



繁殖行为与种群管理 Reproductive Behavior and Population Management

圈养华南虎繁殖行为观察及繁殖性能评估 ——基于10年追踪数据

廖锐章, 邱伟明, 黄润基, 卓锦清, 潘德成, 彭仕明*

(广州动物园, 广州市野生动物研究中心, 广州 510070)

稿件运行过程

收稿日期: 2025-09-15

修回日期: 2025-10-29



摘要

关键词: 华南虎;

圈养繁殖;

繁殖行为;

繁殖性能;

妊娠期;

死仔率

Keywords: South China tiger (*Panthera tigris amoyensis*);
Captive breeding;
Reproductive behavior;
Reproductive performance;
Gestation period;
Stillbirth rate

中图分类号: Q958.1; S864.5

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2026)-01-0011-11

DOI: 10.12375/ysdwx.202509008

圈养华南虎(*Panthera tigris amoyensis*)种群对该物种存续至关重要,但其繁殖效率较低,严重制约了保护成效。本研究于2015年1月—2024年12月,对一雄一雌两只圈养华南虎进行了为期10年的繁殖行为、妊娠与产仔情况记录。结果显示:两虎成功合笼19次,均观察到发情交配行为,其中8次成功妊娠,共产仔15只。圈养华南虎全年均可发情,无明显季节性特征;雌虎有效繁殖期主要集中在6~12岁,13岁后虽有交配行为但未再有受孕情况。相关性分析表明,雌虎年龄与交配天数、交配次数呈极显著正相关($P < 0.01$),但与是否妊娠无显著相关性。繁殖失败率极高,总死仔率达60%(9/15),且妊娠期长度与死仔数呈显著负相关($P < 0.05$),所有短于90 d的妊娠均伴随死产情况。研究表明,交配行为不能作为判断受孕的可靠指标,而妊娠期长度是预测死仔风险的关键预警指标。建议在保育实践中优先保障5~12岁青壮年虎的繁殖机会,加强妊娠后期(> 85 d)的精细化饲养管理,并提前制定死仔与弃仔的应对方案。

基金项目: 广州动物园园立科研项目(YL202408)

第一作者简介: 廖锐章(1984—),男,畜牧师;主要从事野生动物管养研究。E-mail:lrui Zhang@163.com

* 通信作者: 彭仕明, E-mail: 18108438@qq.com

Observation of Reproductive Behavior and Performance Evaluation in Captive South China Tiger: Based on 10 Years Tracking Dataset

LIAO Ruizhang, QIU Weiming, HUANG Runji, ZHUO Jinqing, PAN Decheng, PENG Shiming*

(Guangzhou Zoo, Guangzhou Wildlife Research Center, Guangzhou 510070, China)

Abstract: The captive south China tiger (*Panthera tigris amoyensis*) population is crucial to the survival of this species, but its low reproductive efficiency severely hampers conservation efforts. Two captive south China tigers, one male and one female were recorded for the reproductive behavior, pregnancy and cub births for 10 years observation from January 2015 to December 2024. The results showed that the two tigers shared the enclosure 19 times, and estrus mating was observed in all instances, eight of them were successfully pregnant, and a total of 15 cubs were produced. Captive south China tigers exhibited estrus all year round without distinct seasonality. The female's effective reproductive period was 6 to 12 years old; and the female tiger had mating behavior but did not conceive after 13 years old. Correlation analysis revealed that the female's age was significantly positively correlated with the number of mating days and mating frequency ($P < 0.01$), but not with pregnancy. The reproductive failure rate was extremely high, with an overall cub mortality rate of 60% (9/15). Moreover, gestation length showed a significant negative correlation with the number of dead cubs ($P < 0.05$), and all pregnancies shorter than 90 days were accompanied by stillbirths. The study indicated that mating behavior could not be used as a reliable indicator of conception, while gestation length was a key early-warning indicator for predicting the risk of stillbirth. It is recommended to prioritize breeding opportunities of young adult tigers aged 5 – 12 years, to strengthen the fine feeding management during late pregnancy (> 85 days), and to prepare contingency plans for stillbirths and abandoned cubs in advance.

华南虎(*Panthera tigris amoyensis*),亦称中国虎,是我国特有的虎亚种。历史上,其分布范围广泛,涵盖华东、华南乃至华北南部、西南东部等广大区域,但因栖息地丧失与过度猎捕等因素,其野生种群数量急剧减少。根据世界自然保护联盟(IUCN)的评估,该物种自20世纪70年代以来已无确凿的野外目击记录,可能已野外灭绝^[1]。至20世纪90年代初,其野外种群数量估计已不足20只;1996年,华南虎被列为“全球极度濒危的十大物种之一”,濒危程度极为严峻^[2]。在此背景下,国内动物园圈养的华南虎种群成为挽救这一濒危亚种的唯一希望^[3]。然而,该种群全部源自6只建立者(2♂,4♀)^[4],遗传多样性低,平均近亲系数已超过0.25^[5]。尽管通过持续保育,圈养华南虎个体数量已增长至241只^[6],但严重的近交衰退问题依旧显著,表现为遗传多样性丢

失^[5]、雄性精子质量下降^[7]及高死仔率和低成活率^[8-9],种群数量仍未达到目标要求。目前,有关华南虎的研究报道主要集中在生物学特性^[10-15]、种群现状调查^[5,16-17]和疾病防治^[18-21]等方面,亦有繁殖行为、繁殖期管理及人工辅助育幼的报道^[13,22-23],但仍缺乏系统性、长周期的繁殖生物学观察数据。尤其是关于种兽年龄、妊娠期长度与胎儿存活之间的量化关系尚未厘清,致使保育实践中许多关键操作仍依赖经验,缺乏科学依据。为此,本研究对一对圈养华南虎进行了为期10年的持续观测,完整记录了从性成熟前至生殖衰老的完整繁殖周期,重点分析了其发情规律、受孕相关指标及导致死仔发生的因素,以为圈养华南虎种群的可持续管理提供科学指导,并为其他濒危大型猫科(Felidae)动物的保育实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究对象

以广州动物园圈养的一对华南虎为研究对象。雄性个体(系谱号496)于2011年出生,近交系数为0.3842,雌性个体(系谱号457)于2010年出生,近交系数为0.4091,均为人工繁殖子七代个体。个体健康状况良好,无重大疾病史。繁殖配对符合中国动物园协会华南虎保护协调委员会(South China Tiger Conservation Committee)制定的圈养种群繁殖配对计划。

1.2 饲养管理条件

参照LY/T 1563—1999《陆生野生动物(兽类)饲养场通用技术条件》^[24],制定标准化饲养方案,实施标准化饲养管理。具体包括以下方面:(1)笼舍管理。单只虎的饲养笼舍总面积不小于200 m²。笼舍按功能分区设置,包括产房(约16 m²)、内室(约20 m²)、内运动场(约20 m²)及外活动场(不小于100 m²);其中内运动场可直接作为展区使用。此外,设有后备笼舍,面积为10~15 m²。产房、内室及后备笼舍地面均采用硬质材料(水泥或地砖)。内运动场地表铺设沙土,厚度为15~20 cm。外活动场则模拟自然栖息地环境,地面种植青草和树木并配置相应遮蔽与丰容设施。(2)饲料与投喂。采用“5日投喂+2日禁食”模式(每周三、周六禁食)。每日17:00投喂新鲜肉类(猪瘦肉、牛肉、鸡肉按3:2:1比例混合),单只日投喂量为体质量的3%~5%,雄性8~10 kg/d,雌性6~8 kg/d。(3)卫生与消毒。日常清洁每日一次(08:00—10:00),食具/水具每周消毒(1:2 000的戊二醛癸甲溴铵水溶液),笼舍环境硬地面每月消毒(0.5%三氯异氰尿酸水溶液),其余环境每月喷雾消毒(1:1 000的戊二醛癸甲溴铵水溶液);疫情期增加临时消毒(每3日一次)。

1.3 配对合笼流程

华南虎的配对合笼遵循渐进式引入原则,分为3个阶段。(1)隔离适应期(1~2周):将雌雄虎安置于相邻笼舍(间距≤2 m),双方可通过金属围栏(网格5 cm×5 cm)实现视觉、嗅觉接触,发情时能够向对方发出引诱信息^[25],记录相互嗅闻、喷鼻、摩擦等行为频率。(2)渐进合笼期:当双方无攻击行为(连续3日无攻击、抓咬或追逐),开启中间通道进行有限合笼(每日08:00—15:00),观察社群行为(如跟随、相互鼻音、共卧)占比;若连续5日社群行为占比≥30%且无攻击行为,则进入下一阶段。(3)合笼维持期:实行日间合笼(08:00—17:00)、夜间分笼(17:00—次日08:00)模式,直至交配行为结束或确认妊娠后隔离雄虎。

1.4 行为观察与记录方法

自雌雄个体引入合笼开始,观察并记录动物的日常行为,重点统计动物繁殖行为的发情交配时间、交配次数、妊娠期长度、产仔数、流产次数及死仔(弱胎)数等情况,并分析交配年龄、交配天数和次数与是否妊娠的相关性,以及妊娠期长度与娩出死仔的相关性。

1.4.1 繁殖行为观察

参考东北虎(*Panthera tigris altaica*)行为观察的研究方法^[26-27],并结合本次对圈养华南虎的观测,建立了包含自理、休息、探索、巡视、社群、进食、邀配及交配八类主要行为的《圈养华南虎繁殖期行为谱》(表1)。在繁殖期,采用全事件记录法(all-occurrence recording)对所有邀配与交配行为的发生时间、持续时长与频率予以记录。同时,采用目标动物取样法(focal-animal sampling),每日于08:00—17:00分别对雌雄个体进行连续2 h的跟踪观察,每隔15 min进行一次瞬时扫描取样,记录动物当时的行为状态,并对其行为模式进行分析。

表1 圈养华南虎繁殖期行为谱

Table 1 Ethogram of reproductive behaviors in captive south China tigers

行为 Behavior	描述 Description
自理行为 Self-care behavior	用舌头理毛, 舔舐身体某部分
休息行为 Resting behavior	睡觉, 卧躺, 趴坐
探索行为 Exploratory behavior	攀爬, 撕咬, 闻嗅
巡视行为 Patrolling behavior	在展示区域内走动, 奔跑, 眺望
社群行为 Social behavior	雌雄虎间的互动行为, 包括相互理毛、身体摩擦、发出鼻音、相互跟随及打斗
进食行为 Feeding behavior	用嘴摄取、咀嚼或吞咽食物
邀配行为 Courtship behavior	主动接近异性, 发出特定鼻音, 雌虎半蹲待配, 雄虎试图爬跨
交配行为 Mating behavior	雌虎半蹲; 雄虎爬跨雌虎, 阴茎插入阴道并随后肢律性抽动

1.4.2 观察者信度检验

为确保行为记录数据的客观性与准确性,在正式观察前进行观察者间信度检验。由第一作者与另一名经统一培训的观察员,独立、同步地对相同个体进行为期3 d、每天2 h的繁殖期行为记录。采用组内相关系数(ICC)评估行为持续时间数据的一致性,采用科恩卡帕系数(Kappa)评估行为发生次数(瞬时扫描)数据的一致性。结果显示,所有行为项目的ICC值均高于0.78, Kappa值均高于0.85,表明行为观察结果具有高度一致性,数据可靠。

1.5 数据分析与绩效指标

1.5.1 统计分析

采用SPSS 27.0软件进行统计分析。计量数据以平均值 \pm 标准差(mean \pm SD)表示。采用Pearson相关分析检验雌虎年龄、交配天数、交配次数、妊娠期长度与繁殖结果(是否妊娠、死仔数)的相关性。采用配对样本t检验(paired-sample t-test)分析交配期与非交配期行为时间分配的差异,显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

1.5.2 繁殖绩效指标的定义与计算

为科学评估圈养华南虎的繁殖效率,本研究定义以下两项关键绩效指标,旨在量化单位配种机会与单位时间内所获得的存活后代产出。

单次合笼活仔产出(live cubs per pairing attempt):该指标反映平均每次成功合笼并完成交配后,最终所能获得的断奶活仔数量,用于评估单次繁殖尝试的效率。计算公式为

$$R_c = N_l / N_m \quad (1)$$

式中: R_c 为单次合笼活仔产出; N_l 为观察期内获得的总断奶活仔数; N_m 为观察期内总合笼次数。

年均活仔产出(annual live cub yield):该指标反映雌虎在其有效繁殖年限内,平均每年对种群增长的实际贡献,用于评估其长期的繁殖生产力。计算公式为

$$R_y = N_l / T \quad (2)$$

式中: R_y 为年均活仔产出; N_l 为雌虎在有效繁殖期内获得的总断奶活仔数; T 为雌虎的有效繁殖年数(即从首次成功妊娠至末次成功妊娠的间隔年数)。

2 结果

2.1 合笼进程与繁殖行为表现

在为期10年的观察中,研究涉及的一对华南虎

共成功合笼19次,全部合笼均遵循标准化的渐进引入流程,并完整观察到发情、邀配与交配行为序列。

2.1.1 隔离适应期(1~2周)

将雌雄虎安置于相邻笼舍(间距 ≤ 2 m),双方可通过金属围栏进行视觉、嗅觉接触及有限的身体接触。此阶段初期,双方均表现警觉并相互回避,随后行为逐渐缓和,出现隔栏相互嗅闻、喷鼻音及摩擦颈部或身体等试探性互动,并选择在靠近隔栏处休息,表明初步接受对方存在。

2.1.2 渐进合笼与发情前期

连续3日观察无攻击行为后,开启中间通道进行有限合笼(每日08:00—17:00)。此阶段,发情行为征兆开始显现。雌虎表现出转圈、翻滚、舔舐阴部、喷尿及伏地抬尾等典型邀配行为。雄虎则表现为四处喷尿标记、低声嗷叫、外露并舔舐阴茎,并尝试隔栏爬跨。若连续5日社群行为(如相互理毛、共卧、跟随)占比 $\geq 30\%$ 且无攻击,则进入全合笼阶段。

2.1.3 交配期行为序列

成功合笼后,交配行为集中在发情高峰期。其行为序列如下:(1)邀配。雌虎主动靠近雄虎,发出响亮喷鼻音,并伏下身体、抬高尾部。(2)爬跨与交配。雄虎迅速爬跨,用口衔住雌虎颈背部皮肤,后肢进行有节奏的活塞运动,交配持续时间为8~15 s。(3)终末反应。交配结束后,雄虎迅速跑离,雌虎则立即翻身打滚、舔舐阴部,并常伴有短促嘶叫。此过程在发情期内每日可重复多次。

2.1.4 交配后隔离与妊娠初步判定

若连续8 h不再交配,视本次发情交配结束,可将雌虎与雄虎分离,进入单独饲养观察阶段。交配结束后合笼饲养的雌虎,若65~75 d未再次表现发情行为或最长90 d无交配,则可初步判断其可能进入妊娠状态,并转入妊娠期管理流程。

2.2 交配前后行为时间分配的差异

对雌雄华南虎在交配前与交配后的行为时间分配进行对比分析,结果显示交配行为的发生显著改变了其日常行为模式(图1和图2)。雌雄个体在交配后均表现出相似的行为变化趋势。交配后休息行为占比显著增加,其中雌虎由43.8%上升至50.3%(增加14.8%),雄虎由43.6%上升至56.3%(增加29.1%)。与之相反,多数活动性行为占比明显下降:巡视行为在雌雄虎中分别降低50.0%与52.9%,

社群行为分别减少39.6%和58.9%，自理、探索与进食行为亦呈现不同程度下降。在交配后阶段，邀配与交配行为在雌雄虎的行为时间分配中分别占据了8.9%与8.4%的显著比例，表明繁殖活动直接影响了该阶段的行为结构。上述变化表明，交配行为完

成后，华南虎的行为分配发生显著转向，从以活跃探索、巡视及社会互动为主，转为以休息为主，并伴随特定繁殖相关行为的出现。这一行为调整模式在雌雄个体间具有一致性，反映了繁殖活动对华南虎行为节律的阶段性影响。

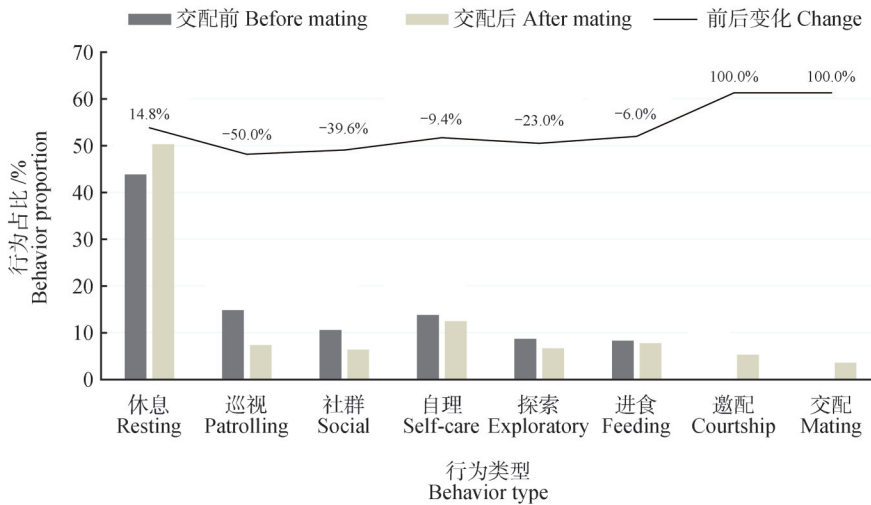


图1 雌华南虎交配前/后行为占比对比

Figure 1 Comparison of the proportion of behaviors of female south China tiger before and after mating

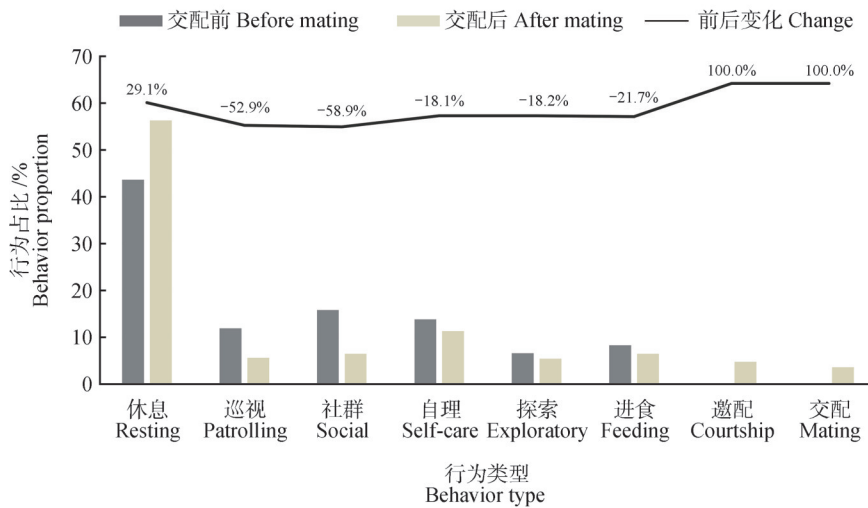


图2 雄华南虎交配前/后行为占比对比

Figure 2 Comparison of the proportion of behaviors of male south China tigers before and after mating

2.3 繁殖绩效评估

在2015—2024年配对华南虎共交配19次，共有8次成功妊娠，妊娠成功率为42.1%(8/19)，共产仔15只(表2)，平均每胎产仔1.88只(15/8)。其中，死仔9只，总死仔率达60.0%(9/15)。统计显示，以交配首日为基准，8次成功妊娠的平均妊娠期为95 d，平均交配天数为(4.38 ± 1.19) d；未成功妊娠(n =

11)的平均交配天数为(5.55 ± 1.97) d。基于上述数据计算繁殖绩效指标：10年观察期内19次合笼共获得6只活仔，单次合笼活仔产出仅为0.32只；雌虎在7年有效繁殖期内(6~12岁)，年均活仔产出为0.86只。该雌虎从初产开始就存在弃养行为，因此所有存活的6只幼仔均采用人工育幼。

表2 一对圈养华南虎的繁殖记录

Table 2 Breeding status of a pair of captive south China tigers

序号 No.	交配时间 Mating date	交配天数 Mating days	妊娠期/d Pregnancy period	产仔数/只 Number of births	死仔数/只 Number of stillbirths	孕酮质量分数/(ng·g ⁻¹) [*] Fecal progesterone concentration
1	2016年9月	5	85	1	1	376.50
2	2017年1月	6	102	2	0	536.30
3	2017年6月	3	102	3	1	526.34
4	2017年12月	3	89	4	4	332.32
5	2018年7月	4	95	1	1	476.25
6	2019年2月	3	100	2	1	566.81
7	2019年7月	4	100	1	0	615.80
8	2022年3月	7	87	1	1	463.92

注：*. 孕酮质量分数数据为交配后(60~90 d)5次粪便检测均值。

Note: *. Progesterone concentration from five fecal samples collected between 60 and 90 days post-mating.

2.4 雌虎年龄与交配参数的变化

随雌虎年龄增长,其单次发情周期内的交配天数与总交配次数均呈现增加趋势。雌虎在6~12岁,交配天数多为3~6 d,交配次数为68~143次。自13岁起,交配天数延长至7 d,交配次数增至146~160次,达到观察期内的峰值。对主动邀配行为的分析进一步揭示了华南虎邀配主导角色随年龄发生转换的动态模式:在雌虎5~6岁的青年初期,雄虎的主动邀配次数略占优势(雄:雌 \approx 1.22:1);而当雌虎进入7岁及以上阶段后,雌性的主动邀配积极性总体超过雄虎(雌:雄 \approx 1.08:1),在12~14岁的高龄

期尤为明显(雌:雄 \approx 1.10:1)。这表明,尽管在全观察期(5~14岁)内雌雄总邀配次数基本持平(雌:1 046次,雄:1 086次),但其行为模式存在显著的年龄阶段性差异。但上述交配参数与邀配积极性的增长并未转化为妊娠成功率的同步提升。如表3所示,在雌虎6~12岁的11次繁殖事件中,共实现8次成功妊娠;而自13岁起,尽管交配天数、次数及雌性邀配积极性均达到或接近峰值,但连续6次合笼均未成功受孕(表3)。这表明在进入高龄阶段(\geq 13岁)后,雌虎的繁殖障碍主要表现为生理性生育能力衰退,而非交配行为意愿或频次的下降。

表3 雌虎年龄、交配参数与妊娠情况

Table 3 Age, mating parameters and pregnancy status of female tiger

序号 No.	交配时间 Mating date	交配天数 Mating days	交配次数 Mating frequency	邀配次数 Courtship frequency		雌虎年龄/岁 Female age	是否妊娠 Whether pregnant or not
				雄性 Male	雌性 Female		
1	2015年10月	5	89	48	41	5	否
2	2015年12月	4	74	33	41	5	否
3	2016年2月	3	81	52	29	6	否
4	2016年4月	2	23	18	5	6	否
5	2016年7月	5	93	47	46	6	否
6	2016年9月	5	128	57	71	6	是
7	2017年1月	6	110	52	58	7	是
8	2017年6月	3	81	39	42	7	是
9	2017年12月	3	110	53	57	7	是
10	2018年7月	4	99	46	53	8	是

续表3

序号 No.	交配时间 Mating date	交配天数 Mating days	交配次数 Mating frequency	邀配次数 Courtship frequency		雌虎年龄/岁 Female age	是否妊娠 Whether pregnant or not
				雄性 Male	雌性 Female		
11	2019年2月	3	115	58	57	9	是
12	2019年7月	4	68	37	31	9	是
13	2022年3月	7	143	68	75	12	是
14	2023年11月	7	151	75	76	13	否
15	2024年2月	7	146	67	79	14	否
16	2024年3月	7	157	68	89	14	否
17	2024年4月	7	152	73	79	14	否
18	2024年5月	7	152	76	76	14	否
19	2024年6月	7	160	79	81	14	否

2.5 交配参数、雌虎年龄与是否妊娠的相关性

本配对雌雄虎自2015年初次交配到2024年6月最后一次交配,雌虎年龄、交配天数、次数与雌虎妊娠情况的相关性分析结果见表4。由表4可见,雌虎年龄、单次发情周期的交配天数和交配总次数与本次合笼是否成功妊娠均无显著相关性($P >$

0.05)。然而,雌虎年龄与交配天数($r = 0.785, P < 0.01$)、交配次数($r = 0.814, P < 0.01$)之间均存在极显著正相关。交配天数与是否妊娠呈负相关趋势($r = -0.334$),即未成功妊娠的合笼往往伴随更长的交配期。

表4 雌虎年龄、交配参数与妊娠结局的Pearson相关分析

Table 4 Pearson correlation analysis of age, mating parameters and pregnancy of female tiger

变量 Variable	是否妊娠 Whether pregnant or not	交配天数 Mating days	交配次数 Mating frequency	雌虎年龄 Female age
是否妊娠 Whether pregnant or not	1	—	—	—
交配天数 Mating days	-0.334	1	—	—
交配次数 Mating frequency	-0.127	0.856**	1	—
雌虎年龄 Female age	-0.279	0.785**	0.814**	1

注: **. 极显著相关($P < 0.01$)。

Note: **. Highly significant correlation ($P < 0.01$).

2.6 妊娠期长度与死仔发生的相关性

Pearson相关分析表明,妊娠期长度与死仔数呈显著负相关($r = -0.869, P = 0.011$)(表5)。在本研究所有妊娠事件中,妊娠期短于90 d的3次妊娠均伴随死仔发生,且死仔数较多;而妊娠期长于95 d的妊娠中,死仔发生率及数量相对较低。此外,对妊娠期(交配后60~90 d)粪便孕酮水平的监测结果显示,8次妊娠事件的孕酮水平为332.32~615.80 ng/g。

数据显示,较高的孕酮水平可能与更长的妊娠期和更低的死胎风险相关。例如,孕酮水平较高的两次妊娠(分别为536.30、615.80 ng/g)妊娠期均较长(≥ 100 d)且无死胎发生;而死仔率最高(100%,4/4)且妊娠期较短(89 d)的2017年12月妊娠的孕酮水平(332.32 ng/g)为所有记录中最低,另一妊娠期最短(85 d)并发生死胎的2016年9月妊娠的孕酮水平(376.50 ng/g)也相对较低(表2)。

表5 妊娠期长度与死仔的Pearson相关分析

Table 5 Pearson correlation analysis between the length of pregnancy and stillbirths

变量 Variable	妊娠期长度 Pregnancy length	死仔数 Number of stillbirths	死仔率 Stillbirth rate
妊娠期长度 Pregnancy length	1.000	—	—
死仔数 Number of stillbirths	-0.869*	1.000	—
死仔率 Stillbirth rate	-0.863*	0.898**	1.000

注: *. 显著相关($P < 0.05$); **. 极显著相关($P < 0.01$)。

Note: *. Significant correlation ($P < 0.05$); **. Highly significant correlation ($P < 0.01$).

3 讨论

3.1 华南虎繁殖行为特性与应用启示

3.1.1 发情行为无明显季节性及其管理意义

本研究发现,在近10年(2015年1月—2024年12月)的观测期内,圈养华南虎在各月份均有发情交配行为,表明其在圈养条件下繁殖无明显季节性特征。这一特征与郭爱霞等^[25]关于圈养东北虎发情期集中于11月—次年3月的结论存在显著差异,推测其可能与华南地区气候及圈养环境有关。上述研究结果对圈养华南虎保育实践具有重要的指导意义:其一,可实施全年动态繁殖管理,保育管理者无需被动等待特定的“繁殖季节”,从而极大地提高繁殖规划的灵活性和主动性。其二,合笼时机的判断应基于行为指标而非日历时间。全年可繁殖并不意味着随时合笼均可成功,合笼的成功关键在于准确判断个体是否处于发情状态。其三,应重视雄虎在繁殖中的积极性,优化个体配对策略。传统观点常认为雌虎在邀配中占主导^[28],而本研究发现雌雄虎邀配次数相当,表明雄虎同样扮演积极角色。这意味着在配对时,除考虑遗传因素外,还需综合评估雄虎的性经验、行为积极性及其与特定雌虎的社交相容性。

3.1.2 雌雄邀配行为对比及年龄影响

本研究观察到,华南虎的主动邀配行为呈现显著的年龄相关性,且邀配主导角色随个体生命阶段发生动态转换:青年阶段以雄虎为主导,随年龄增长,雌虎表现出更强的邀配主动性。这一发现从完整的生命周期视角,对仲阳康等^[28]提出的“华南虎以雌虎主动邀配为主”的结论,提供了重要的补充与情境化阐释。具体来看,在雌虎5~6岁的青年初期,

本研究中雄虎的主动邀配频次略占优势(雄:雌 $\approx 1.22:1$),这可能与该阶段雄虎较高的性激素水平及繁殖动机有关。随着个体进入中高龄阶段(7岁后),邀配主导方逐渐转向雌虎(雌:雄 $\approx 1.08:1$),而在高龄阶段(12岁后),这一趋势进一步明显(雌:雄 $\approx 1.10:1$)。乔征磊^[29]的研究指出,雄性东北虎在发情交配期的睾酮水平显著高于非繁殖期。因此,本研究所观察到的角色转换现象,可能与雄虎随年龄增长出现的睾酮水平自然下降及其性行为积极性变化有关。在整个观察期(5~14岁)内,雌虎个体的总邀配次数基本持平(雌虎1046次,雄虎1086次),体现了不同生命阶段中行为策略的动态平衡。

本研究基于长达10年的观测,涵盖了从青年到中老年的多个生理阶段,因此整体未呈现显著性别偏向;而仲阳康等^[28]的研究专注于适龄繁殖虎在一年内的行为,可能更突出繁殖活跃期雌虎的主动性差异。这表明,两项研究结论的差异主要源于观测时长与对象年龄结构的不同。由此推测,华南虎的邀配行为模式可能随年龄与繁殖阶段发生动态变化。这一发现强调了在评估物种繁殖行为时,必须考虑个体年龄与生命周期阶段的重要性,单一的“以谁为主”的结论可能仅适用于特定年龄段。在保育实践中,应依据配对不同年龄阶段的个体特点,制定相应的繁殖诱导与合笼管理策略。

3.1.3 妊娠诊断的局限性

除发情与邀配行为外,妊娠的准确诊断(确孕)仍是圈养华南虎繁殖管理中的关键难点。乐正中^[30]的研究认为,雌虎交配后如一个月内不再发情可视为受孕,但我们曾分别在2016年(首次)、2022年(第9次)交配后60 d内记录到华南虎出现再交配行为,并且2024年2—6月连续交配但均未成功妊娠,表明

该经验性方法可靠性有限。吴其锐等^[31]则认为可采用妊娠诊断试条(人用)进行尿液测试并结合雌虎性周期及体形变化加以确孕,但未明确检测时机与操作规范,在实际应用中效果难以保证。王晓明^[27]对东北虎的研究显示,粪便中雌二酮和孕酮水平在发情期、交配期和育幼期均高于非繁殖期(发情前和分娩后)。但在实际饲养管理中,华南虎的激素检测方法虽具备可行性,却未见广泛报道,是否能有效对雌兽进行确孕存疑。因此,目前圈养华南虎的妊娠诊断仍缺乏统一、可靠且易于推广的标准化方法,制约了繁殖管理的精准化。

3.2 雌虎年龄、交配行为与生殖衰老的关系

本研究2024年的观察显示,尽管中老年雌虎交配行为频繁,且其年龄与交配天数($r = 0.785$)、交配次数($r = 0.814$)均呈极显著正相关($P < 0.01$),但并未成功妊娠。这表明在华南虎中老年阶段仅凭交配天数和次数等行为指标难以准确预测妊娠结局。这一现象可能与虎以诱导排卵为主的繁殖机制^[32]有关,年长雌虎可能通过延长发情期、增加交配频率来提高排卵和受孕概率。然而,该策略并未转化为更高的妊娠成功率。这表明在生殖衰老过程中,仅依据交配行为评估繁殖潜力具有明显局限性,其失效原因可能与卵巢反应性下降、卵母细胞质量降低等内在生理衰退机制有关。

3.3 高死仔率的成因与妊娠期管理

本研究通过长期观测数据,初步厘清了雌虎年龄、妊娠期长度与繁殖结局之间的关联。本次观察对象死仔率高达60.0%,这一现象在圈养华南虎种群繁育中较为常见^[8],凸显了胎儿存活阶段是影响繁殖成功率的关键瓶颈。相关性分析表明,妊娠期长度与死仔数之间存在极强的负相关关系($r = -0.869$, $P = 0.011$)。结合已有研究和我们的观察,高死仔率可能涉及多方面的生理病理机制,如本研究中妊娠期最短的妊娠事件(妊娠期85 d,死仔1只),死产胎儿呈窒息状,提示可能与胎儿宫内缺氧和宫内生长受限^[33]有关。另一死仔率最高的妊娠事件(妊娠期89 d,死仔4只),其粪便孕酮检测均值(332.32 ng/g)为8次妊娠中最低,显著低于成功维持至足月且无死胎的妊娠记录。本研究观察到的现象显示,孕酮水平较低的妊娠事件伴随着较短的妊娠期和较高的死仔率。有研究也表明,孕酮在维持妊娠稳定中具有关键作用,能有效抑制子宫肌层过

度收缩^[34],因此,我们推测孕酮水平低下可能是导致妊娠期缩短及死仔风险增加的一个重要生理因素。上述发现表明,妊娠期长度可作为预测死仔风险的关键预警指标。因此,圈养华南虎的妊娠管理应从粗放式护理转向以妊娠期监测为重点的精细化、预防性模式。具体建议包括:(1)确立关键监护窗口。将妊娠85 d设为管理强化节点,此后需最大限度减少环境干扰与应激,保持饲养环境稳定。(2)实施营养精准调控。依据妊娠阶段调整日粮结构,尤其注意孕晚期蛋白质供给的控制,以降低因胎儿过大导致的难产或缺氧风险。(3)制定并演练应急预案。系统制定涵盖死仔处置、早产抢救和母兽弃仔情况下人工育幼等情景的标准化流程,确保人员、物资与技术储备到位,提高新生个体存活率。通过上述综合措施,有望从源头降低繁殖损失,提升圈养华南虎种群的整体保育成效。

4 结论

研究表明,圈养华南虎的繁殖效率与雌虎年龄及妊娠期长度密切相关。雌虎的有效繁殖窗口期较短,集中于6~12岁,平均每次合笼的活仔产出仅为0.32只,且死仔率高达60%,成为制约种群增长的核心因素。此外,交配行为指标并非判断受孕的可靠依据。雌虎年龄虽与交配天数、次数呈极显著正相关($P < 0.01$),但与其是否成功妊娠无统计学关联。年长个体(≥ 13 岁)尽管交配行为频繁,却已丧失有效繁殖能力,表明其繁殖障碍可能主要源于生理性衰退而非行为意愿不足。妊娠期长度可作为预测死仔风险的关键预警指标。研究证实妊娠期长度与死仔数存在极强的负相关关系($r = -0.869$, $P = 0.011$),短妊娠期(≤ 90 d)是死产和流产的重要预示。因此,优化圈养繁殖策略的关键在于优先保障青壮年个体的繁殖机会,推行基于行为观察的全年动态合笼制度,摆脱季节限制,将工作重点从“何时合笼”转变为“如何精准判断发情状态并成功开展合笼”,并建立以妊娠后期(> 85 d)为核心节点的精细化、预防性管理体系,以提升圈养华南虎的繁殖成功率与种群可持续性。

参考文献:

- [1] GOODRICH J, WIBISONO H, MIQUELLE D, et al. *Panthera tigris* [DB/OL]. The IUCN Red List of Threatened Species, 2022:

- e. T15955A214862019[2026-01-27]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T15955A214862019.en>.
- [2] 刘毅. 目前圈养九十一只, 都是近亲繁殖: 华南虎极度濒危[N]. 人民日报, 2010-02-11(020).
LIU Y. Currently, there are 91 individuals in captivity, all of which are the result of inbreeding: The south China tiger is severely endangered [N]. People's Daily, 2010-02-11(020).
- [3] TILSON R, HU D F, MUNTIFERING J, *et al.* Dramatic decline of wild south China tigers *Panthera tigris amoyensis*: Field survey of priority tiger reserves [J]. *Oryx*, 2004, 38(1): 40-47.
- [4] 王维, 沈庆永, 胡洪光. 华南虎的现状和保护[J]. 动物学杂志, 1999, 34(2): 38-41.
WANG W, SHEN Q Y, HU H G. The current situation and conservation of the south China tiger [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1999, 34(2): 38-41.
- [5] 王维, 沈庆永, 殷毓中. 华南虎圈养种群的统计分析[J]. 兽类学报, 2003, 23(1): 6-9.
WANG W, SHEN Q Y, YIN Y Z. Demographic studies on captive south China tigers [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2003, 23(1): 6-9.
- [6] 华南虎谱系[Z]. 殷毓中, 谱系保存人. 北京: 中国动物园协会, 2025.
YIN Y Z. South China tigers studbook [Z]. YIN Y Z, genealogy keeper. Beijing: Chinese Association of Zoological Gardens, 2025.
- [7] XU Y C, FANG S G, LI Z K. Sustainability of the south China tiger: Implications of inbreeding depression and introgression [J]. *Conservation Genetics*, 2007, 8: 1199-1207.
- [8] 和风平. 分娩过程中缺氧造成华南虎死产的初步证据[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
HE F P. Evidence of stillbirth resulting from fetal hypoxia during parturition in the south China tiger [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2015.
- [9] 李石洲, 邹文军, 陈连潮, 等. 半野化状态下华南虎的繁育技术研究[J]. 广东林业科技, 2012, 28(4): 40-44.
LI S Z, ZOU W J, CHEN L C, *et al.* Study on breeding technology of south China tiger under the semi-natural condition [J]. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2012, 28(4): 40-44.
- [10] YUAN Y H, YIN Y Z, LIU Q X. Inbreeding depression and population viability analysis of the south China tigers (*Panthera tigris amoyensis*) in captivity [J]. *Mammalian Biology*, 2021, 101(6): 803-809.
- [11] 张志和. 华南虎保护遗传学研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
ZHANG Z H. Conservation genetics of the south China tiger [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [12] 李林翔. 华南虎易地保护的疾病防控和饲养管理调查[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
LI L X. The disease prevention and control and raising management of ex-situ conservation in south China tiger [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.
- [13] 陈连潮, 李石洲, 雷胜桥, 等. 半野化条件下华南虎繁殖行为研究[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(5): 74-76.
CHEN L C, LI S Z, LEI S Q, *et al.* Study on breeding behavior of south China tiger under the condition of semi-natural [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2016, 32(5): 74-76.
- [14] 仲阳康. 圈养华南虎的行为与生理生态研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
ZHONG Y K. Studies on behavior and ecophysiology of captive south China tiger [D]. Shanghai: East China Normal University, 2006.
- [15] YUAN Y H, PEI E L, LIU Q X. Reproductive parameters of female south China tigers in captivity [J]. *European Journal of Wildlife Research*, 2020, 66(3): 37.
- [16] 于孝臣, 刘景生, 孙宗安, 等. 中国虎的现状和保护管理建议[J]. 中国林副特产, 2000(2): 36-38.
YU X C, LIU J S, SUN Z A, *et al.* Current status and conservation management suggestions for tigers in China [J]. *Forest By-Product and Speciality in China*, 2000(2): 36-38.
- [17] 李伟, 严霞晖, 张强, 等. 华南虎研究现状[J]. 经济动物学报, 2020, 24(2): 115-118; 124.
LI W, YAN X H, ZHANG Q, *et al.* Research status of south China tiger [J]. *Journal of Economic Animal*, 2020, 24(2): 115-118; 124.
- [18] 龚志海, 雷胜桥, 杨金城, 等. 一例华南虎纤维组织瘤样增生的诊治[J]. 野生动物学报, 2025, 46(3): 656-661.
GONG Z H, LEI S Q, YANG J C, *et al.* Diagnosis and treatment of a case of fibrous histiocytoma-like hyperplasia in the south China tiger [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2025, 46(3): 656-661.
- [19] 袁耀华. 华南虎常见病的防治[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2002(6): 38.
YUAN Y H. Prevention and treatment of common diseases in south China tigers [J]. *Shanghai Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2002(6): 38.
- [20] 刘力军, 雷胜桥, 任小冬, 等. 半野化状态下华南虎常见疾病的防范措施研究[J]. 今日畜牧兽医, 2022, 38(11): 38-40.
LIU L J, LEI S Q, REN X D, *et al.* Preventive measures for common diseases of south China tiger under semi-wild conditions [J]. *Today Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2022, 38(11): 38-40.
- [21] 雷胜桥, 龚志海, 刘力军, 等. 半野化散养模式下华南虎常见病的调查[J]. 黑龙江动物繁殖, 2023, 31(5): 32-36.
LEI S Q, GONG Z H, LIU L J, *et al.* Investigation on common diseases of half wild free-ranging south China tigers [J]. *Heilongjiang Journal of Animal Reproduction*, 2023, 31(5): 32-36.
- [22] 宋平, 兰玉红, 肖海兰, 等. 圈养华南虎繁殖期饲养管理技术[J]. 湖南林业科技, 2023, 50(6): 95-99.
SONG P, LAN Y H, XIAO H L, *et al.* Feeding management and behavior observation of captive south China tiger in breeding

- period [J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2023, 50(6): 95-99.
- [23] 刘兆阳, 王星卓, 李茂平, 等. 华南虎的人工育幼[J]. *野生动物*, 2012, 33(5): 251-253; 266.
- LIU Z Y, WANG X Z, LI M P, *et al.* Artificial rearing of rejected south China tiger cubs [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2012, 33(5): 251-253; 266.
- [24] 国家林业局保护司. 陆生野生动物(兽类)饲养场通用技术条件: LY/T 1563—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- Department of Wildlife Conservation, State Forestry Administration. Common technical standard of terrestrial mammal farm: LY/T 1563—1999[S]. Beijing: China Standards Press, 1999.
- [25] 郭爱霞, 李建春, 王林森, 等. 笼养东北虎的繁殖研究[J]. *野生动物*, 2009, 30(1): 3-6.
- GUO A X, LI J C, WANG L S, *et al.* Reproduction of captive Amur tiger (*Panthera tigris*) [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2009, 30(1): 3-6.
- [26] 杨俊龙. 不同饲养条件下东北虎的行为观察及人工育幼[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- YANG J L. Behavior observation of Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) and artificial rearing young under the different breeding condition [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012.
- [27] 王晓明. 半散养东北虎繁殖行为学研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- WANG X M. Reproductive behaviors of semifree-ranging Amur tigers, *Panthera tigris altaica* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2009.
- [28] 仲阳康, 裴恩乐, 熊成培, 等. 圈养华南虎交配行为的初步观察[J]. *兽类学报*, 2006, 26(3): 307-310.
- ZHONG Y K, PEI E L, XIONG C P, *et al.* Mating behavior of the captive south China tigers (*Panthera tigris amoyensis*) [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2006, 26(3): 307-310.
- [29] 乔征磊. 半散养东北虎(*Panthera tigris altaica*)发情交配行为与粪样性激素水平变化的关系[D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2008.
- QIAO Z L. The Relationship between the reproductive behavior of semi-free-ranging *Panthera tigris altaica* and changes in fecal sex hormone levels [D]. Qufu: Qufu Normal University, 2008.
- [30] 乐正中. 华南虎饲养及繁殖[J]. *野生动物*, 1991, 12(4): 24-26.
- LE Z Z. Breeding and reproduction of south China Tiger [J]. *Chinese Wildlife*, 1991, 12(4): 24-26.
- [31] 吴其锐, 黄翠莲, 王建荣. 华南虎的繁殖管理[J]. *黑龙江动物繁殖*, 2004, 12(4): 45-46.
- WU Q R, HUANG C L, WANG J R. Breeding management of the south China tiger [J]. *Heilongjiang Journal of Animal Reproduction*, 2004, 12(4): 45-46.
- [32] BROWN J L. Female reproductive cycles of wild female felids [J]. *Animal Reproduction Science*, 2011, 124(3/4): 155-162.
- [33] BURTON G J, FOWDEN A L. The placenta: A multifaceted, transient organ [J]. *Philosophical Transactions B*, 2015, 370(1663): 20140066.
- [34] DI RENZO G C, GIARDINA I, CLERICI G, *et al.* The role of progesterone in maternal and fetal medicine [J]. *Gynecological Endocrinology*, 2012, 28(11): 925-932.