

# 笼养黑凤冠雉孵卵期雌性凉卵 与雄性巢周活动显著相关\*

何 燕<sup>1)</sup>, 李庆媛<sup>1)</sup>, 徐可欣<sup>1)</sup>, 李 静<sup>2)</sup>, 朱 毅<sup>2)</sup>, 王 丹<sup>2)</sup>, 董霁萱<sup>1)</sup>, 高 洁<sup>2)</sup>,  
李 菁<sup>2)</sup>, 刘雪生<sup>2)</sup>, 刘学锋<sup>2)</sup>, 冯 妍<sup>2)†</sup>, 刘定震<sup>1)</sup>

(1)北京师范大学生命科学院生物多样性与生态工程教育部重点实验室,北京;

(2)圈养野生动物技术北京市重点实验室,北京动物园管理处,北京)

**摘要** 黑凤冠雉(*Crax alector*)为凤冠雉科(Cracididae)中典型的地栖性鸟类。目前,有关黑凤冠雉的繁殖生态学研究尚属空白,且笼养种群面临自然繁育困难与孵化率低等问题。本研究首次系统记录了一对圈养黑凤冠雉在孵卵期的繁殖和个体行为,分析了亲鸟行为的时间分配及性别差异。结果表明:1)亲鸟在孵卵行为上存在显著性二态性行为模式,雌鸟日均承担90.76%的孵卵任务,雄鸟承担雌性离巢后对卵的保护和部分翻卵的工作;2)雄鸟绕巢箱游走和在巢箱边理羽等行为与雌鸟凉卵行为呈极显著正相关(Spearman,  $r = 0.972$ ,  $P < 0.0001$ ,  $n = 26$ ),表明雄鸟的巢周活动与雌鸟凉卵行为高度同步。本研究描述了雌雄笼养黑凤冠雉孵卵期的行为分工与合作特征,研究结果不仅填补了该物种繁殖行为学研究的空白,而且表明在笼养环境下,应充分重视雄鸟在孵卵过程中的作用,以优化饲养管理,提升孵化成功率。

**关键词** 黑凤冠雉; 孵卵; 凉卵; 理羽; 合作繁殖

中图分类号 Q958

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2025102

## 0 引言

繁殖不仅是生命延续的本质特征,更是生活史策略中能量分配与适合度权衡的关键节点。鸟类的繁殖行为因丰富多彩、形式繁多而备受关注<sup>[1-2]</sup>。典型的鸟类繁殖活动包括求偶、交配、筑巢、产卵、孵卵、育雏等一系列连续过程,它们直接关系到后代的存活和种群的延续<sup>[3-4]</sup>。在孵卵期,鸟类通常会表现出孵卵、凉卵、换孵、护巢和觅食等行为,这些行为往往按照特定的规律发生<sup>[5-7]</sup>。在野生环境中,鸟类的孵卵模式主要为单亲、双亲和群体孵卵3种<sup>[8-10]</sup>,这些不同的孵化策略反映了鸟类在适应环境过程中形成的繁殖行为的多样性。成功的繁殖不仅确保了后代的存活,而且直接影响种群数量、遗传多样性以及种群的命运<sup>[6-7]</sup>。然而,随着人类活动的加剧和气候变化的持续影响,许多鸟类的生存面临前所未有的挑战,其自然繁殖也受到严重威胁<sup>[11-12]</sup>。在此背景下,迁地保护和人工繁育成为保护濒危鸟类的重要手段之一,这不仅为濒危物种提供了新的生存机会,还为其重新引入自然栖息地创造了条件<sup>[10, 13-15]</sup>。

黑凤冠雉(*Crax alector*)是凤冠雉科(Cracididae)中

的一种大型雉类,成鸟体长可达95 cm,体质量范围为2 400~3 750 g<sup>[16]</sup>。该物种具有显著的形态特征:头顶有卷曲羽冠,通体羽毛呈黑色,腹部至臀部分布明显的白色斑块;与雄鸟相比,雌鸟体型较小,头冠小且装饰性低<sup>[16-17]</sup>。大多数凤冠雉科鸟类主要分布于热带、亚热带的中美洲和南美洲,通常以成对或家庭群形式活动,偶尔单独行动,在特定季节或环境条件下也会组成较大的群体进行活动<sup>[18]</sup>。然而,由于非法盗猎以及栖息地持续遭受人为破坏,凤冠雉科大多数物种的生存面临严重威胁<sup>[11, 19-20]</sup>。黑凤冠雉于2016年被世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)评定为易危物种,标志着该物种进入全球受胁物种管理系统<sup>[21]</sup>。针对该物种的保护主要采取就地保护为主、迁地保护为辅的策略。目前,野外凤冠雉科鸟类生态学研究已取得阶段性进展,相关成果主要集中在繁殖季鸣声、日常行为模式、种群密度及繁殖物候学等关键领域<sup>[22-27]</sup>。Senič等<sup>[27]</sup>的研究表明,裸面凤冠雉(*C. fasciolata*)可通过羽色差异和体型参数判别个体的发育阶段和性别,其生殖周期呈现非季节性连续繁殖特征。针对笼养环境中凤冠雉科的相关研究,主要集中在疾病预防和饲料管理方面<sup>[28-29]</sup>,

\* 北京动物园基础研究资助项目(KGBZ202208)

† 通信作者:冯妍(1989—),女,中级畜牧师,研究方向:野生动物饲养, E-mail: 13621112751@163.com

收稿日期: 2025-06-05

目前尚无笼养黑凤冠雉孵卵期行为特征的研究与报道。

国内的北京动物园、上海动物园、郑州动物园、宁波雅戈尔动物园及南京红山森林动物园 5 家单位先后从国外引入了黑凤冠雉,并开展笼养条件下的繁育工作。截至 2024 年 12 月,累计成功自然繁育 14 只,人工孵化 3 只,笼养种群共计 36 只。尽管我国在黑凤冠雉的人工繁育方面取得了一定进展,但国内对该物种繁殖行为的了解仍然不够,笼养繁育工作面临诸多困难,主要问题是自然孵化率较低。其根本原因是以往对笼养条件下黑凤冠雉繁殖行为及其特征研究的不足。本研究以北京动物园的一对雌雄黑凤冠雉为研究对象,通过视频监控设备记录其在 2023 年孵卵过程中的孵卵、凉卵、翻卵等繁殖行为,以及觅食、静息、游走和理羽等个体行为的时长和频次,并分析其在孵卵期的行为特征,以期总结笼养条件下黑凤冠雉繁殖行为特征及规律,为该物种迁地保护和物种复壮提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

研究对象为于 2017 年从苏里南共和国引入并饲

养的一对 8 岁雌雄黑凤冠雉。该对黑凤冠雉生活在北京动物园的黑凤冠雉馆,馆舍面积约为 30 m<sup>2</sup>,分为巢箱区、室内生活区、户外活动区。黑凤冠雉的饲养参考褐马鸡等其他雉类的饲养标准<sup>[30-31]</sup>,每日喂食 2 次,饲料包括鸡蛋黄、葡萄、牛肉馅、玉米、苹果、香蕉等,全天提供成品雉鸡颗粒料。2021 年,北京动物园研发团队利用孵化箱实现了该对黑凤冠雉的人工繁育。2023 年,该对黑凤冠雉通过自然孵化成功繁育了后代,本研究通过 24 h 监控视频记录了整个自然孵卵过程。

### 1.2 繁殖行为数据采集方法

在动物园黑凤冠雉馆的巢箱区、室内生活区和户外活动区分别安装了一台高清录像设备(DS-2CD3T26WDV3-L,海康威视,杭州),对雌雄黑凤冠雉行为进行了 24 h 连续记录。根据本研究的目标,记录了 2023 年 6 月 8 日—7 月 3 日(共计 26 d)的孵卵过程,共获得 598 h 的有效录像片段。

基于相关文献<sup>[6-7, 32-33]</sup>,本研究编制了黑凤冠雉的行为谱。行为谱主要包括繁殖行为和个体行为 2 个部分,各种行为及其定义见表 1。

表 1 笼养雌雄黑凤冠雉在孵卵期的行为谱

行为分类	主要行为	定义
繁殖行为	孵卵	亲鸟在巢内坐巢孵卵的行为
	凉卵	亲鸟在巢上卧一段时间后,站起或下巢走动
	翻卵	亲鸟在巢中将喙、爪子伸到蛋下面,翻动卵的行为
个体行为	觅食	黑凤冠雉前往饲养区内的投食处,获取食物的行为
	理羽	梳理羽毛,包括用爪搔抓头部及颈前部羽毛、振翼抖羽、伸展翅膀等行为
	静息	亲鸟站立、卧地或站在栖枝上除头部外身体基本保持不动
	游走	黑凤冠雉在饲养区内来回行走或低空飞行的行为

行为观察与数据的采集由 4 名经过行为学研究方法系统培训,但对实验设计不知情的本科生志愿者完成。数据采集采用视频回放结合聚焦动物取样法和时间取样记录法(0~1)进行<sup>[34]</sup>。具体方法如下:每次仅观察 1 个个体,以 1 min 作为一个观察单位;当某一行为发生时,在该行为类型上标记 1;针对跨 1 min 单位且未满下一个 1 min 的行为,采用四舍五入的方法处理;若该行为持续时间超过下一个单位 0.5 min,则在第 2 个单位记作 1,否则记作 0;对于雌雄 2 个个体的区分和辨别,主要基于腿部环志和形态特征。

在正式采集行为数据前,首先对不同观察者之间和观察者本人的数据可靠性进行检验。简言之,选取

全部视频记录的 20%,让 4 个志愿者分别观看,然后采用 Kendall's *W* 检验法,检验不同观察者之间采集数据的可靠性。结果显示,不同观察者在特定时间段内对行为(包括孵卵、凉卵、觅食等)的解释的 Kendall's *W* 系数为 0.75,  $P < 0.05$ , 具有较强的一致性。采用 Kappa 系数法评估观察者内部一致性,即同一观察者对同一行为视频片段进行 2 次重复观测时,行为分类一致的观察单位占总时长的比例。结果显示,所有重复观测的 Kappa 系数均  $\geq 0.71$  ( $P < 0.05$ ),表明观察者内部具有高度一致性。

然后,通过观看视频,使用 Excel 分别统计雌雄黑凤冠雉各行为发生的频次以及持续时间。按每 2 h 为

一个时段, 将 24 h 划分为 12 个不同的时段, 统计各个时段内雌性黑凤冠雉凉卵行为的频次. 行为联动指数: 在孵卵期, 雄性在巢箱周围游走或理羽时, 雌性会联动发生凉卵行为, 通过计算雌雄二者行为联动次数占雄性在巢箱周围游走或理羽行为频次的比例进行量化. 由于本研究仅有雌雄 2 只个体, 使用 Kruskal-Wallis 检验雌雄黑凤冠雉每日孵卵行为所占时间比例与其他 6 种行为所占时间比例的差异. 将研究期间雌雄个体每天的行为数据作为单个样本<sup>[35]</sup>, 采用 Mann-Whitney *U* 检验(不符合正态分布的数据)或独立样本 *t* 检验(符合正态分布的数据)比较雌、雄黑凤冠雉在各行为间的差异. 采用 Spearman 分析雌性凉卵行为与雄性个体行为的相关性.

所有的分析在 IBM SPSS Statistics 23.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) 完成, 并用 Origin 2023b 软件 (OriginLab, USA) 制图.

## 2 结果

### 2.1 雌性黑凤冠雉在孵卵期承担主要的孵卵任务, 雄性不直接参与孵卵

在孵卵期, 雌雄黑凤冠雉平均每日有  $47.30\% \pm 46.74\%$  (平均值 $\pm$ 标准差) 的时间用于繁殖行为. 其中, 孵卵行为占据主导地位, 占每日总时间的  $45.42\% \pm 45.90\%$ ; 凉卵和翻卵行为分别占  $1.32\% \pm 1.46\%$  和  $0.56\% \pm 1.39\%$  (图 1). 个体行为日均时间占比为  $52.71\% \pm 46.74\%$ , 其中游走和静息行为分别为  $23.96\% \pm 24.44\%$  和  $23.26\% \pm 23.82\%$ , 而觅食和理羽行为的时间分配较少, 分别为  $5.42\% \pm 2.50\%$  和  $0.07\% \pm 0.28\%$  (图 1).

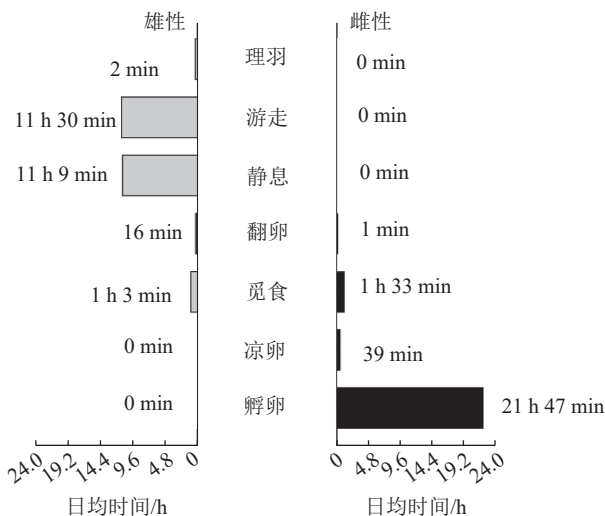


图 1 雌雄黑凤冠雉在孵卵期行为的持续时间

基于 24 d 完整行为记录, 对笼养雌雄黑凤冠雉整个孵卵期行为时间分配的定量分析显示, 两性在繁殖

投入与个体行为的时间分配上存在显著差异. 雌性将日均  $93.54\% \pm 2.43\%$  的时间投入繁殖活动, 其中孵卵行为占绝对主导 ( $90.76\% \pm 2.43\%$ ), 极显著高于凉卵 ( $2.71\% \pm 0.63\%$ ;  $t = 167.842$ ,  $d_f = 26.237$ ,  $P < 0.001$ ) 和翻卵 ( $0.07\% \pm 0.21\%$ ;  $z = -6.053$ ,  $P < 0.001$ ) 行为 (图 1). 相比之下, 雄性日均繁殖行为的时间为  $1.11\% \pm 1.81\%$ , 完全表现为翻卵行为 (图 1). 值得注意的是, 雌雄个体均表现翻卵行为, 但二者间的时间投入存在显著差异: 雌性日均占比为 0.07%, 而雄性则达到 1.11% (图 1). 尽管雄性翻卵行为频次较低, 在 26 d 中共观察到 7 次, 但每次持续时间较长, 有时会持续到雌性返回巢箱后才停止.

在个体行为方面, 雄性日均活动时间占比  $52.43\% \pm 5.28\%$ , 以游走和觅食为主; 而雌性个体行为仅占  $6.46\% \pm 2.50\%$ , 且完全表现为觅食 (图 1). 其中, 雌性日均觅食行为显著高于雄性 ( $z = -2.713$ ,  $P = 0.007$ ); 雄性日均游走和静息时长均极显著高于雌性 (游走:  $z = -6.348$ ,  $P < 0.001$ ; 静息:  $z = -6.349$ ,  $P < 0.001$ ) (图 1).

### 2.2 雌雄黑凤冠雉孵卵期行为节律与凉卵行为的时间动态特征

在孵卵期内, 雌雄黑凤冠雉的繁殖与个体行为呈现明显的昼夜节律. 笼养雌雄黑凤冠雉的觅食行为固定发生在每天投食的时间段, 即 10: 00—12: 00 和 14: 00—16: 00. 雄性表现出明确的活动-静息周期, 日间活动时间为 05: 56 至 18: 57, 以游走行为为主; 夜间 (19: 00—次日 07: 00) 则进入静息状态.

雌性凉卵行为 (不包括离巢) 呈现典型的波浪形时间分布模式. 凉卵频次在 06: 01—08: 00、14: 01—16: 00 和 18: 01—20: 00 时段达到峰值 (均为 3 次), 而在上午 10: 01—12: 00 时段出现低谷, 为 1.5 次 (图 2).

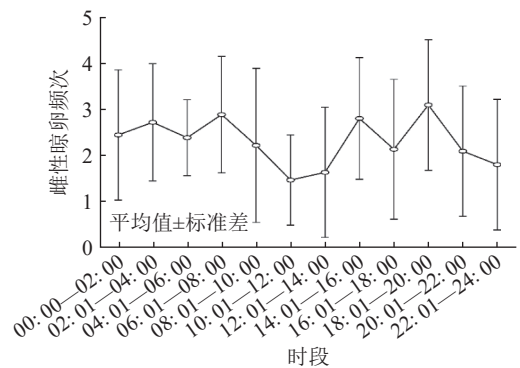


图 2 雌性黑凤冠雉在孵卵期的凉卵行为频次的日节律变化

在孵卵期内, 雌性黑凤冠雉除孵卵外主要的繁殖行为为凉卵, 日均凉卵频次为  $(27 \pm 5)$  次 (图 3-a). 总体而言, 雌性每日凉卵行为的频次随孵卵进程而小幅

度增长, 孵卵初期(第 1~5 日)的平均凉卵行为频次为  $(23 \pm 5)$  次  $\cdot$   $d^{-1}$ , 显著低于孵卵后期(第 20~24 日)的  $(33 \pm 5)$  次  $\cdot$   $d^{-1}$  (独立样本  $t$  检验,  $t = -2.949$ ,  $P = 0.018$ ) (图 3-a). 进一步分析表明, 雌性日均凉卵总时间为  $(38.5 \pm 9.5)$  min, 单次凉卵持续时间为  $(1.50 \pm 0.02)$  min, 且凉卵行为的单次持续时长不随孵卵时间的增加而变化(图 3-b).

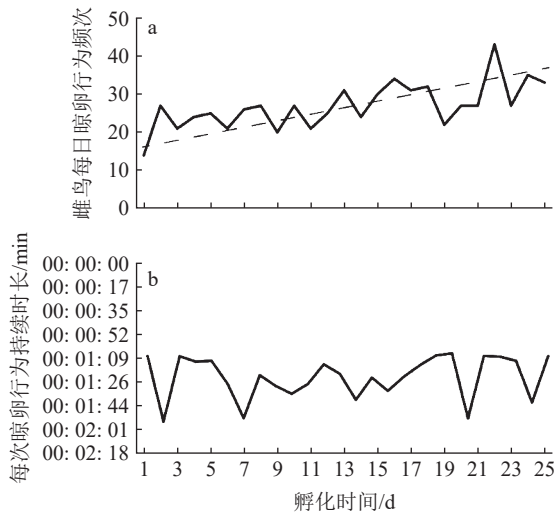


图 3 雌性黑凤冠雉的凉卵频次(a)和每次持续时间(b)随孵化时间的变化

### 2.3 孵卵期雄性黑凤冠雉在巢箱附近理羽或游走行为与雌鸟的凉卵行为显著正相关

尽管雄性个体不直接参与孵卵过程, 但行为监测数据显示, 在观测周期内, 雄性大部分时间栖息在靠近巢箱的交叉栖枝上, 通过低声鸣叫与雌性交流. 对视频行为解析表明, 当雄性在巢箱周围游走或理羽时, 留在巢中的雌性会随之进行凉卵. Spearman 秩相关分析证实, 雄性在巢箱周围的理羽或游走行为与雌性伴随发生的凉卵行为存在极显著相关性 (Spearman,  $r = 0.972$ ,  $P < 0.0001$ ,  $n = 26$ , 图 4), 雌雄黑凤冠雉之间的行为联动指数达到 91.59%. 这些现象表明, 雄鸟在巢周活动与雌鸟凉卵行为高度同步.

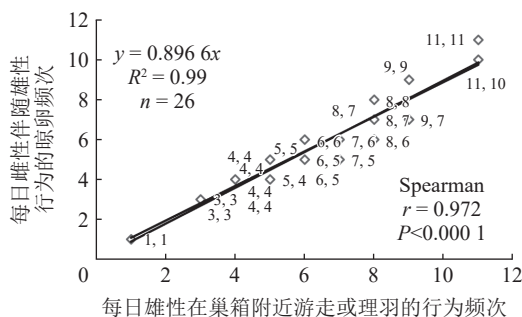


图 4 雄性黑凤冠雉在巢箱边走或理羽行为与雌性伴随雄性个体行为的凉卵行为的频次的相关性

## 3 讨论

### 3.1 笼养黑凤冠雉在孵卵期的行为模式具有显著的性别分化特征

在黑凤冠雉的孵卵期内, 雌雄行为特征之间存在显著差异(图 1). 具体来说, 雌性个体表现出典型的亲代投资模式, 日均投入繁殖活动的时间占比高达 93.54%, 其中核心的孵卵行为占 90.76%, 辅助性的翻卵与凉卵行为占 2.78%. 然而, 雄性个体日均 52.43% 的时间用于游走和觅食等(图 1), 但会在雌性离巢期间临时承担孵卵职责, 表现为翻卵. 在孵卵期内, 雄性绕巢箱游走或梳理羽毛的个体行为与雌性的凉卵行为间存在显著正相关性 ( $P < 0.0001$ , 图 4), 表明雄鸟在巢周的个体行为与雌鸟凉卵行为高度同步.

鸟类在孵卵期的时间分配, 是影响鸟类行为活动全部因素的综合表现<sup>[6, 36-38]</sup>. 研究表明, 野外鸟类的孵卵节律由栖息地环境、自身身体状况以及繁殖情况等共同决定<sup>[39-40]</sup>. 尽管凤冠雉科在热带生态系统中占据重要地位, 其繁殖行为特征研究仍存在显著空白<sup>[19, 24-25]</sup>. 针对分布于热带地区的凤冠雉科鸟类的研究表明, 鳞斑小冠雉 (*Ortalis guttata*) 的孵卵期为 29~30 d, 大风冠雉 (*C. rubra*) 的孵卵期约为 33 d, 灰凤冠雉 (*Pauxi pauxi*) 的孵卵期为 34~36 d<sup>[19, 24, 41]</sup>, 而黄瘤凤冠雉 (*C. daubentoni*) 的孵卵期为 28 d<sup>[19]</sup>. 另外, 角冠雉 (*Oreophasis derbianus*) 在干球温度为 37.5 °C, 湿球温度 28.8~30.1 °C, 相对湿度为 53%~56% 的条件下的人工孵卵的孵育期为 33~35 d<sup>[42]</sup>. 人工笼养环境与自然生态系统中鸟类的孵卵行为策略呈现显著差异<sup>[39]</sup>. 以雉科 (Phasianidae) 为例, 黄腹角雉 (*Tragopan caboti*)、红腹角雉 (*T. temminckii*) 在笼养条件下的孵卵期为 26~28 d<sup>[40-43]</sup>, 低于在野外环境下的 30~32 d<sup>[44]</sup>. 在本研究中, 笼养条件下黑凤冠雉的孵卵期为 26 d, 较同科近缘物种鳞斑小冠雉和灰凤冠雉在野外观测值缩短了 3~10 d, 却与雉科笼养种群的孵卵期 (26~28 d) 高度重叠. 我们推测, 黑凤冠雉的孵卵期时间可能由栖息环境以及物种特性共同决定.

鸟类在孵卵时面临着时间和能量等有限资源如何分配的问题<sup>[40, 44]</sup>. 在孵卵过程中, 雌鸟不仅需要长时间坐巢孵卵维持适宜的卵温以确保成功孵化, 还需定期离巢觅食以保障自身生存需求<sup>[39, 45-46]</sup>. 不同物种的离巢觅食的频次及持续时长存在显著种间差异: 红腹角雉每日离巢 0~2 次, 平均每次离巢  $(27 \pm 4.4)$  min<sup>[47]</sup>, 白冠长尾雉 (*Syrnaticus reevesii*) 则为低频次长时间离巢模式, 平均每 2.3 d 离巢 1 次, 单次离巢时间为  $(110 \pm 24)$  min<sup>[48]</sup>. 在本研究中, 笼养状态下的雌性黑凤冠雉每日离巢 1~3 次, 单次离巢时间约 39 min, 日

均离巢时间达(88±36) min(图1)。这种差异可能与物种特异的代谢需求、巢捕食风险及气候适应性相关。研究表明,在野外环境中,雌鸟的离巢时间与环境温度显著正相关<sup>[47]</sup>,随孵卵时间增加而减少<sup>[44]</sup>。天气情况和天敌活动则会抑制其离巢行为,如连续降雨时,黄腹角雉会1~2 d不离巢觅食<sup>[39, 46]</sup>;天敌出现会减少雌鸟离巢觅食的次数和时间<sup>[44, 46]</sup>。野外观察表明,包括角冠雉、黑冠雉(*Chamaepetes unicolor*)、黄眉小冠雉(*Ortalis superciliaris*)、黄瘤凤冠雉等在内的多数物种,在繁殖期的巢址垂直分布范围集中于冠层中部至亚冠层(距地高度0.9~24 m),这种空间隔离策略可显著降低巢捕食风险,这可能是黑凤冠雉能够较长时间离巢的重要因素之一<sup>[19, 49-51]</sup>。另外,本研究中的雌鸟每次离巢时间固定,且均用于觅食,几乎没有观察到游走、理羽等其他个体行为,推测可能是在笼养条件下,饲养员每天固定喂食时间所导致。

### 3.2 雌雄合作孵卵

孵卵行为是鸟类繁殖过程中的关键环节之一,对确保后代的存活和种群的延续具有重要作用。现有数据表明,白冠长尾雉、红腹锦鸡及黄腹角雉普遍遵循雌性单亲孵卵模式,其孵卵期行为模式以孵卵为核心<sup>[39, 46, 48, 52]</sup>。本研究中笼养黑凤冠雉孵卵期的行为时间分配(日均繁殖行为时间为(22.5±0.5) h)与上述模式高度一致,印证了雌性鸟类高投入孵卵策略的保守性<sup>[39-40, 46, 48]</sup>。

本研究中的雄性黑凤冠雉展现出独特的辅助孵卵行为。1)直接参与翻卵:在雌性离巢期间,雄性会通过喙或爪子协同完成卵的翻动与位置调整。野外生态学研究证实,眉纹冠雉(*Penelope superciliaris*)、灰凤冠雉等凤冠雉科的多个属的物种一般为专性单配偶制,并形成高度协作式亲代孵化模式<sup>[19, 41]</sup>。2)雌雄亲鸟合作:雄性在巢周的个体行为与雌性的凉卵行为存在高度联动性,推测雌雄亲鸟通过行为联动辅助孵卵,延长雌性凉卵时间以优化胚胎温湿度调控。研究表明,凉卵行为可通过热调节使卵处于中等温度波动区间,这种策略能够促进雏鸟运动能力等关键特征的发育<sup>[53-55]</sup>。在本研究中,虽然观察到雌雄亲鸟在孵卵期具有高度的行为联动,但仍需进一步的研究。后续可以通过雄性移除实验、多模态信号解析及野外适合度追踪,验证雌雄间的联动行为是否具有进化稳定策略的适应意义。

## 4 结论

综上所述,雌雄黑凤冠雉在孵卵期的分工不同,但均直接或间接参与孵卵活动。雌性承担主要的孵

卵任务。雄性虽不直接参与孵卵工作,但承担了在雌性离开巢箱期间的翻卵工作,以及与雌性保持高度的行为联动,从而实现了雌雄双方在孵卵过程中的有效分工与平衡。

## 5 参考文献

- [1] 高玮. 鸟类生态学[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 1993
- [2] 郑光美. 鸟类学[M]. 2版. 北京: 北京师范大学出版社, 2012
- [3] 尚玉昌. 行为生态学[M]. 2版. 北京: 北京大学出版社, 2018
- [4] 孙嘉辰. 高寒草甸常见雀形目鸟类的孵化策略[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015
- [5] Olson C R, Vleck C M, Vleck D. Periodic cooling of bird eggs reduces embryonic growth efficiency[J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2006, 79(5): 927
- [6] 徐纯柱, 郭玉民, 赵文阁. 白头鹤孵卵后期的行为节律观察[J]. *动物学杂志*, 2006, 41(3): 43
- [7] 周洪庆. 黑龙江七星河红嘴鸥繁殖期行为及巢址生境选择研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015
- [8] Skutch A F. The incubation patterns of birds[J]. *Ibis*, 1957, 99(1): 69
- [9] 朱峰, 周材权, 杨志松, 等. 四川南充白颊噪鹛的繁殖行为观察[J]. *动物学杂志*, 2010, 45(4): 150
- [10] 刘道强, 吴志勇, 王晓虹, 等. 圈养靛冠噪鹛(*Garrulax courtoisi*)合作繁殖行为初探[J]. *野生动物学报*, 2016, 37(3): 228
- [11] Lormée H, Berzins R, Rocheteau V, et al. Seasonal variation in the home ranges of black curassow, *Crax alector*, in French Guiana[J]. *Tropical Conservation Science*, 2021, 14: 19400829211026170
- [12] Fernando H M S, Gunawardena M P. Systematic review on effects of global climate change on birds[J]. *Environmental Quality Management*, 2024, 34(1): e22196
- [13] 席咏梅, 路宝忠, 庚志忠, 等. 朱鹮的救护[J]. *野生动物*, 1997, 18(5): 28
- [14] Archawaranon M. Captive Hill Mynah *Gracula religiosa* breeding success: potential for bird conservation in Thailand[J]. *Bird Conservation International*, 2005, 15(4): 327
- [15] 刘冬平, 路宝忠, 张国钢, 等. 人工饲养朱鹮野化放飞后在野外繁殖成功[J]. *动物学杂志*, 2007, 42(3): 101
- [16] Josep D H, Guy M K, Christopher J. Black Curassow *Crax alector* [EB/OL]. (2020-05-04) [2025-05-21]. <https://birdsoftheworld.org/bow/species/blacur1/cur/introduction>
- [17] Blake R. Manual of neotropical birds[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1977
- [18] Parra J L, Agudelo M, Molina Y, et al. Use of space by a

- pair of Salvin's curassow (*Mitu salvini*) in northwestern Colombian Amazon[J]. *Ornitologia Neotropical*, 2001, 12(3): 189
- [19] Brooks D M. Conserving Cracids: the most threatened family of birds in the Americas[J]. Houston: The Houston Museum of Natural Science, 2006, 3: 42
- [20] De Thoisy B, Richard-Hansen C, Goguillon B, et al. Rapid evaluation of threats to biodiversity: human footprint score and large vertebrate species responses in French Guiana[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2010, 19(6): 1567
- [21] BirdLife International. Black curassow *Crax alector*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e. T22678534A92777326 [EB/OL]. (2016-10-01) [2025-05-10]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22678534A92777326.en>
- [22] Parker T A. Behavior, habitat, and status of the Nocturnal Curassow (*Nothocrax Urumutum*) in northern Peru[J]. *Ornitologia Neotropical*, 2002, 13: 153
- [23] Londoño G A, Muñoz M C, Rios M M. Density and natural history of the sickle-winged guan (*Chamaepetes goudotii*) in the central Andes, Colombia[J]. *The Wilson Journal of Ornithology*, 2007, 119(2): 228
- [24] Toledo-Lima G S, De Oliveira J T M, Macario P, et al. Notes on reproductive biology of two species of cracids in northeastern Brazil[J]. *The Wilson Journal of Ornithology*, 2013, 125(3): 665
- [25] Castillo-Figueroa D, Collazos-González S A. Nest and egg description of the andean guan (*Penelope montagnii*, Cracidae)[J]. *Ornithology Research*, 2020, 28(3): 168
- [26] Link A, Alvarez-Solas S, Blake J, et al. Insights into the habits of the elusive nocturnal curassow (*Nothocrax urumutum*)[J]. *Ornitología Neotropical*, 2022, 33(1): 74
- [27] Senič M, Schuchmann K L, Marques M I. Reproduction phenology of a high conservation priority cracid: the bare-faced curassow (*Crax fasciolata*; Aves, Galliformes, Cracidae)[J]. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 2022, 62: e202262031
- [28] Candido M V, Silva L C C, Moura J, et al. Comparison of clinical parameters in captive Cracidae fed traditional and extruded diets[J]. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 2011, 42(3): 437
- [29] Ferreira-Junior F C, De Angeli Dutra D, Martins N R S, et al. *Haemoproteus paraortalidum* n. sp. in captive Black-fronted Piping-guans *Aburria jacutinga* (Galliformes, Cracidae): high prevalence in a population reintroduced into the wild[J]. *Acta Tropica*, 2018, 188: 93
- [30] 谢福祿. 人工养殖秦岭雉类十年回顾与探讨[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2003, 31(增刊2): 124
- [31] 朱向博, 张丽, 赵润星, 等. 褐马鸡的人工饲养管理[J]. *中国畜牧业*, 2018(15): 84
- [32] 郭玉民. 小兴安岭白头鹤(*Grus monacha*)繁殖行为生态学[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005
- [33] 吴思. 寿带(*Terpsiphone incei*)的巢址选择和繁殖行为研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2022
- [34] Martin P, Patrick B. Measuring behaviour: an introductory guide[M]. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- [35] Lindburg D G, Czekala N M, Swaisgood R R. Hormonal and behavioral relationships during estrus in the giant panda[J]. *Zoo Biology*, 2001, 20(6): 537
- [36] Evers D C. Activity budgets of a marked common loon (*Gavia immer*) nesting population[J]. *Hydrobiologia*, 1994, 279(1): 415
- [37] 贾陈喜, 王众, 孙悦华. 灰蓝姬鹀的孵卵节律[J]. *四川动物*, 2003, 22(4): 238
- [38] 周智鑫, 刘江南, 张彩霞, 等. 武夷山烟腹毛脚燕孵卵节律的初步研究[J]. *四川动物*, 2008, 27(4): 544
- [39] 郑光美, 赵欣如, 宋杰, 等. 黄腹角雉的繁殖生态研究[J]. *生态学报*, 1985, 5(4): 379
- [40] 丛培昊, 郑光美. 红腹角雉(*Tragopan temminckii*)的孵卵和育雏行为研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(4): 405
- [41] Schafer E. Estudio bio-ecológico comparativo sobre algunos Cracidae del norte y centro de Venezuela[J]. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 1953, 80: 30
- [42] González-García F, Porras C, Vargas J J. Artificial incubation of the horned guan *Oreophasis derbianus* (Aves: Cracidae) eggs[J]. *Acta Zoológica Mexicana (N S)*, 2006, 22(1): 81
- [43] Johnsgard P A. The Pheasants of the world: biology and natural history[M]. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 2000
- [44] 包其敏, 林莉斯, 陈丽群, 等. 黄腹角雉野生种群的孵化期及孵卵行为研究[J]. *四川动物*, 2022, 41(5): 537
- [45] Williams J B. Energetics of avian incubation[M]//*Avian Energetics and Nutritional Ecology*. Boston, MA: Springer US, 1996: 375
- [46] 郑光美. 中国雉类[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015
- [47] 丛培昊. 红腹角雉(*Tragopan temminckii*)的种群密度和繁殖行为研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2007
- [48] 张晓辉, 徐基良, 张正旺, 等. 白冠长尾雉孵卵行为的无线电遥测研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(2): 255
- [49] Stiles F G, Skutch A F. A Guide to the birds of Costa Rica [M]. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1990
- [50] Delacour J, Amadon D. Curassows and related birds[M]. 2nd ed. Barcelona: Lynx Nature Books, 2004

- [51] Kvarnback J, Berstsch C, Barreto G. Nest site selection and nesting success of the yellow-knobbed curassow (*Crax daubentoni*) in a fragmented landscape in the venezuelan llanos[J], *Ornitologia Neotropical*, 2008, 19: 347
- [52] 刘小斌, 韦伟, 郑筱光, 等. 红腹锦鸡和红腹角雉活动节律: 基于红外相机监测数据 [J]. *动物学杂志*, 2017, 52(2): 194
- [53] Durant S E, Hepp G R, Moore I T, et al. Slight differences in incubation temperature affect early growth and stress endocrinology of wood duck (*Aix sponsa*) ducklings[J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2010, 213(1): 45
- [54] Nord A, Nilsson J Å. Incubation temperature affects growth and energy metabolism in blue tit nestlings[J]. *The American Naturalist*, 2011, 178(5): 639
- [55] Durant S E, Hopkins W A, Hepp G R, et al. Ecological, evolutionary, and conservation implications of incubation temperature-dependent phenotypes in birds[J]. *Biological Reviews*, 2013, 88(2): 499

## Correlation between female egg cooling and male individual behavior around nest of captive black curassow during incubation

HE Yan<sup>1)</sup>, LI Qingyuan<sup>1)</sup>, XU Kexin<sup>1)</sup>, LI Jing<sup>2)</sup>, ZHU Yi<sup>2)</sup>, WANG Dan<sup>2)</sup>, DONG Jixuan<sup>1)</sup>, GAO Jie<sup>2)</sup>, LI Jing<sup>2)</sup>, LIU Xuesheng<sup>2)</sup>, LIU Xuefeng<sup>2)</sup>, FENG Yan<sup>2)</sup>, LIU Dingzhen<sup>1)</sup>

(1)Key Laboratory for Biodiversity and Ecological Engineering of Ministry of Education, College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing, China; 2)Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technology, Beijing Zoo, Beijing, China)

**Abstract** Black curassow (*Crax alector*) is a typical ground-dwelling bird within Cracidae. Currently, studies on reproductive ecology of black curassow remain absent, captive populations face multiple challenges including natural breeding difficulties and low hatching rates. In this study we systematically recorded for the first time reproductive and individual behaviors of a pair of captive black curassows during the incubation period, and analyzed time allocation of parental behaviors and differences between the sexes. Parental birds exhibited a significant sexual dimorphism in their incubation behavior, with females sharing an averaged 90.76% of the total incubation duties, while males being responsible for protecting the eggs in the absence of the female and for some egg turning. The behaviors of males, such as wandering around the nest box and preening near the nest, were significantly positively correlated with the cooling behavior of females (Spearman,  $r = 0.972$ ,  $P < 0.0001$ ,  $n = 26$ ), indicating highly synchronized perinest activity of males with female egg cooling behavior. This study documents behavioral division of labor and cooperative characteristics between male and female captive black curassow during incubation. The findings not only fill the research gap in the reproductive ethology of black curassow but also demonstrate that under captive conditions, the role of male during incubation must be given full consideration to optimize husbandry protocols and enhance hatching success.

**Keywords** black curassow; incubating; egg cooling; preening; cooperative breeding

【责任编辑: 武 佳】