

DOI: 10.5846/stxb202001210162

孙太福,王静,蔡永华,程建国,黎勇,周密,盛岩,孟秀祥.圈养林麝粪样类固醇激素水平与麝香分泌的关系.生态学报,2020,40(24):9245-9251.  
Sun T F, Wang J, Cai Y H, Cheng J G, Li Y, Zhou M, Sheng Y, Meng X X. Relationships between fecal steroid hormones and musk secretion in captive forest musk deer. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(24): 9245-9251.

## 圈养林麝粪样类固醇激素水平与麝香分泌的关系

孙太福<sup>1</sup>, 王 静<sup>1</sup>, 蔡永华<sup>2</sup>, 程建国<sup>2</sup>, 黎 勇<sup>3</sup>, 周 密<sup>3</sup>, 盛 岩<sup>1</sup>, 孟秀祥<sup>1,\*</sup>

1 中国人民大学环境学院, 北京 100872

2 四川养麝研究所, 都江堰 611830

3 四川逢春麝业集团有限公司, 成都 610031

**摘要:**基于非损伤取样和放射免疫法(RIA),于2018年9月1日—10月15日期间对四川马尔康林麝繁育场的36头雄性圈养林麝(*Moschus berezovskii*)的粪样类固醇激素水平进行了检测,结合麝香分泌数据采集,探究了林麝的粪样睾酮和皮质醇水平与其麝香分泌的关系,结果表明:四川马尔康圈养林麝的麝香分泌( $12.53 \pm 0.76$ ) g ( $n=36$ )与粪样睾酮水平( $106.03 \pm 12.34$ ) ng/g ( $n=36$ )呈显著正相关( $r=0.436, P<0.01$ ),泌香较多雄麝( $16.50 \pm 0.61$ ) g ( $n=17$ )的睾酮水平( $141.51 \pm 21.86$ ) ng/g ( $n=17$ )显著地高于泌香较少( $8.98 \pm 0.59$ ) g ( $n=19$ )雄麝( $74.27 \pm 7.93$ ) ng/g ( $n=19$ ) ( $t=-3.252, df=34, P<0.01$ ),方程 $y=0.021x+10.270$  ( $R^2=0.120, P<0.05$ )可较好地拟合二者间关系。麝香分泌与皮质醇浓度( $47.49 \pm 1.53$ ) ng/g ( $n=36$ )相关不显著( $r=0.078, P>0.05$ ),泌香较多雄麝的皮质醇浓度( $48.98 \pm 2.28$ ) ng/g ( $n=17$ )略高于泌香较少雄麝( $46.17 \pm 2.14$ ) ng/g ( $n=19$ ),差异不显著( $P>0.05$ ),方程 $y=0.038x+10.730$  ( $R^2=0.023, P>0.05$ )可近似拟合皮质醇与泌香量间的关系。此外,雄麝睾酮水平对泌香量有显著影响( $P<0.05$ ),睾酮水平较高林麝泌香量( $14.97 \pm 1.17$ ) g ( $n=12$ )显著高于睾酮水平较低个体的泌香量( $11.32 \pm 0.90$ ) g ( $n=24$ ) ( $F=4.79, P<0.05$ ),而睾酮、皮质醇和年龄对麝香分泌的综合效应及变量间的交互作用均不显著( $P>0.05$ )。研究确定了圈养林麝粪样睾酮和皮质醇水平与麝香分泌量间的关系,可用于麝类驯养实践的麝香产量预测及品系选育。

**关键词:**林麝(*Moschus berezovskii*);圈养;粪样皮质醇;粪样睾酮;麝香分泌

## Relationships between fecal steroid hormones and musk secretion in captive forest musk deer

SUN Taifu<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>, CAI Yonghua<sup>2</sup>, CHENG Jianguo<sup>2</sup>, LI Yong<sup>3</sup>, ZHOU Mi<sup>3</sup>, SHENG Yan<sup>1</sup>, MENG Xiuxiang<sup>1,\*</sup>

1 School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

2 Sichuan Institute of Musk Deer Breeding, Dujiangyan 611830, China

3 Sichuan Fengchun Musk Deer Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China

**Abstract:** Fecal steroid hormone of 36 male captive forest musk deers (*Moschus Berezovskii*) in Maerkang Musk Deer Farm (MMDF), Sichuan Province was measured based on non-invasive sampling and radio immunoassay (RIA) methods from September 1<sup>st</sup> to October 15<sup>th</sup>, 2018. In combination with data of musk production, the relationships between fecal testosterone, cortisol and musk secretion were analyzed. The results showed that, musk secretion ( $12.53 \pm 0.76$ ) g ( $n=36$ ) was significantly positively correlated with fecal testosterone ( $106.03 \pm 12.34$ ) ng/g ( $n=36$ ) in MMDF's captive forest musk deer. The testosterone concentration ( $141.51 \pm 21.86$ ) ng/g ( $n=17$ ) of male musk deer with over-averaged musk ( $16.50 \pm 0.61$ ) g ( $n=17$ ) was significantly higher than that ( $74.27 \pm 7.93$ ) ng/g ( $n=19$ ) of with below-averaged musk

基金项目:国家自然科学基金项目(31672300);生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

收稿日期:2020-01-21; 网络出版日期:2020-11-05

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: meng2014@ruc.edu.cn

( $8.98 \pm 0.59$ ) g ( $n=19$ ) ( $t=-3.252$ ,  $df=34$ ,  $P<0.01$ ), and the equation  $y=0.021x+10.270$  ( $R^2=0.120$ ,  $P<0.05$ ) could fit the relationship well. No significant correlation between musk secretion and the cortisol concentration ( $47.49 \pm 1.53$ ) ng/g ( $n=36$ ) ( $r=0.078$ ,  $P>0.05$ ), and cortisol concentration ( $48.98 \pm 2.28$ ) ng/g ( $n=17$ ) of male musk deer with over-averaged musk was slightly higher than that of with below-averaged musk ( $46.17 \pm 2.14$ ) ng/g ( $n=19$ ), but not significant ( $P>0.05$ ). The equation  $y=0.038x+10.730$  ( $R^2=0.023$ ,  $P>0.05$ ) approximately fitted the relationship between cortisol concentration and musk secretion. In addition, testosterone concentration significantly affected the musk secretion ( $P<0.05$ ), and musk secretion ( $14.97 \pm 1.17$ ) g ( $n=12$ ) with higher testosterone concentration was significantly more than that ( $11.32 \pm 0.90$ ) g ( $n=24$ ) of with lower testosterone level ( $F=4.79$ ,  $P<0.05$ ), while the cohort effects of testosterone, cortisol and age on musk secretion were not significant, neither were the interactions. The definite relationships between testosterone, cortisol and musk secretion can be used in musk production prediction and strain selection.

**Key Words:** forest musk deer (*Moschus berezovskii*); captivity; fecal cortisol; fecal testosterone; musk secretion

麝类动物(*Moschus* spp.)是珍稀资源动物,其雄麝麝香囊分泌的麝香被广泛应用于包含我国中医药在内的亚洲传统医药和香水业<sup>[1-3]</sup>。目前,麝类动物已极度濒危,驯养成为濒危麝类迁地保育及药用麝香可持续供给的有效措施。长期以来,诸多学者对林麝等麝类动物的种群动态和年龄结构<sup>[4-6]</sup>、营养结构<sup>[7-8]</sup>、圈舍环境<sup>[4]</sup>、泌香期行为<sup>[7,9]</sup>、泌香生理<sup>[10-12]</sup>、动物个性<sup>[13]</sup>和行为多样性<sup>[14]</sup>等因素与麝香分泌的关系开展了系统研究,但麝香分泌与激素水平关系的研究相对较少。

激素是影响动物个体生理和行为的关键因素<sup>[15]</sup>,其中皮质醇(Cortisol, COR)和睾酮(Testosterone, T)的分泌受下丘脑-垂体-肾上腺(Hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA)系统轴调控,与动物个体的应激反应和繁殖直接关联<sup>[15-16]</sup>。汪建隆和黄新民<sup>[11]</sup>通过切除睾丸和附睾证明了睾酮与麝香分泌之间关系紧密,洪沂生等<sup>[17]</sup>利用雄性激素诱导产生泌香反应,尹淑媛和戴卫国<sup>[10]</sup>采用外源睾酮注射诱导雄麝进行了二次泌香实验,张争明等<sup>[12]</sup>探索了林麝泌香期和发情期血清性激素含量的变化。上述研究确定了雄麝的睾酮与麝香分泌间存在直接关联,但因条件限制,上述研究样本量往往较小,且多通过外源激素诱导进行,缺乏对睾酮和麝香分泌直接关系的基于大样本的研究。此外,因皮质醇与动物应激反应的紧密关系,可对雄麝的麝香分泌产生潜在效应,但相关研究迄今缺乏。

本研究采用非损伤取样(Noninvasive sampling methods)和放射免疫法(Radio immunoassay, RIA),通过检测圈养林麝粪样类固醇激素水平,结合麝香分泌数据采集,探查林麝粪样睾酮和皮质醇水平与麝香分泌的关系,并建立预测模型,研究结果可对麝类迁地保育及麝香的可持续生产提供重要参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地点及实验动物

本研究于2018年9月1日—10月15日期间在四川马尔康林麝繁育场(以下简称马尔康麝场)( $101^{\circ}17'-102^{\circ}41'E$ ,  $30^{\circ}35'-32^{\circ}24'N$ )进行。马尔康麝场位于四川西部的阿坝州,地处高原,空气稀薄,辐射强烈,年日照时数2214 h,日照率50%,气候高寒,年均温为5—9℃,昼夜温差大,年均降雨760 mm。

本研究涉及样本36头,均为雄性个体,其中亚成体18头(1.5—2.5岁),成体18头(3.5—8.5岁)<sup>[18]</sup>。所有个体均为单圈饲养,圈舍(约10 m<sup>2</sup>)由一活动场和水泥凉棚组成。每日2次于相对固定时间(夏季:06:00和19:00;冬季:08:00和17:00)投喂树叶及水,附带进行圈舍清洁,其他时间林麝不受干扰。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 非损伤粪样及麝香分泌数据采集

在类固醇激素的测定中,血液是一种应用最广泛测定样本<sup>[19]</sup>。但麝类动物生性机警,对其采血易导致个体皮质醇等激素的浓度变化<sup>[20-21]</sup>,并易引发林麝的应激伤亡。非损伤性的粪样采集可避免动物应激,近年来

得到了广泛应用<sup>[22]</sup>。通过激素代谢物间接确定激素水平,与实际测量血液中具有生物活性的激素浓度有差异,但二者间具有紧密相关<sup>[23]</sup>。本研究通过采集林麝的新鲜粪样对睾酮和皮质醇进行测定<sup>[24-27]</sup>。粪样采集在人工取香前的 1 个月内(2018 年 9 月 1 日—15 日)进行,采集的新鲜粪样装入样品袋,置于冰箱内保存(-20℃)留待实验室检测。

雄麝的麝香分泌数据采集于麝场的人工取香(2018 年 10 月 10 日)进行时。取香时,进行雄麝的快速保定,用药匙探入其麝香囊将麝香快速取出,吸水纸吸去麝香表面水分后立刻进行麝香称重,记录麝香品相及泌香量数据。每头麝的取香处理在 5 min 以内。

### 1.2.2 粪样类固醇激素检测

粪样激素提取采用乙醇为基础的程序<sup>[23, 28]</sup>,步骤如下:进行新鲜粪样称重、干燥、研磨,取研磨均匀的粪样 0.5 g,加入 90%的乙醇 10 mL,并用涡旋振荡仪震动 1 min,然后恒温水浴(60℃)20 min,经 2000 rpm 离心 15 min,取上清液;沉淀物中再加入 90%的乙醇 5 mL,再次震荡、离心、取上清液。最后,将两次上清液合并,蒸干后加 40%的甲醇 1.5 mL,摇匀后放置在-20℃冰箱待测。

参照其他野生动物粪样激素测定方法<sup>[24, 26]</sup>,本研究的粪样类固醇激素检测通过放射免疫法进行。采用西安核仪厂 xh6080 放免仪,试剂盒为北京北方生物技术研究所生产。运用碘[125I]皮质醇放射免疫分析药盒(Iodine [125I] Cortisol Radioimmunoassay Kit)测定皮质醇,其测试范围为 10—500 ng/mL,灵敏度<2 ng/mL,批内变异系数 CV<10%,批间变异系数 CV<15%。运用碘[125I]睾酮放射免疫分析药盒(Iodine [125I] Testosterone Radioimmunoassay Kit)测定睾酮,测定范围为 0.1—20 ng/mL,灵敏度<0.02 ng/mL,批内变异系数 CV<10%,批间变异系数 CV<15%。

### 1.3 数据分析

本研究采用 Shapiro-Wilk test 检验数据正态性。若数据呈正态分布,采用 Pearson 相关分析探查类固醇激素与泌香量间的关系,否则采用 Spearman 相关分析;对类固醇和泌香量间的关系进行回归分析(Enter Regression Analysis)。

按照个体的平均麝香分泌量,将个体区分为高泌香量雄麝(高于均值)和低泌香量雄麝(低于均值);按照个体的平均睾酮水平,将个体区分为睾酮较高个体(高于均值)及睾酮较低个体(低于均值);按照个体的平均皮质醇水平,将个体区分为皮质醇较高个体(高于均值)及皮质醇较低个体(低于均值)。采用 *t* 检验检测亚成体和成体间的泌香量及类固醇激素水平差异;采用一般线性模型(General Linear Model, GLM)探究睾酮、皮质醇和年龄对泌香的综合效应及变量间的潜在交互作用。本研究显著性水平设为  $P=0.05$ ,极显著为  $P=0.01$ ,所有数据分析均在 SPSS 20 中进行。

## 2 结果

### 2.1 圈养林麝粪样类固醇激素水平及泌香量分布格局

马尔康麝场圈养林麝雄体的泌香量( $P=0.404$ )和粪样皮质醇浓度( $P=0.928$ )均呈正态分布,粪样睾酮浓度呈非正态分布( $P=0.000$ ),经对数转换后的睾酮数据呈正态分布( $P=0.687$ )。马尔康麝场圈养雄性林麝的睾酮和皮质醇浓度均值分别为(106.03±12.34) ng/g ( $n=36$ )和(47.49±1.53) ng/g ( $n=36$ ),泌香量均值为(12.53±0.76) g ( $n=36$ )。

### 2.2 圈养林麝粪样类固醇激素、泌香量与年龄的关系

马尔康麝场圈养雄麝亚成体泌香量(13.14±1.10) g ( $n=18$ )有高于成体泌香量(11.93±1.06) g ( $n=18$ )的趋势,但差异不显著( $t=0.793$ ,  $df=34$ ,  $P=0.433$ );亚成体粪样睾酮水平(112.28±18.85) ng/g ( $n=18$ )与成体(99.78±16.36) ng/g ( $n=18$ )间无显著差异( $t=0.259$ ,  $df=34$ ,  $P=0.797$ );亚成体粪样皮质醇水平(47.91±2.07) ng/g ( $n=18$ )与成体(47.09±2.38) ng/g ( $n=18$ )间的差异也不显著( $t=0.501$ ,  $df=34$ ,  $P=0.620$ ) (图 1)。

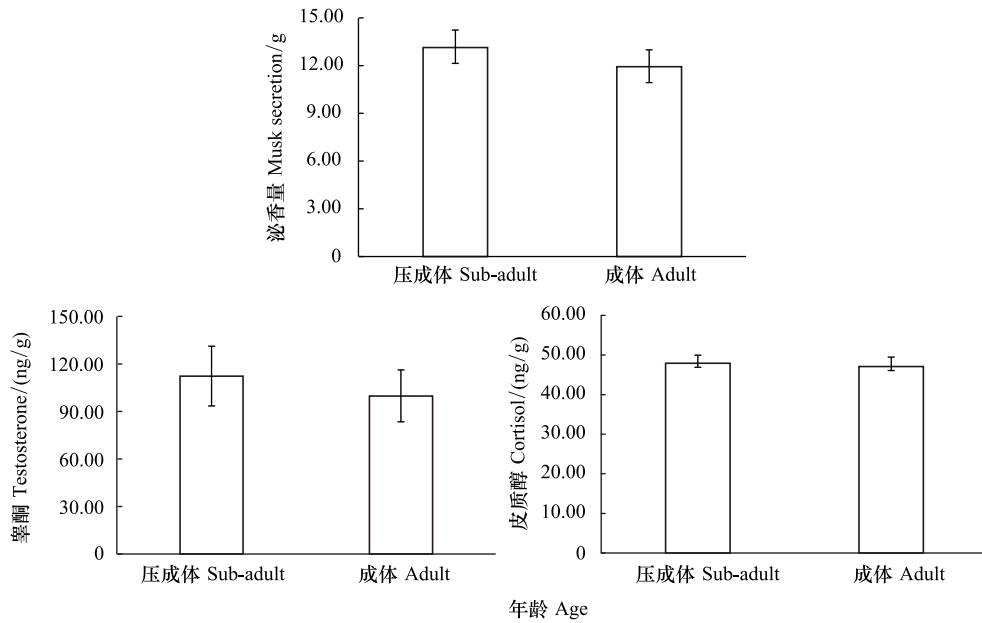


图1 圈养林麝泌香量、睾酮和皮质醇在亚成体与成体间的差异

Fig.1 The difference of musk secretion, testosterone and cortisol between sub-adult and adult in captive forest musk deer

2.3 粪样类固醇激素与麝香分泌的关系

圈养林麝睾酮浓度与泌香量呈显著正相关 ( $r=0.436, P=0.008$ ), 泌香较多雄麝 ( $16.50 \pm 0.61$ ) g ( $n=17$ ) 的粪样睾酮浓度 ( $141.51 \pm 21.86$ ) ng/g ( $n=17$ ) 极显著地高于泌香较少雄麝 ( $8.98 \pm 0.59$ ) g ( $n=19$ ) 的粪样睾酮浓度 ( $74.27 \pm 7.93$ ) ng/g ( $n=190$ ) ( $t=-3.252, df=34, P=0.003$ )。方程  $y=0.021x+10.270$  ( $R^2=0.120, F_{1,34}=4.639, P=0.038$ ) 可较好地拟合二者间关系(图2)。

皮质醇与泌香量间的相关不显著 ( $r=0.078, P=0.652$ )。泌香较多雄麝的粪样皮质醇浓度 ( $48.98 \pm 2.28$ ) ng/g ( $n=17$ ) 略高于泌香较少雄麝的粪样皮质醇浓度 ( $46.17 \pm 2.14$ ) ng/g ( $n=19$ ), 差异未达显著 ( $t=-0.901, df=34, P=0.374$ )。方程  $y=0.038x+10.730$  ( $R^2=0.023, F_{1,34}=0.207, P=0.652$ ) 可近似拟合皮质醇与泌香量间的关系(图3)。

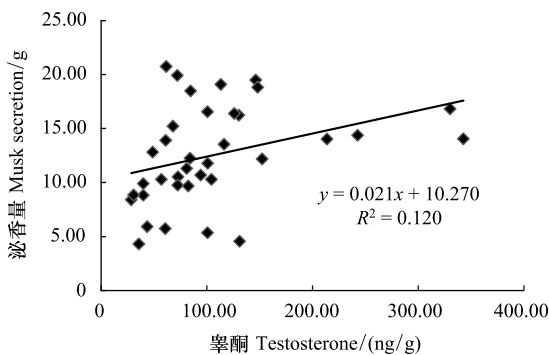


图2 圈养林麝雄体粪样睾酮水平与麝香分泌的关系

Fig.2 Relationships between the fecal testosterone and musk secretion in captive female forest musk deer

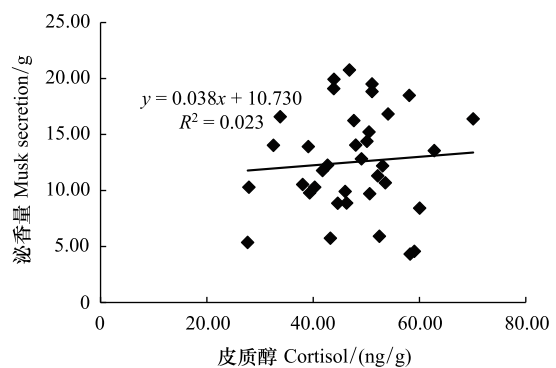


图3 圈养林麝雄体粪样皮质醇水平与麝香分泌的关系

Fig.3 Relationships between the fecal cortisol and musk secretion in captive female forest musk deer

一般线性模型(GLM)分析结果表明, 雄麝粪样睾酮水平对个体泌香量有显著影响 ( $P=0.037$ ), 睾酮水平较高林麝泌香量 ( $14.97 \pm 1.17$ ) g ( $n=12$ ) 显著高于睾酮水平较低水平个体的泌香量 ( $11.32 \pm 0.90$ ) g ( $n=24$ )



( $F=4.79, P=0.037$ ), 皮质醇( $F=0.40, P=0.535$ )、年龄( $F=0.12, P=0.732$ )及各变量间的交互作用(皮质醇 $\times$ 睾酮, $F=0.08, P=0.775$ ;皮质醇 $\times$ 年龄, $F=0.10, P=0.767$ ;睾酮 $\times$ 年龄, $F=0.76, P=0.391$ ;皮质醇 $\times$ 睾酮 $\times$ 年龄, $F=0.84, P=0.367$ )对泌香影响均不显著。此外,睾酮与皮质醇之间的相关未达显著水平( $r=0.125, P=0.469$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 圈养林麝粪样类固醇激素水平、泌香量与圈养模式的关系

本研究采用放射免疫法测定圈养林麝粪样激素浓度,睾酮和皮质醇浓度均值分别为( $106.03\pm 12.34$ ) ng/g和皮质醇( $47.49\pm 1.53$ ) ng/g,与郎冬梅等<sup>[29-30]</sup>测定的林麝粪样激素浓度(粪样睾酮浓度:65.21—78.03 ng/g;粪样皮质醇浓度:136.42—208.16 ng/g)存在一定差异,这主要与麝场位置、麝场饲养管理制度及动物的健康度有关。与陕西凤县麝场<sup>[29-30]</sup>相比,本研究中的林麝粪样睾酮浓度较高、皮质醇水平较低,反映了本研究实施的四川马尔康麝场圈养林麝的繁殖状况相对良好、胁迫及应激水平相对较低。

郭妍妍等<sup>[4]</sup>报道四川马尔康麝场雄麝的泌香量区间为0—19.60 g,均值为( $9.24\pm 0.77$ ) g,程建国等<sup>[7]</sup>曾报道马尔康麝场雄麝泌香量平均为( $11.85\pm 0.96$ ) g,上述研究的林麝均为群养模式。本研究中的雄麝均为单圈饲养,个体泌香量均值为( $12.53\pm 0.76$ ) g,说明单圈饲养雄麝更利于提高麝香分泌,原因与麝类动物较强的独居性和警觉性有关<sup>[31]</sup>。此外,有研究显示,麝类动物的单圈饲养可有效减少个体间的打斗能耗及伤亡,增加麝的存活率<sup>[32]</sup>。因此,除气候、植被及食物等因素可影响圈养麝的麝香分泌之外,圈养和饲养模式对其泌香也有显著影响。

#### 3.2 圈养林麝粪样类固醇激素水平与泌香量的关系

睾酮是一种19碳甾体激素,主要由睾丸间质细胞分泌,少量来自肾上腺皮质,其主要生理作用是维持雄性第二性征和正常性腺功能,除具有雄性激素的作用外,还可促进蛋白合成<sup>[33]</sup>。汪建隆和黄新民<sup>[11]</sup>的工作表明,当切除正常泌香雄麝的睾丸和附睾后,雄麝停止泌香,而给予外源睾酮及脑垂体促性腺激素刺激之后,雄麝又重启泌香生理过程。此外,睾酮诱导可使雄麝展现自然泌香之外的额外泌香反应<sup>[10, 17]</sup>。上述研究说明雄麝的睾酮与麝香分泌之间具有直接关联<sup>[12, 34]</sup>。研究结果显示,圈养林麝睾酮浓度与泌香量呈显著正相关,泌香较多雄麝的睾酮浓度极显著地高于泌香较少雄麝,而睾酮水平较高林麝的泌香量也显著高于睾酮水平较低雄麝的泌香量,说明雄麝雄性激素里的睾酮可影响其麝香分泌,这为麝类驯养产业中的麝香生产力水平提高提供了重要参考。

睾酮作为一种雄性激素,在有蹄类动物中对雄性的繁殖行为发挥着重要作用,如麋鹿(*Elaphurus davidianus*)的繁殖行为发生频次与睾酮水平具有显著的正相关<sup>[27]</sup>,马鹿(*Cervus elaphus*)及驯鹿(*Rangifer tarandus*)睾酮水平的季节性变化会导致繁殖交配行为及攻击行为的强度发生变化<sup>[35-36]</sup>。张争明等<sup>[12]</sup>发现,外源睾酮可诱导林麝雄体进入发情期。考虑到麝类动物雄体繁殖与麝香分泌的潜在关系<sup>[2]</sup>,未来有必要进行睾酮水平与麝香分泌、繁殖成效和节律关系的探究。

研究结果表明,虽不同皮质醇水平的雄麝在泌香量方面存在一定差异,但雄麝皮质醇浓度与其泌香量无显著相关。皮质醇是一种主要由肾上腺皮质束状带分泌的糖皮质激素,其主要功能与应激和压力有关,与动物适应环境变化有关。当皮质醇浓度过高或过低时,都不利于正常生理过程与行为反应<sup>[37]</sup>。当皮质醇浓度过低时,个体无法正常进行应激,当皮质醇过高时,会导致代谢紊乱,血糖、血压升高等。因此,适量的皮质醇水平有利于维持机体的正常代谢,尤其是应对外源性压力。有研究表明皮质醇浓度会影响猎豹的繁殖性能<sup>[38]</sup>。考虑睾酮对泌香的效应、皮质醇和睾酮间的关系及皮质醇对个体胁迫状态的调节,可进一步对麝的皮质醇、睾酮及泌香量间的关系开展长时监测,有望揭示之间的复杂关系。

诸多研究报道的圈养林麝的泌香高峰期不等,为4—7岁<sup>[4]</sup>、2—8岁<sup>[7]</sup>、2—6岁<sup>[32]</sup>等,圈养马麝和原麝的泌香高峰期也在7—9岁之前<sup>[5-6]</sup>,其中1.5岁龄马麝的平均泌香量最大<sup>[5]</sup>,康发功等<sup>[5]</sup>的工作表明,圈养马麝

的圈养年限、年龄及受胁迫程度间存在关联,导致雄性马麝年龄与麝香分泌量间的非线性关系。可见,圈养麝的雄体年龄与其泌香量具有关联,但因麝种、麝场位置及饲养管理制度的不同而异。本研究中,亚成体雄麝的泌香量高于成体雄麝的泌香量,与本结果类似,郭妍妍等<sup>[4]</sup>的研究表明,马尔康麝场林麝随年龄增长,其泌香量有减少的趋势,推测与成麝的发情交配等有关。

### 3.3 建议

研究结果显示圈养林麝雄体的粪样睾酮浓度与泌香量呈显著的正相关关系,且睾酮水平较高林麝的泌香量显著高于低水平个体的泌香量,在麝类驯养及麝香生产实践中,可将粪样睾酮水平作为林麝泌香量的预测变量,应用于麝的分类驯养及高泌香量圈养麝品系的选育,商业性麝类驯养中可应用外源睾酮诱导圈养雄麝的多次泌香、泌香量增加及无香个体的麝香分泌重启。

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Meng X X, Liu D G, Feng J C, Meng Z B. Asian medicine: exploitation of wildlife. *Science*, 2012, 335(6073): 1168-1168.
- [ 2 ] 盛和林, 刘志霄. 中国麝科动物. 上海: 上海科学技术出版社, 2007.
- [ 3 ] Yang Q S, Meng X X, Xia L, Feng Z J. Conservation status and causes of decline of musk deer (*Moschus spp.*) in China. *Biological Conservation*, 2003, 109(3): 333-342.
- [ 4 ] 郭妍妍, 周杨, 蔡永华, 程建国, 付文龙, 龙登隆, 孟秀祥. 川西高原圈养林麝 (*Moschus berezovskii*) 的麝香分泌及影响因素研究. *四川农业大学学报*, 2018, 36(2): 273-278.
- [ 5 ] 康发功, 盛岩, 马冷桃, 孟秀祥. 兴隆山自然保护区驯养马麝的麝香分泌及其种群动态和年龄结构的关系. *生态学报*, 2015, 35(15): 4993-4999.
- [ 6 ] 颜于宏. 原麝泌香因素初步研究. *中药材*, 1985, (2): 11-13.
- [ 7 ] 程建国, 罗燕, 乔美萍, 蔡永华, 王大中. 影响林麝泌香量的因素. *特产研究*, 2002, 24(3): 15-18.
- [ 8 ] 黄步军, 盛和林, 徐宏发. 饲料营养对林麝麝香产量和品质的影响. *动物学研究*, 1998, 19(4): 296-300.
- [ 9 ] 王永奇, 李斐然, 刘文华. 林麝泌香生理反应启动时间及不同生理阶段的时间分配. *草业科学*, 2019, 36(1): 226-233.
- [ 10 ] 尹淑媛, 戴卫国. 雄激素生理诱导雄麝第二次泌香中试实验研究. *成都科技大学学报*, 1990, (6): 29-40.
- [ 11 ] 汪建隆, 黄新民. 垂体促性腺激素与麝泌香的关系. *野生动物保护用*, 1980, (1): 19-21.
- [ 12 ] 张争明, 杨静, 王建明, 付文龙, 王展印, 叶松华, 付春梅. 林麝泌香期和发情期血清性激素含量的变化. *中药材*, 2015, 38(2): 240-244.
- [ 13 ] 周杨, 黎勇, 周密, 孟秀祥. 圈养马麝的胆量个性及与麝香分泌和繁殖成效的关系. *兽类学报*, 2018, 38(4): 344-351.
- [ 14 ] 白瑞丹, 蔡永华, 郑程莉, 程建国, 付文龙, 盛岩, 孟秀祥. 圈养林麝泌香期的行为多样性及与麝香分泌的关系. *浙江农林大学学报*, 2019, 36(2): 343-348.
- [ 15 ] Rehinder C, Hau J. Quantification of cortisol, cortisol immunoreactive metabolites, and immunoglobulin A in serum, saliva, urine, and feces for noninvasive assessment of stress in reindeer. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 2006, 70(2): 151-154.
- [ 16 ] van Oers K, Buchanan K L, Thomas T E, Drent P J. Correlated response to selection of testosterone levels and immunocompetence in lines selected for avian personality. *Animal Behaviour*, 2011, 81(5): 1055-1061.
- [ 17 ] 洪沂生, 李复东, 邓文明, 李时万. 用雄性激素诱导雄麝泌香在生产上应用的探讨. *中药材科技*, 1981, (3): 17-19, 16-16.
- [ 18 ] 蔡永华, 孙军平, 杨营, 王静, 付文龙, 朱萍, 郑程莉, 李宁, 石磊, 孟秀祥. 迁地保育林麝体况及影响因素. *生态学报*, 2017, 37(5): 1617-1622.
- [ 19 ] Sheriff M J, Dantzer B, Delehanty B, Palme R, Boonstra R. Measuring stress in wildlife: techniques for quantifying glucocorticoids. *Oecologia*, 2011, 166(4): 869-887.
- [ 20 ] Hu X L, Wei Y T, Huang S L, Liu G, Wang Y H, Hu D F, Liu S Q. Effects of breeding center, age and parasite burden on fecal triiodothyronine levels in forest musk deer. *PLoS One*, 2018, 13(10): e0205080.
- [ 21 ] Huber S, Palme R, Arnold W. Effects of season, sex, and sample collection on concentrations of fecal cortisol metabolites in red deer (*Cervus elaphus*). *General and Comparative Endocrinology*, 2003, 130(1): 48-54.
- [ 22 ] Goymann W. On the use of non-invasive hormone research in uncontrolled, natural environments: the problem with sex, diet, metabolic rate and the individual. *Methods in Ecology and Evolution*, 2012, 3(4): 757-765.
- [ 23 ] Capezzuto A, Chelini M O M, Felipe E C G, Oliveira C A. Correlation between serum and fecal concentrations of reproductive steroids throughout gestation in goats. *Animal Reproduction Science*, 2008, 103(1/2): 78-86.

- [24] 刘若爽,董世魁,刘定震,吴永林,石建斌. 普氏原羚粪便样品中皮质醇激素保存时效研究. 动物学杂志, 2018, 53(1): 131-137.
- [25] Palme R. Measuring fecal steroids: guidelines for practical application. Annals of the New York Academy of Sciences, 2005, 1046(1): 75-80.
- [26] He L, Wang W X, Li L H, Liu B Q, Liu G, Liu S Q, Qi L, Hu D F. Effects of crowding and sex on fecal cortisol levels of captive forest musk deer. Biological Research, 2014, 47(1): 48.
- [27] 李春旺,蒋志刚,房继明,姜国华,丁玉华,沈华,徐安红. 麋鹿繁殖行为和粪样激素水平变化的关系. 兽类学报, 2000, 20(2): 88-100.
- [28] Brown J L, Wasser S K, Wildt D E, Graham L H. Comparative aspects of steroid hormone metabolism and ovarian activity in felids, measured noninvasively in feces. Biology of Reproduction, 1994, 51(4): 776-786.
- [29] 郎冬梅,刘文华,王毅花,唐勇清,何岚,刘树强,胡德夫. 非孕期圈养林麝粪样皮质醇激素变化及其指示作用. 北京林业大学学报, 2012, 34(3): 81-84.
- [30] 郎冬梅,刘文华,胡德夫,王毅花,葛兴芳. 圈养林麝粪类固醇激素保存时效性研究. 四川动物, 2011, 30(3): 357-361.
- [31] Green M J B. The distribution, status and conservation of the Himalayan musk deer *Moschus chrysogaster*. Biological Conservation, 1986, 35(4): 347-375.
- [32] 尹淑媛,戴卫国. 野麝家养研究综述. 成都科技大学学报, 1991, (1): 81-90.
- [33] 侯晓鸿,郝卫东. 丘脑-垂体-性腺轴调节睾酮合成的研究进展. 癌变·畸变·突变, 2018, 30(6): 483-485.
- [34] 郑程莉,王笏,王建明,周磊,杨营,冯达勇,杜欣颖. 圈养麝的麝香化学成分与雄激素关系的研究进展. 四川中医, 2019, 37(5): 220-222.
- [35] Lincoln G A. The seasonal reproductive changes in the Red deer stag (*Cervus elaphus*). Journal of Zoology, 2010, 163(1): 105-123.
- [36] Leader-Williams N. Reindeer on South Georgia: the Ecology of an Introduced Population. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- [37] 孟瑶,陈莅蓉,周仁来. 皮质醇分泌缓解负性情绪的证据及其机制. 中国临床心理学杂志, 2019, 27(1): 28-32.
- [38] 吴锋,孙强,许建中,吴昆,金晓军,蒋论,周永晓. 猎豹粪样皮质醇代谢研究. 四川动物, 2008, 27(6): 986-988.