



•综述•

野生绿孔雀生态学及保护生物学研究进展

顾伯健^{ID}, 王放^{ID*}

复旦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, 上海 200438

摘要: 绿孔雀(*Pavo muticus*)是我国国家I级重点保护野生动物,也是中国传统文化中具有重要代表意义的物种。在历史上,绿孔雀曾广泛分布于我国南部大部分地区,但目前在国内只分布于云南省部分地区。在国外有绿孔雀分布的东南亚国家,绿孔雀同样经历了从广布到局部甚至零星分布的严重退缩。关于野生绿孔雀生态学和种群现状的研究已开展了不少工作,但仍有许多空缺;而该物种面临的生存威胁给保护和管理带来了巨大挑战。本文通过梳理国内外野生绿孔雀生态学和保护生物学方面的研究,阐述了绿孔雀在国内外种群和分布区的变迁与现状、栖息地选择、与同域分布物种的种间关系,分析了主要的致危因素,同时为今后的研究方向和保护措施提出了建议。现有研究显示:(1)绿孔雀在国内的种群数量已不足500只,在东南亚主要分布于中南半岛的部分区域及印度尼西亚的爪哇岛;(2)绿孔雀对水源有很强的依赖,倾向于利用远离居民点的区域,并偏爱利用生境开阔、旱季落叶的热带季雨林,喜爱与大型有蹄类混群;(3)大型猫科动物可能是绿孔雀潜在的天敌;(4)偷猎和栖息地丧失是绿孔雀面临的最主要的致危因素。综上,我们建议尽快建立起中国绿孔雀监测网络,评估野生绿孔雀的种群动态,识别不同区域绿孔雀的受胁因素,并结合分子生物学等技术开展保护遗传学研究。在保护实践上,应在目前中国野生绿孔雀分布较为集中、原生栖息地保存较为完整的红河(元江)中上游河谷地带建立自然保护区,同时加强巡护工作,启动栖息地恢复工程,并杜绝在野生绿孔雀栖息地附近的蓝孔雀(*Pavo cristatus*)养殖。

关键词: 绿孔雀; 保护生物学; 分布区; 栖息地选择; 致危因素; 保护管理

顾伯健, 王放 (2021) 野生绿孔雀生态学及保护生物学研究进展. 生物多样性, 29, 1554–1564. doi: 10.17520/biods.2021144.

Gu BJ, Wang F (2021) A review on the ecology and conservation biology of green peafowl (*Pavo muticus*). Biodiversity Science, 29, 1554–1564. doi: 10.17520/biods.2021144.

A review on the ecology and conservation biology of green peafowl (*Pavo muticus*)

Bojian Gu^{ID}, Fang Wang^{ID*}

Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200438

ABSTRACT

Background & Aim: The green peafowl (*Pavo muticus*) is listed as Class-I National Key Protected Wildlife in China and has irreplaceable value in China's traditional culture. Historically, green peafowl were widely distributed across Southern China, but now its range is restricted to a few locations in Yunnan Province. There have been several studies that described the status and ecological traits of green peafowl in China, however, key information relating to population size and its adaptations to anthropogenic disturbance is still poorly understood. Furthermore, the green peafowl in Southeast Asia has also experienced drastic decline in both population size and distribution in the past 50 years. The studies on green peafowls' biology, ecology, and conservation planning in Southeast Asia could inform related research and conservation strategies in China. In this paper, we reviewed previous studies related to green peafowls' ecology and conservation research, and summarized green peafowls' population dynamics, habitat use and interspecific interactions with sympatric species in China and Southeast Asia. Based on these results, we proposed suggestions for future research and conservation planning.

Review Results: The wild population of green peafowl has less than 500 individuals in China, only distributed in Yunnan Province. In Southeast Asia, green peafowl is distributed in four strong-holds in Indo-China Peninsula and Java

收稿日期: 2021-04-15; 接受日期: 2021-09-26

基金项目: 质兰基金会“云南野生绿孔雀极小种群致危因子研究及保护能力提升”(2019100551A)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wfang@fudan.edu.cn

Island, in which the Eastern Plains landscape on the border of Cambodia and Vietnam holds the largest habitat and population. Studies conducted in Southeast Asia revealed that green peafowls had strong dependence on water resources and were associated with tropical dry forest, but were absent in tropical rain forest. They often herd with large ungulates such as banteng (*Bos javanicus*). Studies on habitat use demonstrated a significant variation in habitat use between dry and rainy season. Tiger (*Panthera tigris*), leopard (*P. pardus*), Asiatic golden cat (*Catopuma temminckii*) and civets (*Viverridae* spp.) were recognized as the green peafowl's main predators. Poaching and habitat loss resulting from agriculture expansion and infrastructure construction are the main anthropogenic threats to green peafowls.

Perspectives: We suggest that a long-term monitoring network combining camera trap and sign transect surveys are important for the conservation of green peafowl. Molecular biology can also help understand the conservation genetics of green peafowl. Most importantly, we strongly recommend that new protected areas along the river valleys of upper Red River where large habitat patches of tropical dry forest remain should be established. Patrols in green peafowl habitat should be enforced to protect against poaching. Furthermore, restoration of degenerated green peafowls' habitats should be initiated. Finally, Indian peafowl (*Pavo cristatus*) farms should be prohibited in and around green peafowl habitat in order to prevent genetic contamination.

Key words: green peafowl; conservation biology; distribution area; habitat use; threatening factor; conservation management

绿孔雀(*Pavo muticus*)属于鸡形目雉科,是现存雉类中体型最大的一种(Madge et al, 2010),也是我国国家I级重点保护野生动物。历史上,绿孔雀曾广泛分布于华中、华南、西南的大部分地区(文焕然和何业恒, 1980; 文焕然和文榕生, 2006)。在河南南阳市距今约四千年前的下王岗遗址中曾出土过孔雀的跗跖骨(贾兰坡和张振标, 1977), 证明在中华文明的早期阶段秦岭东端的余脉中有孔雀分布。随着历史上人类活动的加剧, 绿孔雀在我国南部大多数地区已经灭绝(Dong et al, 2021)。目前云南省是我国境内唯一有绿孔雀分布的区域(Kong et al, 2018; 丁平等, 2019; 刘阳和陈水华, 2021)。在世界范围内, 绿孔雀主要分布于东南亚的缅甸、老挝、泰国、柬埔寨、越南的部分地区和印度尼西亚的爪哇岛, 在印度东北部和马来半岛的种群可能已经绝迹(McGowan et al, 1999)。绿孔雀分为3个亚种: 分布于印度东北部和缅甸北部的*Pavo muticus spicifer*、分布于中南半岛各国和中国云南的*P. m. imperator*以及分布于爪哇岛的指名亚种*P. m. muticus* (Madge et al, 2010; 郑光美, 2017)。根据世界自然保护联盟(IUCN)的最新评估, 全球的绿孔雀在过去20年里种群数量下降了超过一半, 栖息地急剧萎缩, 因此其保护级别被调整为“濒危”(Bird Life International, 2016; IUCN, 2021)。鉴于绿孔雀在国内的受胁现状(蒋志刚等, 2016; 张雁云等, 2016), 2017年5月发布的《云南省生物物种红色名录(2017版)》中, 已将其保护等级列为“极危”(高正文和孙航, 2021)。2017

年以来, “红河(元江)干流戛洒江一级电站建设即将淹没绿孔雀栖息地”事件使得政府和公众对于绿孔雀的关注程度空前地提高(Tang et al, 2019)。

无论在中国还是东南亚, 绿孔雀都是具有重要意义的“旗舰物种”, 因此对该物种种群现状和生物学特性的深入了解, 有助于制定科学、精细的保护措施。本文对国内外绿孔雀的保护生物学、生态学方面的研究进展作一梳理, 总结关键研究信息, 识别研究和保护空缺, 期望能对我国今后的绿孔雀研究与保护工作提供参考。

1 中国野生绿孔雀种群数量和分布的调查

20世纪50–60年代, 郑作新、杨岚、匡邦郁等老一辈鸟类学家对当时还较为常见的绿孔雀进行了研究, 内容涉及求偶、觅食、夜宿地选择、繁殖等行为生态学, 以及食性、地理分布等(匡邦郁, 1963; 郑作新, 1978; 杨岚, 1995)。由于当时云南省绿孔雀分布范围广、种群数量较多, 因此这些研究大都采用直接观察的方法。70年代以后, 对于绿孔雀的野外研究一度中断。文焕然等历史地理学家通过查阅地方志中有关“孔雀”的记载, 对历史时期我国绿孔雀的分布情况与变迁做了梳理(文焕然和何业恒, 1980; 文焕然和文榕生, 2006)。90年代以后, 一些学者对绿孔雀的种群数量与分布情况进行了专项调查(文贤继等, 1995), 并且对于绿孔雀分布较为集中、位于红河(元江)中上游石羊江河谷的恐龙河州级自然保护区开展了较为深入的研究, 内容涉及绿孔

雀的栖息地和生境利用(刘钊等, 2008; Liu et al, 2009; 李旭等, 2016)以及夜宿地选择(刘钊等, 2008)等。

对于云南野生绿孔雀种群数量与分布情况较为全面的一次调查, 是20世纪90年代由中国科学院昆明动物研究所主持开展的。调查结果表明云南省的野生绿孔雀数量为800–1,100只, 种群与栖息地破碎化的问题凸显(文贤继等, 1995)。很多地点的绿孔雀都有遭受捕猎和因为误食鼠药与喷洒过农药的作物而中毒死亡的报道, 并且整个云南的野生绿孔雀已呈现出小家族群的点状隔离分布(文贤继等, 1995)。另外, 这一时期研究人员还完成了对云南楚雄(徐晖, 1995)、云南东南部和西北部(杨晓君等, 1997)、西双版纳(罗爱东和董永华, 1998)等地绿孔雀分布情况的调查。虽然这些地区的绿孔雀分布与数量情况各不相同, 但研究普遍发现自20世纪80年代以后, 绿孔雀的数量开始大幅下降, 一些地点绿孔雀种群消失。受当时调查技术与手段的限制, 上述绿孔雀种群数量的调查研究大多以访问(实地访问、电话、信函)的方式进行, 难以客观反映一个区域真实的种群数量与分布情况。同时, 由于云南地理情况复杂, 山高谷深, 又限于当时的人力、物力、交通等客观情况, 不排除有相当一部分绿孔雀的分布地点由于地理位置偏远、交通不便而在调查中被遗漏。例如2003年西南林业大学在对景谷县绿孔雀分布情况和栖息地的调查中, 又发现了涉及6个乡镇的7个新分布点(韩联宪等, 2006), 而2007年的调查中又新增了保山、澜沧、南涧、峨山、施甸、建水6个之前情况不清的分布点(Han et al, 2009)。因此, 当时对于云南全省绿孔雀800–1,100只的估计, 相比于真实情况可能偏低。

2014年以后, 中国科学院昆明动物研究所再次对云南野生绿孔雀进行了调查。这次调查依然以访问为主, 并在部分区域(如恐龙河州级自然保护区)运用了红外相机调查等新技术(文云燕等, 2016)。这次调查得出云南省绿孔雀少于500只的结论, 同时发现中国有野生绿孔雀分布的县从30年前的54个锐减至2015年的22个(Kong et al, 2018; Wu et al, 2019)。位于双柏县、新平县交界处的红河(元江)中上游的恐龙河州级自然保护区, 是中国绿孔雀种群分布最为密集的区域, 与1995年的调查相比, 这两个县绿孔雀的数量有所增加, 占云南绿孔雀总量的63.93%–69.17% (Kong et al, 2018)。此外, 北京动物

园也于2015–2018年对云南省相关林业部门和自然保护区开展了信函调查和野外实地调查, 估计云南省绿孔雀总数为235–280只, 且主要分布在怒江流域龙陵、永德段局部, 澜沧江流域景谷段局部, 以及红河流域石羊江、绿汁江沿岸部分地区(滑荣等, 2018; Li et al, 2020)。近期, 云南大学利用红外相机技术对云南新平县野生绿孔雀开展了专项调查, 识别出了该县野生绿孔雀的6个主要分布点(王方等, 2018, 2020)。

1 东南亚野生绿孔雀种群数量、分布的调查和研究

绿孔雀在20世纪早期是东南亚较为常见的雉类, 分布范围从印度东北部的阿萨姆地区向东延伸至缅甸、老挝、泰国、柬埔寨、越南的全境和马来半岛、爪哇岛(McGowan et al, 1999)。甚至有报道认为其与原鸡(*Gallus gallus*)是东南亚最常见的雉类。但是从20世纪60年代开始, 各分布国的研究都显示绿孔雀数量大幅下降(McGowan et al, 1999)。目前绿孔雀仅集中分布在缅甸中部、中南半岛的部分区域和爪哇岛。例如在泰国, 绿孔雀目前仅分布在西部(Western Forest Complex)和北部较为连片的森林中(Saridnirun et al, 2017; Sukumal et al, 2017)。20世纪初绿孔雀曾经在越南全国广泛分布, 但到了90年代, 只有位于多乐省(Dak Lak Province)的优敦国家公园(Yok Don National Park)及其周边以及越南南部的吉仙国家公园(Cat Tien National Park)还有确切的分布记录(Brickle et al, 1998)。柬埔寨也是绿孔雀曾经广泛分布的国家, 但从20世纪60年代开始, 由于价值高昂的羽屏而被大量猎捕(Goes, 2009), 其种群数量开始下降。因为长期战争, 柬埔寨对于绿孔雀的研究一度中断, 直到20世纪90年代, 研究人员才可以到达一些边远林区并开展研究(Goes, 2009)。缅甸是绿孔雀的主要分布国, 历史上绿孔雀广泛分布于所有省区的适宜生境, 并在一些区域数量众多(Oates, 1883)。2003–2005年的调查显示, 绿孔雀仍然常见于北部克钦邦的胡康谷老虎保护区(Hukaung Tiger Reserve), 但克钦邦大部分低海拔的历史分布区已无绿孔雀分布(Tordoff et al, 2007)。老挝的绿孔雀种群也同样经历了从广布到零星分布的剧烈下降, 20世纪90年代的调查显示全国有6个地点有可靠分布记录(McGowan et al, 1999), 近期

的调查显示只有位于中部的Phou Khao Khouay保护区和南部占巴塞省(Champasak)的Dong Khan Thoung保护区有可靠分布记录(Vongkhamheng, 2015)。绿孔雀的指名亚种曾经广泛分布于马来半岛和爪哇岛,但目前仅分布在爪哇岛的部分区域(McGowan et al, 1999; Hernowo et al, 2011)。依据20世纪90年代初的调查,绿孔雀在爪哇岛的分布区已变得破碎,据不完全估计仅存915–1,149只(Balen et al, 1995)。

近期, Sukumal等(2020)整合了历史和现在的分布点,并结合多种环境变量,识别了整个东南亚大陆绿孔雀的潜在分布区,发现绿孔雀现今的分布区面积仅为原历史分布区面积的16%。研究显示,可以长时间维持其种群规模且面积较大、较完整的分布区域有:缅甸中部、泰国西部和北部、柬埔寨东部与越南中南部的交界处、柬埔寨北部与老挝的交界处。其中,柬埔寨东部与越南交界处的蒙多基里省(Mondolkiri)的绿孔雀依然广泛分布,并且地方性常见(Goes, 2009),基于在该地区2006–2007年旱季的调查,绿孔雀依然较多,种群密度较大(Timmins, 2008)。Timmins (2008)曾估计柬埔寨有上万只绿孔雀,而根据已知的分布和记录,保守估计柬埔寨有2,000–3,000只,仅面积为3,000 km²的Seima保护区(Seima Biodiversity Conservation Area)就分布着1,000只绿孔雀(Goes, 2009),并对全球绿孔雀的种群维持有着重要的意义(Nuttall et al, 2017)。因此,有学者认为,柬埔寨东部和北部维持着世界上最大的野生绿孔雀种群(Brickle et al, 2008)。泰国西部的怀卡康野生生物保护区(Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary)被认为是该国最大的绿孔雀栖息地,保存着泰国最为重要的绿孔雀种群。东南亚地区很多绿孔雀的基础研究工作,包括栖息地利用(Sukumal et al, 2017)、食性、繁殖、生活史、行为学等基础生物学研究(Ponsena, 1988; Tanwarat, 2009^①)、以及绿孔雀种群样线调查和无线电追踪(Sukumal et al, 2017)等都来自于这个保护区。值得一提的是,由于该保护区栖息着东南亚最为重要的印支虎(*Panthera tigris corbetti*)种群,因此针对印支虎严格

的武装巡护和栖息地的保护,使得怀卡康保护区的野生绿孔雀种群数量近年来有所回升(Sukumal et al, 2017)。

3 绿孔雀的生态学特性与致危因素

3.1 栖息地利用

研究显示,绿孔雀对于水源地有着非常强的依赖。不少早期的研究都将绿孔雀的栖息地描述为河流岸边较为稀疏的森林地带和林缘(Hoogerwerf, 1970),也有一些研究将绿孔雀的栖息地描述为“高草和森林斑块镶嵌、相对开阔的河流区域”(Delacour, 1977),并认为清洁充足的水源对该物种是必不可少的(Johnsgard, 1986; Brickle, 2002)。这些研究均表明,绿孔雀的活动范围距离水源地很近。例如在泰国北部Wiang Lor野生生物保护区(Wiang Lor Wildlife Sanctuary)的研究显示,绿孔雀主要分布在距离水源地1–2 km的范围内(Saridnirun et al, 2017),这与在越南西部(Brickle, 2002)和爪哇(Hernowo et al, 2011)的研究结论是吻合的。对于柬埔寨东北部Siem Pang野生生物保护区(Siem Pang Wildlife Sanctuary)绿孔雀栖息地的研究也显示,绿孔雀更喜欢利用河流边的生境,同一片区域绿孔雀在河流附近的种群密度比其他生境高出数倍(Loveridge et al, 2017)。水源地在旱季对绿孔雀的生存显得尤其重要,因为旱季末期是绿孔雀的繁殖期,温度会达到一年中的最高值,水源却最为匮乏(Brickle et al, 1998)。在怀卡康保护区,基于红外相机和无线电追踪的研究显示,在繁殖季绝大多数绿孔雀的位点都出现在大的水体周围(Sukumal et al, 2017)。被认为是东南亚诸多珍稀濒危物种主要栖息地的柬埔寨东部与越南南部交界处的“东部平原地带”(Eastern Plains Landscape),一些散布在落叶龙脑香林(deciduous dipterocarp forest)里的小水塘在旱季也对绿孔雀种群的维持至关重要(Pin et al, 2020)。国内的研究证明,在曾经有绿孔雀分布的景东县川河河谷,绿孔雀在旱季主要出现在距离水源小于100 m的生境中(杨晓君等, 2000)。此外,李绒等(2019)基于MaxEnt模型对位于红河中上游的恐龙河州级自然保护区的绿孔雀适宜栖息地和潜在廊道进行了评价,发现绿孔雀最适宜的生境呈带状分布在低海拔的河谷两侧,识别出的多条栖息地廊道也与河流重合。

① Tanwarat P (2009) Effect of Environmental and Human Use Factors to Abundance of Green Peafowl *Pavo muticus* at Huai Tab Saloa and Huai Songtang, Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani Province. Master Degree, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

值得注意的是, 尽管栖息地距离水源较近, 但大部分相关研究都表明绿孔雀更偏爱生活在干燥、开阔的热带落叶林中, 甚至将绿孔雀称为“dry forest specialists” (Pin et al, 2020)。这类植被在各类文献中称谓不一, 如“mixed deciduous forest”、“dry deciduous forest”、“monsoon forest”等。但如果用较为准确的术语来定义东南亚这类热带地区旱季落叶、较为稀疏的“干性的落叶或半常绿”植被, 则其对应的中文名称应当为“季雨林”。季雨林指具有明显干、湿季变化的热带季风气候下发育的一种热带落叶森林植被, 是介于热带雨林与热带稀树草原之间的一种过渡植被类型(朱华, 2005)。对泰国怀卡康保护区绿孔雀栖息地选择的研究表明, 绿孔雀利用最为频繁的生境为典型的热带季雨林(Tanwarat, 2009^①; Sukumal et al, 2017), 这个结果也与泰国北部的研究结果一致(Saridnirun et al, 2017, 2021)。在越南多乐省的研究也表明, 那里大面积分布的热带季雨林内生存着当地最多的绿孔雀种群(Brickle et al, 1998; Brickle, 2002)。与之对应的是, 东南亚地区生物多样性极其丰富的热带雨林, 从未被研究报道作为绿孔雀的栖息地。这和《云南鸟类志》中提到的绿孔雀“从未见于浓密的热带雨林中”的结论一致(杨岚, 1995)。相比于热带雨林和常绿阔叶林, 绿孔雀更频繁地利用季雨林的原因可能是该植被类型空旷的生境为开屏求偶提供了场所, 同时季节性的落果也能为绿孔雀雏鸟的生长提供营养(Brickle, 2002)。另外季雨林开阔的生境使得林下植被, 尤其是草本层较为发达, 能够为绿孔雀提供种子、叶片、昆虫等充足的食物(Sukumal et al, 2015)。

绿孔雀对栖息地的利用有着显著的季节差异。很多研究都表明, 绿孔雀的活动区在雨季较为分散, 在旱季相对集中(刘钊等, 2008; Saridnirun et al, 2017; Sukumal et al, 2017)。这很可能是因为旱季水源成为制约其生存的一个生态因素。泰国怀卡康保护区的研究表明, 绿孔雀在旱季(繁殖季)聚集在水源点附近, 而雨季(非繁殖季)的活动范围较广, 但依然偏好利用林下较为空旷、地表植被覆盖度较高的区域, 相应的活动区面积在雨季(177.23 ha)显

著大于旱季(25.72 ha) (Sukumal et al, 2017)。

值得注意的是, 与东南亚野生绿孔雀主要栖息在保存较为完整、面积较大的原生栖息地不同, 中国云南野生绿孔雀的栖息地总体已变得非常破碎。除红河(元江)流域中上游的河谷地带以外, 大部分绿孔雀分布区已不是原生生境, 栖息地与农田和居民点交错分布。例如景东县川河河谷的绿孔雀栖息地, 原始的季风常绿阔叶林已基本消失, 次生的思茅松林(Form. *Pinus kesiya* var. *langbianensis*)占绝对优势, 该区域的绿孔雀主要出现在距离居民点小于500 m的区域, 并且将农田作为其主要的觅食场所(杨晓君等, 2000)。已有研究提到绿孔雀越来越频繁地出现在次生性质的暖性针叶林里, 可能说明在原生生境减少的情况下, 绿孔雀正在适应这种植被类型(郑光美, 2015)。例如在玉溪市新平县与峨山县交界处、普洱市景谷县正兴镇以及宁洱县与思茅区交界处, 绿孔雀都栖息在次生性质的暖性针叶林中。云南很多绿孔雀分布区内的人口密度非常高, 一些绿孔雀栖息地的斑块长度或宽度只有2–3 km, 与村庄、农田和道路交错分布。因此, 云南现存的绿孔雀不可避免地会利用紧邻居民点的生境。

3.2 同域分布物种

绿孔雀在野外的捕食者目前缺乏定量研究。一些文献里提到虎(*Panthera tigris*)、豹(*P. pardus*)是绿孔雀潜在的捕食者。例如, 在泰国怀卡康保护区的研究证实, 大型猫科动物活动区域中绿孔雀种群密度低, 绿孔雀在迁移扩散时会回避这些区域(Sukumal et al, 2017)。但上述食肉动物是否会直接捕食绿孔雀, 尚缺乏直接的证据。也有研究将椰子狸(*Paradoxurus hermaphroditus*)、大灵猫(*Viverra zibetha*)、亚洲胡狼(*Canis aureus*)、豺(*Cuon alpinus*)、丛林猫(*Felis chaus*)、金猫(*Catopuma temminckii*)、豹猫(*Prionailurus bengalensis*)、缅甸蟒(*Python bivittatus*)、蛇雕(*Spilornis cheela*)列为绿孔雀的捕食者(Saridnirun et al, 2017; Sukumal et al, 2017)。值得注意的是, 虎、豹等大中型猫科动物近年来在东南亚数量急剧下降, 有的甚至出现区域灭绝, 例如老挝、越南、柬埔寨的虎可能已经绝迹(Harley, 2016^②; Hance, 2019), 这为进一步的研究造成了困难。此外, 缅甸曾报道过处于繁殖期的野生绿孔雀被家犬袭

① Tanwarat P (2009) Effect of Environmental and Human Use Factors to Abundance of Green Peafowl *Pavo muticus* at Huai Tab Saloa and Huai Songtang, Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani Province. Master Degree, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

② Harley A (2016) Global Wild Tiger Population Status. WWF Tx2 Tiger Initiative.

击致死的案例,说明野化的家犬对绿孔雀的生存可能构成威胁(Shwe et al, 2020)。

在东南亚一些原生动植物群落保存较好的区域,如泰国西部的怀卡康保护区、柬埔寨东部与越南交界处的东部平原地带,绿孔雀与印度野牛(*Bos gaurus*)、爪哇野牛(*B. javanicus*)、亚洲野水牛(*Bubalus arnee*)、水鹿(*Rusa unicolor*)、坡鹿(*Rucervus eldii*)等当地的大型有蹄类动物同域分布(Brickle et al, 1998; Phan & Gray, 2010; Pin et al, 2020)。例如怀卡康保护区的绿孔雀经常和爪哇野牛混群。有观点认为爪哇野牛开辟了绿孔雀偏好利用的较为空旷的林下生境,但是两者的种间关系仍需要更多的研究(Sukumal et al, 2017)。在爪哇岛的研究也发现,一些严格禁止野牛和人类进入的区域长满了灌木和幼树,反倒不利于绿孔雀生存(Balen et al, 1995)。在国内,与绿孔雀同域分布的雉类较为丰富,经初步调查有黑颈长尾雉(*Syrmaticus humiae*)、白鹇(*Lophura nycthemera*)、白腹锦鸡(*Chrysolophus amherstiae*)、原鸡、中华鹧鸪(*Francolinus pintadeanus*)等,并且绿孔雀与白鹇之间存在活动节律、栖息地利用等方面的分化(晏鸣霄等, 2021)。

放牧一直以来被视为对生物多样性尤其是濒危野生动物存在干扰(Steinfeld et al, 2006; Hull et al, 2014)。但放牧对绿孔雀有何具体影响仅有个别定量研究。在越南多乐省和吉仙国家公园中,有家牛放牧的区域绿孔雀的密度较低,大量的放牧对于绿孔雀的种群密度有着负面的影响,可能的原因是过度放牧会导致地表植被退化(Sukumal et al, 2015)。在泰国北部,家牛脖子上的铃铛会干扰绿孔雀的活动(Saridnirun et al, 2017)。但是通过绿孔雀在越南多乐省与爪哇野牛、印度野牛、亚洲野水牛同域分布的现象,也有学者推断出绿孔雀至少可以容忍低强度的放牧(Brickle, 2002)。

3.3 致危因素

人类的直接干扰和栖息地丧失是绿孔雀面临的最主要威胁,而且这两种致危因素通常协同作用(Goes, 2009)。例如在东南亚,绿孔雀分布最为集中的植被是低地的热带季雨林,但是这种生境正在因为农业发展、各种基础设施建设而迅速消失或变得破碎化(Sukumal et al, 2020)。同时,绿孔雀对水源地的偏爱驱使它们喜爱栖息在低地河岸边的森林(low-land riverine forest),但这些区域往往最先被人

类开垦,使得绿孔雀直接和人类发生冲突(Brickle, 2002)。例如,研究人员曾在景谷县半坡乡澜沧江河谷记录到绿孔雀的实体、鸣叫和羽毛、足迹等痕迹(韩联宪等, 2006),但是2012年以后该区域成为了糯扎渡水电站的淹没区。另外,栖息地的丧失和破碎化迫使野生绿孔雀到农田生境觅食,不但使绿孔雀被偷猎的风险大大增加,而且使其容易受到农药、包衣种子(为了防止病虫害在播种前混合了农药的种子)、除草剂和杀虫剂的威胁,加剧了栖息地丧失和破碎化带来的连锁反应^①。20世纪80年代,爪哇就报道过在农田里觅食的绿孔雀被剧毒农药DDT群体性毒杀的案例(Balen et al, 1995)。云南楚雄州新村乡和普洱市景谷县也都曾报道过绿孔雀被毒杀的案例(文贤继等, 1995; 韩联宪等, 2006)。这些有毒物质不但会造成直接的毒杀(Balen et al, 1995),而且会通过食物链在绿孔雀体内富集,雏鸟的存活率也会因为取食了含有有毒物质的无脊椎动物而受到影响(Shwe et al, 2020)。

对于绿孔雀直接的人为干扰,包括以获取肉和雄鸟华丽尾屏为目的的偷猎、以获取蛋白质为目的的捡蛋(Balen et al, 1995; McGowan et al, 1999; Brickle, 2002; Goes, 2009; Saridnirun et al, 2017)和进入其栖息地采集林副产品的活动(Saridnirun et al, 2017)。偷猎被认为是东南亚一些地区绿孔雀区域性灭绝的首要因素,例如马来半岛依然有着大片绿孔雀适宜的栖息地,但是偷猎造成了当地绿孔雀种群的灭绝(McGowan et al, 1999)。近期的研究表明,人类干扰而非气候变化是中国野生绿孔雀在其历史分布区大面积消失和濒危的主要原因(Dong et al, 2021)。另外一些研究也表明,绿孔雀对于人类的干扰非常敏感,会尽量避开人类活动较为频繁的地方。例如在越南的多乐省,绿孔雀回避人类活动区域,虽然距离水源点小于2 km、距离居民点大于2 km的区域只占了该省面积的3%,但是却维持着当地种群的37% (Brickle, 2002)。在泰国北部Wiang Lor保护区的研究也表明,绿孔雀距离居民点的距离通常大于2-3 km (Saridnirun et al, 2017)。但是在缅甸中部的一些区域,绿孔雀由于南传佛教信仰的

^① Tanwarat P (2009) Effect of Environmental and Human Use Factors to Abundance of Green Peafowl *Pavo muticus* at Huai Tab Salao and Huai Songtang, Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani Province. Master Degree, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

原因,并未显示出对人类活动的回避,栖息于斑块化的森林生境,并依赖采用传统耕作方式的农田作为觅食地(Shwe et al, 2020)。

4 绿孔雀研究和保护工作的空缺与建议

4.1 研究空缺

在东南亚一些重要的野生绿孔雀栖息地,如泰国西部、越南的多乐省和吉仙国家公园,关于绿孔雀种群动态、栖息地选择等方面的专项监测和研究持续了较长时间,建立了长期监测网络。在类似的研究地点,基于传统样线法和较为先进的红外相机监测法的长期监测网络可以研究绿孔雀的分布和数量变化,并依据研究结果提出保护管理建议(Brickle, 2002; Sukumal et al, 2015, 2017; Saridnirun et al, 2017, 2021)。但整体而言,目前绿孔雀的研究工作中缺乏类似的长期监测和数据搜集工作。以中国为例,尽管科研人员围绕野生绿孔雀的数量、分布等关键信息进行了深入的研究,但因缺乏长期的调查和研究投入,并未建立覆盖主要分布区域的长期监测网络,难以对其种群数量、分布和生境变化进行评估。为此,我们建议结合红外相机监测等较为先进的调查和研究技术,对云南全省范围内以及东南亚大面积分布区域的绿孔雀分布状况和种群密度开展长期监测,识别分布和种群数量出现显著波动的关键区域。长期监测网络可以从制度上帮助主管部门及时了解野生绿孔雀的种群动态,并依据监测结果制定有效的保护措施和栖息地管理措施。此外,人类干扰对云南野生绿孔雀的影响及其对人类活动的适应机制也是未来研究的重要内容。

目前,人们对于绿孔雀活动区和活动范围的了解还很有限。以往对绿孔雀的无线电跟踪(Sukumal et al, 2017)获取的数据量和精度存在限制,需要的野外工作量大,建议今后能将GPS跟踪技术应用到该物种的研究上。目前绿孔雀栖息地破碎化严重,研究其迁移、扩散能力,对于搞清楚“源种群”与邻近地区不同小种群之间是否存在联系,是否构成集合种群至关重要。填补上述研究空缺,对于在栖息地退缩和破碎化的背景下规划新的保护地、设计迁移廊道至关重要。

如今分子生物学技术已被广泛用于生态学和保护生物学研究工作,但是目前还未被广泛地用于野生绿孔雀遗传多样性和种群现状评估中。云南现

今的野生绿孔雀分布区包括了红河(元江)、澜沧江、怒江三大流域。虽然这三大流域分布的群体依据传统的分类学观点属于同一个亚种,但是它们之间被哀牢山、无量山、碧罗雪山等高大的山脉阻隔。结合云南的生物地理背景,这几大群体间可能存在着一定的遗传差异,并各自构成了不同的“进化显著单元(evolutionarily significant units, ESUs)” (Ryder, 1986; Moritz, 1994; Crandall et al, 2000)。因此,通过研究这三大群体的遗传分化和遗传多样性,并结合其种群大小和分布现状,可以识别存在较大保护空缺的“优先保护种群”(李媛媛等, 2020)。同时,分子生物学也应当应用到解决目前已经查明的绿孔雀极小种群之间是否存在基因交流、源种群与附近的小种群之间是否构成集合种群这些具体的保护生物学问题当中。

4.2 保护建议

在原生栖息地被破坏后,野生绿孔雀在东南亚国家被偷猎和毒杀的几率大幅增加^①,这一情况在我国云南可能也较为普遍。原生栖息地消失和其所引起的偷猎、毒杀、误捕等连锁反应,可能是一些历史分布区绿孔雀出现区域性灭绝的重要原因。因此,对我国野生绿孔雀现存栖息地、尤其是保存相对完整的原生栖息地的保护,对于绿孔雀的长远生存至关重要。

目前云南红河(元江)中上游的河谷地带依然保存着连片的原始河谷季雨林(顾伯健和朱华, 2015)。几乎所有关于东南亚绿孔雀的研究资料都提到其最适宜的原生栖息地是生境干燥、开阔、距离水源较近或者河流附近的热带季雨林,而云南的热带季雨林本来就是东南亚热带季雨林沿着河谷地带向北的延伸,这也暗示了为何目前该区域依然维持着中国最为密集的绿孔雀种群(Kong et al, 2018)。Loveridge等(2017)提到过“对于绿孔雀这一旗舰物种的保护要对其栖息的河谷生境优先考虑”;文贤继等(1995)和McGowan等(1999)也提到双柏县、新平县、南华县等市县境内的礼社江、石羊江(红河中上游干流的别名)、马龙河(石羊江支流)、太和江(红河支流绿汁江下游的别名)河谷有着较大的绿孔雀

^① Tanwarat P (2009) Effect of Environmental and Human Use Factors to Abundance of Green Peafowl *Pavo muticus* at Huai Tab Salao and Huai Songtang, Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani Province. Master Degree, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

种群,并建议成立专门的自然保护区加以保护。但是,该区域目前只有恐龙河州级自然保护区覆盖了其中小部分的绿孔雀栖息地,其余大片的绿孔雀栖息地(如者竜乡与爱尼山乡交界处的石羊江河谷、老厂乡的绿汁江河谷、大麦地镇和独田乡的部分区域)没有建立自然保护区。尽管以上区域存在一些“保护小区”式的自然保护探索,但因为土地权属大部分依然为村集体所有,并未被纳入有法律地位的自然保护地体系之中,给保护管理带来了挑战。例如,因为不在法律规定的自然保护区边界内,位于石羊江与绿汁江河谷的绿孔雀核心栖息地内的戛洒江一级水电站建设引发了环境公益诉讼案,绿孔雀栖息地险些因为水电站建设而淹没。

因此我们建议,在绿孔雀分布较为集中、且季雨林植被保存较为完整的红河(元江)中上游(如戛洒江、石羊江、绿汁江河谷地带)设立新的自然保护区。我们同时建议该区域的恐龙河州级自然保护区,尽快将之前因为开矿和水电站建设调出保护区的部分重新划入保护区进行管理(习白羽等, 2021)。与此同时,属于绿孔雀的关键分布区的市、县级保护区、林场、和民间“保护小区”应升级为省级或者国家级的自然保护区、或整合并入已有的国家公园或国家级、省级自然保护区进行依法管理,使该区域的绿孔雀核心种群与相对较为完整的绿孔雀栖息地能够得到长久的保护。

除栖息地破坏外,偷猎是绿孔雀面临的长期威胁。东南亚的保护实践表明,如果加强针对偷猎的打击、强化日常巡护,在栖息地的完整性得到保护的情况下,绿孔雀的种群是可以恢复的。例如,泰国怀卡康保护区的绿孔雀栖息地就通过强有力的巡护使得该区域的绿孔雀种群得以恢复(Sukumal et al, 2017)。因此我们建议,依托基层林业部门,加强对国内已经查明的绿孔雀栖息地的巡护,同时做好周边社区野生动物保护的宣传工作。值得注意的是,缅甸中部依然生存着依赖森林斑块生境和传统小农经济生存、并因南传佛教信仰而被保护着的绿孔雀种群(Shwe et al, 2020)。该案例为我国云南与人类活动区域交错分布的绿孔雀栖息地的长久保护,提供了基于宗教文化和社区参与的保护模式作为参考。另外,云南的绿孔雀栖息地大多生境偏干,栖息地的植被无论是季雨林、半湿润常绿阔叶林还是暖性针叶林一旦遭到严重破坏很难自然恢复。因此

在一些受到较大破坏、退化的绿孔雀栖息地可以考虑开展基于植被恢复的栖息地修复,以提升栖息地的质量并打通隔离小种群之间迁移扩散的廊道。


另外一个值得注意的事项是,绿孔雀和其近亲蓝孔雀(*Pavo cristatus*)的天然分布区虽然没有重叠,但这两个物种之间的杂交现象较为普遍(Du et al, 2020)。目前东南亚和我国云南都有大量的蓝孔雀饲养场,且部分饲养场靠近野生绿孔雀的栖息地。由于逃逸到野外的蓝孔雀可能污染野生绿孔雀种群的基因,因此东南亚的一些研究者建议,在绿孔雀分布区(包括潜在分布区)附近的蓝孔雀的饲养应当被禁止(McGowan et al, 1999; Brickle et al, 2008; Goes, 2009)。我们建议,应该清查云南绿孔雀栖息地附近的蓝孔雀养殖场所,依法取缔非法养殖和放生行为,对现有的绿孔雀栖息地附近的合法蓝孔雀养殖引导进行产业转移,杜绝在野生绿孔雀栖息地附近的蓝孔雀饲养和放生行为。

在中国野生绿孔雀种群已经极度濒危的背景下,从野外救助或通过非法贸易流入国内被查获却不具备野放条件的绿孔雀个体,可以考虑作为绿孔雀人工种群的补充。但人工种群的建立应该避免对野生种群的捕捉和依赖。目前国内纯种的绿孔雀人工种群可能相当稀少。部分已有的绿孔雀人工种群已混入蓝孔雀的基因片段。未来建立绿孔雀人工种群过程中,需建立遗传图谱来对建群个体进行筛选和鉴定,防止基因污染。目前阶段,我们建议绿孔雀的保护工作重点应集中在野生绿孔雀种群及其栖息地上。而未来,在野生绿孔雀已消失的区域,如大理巍山青华乡绿孔雀自然保护区等,可以考虑绿孔雀人工种群的再引入工作。

致谢: 各位审稿专家在论文修改过程中提出了诸多宝贵意见,在此表示感谢!

ORCID

顾伯健  <https://orcid.org/0000-0002-6361-6246>

王放  <https://orcid.org/0000-0002-3922-5851>

参考文献

- Balen S, Prawiradilaga DM, Indrawan M (1995) The distribution and status of green peafowl *Pavo muticus* in Java. *Biological Conservation*, 71, 289–297.
- BirdLife International (2016) *Pavo muticus* in the IUCN Red

- List of Threatened Species: e. T22679440A92814720. <https://www.iucnredlist.org/species/22679440/131749282>. (accessed on 2021-08-10)
- Brickle NW, Cu N, Quynh HQ, Cuong NTT, Van San H (1998) The status and distribution of green peafowl in Dak Lak Province, Vietnam. Bird Life International—Vietnam Programme, Hanoi, Vietnam.
- Brickle NW (2002) Habitat use, predicted distribution and conservation of green peafowl (*Pavo muticus*) in Dak Lak Province, Vietnam. Biological Conservation, 105, 189–197.
- Brickle NW, Duckworth JW, Tordoff AW, Poole CM, Timmins R, McGowan PJK (2008) The status and conservation of Galliformes in Cambodia, Laos and Vietnam. Biodiversity and Conservation, 17, 1393–1427.
- Crandall KA, Bininda-Emonds ORP, Mace GM, Wayne RK (2000) Considering evolutionary processes in conservation biology. Trends in Ecology & Evolution, 15, 290–295.
- Delacour J (1977) Pheasants of the World, 2nd edn. Spur Publications, Hindhead, UK.
- Ding P, Zhang ZW, Liang W, Li XT (2019) The Forest Birds of China. Hunan Science and Technology Press, Changsha. (in Chinese) [丁平, 张正旺, 梁伟, 李湘涛 (2019) 中国森林鸟类. 湖南科学技术出版社, 长沙.]
- Dong F, Kuo HC, Chen GL, Wu F, Shan PF, Wang J, Chen D, Lei FM, Hung CM, Liu Y, Yang XJ (2021) Population genomic, climatic and anthropogenic evidence suggest the role of human forces in endangerment of green peafowl (*Pavo muticus*). Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 288, 20210073.
- Du HY, Zhang XY, Dinh TD, Ma Y, Zong C, Li GL, Dahmer TD, Xu YC (2020) Identification of hybrid green peafowl using mitochondrial and nuclear markers. Conservation Genetics Resources, 12, 669–683.
- Gao ZW, Sun H (2021) Species Red List of Yunnan Province. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [高正文, 孙航 (2021) 云南省生物物种红色名录(2017版). 云南科技出版社, 昆明.]
- Goes F (2009) The status and distribution of green peafowl *Pavo muticus* in Cambodia. Cambodian Journal of Natural History, (1), 7–15.
- Gu BJ, Zhu H (2015) A community ecology study on the monsoon forest in the valley of lower Lüzhi River in Yunnan. Plant Diversity and Resources, 37, 339–348. (in Chinese with English abstract) [顾伯健, 朱华 (2015) 云南绿汁江下游河谷季雨林群落学研究. 植物分类与资源学报, 37, 339–348.]
- Han LX, Luo X, Han XB, Wang C (2006) Distribution and habitat survey of green peafowl in Jinggu, Yunnan. In: International Forum on Man and Birds in Harmony: Avian Protection, Harmonious Development (eds Wang YC, Wang ZJ, Gao ZW, Yang L), pp. 93–98. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese with English abstract) [韩联宪, 罗旭, 韩学波, 王晨 (2006) 云南省景谷县绿孔雀分布及生境调查. 见: 人鸟和谐国际论坛: 保护鸟类, 和谐发展 (王月冲, 王紫江, 高正文, 杨岚主编), 93–98页. 中国林业出版社, 北京.]
- Han LX, Liu YQ, Han B (2009) The status and distribution of green peafowl *Pavo muticus* in Yunnan Province, China. International Journal of Galliformes Conservation, 1, 29–31.
- Hance J (2019) How Laos lost its tigers. Mongabay. <https://news.mongabay.com/2019/10/how-laos-lost-its-tigers/>. (accessed on 2021-08-10)
- Hernowo JB, Mardiasuti A, Alikodra HS, Kusmana C (2011) Behavior ecology of the Javan green peafowl (*Pavo muticus muticus* Linnaeus 1758) in Baluran and Alas Purwo National Park, east Java. HAYATI Journal of Biosciences, 18, 164–176.
- Hoogerwerf A (1970) Ujung Kulon, the Land of the Last Javan Rhinoceros: With Local and General Data on the Most Important Faunal Species and Their Preservation in Indonesia. E. J. Brill-Leiden, Netherlands.
- Hua R, Cui DY, Liu J, Zhang J, Huang S, Guo G, Luo AD (2018) The status and distribution of green peafowl (*Pavo muticus imperator*) in China. Chinese Journal of Wildlife, 39, 681–684. (in Chinese with English abstract) [滑荣, 崔多英, 刘佳, 张敬, 黄松, 郭光, 罗爱东 (2018) 中国绿孔雀种群现状调查. 野生动物学报, 39, 681–684.]
- Hull V, Zhang JD, Zhou SQ, Huang JY, Viña A, Liu W, Tuanmu MN, Li RG, Liu D, Xu WH, Huang Y, Ouyang ZY, Zhang HM, Liu JG (2014) Impact of livestock on giant pandas and their habitat. Journal for Nature Conservation, 22, 256–264.
- IUCN (2021) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-1. <https://www.iucnredlist.org/species/22679440/131749282>. (accessed on 2021-09-03)
- Jia LP, Zhang ZB (1977) Fauna discovered in the layers of the Xiawanggang Site in Xichuan County. Cultural Relics, (6), 41–49. (in Chinese) [贾兰坡, 张振标 (1977) 河南淅川县下王岗遗址中的动物群. 文物, (6), 41–49.]
- Jiang ZG, Jiang JP, Wang YZ, Zhang E, Zhang YY, Li LL, Xie F, Cai B, Cao L, Zheng GM, Dong L, Zhang ZW, Ding P, Luo ZH, Ding CQ, Ma ZJ, Tang SH, Cao WX, Li CW, Hu HJ, Ma Y, Wu Y, Wang YX, Zhou KY, Liu SY, Chen YY, Li JT, Feng ZJ, Wang Y, Wang B, Li C, Song XL, Cai L, Zang CX, Zeng Y, Meng ZB, Fang HX, Ping XG (2016) Red List of China's Vertebrates. Biodiversity Science, 24, 501–551. (in Chinese and in English) [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹗, 张雁云, 李立立, 谢锋, 蔡波, 曹亮, 郑光美, 董路, 张正旺, 丁平, 罗振华, 丁长青, 马志军, 汤宋华, 曹文宣, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 陈跃英, 李家堂, 冯祚建, 王燕, 王斌, 李成, 宋雪琳, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 方红霞, 平晓鸽 (2016) 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 24, 501–551.]
- Johnsgard PA (1986) The Pheasants of the World. Oxford University Press, Oxford.
- Kong DJ, Wu F, Shan PF, Gao JY, Yan D, Luo WX, Yang XJ (2018) Status and distribution changes of the endangered green peafowl (*Pavo muticus*) in China over the past three decades (1990s–2017). Avian Research, 9, 102–110.
- Kuang BY (1963) Peafowl in Southern Yunnan. Bulletin of Biology, (4), 17–18. (in Chinese) [匡邦郁 (1963) 云南南部的孔雀. 生物学通报, (4), 17–18.]
- Li R, Jiao YM, Liu X, Liu ZL, Gao X (2019) Suitability evaluation and corridor design of habitats for green peafowl based on MaxEnt Model. Chinese Journal of Ecology, 38,

- 919–926. (in Chinese with English abstract) [李绒, 角媛梅, 刘歆, 刘志林, 高璇 (2019) 基于MaxEnt模型的绿孔雀适宜生境评价及廊道设计. 生态学杂志, 38, 919–926.]
- Li SH, Cui DY, Hua R, John C, Zhang J, Liu J, Huang S, Guo G, Luo AD, Chang J, Pu TC, Zhang CL, Li XG (2020) An estimation of the current population size of green peafowl (*Pavo muticus imperator*) in China. Chinese Journal of Wildlife, 41, 1080–1084.
- Li X, Liu Z, Zhou W, Bai B (2016) Habitat selection and spatial distribution of green peafowl (*Pavo muticus*) in Konglonghe Natural Reserve of Chuxiong, Yunnan Province. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 40(3), 87–93. (in Chinese with English abstract) [李旭, 刘钊, 周伟, 白冰 (2016) 云南楚雄恐龙河保护区绿孔雀春季栖息地选择和空间分布. 南京林业大学学报(自然科学版), 40(3), 87–93.]
- Li YY, Liu CN, Wang R, Luo SX, Nong SQ, Wang JW, Chen XY (2020) Applications of molecular markers in conserving endangered species. Biodiversity Science, 28, 367–375. (in Chinese with English abstract) [李媛媛, 刘超男, 王嵘, 罗水兴, 农寿千, 王静雯, 陈小勇 (2020) 分子标记在濒危物种保护中的应用. 生物多样性, 28, 367–375.]
- Liu Y, Chen SH (2021) The CNG Field Guide to the Birds of China. Hunan Science and Technology Press, Changsha. (in Chinese) [刘阳, 陈水华 (2021) 中国鸟类观察手册. 湖南科学技术出版社, 长沙.]
- Liu YQ, Han LX, Xie YC, Wen YY, Zhang RG (2009) The status and habitat use of green peafowl *Pavo muticus* in Shuangbai Konglonghe Nature Reserve, China. International Journal of Galliformes Conservation, 1, 32–35.
- Liu Z, Zhou W, Zhang RG, Xie YC, Huang QW, Wen YY (2008) Foraging sites selection of green peafowl (*Pavo muticus imperator*) in different seasons in Shiyangjiang Valley of upper Yuanjiang drainage, Yunnan. Biodiversity Science, 16, 539–546. (in Chinese with English abstract) [刘钊, 周伟, 张仁功, 谢以昌, 黄庆文, 文云燕 (2008) 云南元江上游石羊江河谷绿孔雀不同季节觅食地选择. 生物多样性, 16, 539–546.]
- Loveridge R, Kidney D, Srun T, Samnang E, Eames JC, Borchers D (2017) First systematic survey of green peafowl *Pavo muticus* in northeastern Cambodia reveals a population stronghold and preference for disappearing riverine habitat. Cambodian Journal of Natural History, (2), 157–167.
- Luo AD, Dong YH (1998) Investigation on the current status of distribution and population of the green peafowl in Xishuangbanna. Chinese Journal of Ecology, 17(5), 6–10. (in Chinese with English abstract) [罗爱东, 董永华 (1998) 西双版纳野生绿孔雀种群数量及分布现状调查. 生态学杂志, 17(5), 6–10.]
- Madge S, McGowan P, Kirwan GM (2010) Pheasants, Partridges and Grouse: A Guide to the Pheasants, Partridges, Quails, Grouse, Guineafowl, Buttonquails and Sandgrouse of the World. Christopher Helm, London.
- McGowan PJK, Duckworth JW, Wen XJ, Van BB, Yang XJ, Mohd, Khan KM, Siti HY, Thanga L, Setiawan I, Kaul R (1999) A review of the status of the green peafowl *Pavo muticus* and recommendations for future action. Bird Conservation International, 9, 331–348.
- Moritz C (1994) Defining ‘evolutionarily significant units’ for conservation. Trends in Ecology & Evolution, 9, 373–375.
- Nuttall M, Nut M, Ung V, O’Kelly H (2017) Abundance estimates for the endangered green peafowl *Pavo muticus* in Cambodia: Identification of a globally important site for conservation. Bird Conservation International, 27, 127–139.
- Oates EW (1883) A Handbook to the Birds of British Burmah: Including Those Found in the Adjoining State of Karennee (Vol. 2). RH Porter, London.
- Phan C, Gray TNE (2010) Ecology and natural history of banteng in eastern Cambodia: Evidence from camera-trapping in Monduliri Protected Forest and Phnom Prich Wildlife Sanctuary. Cambodian Journal of Natural History, (2), 118–126.
- Pin C, Ngoprasert D, Gray TNE, Savini T, Crouthers R, Gale GA (2020) Utilization of waterholes by globally threatened species in deciduous dipterocarp forest of the Eastern Plains Landscape of Cambodia. Oryx, 54, 572–582.
- Ponsena P (1988) Biological characteristics and breeding behaviors of green peafowl (*Pavo muticus* (Linnaeus)) in Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary. Thai Journal of Forestry, 7, 303–313.
- Ryder OA (1986) Species conservation and systematics: The dilemma of subspecies. Trends in Ecology & Evolution, 1, 9–10.
- Saridnirun G, Meckvichai W, Dumrongrojwattana P (2017) Seasonal distribution and habitat use of the green peafowl *Pavo muticus*, Linnaeus 1766, in Wiang Lor Wildlife Sanctuary, Phayao Province, northern Thailand. Chiang Mai Journal of Science, 44, 824–838.
- Saridnirun G, Sukumal N, Grainger MJ, Savini T (2021) Living with human encroachment: Status and distribution of green peafowl in northern stronghold of Thailand. Global Ecology and Conservation, 28, e01674.
- Shwe NM, Sukumal N, Oo KM, Dowell S, Browne S, Savini T (2020) Importance of isolated forest fragments and low intensity agriculture for the long-term conservation of the green peafowl *Pavo muticus*. Oryx, 55, 311–317.
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, Haan CD (2006) Livestock’s Long Shadow: Environmental Issues and Options. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Sukumal N, McGowan PJK, Savini T (2015) Change in status of green peafowl *Pavo muticus* (Family Phasianidae) in southcentral Vietnam: A comparison over 15 years. Global Ecology and Conservation, 3, 11–19.
- Sukumal N, Dowell SD, Savini T (2017) Micro-habitat selection and population recovery of the endangered green peafowl *Pavo muticus* in western Thailand: Implications for conservation guidance. Bird Conservation International, 27, 414–430.
- Sukumal N, Dowell SD, Savini T (2020) Modelling occurrence probability of the endangered green peafowl *Pavo muticus* in mainland South-east Asia: Applications for landscape conservation and management. Oryx, 54, 30–39.
- Tang WW, Wang XX, Yan M, Zeng GM, Liang J (2019) China’s dams threaten green peafowl. Science, 364, 943.
- Timmins RJ (2008) Birds. In: Biological Surveys of the

- Mekong River Between Kratie and Stung Treng Towns, Northeast Cambodia, 2006–2007 (eds Bezuijen MR, Timmins RJ, Seng T), pp. 61–80. WWF Greater Mekong - Cambodia Country Programme, Fisheries Administration and Forestry Administration, Phnom Penh, Cambodia.
- Tordoff AW, Appleton T, Eames JC, Eberhardt K, Hla H, Thwin KMM, Zaw SM, Aung SM (2007) Avifaunal surveys in the lowlands of Kachin State, Myanmar, 2003–2005. *Natural History Bulletin of the Siam Society*, 55, 235–306.
- Vongkhamheng C (2015) Phou Khao Khouay National Protected Area: A field survey of green peafowl (*Pavo muticus*). Australian National University, Effective Implementation of Payments for Environmental Services in Lao PDR, Research Reports.
- Wang F, Yao CX, Liu Y, Zhang HY, Chen MY (2018) Investigation on the distribution of wild *Pavo muticus* in Xinping County by infrared-triggered cameras. *Forest Inventory and Planning*, 43(6), 10–14, 111. (in Chinese with English abstract) [王方, 姚冲学, 刘宇, 张宏雨, 陈明勇 (2018) 基于红外触发相机技术的新平县野生绿孔雀分布调查. 林业调查规划, 43(6), 10–14, 111.]
- Wang F, Tang YJ, Zhang QG, Yao CX, Zhang ZZ, Jiang GL, Chen MY (2020) The population and distribution status of wild green peafowl in Xinping County, Yunnan Province. *Hubei Agricultural Sciences*, 59(12), 129–133, 144. (in Chinese with English abstract) [王方, 汤永晶, 张巧关, 姚冲学, 张志中, 蒋桂莲, 陈明勇 (2020) 云南省新平县野生绿孔雀种群数量及分布现状. 湖北农业科学, 59(12), 129–133, 144.]
- Wen HR, He YH (1980) Peafowl in ancient China. *Fossils*, (3), 8–9. (in Chinese) [文焕然, 何业恒 (1980) 中国古代的孔雀. 化石, (3), 8–9.]
- Wen HR, Wen RS (2006) The Change of the Plant and Animal in China During Different Historical Period. Chongqing Publishing House, Chongqing. (in Chinese) [文焕然, 文榕生 (2006) 中国历史时期植物与动物变迁研究. 重庆出版社, 重庆.]
- Wen XJ, Yang XJ, Han LX, Yang L, Wang WM (1995) Investigations on the current status of green peafowl in China. *Chinese Biodiversity*, 3, 46–51. (in Chinese with English abstract) [文贤继, 杨晓君, 韩联宪, 杨岚, 王为民 (1995) 绿孔雀在中国的分布现状调查. 生物多样性, 3, 46–51.]
- Wen YY, Xie YC, Li XH (2016) Monitoring of green peacock in Dinosaur River State Nature Reserve. *Forest Inventory and Planning*, 41(4), 69–71. (in Chinese with English abstract) [文云燕, 谢以昌, 李学红 (2016) 恐龙河州级自然保护区绿孔雀监测探讨. 林业调查规划, 41(4), 69–71.]
- Wu F, Kong DJ, Shan PF, Wang J, Kungu GN, Lu GY, Yang XJ (2019) Ongoing green peafowl protection in China. *Zoological Research*, 40, 580–582.
- Xi BY, Yu CY, Zheng JX, Yang D, Wang Y, Zheng JN (2021) Impact assessment of adjustment of Konglonghe Nature Reserve in Shuangbai of Yunnan. *Forest Inventory and Planning*, 46(3), 63–68. (in Chinese with English abstract) [习白羽, 余昌元, 郑进烜, 杨东, 王勇, 郑静楠 (2021) 云南双柏恐龙河州级自然保护区区域调整影响评价. 林业调查规划, 46(3), 63–68.]
- Xu H (1995) The distribution status and protection measure of *Pavo muticus* in Chuxiong District. *Yunnan Forestry Science and Technology*, 24(3), 48–52. (in Chinese with English abstract) [徐晖 (1995) 楚雄州绿孔雀的分布现状及保护措施. 云南林业科技, 24(3), 48–52.]
- Yan MX, Sun N, Gu BJ, He RC, Liu Y (2021) Spatio-temporal niche differentiation of sympatric green peafowl (*Pavo muticus*) and silver pheasant (*Lophura nycthemera*). *Sichuan Journal of Zoology*, 40, 150–158. (in Chinese with English abstract) [晏鸣霄, 孙楠, 顾伯健, 贺如川, 刘瑛 (2021) 同域分布的绿孔雀与白鹇时空生态位分化. 四川动物, 40, 150–158.]
- Yang L (1995) The Avifauna of Yunnan, China (Vol. I): Non-Passeriformes. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [杨岚 (1995) 云南鸟类志(上卷): 非雀型目. 云南科技出版社, 昆明.]
- Yang XJ, Wen XJ, Yang L (1997) The range of green peafowl (*Pavo muticus imperator*) in southeast and northwest Yunnan Province, China. *Zoological Research*, 18(1), 12, 18. (in Chinese with English abstract) [杨晓君, 文贤继, 杨岚 (1997) 云南东南部和西北部绿孔雀分布的调查. 动物学研究, 18(1), 12, 18.]
- Yang XJ, Wen XJ, Yang L, Shi CM (2000) The habitat and behaviors of green peafowl in spring. In: *Studies on Chinese Ornithology: Proceedings of the 4th Ornithological Symposium of Mainland & Taiwan, China* (eds Zheng GM, Yan CW), pp. 64–70. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [杨晓君, 文贤继, 杨岚, 施春明 (2000) 春季绿孔雀的栖息地及行为活动的初步观察. 见: 中国鸟类学研究——第四届海峡两岸鸟类学术研讨会论文集 (郑光美, 颜重威主编), 64–70页. 中国林业出版社, 北京.]
- Zhang YY, Zhang ZW, Dong L, Ding P, Ding CQ, Ma ZJ, Zheng GM (2016) Assessment of red list of birds in China. *Biodiversity Science*, 24, 568–577. (in Chinese with English abstract) [张雁云, 张正旺, 董路, 丁平, 丁长青, 马志军, 郑光美 (2016) 中国鸟类红色名录评估. 生物多样性, 24, 568–577.]
- Zheng GM (2015) Pheasants in China. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [郑光美 (2015) 中国雉类. 高等教育出版社, 北京.]
- Zheng GM (2017) A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of China, 3rd edn. Science Press, Beijing. (in Chinese) [郑光美 (2017) 中国鸟类分类与分布名录(第三版). 科学出版社, 北京.]
- Zheng ZX (1978) The Fauna of China, Aves (Vol. IV): Galliformes. Science Press, Beijing. (in Chinese) [郑作新 (1978) 中国动物志·鸟纲(第四卷): 鸡形目. 科学出版社, 北京.]
- Zhu H (2005) Reclassification of monsoon tropical forests in Southern Yunnan, SW China. *Acta Phytocologica Sinica*, 29, 170–174. (in Chinese with English abstract) [朱华 (2005) 滇南热带季雨林的一些问题讨论. 植物生态学报, 29, 170–174.]

(责任编辑: 丁平 责任编辑: 闫文杰)