

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20150506

林麝雌体粪便甲状腺激素的测定及其生物学意义

魏雨婷¹ 周冉¹ 刘宝庆² 胡晓龙¹ 刘树强¹ 李林海³ 胡德夫¹
(1 北京林业大学自然保护区学院 2 陕西片仔癀麝业有限责任公司 3 北京市国家林业局林产工业规划设计院)

摘要:林麝饲养繁育承担着重建野生种群和保障麝香可持续利用的艰巨任务,然而其饲养种群长期受到健康状态不稳定和疾病高发的困扰,同时,受到濒危等级和试验样品的限制,迄今鲜有涉及林麝生理参数的文献。本研究于2014年7—8月分别采集陕西火烧店和四川米亚罗林麝饲养场的林麝粪样,采用酶联免疫法(ELISA)测定雌麝粪便中三碘甲腺原氨酸(T₃)的含量,以探讨雌麝粪便T₃值表达的生理状态及变化趋势。结果表明,陕西火烧店和四川米亚罗饲养场雌麝粪便T₃在所研究的时段内不存在显著差异;两地雌麝粪便T₃在3岁至5岁期间随着年龄的增长呈现逐渐上升的趋势,但在5岁之后随着年龄的增长而逐渐下降,这可能意味着雌麝在5岁左右达到生理盛期;雌麝粪便T₃的聚类结果发现,不同年龄组均存在差异显著的3个类型,即生理代谢的低、中、高类型。利用粪便T₃从能量代谢角度揭示雌麝的生理特性,可能有助于麝繁育群的组建、饲养管理及健康评判。

关键词:林麝; 粪便甲状腺激素; 生理状态; 指示作用

中图分类号:S759.82; S865.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2016)05-0108-06

WEI Yu-ting¹; ZHOU Ran¹; LIU Bao-qing²; HU Xiao-long¹; LIU Shu-qiang¹; LI Lin-hai³; HU De-fu¹.

Fecal thyroid hormone levels in female forest musk deer in captivity and their biological implications. *Journal of Beijing Forestry University* (2016)**38**(5) 108-113 [Ch,41 ref.]

1 College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, P. R. China;

2 Breeding Centre of Forest Musk Deer in Pientzehuang, Baoji, Shaanxi, 721000, P. R. China;

3 State Forestry Planning and Design Institute of Forest Products Industry, State Forestry Administration, Beijing, 100013, P. R. China.

Both wild population rebuilding and sustainable musk yields require a healthy and growing population of musk deer (*Moschus berezovskii*) in captivity. Challenges of maintaining such a population come from irregular and frequent disease outbreaks. Meanwhile, disease monitoring and prediction require musk deer's baseline levels of physiology, which has been extremely lacking due to the high level of endangerment and limited availability of samples. In order to provide baseline physiology for disease monitoring, we non-invasively collected fecal samples from two captive populations of musk deer in Huoshaodian, Shaanxi, and Miyaluo, Sichuan in China, between July and August of 2014, and applied enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) method to estimate the concentrations and dynamics of fecal triiodothyronine (T₃) among females. We found there was no significant difference of T₃ concentrations between two populations during the study period. T₃ concentrations first showed a universally growing trend with age from the age of 3 to 5, and then decreased after the age of 5 years. It might suggest that female musk deers reach physiological maturity at age 5. By clustering fecal T₃ levels, we found significant differences among individuals at each age group, all of which could be assigned into low, medium and high metabolic groups. We suggest the fecal T₃ level, an index reflecting individual's metabolic characteristics of individuals, could be used to unveil physiological status of female musk

收稿日期: 2015-12-18 修回日期: 2016-01-19

基金项目: 国家林业局物种专项(林麝2015)。

第一作者: 魏雨婷。主要研究方向: 野生动物生理生态学。Email: weiyutingview@163.com 地址: 100083 北京市清华东路35号北京林业大学自然保护区学院。

责任作者: 胡德夫, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 动物生理生态、保护生物学。Email: hudf@bjfu.edu.cn 地址: 同上。 李林海, 博士, 研究员。主要研究方向: 野生动物保护与利用方向。Email: lilinhai1977@sina.com 地址: 100013 北京市朝阳区朝阳门内大街130号国家林业局林产工业规划设计院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

deers, which has great potential in captive population establishment and management, as well as health condition evaluations.

Key words forest musk deer; fecal thyroid hormone; physiological status; implication

林麝(*Moschus berezovskii*)是亚洲东部特有的小型林栖反刍动物,主要分布于中国,也是分泌麝香的珍贵药用动物。由于长期过度猎捕、栖息地破坏等原因,林麝的分布区急剧退缩,野生种群数量锐减^[1],2003年麝科所有种均被列为我国Ⅰ级重点保护物种。为保护野生珍稀的林麝资源,我国自上世纪五十年代末开始探索林麝的人工繁育并取得显著进展^[2-3],近年来陕西省和四川省将林麝饲养繁育作为山地林业经济发展的重要内容。然而,我国林麝饲养业长期受到麝体健康状态不稳定和疾病高发的困扰^[4-5],近20年来有关饲养林麝的研究主要集中于行为、食性、繁殖、疾病^[6-12]等领域,仅少数研究触及林麝的生理特征^[13]。究其原因,林麝的保护等级、饲养种群的数量及试验动物的成本是开展林麝生理学研究的主要制约因素。

一般而言,动物的能量代谢参数及其变化可以从总体上反映出机体的生理状态。甲状腺激素是动物的内分泌激素,对动物机体的生长、发育、分化及维系代谢平衡起着极为重要的作用^[14-15]。甲状腺激素包括三碘甲腺原氨酸(T₃)和反T₃,四碘甲腺原氨酸(T₄)和反T₄,仅T₃和T₄具有生理活性,T₃含量少于T₄,但其生理活性是T₄的5~6倍,是起着主导作用的甲状腺素成分^[16-17]。血清T₃含量能够反映动物机体的代谢状态,是重要的能量生理指标^[18]。甲状腺激素水平受到多种因素的影响,譬如,环境温度^[15,19]、年龄^[20-21]、健康状态^[22-23]等,这些因素成为反映动物生理状态的重要指标。然而,对于具有较高应激生理的野生动物而言,获取动物的血液组织并不是容易的事,尤其具有神经质特征的林麝,采集血样可能导致动物机体的损伤。随着野生动物非损伤取样技术的发展,已建立了动物粪便甲状腺素T₃的测定方法^[24-26]。同时,由于雌雄林麝在代谢生理规律上的巨大差异以及样本获得的可行性,故本研究仅将圈养雌麝作为研究对象。而开展林麝饲养群体的甲状腺激素水平研究,从能量代谢角度认识该物种的生理特性及影响因素,将为林麝生理状态的判定,生理异常个体的及时发现及实施科学驯养提供基本依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物

本实验样本采自陕西省汉中市留坝县火烧店饲

养场(33°35'N、106°49'E)和四川省阿坝州理县米亚罗饲养场(31°40'N、102°47'E)。前者地处秦岭南坡,海拔1500 m,年均气温11.3℃,年降水量634.6 mm,属暖温带山地气候区;后者地处川西青藏高原东部,海拔2800 m,年均气温2.5℃,年降水量510 mm,属寒温带高原山地气候区。两处麝场的饲养方式基本相同,均为多只林麝混合圈养,每圈1只雄麝和3~4只雌麝。食物为人工投放的天然树叶,辅以南瓜、胡萝卜等青饲料、大豆粉、玉米粉等少量精饲料,提供充足的清洁饮水。本实验分别选取了火烧店饲养场的43只雌麝和米亚罗饲养场的38只雌麝作为研究对象,实验个体在试验期间无疾病和异常行为。

1.2 样本采集

2014年7月至8月间,依据麝群的年龄构成,按3、5、7、9、11、13岁划分采样年龄组(表1),每隔4天采集1次新鲜粪便,持续采样40天,共计采样810份。采样时根据耳号区分个体,粪便采集时间为早上06:00~08:00,采集10 g左右新鲜粪便放入自封袋内,封口后立刻放入-20℃冰箱保存。

1.3 激素提取及测定

激素提取参照Wasser等^[25]的方法并加以改进,具体步骤如下:称取1 g新鲜粪便,研磨成粉末状后,置于15 mL塑料离心管中;加入10 mL 90%的乙醇,用涡旋震荡仪震荡5 min混匀,60℃温浴20 min,然后2500 r/min离心20分钟,取出上清液;沉淀中再加入5 mL 90%乙醇,震荡混匀2 min,再次离心后将两次上清液合并,60℃水浴蒸干,加入1 mL甲醇摇匀分装回收,-20℃保存待测。

采用酶联免疫法(ELISA)测定提取物中T₃的含量。酶标分析仪型号为RT-2100C,使用的试剂盒为北京北方生物研究所生产的三碘甲腺原氨酸(T₃)放射免疫分析试剂盒,试剂盒参数如下:1)测定范围为0.5~0.8 ng/mL,灵敏度<0.2 ng/mL;2)变异系数:批内<10%,批间<15%;3)特异性:无交叉反应。

1.4 数据分析

粪样含水量经校正后,换算为每克干粪中含激素的质量,表示为ng/g。每只个体所得数据经迭代法去除极值后,计算每只个体的平均值。采用K-S检验和Levene检验验证各组数据的正态性和方差齐性,采用单因素方差分析比较各组间的差异显著

性,并选择 LSD 检验进行两两比较;先比较两个饲养场不同年龄组的粪便 T3 差异,将存在显著性差异的年龄组个体剔除后再进行聚类分析,聚类分析采用系统聚类的方法;采用 Spearman 相关性分析验证年龄与粪便 T3 的相关性;显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。所有的数据处理均是使用 SPSS 20.0 软件来完成。

2 结果与分析

2.1 火烧店和米亚罗饲养场雌麝粪便 T3 的比较

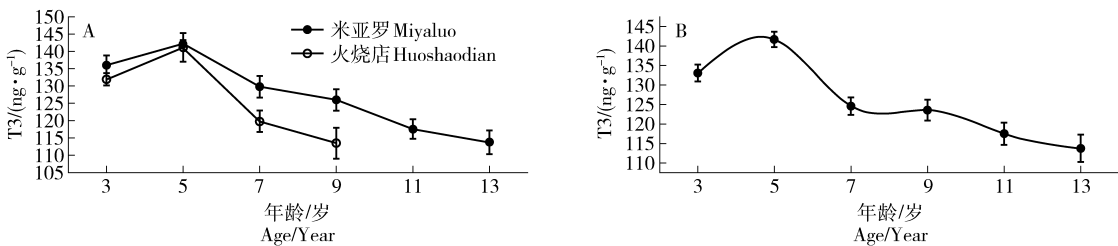
依据年龄组分别测定火烧店饲养场和米亚罗饲

养场雌麝的粪便 T3 值,经过迭代法 (Mean $\pm$ SD) 去除每只个体的极值,获得有效数据并计算各年龄组的 T3 平均值和标准误差 (表 1)。两处麝场的麝群年龄结构不同,其中,火烧店麝场获得 4 个年龄组的数据,米亚罗麝场获得 6 个年龄组的数据。绘制雌麝粪便 T3 值随年龄组的变化 (图 1A) 可见,两麝场粪便 T3 值都在 5 岁组达到峰值,随着年龄增长,T3 值呈逐渐下降且变化趋势相似,但火烧店雌麝粪便 T3 值随年龄下降趋势快于米亚罗。比较两个麝场相同年龄组粪便 T3 值可以得出,米亚罗麝场略高于火烧店麝场,但均未达到统计学上的显著差异 (表 1)。

表 1 2 个饲养场林麝的年龄组及粪便 T3 值
Tab. 1 The age group and faecal T3 value of forest musk deer in two farms

年龄组 Age group	火烧店饲养场 Huoshadodian farm		米亚罗饲养场 Miyaluo farm		统计检验 Statistics
	个体数 Number of individuals	T3/(ng·g ⁻¹)	个体数 Number of individuals	T3/(ng·g ⁻¹)	
3 岁 3 years old	17(119)	131.91 $\pm$ 1.79	7(47)	136.04 $\pm$ 2.81	$F = 1.52, P = 0.219$
5 岁 5 years old	12(83)	141.18 $\pm$ 4.18	7(43)	142.11 $\pm$ 1.19	$F = 0.05, P = 0.818$
7 岁 7 years old	10(74)	119.75 $\pm$ 3.12	7(48)	129.78 $\pm$ 3.06	$F = 0.58, P = 0.462$
9 岁 9 years old	5(36)	113.47 $\pm$ 4.50	7(54)	126.00 $\pm$ 3.10	$F = 3.49, P = 0.066$
11 岁 11 years old			4(23)	117.53 $\pm$ 2.85	
13 岁 13 years old			5(32)	113.74 $\pm$ 3.50	

注:括号内数据为样本数。Notes: data in bracket is sample.



A: 米亚罗和火烧店麝场雌麝粪便 T3 值 The fecal T3 value of female musk deer in Miyaluo farm and Huoshadodian farm B: 米亚罗和火烧店麝场雌麝粪便 T3 的合并值 The fecal T3 value of female musk deer after the individuals with the same age from two farms (Miyaluo farm and Huoshadodian farm) were pooled together

图 1 雌麝粪便 T3 值随年龄的变化

Fig. 1 Changes of fecal T3 value of female musk deer with age

2.2 雌性林麝粪便 T3 值与年龄的相关性

因两个麝场 3~9 岁年龄组粪便 T3 值不存在统计学差异,因此将对应年龄组 T3 数据合并为一个集合。比较各年龄组 T3 值的单因素方差分析显示 (表 2), 3 与 5 岁组 ($F = 14.895, P = 0.011$)、3 与 7 岁组 ($F = 14.895, P = 0.027$)、3 与 9 岁组 ($F = 14.895, P = 0.039$)、5 与 7 岁组 ($F = 14.895, P < 0.001$)、5 与 9 岁组 ($F = 14.895, P < 0.001$) 的粪便 T3 值差异显著,其他各组差异不显著。

数据合并后雌麝的粪便 T3 值随年龄的变化情况如图 1B 所示。3 岁至 5 岁期间,随着年龄的增

长,T3 值呈逐渐上升的趋势;而 5 岁之后,随着年龄的增长,T3 值逐渐下降。5 岁组和 3 岁组相比,T3 值以平均每年 3.18% 的速度上升;13 岁组和 5 岁组相比,T3 值又以平均每年 2.71% 的速度下降,其中 5 岁至 7 岁的下降率为 6.24%,7 岁至 9 岁的年均下降率为 0.40%,9 岁至 11 岁的年均下降率为 2.48%,11 岁至 13 岁的年均下降率为 1.62%。Spearman 相关性分析结果显示,雌麝粪便 T3 值与年龄在 3 岁与 5 岁间呈正相关性 ($R = 0.217, P < 0.001$),在 5 岁与 13 岁间呈负相关性 ($R = -0.399, P < 0.001$)。

表 2 2 个饲养场雌麝合并后各年龄组粪便 T3 值比较 (P 值)

Tab. 2 The comparison of fecal T3 value among the age groups after the individuals with the same age from two farms were pooled in (P value)

年龄组 Age group	3 岁 Age 3 (N = 24, X = 133.08)	5 岁 Age 5 (N = 19, X = 141.69)	7 岁 Age 7 (N = 17, X = 124.57)	9 岁 Age 9 (N = 12, X = 123.57)	11 岁 Age 11 (N = 4, X = 117.53)	13 岁 Age 13 (N = 5, X = 113.74)
3 岁 Age 3	1.000					
5 岁 Age 5	0.011	1.000				
7 岁 Age 7	0.027	<0.001	1.000			
9 岁 Age 9	0.039	<0.001	0.951	1.000		
11 岁 Age 11	<0.001	<0.001	0.560	0.854	1.000	
13 岁 Age 13	<0.001	<0.001	0.154	0.348	0.999	1.000

注: N 表示个体数, X 表示平均值。Notes: N represents number of individuals, X represents mean value.

2.3 雌麝粪便 T3 值聚类分析及类型划分

采用聚类分析各年龄组的 T3 值。从表 2 可见, 7 岁组和 9 岁组的粪便 T3 值不存在统计学差异, 因此将这两个年龄组合并为 7~9 岁组, 因 11 岁组和 13 岁组个体较少, 不再进行聚类分析。聚类图显示, 3 个年龄组的雌麝粪便 T3 值均被分为 3 个较为明显的簇, 从而每个年龄组被分为 3 组(表 3)。为进一步验证聚类分析结果的合理性, 采用单因素方差分析比较每个年龄组各类型 T3 基准值间的差异, 分析结果表明(图 2), 每个年龄组内 3 个分组的 T3 基准值与其他 2 组比较均有极显著的差异 ($F_{3岁} = 102.76, P < 0.001$; $F_{5岁} = 87.78, P < 0.001$; $F_{7-9岁} = 122.97, P < 0.001$)。

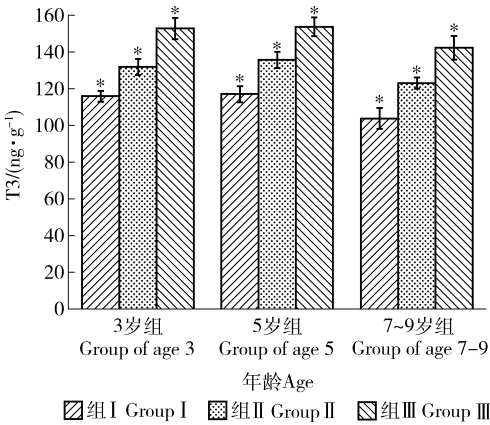


图 2 各年龄组聚类分析后 3 个分组的粪便 T3 比较
Fig. 2 Comparison of faecal T3 value among three groups of each age group after the cluster analysis

表 3 雌性林麝粪便 T3 值的聚类 and 分类

Tab. 3 The types of cluster analysis based on faecal T3 value

年龄组 Age group	分组 Type	个体数 Number of individuals	均值 Mean/ (ng·g ⁻¹)	标准差 Standard deviation	95% 置信区间	
					95% Confidence interval	
					下限 Lower limit/(ng·g ⁻¹)	上限 Upper limit/(ng·g ⁻¹)
3 岁组 Age 3	I	6	115.78	2.95	112.68	118.88
	II	12	131.88	4.39	129.10	134.67
	III	6	152.75	5.78	146.68	158.81
5 岁组 Age 5	I	4	116.95	4.38	109.98	123.92
	II	5	135.61	4.37	130.18	141.04
	III	10	153.72	5.14	150.05	157.40
7~9 岁组 Age 7-9	I	8	103.71	5.69	98.95	108.47
	II	13	123.01	3.03	121.18	124.84
	III	9	142.25	6.45	136.86	147.65

3 结论与讨论

3.1 不同地域夏季雌麝粪便 T3 值的可比性

甲状腺激素是动物机体复杂的内分泌系统的重要部分, 其合成和分泌受到许多环境因素和生理因

素的影响^[27]。动物实验显示^[28-30], 当温度低于某一临界点的寒冷刺激会造成促甲状腺激素 (TSH) 和 T3 的升高, 而这一临界温度随着物种的不同而改变, 即当环境温度低于物种的温度适宜范围时, 甲状腺激素分泌增加, 反之亦然^[15]。本研究的火烧店饲

养场地处秦岭南坡,海拔 1 500 m,年均气温 11.3℃,接近当地林麝自然分布的海拔下限,而米亚罗饲养场地处川西青藏高原东部,海拔 2 800 m,年均气温 2.5℃,接近当地林麝自然分布的海拔上限,两地间存在着较大的年均温和海拔差异。试验结果表明,米亚罗雌麝粪便 T3 仅略高于火烧店,但两者不存在显著差异。我们认为,两个麝场均处于野生林麝的自然分布区,火烧店和米亚罗饲养场夏季的平均温度分别为 26℃和 17℃,未引起林麝粪便 T3 值的显著差异,说明两地夏季的气温均处于林麝的生理适宜温度范围。

3.2 雌性林麝粪便 T3 值指示的生理状态

动物年龄与其生理状态存在关联,能显著影响动物垂体和甲状腺^[17,31]等内分泌系统器官。针对野牛^[32]、海狮^[27]、大鼠^[17]和人类^[33-34]的研究表明,机体成熟后 T3 随着年龄的增长呈现不同程度的下降趋势。本研究发现,雌麝粪便的 T3 在 5 岁前随着年龄的增长而升高,在 5 岁时达到峰值,之后与年龄呈现负相关关系。一般认为,林麝雌体分别于 1.5 岁和 2.5 岁性成熟和体成熟^[1],本实验得出,林麝雌体的身体发育一直持续到 5 岁左右,在 5 岁左右是生理状态的转折点,之后生理代谢逐渐减低,引起甲状腺合成和释放甲状腺激素水平的下降^[35-36],T3 随着年龄逐步降低,即步入衰老的过程。因此,当组建林麝雌性繁育群体时,雌性林麝 5 岁左右的粪便 T3 值或许可作为个体生理状态判定和种麝遴选的指标。

我们还发现,两个饲养场的雌麝在 5 岁组到 7 岁组之间粪便 T3 经历了一个剧烈的下降过程,7 岁后粪便 T3 的下降才逐步趋于平稳(图 1B)。这表明,雌麝的生理状态从盛到衰存在一个快速变化的年龄段,该年龄段也可能是雌麝机体重要的生理调整阶段^[17,36-39],在这个生理敏感时期对雌麝予以特别管护可能有助于麝群的健康发展。

3.3 雌性林麝粪便 T3 值的类型及其潜在价值

雌性林麝粪便 T3 的聚类分析表明,3 岁、5 岁和 7~9 岁组均可分为 3 类型,即 T3 值的低、中、高,各年龄组内的 3 个类型均存在显著差异,说明类型划分的合理性。迄今尚未见有关动物 T3 值的类型划分,但不同个体间存在生理代谢的差异却是一个常识。甲状腺素在动物机体生长发育和新陈代谢中起着不可或缺的重要作用,能够反映动物的生理乃至病理状态^[40]。长期的饲养实践表明,孤居胆小,应激反应强烈等生物学特性可能是林麝疾病高发和死亡较高的主要原因^[41]。雌麝粪便 T3 值的类型划分不仅反映该物种的生理代谢存在多样性,T3 的类型与机体健康之间是否存在关联也是很值得关注的问题。

林麝是中国制定计划进行种群人工繁育并拟实施重引入的濒危物种之一,其在人工圈养条件下的生理状态与放归后个体的成活率密切相关,这些都是值得关注的重要科学问题。因此,基于非损伤性研究方法的林麝粪便 T3 值的研究为深入开展代谢生理研究奠定了基础,为个体健康状态的评价提供了手段,具有重要的生物学意义。

参 考 文 献

- [1] 盛和林,刘志霄. 中国麝科动物[M]. 上海:上海科学技术出版社,2007.
SHENG H L, LIU Z X. The musk deer in China [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press,2007.
- [2] 薛程,孟秀祥,徐宏发,等. 圈养林麝春季活动节律及时间分配[J]. 兽类学报,2008,28(2):194-200.
XUE C, MENG X X, XU H F, et al. Activity rhythm and behavioral time budgets of the captive forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in spring [J]. Acta Theriologica Sinica, 2008, 28 (2):194-200.
- [3] 刘文华,王永奇,李斐然,等. 秦岭山地围网养麝试验初探[J]. 经济动物学报,2010,14(2):63-66.
LIU W H, WANG Y Q, LI F R, et al. A primary study on breeding the musk deer by enclosure culture in Qinling Mountain [J]. Journal of Economic Animal,2010,14(2):63-66.
- [4] 徐正强,徐宏发. 饲养林麝的种群特征和幼麝的存活研究[J]. 兽类学报,2003,23(1):17-20.
XU Z Q, XU H F. Population characteristics and fawn survival in musk deer (*Moschus moschiferus*) [J]. Acta Theriologica Sinica, 2003,23(1):17-20.
- [5] HE L, LI L H, WANG W X, et al. Welfare of farmed musk deer: changes in the biological characteristics of musk deer in farming environments [J]. Applied Animal Behaviour Science,2014,156:1-5.
- [6] 杜卫国,盛和林. 圈养林麝的分娩及一日龄行为[J]. 浙江师大学报(自然科学版),1996,(2):84-86.
DU W G, SHENG H L. Parturitional and first-day behavior in penned forest musk deer (*Moschus moschiferus berezovskii*) [J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Science Edition), 1996,(2):84-86.
- [7] 林忠,徐宏发,盛和林. 林麝妊娠期和哺乳期的能量代谢特征[J]. 兽类学报,1995,15(2):98-105.
LIN Z, XU H F, SHENG H L. Energy metabolism and behavior of musk deer during pregnancy and lactation [J]. Acta Theriologica Sinica,1995,15(2):98-105.
- [8] WANG W X, HE L, LIU B Q, et al. Feeding performance and preferences of captive forest musk deer while on a cafeteria diet [J]. Folia Zoologica,2015,64:2-4.
- [9] 王建明,魏海军,王承旭,等. 家养林麝电刺激采精及精液品质研究[J]. 经济动物学报,2009,13(1):21-23.
WANG J M, WEI H J, WANG C X, et al. Electro-ejaculation and the semen quality of domestic *Moschus berezovskii* [J]. Journal of Economic Animal,2009,13(1):21-23.
- [10] 韩增胜,杨长锁,李青旺,等. 林麝生殖生理和繁殖性能观察研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(6):103-106.
HAN Z S, YANG C S, LI Q W, et al. Study on reproduction physiology and reproduction performance in musk deer (*Moschus berezovskii*) [J]. Journal of Northwest Science Technology

- University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 2003,31(6):103-106.
- [11] 杨光友,蔡永华,等. 家养林麝四川莫尼茨绦虫病的流行病学研究[J]. 动物医学进展,2002,23(4):60-62.
YANG G Y, CAI Y H, et al. Studies on the teepidemiology of *Moniezia sichuanensis* in domestic *Moschus berezovskii* [J]. Progress in Veterinary Medicine,2002,23(4):60-62.
- [12] 王永奇,孟秀祥. 陕西省林麝驯养分布,种群动态及疾病发生[J]. 生态学杂志,2014,33(10):2720-2726.
WANG Y Q, MENG X X. The current status and disease occurrence of captive forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Shaanxi Province [J]. Chinese Journal of Ecology,2014,33(10):2720-2726.
- [13] HE L, WANG W X, LI L H, et al. Effects of crowding and sex on fecal cortisol levels of captive forest musk deer [J/OL]. Biological research,2014,47:48[2015-10-22]. <http://www.biolres.com/content/47/1/48>. DOI: 10.1186/0717-6287-47-48.
- [14] OPPENHEIMER J H. Evolving concepts of thyroid hormone action [J]. Biochimie,1999,81(5):539-543.
- [15] GOULART-SILVA F, GIANNOCO G, SANTOS M F, et al. Thyroid hormone induction of actin polymerization in somatotrophs of hypothyroid rats: potential repercussions in growth hormone synthesis and secretion [J]. Endocrinology,2006,147(12):5777-5785.
- [16] MCNABB F M. Thyroid hormones, their activation, degradation and effects on metabolism [J]. The Journal of Nutrition,1999,125(6):1773S-1776S.
- [17] DA COSTA V M, MOREIRA D G, ROSENTHAL D. Thyroid function and aging: gender-related differences [J]. Journal of Endocrinology,2001,171(1):193-198.
- [18] ANDERSEN S, PEDERSEN K M, BRUUN N H, et al. Narrow individual variations in serum T4 and T3 in normal subjects:a clue to the understanding of subclinical thyroid disease [J]. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism,2002,87(3):1068-1072.
- [19] SMALS A G H, ROSS H A, KLOPPENBORG P W C. Seasonal variation in serum T3 and T4 levels in man [J]. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism,1977,44(5):998-1001.
- [20] FISHER D A, SACK J, ODDIE T H, et al. Serum T4, TBG, T3 uptake, T3, reverse T3 and TSH concentrations in children 1 to 15 years of age [J]. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism,1977,45(2):191-198.
- [21] HEGEDUS L, PERRILD H, POULSEN L R, et al. The determination of thyroid volume by ultrasound and its relationship to body weight,age,and sex in normal subjects [J]. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism,1983,56(2):260-263.
- [22] BUBENIK G A, LEATHERLAND J F. Seasonal levels of cortisol and thyroid hormones in intact and castrated mature male white-tailed deer [J]. Canadian Journal of Zoology,1984,62(5):783-787.
- [23] MIZOKAMI T, WU L A, EL-KAISSI S, et al. Stress and thyroid autoimmunity [J]. Thyroid,2004,14(12):1047-1055.
- [24] KEECH A L, ROSEN D A S, BOOTH R K, et al. Fecal triiodothyronine and thyroxine concentrations change in response to thyroid stimulation in Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) [J]. General and Comparative Endocrinology,2010,166(1):180-185.
- [25] WASSER S K, AZKARATE J C, BOOTH R K, et al. Non-invasive measurement of thyroid hormone in feces of a diverse array of avian and mammalian species [J]. General and Comparative Endocrinology,2010,168(1):1-7.
- [26] AYRES K L, BOOTH R K, HEMPELMANN J A, et al. Distinguishing the impacts of inadequate prey and vessel traffic on an endangered killer whale (*Orcinus orca*) population [J/OL]. PLoS One,2012,7(6)[2015-10-23]. DOI: 10.1371/journal.pone.0036842.
- [27] MYERS M J, REA L D, ATKINSON S. The effects of age, season and geographic region on thyroid hormones in Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology,2006,145(1):90-98.
- [28] BROWN-GRANT K. Changes in the thyroid activity of rats exposed to cold [J]. The Journal of Physiology,1956,131(1):52-57.
- [29] GOUNDASHEVA D, ANDONOVA M, IVANOV V. Changes in some parameters of the immune response in rats after cold stress [J]. Journal of Veterinary Medicine (Series B),1995,41(10):670-674.
- [30] FUKUHARA K, KVETNANSKY R, CIZZA G, et al. Interrelations between sympathoadrenal system and hypothalamo-pituitary-adrenocortical/thyroid systems in rats exposed to cold stress [J]. Journal of Neuroendocrinology,1996,8(7):533-541.
- [31] LAMBERTS S W J, VAN DEN BELD A W, VAN DER LELY A J. The endocrinology of aging [J]. Science,1997,278:419-424.
- [32] SHARMA I J, AGARWAL S P, AGARWAL V K, et al. Serum thyroid hormone levels in male buffalo calves as related to age and sexual development [J]. Theriogenology,1985,24(5):509-517.
- [33] SAPIN R, SCHLIENGER J L, GOICHOT B, et al. Evaluation of elecsys® free triiodothyronine assay: relevance of age-related reference ranges [J]. Clinical Biochemistry,1998,31(5):399-404.
- [34] HUBL W, SCHMIEDER J, GLADROW E, et al. Reference intervals for thyroid hormones on the architect analyser [J]. Clinical Chemistry and Laboratory Medicine,2002,40(2):165-166.
- [35] SAMUELS M H. Subclinical thyroid disease in the elderly [J]. Thyroid,1998,8(9):803-813.
- [36] GREELEY G H, LIPTON M A, KIZER J S. Serum thyroxine, triiodothyronine, TSH levels and TSH release after TRH in ageing male and female rats [J]. Endocrine Research Communications,1982,9(3-4):169-177.
- [37] KLUG T L, ADELMAN R C. Altered hypothalamic-pituitary pegulation of thyrotropin in male rats during aging [J]. Endocrinology,1979,104(4):1136-1142.
- [38] DONDA A, LEMARCHAND B T. Aging alters the activity of 5'-deiodinase in the adenohypophysis, thyroid gland, and liver of the male rat [J]. Endocrinology,1989,124(3):1305-1309.
- [39] DA COSTA V M C, ROSENTHAL D. Effect of aging on thyroidal and pituitary T4 5' deiodinase activity in female rats [J]. Life Sciences,1996,59(18):1515-1520.
- [40] BOELAERT K, FRANKLYN J A. Thyroid hormone in health and disease [J]. Journal of Endocrinology,2005,187(1):1-15.
- [41] 李林海,何岚,刘刚,等. 麝类动物生物学特征与养殖业发展关系的探讨[J]. 林业资源管理,2012,4(2):26-29.
LI L H, HE L, LIU G, et al. Discussion about relationship between biological characters and farming development of musk deer [J]. Forest Resources Management,2012,4(2):26-29.