

笼养黑颈鹤粪便性激素水平的时间动态

王毅花^① 陈丽霞^① 马天^① 杨亮亮^① 郑常明^② 孙戈^① 钱法文^{①*}

① 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 全国鸟类环志中心, 国家林业和草原局森林保护学重点实验室 北京 100091;

② 北京动物园, 野生动物圈养技术北京重点实验室 北京 100044

摘要: 黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 为国家 I 级重点保护野生动物, 由于其生存的自然环境恶劣, 野外种群数量少, 许多动物园以及保护区等机构用迁地保护的方式对黑颈鹤进行保护和繁育, 然而长期以来笼养黑颈鹤繁殖率低。本研究运用非损伤的研究方法, 并结合行为观察, 对繁殖期黑颈鹤的繁殖生理特征进行了探索研究。结果表明, 进入繁殖期黑颈鹤的雌二醇水平显著升高, 可作为有效监测雌性黑颈鹤繁殖期生理状态的重要生理指标之一; 繁殖前期雄性黑颈鹤的睾酮水平显著升高, 与非繁殖期以及繁殖期的其他阶段差异显著, 表明睾酮可有效监测雄性黑颈鹤的繁殖生理状态, 为人工采精选择合适的时间提供理论基础; 交配成功的雌性黑颈鹤繁殖中期的孕酮水平极显著高于其他阶段, 表明该指标可有效监测雌性黑颈鹤的交配状态。综上, 通过非损伤性的采样研究手段, 遴选合适的生理指标参数可以为黑颈鹤的人工繁育提供理论依据。

关键词: 黑颈鹤; 粪便; 性激素; 皮质酮

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2020) 03-363-08

Physiological Characteristics of Black-necked Cranes in Captivity during Breeding Season

WANG Yi-Hua^① CHEN Li-Xia^① MA Tian^① YANG Liang-Liang^①
ZHENG Chang-Ming^② SUN Ge^① QIAN Fa-Wen^{①*}

① *Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry Key Laboratory of Forest Protection of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091;*

② *Beijing Zoo, Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technologies, Beijing 100044, China*

Abstract: Black-necked Crane (*Grus nigricollis*) is a national first-class protected wildlife. Due to its harsh natural environment and small population size in the wild, the Black-necked Cranes have been bred in captivity in many zoos and protected areas for protection, however, in low reproduction rate. In order to improve its reproduction rate, we explored the physiological characteristics of Black-necked Crane in captivity during breeding period using non-invasive sampling methods and behavioral observations. The

基金项目 中国林业科学研究院基本科研业务费专项 (No. CAFYBB2017QA009);

* 通讯作者, E-mail: cranenw@caf.ac.cn;

第一作者介绍 王毅花, 女, 助理研究员; 研究方向: 鸟类保护生理学; E-mail: wangyihua2113@163.com.

收稿日期: 2019-09-20, 修回日期: 2020-04-08 DOI: 10.13859/j.cjz.202003010

enzyme-linked immunity was used to measure the contents of sex hormones (estradiol, progesterone and testosterone). SPSS was used to conduct one-way ANOVA and multiple comparisons on the data. The significance level was set as $P = 0.05$. The homogeneity of sample mean variance was determined by Levene's homogeneity of variance test, Dunnett's T3 test was used for multiple comparisons of data from different sampling periods. The results showed that: The estradiol level of Black-necked Crane in the breeding period was significantly increased, which could be used as one of the important physiological indicators to effectively monitor the physiological status of females in the breeding period (Fig. 1); The testosterone level of males in the early stage of reproduction was significantly increased, which was significantly different from that in the non-breeding period and other stages of breeding period, indicating that testosterone could effectively monitor the reproductive physiological state of males and provide a theoretical basis for the selection of appropriate time for artificial extraction (Fig. 2 and 4); The progesterone level in the middle reproductive period of the females with successful mating was significantly higher than that in other stages, indicating that this indicator can effectively monitor the mating status of the females (Fig. 1). In conclusion, monitoring the appropriate physiological parameters can provide a theoretical basis for the breeding of captive Black-necked Crane and improve its breeding rate.

Key words: Black-necked Crane; Faeces; Gonadal hormone; Corticosterone

黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 被 IUCN 确定为全球易危物种 (VU), 我国列为了国家 I 级重点保护野生动物, 是世界上唯一的高原鹤类 (李凤山 2014), 其生存状态一直是保护生物学的重点内容 (Choki et al. 2011, 李凤山 2014, Song et al. 2014, Zhang et al. 2017)。由于黑颈鹤生存的自然环境恶劣, 野外种群数量少, 许多动物园以及保护区等机构采用笼养的方式对黑颈鹤进行保护和繁育 (甘声芸等 1983, 张敬 2000), 此方法对于黑颈鹤的保护起着非常重要的作用。然而笼养条件下黑颈鹤的繁殖率低 (甘声芸等 1983), 人工授精成为了提高繁殖率的主要辅助手段之一 (张雁云 2000, 张敬等 2014), 但目前多数人工授精基本依据经验进行, 成功率较低。有相关研究表明, 繁殖季节的不同阶段会影响鸟类精子的产出和特性 (Brown 2013), 因此人工授精过程中采精和授精时间的选择至关重要, 采精合适时间的选择可以有效提高采精的成功率和精液的品质, 而授精合适时间的选择可以有效提高卵的受精成功率 (Harshan et al. 2007)。人工授精对濒危鸟类的人工增殖有重要意义 (张雁云 2000), 对

笼养黑颈鹤而言, 采精和授精的时间如何选择和判定? 如何有效提高黑颈鹤的人工繁殖率? 本研究通过对笼养黑颈鹤不同时期繁殖生理的特征进行研究探索, 旨在为后期制定合理的黑颈鹤繁殖措施、选择黑颈鹤人工繁育的合适时间以及黑颈鹤的保护和利用提供理论依据和参考。

1 实验对象与方法

1.1 实验对象

实验黑颈鹤来自北京动物园十三陵繁育基地, 该基地位于北京昌平十三陵的长陵旁, 环境幽静, 是北京动物园繁殖育幼、科研科普、动物检疫、动物疗养的场所。采样期间该基地饲养的黑颈鹤共有 8 只 (4 雌 4 雄), 其中配对的有 4 只 (2 雌 2 雄), 其余 4 只 (2 雌 2 雄) 单笼饲养。笼养配对黑颈鹤的笼舍长 20 m, 宽 5 m, 高 3.5 m, 饲喂黑颈鹤的主要食物为干玉米颗粒、窝头、雏鸡面、牛肉沫、油麦菜、油菜、青玉米、冻鱼、冻虾、熟鸡蛋、活泥鳅等。我们针对配对的 4 只健康黑颈鹤进行了粪便样品的采集和分析, 采样期间采样个体均属健康个体, 个体信息见表 1。

表 1 实验黑颈鹤的基本信息

Table 1 The basic information of black-necked crane

个体编码 Individual no.	笼舍编号 Housing no.	性别 Gender	年龄 (年) Age (year)	是否配对 Mating	健康状况 Health condition
296	5	♀	15	是 Yes	健康 Healthy
Q0009	5	♂	成年 Adult	是 Yes	健康 Healthy
13-F	6	♀	成年 Adult	是 Yes	健康 Healthy
13-M	6	♂	14	是 Yes	健康 Healthy

1.2 粪样采集保存及行为观察

2017年3月初至8月中旬, 针对笼养的4只黑颈鹤, 每3 d采集新鲜粪便样品一次。采样时间为8:00~10:00时, 将新鲜粪便未经污染的部分放入自封袋内, 并标记样本编号、日期, 排除空气封口后立刻放入-20℃冰箱保存。此外, 于采样期间同时对目标黑颈鹤的行为进行观察记录。

1.3 粪便激素提取和测定

参照Isobe等(2005)及Capezzuto等(2008)的方法并做适当改进。具体操作为, 取0.5 g湿粪加入含有乙醇与蒸馏水体积比为9:1混合液5 ml的10 ml试管中, 用涡旋仪轻轻震荡20 min左右, 1 500 r/min离心15 min, 取出上清液并倒入蒸发皿中蒸干, 加1 ml 0.02 mol/L PBST与5%甲醇的混合溶液, 溶解摇匀后分装回收, 并放置在-20℃以下保存备用。

采用酶联免疫法(enzyme-linked immunosorbent assays, ELISA)测定上述提取液中孕酮、雌二醇以及睾酮激素代谢产物的含量(酶标分析仪为Thermo Fisher Multiskan FC型, 洗板机为北京天石ZMX-988b型)。同时, 用烘干箱将称量好的湿粪便烘干, 计算烘干前后粪便重量的变化, 并换算出粪便的含水率, 即粪便重量变化占湿粪便重量的百分比。提取激素和测定含水量均以称取0.5 g湿粪便为准。

孕酮试剂盒(北京北方生物技术研究所生产)测定的技术参数: 测定范围0.5~30 μg/L; 灵敏度 $P \leq 0.1 \mu\text{g/L}$; 变异系数: 批内 $< 8.50\%$, 批间 $< 10.0\%$; 特异性: 与孕烯醇酮、雄烯二酮、雌二醇交叉反应率均 $\leq 0.2\%$ 。雌

二醇试剂盒(北京北方生物技术研究所生产)测定技术参数: 测定范围50~3 000 ng/L; 灵敏度 $\leq 4 \text{ ng/L}$; 变异系数: 批内 $< 8.50\%$, 批间 $< 10.0\%$; 特异性: 与孕酮交叉反应率 $< 1.5\%$, 与睾酮交叉反应率 $< 1.0\%$ 。睾酮试剂盒(北京北方生物技术研究所生产)测定的技术参数: 测定范围为0.25~32 μg/L; 灵敏度 $\leq 0.125 \mu\text{g/L}$; 变异系数: 批内 $< 8.50\%$, 批间 $< 10.0\%$; 特异性: 与孕酮交叉反应率 $< 0.25\%$, 与双氢睾酮交叉反应率 $< 2.5\%$, 与雌二醇交叉反应率 $< 2.5\%$ 。

1.4 数据分析

为保证实验数据的科学性, 实验设置对照组测定粪便含水率, 依此将测得的数据换算为每克干粪所含雌二醇、孕酮、睾酮含量(F), 公式为 $F = (5E)/[0.5(1 - A)]$, 式中, A 为含水率, E 为试剂盒测定的激素浓度结果, 5为提取粪便中激素时提取剂的体积即5 ml, 0.5为提取激素时称取湿粪便重量即0.5 g。

粪样性激素数据表示为平均值 \pm 标准误(Mean \pm SE)。运用SPSS软件对粪样性激素含量进行单因素方差分析(one way-ANOVA)及多重比较, 显著性水平设置为 $P = 0.05$; 采用Levene方差齐性检验确定样本均值方差的齐次性; 不同采样期数据的多重比较采用Dunnett's T3检验。

2 结果

依据本实验测定的性激素结果, 并结合采样过程中黑颈鹤的行为观察记录, 将黑颈鹤所处的实验期(3至8月份)分为非繁殖期、繁

殖前期、繁殖中期以及繁殖后期。各时期黑颈鹤的具体繁殖行为表现如下。

非繁殖期：黑颈鹤在笼内来回踱步、取食、时而发出鸣叫声。据此，并结合实验测定结果判定，13F (♀) 与 13M (♂) 在 3 月初至 4 月 15 日处于非繁殖期，296 (♀) 在 3 月初至 4 月 20 日、Q0009 (♂) 在 3 月初至 4 月 10 日分别处于其非繁殖期。

繁殖前期：雄鹤常表现出较非繁殖期更为兴奋的行为，如鸣叫频率增高，对着雌鹤扇动翅膀舞蹈，雌雄个体有时会相向走动，且有齐鸣对鸣的现象，雌雄黑颈鹤在鸣叫的同时颈平伸向前，并同时发出“咕……咕……”的叫声相向缓步接近；雌鹤张开双翅呈半蹲状并且尾部朝向雄鹤，雄鹤则半张开翅膀并双脚跳跃到雌鹤背部，站立较稳时进行交配。13F (♀) 与 13M (♂) 配对黑颈鹤在 5 月中旬到 6 月初观察到有交配行为；296 (♀) 与 Q0009 (♂) 黑颈鹤在 5 月中旬观察到有交配行为。据此，并结合实验测定结果判定，13F (♀) 在 4 月 16 日至 6 月 3 日、13M (♂) 在 4 月 16 日至 6 月 13 日、296 (♀) 个体在 4 月 21 日至 5 月 30 日、Q0009 (♂) 个体在 4 月 11 日至 5 月 14 日分别为其繁殖前期。

繁殖中期：13F (♀) 与 13M (♂) 黑颈鹤交配成功并顺利产卵，这对黑颈鹤先后共计产卵 5 枚，动物园将其全部进行人工孵化，所以此时期这对黑颈鹤没有孵卵行为。另外一对，296 (♀) 与 Q0009 (♂) 配对黑颈鹤虽观察到有交配行为但未见产卵。据此，并结合实验测定结果判定 13F (♀) 在 6 月 4 日至 27 日、13M (♂)、在 6 月 14 日至 30 日、296 (♀) 在 6 月 1 日至 7 月 9 日、Q0009 (♂)、在 5 月 15 日至 7 月 9 日分别为其繁殖中期。

繁殖后期：因只有一对黑颈鹤成功产卵，且进行了人工孵化，所以该时期黑颈鹤没有带幼鹤的行为。据此，并结合实验测定结果判定，13F (♀) 在 6 月 28 日及之后、13M (♂) 个体在 7 月 1 日及之后、296 (♀) 个体在 7 月 10

日及之后、Q0009 (♂) 个体在 7 月 10 日及之后分别为其繁殖后期。

2.1 配对个体 13F (♀) 与 13M (♂) 的性激素变化特征分析

13F 雌性黑颈鹤雌二醇含量，非繁殖期平均 (127.15 ± 16.89) $\mu\text{g/g}$ ，繁殖前期平均 (269.83 ± 47.67) $\mu\text{g/g}$ ，繁殖中期平均 (117.45 ± 26.36) $\mu\text{g/g}$ ，繁殖后期平均 (102.96 ± 19.42) $\mu\text{g/g}$ 。繁殖前期雌二醇水平明显升高，且显著高于其他三个阶段的雌二醇平均水平 (所有 $P < 0.01$ ，图 1)。

13F 雌鹤孕酮含量，非繁殖期平均 (132.89 ± 13.85) ng/g ，繁殖前期平均 (205.58 ± 22.32) ng/g ，繁殖中期平均 (368.19 ± 52.36) ng/g ，繁殖后期平均 (137.81 ± 7.62) ng/g (图 1)。由此可以看出，该个体在繁殖中期孕酮水平最高，繁殖前期较非繁殖期孕酮已有较为显著升高现象，非繁殖期孕酮平均水平与繁殖前期平均水平差异显著 ($P < 0.05$)，与繁殖中期的平均水平差异极显著 ($P < 0.01$)，与繁殖后期的平均水平无显著差异 ($P > 0.05$)。

13M 雄性黑颈鹤睾酮含量，非繁殖期平均水平 (131.59 ± 21.01) ng/g ，繁殖前期平均 (258.36 ± 39.20) ng/g ，繁殖中期平均 (145.18 ± 32.93) ng/g ，繁殖后期平均 (129.65 ± 17.46) ng/g (图 2)。可以看出睾酮在非繁殖期水平较低，进入繁殖前期水平显著升高。繁殖前期与中期睾酮水平无显著差异 ($P > 0.05$)，但与繁殖后期 ($P < 0.01$) 和非繁殖期 ($P < 0.01$) 差异均极显著。

2.2 配对个体 296 (♀) 与 Q0009 (♂) 的性激素变化特征分析

296 雌性个体的雌二醇含量，非繁殖期平均 (72.12 ± 14.41) $\mu\text{g/g}$ ，繁殖前期平均 (250.68 ± 39.44) $\mu\text{g/g}$ ，繁殖中期平均 (194.55 ± 20.65) $\mu\text{g/g}$ ，繁殖后期平均 (86.17 ± 15.34) $\mu\text{g/g}$ (图 3)。进入繁殖期后雌二醇的含量显著升高，繁殖前期与非繁殖期差异极显著 ($P < 0.01$)，繁殖中期的平均水平显著高于非繁殖期的平均水

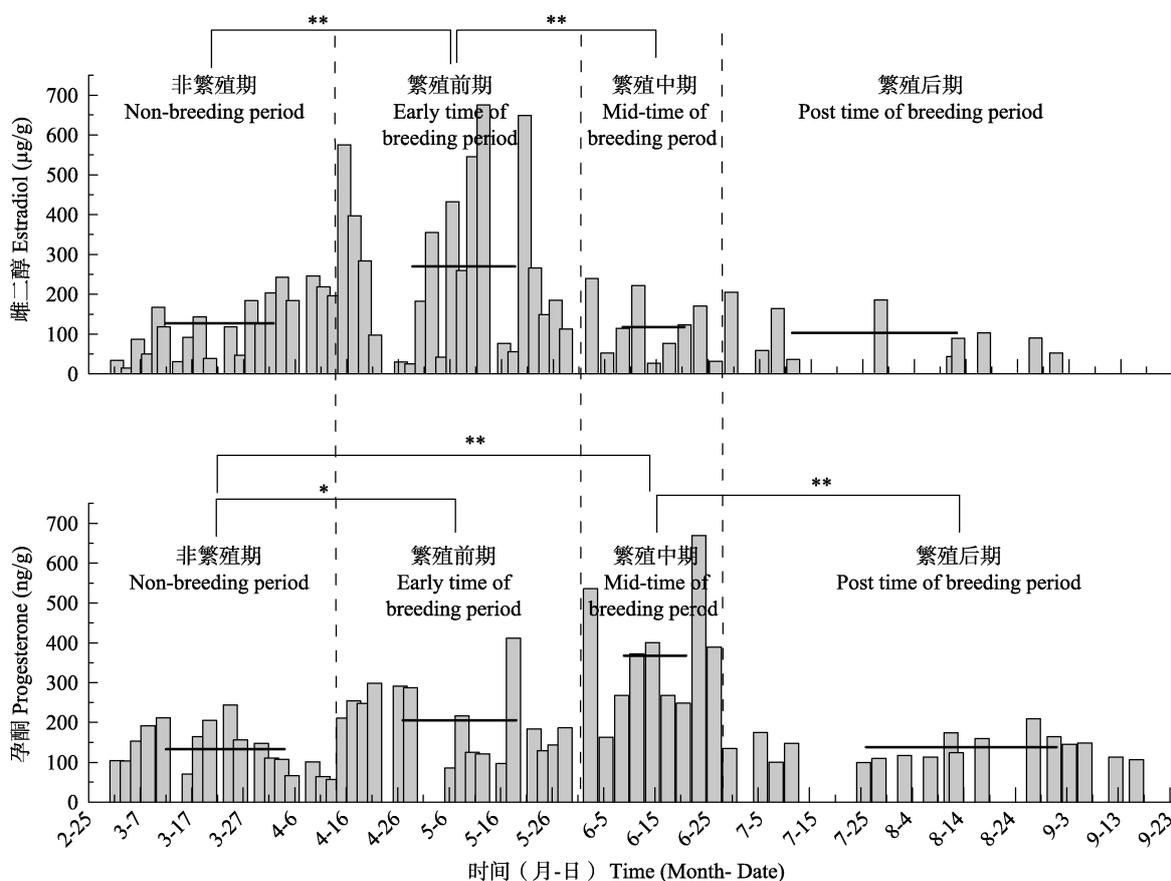


图 1 13F 个体非繁殖期与繁殖期不同阶段雌二醇和孕酮平均水平的比较

Fig. 1 The comparison of estradiol and progesterone average at non-breeding period and different breeding stages of 13F individual

* 表示差异显著 $P < 0.05$, ** 表示差异极显著 $P < 0.01$; ——图中横线表示平均值。

* means difference is significant, $P < 0.05$, ** means difference is extremely significant, $P < 0.01$; ——means the mean value.

平 ($P < 0.01$), 繁殖后期平均水平与非繁殖期水平无显著差异 ($P > 0.05$)。

296 雌性个体的孕酮含量, 非繁殖期平均 (250.82 ± 23.31) ng/g, 繁殖前期平均 (271.42 ± 21.55) ng/g, 繁殖期中期平均 (315.92 ± 30.16) ng/g, 繁殖后期平均 (216.07 ± 23.22) ng/g (图 3)。该个体不同繁殖期之间孕酮无显著差异 ($P > 0.05$)。

Q0009 雄性个体睾酮含量, 非繁殖期平均 (77.22 ± 12.71) ng/g, 繁殖前期平均 (278.97 ± 30.52) ng/g, 繁殖期中期平均 (140.48 ± 11.22) ng/g, 繁殖后期平均 (82.76 ± 13.33) ng/g (图

4)。此个体繁殖前期的睾酮水平较高, 极显著高于非繁殖期以及繁殖期其他阶段的平均水平 ($P < 0.01$)。

3 讨论

动物粪便中性类固醇激素的检测方法已成功建立并被广泛应用于笼养和自由生活的野生动物、家畜以及实验动物, 涉及的动物种类包括哺乳动物 (Emery et al. 2003)、鸟类 (Hirschenhauser et al. 1999)、两栖类 (Szymanski et al. 2006) 等。本研究对笼养黑颈鹤非繁殖期与繁殖期不同阶段粪便性激素水

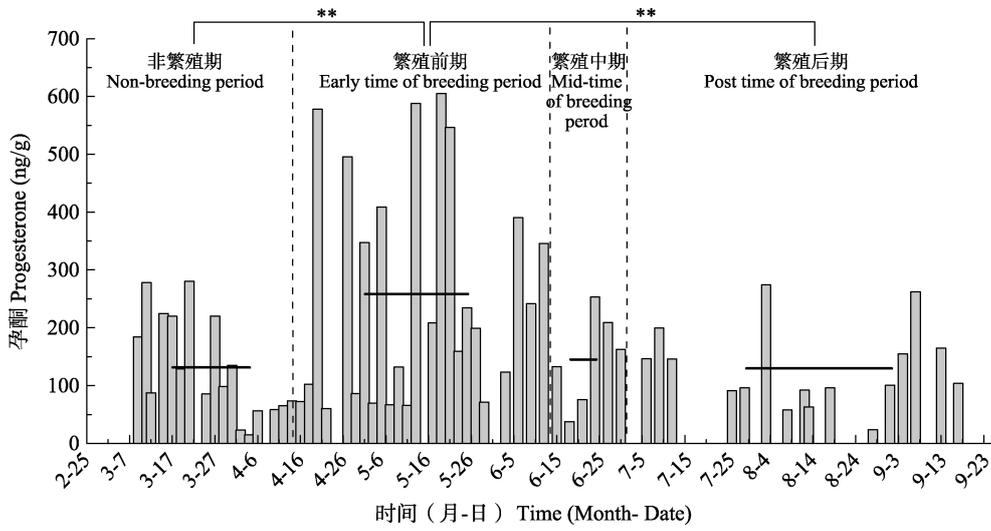


图 2 13M 个体非繁殖期与繁殖期不同阶段孕酮平均水平的比较

Fig. 2 The comparison of testosterone average at non-breeding period and different breeding stages of 13M individual

** 表示差异极显著 $P < 0.01$; ——图中横线表示平均值。
** means difference is extremely significant, $P < 0.01$; ——means the mean value.

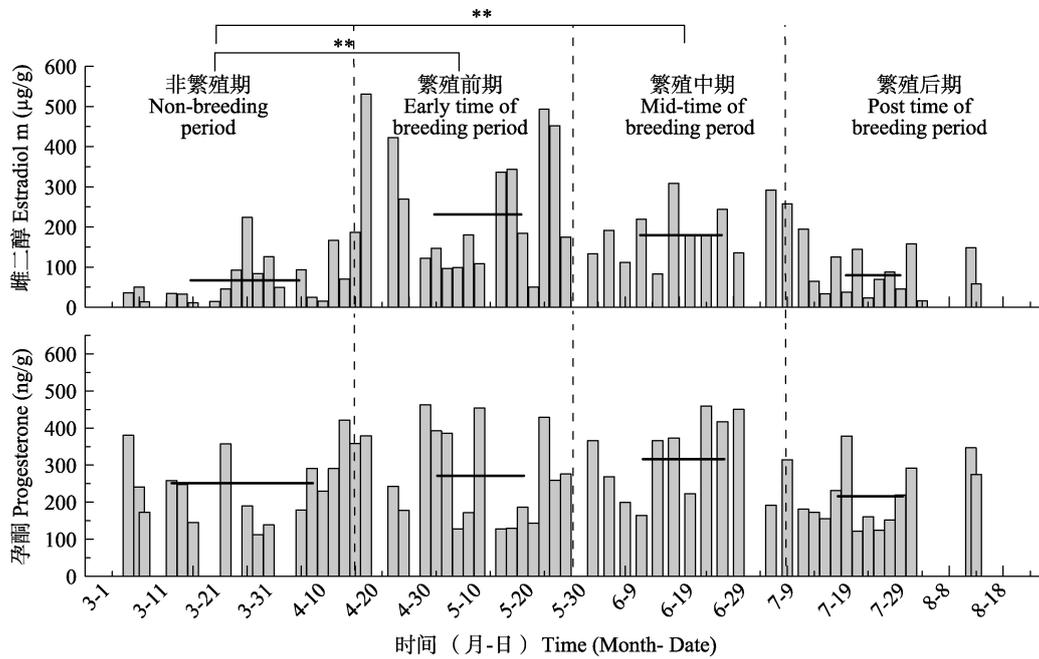


图 3 296 个体非繁殖期与繁殖期不同阶段雌二醇和孕酮平均水平的比较

Fig. 3 The comparison of estradiol and progesterone average at non-breeding period and different breeding stages of 296 individual

** 表示差异极显著 $P < 0.01$; ——图中横线表示平均值。
** means difference is extremely significant, $P < 0.01$; ——means the mean value.

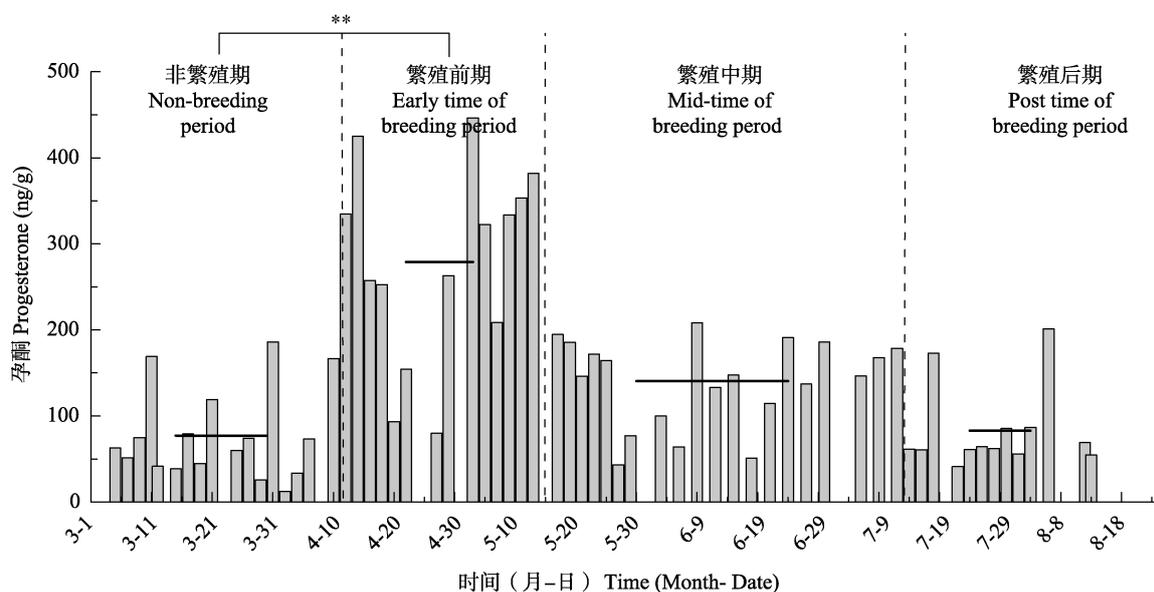


图 4 Q0009 个体非繁殖期与繁殖期不同阶段孕酮平均水平的比较

Fig. 4 The comparison of progesterone average at non-breeding period and different breeding stages of Q0009 individual

** 表示差异极显著 $P < 0.01$; ——图中横线表示平均值。

** means difference is extremely significant, $P < 0.01$; ——means the mean value.

平进行测定分析,探讨了黑颈鹤的繁殖生理特征,旨在为后期黑颈鹤的饲养管理以及人工繁育提供科学依据。

有相关研究表明,动物的繁殖行为受雌二醇和孕酮等的调控(Young et al. 2001),雌二醇可以调节雌性动物发情的启动(Walker et al. 2002)。本研究结果发现,配对雌性黑颈鹤个体在进入繁殖期后雌二醇与孕酮水平均有升高现象,繁殖前期雌二醇的平均水平显著高于非繁殖期的平均水平,孕酮在繁殖前期虽有升高现象,但与非繁殖期的平均水平相比未达到显著差异。由此可以看出,对于黑颈鹤来说,雌二醇可以更好地监测雌性个体的繁殖生理状态,可以为人工繁育选择合适的人工授精时间提供理论依据,有效提高受精率。此外,我们推测,在繁殖前期孕酮水平的升高可能是与雌二醇发生协同作用,增加了发情求偶行为的表现(徐

业芬 2014)。

通过对黑颈鹤交配成功与不成功的雌性个体孕酮水平比较结果表明,配对成功黑颈鹤雌性个体在成功交配后孕酮在较长时间内保持相对较高的水平,且与非繁殖期的孕酮水平差异显著;而虽观察到有交配行为但交配未成功(未产卵)的黑颈鹤雌性个体繁殖期孕酮水平较非繁殖期水平无显著变化,由此可见,孕酮可作为研究和监测黑颈鹤配对成功与否的良好指标之一,可有效用于黑颈鹤的饲养繁育管理。

配对黑颈鹤雄性个体的睾酮水平在进入繁殖期后均显著升高,在丹顶鹤(*Grus japonensis*) (王英树等 2014)、黄腹角雉(*Tragopan caboti*) (张雁云 2001)等鸟类中也观察到这一现象。表明,黑颈鹤的睾酮含量可以监测雄性个体的繁殖生理状态,可以为人工繁育选择合适的人工采精时间,有效提高采集精液的质量。

参 考 文 献

- Brown M. 2013. Multidisciplinary approach to understanding the poor reproduction in the whooping crane (*Grus Americana*). America: Master of science of University of Maryland, College Park, 1541097.
- Capezzuto A, Chelini M O M, Felipe E C G, et al. 2008. Correlation between serum and fecal concentrations of reproductive steroids throughout gestation in goats. *Animal Reproduction Science*, 103(1/2): 78–86.
- Choki T, Tshering J, Norbu T, et al. 2011. Predation by leopards of Black-necked Cranes (*Grus nigricollis*) in Bhutan. *Forktail*, 2011(27): 117–119.
- Emery M A, Whitten P L. 2003. Size of sexual swellings reflects ovarian function in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 54(4): 340–351.
- Harshan H M, Ancees C. 2007. Artificial insemination in non-domestic birds. *Veterinary World*, 29(2): 839–843.
- Hirschenhauser K, Möstl E, Kotrschal K. 1999. Seasonal patterns of sex steroids determined from feces in different social categories of Greylag Geese (*Anser anser*). *General and Comparative Endocrinology*, 114(1): 67–79.
- Isobe N, Akita M, Nakao T, et al. 2005. Pregnancy diagnosis based on the fecal progesterone concentration in beef and dairy heifers and beef cows. *Animal Reproduction Science*, 90(3/4): 211–218.
- Song H T, Zhang Y S, Gao H F, et al. 2014. Plateau wetlands, an indispensable habitat for the Black-necked Crane (*Grus nigricollis*) - a review. *Wetlands*, 34(4): 629–639.
- Szymanski D, Gist D, Roth T. 2006. Anuran gender identification by fecal steroid analysis. *Zoo Biology*, 25(1): 35–46.
- Walker S, Waddell W T, Goodrowe K L. 2002. Reproductive endocrine patterns in captive female and male red wolves (*Canis rufus*) assessed by fecal and serum hormone analysis. *Zoo Biology*, 21(4): 321–335.
- Young K M, Brown J L, Goodrowe K L. 2001. Characterization of reproductive cycles and adrenal activity in the black-footed ferret (*Mustela nigripes*) by fecal hormone analysis. *Zoo Biology*, 20(6): 517–536.
- Zhang L X, Shu M L, An B, et al. 2017. Biparental incubation pattern of the Black-necked Crane on an alpine plateau. *Journal of Ornithology*, 158(3): 697–705.
- 甘声芸, 靳景玉, 宋进福. 1983. 黑颈鹤人工授精试验. *动物学杂志*, 18(3): 32–35.
- 李凤山. 2014. IUCN 黑颈鹤保护行动计划. *动物学研究*, 35(增刊1): 3–9.
- 王英树, 田秀华, 张冬冬, 等. 2014. 笼养丹顶鹤繁殖行为和粪样中性激素水平变化的关系. *野生动物学报*, 35(1): 69–74.
- 徐业芬. 2014. 高原动物生理学. 北京: 中国农业大学出版社, 382.
- 张敬. 2000. 黑颈鹤的人工育雏及疾病防治. *野生动物*, 21(1): 40–42.
- 张敬, 周军英, 赵锡森, 等. 2014. 三种鹤人工授精技术研究. *四川动物*, 33(3): 390–392.
- 张雁云. 2000. 鸟类的人工授精 // 中国鸟类学会, 台北市野鸟学会, 中国野生动物保护协会. 中国鸟类学研究. 北京: 中国林业出版社, 237–333.
- 张雁云. 2001. 笼养下黄腹角雉 (*Tragopan caboti*) 繁殖生物学和野外种群的生存力分析. 北京: 北京师范大学博士学位论文, 30–32.