

棕眉柳莺鸣唱声谱分析及其地理差异的初步研究

李金林 吕楠 MARTENS Jochen 孙悦华 *

(中国科学院动物研究所 北京 100101; 美因茨大学 德国)

摘要: 2002、2005、2007年5~8月,在甘肃莲花山、宁夏贺兰山和内蒙阿拉善贺兰山等自然保护区对棕眉柳莺(*Phylloscopus amandii*)的鸣唱进行了采集,共录到18只108 min的鸣声。通过声谱分析,棕眉柳莺鸣唱的频率范围在2.63~6.32 kHz之间;音素数平均为 5.56 ± 2.47 ($n=124$);持续时间为 (1.07 ± 0.30) s ($n=124$),最长可达2.68 s。棕眉柳莺鸣唱音节之间的间隔时间差异较大,范围在2~18 s之间;从18只个体共589个音节中总结出61种音节类型,其中37种为共享音节,24种为特有音节,分别占总数的60.7%和39.3%。不同棕眉柳莺个体的鸣唱音节类型组成不同,没有任何两只棕眉柳莺个体的音歌曲目完全一致。莲花山和内蒙贺兰山两个地区内个体之间的音节相似性系数存在显著差异($P=0.001$)。通过对棕眉柳莺鸣唱的地理变异分析,发现越是邻近分布的个体其鸣唱也越相似。

关键词: 棕眉柳莺;鸣唱结构;声谱分析

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2009)01-122-06

Primary Research on Geographical Variance of Song Spectrum of Yellow-streaked Warbler

LI Jin-Lin LÜ Nan MARTENS Jochen SUN Yue-Hua *

(Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China;
University of Mainz, Germany)

Abstract: The songs of Yellow-streaked Warbler (*Phylloscopus amandii*) were collected at Lianhuashan Mountain in Gansu, Helan Mountain in Inner Mongolia and Ningxia between May and August in 2002, 2005 and 2007. Totally 108 minutes of songs from 18 individuals were analyzed. The frequency of songs of the Yellow-streaked Warbler ranged from 2.63 to 6.32 kHz; the average notes number was 5.56 ± 2.47 ($n=124$); duration of the syllable was 1.07 ± 0.30 s ($n=124$), with the longest of 2.68 s. The interval timing varied from each other significantly, with a range of 2-18 s. Sixty one syllable types had been summed up from 18 individuals, a total of 589 syllables, of which 37 shared by 2 individuals at least, and also 24 kinds of specific syllable, accounting for 60.7% and 39.3% respectively. By checking the song spectrogram, none of them had the exactly same repertoire with the others. According to the Jaccard's similarity coefficient (S_j), there were significant differences between Lianhuashan Mountain and Alashan ($P=0.001$). The results of geographic variation analysis showed that the more adjacent the distribution of its neighbors, the more similar their songs would be.

Key words: Yellow-streaked Warbler (*Phylloscopus amandii*); Song structure; Spectrum analysis

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30620130110);

*通讯作者, E-mail: sunyh@ioz.ac.cn;

第一作者介绍 李金林,男;研究方向:雀形目鸟类生态学和行为学;E-mail: lijnlin@ioz.ac.cn。

收稿日期:2008-07-11,修回日期:2008-11-20

鸟类鸣声分析在物种级水平的分类学研究上具有重要意义,可以分析、比较物种间及同一种的不同种群之间的亲缘关系,并探讨新种形成的种系发生历史等^[1,2]。英国的 British Library、澳大利亚的 Australian National Wildlife Collection、美国的 Macaulay Library 等都已有了较为详细的鸟类声学数据资料库。在我国,鸟类声学研究起步较晚,较为系统的鸟类声谱分析研究报道尚不多见^[3,4];且国内缺乏系统的鸟类鸣声数据库,这使得国内鸟类声学方面一直无法进行更加深入的研究。

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,很难辨别,一般是综合鸣声、分布及栖息环境等因素来进行种的辨认。棕眉柳莺(*Phylloscopus amandii*)隶属于雀形目莺科,主要分布于我国,冬季见于缅甸、老挝和泰国,为不常见的候鸟。繁殖于中国北部及中部、缅甸北部,越冬至中国南方、缅甸南部及印度支那北部^[5]。本文主要目的在于通过分析野外采集的棕眉柳莺鸣叫声的声谱,整理该种鸟类的鸣唱类型,为今后更为深入的研究打下基础,此外还对该种鸟类在不同地区个体鸣唱差异程度进行了初步的探讨。

1 研究地区及方法

莲花山自然保护区位于甘肃省康乐、卓尼、临潭三县交界处,北纬 34°56' ~ 34°58', 东经 103°44' ~ 103°48', 最高海拔 3 578 m, 坡度在 20° ~ 40° 之间。年平均降水量为 621 mm, 无霜期为 115 ~ 133 d。该区植被为洮河上游的水源涵养林, 植被类型因坡向不同而存在显著差异。阴坡主要为云冷杉针叶林, 阳坡为草地或低矮灌丛。洮河林业局大峪沟林场位于甘肃省南部卓尼县境内, 东经 103°26', 北纬 34°27', 森林植被主要为云冷杉针叶次生林及少量原始针叶林。内蒙古阿拉善贺兰山自然保护区(简称内蒙古阿拉善自然保护区)位于内蒙古阿拉善盟阿拉善左旗境内, 东经 104°12' ~ 106°16', 北纬 39°40' ~ 40°57', 东西最大跨度 175 km, 南北最长 123 km, 总面积 1 071 548.5 hm²。宁夏贺兰山自然

保护区苏峪口景区距银川市 40 km, 植被以针叶林为主, 海拔 1 500 ~ 3 500 m。

在内蒙古阿拉善贺兰山自然保护区、甘肃莲花山自然保护区、甘肃大峪沟、宁夏苏峪口贺兰山自然保护区、四川九寨沟和陕西老县城自然保护区 6 个地区采集到 18 只棕眉柳莺的鸣声样本, 详细情况见表 1。

本文对音节的划分所采用的标准: 相邻音素间隔在 0.02 ~ 0.10 s 的视为一个音节, 间隔 1 s 以上的视为不同音节^[1]。对全部声音样本的语图进行目测判定, 通过比较每个音节的形状及其频率范围和时间范围上的分布来区分不同音节类型。不同音节类型之间的差异应该是显著和不连续的。对于音节类型的划分按如下原则来进行: 首先, 根据是否有颤音将其分为两类, 分别以 A 和 B 来表示; 其次, 对每类音节根据其音素类型数来划分, 分别以罗马数字 I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI、XII 表示; 最后, 在相同音素类型数中将相同或近似的归为一类, 以 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 表示。每个音素类型的命名(序号)都包括以上三部分, 如“A 1 1”。颤音一般是以多个呈斜线状的音素构成, 音素之间的间隔小于 0.02 s。

在划分音节类型时, 为确保数据的准确性, 分别由两人独立完成。然后将结果进行对比, 将划分不同的音节通过协商使意见一致再进行划分, 两人不能解决的请第三人参与一起商讨完成。

本文采用 Jaccard 相似性系数^[6,7] (Jaccard's similarity coefficient, S_j) 来衡量个体间音节的共享程度: $S_j = a / (a + b + c)$, 其中, a 为个体 A 与个体 B 共享的音节类型数; b 为个体 A 所具有而个体 B 没有的音节类型数; c 为个体 B 所具有而个体 A 没有的音节类型数。每两个个体之间的相似性系数 (S_j) 的变化范围为 0 ~ 1, 当个体间 S_j 值为 0, 说明这两个个体之间不存在音节共享, 相应若 S_j 值为 1, 则这两个个体的音节类型完全相同。由于样本量的关系, 仅选取甘肃莲花山和内蒙古阿拉善自然保护区的棕眉柳莺样本进行对比分析。分别每隔 4 个音节

对两地采集的样本进行取样,并记录最高频率、最低频率、音素数、间隔时间和持续时间。运用

SPSS 软件分别对各项采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 进行差异度分析。

表 1 棕眉柳莺鸣声样本采集信息

Table 1 Detailed sampling information of songs of the Yellowstreaked Warbler

采集地点 Data collect location	采集时间(年-月) Data collect date (Year-month)	栖息环境 Habitat environment	海拔(m) Altitude	样本数(n) Sample number
内蒙古阿拉善* Inner Mongolia Alashan	2007-8	灌丛+针叶林 Shrub+conifer forest	2 400	6
甘肃莲花山 Gansu Lianhuashan	2002、2005、2007-5~8	灌丛+针叶林 Shrub+conifer forest	2 400~2 900	6
宁夏苏峪口 Ningxia Suyukou	2007-8	灌丛+阔叶林 Shrub+conifer forest	2 500	2
甘肃大峪沟 Gansu Dayugou	2007-7	灌丛+针叶林 Shrub+conifer forest	2 500	2
陕西老县城 Shaanxi Laoxiancheng	2005-5	灌丛+阔叶林 Shrub+conifer forest	1 700	1
四川九寨沟 Sichuan Jiuzhaigou	2005-5	灌丛+针叶林 Shrub+conifer forest	2 800	1

* 内蒙阿拉善有南寺和北寺两个采样点。There are two sample sits in South Temple and North Temple in Alashan.

野外通过 Sennheiser 方向话筒和 Sony WM-D6C 录音机进行声音采集,录到的声音利用计算机以 16 位 44 100 Hz 频率进行 A/D 数字化转换。用声音处理软件 BatSound 3.1 和统计软件 SPSS 13.1 对数据进行分析处理。

2 结果

2.1 棕眉柳莺的频谱特征 棕眉柳莺的鸣唱

清脆、响亮,特征较为明显,在野外很容易与其他鸟类区分(图 1)。所有录音样本($n = 124$)中,其组成音节的音素数最少 3 个,最多 15 个,平均为 (5.56 ± 2.47) 个;最高频率为 (6.32 ± 0.48) kHz,最低频率为 (2.63 ± 0.35) kHz;鸣唱音节的持续时间为 (1.07 ± 0.30) s,最长可达 2.68 s;间隔时间的差异较大,最小为 2 s,最大可达 18 s。

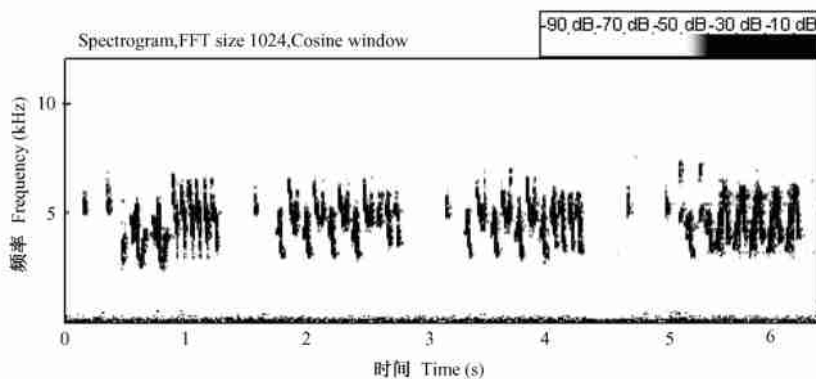


图 1 棕眉柳莺鸣唱示意图

Fig. 1 The song of Yellowstreaked Warbler with four syllables

2.2 棕眉柳莺的音节类型 总结 18 只棕眉柳莺的 589 个音节,共发现有 61 种音节类型,各种类型的语谱图见附录。每只个体所拥有的音节类型都不相同,为 3~16 个之间,平均为 (10.61 ± 0.61) 个 ($n = 61$)。其中,37 种音节至少被两只个体所共享,占总音节类型的 60.7%;24 种音节仅为某一个体所特有,占总音节类型的 39.3%;没有一种音节类型被所有个体共享。在所有音节类型中每个音节类型的出现频率不一样,其中出现频率最高的是 A₃, 占总数的 14.4%;其次是 A₁、A₂、A₆、A₇ 等几种音节类型,共占总数的 30.1%;而剩余的 56 种音节类型总共只占总数的 55.5%。

2.3 莲花山和阿拉善两地棕眉柳莺音节的共享与地理差异 在所有个体中,没有任何两只棕眉柳莺个体的音节类型完全一致。两个地区所有个体之间的 S_j 值为 0.194 ($n = 12$);莲花山保护区内所有个体之间的 S_j 平均值为 0.271 ± 0.082 ($n = 6$);阿拉善保护区内所有个体之间的 S_j 平均值为 0.143 ± 0.102 ($n = 6$)。两个地区内个体之间的音节相似性系数存在显著差异 ($P = 0.001$)。两地采样后的测量值如表 2 所示,通过单因素方差分析,发现两地区棕眉柳莺鸣唱在最低频率和间隔时间上有显著差异 ($P = 0.002, P = 0.001$);持续时间也存在一定的差异 ($P = 0.04$)。

表 2 莲花山、阿拉善两地棕眉柳莺鸣唱测量值比较

Table 2 Song quantitative property measurement for Yellow-streaked Warbler in Lianhuashan and Alashan

采集地 Data collect location	最高频率(kHz) Maximum frequency	最低频率(kHz) Minimum frequency	音素数 Number of notes	持续时间(s) Interval time	间隔时间(s) Duration time	样本数(n) Sample number
莲花山 Lianhuashan	6.31 \pm 0.36	2.25 \pm 0.31	5.40 \pm 2.84	1.11 \pm 0.32	4.93 \pm 3.06	40
阿拉善 Alashan	6.27 \pm 0.48	2.81 \pm 0.34	5.19 \pm 2.01	1.00 \pm 0.21	6.42 \pm 2.15	36

3 讨论

3.1 棕眉柳莺鸣唱的复杂性 已有研究表明,声音在森林生境中的衰减比在开阔生境要大,森林中 1 585~2 500 Hz 间的声音衰减程度最小,传播效果最佳,鸟类鸣唱声音的结构与栖息地类型有关^[8,9]。从声谱分析结果可以看出,棕眉柳莺鸣唱频率范围在 $(2.63 \pm 0.35) \sim (6.32 \pm 0.48)$ kHz ($n = 124$) 之间,与柳莺属其他鸟类相比,其鸣唱频率明显低于乌嘴柳莺 (*Phylloscopus magnirostris*)、冠纹柳莺 (*P. reguloides*) (李金林未发表数据)。棕眉柳莺主要栖息于海拔 3 200 m 以下的中低山区和山脚平原地带的森林及林缘灌丛中,尤以针叶林和杨桦林以及林缘与河边灌丛地带较常见^[5]。其鸣唱频率偏低的原因可能是对栖息地环境的适应结果。

有些鸟类鸣唱的音节构成比较简单,如云南柳莺 (*P. yunnanensis*)、乌嘴柳莺等皆由一种

音素组成(李金林未发表数据)。而棕眉柳莺的音节构成则相对复杂,大多数以音素复合体(由两个或两个以上的音素构成)的形式存在,无法拆分成音素作为一个音节。复杂的音节结构使棕眉柳莺的鸣唱具有较高的复杂性和多样性。

3.2 棕眉柳莺鸣唱的类型及其分类 本研究在音节水平上对棕眉柳莺的鸣唱进行了详细的归纳总结,共发现 61 种鸣唱音节类型,每种音节类型在分布上和出现频率上都不同。鸣唱的音节类型在每只个体中的分布范围为 3~16 个;而在出现频率上,最常出现的鸣唱音节类型占总数的将近一半(44.5%)。棕眉柳莺的鸣唱是由几个重复的或有所变化且出现频率不同的音节类型组成,其不同个体的鸣唱长度也不尽相同。

鸟类鸣声在鸟类研究中的应用越来越广泛,近年来更加受到国内、外学者的高度重视。例如在种内或种间的变异、物种界限的确定和新物种的确定等方面,鸟类鸣声研究的应用都

有重要意义^[2,10]。本研究的主要目地在于系统地整理分析棕眉柳莺的鸣唱类型,因而能否获得棕眉柳莺在各分布点具代表性的音节类型是至关重要的。理论上每种鸣禽鸣唱音节类型应该是有限的,因而获得棕眉柳莺的全部鸣唱音节类型是可以实现的。

如图 2 所示,以样本个数为自变量(X)、总结出的音节类型数(Y)为因变量,采用 Logistic 曲线拟合方法建立方程。决定系数 $R^2 = 0.977$ (接近于 1),作拟合优度检验,方差分析表明($F = 665.202, P = 0.000$)拟合度很好。Logistic 曲线方程为 $Y = (0.016 + 0.447X)^{-1}$,与肖华等对黄腹山雀(*Parus venustus*)的研究结果类似^[4],在起始阶段音节类型数随着个体样本数的增加呈递增趋势,当音节类型增加到一定阶段时,增加幅度就会有所减缓并逐渐趋于平衡,而趋于平衡时的音节类型数应该就是它的全部音节类型数。本文中所用到的样本量从拟合曲线上来看已经接近于最高值,也就是说,61 种音节类型已经接近其全音节,但是相对棕眉柳莺的分布点来说,本研究的采样点仍显不足,在其他分布点应该还有新的音节类型,这需要在以后的工作中不断进行补充完善。

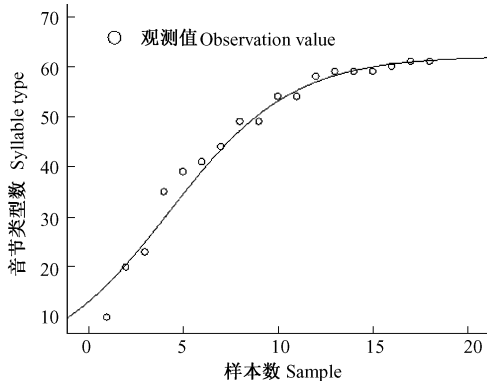


图 2 棕眉柳莺鸣唱音节类型数与样本数的拟合 Logistic 曲线

Fig. 2 The Logistic curve fitted the correlation between syllable types of Yellow-streaked Warbler and number of samples

3.3 棕眉柳莺鸣唱音节类型的地理变异 地理变异分为微地理变异和宏地理变异两种,本

文讨论的是宏地理变异。所谓宏地理变异是指存在于相隔很远的各地理种群间的差异,各种群的个体彼此之间不会有交流^[8]。甘肃省莲花山和内蒙古阿拉善保护区两地之间相距 800 km 左右。

研究表明,棕眉柳莺的鸣唱在不同地区之间有一定差异,在数量性状参数和音节类型的共享两方面都有所表现。在本文选取的 5 个鸣唱数量性状参数中,最低频率和间隔时间有显著差异,持续时间的差异不是很大。在音节类型的共享方面,甘肃省莲花山保护区和内蒙古阿拉善保护区两地内个体间的相似性系数分别为 0.271 3 和 0.142 7,而两地区中所有个体之间的相似性系数为 0.194。甘肃莲花山的所有个体间都存在共享音节类型;内蒙古阿拉善的所有个体之间两两相对,其中有 4 对个体对不存在共享音节类型;而两地区所有个体之间两两相对,其中有 8 对个体对不存在共享音节类型。

杨晓菁对白头鹀(*Pycnonotus sinensis*)种群鸣唱的研究显示,越是邻近分布的白头鹀其音歌曲目的相似性越大*。关于棕眉柳莺在鸣唱音节类型的共享情况,甘肃莲花山的相似性程度要大于莲花山与内蒙古阿拉善两地区内所有个体间的相似性程度。但是,内蒙古阿拉善的个体共享程度小于两地区内所有个体间的共享程度,这可能是阿拉善的两个采样点相对较远所致,也可能是阿拉善有两个采样点使得样本量不够所致。关于棕眉柳莺鸣唱的地理变异还有待于进一步的研究和验证。

致谢 感谢杨帆协助声谱分析,感谢莲花山、贺兰山、九寨沟自然保护区,洮河林业局等的大力协助。

参 考 文 献

- [1] Mayr E. Césang and Systematik, Beitr. Vogelkunde, 1956, 5:

* 杨晓菁. 白头鹀种群的鸣唱结构及其鸣唱的地理变异. 北京:中国科学院研究生院博士学位论文. 2007.

112 ~ 117.

- [2] Lanyon W E. Vocal characters and avian systematics. In: Hinde R A ed. Bird Vocalizations. Cambridge: Cambridge University Press, 1969, 291 ~ 310.
- [3] 李佩珣, 于学锋, 李方满. 繁殖期黄喉鹀的领域鸣唱及其种内个体识别. 动物学研究, 1991, 12(2): 163 ~ 168.
- [4] 肖华, 周智鑫, 王宁等. 黄腹山雀的鸣唱特征分析. 动物学研究, 2008, 29(3): 277 ~ 284.
- [5] 赵正阶. 中国鸟类志 下卷 雀形目. 长春: 吉林科学出版社, 2001, 579 ~ 580.
- [6] Kerbs J R, Davis N B. An Introduction to Behavioural Ecology (3rd Edition). Oxford: Blackwell Press, 1993, 322 ~ 362.
- [7] Tracy T T, Baker M C. Geographer variation in syllables of House Finch songs. *AUK*, 1999, 116: 666 ~ 676.
- [8] Catchpole C K, Slater P J B. Bird Song: Biological Themes and Variation. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [9] Tubaro P L, Segura E T. Geographic, ecological and subspecific variation in the song of the Rufous-browed Peppershrike (*Cyclarhis gujanensis*). *Condor*, 1995, 97: 792 ~ 803.
- [10] Adkisson C S. Geographic variation in vocalizations and evolution of North American Pine Grosbeaks. *Condor*, 1981, B3: 277 ~ 288.

附录 棕眉柳莺 61 种音节类型

Appendix 61 syllable types of Yellow streaked Warbler

