

家燕和金腰燕的卵胚胎心率比较

陈敏^① 王龙舞^{①②} 马建华^③ 杨灿朝^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院 海口 571158; ② 武汉大学生命科学院 武汉 430072; ③ 黑龙江扎龙国家级自然保护区管理局 齐齐哈尔 161002

摘要: 胚胎心率是衡量胚胎新陈代谢速率的重要指标。鸟类的胚胎心率随新陈代谢的增加而呈上升趋势。对早成性鸟类的种间比较发现, 胚胎心率平均值随卵重量的增大而减小, 卵体积小种类具有相对较高的胚胎心率。国内有关野生鸟类胚胎心率的研究较少。2014年5~8月, 在黑龙江扎龙国家级自然保护区, 利用红外胚胎心率测量仪对两种近缘鸟类家燕(*Hirundo rustica*, $n = 14$)和金腰燕(*Cecropis daurica*, $n = 14$)的卵胚胎心率及其变化进行了测量与比较。两种燕均在孵卵的第2天开始出现胚胎心率, 并随胚胎龄增加心率呈上升趋势, 但在第8天及第11~14天家燕的胚胎心率显著低于金腰燕(第8天: $z = -2.602$, $P = 0.009$; 第11天: $z = -2.497$, $P = 0.013$; 第12天: $z = -2.354$, $P = 0.019$; 第13天: $z = 3.424$, $P = 0.001$; 第14天: $z = -3.380$, $P = 0.001$)。家燕卵胚胎日均增长心率(19.0 ± 3.1)次/min, 金腰燕卵胚胎日均增长心率(16.1 ± 3.4)次/min, 二者差异不显著($z = -1.792$, $P = 0.073$)。两种燕的胚胎心率与卵容量和卵重均不存在显著相关性[家燕: 卵容量(1.73 ± 0.09) cm^3 , $r = 0.192$, $P = 0.511$; 卵重(1.74 ± 0.09) g, $r = 0.128$, $P = 0.663$ 。金腰燕: 卵容量(1.74 ± 0.08) cm^3 , $r = 0.040$, $P = 0.891$; 卵重(1.51 ± 0.09) g, $r = 0.054$, $P = 0.855$]。这可能表明, 卵大小和卵重量对家燕与金腰燕的胚胎心率均影响不明显。

关键词: 胚胎心率; 家燕; 金腰燕; 扎龙

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 01-39-06

Comparison of Embryonic Heart Rate between Barn Swallow (*Hirundo rustica*) and Red-rumped Swallow (*Cecropis daurica*)

CHEN Min^① WANG Long-Wu^{①②} MA Jian-Hua^③ YANG Can-Chao^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 Life Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072; ③ Zhalong National Nature Reserve, Qiqihar 161002, China

Abstract: Embryonic heart rate is an important life history trait in birds. However, so far little related work has been done in China. To investigate the embryonic heart rate variation trend and its correlation to egg size (volume, mass and mass loss) will provide useful knowledge. During the breeding season from May to

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31272328, 31472013) 和教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (No. NCET-13-0761);

* 通讯作者, E-mail: liangw@hainan.net;

第一作者介绍 陈敏, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: 47440848@qq.com.

收稿日期: 2015-04-15, 修回日期: 2015-10-02 DOI: 10.13859/j.cjz.201601005

August in 2014, embryonic heart rate of barn swallow (*Hirundo rustica*) ($n = 14$) and red-rumped swallow (*Cecropis daurica*) ($n = 14$) in Zhalong National Nature Reserve, Heilongjiang, Northeastern China, were measured and compared using the buddy digital egg monitor. Major and minor axis, and mass of these eggs were also measured and recorded for calculation of egg volume and egg mass loss. The results showed that embryonic heart rate of both swallows increased with incubation days in general. Embryonic heart rate of the barn swallow was significantly lower than that of the red-rumped swallow at Day 8 (Mann-Whitney U Test, $z = -2.602$, $P = 0.009$) and Day 11 to 14 (Day 11: $z = -2.497$, $P = 0.013$; Day 12: $z = -2.354$, $P = 0.019$; Day 13: $z = 3.424$, $P = 0.001$; Day 14: $z = -3.380$, $P = 0.001$) (Table 1). However, there was no difference in daily growth of embryonic heart rate between barn swallow and red-rumped swallow (barn swallow: 19.0 ± 3.1 beats/min, red-rumped swallow: 16.1 ± 3.4 beats/min, $z = -1.792$, $P = 0.073$). In addition, there was also no correlation between daily growth of embryonic heart rate and egg volume, or egg mass in both species (barn swallow, egg volume: $1.73 \pm 0.09 \text{ cm}^3$, linear regression, $r = 0.192$, $P = 0.511$; egg mass: $1.74 \pm 0.09 \text{ g}$, $r = 0.128$, $P = 0.663$; red-rumped swallow, egg volume: $1.74 \pm 0.08 \text{ cm}^3$, $r = 0.040$, $P = 0.891$; egg mass: $1.51 \pm 0.09 \text{ g}$, $r = 0.054$, $P = 0.855$) (Fig. 1). This study indicated that egg mass and egg volume have little effect on daily growth of embryonic heart rate for the two swallow species.

Key words: Embryonic heart rate; Barn swallow (*Hirundo rustica*); Red-rumped swallow (*Cecropis daurica*); Zhalong

胚胎心率是衡量胚胎新陈代谢速率的重要指标 (Radder et al. 2006, Du et al. 2011, Angilletta et al. 2013, Du et al. 2015)。在鸟类, 较低的心率被认为是对外界刺激的一种定向反应 (Hauber et al. 2002, Colombelli-Négrel et al. 2014)。鸟类为恒温代谢, 其胚胎心率随新陈代谢的增加而呈上升趋势 (Pearson et al. 1999a)。对早成性鸟类的种间比较发现, 胚胎心率均值随卵重量的增大而减小 (Tazawa et al. 2001); 卵体积小的种类具有相对较高的胚胎心率 (Paganelli et al. 1984, Du et al. 2015)。此外, 心率还因种类 (Aubert et al. 1999, Du et al. 2010, 2011)、个体差异 (Massimini et al. 2000)、胚胎发育过程 (Yu et al. 2000) 甚至外界刺激 (Hauber et al. 2002, Colombelli-Négrel et al. 2014) 而有所不同。

监测胚胎心率根据传感器和信号采集途径的不同, 可分成侵入性和非侵入性两大类。侵入测量法灵敏度高, 但对胚胎创伤大; 非侵入法无创伤但灵敏度小, 无法测量到胚胎发育早期的心率 (车轶等 2005)。近年发展起来的红

外线胚胎心率测量仪, 是一种非侵入、无创伤且能测量到胚胎发育早期心率的新仪器。该仪器灵敏度高, 小而轻巧, 操作简易, 已在两栖爬行类和鸟类的胚胎发育研究中广泛应用 (Lierz et al. 2006, Radder et al. 2006, Du et al. 2010, 2011, Angilletta et al. 2013, Aubret 2013)。

2014年5~8月, 我们在黑龙江扎龙国家级自然保护区, 利用红外胚胎心率测量仪对家燕 (*Hirundo rustica*) 和金腰燕 (*Cecropis daurica*) 的卵胚胎心率进行了测量比较, 以探讨两近缘鸟种在不同胚龄胚胎心率变化的种间差异及其与卵大小和卵重的相关性。

1 研究区自然概况

本研究在黑龙江扎龙国家级自然保护区进行。扎龙国家级自然保护区 ($46^{\circ}52' \sim 47^{\circ}32' \text{ N}$, $123^{\circ}47' \sim 124^{\circ}37' \text{ E}$) 总面积 2100 km^2 , 属于大陆性半干旱季风气候区。全区平均海拔 144 m , 植被类型以芦苇 (*Phragmites australis*) 沼泽湿地面积最大, 形成芦苇单优势植物群落 (吴长申 1999)。

2 研究方法

2.1 鸟卵获取

在扎龙国家级自然保护区, 家燕和金腰燕均为当地常见的夏候鸟, 每年 4~8 月为其繁殖期 (Liang et al. 2013)。2014 年 5~8 月, 在保护区内寻找家燕和金腰燕的巢。从发现巢材开始跟踪观察其繁殖进展, 观测到窝卵数不再增加的当天, 从巢 (家燕: $n = 14$, 金腰燕: $n = 14$) 中随机选取 1 枚卵带回室内, 测量后放入人工孵化器 (型号 Mini EX Digital Incubator, 英国 Brinsea 公司) 内孵卵, 待雏鸟孵出后再将雏鸟放回原巢内由亲鸟喂养。孵卵温度设定为 $(37.5 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $55\% \pm 5\%$, 翻卵时间为 45 min/r。

2.2 卵胚胎心率测量

使用红外线胚胎心率测定仪 (buddy digital egg monitor, Avitronics Inc., Cornwall, England) 分别测量家燕和金腰燕不同胚龄卵的心率, 单位为每分钟的心跳次数, 记为“次/min”。胚胎心率测量从卵放入孵化器当天开始至卵孵化出雏为止, 固定测量时间为每天中午 12:00 时。测量时心率测定仪放于室内, 测试时段环境温度 $24 \sim 26 ^\circ\text{C}$ 。将卵从孵化器取出, 横向放置在心率测定仪的半球形凹槽上, 按使用要求操作, 待波形稳定后按显示数值进行记录。在第一次测量心率后, 用数显卡尺 (Mitutoyo, 150 mm /0.01 mm) 测量卵长径和卵宽径并记录。每次测量心率后, 均使用电子天平 (Diamond, 20 g /0.01 g) 测量该卵的重量并记录。

2.3 数据分析

卵容量采用 Hoyt (1979) 的公式计算, 即卵容量 (cm^3) = 卵长径 \times 卵宽径² \times 0.52。以第一次测得卵重与最后一次测得卵重之差作为该枚卵的失重, 记为卵失重。不同胚胎的日均增长心率 (daily growth of embryonic heart rate) 以不同卵逐日心率增长值之和除以孵卵天数来表示。胚胎心率和胚胎日均增长心率的单位均为次/min。在 SPSS 16.0 中, 采用

Mann-Whitney *U* Test 对胚胎心率、卵重、卵体积和卵失重等数据进行分析。用 Sigmaplot 12.5 作散点图, 并用 Linear Regression 分析相关系数 r 。数据以平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示, 所有检验均为双尾 (2-tailed)。 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

3 结果

3.1 胚胎心率

家燕和金腰燕的胚胎心率在孵卵第 1 天均为 0, 从第 2 天开始即有胚胎心率出现。两种燕的胚胎心率总体均随胚龄的增加呈上升趋势 (表 1)。家燕的胚胎心率在第 5 ($z = -2.202$, $P = 0.028$)、7 ($z = -2.437$, $P = 0.015$)、13 天 ($z = -1.991$, $P = 0.046$) 时增长显著, 第 14 天 ($z = -2.762$, $P = 0.006$) 则极显著降低; 金腰燕的胚胎心率在第 5 天 ($z = -2.965$, $P = 0.003$) 增长极显著, 第 11 天 ($z = -2.014$, $P = 0.044$) 增长显著。在胚胎发育整个过程中, 金腰燕较家燕的胚胎心率波动较小, 变化更为平缓 (表 1)。

本研究中家燕和金腰燕的卵重差异极显著 ($z = -3.909$, $P < 0.001$)。将同胚龄家燕与金腰燕的胚胎心率进行比较, 第 8 天和第 11~14 天的胚胎心率家燕显著或极显著低于金腰燕, 其他胚龄的心率无显著差异 (表 1)。

3.2 胚胎日均增长心率与卵容量、卵重和卵失重的相关性

家燕卵胚胎日均增长心率 (19.0 ± 3.1) 次/min, 金腰燕卵胚胎日均增长心率 (16.1 ± 3.4) 次/min, 二者差异不显著 ($z = -1.792$, $P = 0.073$)。

家燕卵容量 (1.73 ± 0.09) cm^3 , 卵重 (1.74 ± 0.09) g, 胚胎日均增长心率随卵容量、卵重的增加呈现升高趋势 (图 1a)。但相关性检验表明, 胚胎日均增长心率与两者均不相关 (卵容量 $r = 0.192$, $P = 0.511$; 卵重 $r = 0.128$, $P = 0.663$); 胚胎日均增长心率随卵失重的增加呈

表 1 家燕和金腰燕的胚胎心率 (单位: 次/min)
Table 1 Comparison of embryonic heart rate between barn swallow and red-rumped swallow in Zhalong, China (unit: beats/min)

胚龄 (d) Embryonic age	家燕 <i>Hirundo rustica</i>		金腰燕 <i>Cecropis daurica</i>		z	P
	n	胚胎心率(beats/min) Embryonic heart rate	n	胚胎心率(beats/min) Embryonic heart rate		
1	14	0	14	0	0.000	1.000
2	14	10.1 ± 36.3	14	18.4 ± 45.2	- 0.513	0.608
3	14	30.1 ± 59.4	14	37.1 ± 59.9	- 0.362	0.717
4	14	78.6 ± 59.6	14	69.5 ± 70.5	- 0.048	0.962
5	14	123.9 ± 64.4	14	163.6 ± 51.1	- 0.805	0.421
6	14	149.0 ± 40.8	14	165.1 ± 37.4	- 1.701	0.089
7	14	186.9 ± 35.0	14	176.7 ± 35.5	- 0.805	0.421
8	14	213.6 ± 27.6	11	168.7 ± 39.7	- 2.602	0.009
9	14	223.1 ± 32.9	8	186.5 ± 63.4	- 1.365	0.172
10	14	226.1 ± 27.7	13	221.6 ± 61.9	- 0.413	0.680
11	14	220.5 ± 40.2	12	269.5 ± 45.4	- 2.497	0.013
12	14	240.1 ± 28.0	11	288.6 ± 50.3	- 2.354	0.019
13	10	266.5 ± 25.9	8	313.9 ± 13.4	- 3.424	0.001
14	10	226.7 ± 22.8	8	315.5 ± 33.9	- 3.380	0.001
15	5	267.2 ± 65.2	6	270.8 ± 89.4	- 0.183	0.855

n 为测量的卵数量。n was number of eggs measured.

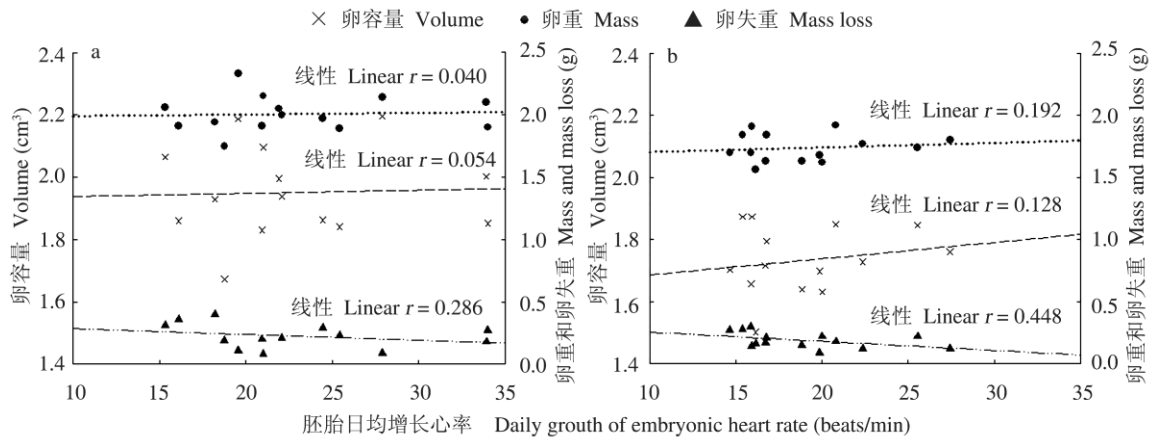


图 1 胚胎日均增长心率与卵的相关性

Fig. 1 Correlation between daily growth of embryonic heart rate and egg volume, mass and mass loss

a. 家燕; b. 金腰燕。 a. Barn swallow; b. Red-rumped swallow.

降低趋势, 但相关不显著, 卵失重 (0.188 ± 0.053) g ($r = -0.448$, $P = 0.108$) (图 1a)。金腰燕的胚胎日均增长心率与卵容量、卵

重和卵失重也不存在显著相关性: 卵容量 (1.74 ± 0.08) cm^3 , $r = 0.040$, $P = 0.891$; 卵重 (1.51 ± 0.09) g, $r = 0.054$, $P = 0.855$; 卵失重 (0.225

± 0.079) g, $r = -0.286$, $P = 0.343$) (图 1b)。

4 讨论

本研究结果表明, 家燕和金腰燕的胚胎心率第 1 天均为 0, 但从第 2 天开始即有胚胎心率出现。两种燕的胚胎心率总体均随孵化期的增加呈上升趋势, 但两者的卵胚胎心率日均增长差异不显著。

心是动物胚胎中最早行使功能的器官, 在其没有完全形成之前, 就开始发挥作用。鸡 (*Gallus gallus domestica*) 胚的心始于孵卵 25 h 胚胎的前肠门下方, 在孵卵 29 h 左右心内膜管相互贴在一起, 开始跳动, 行使其功能 (尤永隆等 2011)。胚胎心率在胚胎发育的第 2 天便开始出现, 直至胚胎孵出。但在实际测量过程中, 由于仪器检测灵敏度的原因, 在孵化的第 2 天有时很难测出。鸟类为恒温代谢, 随着胚胎发育, 胚胎心率上升 (Pearson et al. 1999a)。在发育后期, 胚胎心率可出现一定波动, 这可能和胚胎后期发育完全的心血管控制、内分泌和神经系统有关 (Crossley et al. 2003)。有研究表明, 胚胎发育在前期和后期均出现发育高峰, 而在两者的间期发育反而趋于平缓 (Pearson et al. 1999b)。我们对家燕和金腰燕胚胎心率的监测证实了这一点, 家燕和金腰燕的胚胎发育在前期与后期均出现增长高峰, 且发育速率提高十分显著。小型雀形目鸟类如燕科和梅花雀科的种类, 胚胎心率在后期增长明显, 并持续增长直至出壳 (Burggren et al. 1994)。

通常认为在动物的胚胎发育过程中, 一般结构 (或共同结构) 要比专门结构出现得早。而胚胎发育早期新陈代谢的消耗也与此类似 (Ar et al. 1999)。我们的结果显示, 家燕和金腰燕的胚胎发育早期 (第 8 天以前) 胚胎心率无显著差异。鸟类种间的比较研究表明, 胚胎心率与卵重存在负相关 (Tazawa et al. 1991, 1994, Ar et al. 1999)。本研究中家燕和金腰燕的卵重差异极显著, 因此预期家燕的胚胎心率

应低于金腰燕。家燕在发育中、后期的第 8 天和第 11~14 天的胚胎心率显著低于金腰燕, 与上述种间研究结果类似。

鸟类身体大小和心率成负相关, 体型小的鸟种具有相对较高的心率 (郑光美 2012), 胚胎发育阶段也是如此 (Paganelli et al. 1984)。卵重大的, 卵黄的重量也相对大, 为胚胎发育提供的养分也更多 (Jaffé 1964)。对欧洲石鸡 (*Alectoris graeca*) 和火鸡 (*Meleagris gallopavo*) 的胚胎发育研究表明, 卵失重越少, 胚胎发育速率越低 (Christensen et al. 1982, Kirikçi et al. 2004)。然而也有研究表明, 胚胎发育速率与鸟身体大小和卵容量不相关 (Martin et al. 2002), 甚至在同种中胚胎心率与卵重也不存在相关性 (Burggren et al. 1994)。本研究中, 家燕和金腰燕在胚胎发育过程失重少的卵, 反而具有相对较高的胚胎日均增长心率, 但相关性均不显著; 家燕和金腰燕的卵重和卵容量与其胚胎日均增长心率均无显著相关性。

致谢 黑龙江扎龙国家级自然保护区和东北林业大学李枫教授对本研究提供大力支持和帮助, 黄秋丽、胡运高协助野外工作, 谨致谢意。

参 考 文 献

- Angilletta M J, Zelic M H, Adrian G J, et al. 2013. Heat tolerance during embryonic development has not diverged among populations of a widespread species (*Sceloporus undulatus*). *Conservation Physiology*, 1(1): cot018.
- Ar A, Tazawa H. 1999. Analysis of heart rate in developing bird embryos: effects of developmental mode and mass. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 124(4): 491–500.
- Aubert A E, Ramaekers D. 1999. Neurocardiology: the benefits of irregularity. The basics of methodology, physiology and current clinical applications. *Acta Cardiologica*, 54(3): 107–120.
- Aubret F. 2013. Heart rates increase after hatching in two species of natricine snakes. *Scientific Reports*, 3: 3384.
- Burggren W W, Tazawa H, Thompson D. 1994. Genetic and maternal

- environmental influences on embryonic physiology: intraspecific variability in avian embryonic heart rates. *Israel Journal of Zoology*, 40(3/4): 351–362.
- Christensen V L, McCorkle F M. 1982. Turkey egg weight losses and embryonic mortality during incubation. *Poultry Science*, 61(6): 1209–1213.
- Colombelli-Négrel D, Hauber M E, Kleindorfer S. 2014. Prenatal learning in an Australian songbird: habituation and individual discrimination in superb fairy-wren embryos. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 281(1797): 20141154.
- Crossley D A II, Burggren W W, Altimiras J. 2003. Cardiovascular regulation during hypoxia in embryos of the domestic chicken *Gallus gallus*. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284(1): 219–226.
- Du W G, Shine R. 2015. The behavioural and physiological strategies of bird and reptile embryos in response to unpredictable variation in nest temperature. *Biological Reviews*, 90(1): 19–30.
- Du W G, Warner D A, Langkilde T, et al. 2010. The physiological basis of geographic variation in rates of embryonic development within a widespread lizard species. *The American Naturalist*, 176(4): 522–528.
- Du W G, Ye H, Zhao B, et al. 2011. Patterns of interspecific variation in the heart rates of embryonic reptiles. *PLoS One*, 6(12): e29027.
- Hauber M E, Pearson H E, Reh A, et al. 2002. Discrimination between host songs by brood parasitic brown-headed cowbirds (*Molothrus ater*). *Animal Cognition*, 5(3): 129–137.
- Hoyt D F. 1979. Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs. *The Auk*, 96(1): 73–77.
- Jaffé W P. 1964. The relationships between egg weight and yolk weight. *British Poultry Science*, 5(3): 295–298.
- Kirikçi K, Deeming D C, Gunlu A. 2004. Effects of egg mass and percentage mass loss during incubation on hatchability of eggs of the rock partridge (*Alectoris graeca*). *British Poultry Science*, 45(3): 380–384.
- Liang W, Yang C C, Wang L W, et al. 2013. Avoiding parasitism by breeding indoors: cuckoo parasitism of hirundines and rejection of eggs. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67(6): 913–918.
- Lierz M, Gooss O, Hafez H M. 2006. Noninvasive heart rate measurement using a digital egg monitor in chicken and turkey embryos. *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 20(3): 141–146.
- Martin T E. 2002. A new view of avian life-history evolution tested on an incubation paradox. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 269(1488): 309–316.
- Massimini M, Porta A, Mariotti M, et al. 2000. Heart rate variability is encoded in the spontaneous discharge of thalamic somatosensory neurones in cat. *The Journal of Physiology*, 526(2): 387–396.
- Paganelli C V, Rahn H. 1984. Adult and embryonic metabolism in birds and the role of shell conductance//Seymour R S. *Respiration and Metabolism of Embryonic Vertebrates*. Netherlands: Springer, 193–204.
- Pearson J T, Noma Y, Tazawa H. 1999a. Developmental patterns of heart rate in altricial avian embryos and hatchlings. *The Journal of Experimental Biology*, 202(11): 1545–1550.
- Pearson J T, Tazawa H. 1999b. Ontogeny of heart rate in embryonic and nestling crows (*Corvus corone* and *Corvus macrorhynchos*). *Journal of Comparative Physiology B*, 169(4/5): 256–262.
- Radder R, Shine R. 2006. Thermally induced torpor in fullterm lizard embryos synchronizes hatching with ambient conditions. *Biology Letters*, 2(3): 415–416.
- Tazawa H, Hiraguchi T, Kuroda O, et al. 1991. Embryonic heart rate during development of domesticated birds. *Physiological Zoology*, 64(4): 1002–1022.
- Tazawa H, Pearson J T, Komoro T, et al. 2001. Allometric relationships between embryonic heart rate and fresh egg mass in birds. *The Journal of Experimental Biology*, 204(1): 165–174.
- Tazawa H, Watanabe W, Burggren W W. 1994. Embryonic heart rate in altricial birds, the pigeon (*Columba domestica*) and the bank swallow (*Riparia riparia*). *Physiological Zoology*, 67(6): 1448–1460.
- Yu Z Y, Lumbers E R. 2000. Effect of cold on fetal heart rate and its variability. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 27(8): 607–611.
- 车轶, 孙华英, 彭沿平, 等. 2005. 一种鸡胚胎心率记录的新方法. *动物学研究*, 26(5): 551–554.
- 吴长申. 1999. 扎龙国家级自然保护区自然资源研究与管理. 哈尔滨: 东北林业大学出版社.
- 尤永隆, 林丹军, 张彦定. 2011. 发育生物学. 北京: 科学出版社.
- 郑光美. 2012. 鸟类学. 2 版. 北京: 北京师范大学出版社.