

# 大杜鹃和东方大苇莺卵的人工孵卵期和孵化率比较

关爽<sup>①</sup> 黄子强<sup>①</sup> 金麟雨<sup>①</sup> 王青斌<sup>①</sup> 王莹<sup>①</sup> 刘野<sup>②</sup> 李东来<sup>①\*</sup>

① 辽宁大学生命科学院 沈阳 110036; ② 辽宁辽河口国家级自然保护区管理局 盘锦 124000

**摘要:** 大杜鹃 (*Cuculus canorus*) 是一种专性巢寄生鸟类, 进化出了一系列适应对策, 如雏鸟普遍出壳较早等, 以更好适应寄生生活。本研究使用恒温自动孵化箱对 25 枚大杜鹃卵和 20 枚其宿主东方大苇莺 (*Acrocephalus orientalis*) 卵进行人工孵化, 并对孵卵期的卵重进行连续测量。结果表明, 在人工孵化条件下, 大杜鹃卵的孵化率 (76%) 极显著高于东方大苇莺 (40%) ( $\chi^2 = 25.144$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.01$ )。尽管大杜鹃的卵鲜重 ( $t = 7.447$ ,  $df = 43$ ,  $P < 0.01$ ) 和卵体积 ( $t = 8.817$ ,  $df = 43$ ,  $P < 0.01$ ) 均极显著大于东方大苇莺, 但两种鸟卵的孵卵期不存在显著性差异 ( $t = 1.006$ ,  $df = 16$ ,  $P > 0.05$ )。

**关键词:** 大杜鹃; 东方大苇莺; 孵化率; 孵卵期; 卵重

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2018) 01-26-06

## Comparison of Incubation Period and Hatching Rate of Oriental Reed Warbler and Common Cuckoo in Artificial Incubation

GUAN Shuang<sup>①</sup> HUANG Zi-Qiang<sup>①</sup> JIN Lin-Yu<sup>①</sup> WANG Qing-Bin<sup>①</sup>  
WANG Ying<sup>①</sup> LIU Ye<sup>②</sup> LI Dong-Lai<sup>①\*</sup>

① School of Life Science, Liaoning University, Shenyang 110036; ② Liaohekou National Nature Reserve, Panjin 124000, China

**Abstract:** Common Cuckoo (*Cuculus canorus*) is an obligate brood parasitic bird that has evolved a series of adaptations, such as cuckoo chicks could hatch earlier and eject the host eggs, to exploit more of the hosts. In this study, we collected fresh eggs of the Common Cuckoo ( $n = 25$ ) and its host Oriental Reed Warbler (*Acrocephalus orientalis*) ( $n = 20$ ), and incubated them in an automatic incubator with constant temperature of 37.8 °C. All eggs were measured soon after collection and the egg mass was weighted daily during the incubation using an electronic balance. Our results showed that hatching success of the Common Cuckoo (76%) was significantly higher than that of the Oriental Reed Warbler (40%; Chi-square,  $\chi^2 = 25.144$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.01$ ), implying that the ecological amplitude of the embryonic development temperature of the Common Cuckoo might be wider than the host, and the incubation temperature tolerance of Cuckoo might be stronger

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (No. 31672316), 辽宁省教育厅项目 (No. L2015196);

\* 通讯作者, E-mail: lidonglai@lnu.edu.cn;

**第一作者介绍** 关爽, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鸟类学; E-mail: 1300024655@qq.com。

收稿日期: 2017-08-13, 修回日期: 2017-11-19 DOI: 10.13859/j.cjz.201801003

than the host. Although the fresh egg mass (Independent-samples *T* test,  $t = 7.447$ ,  $df = 43$ ,  $P < 0.01$ ) and egg volume ( $t = 7.447$ ,  $df = 4$ ,  $P < 0.01$ ) of the Common Cuckoo were much larger than those of the Oriental Reed Warbler (Fig. 1), there was no significant difference in incubation period between the two species.

**Key words:** Common Cuckoo, *Cuculus canorus*; Oriental Reed Warbler, *Acrocephalus orientalis*; Hatching success; Incubating period; Egg mass

巢寄生是指寄生鸟类把卵产在其他鸟类的巢中, 由宿主代为孵卵和育雏的一种特殊繁殖行为 (Payne 1977, Rothstein 1990a, Davies 2000)。巢寄生鸟类与其宿主之间的相互博弈一直被认为是研究协同进化的典型模式 (Davies 2011)。大杜鹃 (*Cuculus canorus*) 是一种典型的专性巢寄生鸟类, 是目前开展研究工作最多、研究最深入的物种 (Rothstein 1990b, Feeney et al. 2014)。大杜鹃为了适应寄生生活, 进化出一系列对宿主的适应性对策, 包括宿主选择、卵色模拟、快速产卵、卵壳较厚等 (Antonov et al. 2006, Li et al. 2016a)。其中, 杜鹃为保证在雏鸟期的竞争优势, 进化出一种特殊的适应性, 即杜鹃卵普遍比宿主卵早孵化 1~2 d, 并把其他卵 (或雏) 全部拱出巢外 (Payne 1977, Davies 2000, Honza et al. 2007)。有研究认为, 孵卵期与卵的大小具有明显正相关关系 (Kattan 1995), 即卵越大, 孵卵期越长。

大杜鹃可寄生近百种鸟类 (Skjelseth et al. 2004)。在中国境内, 记录有 55 种鸟类可被 11 种杜鹃寄生, 其中 45.5% 的寄主是大杜鹃 (Yang et al. 2012)。东方大苇莺 (*Acrocephalus orientalis*) 是大杜鹃的主要宿主之一。那么在自然条件下, 不同宿主的窝卵数、巢结构、巢材的保温性能、亲鸟的体温和孵化节律具有较大的差别 (郑光美 2012), 它们的最适孵化温度及对温度耐受性也应存在一定的区别 (Zhao et al. 2017)。大杜鹃可以寄生在不同鸟类巢中, 其卵的最适孵化温度是否与宿主一致, 胚胎发育的温度生态幅是否比宿主更宽, 对孵化温度的耐受性是否比宿主更强等, 这些都是值得深入研究的科学问题。由于在自然状态下很难对卵的孵化条件进行把握, 因此, 本研究采用恒

温、恒湿自动孵化箱对采集的大杜鹃和东方大苇莺卵进行人工孵化, 比较在相同的孵化条件下, 两种鸟类孵卵期和孵化率的差异, 以更好地了解大杜鹃卵对寄生生活的适应性。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地点和物种

本研究在辽宁盘锦辽河口国家级自然保护区 (40°45'00" ~ 41°05'54.13"N, 121°28'24.58" ~ 121°58'27.49"E) 进行。这个地区为半干旱大陆性季风气候, 降雨通常发生在 7 月下旬到 9 月。自然保护区生态类型多样, 具有林地、草地、芦苇 (*Phragmites communis*) 沼泽、河流水域和浅海滩涂等多种生境, 其中, 芦苇湿地的面积达 8 万  $\text{hm}^2$ , 居亚洲首位。在芦苇湿地中繁殖有大量的东方大苇莺, 该鸟类是大杜鹃在本地区的主要宿主, 寄生率为 14.7% (魏宏伟 2016), 略低于其他地区 (李东来 2012, 梁国贤等 2014)。大杜鹃和东方大苇莺均为候鸟, 每年 5 月末 6 月初到此地繁殖, 繁殖期一直到 8 月初结束 (Li et al. 2016b)。

### 1.2 卵的收集及测量

2016 年 5 至 7 月开展野外工作。采用系统搜索法寻找处于筑巢期或产卵期 (巢中已有 2~3 枚卵) 的东方大苇莺巢, 使用 GPS 进行定位, 选取 20 个东方大苇莺巢, 每巢取 1 枚卵, 共取得 20 枚未孵化的东方大苇莺卵, 即新鲜卵。并同时寻找寄生巢, 发现寄生卵迅速取回, 共采集 25 枚大杜鹃卵。采集的大杜鹃卵带回实验室, 用手电筒 (Supfire, S1 型) 光照检查卵的发育状态, 并结合寄生巢的窝卵数及卵发现时的温度, 确定 25 枚大杜鹃卵中有 15 枚卵为未孵化状态, 10 枚卵处于已孵化状态。对所有卵

测量卵参数,使用游标卡尺(King Guard DP-5, 150 mm/0.01 mm)测量卵的长径和短径,使用电子秤(Changxie, 100 g/0.01 g)称量卵重。测量后,把卵放入孵化箱内孵育。

### 1.3 卵的孵化

采用恒湿、恒温全自动孵化箱(无锡产, 9WF-1500 型)孵卵。孵卵温度设为 37.8 °C (Honza et al. 2001),相对湿度 50%~60%,每天定时凉卵 3~5 次,每次凉卵 10 min。翻卵角度为 90°,每 2 h 翻卵一次,以减少胚胎异位的发生,刺激胚胎发育。每日 17:00 时使用手电筒光照检查卵的发育情况,及时清除未受精或胚胎死亡的卵并测量卵重。成功孵化的雏鸟测量体重后,放回原巢。对于原巢已被捕食的情况,选择把雏鸟放入其他雏鸟日龄相似的大苇莺巢。

### 1.4 数据处理

使用 Excel 2010 和 SPSS21.0 对数据进行统计分析。采用独立样本 *T* 检验(independent-samples *T* test)比较大杜鹃和东方大苇莺孵卵期以及卵重、卵长径、卵短径、卵形指数和卵体积的差异。卵形指数  $I_E = L/B$ ,卵体积  $V = 0.51LB^2$ ,  $L$  为卵长径,  $B$  为卵短径。使用卡方(Chi-square)检验比较两种鸟卵孵化率的差异。使用一般线性回归建立卵重与孵卵时间的回归方程。所用统计分析选择双侧检验,显著性水平( $P$ )设置为 0.05。平均值数据以平均值 ± 标准差(Mean ± SD)形式表示。

## 2 结果

### 2.1 卵参数

大杜鹃和东方大苇莺卵均呈椭圆形,卵色相近,为浅蓝绿色,附有棕色斑点。大杜鹃的卵重、卵长径、卵短径、卵体积均显著大于东方大苇莺卵(表 1)。但二者之间的卵形指数,即卵长径与短径之比不存在显著差异( $t = 0.966$ ,  $df = 43$ ,  $P > 0.05$ , 表 1)。

### 2.2 卵孵化率和孵卵期

新鲜的卵,在光照下呈现质地均匀,为半透明。发育 2~3 d 的卵可以观察到胚胎发育迹象,卵的透明度降低,4~5 d 看到卵膜上有毛细血管出现。在发育后期,可观察到明显的胚胎跳动,卵钝端空腔逐渐增大。在孵化过程中,所有的卵均有胚胎发育迹象,表明全为受精卵。但 45 枚卵中有部分胚胎在孵化中、后期死亡。在人工孵化条件下,25 枚大杜鹃卵成功孵化了 19 枚,孵化率为 76%,其中,15 枚新鲜的大杜鹃卵,成功孵化了 10 枚,孵化率为 67%,二者均极显著高于东方大苇莺卵的孵化率(40%,  $n = 20$ ; 与 25 枚大杜鹃卵的比较:  $\chi^2 = 25.144$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.01$ ; 与 15 枚新鲜大杜鹃卵的比较:  $\chi^2 = 13.587$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.01$ )。15 枚新鲜大杜鹃卵中成功孵化的 10 枚可以确定其孵卵期,平均孵卵期为(13.00 ± 0.82) d,其中,3 枚孵卵期为 12 d,4 枚为 13 d,3 枚为 14 d。东方大苇莺卵的平均孵卵期为(13.38 ± 0.74) d ( $n = 8$ ),其中,6 枚孵卵期为 13 d,1 枚为 14 d,1 枚为 15 d。大杜鹃和东方大苇莺孵卵期的中位数分别为 13 d 和 13.5 d,众数均为 13 d,

表 1 大杜鹃和东方大苇莺卵参数比较

Table 1 Comparison in egg phenotype parameters between Common Cuckoo and Oriental Reed Warbler

参数 Parameters	大杜鹃 Common Cuckoo	东方大苇莺 Oriental Reed Warbler	独立样本 <i>T</i> 检验 Independent-samples <i>T</i> test		
			<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
卵重 Egg mass (g)	3.23 ± 0.23	2.70 ± 0.24	7.447	43	< 0.01
长径 Long diameter (mm)	22.63 ± 0.69	21.09 ± 1.05	5.876	43	< 0.01
短径 Short diameter (mm)	16.50 ± 0.39	15.57 ± 0.42	7.664	43	< 0.01
卵形指数 Elongation index	1.37 ± 0.05	1.36 ± 0.07	0.966	43	0.340
卵体积 Egg Volume (cm <sup>3</sup> )	3.10 ± 0.26	2.61 ± 0.22	8.817	43	< 0.01

且孵卵期不存在显著性差异( $t = 1.006$ ,  $df = 16$ ,  $P > 0.05$ )。

### 2.3 人工孵化过程中的卵失重

大杜鹃和东方大苇莺的平均卵重随孵卵天数呈线性下降趋势(图 1), 线性回归方程分别为, 大杜鹃  $y = -0.029x + 3.3112$  ( $R^2 = 0.9697$ ), 东方大苇莺  $y = -0.0104x + 2.7633$  ( $R^2 = 0.7535$ ), 其中,  $x$  表示孵卵时间(d),  $y$  表示卵重(g)。

## 3 讨论

鸟类的人工孵化技术主要应用于早成雏(Kuehler et al. 1996, 2000), 而在晚成雏鸟类的应用相对较少(陈敏等 2016a, b, Zhao et al. 2017)。本研究发现, 大杜鹃卵体积、鲜重虽然明显大于东方大苇莺卵, 但在统计学上两种鸟卵在本文采用的人工孵化条件下的孵卵期无显著差异。这与卵的孵卵期与卵大小成正比的假设不太一致(Strausberger 1998)。出现这种差别的原因可能是本研究采用天计算孵卵期, 而没有选用更细化的时间尺度(如小时)。然而, 在野外精确掌握杜鹃的产卵时间, 特别是以小

时为计算单位, 是非常困难的。但是, 通过采用布设旧巢招引杜鹃产卵, 并及时取回, 开展孵化研究是解决该问题的一个良好办法。相关方法在招引杜鹃产卵方面已经取得较好效果(Yang et al. 2017)。另外, 本研究的样本量也是影响结果的一个重要因素。野外研究中实验材料(如杜鹃卵)无法保证样本量是经常遇到的困难, 未来的研究将通过长期监测来解决。另一方面, 在人工孵化条件下两种鸟类卵的孵卵期无明显差异也可能与卵壳厚度有关, 大杜鹃的卵壳厚度约是东方大苇莺的 1.28 倍(Hargitai et al. 2010), 其对胚胎的保温效果可能明显好于东方大苇莺。在自然巢中鸟类孵卵过程中, 孵卵期受孵卵节律的影响, 亲鸟离巢后, 厚卵壳的大杜鹃卵对胚胎的保温效果较好, 而相对较薄卵壳大苇莺卵的胚胎温度则会下降较快, 导致大苇莺的胚胎发育整体速度可能慢于大杜鹃。而在恒温的人工孵化条件, 杜鹃的厚卵壳对胚胎的保护效果就没有自然孵化条件下明显。这可能是在人工孵化条件下大杜鹃和东方大苇莺卵孵卵期不存在差异的原因。

鸟类胚胎孵化温度的耐受性可能是长期进

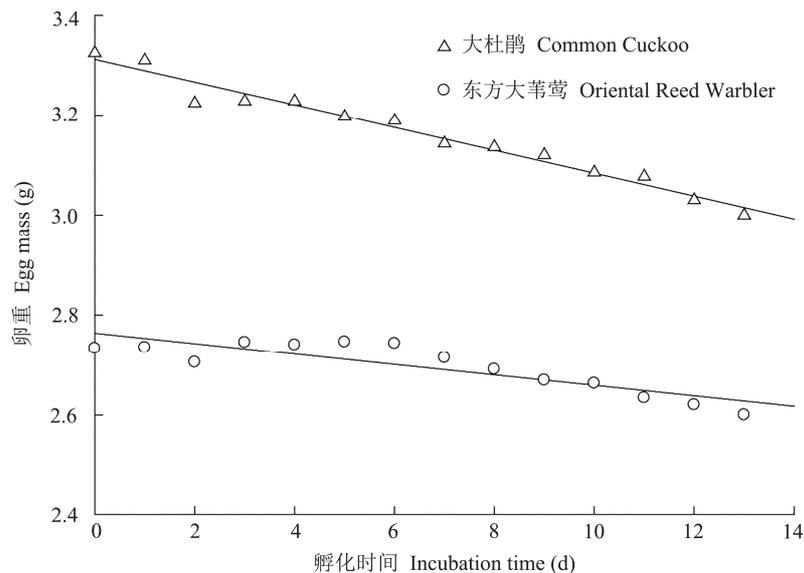


图 1 大杜鹃与东方大苇莺平均卵重随孵卵时间的变化

Fig. 1 The difference in change of average egg mass of Common Cuckoo and Oriental Reed Warbler following incubation time

化形成的 (Zhao et al. 2017)。人工孵化条件下大杜鹃和东方大苇莺均可以成功孵化, 但大杜鹃卵的孵化率 (76%) 明显高于东方大苇莺 (40%)。该现象首先说明大杜鹃卵可能对外界孵化条件的适应较强, 或者孵化温度的生态幅较宽。这与大杜鹃寄生生活方式密切相关。大杜鹃可以将卵寄生在 100 多种鸟类的巢中, 每种鸟类的筑巢环境、巢的结构、保温性能、孵化节律及模式等均存在种间差异 (Davies 2011, Yang et al. 2012), 从而可能使得大杜鹃的胚胎发育进化出较宽的生态幅或较强的环境耐受性。

本研究中东方大苇莺和大杜鹃的孵化率均不高, 说明人工孵化条件还有待改善。未出壳的卵, 多数在孵卵期的中、后期死亡。卵在孵化后期随着胚胎代谢能力的增强, 产热量越来越大, 卵内温度逐渐升高, 延长凉卵时间可促进胚胎散热, 有效地刺激胚胎发育, 提高卵的孵化率 (崔春月等 2006)。因此, 在孵化后期可适当增加凉卵的时间和次数等, 以提高晚成雏鸟类卵的孵化率。

## 参 考 文 献

- Antonov A, Stokke B G, Moksnes A, et al. 2006. Eggshell strength of an obligate brood parasite: a test of the puncture resistance hypothesis. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 60(1): 11–18.
- Davies N B. 2000. *Cuckoos, Cowbirds and Other Cheats*. London: T & A. D. Poyser.
- Davies N B. 2011. Cuckoo adaptations: trickery and tuning. *Journal of Zoology*, 284(1): 1–14.
- Feeney W E, Welbergen J A, Langmore N E. 2014. Advances in the study of coevolution between avian brood parasites and their hosts. *Annual Review of Ecology Evolution & Systematics*, 45(1): 227–246.
- Hargitai R, Moskát C, Bán M, et al. 2010. Eggshell characteristics and yolk composition in the common cuckoo *Cuculus canorus*: are they adapted to brood parasitism? *Journal of Avian Biology*, 41(2): 177–185.
- Honza M, Picman J, Grim T, et al. 2001. How to hatch from an egg of great structural strength. A study of the common cuckoo. *Journal of Avian Biology*, 32(3): 249–255.
- Honza M, Vošlajerová K, Moskát C. 2007. Eviction behaviour of the common cuckoo *Cuculus canorus* chicks. *Journal of Avian Biology*, 38(3): 385–389.
- Kattan G H. 1995. Mechanisms of short incubation period in Brood-Parasitic Cowbirds. *The Auk*, 112(2): 335–342.
- Kuehler C, Kuhn M, Kuhn J E, et al. 1996. Artificial incubation, hand-rearing, behavior, and release of common'Amakihi (*Hemignathus virens virens*): Surrogate research for restoration of endangered Hawaiian forest birds. *Zoo Biology*, 15(6): 541–553.
- Kuehler C, Lieberman A, Oesterle P, et al. 2000. Development of restoration techniques for Hawaiian thrushes: collection of wild eggs, artificial incubation, hand-rearing, captive-breeding, and re-introduction to the wild. *Zoo Biology*, 19(4): 263–277.
- Li D, Ruan Y, Wang Y, et al. 2016b. Egg-spot matching in common cuckoo parasitism of the oriental reed warbler: effects of host nest availability and egg rejectio. *Avian Research*, 7(4): 199–209.
- Li D, Zhang Z, Grim T, et al. 2016a. Explaining variation in brood parasitism rates between potential host species with similar habitat requirements. *Evolutionary Ecology*, 30(5): 905–923.
- Payne R B. 1977. The ecology of brood parasitism in birds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8(1): 1–28.
- Rothstein S I. 1990a. Brood parasitism and clutch-size determination in birds. *Trends in Ecology & Evolution*, 5(4): 101–102.
- Rothstein S I. 1990b. A model system for coevolution: avian brood parasitism. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1): 481–508.
- Skjelseth S, Moksnes A, Røskaft E, et al. 2004. Parentage and host preference in the common cuckoo *Cuculus canorus*. *Journal of Avian Biology*, 35(1): 21–24.
- Strausberger B M. 1998. Temperature, egg mass, and incubation time: A comparison of Brown-Headed Cowbirds and Red-Winged Blackbirds. *The Auk*, 115(4): 843–850.
- Yang C, Liang W, Antonov A, et al. 2012. Diversity of parasitic cuckoos and their hosts in China. *Chinese Birds*, 3(1): 9–32.
- Yang C, Wang L, Liang W, et al. 2017. How cuckoos find and choose host nests for parasitism. *Behavioral Ecology*, 28(3): 859–865.

- Zhao J M, Han Z M, Sun Y H. 2017. Is embryonic hypothermia tolerance common in birds? *Biology Letters*, 13(4): 20160967.
- 陈敏, 王龙舞, 马建华, 等. 2016a. 家燕和金腰燕的卵胚胎心率比较. *动物学杂志*, 51(1): 39-44.
- 陈敏, 王龙舞, 杨灿朝, 等. 2016b. 广西弄岗家燕种群的卵胚胎心率. *四川动物*, 35(1): 93-96.
- 崔春月, 崔岩, 侯晓东. 2006. 野生鸟类人工孵化的影响因素与解决方法. *林业实用技术*, (11): 32-33.
- 李东来. 2012. 大杜鹃 (*Cuculus canorus*) 对东方大苇莺 (*Acrocephalus orientalis*) 和震旦鸦雀 (*Paradoxornis heudei*) 的选择性巢寄生研究. 北京: 北京师范大学博士学位论文.
- 梁国贤, 杨灿朝, 王龙舞, 等. 2014. 三个东方大苇莺种群大杜鹃寄生率的变异. *四川动物*, 33(5): 673-677.
- 魏宏伟. 2016. 大杜鹃对东方大苇莺的选择性巢寄生研究. 沈阳: 辽宁大学硕士学位论文.
- 郑光美. 2012. 鸟类学. 2版. 北京: 北京师范大学出版社.

## 湖北武汉发现彩鹮

### Glossy Ibis *Plegadis falcinellus* Found in Wuhan, Hubei

2017年9月2日, 在湖北省武汉市东西湖区府河柏泉段(30°45'1"N, 114°9'15"E)观测到彩鹮(*Plegadis falcinellus*) 1只, 其隶属于鹮形目鹮科彩鹮属。该鸟种发现之处, 为府河流经武汉柏泉的河段, 该河段夏季被高水位所淹, 夏末秋初水位降低, 当地居民开挖田垄补种水稻, 形成若干块半湿润的水田及草滩。同域分布有白鹭(*Egretta garzetta*)等鹭科鸟类, 及黑翅长脚鹮(*Himantopus himantopus*)、鹤鹮(*Tringa erythropus*)等为主的鹮形目鸟类。被发现时, 该鸟与白鹭混群于田间觅食栖息。

借助施华洛世奇单筒望远镜(60倍)观察, 并用Canon 7D单反相机和EF400mm f/5.6L镜头拍摄图片发现, 该鸟嘴细长而下弯, 跗跖较长, 头颈部暗褐色, 密布白色斑点, 前额具淡蓝色线, 身体铜褐色, 下背部、翅和尾部具铜绿色, 翅上缘红栗色, 为1只向非繁殖羽过渡的彩鹮个体。经查证历史资料及网络信息(胡鸿兴等 1995, 郑光美 2011, 雷进宇 2012), 认定为湖北省第一笔确认的彩鹮记录。

彩鹮广泛分布于欧洲南部、非洲、亚洲西南和南部直到爪哇、苏拉威西和菲律宾以及澳洲、北美洲大西洋沿岸、中美洲及南美洲北部。在国内, 本种曾记录于河北、山东、四川、江苏、上海、浙江、福建、广东、香港、澳门(郑光美 2011)及青海(中国鸟类学会 2005)、内蒙古(陈丽霞等 2012)、云南(赵雪冰等 2013)、河南(牛俊英等 2014, 溪波等 2015)、湖南(刘子祥等 2014)、贵州(王汝斌 2014)、新疆(林宣龙等 2014)、广西(吴云韩个人通信 2017)、天津(王凤琴 2017)、江西(卢萍等 2017)等省市, 此次在湖北的记录为了解该鸟种在国内的分布情况提供了新的信息。

谢红钢<sup>①</sup> 雷进宇<sup>②\*</sup> 胡山林<sup>③</sup> 陈韬<sup>①</sup> 叶明<sup>①</sup>

① 武汉市观鸟协会 武汉 430074; ② 世界自然基金会(瑞士)北京代表处野生动物保护项目 武汉 430060;

③ 道大自然观察工作室 武汉 430077

\* 通讯作者, E-mail: jylei@wwfchina.org;

第一作者介绍 谢红钢, 男, 本科生; 研究方向: 武汉地区鸟类区系; E-mail: 2712076249@qq.com.

收稿日期: 2017-09-13, 修回日期: 2017-10-27 DOI: 10.13859/j.cjz.201801022