

有蹄类动物营养状况的测定方法及其评价*

李俊生^{①②} 宋延龄^{①**} 曾治高^①

(^①中国科学院动物研究所 北京 100080; ^②东北林业大学 哈尔滨 150040)

摘要: 营养状况对于动物的生存和繁殖至关重要,是有蹄类动物种群管理的前提条件之一。文章综述了有蹄类动物营养状况的几种主要测定方法,简要介绍了这些方法的理论前提、基本模型、适用范围,并评价了它们的优缺点及如何提高其准确性的方法和途径。

关键词: 有蹄类动物;身体营养状况;测定方法

中图分类号: Q493 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2003)02-90-07

Review and Evaluation of Methods for Assessing Ungulate Nutritional Condition

LI Jun-Sheng SONG Yan-Ling ZENG Zhi-Gao

(*Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

Abstract: Nutritional condition is a key factor influencing the reproductive success and survival of ungulates. It is also an important part of the information required to make management decisions for wild ungulate populations. Most of the methods used in assessing the nutritional condition of ungulates are briefly reviewed. The advantages, disadvantages, prerequisites, theoretical models and applicability of each method is discussed. Ways to avoid common errors and improve the accurateness and precision of each method are evaluated.

Key words: Ungulates; Nutritional condition of body; Assessment methods

动物的营养状况(nutritional condition)是机体与栖息环境之间相互作用的综合表现,体现了动物自身满足现在和将来营养需求的能力,对于动物的生存和繁殖至关重要。动物的营养状况又是评价有蹄类动物对营养物质的需求、能量代谢、估计生境营养容纳量、种群生存状况、预防和监测疾病传播的基础,因而成为有蹄类动物种群管理的前提和条件之一^[1-3],受到了野生动物管理者的广泛关注和重视。因此,有效准确地测定动物营养状况不仅成为当前有蹄类动物营养生态学的主要研究内容,而且还是制定管理与保护措施的依据。我国这方面只有很少的实例研究^[3,4],本文仅简要综述了几种测定有蹄类动物营养状况的主要方法,以期推动我国的有蹄类动物营养状况评价工作。

1 形态特征评价法

形态特征评价法是根据动物身体的形态结构与体

况之间存在的相关关系评价动物营养状况的方法^[6]。常用的形态特征评价法有以下几种。

1.1 外貌直观法 体形的外貌特征是评价有蹄类动物营养状况最直观和最简单的方法之一。其具体方法是:研究者通过观察一个种群中大多数动物的外形是否饱满和健壮、毛色的光亮程度以及身体病态特征(如鼻镜是否干燥、皮毛是否整齐等)等一系列体形外貌的视觉特征,作为判断种群营养状况好、中、差等级的依据^[5]。由于该评价方法采用非量化的指标,因此判断

* 国家自然科学基金资助项目(No. 30170166),黑龙江省自然科学基金资助项目;

** 通讯作者, E-mail: ylsong@panda.ioz.ac.cn;

第一作者简介 李俊生,男,34岁,副教授,博士;研究方向:动物生态与保护生物学。

收稿日期:2002-04-20,修回日期:2003-01-08

标准受观察者经验、水平和观察工具的影响较大,使这种方法的应用范围受到限制。在实践中,该方法通常只限于在研究条件受到限制的情况下,对动物种群的营养状况进行初步评价。

1.2 体重法 生活于温带和寒冷地区的有蹄类动物由于食物数量和质量的季节变化,其体重也存在明显的季节性差异,并且这种变化趋势与动物体内脂肪贮存量的变化相一致^[6],因此,体重的增加预示着动物具有较好的营养状态^[7],并影响幼鹿的安全越冬和妊娠雌鹿的繁殖成功率^[8,9],因此测量体重变化已成为北方鹿类营养状况评价的主要指标之一^[2,6-9]。

由于体重与动物体型呈显著的线形相关性,体重的变化受体型因子的影响较大。因此,单凭体重一个因子的变化还不能准确地反映动物的体况。受小型哺乳动物肥满度(relative fatness)概念的启发,Martinez等^[2]曾用体重与胸围比值的变化来评价白尾鹿(*Odocoileus virginianus*)营养状况的区域性差异和季节变化,并得到满意的结果。

体重法只适用于能够随机活捕到的动物(如利用直升飞机网捕法或麻醉法捕获动物)的研究工作中。相对需要采集组织样品进行分析的方法来说,体重法比较简便易行,且对动物没有伤害。因此,常被用于评价珍贵物种或数量稀少的种类的营养状况^[2,6-9]。决定体重的因子除体内贮藏的脂肪和蛋白质数量外,还受遗传、年龄、性别、毛被、妊娠状况等因素的影响。在需要准确地评价动物营养状况的研究中,为了避免其它因素的影响,应该将体重法和其它测定方法结合起来。

1.3 体况分值评价法 体况分值评价法是在体形外貌特征法的基础上发展起来的一种量化方法。当有蹄类动物处于良好的营养状态时,皮下脂肪首先在臀部和胸部沉积。体况分值评价法是根据脂肪在这二个部位的沉积形成的体形外貌特征,分别赋予一定的等级分数,然后通过数学运算,得出每个个体总的体况分数值。根据测量的部位不同又分为:Gerhardt触摸法^[10](palpation of body-condition by Gerhardt)、测量肩胛部肌肉厚度法^[11](measurement of scapula muscle thickness)和身体贮存指数法^[10](body-reserve index)等。

Gerhardt触摸法是通过触摸肋骨突出程度、皮肤褶皱程度和臀部肌肉的饱满程度分别给出评分等级。中小型动物(如驯鹿^[10] *Rangifer tarandus*)的分值范围为0~15,大型动物(如驼鹿^[11] *Alces alces*、奶牛^[12])的分值范围为0~20,一般以5分为一个等级,分值越高,营养状况越好。测量肩胛部肌肉厚度法根据有蹄类动物胸部脂肪的沉积首先开始于背部肩胛骨部位的特征^[11],将

位于第12和第13肋骨之间脊柱上的肌肉厚度和肩胛部三角肌肌肉厚度,作为预测动物的营养状况的指标之一。身体贮存指数法是把体重法和Gerhardt触摸法结合起来的一种方法,即用Gerhardt触摸法的得分值乘以动物体重后得出的指数值,作为评价动物营养状况的依据。

体况分值评价法是一种可对活体或被猎取动物进行营养状况评价的方法,Cook^[11]等利用线性模型以驼鹿作为研究对象对体况分值评价法灵敏性和可靠性进行了检验,发现其评价指数与体脂肪含量呈显著的相关性关系。由于该方法需要的测量工具较为简单,因此在野外研究中得到较为广泛的利用。Cook^[11]等同时也指出该方法能够较好地反映体况较好的动物个体的营养状况,但在评价较瘦弱的动物时,往往因研究者的经验而产生较大的误差。因此,此方法的应用要求研究者必须具有丰富的解剖学知识背景。近几年,随着新技术在生物研究中的广泛应用,有的研究者开始使用超声波技术测量动物皮下脂肪的沉积状况,从而提高了体况分值系统评价的准确性^[12-14]。Cook等^[11]还应用生物电阻限法对圈养驼鹿的皮下脂肪的沉积状况进行了研究,但这种方法的技术操作复杂,难以在野外应用。这些先进技术的应用,为体况分值评价法带来了广阔的应用前景。但在野外应用中要求研究者必须经过技术培训并具有一定的实践经验,而且也要求这些仪器设备具有携带方便性和易操作性等特征。

1.4 瘤胃粘膜表面扩张系数法 在反刍动物瘤胃内壁粘膜层,分布着许多乳头状突起,从而扩大了瘤胃内壁粘膜的吸收面积。乳突的大小和分布密度不但与动物种类和食性相关^[15],而且也与食物资源的可利用性和食物质量密切相关^[16],因而可利用此方法来预测反刍动物食物的质量,进而间接地评价反刍动物种群的营养状况^[4,17-20]。表面扩张系数(surface enlargement factor,简称SEF)法主要是通过测量瘤胃的上壁(dorsal wall)、腹壁(ventral wall)、前庭底部(cranioventral floor of atrium)和后背盲囊底部(floor of dorsocaudal blind sac)4个乳突变化比较典型区域的乳突表面积,采用下列公式计算出取样区域单位面积的表面扩张系数:

$$SEF = \frac{(N \times SA) + BS}{BS}$$

式中SEF为表面扩张系数(surface enlargement factor);N为取样组织块上乳突的数量(number of papillae);SA为乳突的平均表面积(surface area);BS为乳突基面积(base surface)。

受乳突大小和密度的影响,SEF的大小不但与动

物种类、年龄、性别有关,而且食物质量、瘤胃内微生物的活动性状及瘤胃内容物挥发性脂肪酸的含量对其也有较大的影响^[19,20]。因此利用表面扩张系数法评价反刍动物营养状况时,还应结合动物食性及食物质量进行综合评价。此外,每个乳突形态测量精度也是提高表面扩张系数法准确性的关键所在,应用先进的生物技术如电镜显微扫描技术等^[19],可极大地提高其估算精度。这种评价方法需要猎杀动物,因此不适用种群数量较少的或珍贵的物种。

2 脂肪指数评价法

脂肪指数是应用得较多的评价动物营养状况的方法。目前应用较多的主要是 Kistner 分值法、测量动物体脂肪含量法、肾脂肪指数法和骨髓脂肪指数法四种方法。

2.1 Kistner 分值法 Kistner 分值法是 Kistner^[5]提出的一种根据动物解剖后内脏和皮下脂肪沉积的状况而对动物营养状况作出综合评价的一种量化指标。观察部位包括:心脏、心包、肠系膜、肾脏、臀部(包括尾根部)和胸部皮下脂肪的沉积状况,记分标准与 Gerhardt 触摸法^[10]相似,根据动物体型大小,一般分 0, 5, 10, 15 四个得分值,对不同的观察部位根据脂肪沉积状况分别评分,再将 6 个观察部位的分值求和,便得到动物营养状况总的分值。营养状况的评价标准为:当总分为 0~10 时,说明动物处于营养缺乏状态;总分为 11~40 时,动物处于营养不良状态;总分为 41~70 时,动物处于正常营养状态;总分为 71~80 时,动物处于营养良好状态;总分为 81~95 时,动物处于最佳营养状态。

Cook 等^[11]认为在野外工作中,由于测量肠系膜和皮下脂肪的沉积状况的工作量较大,而且分值估计的误差也大,因此对 Kistner 分值法进行了调整,即仅对心脏、心包和肾脏三个脏器处脂肪沉积状况进行评分,并通过数学模型分别与体脂肪含量和其它几种血液生化指标评价方法进行比较,得到了良好的线性关系。

Kistner 分值法^[5]主要是通过可视脂肪的沉积状况对动物营养状况作出评价,在对黑尾鹿(*Odocoileus hemionus*)^[5]、白尾鹿(*O. virginianus* subsp.)^[5]、驼鹿^[11]、马鹿(*Cervus elaphus*)^[21]等鹿科动物野生种群的营养状况评价中得到了较好的应用。而当动物营养缺乏或可视脂肪消耗殆尽的情况下,利用 Kistner 分值法将产生较大的误差。在此情况下,通常采用其它脂肪指数法判定动物的营养状况。

2.2 测量体脂肪含量法 测量体脂肪含量法是通过化学分析方法分析动物整体的脂肪含量,从而对动物营

养状况作出的评价。由于体脂肪的含量不仅包括可视脂肪,而且也包括肌肉细胞内和细胞间的脂肪以及血液、骨髓中脂肪的含量,所以测量体脂肪含量能够完全地反映动物营养状况^[22-24]。在实践中,还可利用现代生化技术同时对样品进行其它生理指标分析,如测定机体水分含量、粗蛋白含量、矿物质含量、微量元素含量及能值等。这些生理指标可以直观全面地反映动物身体的营养状况,提高有蹄类动物营养状况评价的灵敏性和可靠性。但对于大型有蹄类动物,该方法不但价格昂贵,而且分析过程繁琐,不利于对动物营养状况作出即时的判断。因此,该方法作为其它方法的校正实验研究^[11,22,25]。

2.3 肾脂肪指数法 肾脂肪指数(kidney fat index,简称 KFI)是一种广泛应用于有蹄类动物种群营养状况评价研究^[3,26-29]。其计算公式为:KFI = (肾脂肪重量 ÷ 肾重) × 100%。

肾脂肪指数法根据肾脂肪取样部位的不同又分为中心肾脂肪指数(kidney midline fat index, KMFI)和全肾脂肪指数(whole kidney fat index, WKFI)二种评价指数。前者指分别切除双肾两端的脂肪,仅保留包裹肾脏中间的脂肪作为肾脂肪重量来计算的 KFI 值;后者系指包裹肾脏的所有脂肪重量占肾脏重量的百分比。由于 WKFI 值是把包围肾周围所有的脂肪重量作为估计个体营养状况的参数,而 KMFI 值则是把位于肾中间部位的脂肪重量作为估计个体营养状况的参数,对于同一个体来说,在动物营养状况良好的条件下,利用 WKFI 值作为评价动物营养状况指数更具有代表性^[30]。在营养被大量消耗的状况下,由于 WKFI 值的脂肪重量中包含着曾包裹脂肪、后脂肪被消耗而留下的大量结缔组织,致使 WKFI 值往往高估了动物的营养状况,产生较大的误差,因而,在此情况下利用 KMFI 值更能准确地反映出动物的营养状况^[31]。

由于有些鹿科动物肾脏重量存在着明显的季节性变化^[32,33],而这种变化往往影响了肾脂肪指数对不同季节条件下动物营养状况评价的准确性。因此,该方法不适用于那些肾脏重量有季节性变化的有蹄类动物,如北美驯鹿(*Rangifer tarandus*)^[32,34]、黑尾鹿^[33]、梅花鹿(*Cervus nippon*)^[35]等。对那些肾脏重量季节性变化不明显的有蹄类动物,或比较同一季节不同年份间动物的营养状况时,肾脂肪指数是可靠的指标之一^[30,36]。

2.4 骨髓脂肪指数法 骨髓脂肪指数法(marrow fat index,简称 MFI)是通过分析动物骨髓中脂肪含量的时空变化,评价动物的营养状况^[37-39]。取样部位一般为骨髓含量较大的股骨和下颌骨,不过,也有的取掌骨和胫

腓骨的骨髓作为分析样品。在野外,还可根据骨髓的颜色和物理形态对其脂肪含量做出初步估计^[37],①白色、固态蜡状:骨髓脂肪含量约85%~98%,营养正常;②白色或粉红色、不透明呈凝胶状:骨髓脂肪含量约15%~85%,机体已耗尽所贮存的脂肪;③黄色、半透明或透明凝胶状:脂肪含量<15%,动物处于营养极度贫瘠。不过,采用实验室脂肪化学提取法可以克服视觉估计的误差,提高精度,如索氏抽提法、烘干法^[38,39]、试剂干燥法^[37]、压缩法^[40]和醚萃取法^[37]等。

研究认为当动物已处于营养贫瘠期时,才开始消耗作为最后能量库的骨髓脂肪^[40]。因此,在野外研究中,骨髓脂肪指数法一般仅作为评价有蹄类动物营养已处于贫瘠状况下的参考指数,而不能作为判断动物营养状态的独立指标,只有与其它评价方法如肾脂肪法相结合,才能对动物的营养状况做出全面的评价。

3 血液生理生化指标参数法

该方法是通过测定和分析血液中相关生理生化指标,对被检验动物的营养状况做出评价。分析的主要指标有:尿素氮^[41](urea nitrogen, UN)、肌酐酐^[1,41](creatinine, C)、葡萄糖^[11,42](glucose)、类胰岛素生长因子-1^[43](insulin-like growth factor-1)、三碘甲状腺氨酸^[42](tri-iodothyronine, T₃)、甲状腺素^[45](thyroxine, T₄)等,另外还有其它生理检测指标如白蛋白(albumin)、总蛋白质含量(total protein)、转氨酶类(aminotransterase)、矿物质(mineral,如Ca、Na、K等)等。

值得注意的是UN作为食物中蛋白质和动物机体内源性蛋白质代谢后的最终产物,在营养不良的初期,血液中UN的含量随动物营养状况的不良而下降,当动物营养极度不良后,由于消耗大量机体内源性蛋白质而使UN含量又呈上升状态,因此,在有的研究中常把UN:C的比率作为评价有蹄类动物营养状况的一项生理指标^[1,41],以校正因检测单项UN值而产生的错误判断。血液中葡萄糖是动物能量代谢的重要生理指标,但动物血液中UN和葡萄糖的含量受动物在短期内摄入的食物质量影响较大^[1,11],因此在利用血液葡萄糖含量指标监测动物营养状况时,必须了解采样前动物食物营养质量,这在野外很难做到。因此,有的研究者使用类胰岛素生长因子-1、T₃、T₄作为评价野生有蹄类动物营养状况的生理指标因子。

类胰岛素生长因子-1是一种多肽结构的胰岛素原,与许多生物过程诸如分娩、产后恢复、泌乳以及免疫功能等有关。已有研究证实类胰岛素生长因子-1的含量与有蹄类动物不同时期体重变化和营养状态有明

显的相关性^[43],并与体脂肪含量(Y)呈明显的幂函数关系 $[Y = a(1 - e^{-bx})]$, a 、 b 为常数^[11],因此,其含量的变化能准确反映机体的营养状况。T₃、T₄对于动物的新陈代谢、生长和产热至关重要。一般来说,T₃含量的变化对机体的新陈代谢反应更为灵敏,并与短期内食物的质量的变化有关^[44];T₄能反映动物长期生长状况及产热机制,可评价动物身体组成和重量的变化^[45]。许多研究工作都同时测定T₃、T₄的含量,并将此作为评价有蹄类动物营养状况的综合指标^[1,11,45]。

该方法的主要优点是仅抽取少量活体的血液作为分析样品,对资源的破坏性小,分析的指标能全面、准确地反映机体的生理代谢和体况特征,因此,可适用于我国半散放(相对容易采样)珍贵野生有蹄类动物的营养状况评价。

4 雪尿生理指标参数法

这是一种在尿氮化学分析的基础上发展起来的评价有蹄类动物营养状况的方法。该方法主要基于有蹄类动物尿液中尿素氮(UN)含量与体内蛋白质代谢存在的相关性关系,并结合其它生理指标(如肌酐酸含量、K、Na含量等)对有蹄类动物冬季营养体况和越冬能力来进行评价^[1,41,42,46-65]。

雪尿的收集是跟踪雪地动物新鲜足迹链,发现动物排尿的现场后采集雪尿样品。样品必需在动物排尿后72h内采集,否则将影响分析结果^[41]。采集雪尿时,应取尿迹中部最浓的部分,尿样需立即密封,冷冻,避免人为污染。为避免重复取样,一条足迹链只收集1~2个样品。在最初的研究中,一般只分析尿样中尿素氮或肌酐酸的含量以及尿素氮和肌酐酸含量的比率(UN:C)^[41,42,46-49],但尿液中UN的含量和血液中UN一样,受机体能量代谢和肾脏平衡功能的影响较大,加之在野外收集尿样时很难发现动物实体,缺乏获得其它参照指标的条件,因此,可能出现对尿样中高UN含量难以作出判断的现象。已有研究者对该方法的稳定性和可靠性提出异议^[11,50]。食物中K、Na含量与尿样中K、Na的含量关系密切,如果以尿样中K、Na的含量作为参照指标,可避免对野外尿液中高UN含量的判断错误。我国北方地区是有蹄类动物的主要分布区之一,其资源量却在不断地减少,如何科学地评价有蹄类动物营养状况将是保护和管理现有种群的主要前提之一,而利用北方地区冬季覆雪期较长这一特点,在不断改进生化分析技术的前提下,应用雪尿生理指标参数这一非干扰性取样方法评价北方有蹄类动物冬季营养状况将有广泛的应用前景。

5 结 语

正确地评价动物营养状态是预测繁殖率、存活率、生产力和估计营养容纳量的前提,也是野生动物管理的基础。虽然,目前用于估计有蹄类动物营养状态的方法很多,但是这些方法均受到某些因素的制约,因此其适用范围受到限制。形态特征评价法中的体形外貌特征法、体况分值评价法和雪尿法等三种方法,因不需要使用仪器和捕捉动物,故适用于种群数量少、且分布在交通不便的山区的珍稀濒危物种;体重法和血液生理生化指标参数法均要求捕捉到动物称量体重或采取血液样本,因此需要配置捕捉工具、便于携带的称量器具、采血和保存血液样品的工具和仪器,不仅增加了野外工作的费用,而且也增加了许多工作量,在野外实施有一定的困难;瘤胃粘膜表面扩张系数法和脂肪指数评价法中介绍的几种方法均以动物的肌体组织作为实验分析材料,需要杀死动物,因此,这些方法只能用于种群数量比较大、可以进行猎杀的资源性动物的研究中。在实践中,研究者需要根据研究目的、经费、工作条件等情况选择一种或几种适宜的研究方法,并结合栖息地方面的其它信息对研究对象的营养状况做出正确的评价。近十几年来,随着野生有蹄类动物资源的不断减少,进行传统的大规模破坏性取样的工作方法已经逐渐被放弃,越来越多的研究者开始倾向于采用非破坏性取样方法来评价有蹄类动物的营养状态。随着现代生物技术在该领域的进一步应用,非破坏性取样方法的适用范围会不断扩展,其可靠性也会不断提高。因此,从野生动物资源的保护和科学管理的角度看,后者将是今后该领域发展的趋势。

致谢 徐艳春博士、杨淑慧女士帮助查询部分资料,特致以谢忱。

参 考 文 献

- [1] Delgiudice G D, Moen R A, Singer F J. Winter nutritional restriction and simulated body condition of Yellowstone elk and bison before and after the fires of 1988. *Wildl Monogr*, 2001, 147(1): 1~60.
- [2] Martinez A, Hewitt D G. Nutritional condition of white-tailed deer in northern Mexico. *Wildl Soc Bull*, 1999, 27(3): 543~546.
- [3] 李俊生,吴建平,姜兆文. 呼伦贝尔草原黄羊体况的初步评价. *兽类学报*, 2001, 21(2): 81~87.
- [4] Li W J, Hofmann R R. Stomach wall samples as indicators of nutritional status in Chinese and European roe deer (*Capreolus capreolus*). *动物学报*, 1991, 37(2): 193~197.
- [5] Kistner T P, Trainer C E, Hartmann N A. A field technique for evaluating physical condition of deer. *Wildl Soc Bull*, 1980, 8(1): 11~17.
- [6] Cook J G, Quinian L J, Irwin L L, et al. Nutrition-growth relations of elk calves during late summer and fall. *J Wildl Manage*, 1996, 60(2): 528~541.
- [7] DelGiudice G D, Mech L D, Kunkei K E, et al. Seasonal patterns of weight, hematology, and serum characteristics of free-ranging female white-tailed deer in Minnesota. *Can J Zool*, 1992, 70(4): 974~983.
- [8] Cameron R D, Smith W T, Fancy S G, et al. Calving success of female caribou in relation to body weight. *Can J Zool*, 1993, 71(3): 480~486.
- [9] Cederlund G N, Sand H K G, Pehrson A. Body mass dynamics of moose calves in relation to winter severity. *J Wildl Manage*, 1991, 55(3): 675~681.
- [10] Gerhardt K L, White P J, Cameron R E, et al. Estimating fat content of caribou from body condition scores. *J Wildl Manage*, 1996, 60(4): 713~718.
- [11] Cook R C, Cook J G, Murray D L, et al. Development of predictive models of nutritional condition for rocky mountain elk. *J Wildl Manage*, 2001, 65(4): 973~987.
- [12] Edmonson A J, Lean I J, Weaver L D, et al. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J Dairy Sci*, 1989, 72(1): 68~78.
- [13] Bullock K D, Bertrand J K, Benyshek L L, et al. Comparison of real-time ultrasound and other live measures to carcass measures as predictors of beef cow energy stores. *J Animal Sci*, 1991, 69(11): 3908~3916.
- [14] Stephenson T R, Hundertmark K J, Schwartz C C, et al. Predicting body fat and body mass in moose with ultrasonography. *Can J Zool*, 1998, 76(4): 717~722.
- [15] Hofmann R R. The ruminant stomach. Stomach structure and feeding habits of East African game ruminants. *East Afr Monogr Biol*, 1973, 2: 1~354.
- [16] Josefson T D, Aagnes T H, Mathiesen S D. Influence of diet on the morphology of the ruminal papillae in reindeer calves (*Rangifer tarandus tarandus* L.). *Rangifer*, 1996, 16(2): 119~128.
- [17] Hofmann R R, Kock R A, Ludwig J, et al. Seasonal changes in rumen papillary development and body condition in free ranging Chinese water deer (*Hydropotes inermis*). *J Zool Lond*, 1988, 216(1): 103~117.
- [18] Hofmann R R, Nygreen K. Ruminal mucosa as indicator of nutritional status in wild and captive moose. *Alces*, 1992, 1(suppl.): 77~83.

- [19] Soveri T, Nieminen M. Effects of winter on the papillar morphology of the rumen in reindeer calves. *Can J Zool*, 1995, 73 (2): 228 ~ 233.
- [20] Mathiesen S D, Haga Q E, Kaino T, et al. Diet composition, rumen papillation and maintenance of carcass mass in female Norwegian reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in winter. *J Zool Lond*, 2000, 251 (1): 129 ~ 138.
- [21] Dzieciolowski R, Babinska-Werka J, Wasilewski M, et al. Physical condition of red deer in a high density population. *Acta Theriologica*, 1996, 41 (1): 93 ~ 105.
- [22] Torbit S C, Caroenter L H, Bartmann R M, et al. Calibration of carcass fat indices in wintering mule deer. *J Wildl Manage*, 1988, 52 (4): 582 ~ 588.
- [23] Watkins B E, Witham J H, Ulirey D E, et al. Body composition and condition evaluation of white-tailed deer fawns. *J Wildl Manage*, 1991, 55 (1): 39 ~ 51.
- [24] Holand O. Seasonal variation in body composition of European roe deer. *Can J Zool*, 1992, 70 (3): 502 ~ 504.
- [25] Adamczewski J Z, Flood P F, Gunn A. Body composition of muskoxen (*Ovibos moschatus*) and its estimation from condition index and mass measurements. *Can J Zool*, 1995, 73 (4): 2021 ~ 2034.
- [26] Finger S E, Brisbin L, Smith M H. Kidney fat as a predictor of body condition in white-tailed deer. *J Wildl Manage*, 1981, 45 (4): 964 ~ 968.
- [27] Johns P E, Smith M H, Chesser R K. Annual cycles of the kidney fat index in a southeastern white-tailed deer herd. *J Wildl Manage*, 1984, 48 (3): 969 ~ 973.
- [28] Van Rooyen A F. Variation in body condition of impala and nyala in relation to social status and reproduction. *S Afr J Wildl Res*, 1993, 23 (2): 36 ~ 38.
- [29] Perez-Barberia F J, Mutuberria G, Nores C. Reproductive parameters, kidney fat index, and grazing activity relationships between the sexes in Cantabrian chamois *Rupicapra pyrenaica parva*. *Acta Theriologica*, 1998, 43 (3): 311 ~ 324.
- [30] Holand Q. Fat indices versus ingesta-free body fat in European roe deer. *J Wildl Manage*, 1992, 56 (2): 241 ~ 245.
- [31] Greson J E, Purchas R W. The carcass composition of male fallow deer. *J Wildl Manage*, 1985, 49 (3): 865 ~ 870.
- [32] Dauphine T C Jr. Kidney weight fluctuations affecting the kidney fat index in caribou. *J Wildl Manage*, 1975, 39 (2): 379 ~ 386.
- [33] Anderson A E, Bowden D C, Medin D E. Indexing the annual fat cycle in a mule deer population. *J Wildl Manage*, 1990, 54 (3): 579 ~ 594.
- [34] Chan-Meleod A C A, White R G, et al. Body mass and composition indices for female barren-ground caribou. *J Wildl Manage*, 1995, 59 (2): 278 ~ 291.
- [35] Yokoyama M, Onuma M, Suzuki M, et al. Seasonal fluctuations of body condition in northern sika deer on Hokkaido Island, Japan. *Acta Theriologica*, 2001, 46 (4): 419 ~ 428.
- [36] Hewison A J M, Angibault J M, Boutin J, et al. Annual variation in body composition of roe deer (*Capreolus capreolus*) in moderate environmental condition. *Can J Zool*, 1996, 74 (2): 245 ~ 253.
- [37] Peterson R O, Allen D L, Dietz J M. Depletion of bone marrow fat in moose and a correction for dehydration. *J Wildl Manage*, 1982, 46 (2): 547 ~ 551.
- [38] Cederlund G N, Bergstrom R J, Stalfelt, F V, et al. Variability in mandible marrow fat in 3 moose populations in Sweden. *J Wildl Manage*, 1986, 50 (4): 719 ~ 726.
- [39] Gallivan G J, Culverwell J, Girdwood R. Body condition indices of impala *Aepyceros melampus*: effect of age class, sex, season and management. *S Afr J Wildl Res*, 1995, 25 (1): 23 ~ 32.
- [40] Mech L D, Delgiudice G D. Limitations of the marrow-fat technique as an indicator of body condition. *Wildl Soc Bull*, 1985, 13 (2): 204 ~ 206.
- [41] DelGiudice G D, Seal U S. Classifying winter undernutrition in deer via serum and urinary urea nitrogen. *Wildl Soci Bull*, 1988, 16 (1): 27 ~ 32.
- [42] DelGiudice G D, Mech L D, Seal U S. Winter undernutrition and serum and urinary urea nitrogen of white-tailed deer. *J Wildl Manage*, 1994, 58 (2): 539 ~ 550.
- [43] Adam C L, Kyle C E, Young P, et al. Effect of nutritional growth restriction on timing of reproductive development and plasma concentrations of insulin-like growth factor-I and growth hormone in male red deer (*Cervus elaphus*) reared in constant photoperiod. *Animal Sci*, 1995, 61 (1): 155 ~ 160.
- [44] Bahnak B R, Holiand J C, Verme L J, et al. Seasonal and nutritional influences on growth hormone and thyroid activity in white-tailed deer. *J Wildl Manage*, 1981, 45 (1): 140 ~ 147.
- [45] Brown R D, Hellgren E C, Abbott M, et al. Effects of dietary energy and protein restriction on nutritional indices of female white-tailed deer. *J Wildl Manage*, 1995, 59 (3): 595 ~ 609.
- [46] Vagnoni D R, Carrott R A, Cook J, et al. Relationship between urinary allantoin: creatinine ratios and digestible dry matter intake in captive elk. *J Wildl Manage*, 1996, 60 (4): 728 ~ 734.
- [47] DelGiudice G D, Mech L D, Seal U S. Physiological assessment of deer populations by analysis of urine in snow. *J Wildl Manage*, 1989, 53 (2): 284 ~ 291.

-
- [48] DelGiudice G D, Seal U S, Mech L D. Indicators of severe undernutrition in urine of free-ranging elk during winter. *Wildl Soc Bull*, 1991, 19 (1): 106 ~ 110.
- [49] Larter N C, Nagy J A. Overwinter changes in the urine chemistry of muskoxen from Banks Island. *J Wildl Manage*, 2001, 65 (2): 226 ~ 234.
- [50] Saltz D, White G C, Bartmann R M. Assessing animal condition, nutrition, and stress from urine in snow. *Wildl Soc Bull*, 1995, 23 (4): 694 ~ 704.