

两种近缘鸟种麻雀和山麻雀的咬合力比较

霍娟^① 栗通萍^{①②} 陈光平^③ 牛楠^① 邵玲^① 梁伟^{①*}

① 热带动植物生态学省部共建教育部重点实验室, 海南师范大学生命科学学院 海口 571158; ② 北京林业大学自然保护区学院 北京 100083; ③ 贵州宽阔水国家级自然保护区管理局 绥阳 563300

摘要: 鸟类的咬合力受食性、种内竞争和捕食压力等多种生态因素的影响, 可作为其生态适应特征的重要指标。但目前关于鸟类的咬合力及其影响因素却鲜有研究, 为此, 我们使用咬合力传感器, 对同属的两个近缘鸟种, 麻雀 (*Passer montanus*) 和山麻雀 (*P. cinnamomeus*) 的咬合力进行了比较研究。结果表明, 山麻雀 ($n = 12$) 的咬合力显著大于麻雀 ($n = 59$) ($t = 3.754, P < 0.01$), 但山麻雀 ($t = 0.449, P > 0.05$) 和麻雀 ($Z = -1.198, P > 0.05$) 的雌雄个体间咬合力均无差异, 同时, 山麻雀的头宽 ($t = -3.713, P < 0.01$)、头高 ($t = -5.405, P < 0.01$) 和喙宽 ($t = -6.201, P < 0.01$) 均显著大于麻雀。尽管个体的咬合力与其身体各参数指标无显著相关性, 但在种间, 头和喙的大小可能是影响两者咬合力的重要因素, 由于两者的一些生态适应特征可通过头大小和喙型体现, 推测两者生境和食性的差异可能是影响其咬合力大小的主要原因。

关键词: 喙型; 咬合力; 生态适应; 山麻雀; 麻雀

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2016) 05-771-06

Comparison of Bite Force between Tree Sparrow (*Passer montanus*) and Russet Sparrow (*P. cinnamomeus*)

HUO Juan^① SU Tong-Ping^{①②} CHEN Guang-Ping^③ NIU Nan^① SHAO Ling^① LIANG Wei^{①*}

① Ministry of Education Key Laboratory for Tropical Plant and Animal Ecology, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158; ② College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083; ③ Guizhou Kuankuoshui National Nature Reserve, Suiyang 563300, China

Abstract: Bird bite force could be an indication of evolutionary adaptation in avian head and beak morphology, and thus an important indicator of ecological adaptation characteristic such as food type, intraspecific competition and predation pressure. However, there has been little work on bird bite force and its influencing factors. In this study, we compared bite forces of two sister sparrow species from the Passeridae family, the Tree Sparrow (*Passer montanus*) and Russet Sparrow (*P. cinnamomeus*), by using a bite force transducer. The results showed that bite force of Russet Sparrow ($n = 12$) was significantly stronger than that

基金项目 海南省普通高等学校研究生创新科研课题资助项目 (No. Hyb 2015-10);

* 通讯作者, E-mail: liangw@hainan.net;

第一作者介绍 霍娟, 女, 博士研究生; 研究方向: 鸟类行为生态; E-mail: huojuan007@126.com.

收稿日期: 2015-11-09, 修回日期: 2016-04-23 DOI: 10.13859/j.cjz.201605007

of Tree Sparrow ($n = 59$) (Fig. 1, $t = 3.754$, $P < 0.01$), however, there was no difference in sex of Russet Sparrow ($t = 0.449$, $P > 0.05$) or Tree Sparrow ($Z = -1.198$, $P > 0.05$) (Fig. 2). The head width ($t = -3.713$, $P < 0.01$), head depth ($t = -5.405$, $P < 0.01$) and beak width ($t = -6.201$, $P < 0.01$) of the Russet Sparrow were also much bigger than those of the Tree Sparrow (Table 1). Although our results showed that the bite force was not related to any body parameter in individuals of the two sparrow species (Table 2), it was indicated that head size and bill width might be related to the bite force in interspecific species competition. The difference in bite force of these two sparrow species may be due to their different habitats and food types. To the best of our knowledge, our work is the first quantitative study of bird bite force in China.

Key words: Beak morphology; Bite force; Ecological adaptation; Russet Sparrow, *Passer cinnamomeus*; Tree Sparrow, *P. montanus*

不同物种因生存环境的差异而面临不同的生态选择压力, 这些选择压力促使物种进化出与其相适应的性状特征, 而许多此类特征可以通过个体的咬合力体现出来 (Anderson et al. 2008, Badyaev et al. 2008)。因喙是鸟类重要的觅食器官, 自然选择在咬合力上的体现可通过喙型的进化间接表达出来, 在食种子鸟类中喙型的进化更加明显 (Herrel et al. 2010)。两者的这种关系在加拉帕戈斯群岛中不同岛屿上达尔文雀 (*Geospiza* spp.) 喙型的独立演化中表现得尤为明显, 不同岛屿上的达尔文雀为适应周围的生存环境而演化出不同形状的喙, 这些不同的喙型表现出来的咬合力大小有显著差异 (Podos 2001, Herrel et al. 2005a, b, 2010)。显然, 影响鸟喙形态的最主要因素是食物类型, 另外, 食物的可获得性、雄鸟的求偶行为以及种间竞争等因素也会对鸟类的喙型产生影响 (Gibbs et al. 1987, Grant et al. 2002)。觅食理论认为, 自然选择倾向于选择觅食效率更高的个体 (Krebs et al. 1997), 而咬合力大小是影响鸟类觅食成功率的重要因素之一, 咬合力越大的个体其觅食效率可能越高 (der Meij et al. 2006), 咬合力大小与个体的喙型, 头大小及形状密切相关 (Herrel et al. 2005b, Anderson et al. 2008)。

目前关于鸟类咬合力的研究较少, 仅在霸鹟科 (*Tyrannidae*) (Lederer 1975)、达尔文雀 (Herrel et al. 2005a, 2010)、梅花雀科

(*Estrildidae*) 和燕雀科 (*Fringillidae*) 部分鸟类 (der Meij et al. 2004), 以及家朱雀 (*Carpodacus mexicanus*) (Badyaev et al. 2008) 中有过研究, 而国内对鸟类咬合力的研究工作尚属空白。

麻雀 (*Passer montanus*) 和山麻雀 (*P. cinnamomeus*) (Mikovský 2011) 同属雀科 (*Passeridae*) 麻雀属, 是典型的食谷鸟类, 成鸟主要以谷类及各类植物的种子为食 (赵正阶 2001)。为了解两者在咬合力上的差异及影响其咬合力的主要因子, 我们使用咬合力传感器对两种麻雀的咬合力进行了定量比较。本研究是国内首次将咬合力传感器应用于鸟类咬合力的定量研究。

1 材料与方法

1.1 研究材料

本研究的对象为麻雀和山麻雀。麻雀雌雄同型, 其分布广、数量多, 是我国最常见的一种小型鸟类, 主要栖息在人居环境, 多与人类伴居。栖息海拔差异很大, 从海平面到 2 500 m, 在西藏地区甚至可达 4 500 m (赵正阶 2001)。山麻雀则雌雄异形, 在我国主要分布于青藏高原东部及华中、华南和华东到台湾, 与麻雀区别在于耳羽处无黑斑, 且多活动于山区林缘疏林、灌丛, 有时也到村镇和居民点附近的农田、河谷 (赵正阶 2001)。

1.2 测量仪器

测量咬合力使用的仪器由南京神源生智能科技有限公司生产, 仪器包括传感器、模拟数据采集卡和信号采集软件三部分。传感器 (S2-200NHL-001) 为动物口腔咬合力传感器, 工作温度 $-30 \sim 80^{\circ}\text{C}$, 量程 200 N (牛顿), 分辨力 10 mN , 满量程输出 3.15 mV/V , 精度 $0.5\% \text{ F.S.}$, 安全过载 $150\% \text{ F.S.}$ 。模拟数据采集卡是一款基于 USB2.0 接口的 24 位并行 NBIT-DUS-2404A 模拟数据采集卡, 可与带 USB2.0 接口的各式计算机连接, 配套专业的数据分析软件, 构成高性能的数据采集测量系统。通过电压采集, 工作温度 $0 \sim 60^{\circ}\text{C}$, 分辨率 24 位, 放大倍数 250 倍, 测量范围 $-12.5 \sim 12.5 \text{ mV}$ 。分析软件为应变式力传感器信号采集 DSU2404A 程序软件。数据采集卡连接电脑后, 将维度设置为 1 , 量程按实际测量值为准, 以咬合力数值不超过最大值和最小值范围为宜。力值的算法由生产厂家南京神源生智能科技有限公司提供, 计算公式为 $F_x = (U_x - Z_x) / D_x$, 其中, F_x 为咬合力, 单位为 N , D_x 表示传感器线性系数, 为常数 -7.4707446 , U_x 表示软件采集到的电压, 计算时取最大电压值, 即最大波峰的负数值, Z_x 表示传感器零点输出值, 即未测量时的水平值。

1.3 测量方法

动物季节性激素水平的差异会影响其咬合力, 如在繁殖期, 许多雄性动物的雄激素水平远高于雌性, 攻击性强, 咬合力也更大 (Herrel et al. 2006)。我们的研究开展于 2014 年 $8 \sim 9$ 月, 为两种麻雀的繁殖后期。用于研究的麻雀种群购自海口市东门花鸟市场, 均为来自海南本地的野生种群。山麻雀则在贵州宽阔水国家级自然保护区 ($28^{\circ}06' \sim 19^{\circ}\text{N}$, $107^{\circ}02' \sim 14^{\circ}\text{E}$) 通过网捕法获取。记录网捕个体的性别和各项身体参数, 测量咬合力后环志放飞。使用称重器 (香山电子口袋称 EHA501 , 精确至 0.01 g) 测量两种麻雀的体重, 用卡尺 (广陆电子数显卡尺, 精确至 0.01 mm) 测量两种麻雀的体长和头的长宽高以及喙的长宽高等参数。测量咬

合力时, 用传感探头轻碰其喙部, 刺激其咬住探头, 获得 3 次咬合力的波形文件后取 3 者中的最大咬合力值作为测量结果, 具体方法见 Herrel 等 (2005)。

1.4 数据统计与分析

所有数据统计检验均在 SPSS16.0 上进行。采用单样本 K-S 检验 (one-sample Kolmogorov-Smirnov test) 来分析数据的正态性。符合正态分布的用 T 检验来比较差异性, 不符合正态分布的则用 $\text{Mann-Whitney } U$ test 比较咬合力数据的均值。采用线性回归分析方法分析咬合力与身体各项参数间的关系。当统计结果 $P < 0.05$ 时, 为差异显著; $P < 0.01$ 为差异极显著; $P > 0.05$ 则差异不显著。除非特别说明, 所有均值为平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD), 所有检验均为双尾 (2-tailed)。

2 研究结果

麻雀的咬合力为 $(7.98 \pm 4.36) \text{ N}$ ($n = 59$), 山麻雀的咬合力为 $(13.63 \pm 6.45) \text{ N}$ ($n = 12$), 山麻雀的咬合力显著大于麻雀 ($t = 3.754$, $P < 0.01$) (图 1)。山麻雀的体长 ($P < 0.01$)、尾长 ($P < 0.01$) 和喙长 ($P < 0.05$) 均显著小于麻雀, 但头宽 ($P < 0.01$)、头高 ($P < 0.01$)、喙宽 ($P < 0.01$) 及嘴裂长 ($P < 0.05$) 等参数均

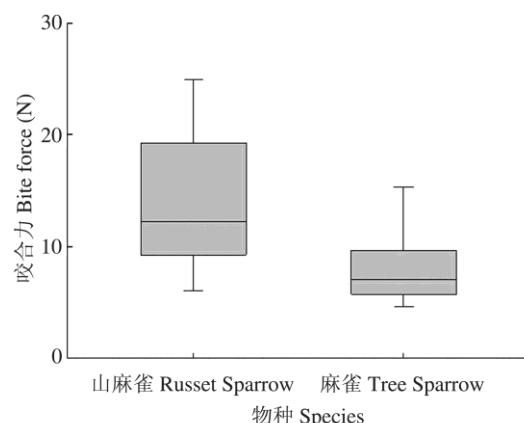


图 1 麻雀和山麻雀的咬合力比较

Fig. 1 Comparison of bite force between Tree Sparrows and Russet Sparrows

极显著大于麻雀；两者的其他身体参数无显著差异（表 1）。

麻雀雄鸟的咬合力为 $(8.68 \pm 4.73) \text{ N}$ ($n = 29$)，雌鸟为 $(7.29 \pm 3.93) \text{ N}$ ($n = 30$)，雌雄咬合力无显著差异 ($Z = -1.198, P > 0.05$)；山麻雀雄鸟咬合力为 $(12.99 \pm 7.66) \text{ N}$ ($n = 5$)，雌鸟为 $(14.86 \pm 6.22) \text{ N}$ ($n = 6$)，雌雄咬合力也无显著差异 ($t = 0.449, P > 0.05$)（图 2）。线性回归分析表明，两种麻雀的咬合力与性别及身体各参数均不相关，仅在种类间具有差异（表 2）。

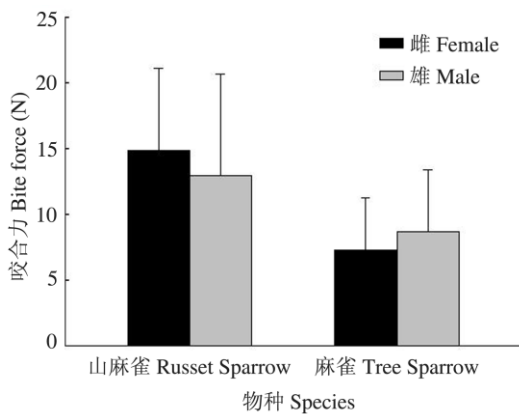


图 2 两种麻雀咬合力的雌、雄鸟比较

Fig. 2 Comparison of bite force between males and females in two Sparrow species

3 讨论

本研究是国内首次将咬合力传感器应用于鸟类咬合力的定量研究。结果表明，在两个近缘鸟种山麻雀和麻雀的咬合力比较中，山麻雀的咬合力及头宽、头高、喙宽等参数都显著大于麻雀，但两种麻雀咬合力大小并不受个体身体各相关参数的影响，仅在种类间有差异。尽管 Herrel 等（2005a, b）和 Sustaita 等（2014）的研究已经表明鸟类的头越大、喙越宽，则个体的咬合力越大，因为头越大的个体可以为牵引肌提供更大的附着面，同时喙越宽的个体，其喙被颌肌牵引的面积也相应增加（der Meij et al. 2004, Herrel et al. 2005a），但在本研究中没有发现在两种麻雀中存在这种相关性，不能认为两种麻雀的咬合力大小是由头、喙大小决定的，主要原因是因为两种麻雀种内数据的收集都来自同一地区，个体间的差异较小。

鸟类咬合力的间接影响因素主要包括食物类型、性选择、种内竞争以及捕食压力等因素（Grant et al. 2002）。相对食虫鸟类来说，食谷鸟类的咬合力对其觅食效率影响更大（Herrel et al. 2010），因为它们经常需要用喙基部压碎种子外壳才能获得食物，Badyaev 等（2008）的研究已经表明食种子鸟类的咬合力与其所食种子的坚硬程度相关。山麻雀的咬合力明显大于

表 1 麻雀与山麻雀的身体参数比较

Table 1 Comparison of body parameters between Tree Sparrows and Russet Sparrows

参数 Parameter	麻雀 <i>Passer montanus</i> ($n = 59$)	山麻雀 <i>P. cinnamomeus</i> ($n = 12$)	t/Z	P
体重 Weight (g)	17.22 ± 1.42	18.05 ± 1.10	-1.916	0.060
体长 Length (mm)	136.95 ± 4.36 ($n = 57$)	126.46 ± 7.64	4.599	0.001**
翅长 Wing (mm)	67.38 ± 2.01	66.61 ± 3.71	0.697	0.499
尾长 Tail (mm)	54.94 ± 1.84 ($n = 57$)	46.26 ± 3.56	8.210	< 0.001**
跗跖长 Tarsus (mm)	18.42 ± 1.13	18.12 ± 1.02	0.858	0.394
头长 Head length (mm)	29.53 ± 0.67	34.80 ± 15.82	-1.153	0.273
头宽 Head width (mm)	14.42 ± 0.67	15.70 ± 1.00	-3.713	< 0.001**
头高 Head depth (mm)	14.74 ± 0.67	15.93 ± 0.80	-5.405	< 0.001**
喙长 Bill length (mm)	11.65 ± 0.74	11.22 ± 0.77	0.969	0.075
喙宽 Bill width (mm)	7.67 ± 0.66	8.97 ± 0.66	-6.201	< 0.001**
喙高 Bill depth (mm)	7.34 ± 0.49	7.31 ± 0.22	0.324	0.748
嘴裂长 Rictus (mm)	13.37 ± 0.85	14.10 ± 1.00	-2.613	0.011*

两种麻雀相比，*差异显著，**差异极显著。

Comparison between tree sparrows and russet sparrows, * Significantly different, ** Highly significantly different.

表 2 两种麻雀的咬合力与其身体参数的回归分析

Table 2 Analysis of regression in bite force and body parameters in two Sparrow species

参数 Parameter	F	df	P
性别 Sex	0.14	1	0.711
种类 Species	17.15	1	<0.01
体重 Weight	0.07	1	0.794
体长 Body length	3.63	1	0.062
翅长 Wing	1.82	1	0.183
尾长 Tail	2.69	1	0.107
跗跖长 Tarsus	0.57	1	0.453
头长 Head length	0.43	1	0.513
头宽 Head width	0.37	1	0.544
头高 Head depth	1.14	1	0.291
喙长 Bill length	0.94	1	0.336
喙宽 Bill width	0.07	1	0.790
喙高 Bill depth	0.49	1	0.486
嘴裂长 Rictus	0.22	1	0.640

麻雀, 食物类型的差别可能是其主要影响因子。本研究中的山麻雀种群生活在贵州宽阔水保护区内, 其生境主要为林缘地带的灌丛、茶地和草丛等, 而麻雀种群则来自人类活动密集的乡镇, 两者生活环境相异决定了它们的食物类型的差别, 山麻雀的食物主要为各种野生植物种子, 而麻雀的食物来源则可能更多是来自各种农作物或是丢弃的食物残渣。同时, 两种麻雀咬合力的差别也可能是受种内竞争、性选择及捕食压力等因素的影响, 因为鸟类的咬合力大小可作为其攻击能力防御能力的一种可靠指标 (Møller et al. 2010), 咬合力越大的个体可能在内竞争、性选择及应对捕食者时拥有更大的优势。因此, 深入探讨影响咬合力的形态特征的进化适应性及其影响因子, 是未来鸟类咬合力研究的重点。

致谢 本研究得到贵州宽阔水国家级自然保护区的大力支持。海南师范大学硕士研究生周博协助部分野外工作。谨一并致谢!

参 考 文 献

Anderson R A, McBrayer L D, Herrell A. 2008. Bite force in vertebrates: opportunities and caveats for use of a nonpareil

whole-animal performance measure. *Biological Journal of the Linnean Society*, 93(4): 709–720.

Badyaev A V, Young R L, Oh K P, et al. 2008. Evolution on a local scale: developmental, functional, and genetic bases of divergence in bill form and associated changes in song structure between adjacent habitats. *Evolution*, 62(8): 1951–1964.

der Meij M A A V, Bout R G. 2004. Scaling of jaw muscle size and maximal bite force in finches. *Journal of Experimental Biology*, 207(16): 2745–2753.

der Meij M A A V, Bout R G. 2006. Seed husking time and maximal bite force in finches. *Journal of Experimental Biology*, 209(17): 3329–3335.

Gibbs H L, Grant P R. 1987. Oscillating selection in Darwin's finches. *Nature*, 327(6122): 511–513.

Grant P R, Grant B R. 2002. Unpredictable evolution in a 30-year study of Darwin's finches. *Science*, 296(5568): 707–711.

Herrel A, O'Reilly J C. 2006. Ontogenetic scaling of bite force in lizards and turtles. *Physiological and Biochemical Zoology*, 79(1): 31–42.

Herrel A, Podos J, Huber S K, et al. 2005a. Bite performance and morphology in a population of Darwin's finches: implications for the evolution of beak shape. *Functional Ecology*, 19(1): 43–48.

Herrel A, Podos J, Huber S K, et al. 2005b. Evolution of bite force in Darwin's finches: a key role for head width. *Journal of Evolutionary Biology*, 18(3): 669–675.

Herrel A, Soons J, Aerts P, et al. 2010. Adaptation and function of the bills of Darwin's finches: divergence by feeding type and sex. *Emu*, 110(1): 39–47.

Krebs J R, Davies N B. 1997. *Behavioural Ecology: An Evolutionary Approach*. 4th ed. Oxford: Blackwell Science Ltd.

Lederer R J. 1975. Bill size, food size, and jaw forces of insectivorous birds. *Auk*, 92(2): 385–387.

Mikovský J. 2011. Correct name for the Asian russet sparrow. *Chinese Birds*, 2(2): 109–110.

Møller A P, Nielsen J T. 2010. Fear screams and adaptation to avoid imminent death: effects of genetic variation and predation. *Ethology, Ecology & Evolution*, 22(2): 1–20.

Podos J. 2001. Correlated evolution of morphology and vocal signal

-
- structure in Darwin's finches. *Nature*, 409(6817): 185–188.
- Sustaita D, Rubega M A. 2014. The anatomy of a shrike bite: bill shape and bite performance in loggerhead shrikes. *Biological Journal of the Linnean Society*, 112(3): 485–498.
- 赵正阶. 2001. 中国鸟类志: 雀形目: 下卷. 长春: 吉林科学技术出版社.