

# 两种山鹡莺的春季换羽及尾羽变化

丁志锋<sup>①②</sup> 李 凯<sup>①②③</sup> 唐思贤<sup>③</sup> 胡慧建<sup>①②\*</sup>

① 广东省昆虫研究所 广州 510260; ② 广东省野生动物保护与利用公共实验室 广州 510260;

③ 华东师范大学生命科学学院 上海 200062

**摘要:** 换羽是鸟类为保证持续生存的重要过程。换羽策略与鸟类进化及对环境的适应紧密相关, 研究鸟类换羽特征, 对于了解鸟类的分类、系统发育、进化历史及其对环境的适应性等方面都有重要意义。2007年3月至9月, 在广东肇庆市江溪村对黄腹山鹡莺 (*Prinia flaviventris*) 和纯色山鹡莺 (*P. inornata*) 的春季换羽进行了研究。通过设置雾网捕捉2种山鹡莺, 对捕捉到的成体进行体重及身体量度的测量; 对飞羽及尾羽进行标记: 初级飞羽以翅尖的第一枚羽毛标记为“P1”, 次级飞羽以翅中部最外一枚标记为“S1”, 向内依次递增标记; 尾羽以中央两根最长尾羽为“T1”, 分别向两侧递增标记为“T2~T5”。采用单因素方差分析 (One way ANOVA) 对不同月份山鹡莺的体重值进行差异性检验, 对体重与月份进行 Pearson 相关分析, 对尾羽的长度和宽度进行 Pearson 偏相关分析 (控制变量: 体长)。研究结果表明: 1) 两种山鹡莺换羽期为3至5月, 持续时间约为60 d; 2) 两种山鹡莺春季换羽仅更换尾羽, 换羽模式均为离心型, 即中央一对尾羽最先开始替换, 然后向两侧由内到外逐次更替; 3) 两种山鹡莺的尾羽长度和宽度同步变化, 但绝大部分山鹡莺非繁殖期尾羽长度与繁殖期尾羽长度之比大于非繁殖期尾羽宽度与繁殖期尾羽宽度之比, 即繁殖期尾羽相对较宽; 4) 两种山鹡莺换羽期间体重大致呈现下降趋势, 但变化不显著 ( $P > 0.05$ )。推测两种山鹡莺通过增加食物的摄入来抵抗换羽期和繁殖期重叠而导致的能量消耗, 这可能与该地区丰富的食物资源有关, 并在一定程度上体现了两种山鹡莺换羽策略对环境的适应性。

**关键词:** 山鹡莺; 春季换羽; 换羽模式; 尾羽

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2015) 04-493-06

## Spring Moulting and Tail Changes of Two Wren Warbler Species

DING Zhi-Feng<sup>①②</sup> LI Kai<sup>①②③</sup> TANG Si-Xian<sup>③</sup> HU Hui-Jian<sup>①②\*</sup>

① Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260; ② Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Guangzhou 510260; ③ East China Normal University, Shanghai 200062, China

**Abstract:** Moulting is an essential process for the survival of birds. Moulting strategy is related to bird evolution, and adaptation. The moulting strategy of two wren warbler species yellow-bellied prinia (*Prinia flaviventris*) and plain prinia (*P. inornata*) was studied. Samples were collected by mist net at Jiangxi village,

**基金项目** 广东省科学院青年科学研究基金项目 (No. qnjj201405);

\* 通讯作者, E-mail: 13922339577@139.com;

**第一作者介绍** 丁志锋, 男, 博士; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: dingzhf@163.com。

收稿日期: 2014-12-26, 修回日期: 2015-04-01 DOI: 10.13859/j.cjz.201504001

Zhaoqing, Guangdong, China, from March to September, 2007. The measurements of body mass and feather characteristics were taken. The primary feathers were numbered one by one from the outermost (P1) to the innermost (P10), secondary feathers were numbered from the middle (S1) to the innermost (S9), and the tail feathers were numbered from the middle (T1) to each side (T5). The body mass difference between months was performed by one way ANOVA, Pearson correlation was employed to analyze the partial correlation between tail length and tail width (body length as the control variable). Our study found out 1) the two species of wren warbler started to partially change their body feather in March and ended in May within 60 days; 2) their tail feather was completely replaced in spring from the inner pair to the outward one (Fig. 1); 3) the tail length and tail width of the two wren warbler species changed synchronously (Table 1), and the ratio of tail length in the non-breeding season to that in breeding season was larger than the ratio of tail width in the non-breeding season to that in breeding season (Table 2), indicating the tail was broader in breeding season; 4) there was a trend that the two species reduced their body mass during mounting period although with no significant difference ( $P > 0.05$ ). We presumed that the two wren warbler species would increase their food intake to compensate the energy requirement in the period of breeding and moulting simultaneously occurred. This behavior may indicated that the moult strategy is an adaption to their habitat in which can provide rich food resource.

**Key words:** Wren warbler; Spring moulting; Moulting pattern; Tail

鸟类需要修复由机械性磨损、光化学过程及寄生虫导致的羽毛损伤，更换羽毛是鸟类为保证持续生存的重要过程 (de la Hera et al. 2010)。换羽和繁殖是最耗费能量的两个过程 (Hemborg et al. 1998)，成鸟利用 3 种策略来调控换羽和繁殖的能量平衡，换羽延至迁徙期间、加快换羽速度以缩短换羽期以及春季换羽与繁殖活动的重叠 (Porkert et al. 2012)。一方面，换羽策略的差异意味着进化的先后顺序，如 Svensson 等 (1999) 认为繁殖后启动换羽在西古北区莺类中是较原始状态；另一方面，换羽策略也是繁殖成功率最大化和个体持续生存最大化之间的最优权衡 (Holmgren et al. 1995)。换羽策略对于了解鸟类的进化、适应及其与环境的关系有重要意义。

与鸟类的繁殖、迁徙以及其他行为的研究相比，鸟类的换羽研究一直以来都较少受到学者的关注 (Newton et al. 2005)，尤其对换羽起始和持续时间的影响因素等，更加知之甚少。国内对换羽与繁殖重叠的研究，还未有涉及 (丁志锋等 2007)。

黄腹山鹡莺 (*Prinia flaviventris*) 和纯色山鹡莺 (*P. inornata*) 同属于雀形目 (Passeriformes) 扇尾莺科 (Cisticolidae) 的山鹡莺属，在中国南部广泛分布。两种山鹡莺的尾羽皆具有逆向变化现象，即繁殖期尾羽短于非繁殖期 (丁志锋等 2007, 张建新 2007)。这种逆向变化意味着两种山鹡莺可能具有春季换羽现象，但有关其换羽的起始、持续时间及与繁殖期的重叠程度，目前未有研究。为揭示两种山鹡莺春季换羽模式及换羽策略，对两种山鹡莺的春季换羽及尾羽变化进行了研究。

## 1 研究地区概况和研究方法

研究地区位于广东省肇庆市江溪村 (23°12' ~ 23°13'N, 112°42' ~ 112°43'E)。该地区的自然概况及植被特征详见丁志锋等 (2007)。

2007 年 3 ~ 9 月，在研究地区设置雾网 (mist net) 捕捉两种山鹡莺，定时巡网。对捕捉到的成体进行身体量度的测量，并观察飞羽及尾羽的更换情况。使用 HEC-300 电子秤 (量

程 100 g, 精度 0.01 g) 称量体重, 使用 UPMachine CS108 数显卡尺(量程 200 mm, 精度 0.01 mm) 测量身体量度。

两种山鹳鸢性二态型不明显, 仅上背颜色有细微差异, 野外分辨雌、雄困难, 在本研究中不考虑性别差异 (Herremans 1999, 丁志锋等 2007)。根据已有研究 (Herremans 1999, 丁志锋等 2007), 对两种山鹳鸢的换羽数据记录进行如下确定: 1) 定义开始换羽个体记分为“1”, 完成换羽的个体记分为“0”; 2) 两种山鹳鸢的初级飞羽均为 10 枚, 次级飞羽 9 枚, 尾羽 10 枚。羽毛序列的计数方式与丁志锋等 (2007) 一致。

采用单因素方差分析 (One way ANOVA) 对不同月份山鹳鸢的体重值进行差异性检验, 对体重与月份进行 Pearson 相关分析, 对尾羽的长度和宽度进行 Pearson 偏相关分析 (控制变量: 体长)。

## 2 结果

### 2.1 换羽时间

共获得纯色山鹳鸢个体 20 只, 3 月 9 只, 4 月 10 只, 5 月 1 只。其中, 最后一只纯色山

鹳鸢个体捕获于 5 月 9 日 (已完成换羽)。由于 5 月份样本过少, 对于纯色山鹳鸢换羽结束的具体时间无法确定, 但 6 月初捕获的个体均已完成换羽。推测纯色山鹳鸢换羽的持续时间为 3 月至 5 月, 约为 60 d。

共获得黄腹山鹳鸢个体 28 只, 3 月 8 只, 4 月 14 只, 5 月 6 只。其中, 3 月 16 日捕获的个体开始换羽, 5 月 10 日的个体结束换羽, 其换羽持续时间约为 60 d。

### 2.2 换羽模式

两种山鹳鸢的春季换羽均为不完全换羽, 仅更换尾羽; 尾羽的换羽模式均为离心型, 即中央一对尾羽最先开始替换, 然后向两侧, 从内向外逐次更替 (图 1)。

### 2.3 换羽前后尾羽长、宽度变化

纯色山鹳鸢的尾羽长度与宽度间呈现显著的正相关 (偏相关分析,  $r = 0.973$ ,  $P < 0.01$ ), 即长的尾羽有较大的宽度 (表 1); 同样, 黄腹山鹳鸢的尾羽长度与宽度间呈现显著的正相关 (偏相关分析,  $r = 0.969$ ,  $P < 0.01$ )。两种山鹳鸢的尾羽长度和宽度同步变化, 但绝大部分山鹳鸢非繁殖期尾羽长度与繁殖期尾羽长度之比大于非繁殖期尾羽宽度与繁殖期尾羽宽度之

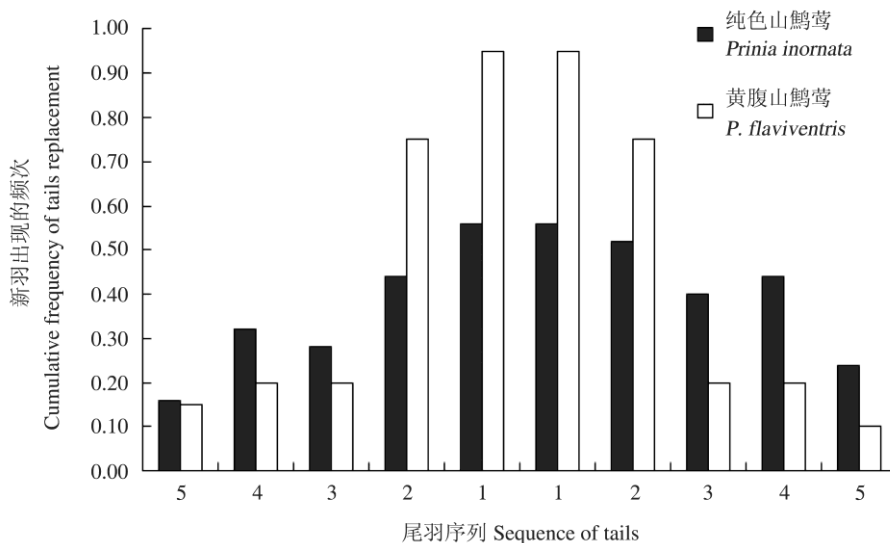


图 1 纯色山鹳鸢和黄腹山鹳鸢尾羽更换频次

Fig. 1 Frequencies of tails replacement of *Prinia inornata* and *P. flaviventris*

表 1 繁殖期和非繁殖期两种山鹪莺尾羽长度和宽度比较

Table 1 Tail length and width of two wren warbler species in the non-breeding season and breeding season

		非繁殖期 Non-breeding season		繁殖期 Breeding season	
		长度 (mm) Length	宽度 (mm) Width	长度 (mm) Length	宽度 (mm) Width
纯色山鹪莺 <i>Prinia inornata</i>	T5	30.60 ± 2.30	0.52 ± 0.30	24.60 ± 2.12	0.51 ± 0.06
	T4	46.36 ± 2.80	0.73 ± 0.60	40.62 ± 2.24	0.72 ± 0.10
	T3	57.76 ± 2.35	0.87 ± 0.05	48.08 ± 2.84	0.87 ± 0.06
	T2	66.90 ± 1.58	0.89 ± 0.07	50.22 ± 3.24	0.93 ± 0.08
	T1			55.32 ± 3.47	0.95 ± 0.15
	T1			55.83 ± 3.62	0.91 ± 0.07
	T2	65.95 ± 0.89	0.92 ± 0.08	51.90 ± 2.76	0.88 ± 0.09
	T3	56.70 ± 2.36	0.87 ± 0.08	48.35 ± 2.95	0.85 ± 0.10
	T4	46.99 ± 2.29	0.73 ± 0.06	39.99 ± 2.43	0.71 ± 0.09
	T5	30.23 ± 1.66	0.53 ± 0.04	26.10 ± 2.18	0.49 ± 0.03
黄腹山鹪莺 <i>P. flaviventris</i>	T5	25.25 ± 1.88	0.45 ± 0.07	23.16 ± 1.96	0.50 ± 0.06
	T4	39.47 ± 1.34	0.70 ± 0.08	38.61 ± 1.98	0.74 ± 0.04
	T3	52.26 ± 2.86	0.92 ± 0.04	49.13 ± 2.86	0.92 ± 0.08
	T2	60.99 ± 2.94	1.12 ± 0.09	54.80 ± 3.67	1.00 ± 0.08
	T1	70.24 ± 3.60	1.05 ± 0.10	56.09 ± 4.06	0.97 ± 0.07
	T1	70.20 ± 3.89	1.02 ± 0.12	55.70 ± 5.03	0.97 ± 0.08
	T2	60.51 ± 3.15	1.05 ± 0.08	52.83 ± 3.96	0.99 ± 0.07
	T3	51.92 ± 2.70	0.95 ± 0.08	49.29 ± 2.37	0.90 ± 0.07
	T4	39.18 ± 2.74	0.72 ± 0.09	38.40 ± 2.78	0.71 ± 0.07
	T5	24.37 ± 2.75	0.45 ± 0.05	23.63 ± 2.43	0.48 ± 0.06

非繁殖季纯色山鹪莺样本数为 18 只, 繁殖季为 20 只; 非繁殖季黄腹山鹪莺样本数为 14 只, 繁殖季为 17 只; 纯色山鹪莺一栏中最上面的 T5 代表左侧第 5 根尾羽, 最下面的 T5 代表右侧第 5 根尾羽, 黄腹山鹪莺一栏中符号的意义与纯色山鹪莺相同。

Number of *Prinia inornata* was 18 in the non-breeding season, and 20 in the breeding season; and number of *P. flaviventris* was 14 in the non-breeding season, and 17 in the breeding season. The top character of 'T5' of *P. inornata* means the left side of fifth tail feather, and the bottom character of 'T5' of *P. inornata* means the right side of fifth tail feather. *P. flaviventris* was numbered the same as that of *P. inornata*.

比 (表 2)。

#### 2.4 换羽时期体重的变化

两种山鹪莺春季换羽期间体重发生变化。纯色山鹪莺 3 月体重为 (7.20 ± 1.12) g ( $n = 9$ ), 4 月体重为 (6.92 ± 0.59) g ( $n = 10$ ), 5 月体重为 7.05 g ( $n = 1$ ), 3 月与 4 月的体重无显著性差异 ( $F = 0.49, P > 0.05$ ), 体重与月份间的相关不显著 ( $r = -0.335, P > 0.05$ )。黄腹山鹪

莺 3 月体重为 (6.89 ± 0.90) g ( $n = 8$ ), 4 月体重为 (6.84 ± 0.75) g ( $n = 10$ ), 5 月体重为 (6.76 ± 0.64) g ( $n = 6$ ), 3 月、4 月和 5 月的体重均无显著性差异 (其中, 3 月与 4 月:  $F = 0.02, P > 0.05$ ; 3 月与 5 月:  $F = 0.09, P > 0.05$ ; 4 月与 5 月:  $F = 0.05, P > 0.05$ ), 体重与月份间的相关不显著 ( $r = -0.016, P > 0.05$ )。

表 2 两种山鹡鸰非繁殖期与繁殖期尾羽的长度之比和宽度之比

Table 2 The ratio of tail length in the non-breeding season to breeding season, and tail width in the non-breeding season to breeding season of the two wren warbler species

		T5/t5	T4/t4	T3/t3	T2/t2	T1/t1	T1/t1	T2/t2	T3/t3	T4/t4	T5/t5
纯色山鹡鸰 <i>Prinia inornata</i>	长度 Length (mm)	1.24	1.14	1.20	1.33			1.27	1.17	1.18	1.16
	宽度 Width (mm)	1.01	1.01	1.00	0.96			1.05	1.02	1.03	1.08
黄腹山鹡鸰 <i>P. flaviventris</i>	长度 Length (mm)	1.09	1.02	1.06	1.11	1.25	1.26	1.15	1.05	1.02	1.03
	宽度 Width (mm)	0.90	0.95	1.00	1.12	1.08	1.08	1.06	1.06	1.01	0.94

T 代表为非繁殖季羽毛, t 代表繁殖季羽毛。

‘T’ means tail feathers in the non-breeding season, and ‘t’ means tail feathers in the breeding season.

### 3 讨论

换羽和繁殖活动均为鸟类生活史中最消耗能量的阶段, 一般情况下两者在时间上并不重叠 (Jenni et al. 1994, de la Hera et al. 2009)。本研究结果表明, 黄腹山鹡鸰和纯色山鹡鸰换羽和繁殖在时间上出现重叠, 繁殖期从 3 月初开始, 至 9 月初结束; 春季换羽期从 3 月开始, 至 5 月初结束。两种山鹡鸰换羽期间体重大致呈现下降趋势, 但变化不显著。而黄雀 (*Carduelis spinus*) 在换羽前后体重较高, 换羽期间体重最低 (Newton et al. 2011), 其换羽期与繁殖期并未完全重叠。对于繁殖与换羽启动时间, 食物可获得性可能是关键因素之一 (Hahn et al. 2005)。基于在黄腹山鹡鸰和纯色山鹡鸰活动区域内设置 25 个 5 m × 5 m 样方获得的昆虫数据, 各月份昆虫的平均重量依次为, 5 月 90.82 g, 9 月 94.14 g, 10 月 78.66 g, 11 月 24.45 g, 初步结果显示昆虫的平均重量自 5 月至 9 月波动不大, 但 10 月后开始出现下降 (丁志锋 2008)。推测两种山鹡鸰在换羽期和繁殖期通过增加食物的摄入来解决换羽和繁殖重叠导致的能量的大量消耗, 这可能是两者出现重叠的前提条件之一。

黄腹山鹡鸰和纯色山鹡鸰经历快速的、不完全的春季换羽和缓慢的、完全的秋季换羽 (丁

志锋等 2007, 张建新 2007), 其春季换羽期明显短于秋季换羽期, 这与 de la Hera et al. (2010) 对 19 种长距离迁徙雀形目鸟类以及分布于南非的黑胸山鹡鸰 (*P. flavicans*) (Herremans 1999) 的换羽研究结论一致。但与黑胸山鹡鸰不同的是, 黄腹山鹡鸰和纯色山鹡鸰的春季换羽仅更换尾羽, 并未观察到飞羽有更换迹象。由于飞羽对繁殖成功率具有重要影响, 特别是育雏期, 因此飞羽更换与繁殖活动重叠的案例十分罕见 (Herremans 1990, Porkert et al. 2012)。黄腹山鹡鸰和纯色山鹡鸰在繁殖期仅更换尾羽的可能原因为: 1) 尾羽的更换可能对繁殖活动更为重要, 短的尾羽增加了飞行的灵活性, 利于在密集的草丛中营巢、育雏等 (丁志锋等 2008); 2) 与南非的黑胸山鹡鸰相比, 这两种山鹡鸰所处的生境可能对飞羽的机械磨损相对较小, 仅更换尾羽可以在一定程度上减少能量的消耗 (Jenni et al. 1994, de la Hera et al. 2009), 利于亲鸟的持续生存。

绝大部分山鹡鸰非繁殖期尾羽长度与繁殖期尾羽长度之比大于非繁殖期尾羽宽度与繁殖期尾羽宽度之比, 意味着繁殖期尾羽宽度相对较宽, 可能与低速或转弯的情况下, 相对宽的尾羽可以减小诱导阻力有关 (Thomas 1996, Møller et al. 1999)。

致谢 江溪村村民钟四强和马四给我们的工作

提供很大的便利和帮助, 象头山国家级自然保护区的陈新贵参与了部分野外工作。在此一并致谢!

## 参 考 文 献

- de la Hera I, D áz J A, Pérez-Tris J, et al. 2009. A comparative study of migratory behaviour and body mass as determinants of moult duration in passerines. *Journal of Avian Biology*, 40(4): 461–465.
- de la Hera I, Pérez-Tris J, Teller á J L. 2010. Relationships among timing of moult, moult duration and feather mass in long-distance migratory passerines. *Journal of Avian Biology*, 41(6): 609–614.
- Hahn T P, Pereyra M E, Katti M, et al. 2005. Effects of food availability on the reproductive system//Dawson A, Sharp P J. *Functional Avian Endocrinology*. UK: Alpha Science International Ltd., 167–180.
- Hemborg C, Lundberg A. 1998. Costs of overlapping reproduction and moult in passerine birds: an experiment with the pied flycatcher. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 43(1): 19–23.
- Herremans M. 1990. Body-moult and migration overlap in Reed Warblers (*Acrocephalus scirpaceus*) trapped during nocturnal migration. *Gerfaut*, 80(1/4): 149–158.
- Herremans M. 1999. Biannual complete moult in the Black-chested Prinia *Prinia flavicans*. *Ibis*, 141(1): 115–124.
- Holmgren N, Hedenström A. 1995. The scheduling of molt in migratory birds. *Evolutionary Ecology*, 9(4): 354–368.
- Jenni L, Winkler R. 1994. *Moult and Ageing of European Passerines*. London: Academic Press.
- Møller A P, Hedenström A. 1999. Comparative evidence for costs of secondary sexual characters: adaptive vane emargination of ornamented feather in birds. *Journal of Evolutionary Biology*, 12(2): 296–305.
- Newton I, Dawson A. 2011. Seasonal changes in moult, body mass and reproductive condition in siskins *Carduelis spinus* exposed to daylength regimes simulating different latitudes. *Journal of Avian Biology*, 42(1): 22–28.
- Newton I, Rothery P. 2005. The timing, duration and pattern of moult and its relationship to breeding in a population of the European greenfinch *Carduelis chloris*. *Ibis*, 147(4): 667–679.
- Porkert J, Hrom álko M. 2012. A record of breeding-moult overlap in the Common Redstart *Phoenicurus phoenicurus*. *Bird Study*, 59(3): 380–382.
- Svensson E, Hedenström A. 1999. A phylogenetic analysis of the evolution of moult strategies in Western Palearctic warblers (Aves: Sylviidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 67(2): 263–276.
- Thomas A L R. 1996. Why do birds have tails? The tail as a drag reducing flap, and trim control. *Journal of Theoretical Biology*, 183(3): 247–253.
- 丁志锋. 2008. 黄腹山鹪莺 (*Prinia flaviventris*) 换羽和营巢生态学的研究. 上海: 华东师范大学硕士学位论文.
- 丁志锋, 唐思贤, 张建新, 等. 2007. 黄腹山鹪莺成鸟的秋季换羽. *动物学杂志*, 42(6): 28–33.
- 丁志锋, 袁玲, 朱成林, 等. 2008. 黄腹山鹪莺的营巢特征. *动物学研究*, 29(3): 270–276.
- 张建新. 2007. 纯色鹪莺 (*Prinia inornata*) 繁殖生态及换羽研究. 上海: 华东师范大学硕士学位论文.