



研究简报 RESEARCH NOTES

# 北京动物园圈养黑冠鹤 血变原虫的流行情况

赵素芬, 蒋鹏, 姜瑞婕, 张增帅, 李扬, 贾婷,  
郑常明, 马楠, 王昕, 高珊, 张欢, 胡昕,  
李思涵, 孙亚美, 柏超, 滑荣, 卢岩\*, 杜余礼\*

(北京动物园管理处, 圈养野生动物技术北京市重点实验室, 北京 100044)

稿件运行过程

收稿日期: 2025-01-08  
修回日期: 2025-06-21



摘要

关键词: 黑冠鹤;  
血变原虫;  
流行情况;  
疾病防控

**Keywords:** Black crowned crane (*Balearica pavonina*);  
*Haemoproteus antigonis*;  
Prevalence;  
Disease prevention and control

中图分类号: S858.9

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-04-0856-07

DOI: 10.12375/ysdwxb.202501001

以2017—2023年北京动物园饲养的17只黑冠鹤(*Balearica pavonina*)为研究对象,共采集37份外周血样本,对其血孢子虫流行情况进行调查。通过血孢子虫 *Cyt b* 基因巢式PCR检测、BLAST序列比对和形态学观察,结果显示:6只引进的成年个体血孢子虫检测呈阳性且持续带毒,无临床症状,感染率为35.29%;虫体基因序列(命名为hBALPAV01)与已报道的来自卢旺达的灰冠鹤(*B. regulorum*)血变原虫(*Haemoproteus antigonis*)进化支(BAREGI210)匹配度达到100.0%,与我国报道的来自白鹤(*Leucogeranus leucogeranus*)和丹顶鹤(*Grus japonensis*)的 *H. antigonis* 进化支(hGRUVIP01)有25个碱基差异,相似性仅为94.4%;结合虫体形态学,确定该寄生虫为 *H. antigonis*。对2018—2022年北京动物园繁殖的10只F1代个体进行检测(其中9只成功采样),结果均呈阴性,推测 *H. antigonis* 进化支(hBALPAV01)是随黑冠鹤引进而传入我国,并随动物转移输入北京动物园,但通过垂直传播方式感染后代的可能性相对较小。研究结果可为鹤类种群发展和疾病防控提供科学依据。

基金项目:北京市公园管理中心项目(ZX2025015);北京动物园管理处野生鸟类血孢子虫检测平台资助

第一作者简介:赵素芬(1984—),女,高级兽医师;主要从事野生动物疫病防控研究。E-mail:zhaosufen111@126.com

\*通信作者:卢岩,E-mail:luyan242@aliyun.com;杜余礼,E-mail:18600257028@163.com

## Prevalence of *Haemoproteus antigonis* in Captive Black Crowned Cranes at Beijing Zoo

ZHAO Sufen, JIANG Peng, JIANG Ruijie, ZHANG Zengshuai, LI Yang, JIA Ting, ZHENG Changming, MA Nan, WANG Xin, GAO Shan, ZHANG Huan, HU Xin, LI Sihan, SUN Yamei, BAI Chao, HUA Rong, LU Yan\*, DU Yuli\*

(Beijing Zoo, Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technologies, Beijing 100044, China)

**Abstract:** A total of 37 peripheral blood samples from 17 black crowned cranes (*Balearica pavonina*) raised in Beijing Zoo from 2017 to 2023 were collected for investigation of the prevalence of Haemosporidia. The results of nested PCR detection of the Haemosporidia *Cyt b* gene, BLAST sequence alignment, and morphological observation showed that six imported adult individuals were positive for Haemosporidia with an infection rate of 35.29%, and were in carrier state without clinical symptoms. The sequence of the *Haemoproteus* parasites (named hBALPAV01) showed 100% similarity in comparison with *H. antigonis* (lineage BAREGI210) of grey crowned cranes (*Balearica regulorum*) in Rwanda by BLAST, while 94.4% similarity with 25 base difference in comparison with *Haemoproteus antigonis* (lineage hGRUVIP01) of Siberian crane (*Leucogeranus leucogeranus*) and red-crowned crane (*Grus japonensis*) reported in China. Combined with the morphology, the parasite was classified as *Haemoproteus antigonis*. Furthermore, nine of the 10 offspring individuals bred at Beijing Zoo between 2018 and 2022 were investigated, and all results were negative. The lineage hBALPAV01 of *H. antigonis* may have been imported into China with the introduction of the black crowned cranes and introduced into Beijing Zoo by the animal transfer in China, and had extremely low possibility to transmit vertically to offspring individuals. The results can provide scientific basis for the development of crane population and disease prevention and control.

黑冠鹤(*Balearica pavonina*)又名西非冕鹤或黑冕鹤,隶属于鹤形目(Gruiformes)鹤科(Gruidae)冠鹤属(*Balearica*),一般在沼泽地带或平顶树上筑巢和繁殖。受栖息地丧失与退化、盗猎和非法贸易、杀虫剂滥用等因素影响,黑冠鹤野外种群数量急剧下降,现已被IUCN濒危物种红色名录列为易危(VU)物种。其栖息地呈片段化分布,主要见于非洲萨赫勒地区、苏丹-几内亚稀树草原带,南至刚果民主共和国<sup>[1]</sup>。该物种是尼日利亚的国鸟<sup>[2]</sup>。黑冠鹤观赏价值高,在我国各地动物园中均是比较常见的鸟类,深受人们的喜爱<sup>[3]</sup>。

血孢子虫目(Haemosporida)的疟原虫属(*Plasmodium*)、血变原虫属(*Haemoproteus*)及住白细胞原虫属(*Leucocytozoon*)借由双翅目(Dipteran)昆虫传播<sup>[4-17]</sup>。调查显示,幼鹤感染血孢子虫后死亡率较高<sup>[5]</sup>。在鹤类迁徙或引入过程中,气候变化与生境破碎化均可能引起血孢子虫病原外溢,进而威胁鹤

类种群安全。因此,开展血孢子虫感染研究对理解病原致病机制、推断病媒-宿主关系和推进物种保护具有重要意义<sup>[6-8]</sup>。目前,国内外鲜见黑冠鹤感染血孢子虫的相关报道。本研究以2017—2023年北京动物园圈养的17只黑冠鹤为研究对象,结合形态学和分子生物学方法,系统分析血变原虫(*Haemoproteus antigonis*)的感染及分布情况,探讨该病原系统发育及宿主-病原生态学关系,以期对珍稀鹤类疫病诊断和防控提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 样本采集与处理

所有37份黑冠鹤外周血样本均采集自北京动物园,采集时间和黑冠鹤信息见表1。每份新鲜血液样本分为两部分:一份置于EDTA抗凝管中,-80℃保存;另一份用于制备血涂片,备用。

表1 北京动物园圈养黑冠鹤信息及其血变原虫检测情况

Table 1 The captive black crowned cranes information in Beijing Zoo and their *Haemoproteus antigonis* detection

样本编号 Number	性别 Sex	出生年月 Birth date	父编号 Sire	母编号 Dam	血变原虫检测结果 Results of <i>Haemoproteus antigonis</i> detection						来源 Source
					2017-10	2018-11	2019-10	2021-09	2022-09	2023-09	
1	♀	未知	未知	未知	-	×	×	#			A
2	♀	未知	未知	未知	+	#					B
3	♀	未知	未知	未知	+	+	+	×	×	×	B
4	♀	未知	未知	未知	+	+	+	+	×	×	B
5	♂	未知	未知	未知	+	+	+	+	×	×	C
6	♂	未知	未知	未知	+	×	+	×	×	×	C
7	♂	未知	未知	未知	+	+	+	+	+	+	C
8	♀	2018-09	6	1		×	-	-	-	×	D
9	♂	2018-09	6	1		×	-	-	-	×	D
10	♀	2020-08	6	3				-	-	×	D
11	♀	2020-08	6	3				-	-	×	D
12	♂	2020-08	6	3				-	-	×	D
13	♀	2021-08	6	3				×	-	×	D
14	♂	2021-08	6	3				×	-	×	D
15	♀	2022-08	6	3					×	×	D
16	♂	2022-08	6	3					×	-	D
17	♂	2022-08	6	3					×	-	D

注: 未知. 个体出生年月及亲本信息未知; -. 阴性; +. 阳性; ×. 未采集样本; #. 死亡, 1号样本死因不详, 2号样本应激死亡; A. 自宁波动物园输入; B. 个体出生于马里共和国, 引进入我国后输入至北京动物园; C. 自天津动物园输入; D. 北京动物园繁殖。

Note: 未知. Birth dates and parents of the birds from source "A", "B" and "C" are unknown; -. Negative; +. Positive; ×. Not sampled; #. Dead, the death cause for individual 1 is unknown, while individual 2 died from stress collision; A. Introduced from Ningbo Zoo; B. Born in Mali, imported to China and later introduced to Beijing Zoo; C. Introduced from Tianjin Zoo; D. Born at Beijing Zoo.

## 1.2 分子生物学检测分析

使用EZup柱式血液基因组DNA抽提试剂盒(B518253-0050, 生工生物工程(上海)股份有限公司, 中国)对抗凝血样本进行DNA提取, 操作严格遵循试剂盒说明。

采用巢式PCR法扩增黑冠鹤血液样本中血孢子虫 *Cyt b* 基因片段<sup>[9]</sup>。第1轮扩增引物为P1F(5'-CATATATTAAGAGAAITATGGAG-3', 其中I为次黄(嘌呤核)苷)和P1R(5'-ATAGAAAGATAAGAAATACCATTTC-3')。反应体系为20.0 μL, 包括2 × *Taq* 酶预混合溶液(B639295, Life Biotech, India)10.0 μL, 上、下游引物各1.0 μL, ddH<sub>2</sub>O 6.0 μL, 模版DNA 2.0 μL。第1轮扩增反应程序: 94 °C模版变性3 min; 94 °C产物变性30 s, 50 °C退火30 s, 72 °C延伸45 s, 20个循环; 72 °C终延伸10 min。第2轮扩增引物为P2F

(5'-ATGGTGCTTTTCGATATATGCATG-3')和P2R(5'-GCATTATCTGGATGTGATAATGGT-3')。反应体系为25.0 μL, 包含2 × *Taq* 酶预混合溶液12.5 μL, 上、下游引物各1.0 μL, ddH<sub>2</sub>O 8.5 μL, 模版DNA(第1轮扩增产物)2.0 μL。第2轮扩增反应程序: 94 °C模版变性3 min; 94 °C产物变性30 s, 50 °C退火30 s, 72 °C延伸45 s, 35个循环; 72 °C终延伸10 min。取5.0 μL第2轮扩增产物, 使用1.5%琼脂糖凝胶进行电泳检测。凝胶采用4S Green Plus无毒核酸染料(A616696-0100, 生工生物工程(上海)股份有限公司, 中国)染色, 并在凝胶成像仪(GenoSens 1800, CLINX Scientific Instruments, 中国)中观察结果。将电泳检测为阳性的样本, 送至生工生物工程(上海)股份有限公司进行双向测序。所有样本均重复检测3次。

统计珍稀鹤类血变原虫的感染率。将测序所得双向序列进行拼接后,于NCBI数据库BLAST模块中进行比对,以鉴定血液寄生虫分类地位。序列相似性达100%的归为同一进化支。使用MEGA 6软件进行多序列比对,并通过ESPrnt3.0(<https://esprnt.ibcp.fr/ESPrnt/cgi-bin/ESPrnt.cgi>)生成多序列比对图。

### 1.3 形态学检测分析

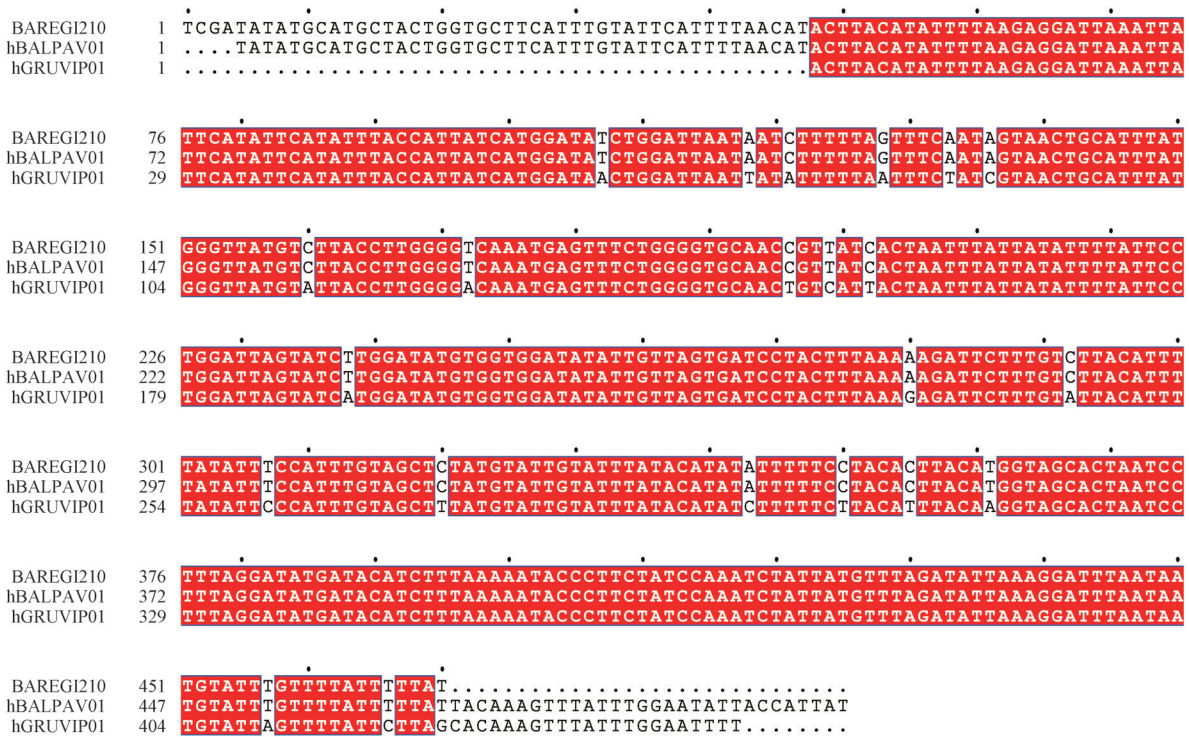
血涂片经甲醇溶液(67-56-1,国药集团化学试剂有限公司,中国)固定、自然风干,采用瑞氏-姬姆萨染色液(BA-4017,珠海贝索生物技术有限公司,中国)染色15 min,双蒸水漂洗,流水缓慢冲洗,自然风干。于光学显微镜(BX53,OLympus, Japan)下观察,先在40×物镜下定位,再使用60×油镜检测,判断个体是否感染血孢子虫并观察寄生虫形态特征,判定其所属类群。每张血涂片在40×物镜下观察100个视野,通过计数1/4视野内的红细胞数并推算红细胞总数,进而计算血变原虫的感染强度(红细胞感

染率)。

## 2 结果

### 2.1 血变原虫分子生物学检测结果

经巢式PCR法扩增、琼脂糖凝胶电泳检测、双向测序、序列拼接和比对分析,发现在17只黑冠鹤样本中,有6只个体检测呈阳性(表1),共检测出1个血孢子虫进化支。该进化支*Cyt b*基因扩增部分的序列长度为496 bp。于NCBI数据库的BLAST模块中进行比对,鉴定其为血变原虫*H. antigonis*。根据病原和宿主信息,将该进化支命名为hBALPAV01。比对结果显示,hBALPAV01进化支与来自卢旺达灰冠鹤(*Balearica regulorum*)的BAREGI210进化支(GenBank 登陆号:MT497527)<sup>[8]</sup>吻合度达100.0%,与我国报道的白鹤(*Leucogeranus leucogeranus*)和丹顶鹤(*Grus japonensis*)中发现的hGRUVIP01进化支(GenBank 登陆号:MG980617)<sup>[10-11]</sup>存在25个碱基差异,相似性仅为94.4%(图1)。



hBALPAV01. 北京动物园圈养黑冠鹤样本内检测到的血变原虫进化支序列;BAREGI210. 卢旺达灰冠鹤样本内检测到的血变原虫进化支序列;hGRUVIP01. 中国圈养白鹤、丹顶鹤样本内检测到的血变原虫进化支序列。

hBALPAV01. The sequence of *Haemoproteus antigonis* detected in captive black crowned crane samples at Beijing Zoo; BAREGI210. The sequence of *H. antigonis* detected in grey crowned crane samples in Rwanda; hGRUVIP01. The sequence of *H. antigonis* detected in captive Siberian crane and red-crowned crane samples in China.

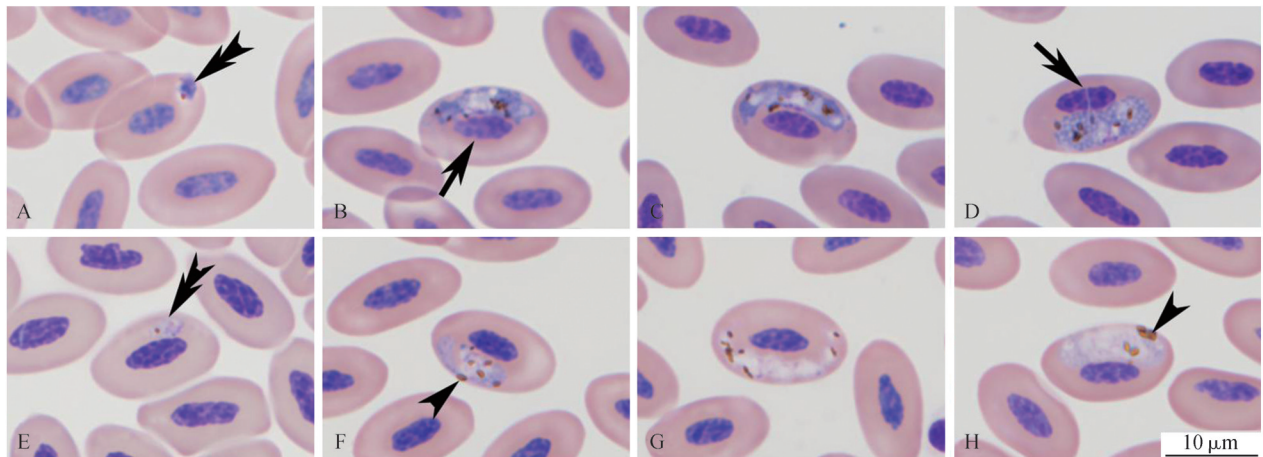
图1 鹤血变原虫多序列比对

Figure 1 Multiple sequence alignment of *Haemoproteus antigonis*

## 2.2 血变原虫形态学特征

经瑞氏-姬姆萨染色及光学显微镜观察,发现在6只PCR阳性的黑冠鹤外周血内均有血变原虫,感染强度低于1/1 000红细胞。红细胞内寄生的配子体形态学特征与文献中描述的*H. antigonis*形态相似,红内期无裂殖生殖<sup>[4]229-231,[8,12]</sup>。早期滋养体多呈不规则形态(图2A、E)。发育中的配子体沿受感染的红细胞细胞核生长,一般不触及细胞核,两者间可见不规则的波浪状“裂隙”(图2B-D、F、G)。随着配子体的发育,该裂隙逐渐狭窄(图2D)甚至消失(图2H)。成熟配子体外围边缘平滑,紧贴红细胞膜沿

细胞核生长,但不完全包裹细胞核(图2H),形态与已报道的灰冠鹤*H. antigonis*<sup>[8]</sup>一致。在本研究样本中,成熟配子体极少,未观察到类似丹顶鹤及其他鹤形目鸟类血变原虫感染中报道的形态极度饱满,几乎包绕红细胞细胞核仅留有大约细胞核长度空隙的成熟配子体<sup>[4]329-331,[11]</sup>。大配子体细胞质颗粒状,粗糙、蓝染(图2A-D),偶见小液泡(图2D)。小配子体细胞质均匀,着色均较大配子体浅(图2E-H)。色素颗粒呈椭圆形或不规则形,随机分布于配子体细胞质中(图2B-D、F-H)。



A、E. 红内期滋养体;B-D. 发育中的大配子体;F、G. 发育中的小配子体;H. 成熟的小配子体。“长柄箭头”示宿主细胞核;“无柄双箭头”示滋养体;“无柄单箭头”示疟色素(血涂片,瑞氏-姬姆萨染色液染色,600×)。

A, E. Endoerythrocytic trophozoite; B-D. Developing macrogametocyte; F, G. Developing microgametocyte; H. Mature microgametocyte. Long simple arrows represent host cell nuclei. Double arrowheads represent trophozoite. Arrowheads represent pigment granule (Thin blood smear by Wright's-Giemsa staining, 600×).

图2 鹤血变原虫形态特征

Figure 2 Morphological characteristics of *Haemoproteus antigonis* from crane blood

## 2.3 血变原虫感染情况

2017—2023年,17只黑冠鹤中有6只经分子生物学和形态学检测确认感染*H. antigonis*,感染率为35.29%。监测期间所有阳性及阴性个体均未表现临床症状。其中2只个体(1号和2号)分别于2017年和2019年死亡(1号死因不详,2号死于应激撞亡),尸检均未发现典型血孢子虫致死病变。进一步分析显示:(1)6只阳性个体来源包括两类,3只出生于马里共和国,经引进输入至北京动物园,另3只由天津动物园引入。11只阴性个体则来自宁波动物园或为北京动物园自繁。对2018年9月—2022年8月北京动物园繁殖的10只F1代个体中的9只检测,结果均呈阴性。(2)6只阳性个体(3♂,3♀)均为成年。(3)在

监测期内,所有阳性个体在每次采样检测中结果均为阳性(表1)。

## 3 讨论

鹤类作为湿地生态系统健康评估的“旗舰物种”,是世界上最受威胁的鸟类类群之一<sup>[13]</sup>。多年来,北京动物园以维持或扩大种群规模、助力生物多样性保护为目标,持续开展珍稀鹤类的饲养繁育与疾病防控等相关工作。前期研究发现,住白细胞原虫(*Leucocytozoon* sp.)感染可导致丹顶鹤幼鹤死亡<sup>[14]</sup>。血变原虫属和疟原虫属在鸟类中广泛分布,已知几种疟原虫毒力较强,会引起幼鸟种群数量显著下降<sup>[15]</sup>。疟原虫(*Plasmodium relictum*)是最常

见的疟原虫,当它与住白细胞原虫混合感染时可引起丹顶鹤、黑颈鹤(*Grus nigricollis*)、蓝鹤(*Anthropoides paradiseus*)和肉垂鹤(*Bugeranus carunculatus*)幼鹤死亡<sup>[10]</sup>。在我国5家饲养单位12种284份珍稀鹤类样本中开展的调查显示,长疟原虫(*Plasmodium elongatum*)在黑颈鹤、白鹤、丹顶鹤、白头鹤(*Grus monacha*)、灰鹤(*G. grus*)和白枕鹤(*Antigone vipio*)6种鹤类中均有检出,总体检出率为8.45%<sup>[16]</sup>。血变原虫*H. antigonis*也可以感染多种鹤科鸟类,此前在我国3个鹤类圈养单位的81份丹顶鹤样本中曾鉴定出2个血变原虫进化支,检出率为19.75%<sup>[4]329-331, [11]</sup>。本研究发现,2017—2023年,感染血变原虫*H. antigonis*(进化支hBALPAV01)的黑冠鹤个体持续带毒,但未表现明显临床症状,临床上也未给药治疗。这提示在感染血变原虫后,黑冠鹤的免疫系统可能仅能清除部分或无法完全清除体内的寄生虫,但对再感染具有相对的抵抗力,虫体可在宿主体内存活,该情况也见于大多数寄生虫感染或带虫者<sup>[17]</sup>。

黑冠鹤野外栖息地位于非洲,我国圈养的黑冠鹤均为引进物种。近些年,北京动物园持续关注并主动监测其血孢子虫感染及发病情况。本研究发现,在北京动物园17只圈养黑冠鹤样本中,有6只个体检测呈阳性,共检测出1个血变原虫进化支。该进化支与卢旺达灰冠鹤中检测到的进化支(BAREGI210)<sup>[8]</sup>相似度达100.0%,而与我国报道的白鹤、丹顶鹤的hGRUVIP01进化支<sup>[10-11]</sup>相似性仅为94.4%。6只阳性个体均为成年,3只出生于马里共和国,引进我国后输入至北京动物园,另3只个体为天津动物园输入至北京动物园,这提示该病原可能随黑冠鹤个体的引进而输入至我国,并伴随国内动物转移输入至北京动物园。此外,本研究仅在引进的6只成年个体中检测到病原,而对北京动物园在2018—2022年繁殖的10只F1代个体中的9只进行检测,结果均呈阴性,这提示该血变原虫进化支以垂直传播方式传染给子代个体的概率不大。

血变原虫的传播媒介为蠓科(Ceratopogonidae)和虱蝇科(Hippoboscidae)昆虫。血变原虫经媒介昆虫叮咬感染宿主后,子孢子在宿主内皮细胞中发育形成第1代裂殖体,其破裂释放的裂殖子可在骨骼肌细胞中发育形成巨型裂殖体,或在脾网状内皮细胞中发育形成新裂殖体。裂殖子最终进入外周血,感染红细胞并在其内发育形成成熟的大配子体和小

配子体,完成无性繁殖阶段。当媒介昆虫叮咬宿主配子体被吸入其体内,开始其在媒介昆虫体内的有性繁殖阶段<sup>[4]18-27</sup>。本研究在引进的6只成年黑冠鹤个体外周血中检测到滋养体和不同发育阶段的配子体。因血变原虫无红内期裂殖生殖,据此推测该病原可能在黑冠鹤的骨骼肌细胞或脾网状内皮细胞中进行周期性的裂殖生殖,所产生的裂殖子再入侵红细胞继而发育为成熟配子体。目前,关于血变原虫慢性寄生虫血症的复发和维持研究仍不充分,成熟配子体在黑冠鹤体内的存活时间等仍需进一步验证。未来,需进一步扩大圈养黑冠鹤、媒介昆虫及伴生鸟类调查范围和监测力度,明确血变原虫的流行规律、潜在致病性及致病机制,从而制定有针对性的防控策略,为鹤类种群保护与疾病风险预警提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 李湘涛, 吴绍同. 世界之鹤[J]. 人与生物圈, 2001(增刊1): 24-33.  
LI X T, WU S T. Crane of the world [J]. Man and the Biosphere, 2001(Suppl. 1): 24-33.
- [2] BirdLife International. *Balearica pavonina* [J/OL]. The IUCN Red List of Threatened Species, 2024: e. T22692039A240627334 [2024-07-18]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2024-2.RLTS.T22692039A240627334.en>.
- [3] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 123-127.  
National Environmental Protection Agency. Monitoring and analysis methods for water and wastewater [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1994: 123-127.
- [4] VALKIŪNAS G. Avian malaria parasites and other Haemosporidia [M]. Boca Raton: CRC Press, 2004.
- [5] 贾婷, 张成林, 刘贤勇, 等. 幼丹顶鹤感染血孢子虫的PCR鉴定[J]. 野生动物, 2010, 31(6): 323-326; 337.  
JIA T, ZHANG C L, LIU X Y, et al. PCR determination of haemosporidian parasites, infecting juvenile red-crowned crane in Beijing zoo [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2010, 31(6): 323-326; 337.
- [6] FECCHIO A, LIMA M R, SILVEIRA P, et al. High prevalence of blood parasites in social birds from a neotropical savanna in Brazil [J]. Emu-Austral Ornithology, 2011, 111(2): 132-138.
- [7] CLARK N J, CLEGG S M, LIMA M R. A review of global diversity in avian haemosporidians (*Plasmodium* and *Haemoproteus*: Haemosporida): New insights from molecular data [J]. International Journal for Parasitology, 2014, 44(5): 329-338.
- [8] SOBECK J, NSENGIMANA O, RUHAGAZI D, et al. Haemospo-

- ridia of grey crowned cranes in Rwanda [J]. *Parasitology Research*, 2022, 121(1): 477-482.
- [9] HELLGREN O, WALDENSTRÖM J, BENSCH S. A new PCR assay for simultaneous studies of *Leucocytozoon*, *Plasmodium*, and *Haemoproteus* from avian blood [J]. *The Journal of Parasitology*, 2004, 90(4): 797-802.
- [10] JIA T, HUANG X, VALKIŪNAS G, *et al.* Malaria parasites and related haemosporidians cause mortality in cranes: A study on the parasites diversity, prevalence and distribution in Beijing Zoo [J]. *Malaria Journal*, 2018, 17(1): 234.
- [11] 贾婷, 郑常明, 丁楠, 等. 圈养丹顶鹤血变原虫的流行调查研究 [J]. *中国兽医杂志*, 2019, 55(2): 3-7.
- JIA T, ZHENG C M, DING N, *et al.* Investigation on prevalence of *Haemoproteus* in captive red crowned crane [J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2019, 55(2): 3-7.
- [12] VALKIŪNAS G, IEZHOVA T A. Keys to the avian *Haemoproteus* parasites (Haemosporida, Haemoproteidae) [J]. *Malaria Journal*, 2022, 21(1): 269.
- [13] BEILFUSS R D, DODMAN T, URBAN E K. The status of cranes in Africa in 2005 [J]. *Ostrich*, 2007, 78(2): 175-184.
- [14] 赵素芬, 王运盛, 李婧伦, 等. 一例丹顶鹤幼鹤血液原虫致死病例报告 [J]. *野生动物学报*, 2022, 43(3): 793-797.
- ZHAO S F, WANG Y S, LI J L, *et al.* A fatal case report on blood protozoa of juvenile red-crowned crane [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2022, 43(3): 793-797.
- [15] ORTIZ-CATEDRAL L, BRUNTON D, STIDWORTHY M F, *et al.* *Haemoproteus minutus* is highly virulent for Australasian and South American parrots [J]. *Parasites & Vectors*, 2019, 12(1): 40.
- [16] 蒋鹏, 郑常明, 姜瑞婕, 等. 圈养珍稀鹤类长疟原虫流行情况研究 [J]. *野生动物学报*, 2024, 45(2): 347-353.
- JIANG P, ZHENG C M, JIANG R J, *et al.* Investigation on prevalence of *Plasmodium elongatum* in captive rare cranes [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2024, 45(2): 347-353.
- [17] 朱玉霞, 武前文. 寄生虫与宿主的相互作用 [J]. *淮南工业学院学报*, 2000, 20(2): 68-72.
- ZHU Y X, WU Q W. The proceeding study on the relationship between parasites and host [J]. *Journal of Huainan Institute of Technology*, 2000, 20(2): 68-72.