

# 四川蜂桶寨笼养绿尾虹雉的饲养繁殖

刘巧<sup>①</sup> 陈冬梅<sup>①②\*</sup> 张龙<sup>①②</sup> 王彬<sup>①②</sup> 陈黎<sup>③</sup>  
张敬<sup>④</sup> 周材权<sup>①②\*</sup>

① 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室 南充 637009; ② 西华师范大学生态研究院 南充 637009;

③ 四川宝兴蜂桶寨国家级自然保护区 宝兴 625700; ④ 北京动物园重点实验室 北京 100044

**摘要:** 为提高笼养绿尾虹雉 (*Lophophorus lhuysi*) 的繁殖能力, 2018 和 2019 年在四川蜂桶寨进行了笼养绿尾虹雉的人工繁育研究。8 只 (3♂, 5♀) 成年绿尾虹雉分别饲养在 4 个笼舍中, 其中, 2 个笼舍 1 雄 1 雌, 1 笼舍 1 雄 2 雌, 1 笼舍 1 雌鸟单养。两年笼养绿尾虹雉共产受精卵 16 枚, 受精率 44.44%, 人工孵化出雏 12 只, 孵化率 75%。孵卵过程中日卵重损失量 ( $Y_1$ ) 与孵卵天数 ( $X$ ) 之间的回归方程:  $Y_1 = 0.375 + 0.001 X$  ( $F = 2.995$ ,  $P > 0.05$ ), 日卵重损失量与孵卵天数相关性不显著。卵重 ( $Y_2$ ) 与孵卵天数 ( $X$ ) 极显著相关,  $Y_2 = 83.451 - 0.385X$  ( $R^2 = 1$ ,  $P < 0.01$ )。总之, 在现有条件下, 建造适宜的绿尾虹雉笼养设施, 改进人工孵化条件, 是目前提高笼养绿尾虹雉繁殖性能的关键。

**关键词:** 绿尾虹雉; 笼养; 繁殖; 受精; 人工孵化

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2021) 01-131-06

## Artificial Breeding of Captive Chinese Monals (*Lophophorus lhuysii*) in the Fengtongzhai National Nature Reserve, Sichuan Province

LIU Qiao<sup>①</sup> CHEN Dong-Mei<sup>①②\*</sup> ZHANG Long<sup>①②</sup> WANG Bing<sup>①②</sup> CHEN Li<sup>③</sup>  
ZHANG Jin<sup>④</sup> ZHOU Cai-Quan<sup>①②\*</sup>

① Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Institute of Ecology, China West Normal University, Nanchong 637009;

② Institute of Ecology, China West Normal University, Nanchong 637009; ③ Fengtongzhai National Nature Reserve,

Sichuan, Baoxing 625700; ④ Key Laboratory of Beijing Zoo, Beijing 100044, China

**Abstract:** In 2018 and 2019, in order to improve their reproductive performance, we conducted artificial breeding studies of captive Chinese Monals (*Lophophorus lhuysii*) in the Fengtongzhai National Nature Reserve, Sichuan Province. Eight (3♂, 5♀) adult individuals were raised in 4 cages, of which 2 cages were 1 male and 1 female, 1 cage was 1 male and 2 females, and 1 cage was 1 female. In 2018 and 2019, 16 fertilized eggs were collected, with a fertilized rate of 44.44% (Table 1). Of these, 12 were artificially hatched, with a hatching rate of 75%. The regression equation between daily egg weight loss ( $Y_1$ ) and hatching days ( $X$ )

**基金项目** 四川省科技厅应用基础研究项目 (No. 2015JY0249), 西华师范大学英才基金项目 (No. 463366);

\* 通讯作者, E-mail: cdmfjm@163.com, drcqzhou1@163.com;

**第一作者简介** 刘巧, 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物遗传学; E-mail: 1010244007@qq.com。

收稿日期: 2020-02-17, 修回日期: 2020-10-13 DOI: 10.13859/j.cjz.202101017

during incubation is  $Y_1 = 0.375 + 0.001 X$  ( $F = 2.995, P > 0.05$ ), indicating the correlation between them is not significant. The regression equation of egg weight ( $Y_2$ ) and hatching days ( $X$ ) is  $Y_2 = 83.451 - 0.385X$  ( $R^2 = 1, P < 0.01$ ), which showed a significant correlation (Fig. 1). In conclusion, under the present conditions, the key to improve the breeding performance of captive Chinese Monals is to construct suitable cage breeding facilities and improve the artificial hatching conditions.

**Key words:** Chinese Monals; Captive; Breed; Fertilization; Artificial incubation

绿尾虹雉 (*Lophophorus lhuysii*) 又称贝母鸡、鹰鸡、火炭鸡, 隶属于鸡形目 (Galliformes) 雉科 (Phasianidae) 虹雉属, 是我国特有的 I 级重点保护野生动物, 被列入 CITES 附录 I 及世界自然保护联盟 (IUCN) 濒危物种红色名录“易危”级别 (雷富民等 2002)。由于人类活动、自然灾害等因素, 绿尾虹雉的栖息地面积日益减少且破碎化严重, 其种群数量长期处于较低水平, 已引起世界生物界的广泛关注。众多研究者对该物种的野外和异地保护做了大量的研究工作 (李福来等 1985, 何芬奇等 1986, 卢汰春等 1986, 程彩云等 1996, 何松 2016, 陈冬梅等 2017, 唐卓等 2017, 余翔等 2017, 陈俊橙等 2018, 张敬等 2019)。开展人工繁育是保护该物种的重要途径之一。尽管美国圣地亚哥动物园、北京动物园、北京濒危动物驯养繁殖中心、四川蜂桶寨国家级自然保护区绿尾虹雉饲养场都对绿尾虹雉进行了人工饲养繁殖, 但至今没有一家有稳定种群 (程彩云等 1995, 杨本清等 2012)。因而实施人工饲养繁殖、扩大种群数量还需作深入的研究。2017 年 5 月四川蜂桶寨国家级自然保护区管理局、西华师范大学、成都大熊猫繁育研究基地三家单位联合成立了“绿尾虹雉保护研究中心”, 拟对该物种的保护研究进行深入的探讨。已有研究表明, 受精率和孵化率低是人工饲养繁殖绿尾虹雉最关键的制约因素 (程彩云等 1996, 杨本清等 2012)。因此, 2018 和 2019 年我们在四川蜂桶寨对笼养绿尾虹雉产卵和人工孵化情况进行了详细的研究分析, 旨在为提高笼养绿尾虹雉繁殖性能和绿尾虹雉的科学饲养管理提供一些基础资料。

## 1 研究方法

### 1.1 实验场地及日常饲养管理

本实验在四川蜂桶寨国家级自然保护区大水沟管护站绿尾虹雉饲养场 (30°34'17" N, 102°52'41" E, 海拔 1 610 m) 进行。每天早晨喂食前巡视观察记录绿尾虹雉的精神状况、采食情况、粪便情况。进行笼舍的清扫, 并清洗料盆、水盆以备换水换料。

### 1.2 实验设计

**1.2.1 实验动物和饲养条件** 8 只 (3♂, 5♀) 动物为饲养场人工饲养的绿尾虹雉成鸟, 分别饲养在 4 个笼舍中, 其中, 2 笼舍 1 雄 1 雌, 1 笼舍 1 雄 2 雌, 1 笼舍 1 雌鸟单养, 但在繁殖时期 (4 月) 仍选择 1 雄鸟与单养雌鸟合养。因旧笼舍改建, 2018 和 2019 年在新搭建的临时笼舍饲养。4 间饲养笼舍是依山搭建的简易长方形砖网结构, 邻笼之间以砖墙和铁丝网分隔, 每间笼舍长 × 宽 × 高为 15 m × 4 m × 3 m, 其中, 砖墙高 1.0 m, 上接 2.0 m 高的铁丝网, 繁殖期以黑色遮阳网遮挡间隔墙。在笼舍的依山一侧搭建挡雨棚, 棚下设高低两根栖杠, 笼舍地面栽有红叶继木 (*Loropetalum chinense var. rubrum*) 以及其他小灌木和草, 并放置树桩、假山石、栖杠, 人工巢、料盆和水盆。笼舍内放 2 个长 2 m、宽 1.5 m 的木板, 固定在树桩和砖墙间形成角落, 为繁殖交配以及雌鸟躲避提供场所。

**1.2.2 人工孵化** 绿尾虹雉卵采用德国产孵化器 Grumbach (Bettweiesenweg 18, 35325 Muckesellnrod, 自动控温、控湿、翻蛋) 孵化。收集的卵经消毒清洗干净、晾干并编号后放入预热

箱 (30~35 ℃, 相对湿度 50%), 预热 2~3 h 后转入主孵化箱孵化, 主孵化箱温度 37.5 ℃, 相对湿度 50%~55%, 每 2 h 翻一次蛋。孵化 7 d 后用照蛋器灯光照射鉴定卵是否受精。孵化期间, 每天 12:00~12:30 时定时测定卵重, 并同时凉卵, 打开孵化器门凉卵 5~10 min。待孵至啄壳后转入出雏箱, 温度 36.5 ℃, 相对湿度 70%~80%, 等待出雏。

## 2 结果及分析

### 2.1 繁殖期的笼养条件和食物组成

本研究期间使用的笼舍是在旧笼舍的东侧约 50 m 处搭建的临时笼舍, 增加了光照条件, 减少了外界干扰, 且单个笼舍面积 (约 40 m<sup>2</sup>) 比旧笼舍 (约 30 m<sup>2</sup>) 大, 绿尾虹雉的活动范围比以前大, 在笼舍内放置木板与砖墙边形成的角落增加了隐蔽点, 雌鸟可以利用这些角落

来躲避雄鸟的骚扰和攻击, 也为雌、雄鸟交配减少干扰提供了安静的角落。

本实验繁殖期日粮在饲养场多年来应用的繁殖期日粮基础上增加了花生、贝壳粉, 且对日粮组成进行了一定比例搭配。繁殖期绿尾虹雉每天每只按肉鸡颗粒料 50 g、玉米 50 g、熟鸡蛋 1 个、花生 10 g、新鲜蔬菜 50 g、贝壳粉 3 g 的比例混合, 分别在 9:00 时和 15:00 时左右分两次饲喂。

### 2.2 产卵情况

5 只雌鸟在 2018 和 2019 年共产卵 36 枚, 其中, 受精卵 16 枚, 受精率 44.44% (表 1)。5 只雌鸟 2018 年共产卵 16 枚, 产卵期分别是 4 d、5 d、14 d、16 d、33 d, 4 和 5 月份产卵 15 枚, 16 枚卵中破损及裂缝 5 枚, 受精卵 7 枚。2019 年产卵期分别是 15 d、15 d、19 d、22 d、24 d, 4 和 5 月份产卵 17 枚, 2019 年

表 1 2018 和 2019 年绿尾虹雉的产卵情况

Table 1 Spawning condition of Chinese Monals in 2018 and 2019

年份 Year		雌鸟编号 Female number				
		F2-201	F1-13	F6	F1-12	F2-304
2018	产卵时间 Spawning time (d)	16	5	33	4	14
	产卵数 spawning number (Piece)	4	2	5	2	3
	受精卵数量 fertilized egg (Piece)	2	2	2	0	1
	备注 Note	第 3、4 枚为受精卵, 第 1、2 枚破损 The 3rd and 4th are fertilized eggs, the 1st and 2nd are damaged		第 2、4 枚为受精卵, 第 1、3 枚破损, 第 5 枚未受精 The 2nd and 4th are fertilized eggs, the 1st and 3rd are damaged, the 5th is unfertilized		第 2 枚为受精卵, 第 1 枚未受精, 第 3 枚破损 The 2nd is a fertilized egg, the 1st is unfertilized, and the 3rd is damaged
2019	产卵时间 Spawning time (d)	15	19	22	15	24
	产卵数 spawning number (Piece)	4	4	5	3	4
	受精卵数量 fertilized egg (Piece)	0	3	3	0	3
	备注 Note		第 2、3、4 枚为受精卵, 第 1 枚破损 The 2nd, 3rd and 4th are fertilized eggs, the 1st is damaged	第 2、4、5 枚是受精卵, 第 1、3 枚卵未受精, 且第 1 枚裂缝 The 2nd, 4th and 5th eggs are fertilized eggs, the 1st and 3rd eggs are unfertilized, and the 1st one is split		第 1、3、4 枚为受精卵, 第 2 枚未受精 The 1st, 3rd and 4th are fertilized eggs, the 2nd is unfertilized

总计 20 枚卵，20 枚卵中破损及裂缝 2 枚，受精卵 9 枚。

绿尾虹雉参与繁殖的个体所产卵不全是受精卵。有 1 雌鸟第 1 枚为受精卵，间隔 3 d 后第 2 枚未受精，再间隔 3 d 第 3 枚又是受精卵，其后间隔 17 d 第 4 枚又是受精卵。另 1 雌鸟产受精卵后间隔 5 d 后产未受精卵，再间隔 11 d 又产受精卵，其后间隔 3 d 也是受精卵。还有雌鸟产受精卵后间隔 19 d 产未受精卵。2012 至 2017 在本饲养场对绿尾虹雉繁殖的记录也发现上述类似情况。

### 2.3 人工孵化情况

本实验 2018 和 2019 年共收集绿尾虹雉受精卵 16 枚，孵化出雏 12 只，孵化率 75%。2018 年因使用新孵化器对温湿度调节掌握不好，受精卵孵化记录的数据不完整。仅统计 2019 年 7 枚卵每天的重量(图 1)。孵卵期绿尾虹雉卵平均每天减少的重量(0.4 ± 0.05) g/d (0.33 ~ 0.47 g)，卵总失重(10.17 ± 1.6)g(7.64 ~ 12.29 g)，卵总失重率 12.29% ± 1.52%(10.24% ~ 14.47%)。绿尾虹雉卵每天减少的重量(Y<sub>1</sub>)与孵卵天数(X)相关性不显著，回归方程为 Y<sub>1</sub> = 0.375 +

0.001 X (F = 2.995, P > 0.05)。卵重(Y<sub>2</sub>)与孵卵天数(X)极显著相关, Y<sub>2</sub> = 83.451 - 0.385X (R<sup>2</sup> = 1, P < 0.01)。

## 3 讨论

### 3.1 笼养绿尾虹雉的产卵时间

本实验笼养绿尾虹雉集中在 4 月上旬开始产卵，产卵时间主要在 4 月初至 5 月初，5 月底 6 月初已是绿尾虹雉卵最后的孵化期，窝卵数 2 ~ 5 枚，产卵期 4 ~ 33 d，与杨本清等(2012)报道的一致。北京动物园 1972 至 1983 年(李福来等 1985)和北京濒危动物驯养繁殖中心 1989 至 1994 年(程彩云等 1996)饲养的绿尾虹雉均集中在 4 月中旬或 5 月初开始产卵，产卵时间 4 月中旬至 5 月底，产卵期 2 ~ 31 d。由此可见，本实验绿尾虹雉的产卵时间早于北京种群，其原因可能是本实验地与北京的物候条件不同。北京是典型的暖温带湿润大陆性季风气候，海拔低(程彩云等 1995)；而实验地四川蜂桶寨国家级自然保护区大水沟管护站海拔 1 610 m，是寒温带气候。因为除自身的遗传特性外，环境因子(光照、温度、食物等)

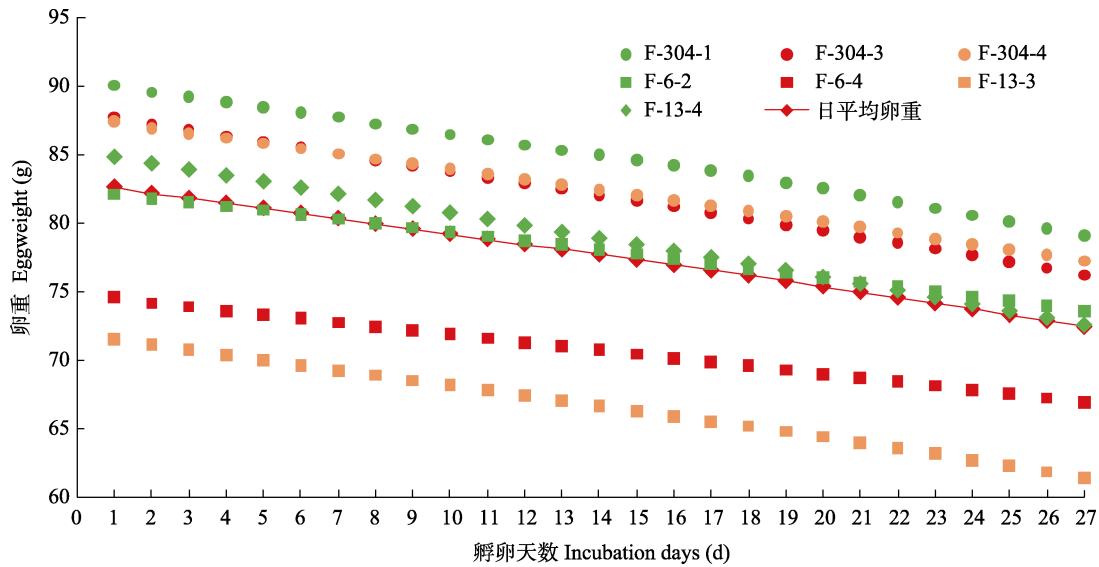


图 1 卵重与孵卵天数的关系 (2019 年 7 枚卵)

Fig. 1 The relationship between egg weight and incubation days (Seven eggs in 2019)

是影响鸟类生殖内分泌的关键因素,可影响鸟的性腺发育和性激素释放(陈晓宇等 2011)。光周期是调节鸟类生殖内分泌的重要环境因子,但非光周期信号(温度、降雨、食物等)也可影响鸟类的生殖内分泌进而对性腺的发育进行调控(陈金玉等 1990, Dawson 2005, 2008, Silverin et al. 2008)。

### 3.2 笼养绿尾虹雉的受精情况

本实验绿尾虹雉的受精率(44.44%)高于杨本清等(2012)报道的平均受精率(14.13%)(同一研究地点),这是四川蜂桶寨国家级自然保护区人工饲养绿尾虹雉 25 年来最好的成绩。其原因可能与本实验绿尾虹雉的笼舍环境改变以及繁殖期日粮组成的调整有关。

参与繁殖的个体所产卵不全是受精卵。产受精卵后间隔 3 d、5 d 或 10 d 后产未受精卵,再间隔 3 d 或 10 d 后又产受精卵,是精液在雌鸟体内储存时间不长、或是雌雄鸟频繁交配、或是精子质量低等,其原因不清。家禽精子储存在雌性阴道与壳腺结合部附近的腺体壳(精子储存管),有些禽类其储存精子的时间可长达 10 d 至 2 周(赵兴绪 2009)。红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)雌鸟 1 次交配后 15 d 内无雄鸟,所产 7 枚卵受精率达 85.7%(谢恩义 2003)。卵子一般排卵后 15 min 内在输卵管漏斗部受精(李碧春等 2006)。精子储存管具有神经分布,储存和释放精子受神经系统的支配(赵兴绪 2009)。如果受到外界干扰应激,可影响其释放精子与卵子交配。绿尾虹雉的警觉性较高,对外界的各种变化都比较敏感,噪音、气味等都可引起应激反应。因此,繁殖期保持笼舍周围环境安静非常重要。

由于破碎的卵不能判断是否受精,本实验绿尾虹雉受精卵数可能不是准确计数。本次观察发现,老鼠、蛇以及黄鼠狼(*Mustela sibirica*)等常打洞进入笼舍,从而使绿尾虹雉产生应激导致卵破损以及被老鼠等偷吃。2015 至 2017 年我们在本饲养场也发现类似情况。笼舍条件是导致卵破损的主要原因,尤其是遭遇老鼠、

黄鼠狼等的偷食(第二天早上发现笼舍残留有卵壳);黄鼠狼和野生藏酋猴(*Macaca thibetana*)常在笼舍周围窜跳活动,不仅干扰绿尾虹雉的繁殖交配,且常导致绿尾虹雉站在栖杠上产卵,导致卵落下破损。因而,绿尾虹雉笼舍的建设改造可能是目前提高绿尾虹雉繁殖性能的关键,尤其是笼舍地基、围网以及围墙隔离建造等非常重要。

### 3.3 笼养绿尾虹雉卵的孵化情况

绿尾虹雉受精卵的日卵重损失量与孵卵天数无显著相关性。在孵卵期,受精卵每天的重量变化不均衡,孵卵第 1 天到第 2 天卵的重量减少最多,平均为 0.46 g/d,孵卵期的前期和中期水分散失较多,后期水分散失较少。卵的重量变化不均衡主要是不同孵卵期胚胎生长发育代谢不同。根据孵卵过程卵的重量变化,可以推算出孵卵天数,对受精卵孵卵期失重的研究有助于完善人工孵卵条件,取得更好的结果。

多年来四川蜂桶寨国家级自然保护区大水沟管护站绿尾虹雉饲养场一直没有摸索出绿尾虹雉适宜的人工孵化条件。因而本实验绿尾虹雉人工孵化条件参考程彩云等(1993)报道的恒温恒湿法,即在整个孵化期保持恒定的温、湿度。尽管本实验按恒温恒湿法孵化出了幼鸟,但孵化率仅 75%,且啄壳后不能自行出壳,需人工辅助出壳,出壳后 1~3 d 左右的雏鸟身体蜷缩不能站立,程彩云等(1993)也类似报道,经过喂食后 3 d 左右才能活动,说明在孵卵期胚胎发育不完善。这可能与采用恒温恒湿的孵化条件有关。由于不同孵化期胚胎发育不同,卵失重不同,孵化器的温、湿度应设定不同。因而,本研究认为,绿尾虹雉人工孵化不应采用恒温恒湿条件。

家禽种蛋孵化期的施温要求有前高、中平、后低,湿度要求前、后期高,中期低的原则。绿尾虹雉卵与鸭蛋重量(70~90 g)接近(赵兴绪 2009),孵化时间 28 d 也与鸭蛋的孵化时间一致(辛清武 2009),因而绿尾虹雉卵孵化有待验证是否可参考生产上鸭蛋的孵化条件。

#### 4 存在的问题和建议

本研究认为,目前,绿尾虹雉的笼舍条件不利于饲养繁殖,绿尾虹雉易受黄鼠狼等动物干扰,影响繁殖交配和产卵。笼舍的改建可能是未来提高笼养绿尾虹雉繁殖性能非常重要的措施。笼舍建设可以考虑更安静的选址、更稳固的地基、更坚固的笼网材料、更小的笼网眼尺寸、更合理的笼舍结构、更大的单间笼舍面积等,增强笼舍安全性和保障绿尾虹雉充足的活动空间。建设有利于绿尾虹雉人工饲养繁殖的适宜条件,再结合本研究调整的繁殖期日粮以及孵化方法的改进建议,扩大绿尾虹雉的种群数量指日可待。

**致谢** 四川宝兴蜂桶寨国家级自然保护区大水沟管护站马红为本研究提供了很多帮助,特此致谢!

#### 参 考 文 献

- Dawson A. 2005. The effect of temperature on photoperiodically regulated gonadal maturation, regression and moult in starlings potential consequences of climate change. *Functional Ecology*, 19(6): 995–1000.
- Dawson A. 2008. Control of the annual cycle in birds: endocrine constraints and plasticity in response to ecological variability. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1497): 1621–1633.
- Silverin B, Wingfield J, Stokkan K A, et al. 2008. Ambient temperature effects on photo induced gonadal cycles and hormones secretion patterns in Great Tits from three different breeding latitudes. *Hormones and Behavior*, 54(1): 60–68.
- 陈冬梅, 何松, 韦毅, 等. 2017. 光照影响绿尾虹雉繁殖效果初报. *四川动物*, 36(1): 19–24.
- 陈金玉, 王维, 潘雪男. 1990. 珍珠鸡产蛋规律初探. *中国畜牧杂志*, 26(4): 49–50.
- 陈俊橙, 贺飞, 彭波, 等. 2018. 四川小寨子沟国家级自然保护区绿尾虹雉的日活动行为特征. *四川动物*, 37(3): 241–250.
- 陈晓宇, 张淑萍. 2011. 影响鸟类生殖内分泌的环境因子概述. *生物学通报*, 46(12): 3–5.
- 程彩云, 李金录. 1995. 绿尾虹雉人工饲养研究. *野生动物*, (6): 36–39.
- 程彩云, 李金录, 刘凤玲. 1996. 绿尾虹雉迁地保护繁殖研究. *动物学报*, 42(增刊 1): 54–61.
- 程彩云, 谭玉洁, 阮向东, 等. 1993. 绿尾虹雉人工孵化研究. *动物学研究*, 14(4): 354, 360, 366.
- 何芬奇, 卢汰春, 卢春雷. 1986. 绿尾虹雉的繁殖生态研究. *生态学报*, 6(2): 186–192.
- 何松. 2016. 营养、光照对绿尾虹雉 (*Lophophorus lhuysii*) 人工繁殖的影响. 南充: 西华师范大学硕士学位论文.
- 雷富民, 屈延发, 卢建利, 等. 2002. 关于中国鸟类特有种目录的核定. *动物分类学报*, 27(4): 857–864.
- 李碧春, 秦洁. 2006. 雌禽生殖生理研究进展. *中国畜牧兽医*, 33(1): 36–39.
- 李福来, 仇秉兴, 黄世强, 等. 1985. 绿尾虹雉的繁殖记录. *野生动物*, (3): 45–46.
- 卢汰春, 刘如笋, 何芬奇, 等. 1986. 绿尾虹雉生态学研究. *动物学报*, 32(3): 273–279, 306.
- 唐卓, 杨建, 刘雪华, 等. 2017. 利用红外相机研究卧龙国家级自然保护区绿尾虹雉的活动规律. *四川动物*, 36(5): 582–587.
- 谢恩义. 2003. 红腹锦鸡的饲养繁殖与雏鸟生长发育. *动物学杂志*, 38(1): 41–45.
- 辛清武. 2009. 鸭蛋孵化的要点分析. *水禽世界*, (5): 18–19.
- 杨本清, 寰亮, 马洪, 等. 2012. 笼养绿尾虹雉繁殖参数的观察与分析. *四川动物*, 31(2): 264–265, 268.
- 余翔, 陈俊橙, 王彬, 等. 2017. 四川小寨子沟国家级自然保护区绿尾虹雉种群密度调查与栖息地评价. *四川动物*, 36(4): 361–367.
- 张敬, 邓江宇, 马红, 等. 2019. 绿尾虹雉迁地保护现状及对策. *野生动物学报*, 40(3): 790–796.
- 赵兴绪. 2009. 家禽的繁殖调控. 北京: 中国农业出版社, 77–123.