

圈养母幼林麝粪便免疫球蛋白和皮质醇的变化特征

王毅花^① 刘冬平^{①*} 胡德夫^{②*}

① 中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所, 国家林业和草原局森林保护学重点实验室 北京 100091;

② 北京林业大学 北京 100083

摘要: 了解母体林麝 (*Moschus berezovskii*) 产后及幼体林麝断奶前后的免疫力和应激水平变化特征, 可为特殊时期母体及幼体林麝的有效保护与饲养管理提供理论依据。该研究于 2010 年 4 至 9 月, 采集哺乳期母体和幼体林麝的粪便样品, 通过酶联免疫法对粪便提取液中免疫球蛋白 (IgG、IgM 和 sIgA) 以及皮质醇含量进行测定。利用 SPSS 22.0 对不同阶段母体和幼体林麝粪便样品中的免疫球蛋白和皮质醇水平进行单因素方差分析 (one way-ANOVA) 及多重比较。母体林麝粪便中 IgG、IgM 和 sIgA 的含量测定结果表明, 粪便中 IgG 与 IgM 含量在分娩后的初期阶段处于较高水平, 随着时间推移含量逐渐减少并保持基本稳定, 且 IgG 与 IgM 表现出类似的变化趋势; sIgA 含量在分娩后持续上升, 一直持续到第 14 周后基本保持稳定。幼体林麝粪便中 IgG、IgM 和 sIgA 含量测定结果表明, 免疫球蛋白表现出明显的变化规律, IgG 和 IgM 含量在断奶 (第 11 周龄左右) 后明显下降, sIgA 含量在断奶后有所下降, 但变化不显著; 在第 16 周龄左右, IgG 和 IgM 含量再次升高, 并随着时间的推移趋于稳定, sIgA 则无显著变化。母体林麝皮质醇的数据结果表明, 其产后的 6 周内, 皮质醇处于较高水平, 在第 11 周左右 (断奶期) 皮质醇水平有小幅度的升高。幼体林麝皮质醇的数据显示, 其在出生后的第 11 周龄左右 (断奶期) 皮质醇含量同样呈现出与母体林麝类似的升高趋势, 表明断奶这一行为对母体以及幼体林麝均造成一定的生理压力。综上, 母体林麝产后的 6 周内是管护工作的敏感期, 幼体林麝成长的第 9~15 周龄是其存活关键期。

关键词: 林麝; 粪便; 免疫球蛋白; 皮质醇

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2024) 01-067-14

Characteristics of Immunoglobulin and Cortisol in the Feces of Captive Female and Young Forest Musk Deer

WANG Yi-Hua^① LIU Dong-Ping^{①*} HU De-Fu^{②*}

① Key Laboratory of Forest Protection of National Forestry and Grassland Administration, Ecology and Nature Conservation Institute,

Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; ② Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 32070530), 国家林业和草原局林麝专项;

* 通讯作者, E-mail: dpliu@caf.ac.cn, hudf@bjfu.edu.cn;

第一作者简介 王毅花, 女, 助理研究员; 研究方向: 野生动物保护与利用; E-mail: wangyihua2113@163.com。

收稿日期: 2023-01-11, 修回日期: 2023-06-23 DOI: 10.13859/j.cjz.202323009

Abstract: [Objectives] The aims of this study are to understand the characteristics of the changes of immunity and stress levels of female Forest Musk Deer (*Moschus berezovskii*) after birth and during the lactation period, and to provide theoretical basis for the effective protection, feeding and management of female Musk Deer and their young in the special period. **[Methods]** Fecal samples of lactating female Musk Deer and young Musk Deer (Table 1) were collected from April to September 2010. The quantity of immunoglobulins (IgG, IgM, sIgA) and cortisol which were extracted from faeces were determined by ELISA and were analyzed by SPSS 22.0, the hypothesis of normality is tested by examining normal probability graphs and calculating Kolmogorov-Smirnov statistics, and then one-way ANOVA and multiple comparisons are made. **[Results]** The quantity of IgG, IgM and sIgA of captive female Musk Deer showed that the values of IgG and IgM were respectively $406.02 \pm 12.48 \mu\text{g/g}$ and $3\ 920.30 \pm 83.57 \text{ ng/g}$, which were at a high level in the early stage after delivery, then gradually decreased and remained stable. What's more, the IgG and IgM showed a similar trend of change (Fig. 1 and 2). The quantity of sIgA continued to rise after delivery and remained stable until the 14th week (Fig. 3). The quantity of IgG, IgM and sIgA of young Musk Deer showed an obvious change pattern, and the value of IgG and IgM significantly decreased after weaning (about the 11th - 12th week after delivery) (Fig. 5 and 6), at the same time the quantity of sIgA decreased after weaning, but the decreasing was not significant (Fig. 7). Around the 16th week, IgG and IgM levels increased again and stabilized over time (Fig. 5 and 6), while sIgA showed no significant change (Fig. 7). The cortisol data of female Forest Musk Deer showed that cortisol levels were high in the first 6 weeks after calving and there was a small increase on the 11th week after parturition (weaning period) (Fig. 4). The cortisol of young Forest Musk Deer showed an increasing trend at about the 11th week after birth (weaning stage) (Fig. 8), indicating that weaning behavior caused certain physiological pressure on both mother and young Forest Musk Deer. **[Conclusion]** During the six weeks after calving, the female Forest Musk Deer was in the tense state of labor and nursing, which was the sensitive period of management and nursing work. In addition, weaning will cause physiological stress to the young Forest Musk Deer, and the 9th-15th weeks of growth of the young Forest Musk Deer is the key period for survival.

Key words: Forest Musk Deer; Feces; Immunoglobulin; Cortisol

自 20 世纪 60 年代以来, 源于乱捕滥猎、杀麝取香等原因, 在中国林麝 (*Moschus berezovskii*) 野生种群损失了 90% 以上 (盛和林 1981, 1991, Yang et al. 2003)。为获得珍贵的麝香, 中国自 1958 年开始驯养林麝, 然而长期的养殖实践表明, 人工饲养条件下林麝体质弱, 抗病力差, 脓肿病和腹泻发病率高, 幼仔成活率低, 制约了养殖林麝种群的增长 (盛和林 1991, 吴家炎等 2006)。众所周知, 林麝是一种对环境条件高度敏感的神经质物种, 易于导致应激生理反应 (Green 1989, Homes 1999)。而许多研究表明, 应激源能直接改变动

物体的免疫功能, 而且这些变化与下丘脑-垂体-肾上腺轴 (hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA) 以及下丘脑下部的自主神经系统紊乱有关, 应激反应的因素与机体免疫功能有交互影响 (Hahn et al. 1984, Moberg et al. 2005)。到目前为止, 对繁殖期母体林麝以及幼体林麝的应激和免疫生理的研究报道较少。随着粪便等非损伤技术的发展, 许多研究表明该技术手段可以有效用于对动物应激、繁殖及免疫生理的监测 (Liu et al. 2006, Hesterman et al. 2008, Wasser et al. 2010)。本研究通过非损伤性的采样手段探索圈养哺乳期母体林麝及其所产幼体林麝的

免疫力 (IgG、IgM 和 sIgA) 和应激水平的变化规律, 为后期制定林麝科学繁育管护及科学饲养提供理论依据和指导。

1 实验动物与研究方法

1.1 实验动物

实验林麝来自陕西省屋梁山林麝养殖中心, 该中心位于秦岭西段南坡的凤县境内 (33°34'57" ~ 34°18'21" N, 106°24'54" ~ 107°07'30" E), 是野生林麝的分布区。麝场建于开阔的山谷, 远离人群, 环境幽静, 天然食物丰富。

该中心共有圈舍 8 个, 半散放围栏 1 个, 共计有林麝 74 只。每个圈舍分为露天活动场 (15 m × 15 m) 和屋舍 (2 m × 2 m × 1.5 m) 六间。饲养方式为, 在非孕期, 5 头雌性林麝与 1 头雄性林麝组成繁殖群; 孕期则每只雌性林麝单独饲养, 雌性林麝产后第 9 周左右开始母子陆续分离。模拟林麝的主要天然食物, 春季至夏季投喂人工采集的新鲜树叶, 秋冬季投喂风干的树叶, 同时, 辅加少量萝卜、玉米粉和苹果。场地设有水槽, 提供充足的饮水。本实验遴选 6 只成年母体林麝及其所产幼体林麝为研究对象, 实验期间母体林麝及幼体林麝均无疾病和异常行为, 属健康个体, 个体信息见表 1。

表 1 实验林麝的基本信息

Table 1 The basic information of the experimental Forest Musk Deer

母体谱系编号 Female pedigree No.	年龄 (年) Age (Years)	经产情况 Parity	产仔日期 (年-月-日) Delivery date (Year-month-date)	产仔数 (ind) Number of litters
026	3.0	经产 Multiparity	2010-04-19	2
036	3.5	经产 Multiparity	2010-04-28	2
040	3.5	经产 Multiparity	2010-05-06	2
042	2.5	经产 Multiparity	2010-05-05	2
046	2.5	经产 Multiparity	2010-04-22	1
034	3.5	初产 Primiparity	2010-05-08	2

母体谱系编号为当地麝场的林麝编号。

The code from local Forest Musk Deer farming.

需要说明的是, 林麝生性胆小, 警觉。我们尊重林麝养殖场的意见, 为避免因采样刺激造成母体林麝拒绝哺乳乃至弃仔, 尽可能降低采样对母体林麝及幼体林麝的刺激, 本研究从母体林麝分娩后第 2 周开始采样。本实验采集了 6 只母体林麝及其所产幼仔 (同窝的幼体林麝不作区分) 的粪便样品。

1.2 粪样采集和保存

2010 年 4 月中旬至 9 月中旬, 针对 6 只母体林麝及所产的幼麝, 从母体林麝分娩后的第 2 周开始采集粪样, 每 3 d 采集母体林麝新鲜粪便样品 1 次, 在分娩后的第 5 周开始每 3 d 增加采集幼体林麝新鲜粪便样品 1 次, 采样时间为上午 8:00 ~ 10:00 时。取新鲜粪便 10 g 左右, 选取未经污染的粪便颗粒放入自封袋内, 并标记样本编号、日期, 排除空气并封口后立刻放入 -20 °C 冰箱保存。需要特别说明, 因不同的林麝母体和幼体在不同的圈舍中饲喂, 粪便的采集均来自不同编号的圈舍, 所以可以准确识别到个体。此外, 林麝的粪便是颗粒球状的, 幼体林麝的粪便颗粒明显小于母体林麝的颗粒大小, 因而可以明确区分母体与幼体林麝的粪便样品。

1.3 粪便免疫球蛋白提取和测定

参照 Peters 等(2004)及 Carlsson 等(2007)的方法并改进。具体操作如下, 取 0.5 g 湿粪研磨混合均匀, 加入 pH 为 7.2 的 PBS 缓冲液 5 ml, 震荡 1 min 后 2 000 r/min 常温离心 20 min; 取上清 1 ml, 然后 10 000 r/min 超低温冷冻离心 20 min, 上清放置 -20 °C 以下保存备用。

采用上海越研生物试剂有限公司生产的免疫球蛋白试剂盒提取 IgG、IgM 和 sIgA 3 种免疫球蛋白。用 RT-2100C 型酶标分析仪 (深圳雷杜生命科学股份有限公司) 采用酶联免疫法测定待测提取物中 3 种免疫球蛋白的含量。

免疫球蛋白试剂盒的主要技术参数, 测定范围: 牛免疫球蛋白 A (sIgA) 为 3 ~ 80 mg/L, 牛免疫球蛋白 M (IgM) 为 7 ~ 270 mg/L, 牛免疫球蛋白 G (IgG) 为 1.5 ~ 30 mg/L; 灵敏度:

sIgA 含量超过 2 mg/L, IgG 含量超过 0.6 mg/L, IgM 含量超过 4 mg/L; 平均回收率: sIgA 为 97%~102%, IgG 为 97%~104%, IgM 为 96%~106%; 变异系数: sIgA 批内低于 7%, 批间低于 8.5%, IgG 批内低于 9%, 批间低于 11%, IgM 批内低于 8%, 批间低于 10%; 特异性: sIgA 与 IgM、IgG 交叉反应均小于 0.01%。

1.4 粪便激素提取和测定

参照 Isobe 等(2005)及 Capezzuto 等(2008)的方法, 取 0.5 g 湿粪研磨混合均匀, 加入体积比为 9:1 的甲醇蒸馏水混合液 5 ml 于 15 ml 的试管中, 用涡旋仪轻轻震荡 1 min 左右后, 置于水浴锅中 60 °C 蒸 20 min, 然后 1 500 r/min 离心 10 min, 取出上清液; 沉淀中再加入 5 ml 同浓度的甲醇, 涡旋仪轻轻震荡 1 min, 重新离心后将两次上清液合并, 待上清液蒸干后, 加 1 ml 甲醇摇匀并分装回收, 放置在 -20 °C 以下保存备用。

采用皮质醇试剂盒(上海越研生物试剂有限公司)提取皮质醇。以酶联免疫法测定待测提取物中皮质醇的含量。

皮质醇试剂盒的主要技术参数, 测定范围为 20 ~ 600 $\mu\text{g/L}$; 灵敏度为皮质醇含量超过 5 $\mu\text{g/L}$; 平均回收率为 99%~104%; 变异系数为批内低于 7%, 批间低于 8.5%; 特异性为无交叉反应。

1.5 数据分析

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的皮质醇(ng/g)和免疫球蛋白[IgG ($\mu\text{g/g}$)、IgM (ng/g)、sIgA ($\mu\text{g/g}$)]含量。粪样皮质醇和免疫球蛋白含量数据表示为平均值 \pm 标准误(Mean \pm SE)。运用 SPSS 22.0 软件, 通过检查正态概率图和计算 Kolmogorov-Smirnov 统计量来检验正态性的假设, 进而对粪样皮质醇含量和免疫球蛋白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's 方差齐性检验确定样本均值方差的齐次性; 各周龄的多重比

较采用 Dunnett's T3 测验。

2 结果

2.1 母体林麝粪样内 IgG 含量的变化

圈养母体林麝粪便内 IgG 自分娩后第 2 周至 21 周, 其免疫球蛋白 IgG 含量从第 2 周的峰值(406.02 ± 12.48) $\mu\text{g/g}$ 随着时间降至第 7 周的低值(246.02 ± 24.58) $\mu\text{g/g}$, 降幅达 39.4%; 从第 8 周至 11 周, 粪便 IgG 含量出现一个小幅回升, 平均值为 (282.94 ± 16.89) $\mu\text{g/g}$; 从第 12 周至 21 周, 粪便 IgG 虽有波动, 但总体上处于较低水平且保持相对稳定状态, 平均值为 (213.84 ± 5.76) $\mu\text{g/g}$ 。依据粪便免疫球蛋白 IgG 含量波动的变化规律并结合林麝母幼联系的密切程度, 母体林麝粪便 IgG 可分为母幼林麝联系紧密的哺乳期(I 阶段)、母幼林麝联系逐渐减弱的分离期(II 阶段)以及母幼林麝关系趋于解体的 III 阶段(图 1), 第 I 与 II 阶段 IgG 含量差异不显著 ($F = 3.798$, $P > 0.05$), 第 I 和 II 阶段与第 III 阶段相比, IgG 含量均差异极显著 ($F = 3.798$, $P < 0.01$) (图 1)。

2.2 母体林麝粪样内 IgM 含量的变化

圈养母体林麝产后粪便 IgM 从第 2 周 ($3\ 920.30 \pm 83.57$) ng/g 至第 10 周 ($4\ 306.26 \pm 412.48$) ng/g , 其粪便 IgM 值处于较高水平且相对平稳; 之后 IgM 值从第 11 周 ($3\ 938.46 \pm 354.42$) ng/g 急剧下降至第 14 周 ($2\ 731.63 \pm 204.79$) ng/g 的低值; 从第 15 周 ($2\ 962.71 \pm 485.36$) ng/g 至第 21 周 ($3\ 031.71 \pm 189.30$) ng/g , IgM 值总体上处于较大的波动状态且处于较低水平。依据粪便免疫球蛋白 IgM 含量的变化特征并结合林麝母幼联系的密切程度, 母体林麝粪便 IgM 与 IgG 一样可分为三个阶段, 第 I 和 II 阶段相比 IgM 含量差异极显著 ($F = 3.423$, $P < 0.01$), 第 II 与 III 阶段相比 IgM 含量无显著差异 ($F = 3.423$, $P > 0.05$) (图 2)。

2.3 母体林麝粪样内 sIgA 含量的变化

圈养母体林麝自分娩后粪便内 sIgA 含量持续升高, 直到第 9 周 sIgA 含量达到最高值

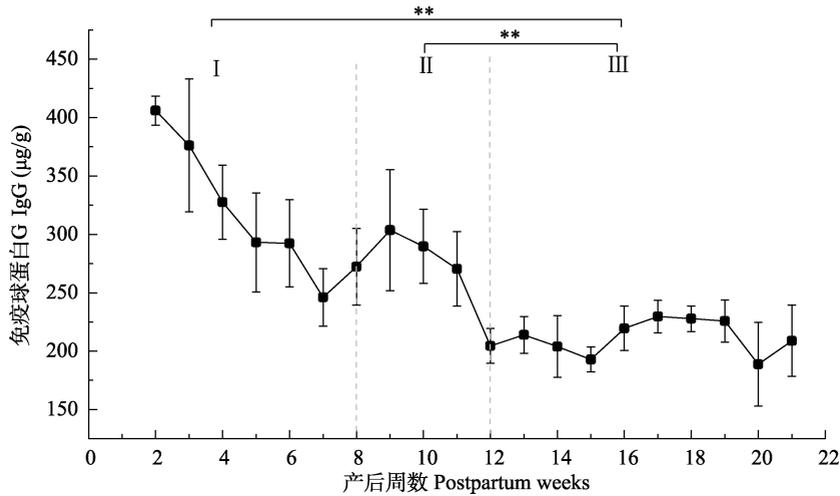


图 1 分娩后第 2 周至 21 周圈养母体林麝粪便 IgG 的变化

Fig. 1 The fecal IgG change of captive female Forest Musk Deer during postpartum 2nd-21st weeks

I、II 和 III 分别代表不同的阶段：I. 母幼林麝联系紧密的哺乳期；II. 母幼林麝联系逐渐减弱的分离期；III. 母幼林麝关系趋于解体；**表示差异极显著， $P < 0.01$ 。

I, II and III respectively represent different stages: I. Lactation of maternal Forest Musk Deer who are close with the young; II. Separation period of female and young Forest Musk Deer; III. The relationship between mother and young Forest Musk Deer disintegrated. ** indicates the difference is very significant, $P < 0.01$.

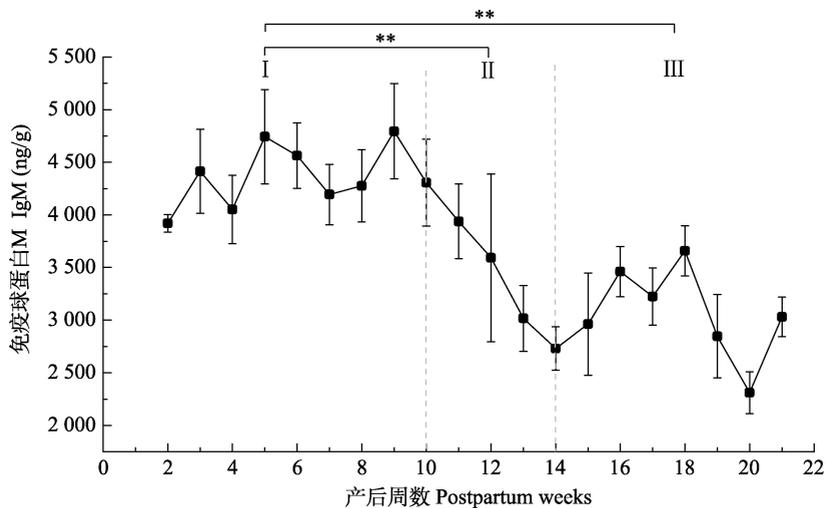


图 2 圈养母体林麝分娩后第 2 周至 21 周粪便 IgM 的变化

Fig. 2 The fecal IgM change of captive female Forest Musk Deer during postpartum 2nd-21st weeks

I、II 和 III 分别代表不同的阶段：I. 母幼林麝联系紧密的哺乳期；II. 母幼林麝联系逐渐减弱的分离期；III. 母幼林麝关系趋于解体；**表示差异极显著， $P < 0.01$ 。

I, II and III respectively represent different stages: I. Lactation of maternal Forest Musk Deer who are close with the young; II. Separation period of female and young Forest Musk Deer; III. The relationship between mother and young Forest Musk Deer disintegrated. ** indicates the difference is very significant, $P < 0.01$.

(1 795.74 ± 136.49) μg/g, 之后 sIgA 含量急剧下降, 直到第 14 周 sIgA 含量略有回升, 但基本趋于低水平的稳定状态, 平均值为 (1 222.87 ± 40.77) μg/g。依据测定结果的变化趋势规律并结合林麝母幼联系的密切程度, 母体林麝粪便 sIgA 同样可分为三个阶段。第 I 阶段与第 II 阶段粪便 sIgA 水平差异极显著 ($F = 2.071, P < 0.01$), 第 II 阶段与第 III 阶段的粪便 sIgA 水平无显著性差异 ($F = 2.071, P > 0.05$) (图 3)。

2.4 母体林麝粪样皮质醇含量的变化

圈养母体林麝产后的粪便皮质醇激素从第 2 周 (186.40 ± 8.57) ng/g 至第 8 周 (143.80 ± 14.77)ng/g 的水平持续下降; 从第 9 周 (149.49 ± 6.93) ng/g 至第 12 周 (147.12 ± 20.70) ng/g 出现小幅升降; 第 13 周 (127.66 ± 2.64) ng/g 至第 17 周 (129.08 ± 6.39) ng/g 处于较低水平; 第 18 周 (160.23 ± 19.47) ng/g 至第 21 周

(182.51 ± 11.34) ng/g 皮质醇水平持续上升。依据粪便皮质醇水平的变化规律并结合林麝母幼联系的密切程度, 可将母体林麝产后皮质醇水平分为 4 个阶段, 母幼林麝联系紧密的哺乳期 (I 阶段)、母幼林麝联系逐渐减弱的分离期 (II 阶段) 以及母幼林麝关系趋于解体的 III 和 IV 阶段。第 I 和第 III 阶段皮质醇水平差异极显著 ($F = 1.247, P < 0.01$), 第 III 与第 IV 阶段皮质醇水平也表现出极显著差异 ($F = 1.247, P < 0.01$), 其他阶段之间均无显著性差异 (图 4)。

2.5 幼体林麝粪样内 IgG 含量的变化

幼体林麝自出生后粪便 IgG 从第 5 周 (247.58 ± 17.76) μg/g 的最低值平缓上升至第 12 周 (334.03 ± 17.79) μg/g 的峰值; 从第 13 周 (323.73 ± 17.55) μg/g 之后开始下降, 至第 17 周 (321.95 ± 20.49) μg/g 重新处于上升趋势; 从第 18 周 (364.93 ± 34.04) μg/g 至 21 周 (358.82 ± 13.78) μg/g 处于相对平稳阶段。依

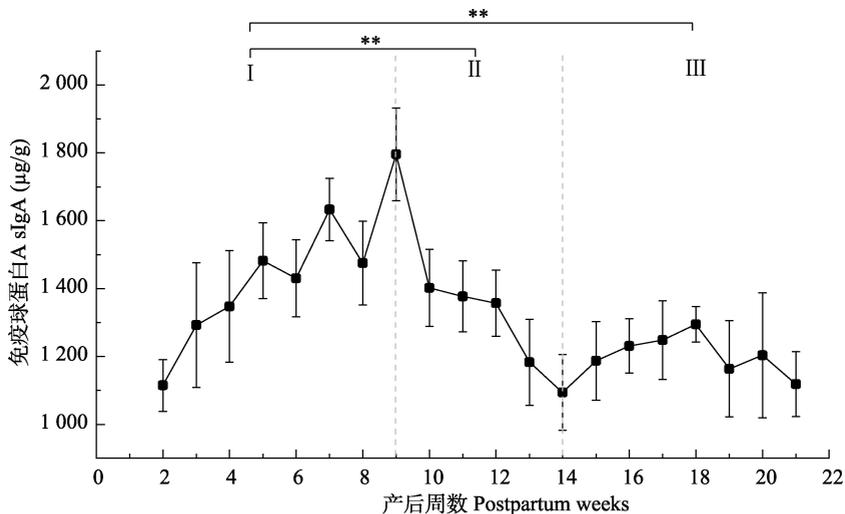


图 3 圈养母体林麝分娩后第 2 周至 21 周粪便 sIgA 的变化

Fig. 3 The fecal sIgA change of captive female Forest Musk Deer during postpartum 2nd-21st weeks

I、II 和 III 分别代表不同的阶段: I. 母幼林麝联系紧密的哺乳期; II. 母幼林麝联系逐渐减弱的分离期; III. 母幼林麝关系趋于解体; **表示差异极显著, $P < 0.01$ 。

I, II and III respectively represent different stages: I. Lactation of maternal Forest Musk Deer who are close with the young; II. Separation period of female and young Forest Musk Deer; III. The relationship between mother and young Forest Musk Deer disintegrated. ** indicates the difference is very significant, $P < 0.01$.

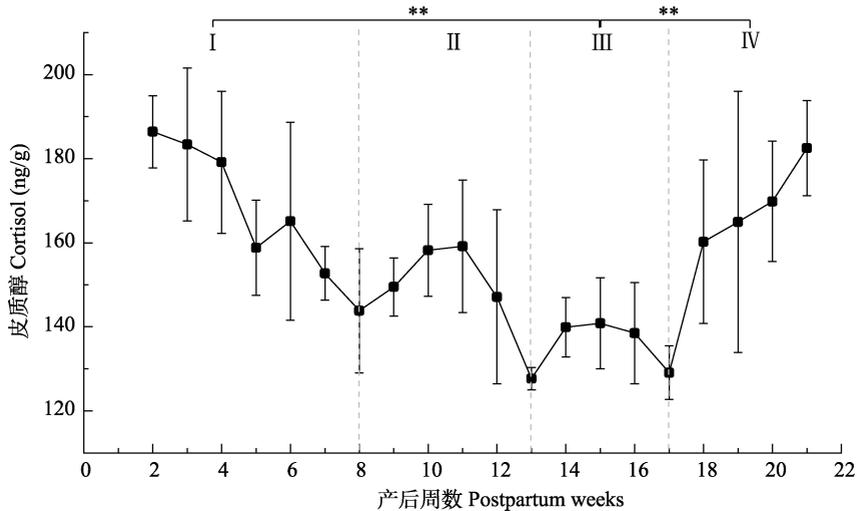


图 4 母体林麝分娩后第 2 周至 21 周粪便皮质醇的变化

Fig. 4 The fecal cortisol change of captive female Forest Musk Deer during postpartum 2nd-21st weeks

I、II、III 和 IV 分别代表不同的阶段: I. 母幼林麝联系紧密的哺乳期; II. 母幼林麝联系逐渐减弱的分离期; III 和 IV. 母幼林麝关系趋于解体; **表示差异极显著, $P < 0.01$ 。

I, II and III respectively represent different stages: I. Lactation of maternal Forest Musk Deer who are close with the young; II. Separation period of female and young Forest Musk Deer; III and IV. The relationship between mother and young Forest Musk Deer disintegrated. ** indicates the difference is very significant, $P < 0.01$.

据幼体林麝粪便 IgG 的变化特征并结合林麝母幼联系的密切程度, 其粪便 IgG 含量可分为三个阶段。经统计分析得出, 第 I 和第 II 阶段幼体林麝粪便 IgG 平均水平差异不显著 ($F = 2.679$, $P > 0.05$), 第 II 与第 III 阶段的粪便 IgG 水平差异显著 ($F = 2.679$, $P < 0.05$)。从第 9 周开始, IgG 含量与出生后第 5 周的值相比差异显著 ($F = 2.679$, $P < 0.05$), 在第 12 周的时候 IgG 含量极显著高于第 5 周的含量 ($F = 2.679$, $P < 0.01$)。后期第 18 周至第 21 周之后, 幼体林麝的 IgG 值均极显著高于出生后的第 5 周水平 (图 5)。

2.6 幼体林麝粪样内 IgM 含量的变化

幼体林麝粪便 IgM 从第 5 周 ($3\ 501.11 \pm 151.81$) ng/g 至第 11 周 ($4\ 945.84 \pm 576.96$) ng/g 一直呈上升趋势; 从第 12 周 ($4\ 821.58 \pm 527.2$) ng/g 出现转折含量开始下降, 直至第 14 周 ($3\ 617.86 \pm 256.99$) ng/g 降至最低值, 之后

平缓上升, 直至第 18 周 ($5\ 003.39 \pm 365.12$) ng/g 后 IgM 值处于较高水平且比较稳定。依据 IgM 的变化特征并结合林麝母幼联系的密切程度, 幼体林麝的 IgM 水平可分 3 个阶段。经统计分析得出, 此期间第 5 周龄和在第一次出现峰值的第 11 周龄 IgM 含量差异显著 ($F = 1.861$, $P < 0.05$), 分别出现两次高峰的第 18 周龄与第 11 周龄的 IgM 含量之间无显著差异 ($F = 1.861$, $P > 0.05$), 第 18 周龄和第 14 周龄 IgM 差异极显著 ($F = 1.861$, $P < 0.01$) (图 6)。

2.7 幼体林麝粪样内 sIgA 含量的变化

幼体林麝自出生后 sIgA 含量分别第 13 周 ($1\ 712.02 \pm 71.96$) $\mu\text{g/g}$ 和第 20 周 ($1\ 828.27 \pm 164.69$) $\mu\text{g/g}$ 出现小峰值。从第 5 周到第 21 周期间幼体林麝粪便 sIgA 含量经统计分析表明, 其出生后不同周龄间的 sIgA 水平均无显著性差异 ($F = 0.664$, $P > 0.05$), 整体变化波动不大, 但总体上呈上升趋势 (图 7)。

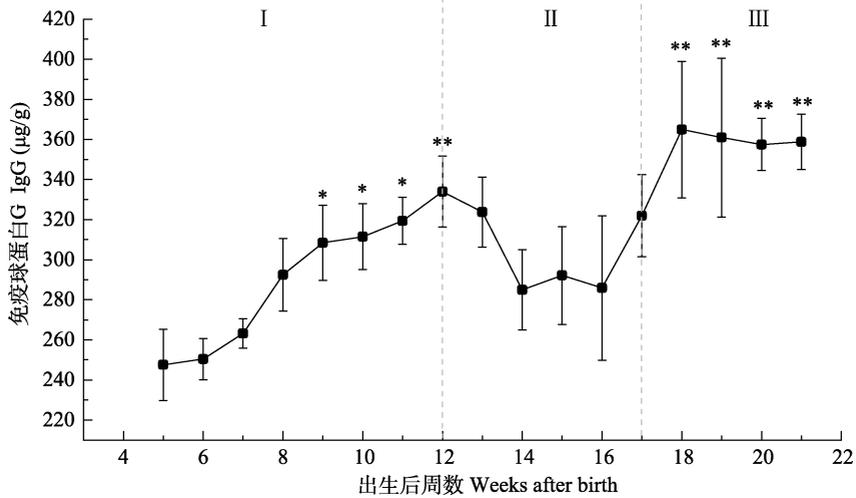


图 5 幼麝出生后第 5 周至 21 周粪便 IgG 的变化

Fig. 5 The fecal IgG change of young Forest Musk Deer during 5th-21st weeks after birth

I、II 和 III 表示不同的阶段：I. 幼体林麝吮乳期；II 和 III. 幼体林麝趋于独立；与第 5 周 IgG 水平相比，* 表示差异显著 ($P < 0.05$)，** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

I, II and III respectively represent different stages: I. Suckling period of young Forest Musk Deer; II and III. Young Forest Musk Deer tend to be independent. * means significant difference from the IgG level of week 5 ($P < 0.05$) and ** means extremely significant difference from the IgG level of week 5 ($P < 0.01$).

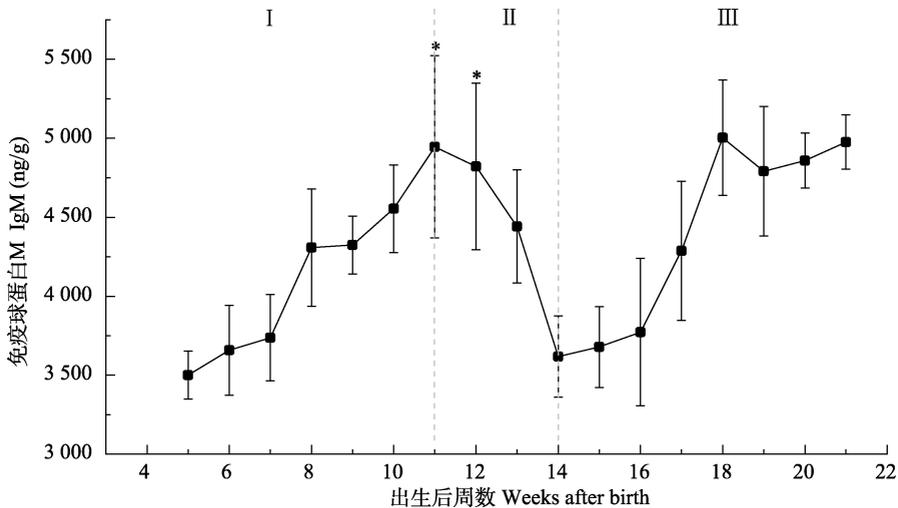


图 6 幼体林麝出生后第 5 周至 21 周粪便 IgM 的变化

Fig. 6 The fecal IgM change of young Forest Musk Deer during 5th-21st weeks after birth

I、II 和 III 表示不同的阶段：I. 幼体林麝吮乳期；II 和 III. 幼体林麝趋于独立；* 表示与第 5 周 IgM 水平相比差异显著， $P < 0.05$ 。

I, II and III respectively represent different stages: I. Suckling period of young Forest Musk Deer; II and III. Young Forest Musk Deer tend to be independent. * means significant difference from the IgM level of week 5, $P < 0.05$.

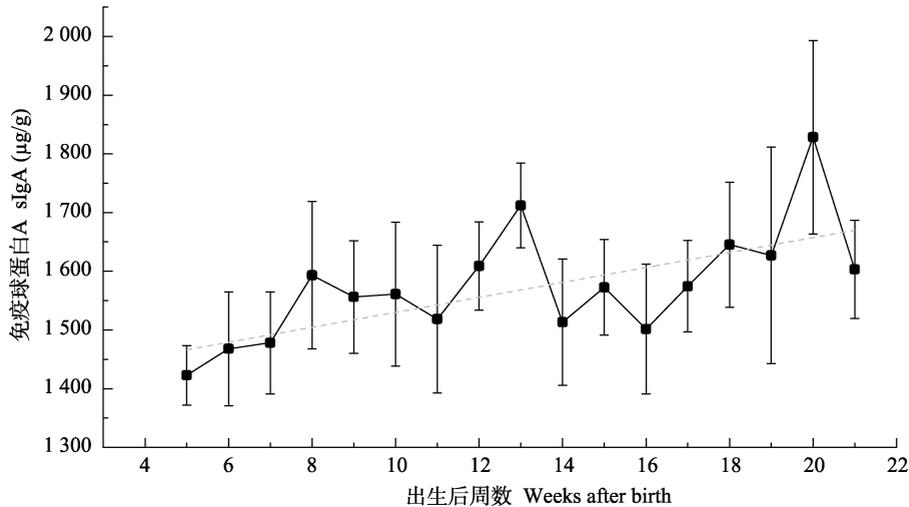


图 7 幼体林麝出生后第 5 周至 21 周粪便 sIgA 的变化

Fig. 7 The fecal sIgA change of young Forest Musk Deer during 5th-21st weeks after birth

2.8 幼体林麝粪样内皮质醇含量的变化

圈养幼体林麝粪便皮质醇的测定值从出生后第 5 周 (83.51 ± 6.48) ng/g 至第 9 周 (84.12 ± 4.50) ng/g, 粪便皮质醇水平相对平稳; 第 10 周 (94.06 ± 2.80) ng/g 至第 11 周 (94.40 ± 5.26) ng/g 出现小幅波动; 第 12 周 (85.02 ± 4.63) ng/g 至第 17 周 (78.50 ± 4.40) ng/g 呈现平缓的变化; 第 18 周 (95.37 ± 4.81) ng/g 至第 19 周 (94.17 ± 7.96) ng/g 出现一个峰值; 之后即降至第 20 周 (80.12 ± 1.18) ng/g 和第 21 周的较低水平 (74.13 ± 6.20) ng/g。由此可见, 幼体林麝粪便皮质醇呈现出波动大的特点, 依据粪便皮质醇水平的变化特征并结合林麝母幼联系的密切程度, 可将其分为 5 个阶段, 即幼体林麝与母体林麝关系较为紧密的吮乳期 (I 阶段), 幼体林麝与母体林麝关系逐渐减弱的吮乳期 (II 阶段), III ~ V 阶段为幼体林麝与母体林麝逐渐分离后趋于独立。经统计分析得出, 第 I 阶段分别与第 II 阶段、第 IV 阶段的皮质醇水平差异极显著 ($F = 1.175, P < 0.01$), 第 II 阶段与第 III 阶段皮质醇水平相比差异显著 ($F = 1.175, P < 0.05$), 第 IV 阶段与第 V 阶段皮质醇水平相比差异极显著 ($F = 1.175, P < 0.01$) (图 8)。

3 讨论

幼体林麝在出生后成长的过程中, 前期母幼关系是由母体林麝来维持; 随着幼体林麝的成长, 其静卧时间缩短、活动时间相应延长, 吃奶由被动变为主动, 幼体林麝开始在母幼关系中起主要作用, 并企图获得更大的利益, 同时母体林麝出于自身生理因素 (乳汁减少) 及未来利益的需要, 渐渐减少对幼体林麝的照顾 (哺乳时间与联系时间等), 这样便形成了母幼冲突。Berger(1993)认为幼体野牛 (*Bos gaurus*) 的成熟也伴随着母幼冲突的加剧, 这种冲突在林麝中表现为幼体林麝不断接近母体林麝及母体林麝躲避的频次增多, 从出生后第 4 周开始, 母体林麝对幼体林麝吮乳的拒绝频率开始增加, 到第 7 周达到最高, 母幼冲突一直延续到幼体林麝 8 周龄或 9 周龄, 直至 10 周龄。10 周龄时, 母幼联系时间只有 1 周龄的 16.3% (吴家炎等 2006), 这时母幼关系的联系已经很微弱, 到 12 周龄时母幼关系已经很少, 幼仔趋于独立 (杜卫国等 1997)。

3.1 免疫生理指标的分析

动物免疫球蛋白是体液免疫的生理基础, 是抵御各种病原体的重要免疫途径。哺乳动物

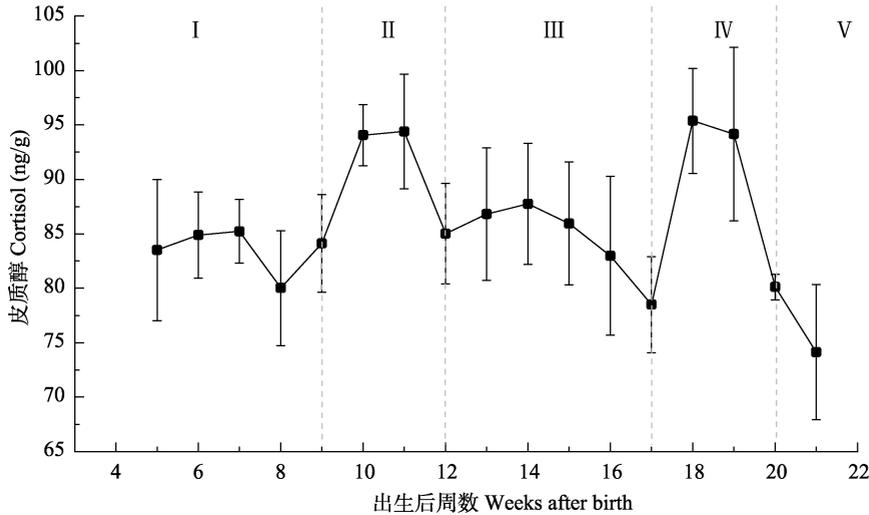


图 8 幼体林麝出生后第 5 周至 21 周粪便皮质醇的变化

Fig. 8 The fecal cortisol change of young Forest Musk Deer during 5th-21st weeks after birth

I、II、III、IV 和 V 表示不同的阶段：I. 幼体林麝与母体林麝关系较为紧密的吮乳期；II. 幼体林麝与母体林麝关系逐渐减弱的吮乳期；III、IV 和 V. 幼体林麝与母体林麝逐渐分离后趋于独立。

I, II, III, IV and V respectively represent different stages: I. Suckling period of the young Forest Musk Deer who keep closed relationship with their mother; II. Suckling period of the young Forest Musk Deer whose relationship with their mother gradually weakened; III, IV and V. Young Forest Musk Deer tend to be independent.

的 IgG 是免疫应答的主要抗体，其亲和力高，是机体抗感染的“主力军”，反映了动物的总体免疫生理状况 (Greenspan et al. 2013, Liu et al. 2018)。IgM 是分子量最大的免疫球蛋白，是个体发育过程中最早合成和分泌的抗体 (Kaetzel 2005)。哺乳动物的 IgA 有两种类型，血清型和分泌型 (sIgA)。sIgA 单体具有 IgG 的相似结构，含丰富的碳水化合物，是外分泌液中主要的免疫球蛋白，在保护肠道、呼吸道、泌尿生殖道、乳腺和眼睛，以及抵抗微生物的入侵方面起关键作用 (Royle et al. 2003, Woof et al. 2015)。本研究测定的林麝粪便内 3 种免疫球蛋白 (IgG、IgM、sIgA) 呈现出不同变化，反映了母体林麝在育幼阶段以及幼体林麝在吮乳期的免疫生理变化规律。

本研究结果表明，母体林麝产后第 2 周至 21 周粪便 IgG 可分为三个阶段，第一阶段孕期雌林麝具有较高的 IgG 水平，随着分娩后免疫生理需求的降低，其 IgG 值也随之下落，但哺

乳期仍需要保持一定水平的 IgG 值，以此满足哺乳幼体林麝的需求。而第二阶段出现小幅上升可能是盛夏来临，病原体等微生物增量较大，刺激了母体林麝机体 IgG 的上升。第三阶段幼体林麝已断乳，在很大程度上减轻了母体林麝的免疫生理压力，同时，母体林麝已适应结束哺育期，机体可能处于正常的免疫生理状态并保持一定 IgG 水平。显然，母体林麝产后处于总体免疫生理的恢复期并承担供给幼体林麝免疫球蛋白的需求时期，因而也是免疫生理的敏感时期。在对梅花鹿 (*Cervus nippon*) 的研究中也有类似的现象 (安天怡 2016)。母体林麝粪便 IgM 值呈现与 IgG 类似的三个阶段变化特征，推测其免疫生理的意义应与 IgG 类似。

幼体林麝粪便 IgG 的测定结果表明，其水平依据变化规律呈现出三个不同阶段。第一阶段幼体林麝粪便 IgG 呈逐步上升趋势，这显然是母体林麝哺乳供给的结果。第二阶段其 IgG 水平下降，可能的原因是幼体林麝逐步减少吮

乳, 摄食部分鲜嫩树叶, 源自母体林麝的 IgG 供给减少。第三阶段幼体林麝的 IgG 水平回升至较高水平, 说明幼体林麝自身免疫生理已建立并保持相对稳定状态。幼体林麝粪便 IgM 水平同样呈现出三个阶段, 且 IgM 的三个阶段几乎与 IgG 同步并表现为相似的规律, 印证了其生理意义与 IgG 类似的推测。幼体林麝粪便内 IgG 及 IgM 测定的值都在出生后的第 11 周至 12 周龄达到第一次高峰值, 这表明了在幼体林麝成长断奶前的主要营养及免疫能力是来自于母乳。在母幼冲突达到高峰即幼体趋于独立的时候, 母体林麝哺乳频次已经明显减少, 另外随着时间的推移, 母体林麝泌乳量也在逐渐减少 (Cilek et al. 2008), 这时幼体林麝的主要营养来源被切断了, 且自身的免疫消化系统尚未完善, 再加上幼体林麝摄取青饲料及精饲料还未能及时填补因母乳的减少而带来的营养不足, 是幼体林麝由被动免疫向主动免疫转变的过渡时期, 这时幼体 IgG 及 IgM 的含量明显降低。直到 18 周龄幼体林麝的 IgG 及 IgM 值达到最高并趋于稳定, 表明这时幼体林麝自身的免疫系统基本形成, 可以独立生活。有研究认为, 由于反刍动物在子宫内不存在免疫球蛋白的传递, 所以, 母乳是被动免疫体系的唯一来源 (胡永灵等 2015), 与本实验的研究结果一致。

圈养林麝面临多种疾病的威胁, 呼吸道疾病、消化系统疾病、泌尿系统疾病、寄生虫病等是导致幼体林麝死亡的主要原因。圈养林麝在幼体时期的死亡率较高 (Yang et al. 2003), 可达 60.6%, 且多数幼体林麝死于消化系统疾病, 而 sIgA 对消化系统等系统的健康具有极为重要的作用。针对牛乳的相关研究表明, sIgA 是乳汁内的重要免疫球蛋白 (Kitano et al. 2020)。本研究发现, 幼体林麝出生后粪便内 sIgA 呈现出了波动式的变化, 但整体表现出上升的趋势。该变化规律表明幼体林麝在成长过程中虽因外界环境变化诸如母幼分离等导致 sIgA 的分泌水平受到不同程度的影响, 但在幼体林麝的成长过程中 sIgA 总体处于上升状态;

幼体林麝在母幼关系解体、趋于独立的同时, 其自身的免疫系统也在慢慢地建立和完善。从本研究测定结果推测, 幼体林麝不但从母体林麝乳汁获得了大量的 sIgA, 其自身 sIgA 建立过程也非常迅速, 断乳后并未出现 sIgA 水平的显著下降。

3.2 应激生理指标的分析

多数哺乳动物糖皮质激素的主要生理活性成分是皮质醇, 该激素是探查动物生理应激强度的重要指标 (Morato et al. 2004, Romero 2004, Vitousek et al. 2014)。本研究通过测定母体和幼体林麝粪便皮质醇水平来探知母体林麝在育幼哺乳期间的应激生理状态。

母体林麝产后的粪便皮质醇激素结果表明, 皮质醇水平呈现出下降—小幅上升—平稳—再次上升的四个阶段。我们将这些激素水平数值与母体林麝产后的经历比较, 分析了导致这个结果可能的原因。第一阶段母体林麝经历了生产刺激到哺乳和护幼的时期, 即应激源主要来自内源性的生理负担和外源性的护幼负担。随着幼体长大, 哺乳次数和管护强度都逐渐下降, 即应激源的强度逐渐减少, 由此导致母体林麝的粪便皮质醇趋于下降。Mukherjee 等 (2015) 对牛 (*Bos taurus*) 和 Amdi 等 (2015) 对猪 (*Sus scrofa domestica*) 的研究也揭示了雌性在生产、哺乳及护幼时期的皮质醇呈现下降的规律。可以说, 母体林麝产仔后的 4 周内, 其处于分娩和护幼的紧张状态, 是管护工作的敏感期。第二阶段幼体林麝开始离巢活动, 而母体林麝跟随幼体活动, 明显增加了场地活动的时间, 护幼负担增加。随着幼体长大并脱离母体林麝护卫而单独活动, 母幼关系趋于松弛。我们通过观察认为, 这是导致母体林麝皮质醇小幅上升并下降的主要原因。第三阶段, 此时养殖场将幼体与母体林麝分离, 这导致了母体林麝表现轻微的应激水平升高, 但由于母体林麝没有了护卫幼体的负担, 其应激生理总体上还是处于较低的水平。我们认为, 这个时期的皮质醇水平是母体林麝的正常水平。此外, 母

体林麝处于较低的应激生理状态可能有利于其营养和体能的恢复,为进入交配繁殖期做好必要的准备。因此,这种对母体林麝的饲养和管护方式对其自身而言是较好的方式。第四阶段以及这之后母体林麝和雄性林麝合群,进入发情阶段的雄性林麝不断追逐和嗅闻母体林麝,母体林麝常处于逃避状态,但较小的圈养环境可能增加了母体林麝的生理压力。同时,我们认为,随着母幼林麝分离,母体林麝逐渐进入发情的盛期,生殖激素的变化可能也是母体林麝应激生理上升的重要原因。总体而言,第四阶段母体林麝应激生理逐渐上升的原因可能是综合性的,区分何种因子是主要或次要,还有待进一步的实验证据。

幼体林麝粪便皮质醇于第5周至21周较为多变。总体看,其粪便皮质醇经历了5个阶段的变化。第一阶段皮质醇相对平稳,说明卧息于巢内并受到母体林麝哺育的幼体未受到外界因子的干扰,生理上未表现出紧张状态。第二阶段皮质醇出现一个较大的上升,较之第一阶段水平差异显著。这可能是幼体林麝逐渐离开巢外出活动,并感受外界各种环境因子刺激的结果,同时也可以看出,幼体林麝很快适应了外界环境,生理紧张状态很快下降。第三阶段幼体林麝陆续与母体分离,脱离母体的幼体林麝表现为轻微的皮质醇上升,总体上处于较平稳水平,说明脱离母体的过程并未对幼体林麝造成很大的刺激,且生理紧张状态一直处于下降的过程。第四阶段幼体林麝处于正常的饲养阶段,但突然出现的皮质醇的升高说明存在较大的刺激因子。本研究采样过程的记录表明,此期间幼体林麝圈舍旁正在施工,敲击声和人群活动持续了一周多时间,可能对幼体林麝造成了明显刺激,粪便皮质醇水平显著高于第一阶段。第五阶段粪便皮质醇处于下降状态,此时期施工已结束,皮质醇水平降低到很低的水平。由此推测,经过第18周至19周施工的强烈刺激,可能幼体林麝生理上已处于疲劳状态,因而导致应激生理甚至低于第一阶段的现象。

我们在实验期间了解到,该饲养场在林麝受孕后饲养员会较之前更精心地照料母体林麝,同时考虑到母幼林麝的健康成长也会多添加一些营养饲料以便为其补充营养。这无疑有利于孕期雌性林麝维系较高的免疫能力,是正确的饲养和管护方法。

实验结果显示,母体林麝在分娩后的前几周免疫球蛋白水平相对较高,是免疫生理的敏感时期;分娩后的1周至6周皮质醇水平虽呈下降趋势但是整体平均水平较高,表明母体林麝在分娩后仍有较高的生理压力,面临内源性的生理负担和外源性的护幼负担。母体林麝产后的前6周是敏感期,在该时期的饲养过程中需要额外的精心照料,例如禁止陌生人进入圈舍并保持圈舍的安静,尤其在该时期应饲喂母体林麝其喜食的植物嫩叶,同时增加新鲜水果和水的饲喂。

纵观幼体林麝粪便内三种免疫球蛋白的变化趋势,可以得出幼体林麝在母幼关系趋于解体的阶段是免疫球蛋白水平最低的阶段,因而是最为脆弱和易染病的敏感阶段。这表明,母体林麝哺育对幼体林麝存活起着至关重要的作用,同时,幼体林麝断乳前后的营养条件显然影响着免疫生理的建立过程,同样具有重要的意义。林麝养殖实践中,幼体林麝死亡率高,推测可能的原因之一就是幼体因为断奶而导致免疫球蛋白水平下降,所以出现了幼体死亡率高的现象。随着幼体林麝自身成长发育,其免疫系统逐步完善,幼体的免疫球蛋白水平含量也逐渐趋于稳定。

参 考 文 献

- Amdi C, Moustsen V A, Sørensen G, et al. 2015. Saliva cortisol and heart rate measurements of nurse sows during lactation compared to control sows. *Animal Production Science*, 55(12): 1484.
- Berger J. 1993. Disassociations between black rhinoceros mothers and young calves: ecologically variable or, as yet, undetected behaviour? *African Journal of Ecology*, 31(3): 261–264.
- Capuzzo 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.
- Carlsson H E, Lyberg K, Royo F, et al. 2007. Quantification of stress sensitive markers in single fecal samples do not accurately predict excretion of these in the pig. *Research in Veterinary Science*, 82(3): 423–428.
- Çilek S, Orhan H, Kaygisiz A, et al. 2008. Estimation of breeding values of Anatolian population of Simmental cows using monthly test day milk yields. *Archiva Zootechnica*, 11(4): 79–85.
- Green M J B. 1989. Musk Production from Musk Deer. *Wildlife Production System*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Greenspan N S, Cavacini L A. 2013. Immunoglobulin function // Fleisher A, Shearer W T, Schroeder H, et al. *Clinical Immunology*. 4th ed. UK: Academic Press, 183–192.
- Hahn G L, Becker B A. 1984. Assessing livestock stress. *Agricultural Engineering*, 65(11): 15–17.
- Hesterman H, Jones S M, Schwarzenberger F. 2008. Reproductive endocrinology of the largest dasyurids: Characterization of ovarian cycles by plasma and fecal steroid monitoring. part II. The Spotted-tailed Quoll (*dasyurus maculatus*). *General and Comparative Endocrinology*, 155(1): 245–254.
- Homes V. 1999. On the Scent: Conserving Musk Deer: The Uses of Musk and Europe's Role in Its Trade. Brussels: Traffic Europe.
- 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.
- Kaetzel C S. 2005. The polymeric immunoglobulin receptor: Bridging innate and adaptive immune responses at mucosal surfaces. *Immunological Reviews*, 206(1): 83–99.
- Kitano N, Isobe N, Noda J, et al. 2020. Concentration patterns of antibacterial factors and immunoglobulin A antibody in foremilk fractions of healthy cows. *Animal Science Journal*, 91(1): e13372.
- Liu G, Hu X L, Kessler A E, et al. 2018. Snow cover and snowfall impact corticosterone and immunoglobulin a levels in a threatened steppe bird. *General and Comparative Endocrinology*, 261: 174–178.
- Liu J, Chen Y, Guo L R, et al. 2006. Stereotypic behavior and fecal cortisol level in captive giant pandas in relation to environmental enrichment. *Zoo Biology*, 25(6): 445–459.
- Morato R G, Bueno M G, Malmheister P, et al. 2004. Changes in the fecal concentrations of cortisol and androgen metabolites in captive male jaguars (*Panthera onca*) in response to stress. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 37(12): 1903–1907.
- Mukherjee J, De K, Chaudhury M, et al. 2015. Seasonal variation in in vitro immune activity of milk leukocytes in elite and non-elite crossbred cows of Indian sub-tropical semi-arid climate. *Biological Rhythm Research*, 46(3): 425–433.
- Peters I R, Calvert E L, Hall E J, et al. 2004. Measurement of immunoglobulin concentrations in the feces of healthy dogs. *Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology*, 11(5): 841–848.
- Romero L M. 2004. Physiological stress in ecology: Lessons from biomedical research. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(5): 249–255.
- Royle L, Roos A, Harvey D J, et al. 2003. Secretory IgA N-and O-glycans provide a link between the innate and adaptive immune systems. *Journal of Biological Chemistry*, 278(22): 20140–20153.
- Vitousek M N, Jenkins B R, Safran R J. 2014. Stress and success: Individual differences in the glucocorticoid stress response predict behavior and reproductive success under high predation risk. *Hormones and Behavior*, 66(5): 812–819.
- Wasser S K, Azkarate J C, Booth R K, et al. 2010. Non-invasive measurement of thyroid hormone in feces of a diverse array of avian and mammalian species. *General and Comparative Endocrinology*, 168(1): 1–7.
- Woof J M, Mestecky J. 2015. Mucosal immunoglobulins // Mestecky J, Strober W, Russell M W, et al. *Mucosal Immunology*. Amsterdam: Elsevier, 287–324.
- Yang Q, Meng X, Xia L, et al. 2003. Conservation status and causes of decline of Musk Deer (*Moschus* spp.) in China. *Biological Conservation*, 109(3): 333–342.
- 安天怡. 2016. 圈养梅花鹿母鹿及仔鹿粪便中免疫球蛋白水平的研究. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文.
- 杜卫国, 盛和林. 1997. 圈养林麝幼仔的时间分配和行为发育. 兽

- 类学报, 17(4): 253–258.
- 胡永灵, 叶世莉, 罗佳捷. 2015. 中草药制剂对热应激奶牛泌乳性能、抗氧化能力及免疫功能的影响. 草业学报, 24(1): 132–140.
- Moberg G P, Mench J A, 卢订萍. 2005. 动物应激生物学. 北京: 中国农业出版社.
- 盛和林. 1981. 麝资源的兴衰及拯救对策. 野生动物, 8(3): 4.
- 盛和林. 1991. 麝科动物与麝香 (动物学专辑). 北京: 北京师范大学出版社, 215–219.
- Moberg G P, Mench J A, 卢订萍. 2005. 动物应激生物学. 北京: 中国农业出版社.
- 吴家炎, 王伟. 2006. 中国麝类. 北京: 中国林业出版社, 477–496.

黄腹花蜜鸟利用缝叶型鸟巢的繁殖记述

A Case of Utilizing Leaf-Sewing Nest for Reproduction by Olive-Backed Sunbird *Cinnyris jugularis*

鸟类基因、生理、表观及其行为的进化经历了漫长的发展历程 (Padian et al. 1998, Sackton et al. 2019, Satoh 2021)。为了提高自身的适合度, 增大繁殖成功率, 鸟类个体进化出了许多适应性策略, 例如, 巢寄生 (nest parasitism)、巢侵占 (nest usurpation)、巢利用 (nest utilization) 等行为 (Davies 2000, Zhou et al. 2009, Soler 2017, Diamond et al. 2020)。其中, 鸟类巢侵占是一种较为常见的生活史策略, 一般指的是种间巢址的抢占, 即一种占领其他鸟类的巢进行繁殖的行为, 而巢寄生则是在此基础上欺骗宿主对其后代进行抚育 (Lindell 1996, Moseley et al. 2020)。目前, 巢侵占记录多数为洞巢鸟类 (Koenig 2003, Deng et al. 2016, Lewis et al. 2019, Slagsvold et al. 2021)。与此同时, 学习行为贯穿鸟类个体的一生。例如, 在筑巢过程中, 鸟类个体对巢材选择的变化就是一种典型的学习行为 (Bailey et al. 2014)。

黄腹花蜜鸟 (*Cinnyris jugularis*) 隶属于雀形目 (Passeriformes) 太阳鸟科 (Nectariniinae), 以纤细短枝、禾本科植物镶嵌若干小叶片等材料筑成吊篮式鸟巢 (Maher 1996, Jiang et al. 2016), 这与本研究地点广西弄岗村板晓屯果园 (22°31'35" N, 106°59'16" E) 所发现的一致 (图 1a)。然而, 研究人员于 2020 年 6 月 23 日发现一例黄腹花蜜鸟以缝叶型巢进行繁殖的自然现象。该巢位于广西弄岗村拢亨屯 (22°28'52" N, 106°58'46" E) 居民区街道口的苹婆 (*Sterculia monosperma*) 树枝分叉叶部 (图 1b), 距离地面约 4.7 m, 巢中有约 5 日龄雏鸟 2 只 (图 1c), 巢体为两片相邻的绿叶合抱缝合而成, 叶内为细丝枯草编织成的浅口碗状巢杯, 两片巢叶边缘的缝合口排列紧密, 并带有蛛丝或棉絮状材料 (图 1d), 整体构造与当地长尾缝叶莺 (*Orthotomus sutorius*) 或暗冕山鹛 (*Prinia rufescens*) 的巢型相符。然而, 从声音和形态辨认发现进出该巢的亲鸟是黄腹花蜜鸟。通过安装摄像头对其进行动态监测, 连续 7 d 跟踪和查巢发现黄腹花蜜鸟双亲喂食雏鸟 (图 1e, f), 同时, 繁殖期间没有其他鸟种出现, 后期从喙部等形态也可以确认巢内雏鸟为黄腹花蜜鸟 (图 1g)。其中 1 只雏鸟于 6 月 30 日早晨 08:26 时出飞, 另 1 只雏鸟则于 7 月 1 日凌晨 03:41 时被蛇捕食 (图 1h)。

(下转第 102 页)

基金项目 海南省自然科学基金创新研究团队项目 (No. 320CXTD437), 国家自然科学基金项目 (No. 31672303);

* 通讯作者, E-mail: ccyang@hainnu.edu.cn;

第一作者介绍 吴将文, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物行为与生理生态; E-mail: 737311637@qq.com。

收稿日期: 2021-10-20, 修回日期: 2022-09-15 DOI: 10.13859/j.cjz.202321266