig. 3).

Key words: Dusky warbler, *Phylloscopus fuscatus*; Bird song; Syllable types

鸣唱是一种复杂的声行为, 在鸟类的生活中起着重要作用 (Baker 2001, Slater 2003)。特别是夜行性的鸟类和茂密生境中的鸟类, 由于光线和障碍物导致视觉信号的传递受限, 鸣唱在通讯中的作用更为显著 (Parejo et al. 2012, Rek 2013)。在北半球温带地区, 鸣唱多为雀形目雄鸟在繁殖季发出, 起到保卫领域和吸引配偶的作用 (Kroodsma et al. 1991)。一般认为, 鸣唱特征真实地反映了个体的质量, 雌鸟可依据雄鸟的鸣唱挑选出优质的配偶 (Forstmeier et al. 2002b, Lerch et al. 2011, Moseley et al. 2013, Searcy et al. 2014); 同时, 性选择的强度和方向, 也影响了鸣唱特征的演化 (Price et al. 2004)。故此, 了解鸟类的鸣唱特征, 对理解鸟类配偶选择的机制、性选择性状的演化, 起到重要作用。

我国柳莺属鸟类资源较为丰富, 其形态特征相似且体形小巧, 很难辨认, 一般是综合鸣声、分布及栖息环境等因素来进行种的辨认 (李金林等 2009)。褐柳莺 (*Phylloscopus fuscatus*) 隶属于雀形目莺科柳莺属, 是长途迁徙的食虫鸟类, 体色较单一, 呈灰褐色, 雌雄异型在体型大小上体现并不明显, 冬季见于亚洲东南部 (Forstmeier 2002)。在河北塞罕坝的活动时间为 5 月底到 9 月初, 多栖息于溪流沿岸的疏林与灌丛。

在褐柳莺鸣声特征的研究方面, Forstmeier 和 Blasby (2002a) 将褐柳莺的所有语句分为两种类型: 句型较单一不变的 S-song 和句型多变的 V-song, 并研究了两种句型的鸣唱特征和它们的生态学意义; Ivanitskii 等 (2012) 对褐柳莺与巨嘴柳莺 (*P. schwarzi*) 广告性鸣唱进行了研究, 发现两个物种鸣声的基本特征虽然看起来相似, 但是两个物种都具有各自典型的颤音结构, 褐柳莺鸣唱句型随机, 没有固定的顺序, 巨嘴柳莺鸣唱句型固定, 具有特定顺序; Martens 等 (2008) 对来自于中国青海和西伯利亚两个地方的 16 只褐柳莺的鸣声进行了比较, 发现两个地方褐柳莺鸣唱的语法和曲目大小都存在显著性差异, 青海地区褐柳莺鸣唱颤音类型比西伯利亚地区更加复杂。虽然有关褐柳莺鸣声的研究并不少, 但对于褐柳莺的鸣唱特征尚缺乏详细报道, 且不同地区褐柳莺鸣声特征可能也存在差异。因此, 本文以分布在我国塞罕坝地区的褐柳莺为研究对象, 对其鸣唱特征进行了详细研究, 以期深入了解该物种的鸣唱特征提供基础资料。

1 方法与材料

1.1 研究地区和物种

本研究在河北省承德的塞罕坝 ($42^{\circ}02' \sim 42^{\circ}36'N$, $116^{\circ}51' \sim 117^{\circ}39'E$) 开展。该地位于

河北省最北部,与内蒙古接壤,是重要的天然次生林与人工林林区。此地区气候寒冷,年均气温 -1.4°C ,无霜期 60 d,积雪长达 7 个月,属寒温带大陆性季风气候。高原、山地兼备,森林、草原并存,区域内生态环境复杂多样,为野生动物的生存和繁殖提供了理想场所。

研究对象为该地区的夏候鸟,主要活跃于塞罕坝河流沿岸的茂密灌丛中,繁殖季节站在灌木中发出响亮的鸣唱,尤以日出前后鸣唱最为频繁。其上体橄榄褐色,眉纹棕白色,贯眼纹暗褐色;颞、喉白色,其余下体皮黄色白色沾褐色,两肋和胸较明显,以上特征与褐柳莺的体征相符;录制研究对象鸣声生成语图,并与褐柳莺及其近缘易混淆物种巨嘴柳莺和棕眉柳莺 (*P. armandii*) 的语图 (Forstmeier et al. 2002a, b, 李金林等 2009, Tietze et al. 2015) 进行比较,语图与 Forstmeier 等 (2002b) 关于褐柳莺研究工作的语图基本相似,确定其为褐柳莺。

1.2 野外数据收集

2014 年 7 月至 8 月,采用 DR-600 型便携式数字录音机 (Tascam, 日本) 和外接强指向性话筒 (MKH416 P48, Sennheiser Electronic, 德国) 对褐柳莺的自发鸣唱进行录音。录音的采样精度 (sample width) 设置为 16 bit, 采样频率 (sampling frequency) 设置为 44.1 kHz。录音在 05:00 ~ 10:00 时进行。每个个体鸣声的录制时间约 10 min。为获得高质量的录音,录音时距目标褐柳莺的距离小于 10 m。录音结束后,用 GPS (型号 R600, 集思宝, 中国) 记录鸣唱个体的位置。为避免假重复,每个录音个体之间的距离相隔足够远,或是能同时观测到多个鸣唱的个体,以确保不会重复录音。共获得 41 只个体清晰的可供分析的声音,平均每个个体录音 (47 ± 16) 句 (22 ~ 80 句)。

1.3 数据的量化与分析

利用 Raven Pro 声音分析软件 (版本 1.4, Raven, 美国) 生成语图。参数设置为:快速傅里叶变换 (FFT length) = 256 points, 汉宁窗口

(Hann window), 重叠 (overlap) = 50%, 频率分辨率 (frequency resolution) = 172 Hz, 时间分辨率 (time resolution) = 2.9 ms。参照相关研究 (肖华等 2008, 覃歆等 2011), 本文使用的鸣声术语如下 (图 1)。

音素 (note): 语图上表现为一段连续的曲线, 是鸣唱的最基本单位。

音节 (syllable): 固定组合在一起的音素, 并在一个句子中多次重复出现。

句子 (song): 包含多个音节的连续段落, 句子间通常有明显的间隔。

每个句子测量 6 个变量: 句子的持续时间、句子的最高频率、句子的最低频率、句子的起始频率、句子的终止频率、句子中的音节数量。为避免测量语句多的个体权重过大的影响, 在鸣唱变量的描述性统计时, 利用每个个体的均值计算总体均值。

依据音节在语图上的结构, 划分音节的类型。褐柳莺鸣唱的语句多为单一音节的重复构成 (图 1), 故在每个语句中挑选一个音节, 测量音节的最高频率、音节的最低频率、音节的持续时间、音节的起始频率、音节的终止频率、音节中的音素数量, 并利用判别分析, 检验音节划分的客观性。

统计分析利用 R (版本 3.2.1, R Development Core Team, 2015) 完成。数据用“平均值 \pm 标准差”的形式表示。所有检验在 $P < 0.05$ 时认为有显著差异。

2 结果

褐柳莺鸣唱的每个语句由同样的音节重复构成, 不同语句构成的音节类型不同。句子的起始和终止频率在个体间变异较大 (变异系数均为 0.44), 约是句子最高频率和最低频率在个体间变异程度 (变异系数分别为 0.13 和 0.17) 的 3 倍 (表 1)。

基于 41 只个体的 1 957 个鸣唱语句, 通过语图的音节结构, 共划分出 49 种音节类型 (图 2)。判别分析显示, 音节类型划分的准确

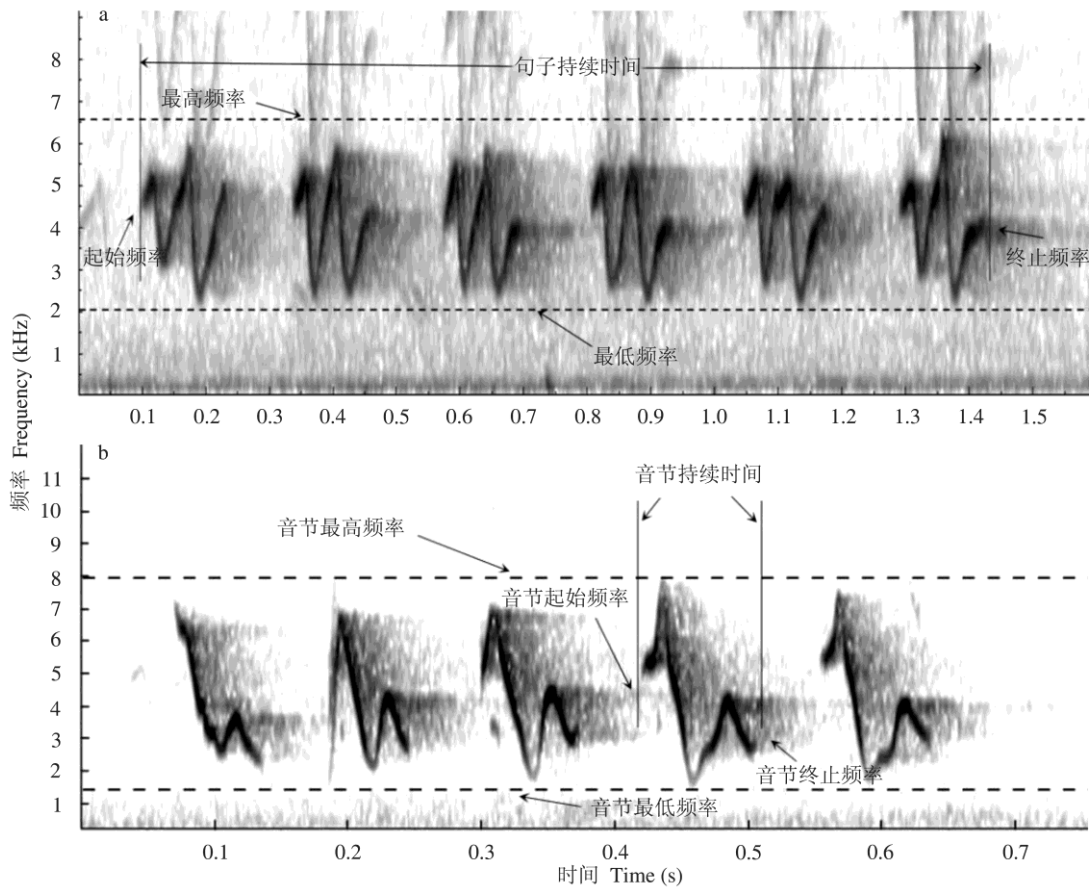


图 1 褐柳莺的鸣唱语图

Fig. 1 Sonagram of the Dusky Warbler at Saihanba, Hebei

a. S-song 型鸣唱的语图; b. V-song 型鸣唱的语图。a. S-song spectrum of dusky warbler; b. V-song spectrum of dusky warbler.

句子持续时间. Song duration; 最高频率. High frequency; 最低频率. Low frequency; 起始频率. Start frequency; 终止频率. End frequency.

表 1 褐柳莺鸣声特征参数

Table 1 Song characteristic parameters of dusky warbler

	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	范围 Range	样本量 <i>n</i> Sample size
句子持续时间 Duration of song (s)	1.24 ± 0.32	0.13 ~ 3.30	41
句子最高频率 High frequency of song (kHz)	7.04 ± 0.89	4.46 ~ 9.53	41
句子最低频率 Low frequency of song (kHz)	1.75 ± 0.30	1.22 ~ 3.20	41
句子起始频率 Start frequency of song (kHz)	4.53 ± 2.00	1.38 ~ 9.22	41
句子终止频率 End frequency of song (kHz)	3.22 ± 1.43	1.59 ~ 8.00	41
音节个数 Number of syllables per strophe	6.50 ± 1.91	3.00 ~ 16.00	41

率达到 77%。每一种音节类型至少被 3 个个体共享，其中第 47 号音节类型共享率最高，被

25 个个体共享。每个个体所拥有的音节类型在 2 至 30 之间。

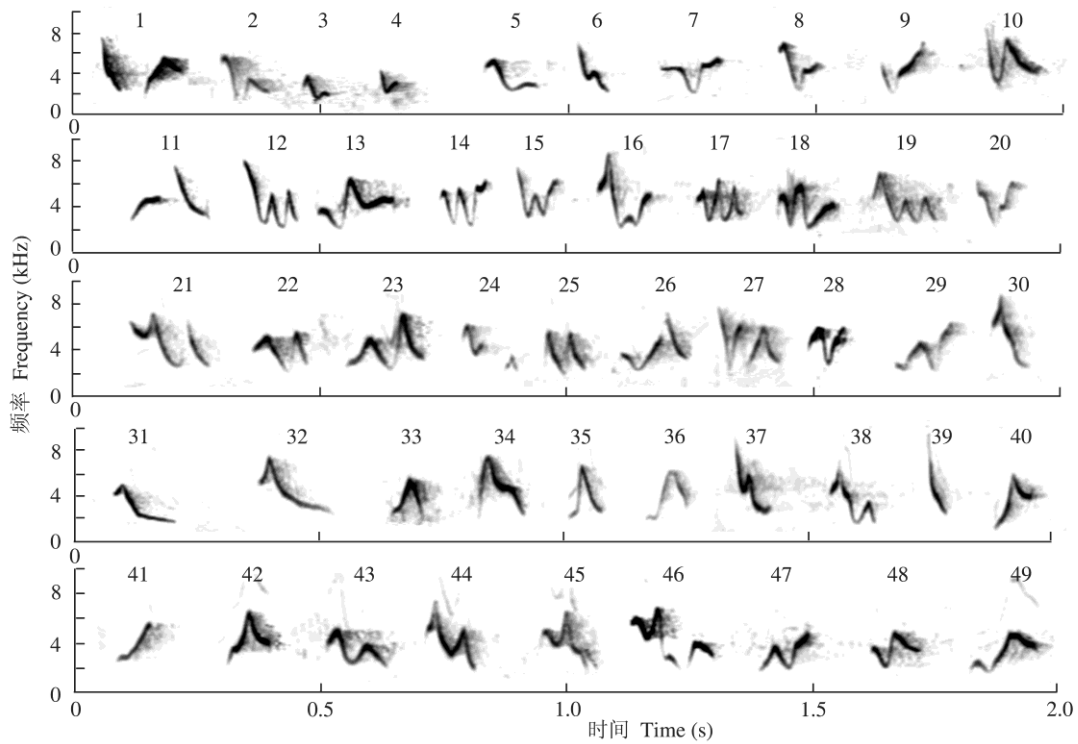


图 2 41 只褐柳莺的 49 种音节类型

Fig. 2 49 syllable types of territory songs of 41 Dusky Warbler individuals

图中不同编号代表不同类型的音节。The numbers represent different types of syllables.

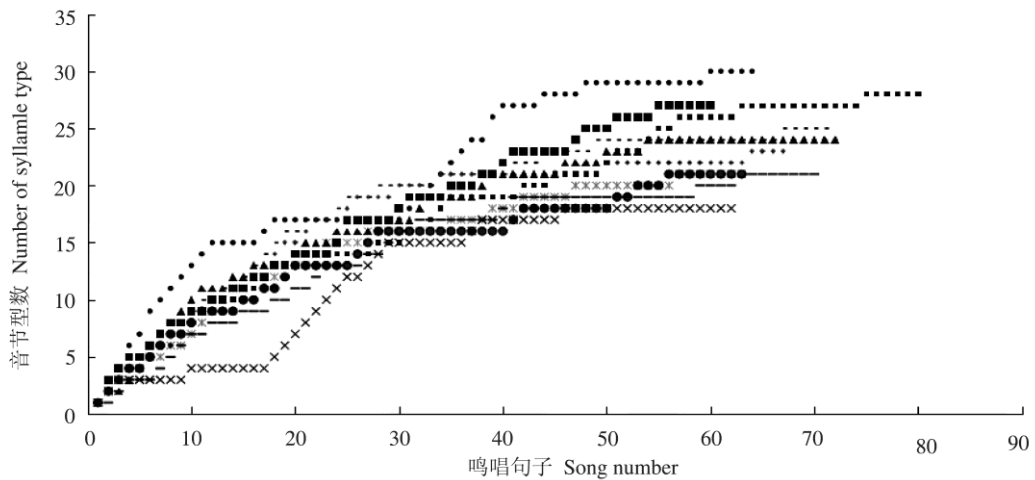


图 3 褐柳莺个体鸣唱句子数与音节型曲目关系图

Fig. 3 The correlation of the number of syllable types with the number of songs of dusky warbler

选取录制句子数最多的 10 个个体,分析每只个体音节类型数量和录制句子数的关系。随着录制句子数的增加,个体音节类型数量也随

之增加,但是句子数超过 40 以后,音节类型总数逐渐趋于稳定(图 3)。在全部的 41 只褐柳莺个体录音中,平均每个个体获得录音(47 ±

16) 句, 66% 的个体录音数量超过 40 句, 已基本涵盖个体所有的音节类型。

3 讨论

鸣唱是雀形目雄鸟在繁殖季发出的重要的声行为, 起到保卫领域和吸引配偶的作用 (Kroodsma et al. 1991, Baker 2001, Slater 2003)。约 3/4 的鸟类在鸣唱中使用多种不同的句子 (Beecher et al. 2005)。本研究结果显示, 褐柳莺鸣唱的语句结构基本一致, 每个语句多是由同样的音节重复构成, 但构成不同语句的音节类型不同, 从而体现出鸣唱的多样性, 这与 Forstmeier 等 (2002a) 研究的远东地区褐柳莺种群基本一致。在语句类型上同样表现出句型较单一不变的 S-song 和句型多变的 V-song; 在句子音节个数上, 本文句子的平均音节个数为 (6.50 ± 1.91) 个, 与 Forstmeier 等 (2002a) 所得的 V-song 句型音节个数 (6.01 ± 1.84) 和 Ivanitskii 等 (2012) 所得 (5.7 ± 1.6) 个相差均不大; 在音节型的划分上, 本文 49 种和 Forstmeier 等 (2002a) 的 205 种存在巨大差异, 这可能是由于样本量相差较大造成的, 本文为 41 个, Forstmeier 为 115 个。但是在个体曲目大小上, 本文为 2 ~ 30 个, Forstmeier 等 (2002a) 为 1 ~ 27 个, 结果非常相似。褐柳莺鸣声研究的意义上, Forstmeier 等 (2002a) 明确了两种句型的功能, S-song 用于领域防御, V-song 用于宣告雄性质量, 其回放实验和父权分析的结果显示, 褐柳莺雌鸟偏爱与能够维持高振幅鸣唱的雄鸟交配, 且鸣唱高质量 V-song 的雄鸟能获得更多婚外配机会, 产生更多的后代。但是在他的文章中没有明确褐柳莺鸣唱的基本特征 (Forstmeier et al. 2002a), 如最高频率、最低频率、句子持续时间、句子音节个数、起始和终止频率等。本研究测量了这些最基本的特征, 对褐柳莺鸣唱的基本特征进行了分析。鸟类的鸣唱特征往往和雌性偏爱有关 (Wasserman et al. 1991, Hasselquist et al. 1996, Buchanan et al. 1997)。对于褐柳莺的配

偶选择, 虽然 Forstmeier 等 (2002a, 2002b) 已经揭示了其雌鸟偏爱鸣唱高振幅句子和高质量 V-song 句型雄鸟交配, 但是褐柳莺的配偶选择和鸣唱句子频率、句子时间、音节个数及曲目大小的关系仍然不清楚。褐柳莺的鸣唱特征是否能够暗示雄性质量, 在雌性配偶选择上是否起作用仍有待研究。

本研究结果显示, 褐柳莺鸣唱的不同特征在个体间的变异程度很大, 如起始和终止频率的变异系数约是最高频率和最低频率的 3 倍, 这可能与选择压力对鸣唱的作用方式有关。鸟类鸣唱为了更好的传播, 需适应所在的环境 (Boncoraglio et al. 2007)。如城市生活和溪流附近的鸟类, 由于所在环境中低频背景噪音较大, 多使用频率较高的声音鸣唱 (Slabbekoorn 2013); 在茂密生境中, 高频声音更易因折射而衰减, 栖息其中的鸟类多用低频率的鸣声 (Bertelli et al. 2002)。在我们的研究地, 褐柳莺多在滦河沿岸茂密的灌丛中栖息, 鸣唱传播过程中受到水流噪声和植物枝叶折射的双重影响, 而声音的极值 (最高、最低频率) 更容易受到选择压力 (如噪声和折射) 的作用 (Slabbekoorn et al. 2003), 这可能导致了褐柳莺鸣唱的最高和最低频率在个体间趋于保守、变异程度较低。在 Ivanitskii 等 (2012) 研究的远东地区, 褐柳莺栖息于叶尼塞河沿岸的灌丛及针叶林中, 栖息地环境与本地区相似, 声音极值与本文亦有相似的结果。

致谢 北京师范大学生命科学院张雁云教授和夏灿玮老师在实验设计、数据分析和写作等方面给予热情的帮助, 在此表示诚挚地谢意!

参 考 文 献

- Baker M C. 2001. Bird song research: The past 100 years. *Bird Behavior*, 14(1): 3-50.
- Bertelli S, Tubaro P L. 2002. Body mass and habitat correlates of song structure in a primitive group of birds. *Biological Journal of the Linnean Society*, 77(4): 423-430.
- Beecher M D, Brenowitz E A. 2005. Functional aspects of song

- learning in songbirds. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(3): 143–149.
- Boncoraglio G, Saino N. 2007. Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology*, 21(1): 134–142.
- Buchanan K L, Catchpole C K. 1997. Female choice in the sedge warbler, *Acrocephalus schoenobaenus*: multiple-cues from song and territory quality. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 264(1381): 521–526.
- Forstmeier W. 2002. Benefits of early arrival at breeding grounds vary between males. *Journal of Animal Ecology*, 71(1): 1–9
- Forstmeier W, Balsby T. 2002a. Why mated dusk warblers sing so much: territory guarding and male quality announcement. *Behaviour*, 139(2): 89–111.
- Forstmeier W, Kempnaers B, Meyer A, et al. 2002b. A novel song parameter correlates with extra-pair paternity and reflects male longevity. *Royal Society of London*, 269(1499): 1479–1485.
- Hasselquist D, Bensch S, von Schantz T. 1996. Correlation between male song repertoire, extra-pair paternity and offspring survival in the great reed warbler. *Nature*, 381 (6579): 229–232.
- Ivanitskii V V, Marova I M, Malykh I M. 2012. Between order and chaos: contrasting syntax in the advertising song of Dusky (*Phylloscopus fuscatus*) and Radde's (*Ph. schwarzi*) Warblers. *Journal of Ornithology*, 153(2): 337–346.
- Kroodsmas D E, Byers B E. 1991. The function(s) of bird song. *Integrative and Comparative Biology*, 31(2): 318–328.
- Lerch A, Roy P, Pachet F, et al. 2011. Closed-loop bird-computer interactions: a new method to study the role of bird calls. *Animal cognition*, 14(2): 203–211.
- Moseley D L, Lahti D C, Podos J. 2013. Responses to song playback vary with the vocal performance of both signal senders and receivers. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 280(1768): 20131401.
- Martens J, Sun Y H, Päckert M. 2008. Intraspecific differentiation of Sino-Himalayan bush-dwelling *Phylloscopus* leaf warblers, with description of two new taxa (*P. fuscatus*, *P. fuligiventer*, *P. affinis*, *P. armandii*, *P. subaffinis*). *Vertebrate Zoology*, 58(2): 233–265.
- Parejo D, Avilés J M, Rodríguez J. 2012. Alarm calls modulate the spatial structure of a breeding owl community. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1736): 2135–2141.
- Price J J, Lanyon S M. 2004. Patterns of song evolution and sexual selection in the oropendolas and caciques. *Behavioral Ecology*, 15(3): 485–497.
- Rek P. 2013. Soft calls and broadcast calls in the corncrake as adaptations to short and long range communication. *Behavioural Processes*, 99: 121–129.
- Searcy W A, Akcay C, Nowicki S, et al. 2014. Aggressive signaling in song sparrows and other songbirds//Naguib M, Barrett L, Brockmann H J, et al. *Advances in the Study of Behavior*. Amsterdam Netherlands: Elsevier, 46: 89–125.
- Slabbekoorn H. 2013. Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. *Animal Behaviour*, 85(5): 1089–1099.
- Slabbekoorn H, Peet M. 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise - Great tits hit the high notes to ensure that their mating calls are heard above the city's din. *Nature*, 424(6946): 267–267.
- Slater P J B. 2003. Fifty years of bird song research: a case study in animal behaviour. *Animal Behaviour*, 65(4): 633–639.
- Tietze D T, Martens J, Fischer B S, et al. 2015. Evolution of leaf warbler songs (Aves: Phylloscopidae). *Ecology & Evolution*, 5(3): 781–798.
- Wasserman F E, Cigliano J A. 1991. Song output and stimulation of the female in white-throated sparrows. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 29(1): 55–59.
- 肖华, 周智鑫, 王宁, 等. 2008. 黄腹山雀的鸣唱特征分析. *动物学研究*, 29 (3): 277–284.
- 李金林, 吕楠, 孙悦华. 2009. 棕眉柳莺鸣唱声谱分析及其地理差异的初步研究. *动物学杂志*, 44(1): 122–127.
- 覃歆, 王乙霞, 何田, 等. 2011. 灰眉岩鹀 (*Emberiza godlewskii*) 的鸣唱特征分析. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 47(4): 405–408.