

有蹄类食性研究方法及其研究进展

郑荣泉, 鲍毅新*

(浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要:国内外有蹄类食性的研究方法主要有直接观察法、利用法、胃分析法和粪便显微分析法。近年来,粪样 DNA 分析技术逐渐运用到对动物食性的判定上,其中粪便显微分析法是近 20 年来国内研究有蹄类食性的最主要方法。对这些方法的优势和局限性进行了评价,并简述了国内外有蹄类食性研究进展和发展趋势。

关键词:有蹄类; 食性; 研究方法

Study methods and procedures for ungulate food habits

ZHENG Rong-Quan, BAO Yi-Xin* (College of Chemistry and Life Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1532~1539.

Abstract: The diet composition of Ungulates can be examined in a variety of ways: direct observation of the animals, utilization method, analysis of the rumen content, fecal analysis or fecal DNA analysis. All methods are likely to yield some valuable information, but they also each have their theoretical and practical benefits and drawbacks.

Direct observation of the animals is a simple and inexpensive method to determine which plants are important in the diet composition, but it is difficult with shy animals or in unsurveyable terrain, without the use of special equipment. The utilization method provides little disturbance for the animals, but it is difficult to distinguish between related species. Furthermore, feeding traces can not be recognized for all plants and they quickly disappear during the growing season. Before the 1970 s, analysis of rumen contents was the most common method for studying food habits. However, this method requires a good knowledge of plant morphology and anatomy in order to recognize different plant species in the rumen content. Because the same population of herbivores can be continuously sampled without direct interference and no animals need to be killed, the fecal analysis method is regarded as the only way that the food habits of protected animals can be examined. Basically, this method is used to quantify the proportions of different epidermal fragments in faeces, count the number of fragments, and estimate or measure the surface areas of fragments. Fecal DNA analysis is a new technique in presently which animal DNA is extracted from the feces. The technique is presently used to determine food habits.

Key words: ungulata; food habits; study method

文章编号: 1000-0933(2004)07-1532-08 中图分类号: Q958 文献标识码: A

动物的食性分析是研究动物生境需求的核心内容,有蹄类动物食性的研究是一项基础生态学研究,它可以对栖息地评价、容纳量估计、能量代谢以及种间关系等研究提供有价值的基础资料,同时也为有蹄类动物尤其是濒危动物的异地保护、人工养殖和资源管理提供理论依据。有蹄类食性研究方法的精确性直接关系到该类动物资源科学管理的水平。

国外,研究者对有蹄类鹿科动物狍 *Capreolus capreolus*^[1]、黑尾鹿 *Odocoileus hemionus*^[2]、马鹿 *Cervus elaphus*^[3,4]、白尾鹿 *Odocoileus virginianus*^[5~8]、梅花鹿 *Cervus nippon*^[9,10]、麋鹿 *Elaphurus davidianus*^[11] 和小鹿 *Dama dama*^[3] 等的食性进行了研究。我国有蹄类动物的种类很多,尤其是鹿科动物,中国是世界上鹿科动物资源最丰富的国家之一,拥有 16 种(或 17 种)鹿科动

基金项目: 国际野生生物保护学会(WCS)资助项目

收稿日期: 2003-09-12; 修订日期: 2004-04-25

作者简介: 郑荣泉(1969~),男,硕士,副教授,主要从事动物生理生态学研究。E-mail: sky92@mail.zjnu.net.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: sky90@mail.zjnu.net.cn

Foundation item: Project of the Wildlife Conservation Society

Received date: 2003-09-12; Accepted date: 2004-04-25

Biography: ZHENG Rong-Quan, Master, Associate professor, mainly engaged in animal ecology. E-mail: sky92@mail.zjnu.net.cn

物、4 种麝。国内,有关有蹄类食性的主要研究报道见表 1。

表 1 国内有蹄类食性的主要研究报道
Table 1 Summary of the literature on the food habit of Ungulata in China

作者 Author	研究时间 Research time	研究方法 Research method	研究对象 Research objects
郑生武等 ^[12]	1979	直接观察法 Direct observation	马麝 <i>Moschus chrysogaster</i>
欧善华等 ^[13]	1981	胃分析法 Analysis of the rumen content	黑麝 <i>Muntiacus crinifrons</i>
袁喜才 ^[14]	1983	直接观察法 Direct observation	水鹿 <i>Cervus unicolor kerr</i>
胥明肃 ^[15]	1983	直接观察法 Direct observation	白臀鹿 <i>Cervus elaphus kansuensis</i>
陈化鹏等 ^[16]	1989	粪便分析法、啃食调查 Fecal analysis and analysis of feeding traces	马鹿 <i>Cervus elaphus</i>
李继承等 ^[17]	1989	胃分析法 Analysis of the rumen content	马鹿 <i>Cervus elaphus</i>
徐学良 ^[18]	1989	胃分析法 Analysis of the rumen content	驼鹿 <i>Alces alces</i>
蔡桂全 ^[19]	1990	直接观察法 Direct observation	白唇鹿 <i>Cervus albirostris</i>
徐宏发等 ^[20]	1990	直接观察法 Direct observation	黄麝 <i>Muntiacus reevesi</i>
杨晶等 ^[21]	1990	直接观察法 Direct observation	梅花鹿南方亚种 <i>Cervus nippon kopschi</i>
聂绍荃等 ^[22]	1990	调查食痕、人工试喂 Analysis of feeding traces and feeding experiment	东北梅花鹿 <i>Cervus nippon mantchuricus</i>
韩建国等 ^[23]	1990	食道瘘管法、粪便分析法 Rumen or gullet fistulas and fecal analysis	绵羊 <i>Ovis aries</i>
袁喜才等 ^[24]	1990	直接观察法 Direct observation	海南坡鹿 <i>Cervus eldi hainanus</i>
吴名川等 ^[25]	1990	直接观察法 Direct observation	林麝 <i>Moschus berezovskii</i>
于孝臣等 ^[26,27]	1991,1992	粪便分析法、利用法 Fecal analysis method and utilization method	驼鹿 <i>Alces alces</i>
秦荣前 ^[28]	1991	直接观察法 Direct observation	东北梅花鹿 <i>Cervus nippon mantchuricus</i>
宋延龄 ^[29]	1992	利用法 Utilization method	海南坡鹿 <i>Cervus eldi hainanus</i>
梁凤锡 ^[30]	1992	直接观察法 Direct observation	原麝 <i>Moschus moschiferus</i>
郝映红等 ^[31]	1994	直接观察法 Direct observation	原麝 <i>Moshug moschiferus</i>
高中信等 ^[32]	1995	粪便分析法 Fecal analysis	黄羊 <i>Procapra gutturosa</i>
张莉等 ^[33]	1997	粪便分析法 Fecal analysis	野双峰驼 <i>Camelus bactrianusferus</i>
李迪强等 ^[34]	1999	粪便分析法 Fecal analysis	普氏原羚 <i>Procapra przewalskii</i>
曾志高等 ^[35]	2001	直接观察法 Direct observation	羚牛 <i>Budorcas taxicolor</i>
刘丙万等 ^[36]	2002	粪便分析法 Fecal analysis	普氏原羚 <i>Procapra przewalskii</i>

目前国内外有蹄类食性的研究通常主要用直接观察法、利用法、胃分析法和粪便显微分析法。随着分子生物学技术的发展,粪样 DNA 分析技术逐渐运用到对动物食性的判定上。这 5 种有蹄类食性研究方法各有优势和局限,尚无一种绝对精确的方法。本文就有蹄类 5 种食性研究方法进行概述、评价,同时简述国内外有蹄类食性研究的进展和发展趋势。

1 食性研究方法概述

1.1 直接观察法(Direct observation method)

早期的直接观察法是隔一定距离观察有蹄类取食的植物种类,记录取食每种植物的时间来确定食物组成^[37]。由于研究者很难接近野生有蹄类,在野外也受地形、仪器设备等因素的影响,对于一些稀少动物很难直接观察到。因而目前已多使用从小驯养的动物个体,任其自由取食,临近观察和记录取食的植物种类和次数,并通过模拟动物采食行为和采食速度,采集植物样品来估计每次取食的重量,以此确定食物组成。当提供给驯养动物或野外猎捕动物一定量和一定种类的植物时,根据剩余植物的质量和种类,可以确定食物的组成,该法常称为人工试喂法。

1.2 利用法(Utilization method)

取食地点检查法^[38]和啃食调查法^[39]是利用法最常用的食性调查方法。取食地点检查法是通过野外观察,确定有蹄类的取食地点,以样方或样带的形式对动物采食枝条或草本植物的次数或咬数(bites)进行统计,以此来判定动物的食物组成。啃食调查法主要通过跟踪动物新留下的足迹链来统计动物啃食的枝条数,确定取食各种植物的比例。在冬季,容易辨别动物的足迹链,故该法多用于调查动物的冬季食性。

1.3 胃分析法(Analysis of the rumen content)

胃分析法是确定有蹄类食性的经典方法,在 20 世纪 70 年代以前,动物的食性研究主要以该法为主。胃样主要通过狩猎、意外死亡或病、冻死的动物获取,它的主要步骤包括取样、冲洗筛选、鉴别分类和结果的定量^[40]。取样大小通常为一个胃容物的四

分之一或为 1 L。所用筛子的网眼大小以研究对象而定。可辨认的样本材料经鉴定分类后干燥称重或测量体积,基于胃容物中可辨认部分,分析结果以体积百分比或干重百分比表示。另一种数据可通过计算某种植物在所有样本胃出现的频率,通过以上两种数据,可以区别偶吃但一次进食量大的植物和经常进食但每次进食较少的植物。通过一定的外科手术,获取动物胃内容物,用于分析动物的食性,该法也称食道瘘管法。

1.4 粪便显微分析法(Fecal microscopic analysis method)

粪便显微分析法是一种使用显微组织学技术来分析动物的粪便以确定食物组成的方法,该法在 20 世纪 30 年代末首先提出,其基本原理是植物角质层留有表皮细胞的印迹。角质碎片通过动物消化道后除大小变化外,仍具有原表皮细胞的模式结构。植物各科、属,甚至种的表皮细胞结构各具特点,因此根据粪便中未被消化的角质碎片的细胞结构,可鉴定动物取食的植物种类。基本步骤为:

- (1)粪样的收集和制片 粪样的收集方式有 2 种,一是由一堆粪取几粒(如鹿粪等)或部分(如牛粪等)构成一个粪便显微分析样本;另一种是由每堆粪取 1 至几粒或一小部分,混合均匀而构成一个复合粪便样本。食性研究中经常采用后一种收集粪样的方式。粪样的制片技术很多,现多用 Hertwig 溶液^[41]、浓硝酸^[42]和浓硝酸与铬酸混合液^[43]处理粪样。
- (2)参照植物的收集和制片 参照植物的收集根据研究动物的相关文献,并结合当地护林员和老猎户的经验,采集动物取食范围内可能为其采食的所有植物。参照植物的制片方式应与粪样保持一致。
- (3)粪样显微片的镜检 现有镜检方法包括频率转换法^[44]、直接计数法、面积法、点样方法^[45]和截线法^[46]。其中以频率转换法最节省时间,点样方法最精确。

1.5 粪便 DNA 分析技术

粪便 DNA 分析技术以动物粪便为实验材料,应用分子生物学手段研究动物的 DNA,从而获得动物有关的遗传信息,是一项新发展起来的分子生态学技术。Hoss 等^[47]第一次从熊的粪便中获得 DNA,标志着粪便 DNA 分析技术的建立。粪便 DNA 分析技术除了应用在野生动物物种的判定^[48]、个体识别^[49]、数量调查^[48]、性别判定^[49,50]、行为生态学、遗传多样性、系统地理学和活动范围外^[51],还应用在对动物食性的判定上^[47,49]。

粪便 DNA 分析技术首先对动物粪便中 DNA 进行提取,从粪便中获得的 DNA 是多种 DNA 的混合物,包括粪便产生者的 DNA、食物中的 DNA 以及各种微生物 DNA。只要使用特异的引物,利用 PCR 技术即可扩增某一特异片段并进行分析,从而准确地判定动物的食物组成^[52,53]。Hoss 等^[47]报道了用野外收集的欧洲棕熊粪便研究了这种稀有但分布广泛的动物,用特异于叶绿体 DNA *rbcl* 基因的引物扩增出 356 bp 的产物,经比较确认为石楠属(*Photinia*) 叶绿体 DNA 的部分序列。因此,研究者认为,在棕熊分布区,石楠属的代表种 *P. villosa* 为其食物的主要组成部分。1997 年 Reed^[50]为了研究海豹和肉食性鱼类对食物的竞争情况,在利用传统方法失败的情况下,利用 PCR 技术研究了海豹食物的种类和性别。

2 食性研究方法评价

2.1 直接观察法的评价

直接观察法的优点是与胃分析法和粪便显微分析法相比,直接观察动物确定食物组成的方法不受动物对植物不同消化问题的影响,而被认为是唯一经得起实践检验的食性研究方法^[54],在有蹄类食性研究中的应用日趋增多,Gill^[55]和 Monro^[56]也认为这种方法比粪便显微分析法更精确。另外,该法由于直接观察到动物本身,因而能获取关于该动物的其他信息。但该法的重要限制在于:①在野外,直接观察野生动物比较困难,尤其是对于一些濒危动物观察到一定数量的样本动物更难,否则结果就不一定可靠。而且,直接观察动物取食受地形和距离的制约,Wallmo^[57]的研究发现,观察者距离鹿科动物 23m 以内的时候,才能准确辨别 80% 以上动物正在取食的植物种类。②如果直接观察驯养动物的个体,一个重要前提是假设驯养动物的食性和野生个体的食性相同,但经过长期的人工喂饲,驯养动物的食性发生了变化。研究中使用的驯养动物数量很少(最多不超过 5 头),其取食范围又仅限于野生个体生境中的一小部分,取食时间也受限制,个体间的取食行为存在差异^[40],因而,这些小样本的分析结果能否代表所研究的野生种群更值得怀疑。另外,动物的驯养和研究中动物的转运将耗费巨大的人力和物力。

2.2 利用法的评价

利用法虽然对研究动物不造成任何伤害,但存在一些明显的缺点,在运用取食地点检查法时,样方或样线的设置很难做到与植物的分布和动物的取食方式保持一致。如动物非常喜食呈簇状分布的某种植物,显然,均匀设置的样方将低估动物对该种植物的取食利用。其次,当几种相近的有蹄类同时利用一个取食地点时,它们的啃食痕迹很难区别,其结果误差极大。在植物的生长季节,啃食痕迹也很容易消失。另外,Maillard^[58]的研究认为,该法无法确定动物取食菌类和植物果实的种类和组成。因此,利用法现已很少单独使用,多被用来调查有蹄类对植物群落的利用和对森林的危害或在食性研究中作为辅助研究手段。

2.3 胃分析法的依据

胃分析法是确定食草动物食性的经典方法,主要步骤包括取样、冲洗筛选、鉴别分类和结果的定量分析。20 世纪 70 年代

末,欧善华等^[2]采用胃分析法对黑麂食性进行过研究。具体方法为:分析前先每只胃进行编号,然后把胃内的食物,置于容器内,用水反复冲洗,除去大量糊状物及细小的枝叶碎屑和叶脉,拣出已被嚼破而未被消化掉的破损叶片和果实、种子。把上述材料全部弄干,制成腊叶标本,并将同一号胃内的标本固定于编上同号的台纸上,然后对上述材料,逐一进行植物种的鉴定。鉴定完毕后,将所有被鉴定的种,仍按胃的编号分别进行统计,计算每一胃内出现植物的种数,以及同一种植物在所有胃中出现的频次。但如今野生动物尤其是濒危动物数量稀少,绝对不能用猎杀来获取胃样本,即便在野外偶有发现病、冻死的标本,但因其数量有限,且材料一般不好,而无法保证分析的精确性。

胃分析法是基于可辨认植物部分(可辨认的胃容物和角质表皮碎片)来确定其食物组成。由于动物对不同植物或同种植物不同部位的消化率不同各种植物碎片的鉴别特征间的差异,使不同植物种间的可辨认部分与不可辨认部分的比例变化很大,导致估计结果出现误差。在粪便显微分析法中,已提出了许多修正因子能在很大程度上减小这种误差,而在胃分析法中,这种误差很难修正。胃分析法和粪便显微分析法也存在植物碎片的辨认问题,这个问题在胃分析法中表现得更为严重。虽然消化对粪样材料的影响要比对胃样材料更为严重,但消化并不破坏粪便中角质表皮碎片的结构,对碎片的辨认并无影响;而胃容器中的大部分,由于消化的作用呈糊状,很难用肉眼辨认。与粪便显微分析法相比,胃分析法所需的样本要大 2~5 倍,因为一个胃样仅代表在一个很短时间内所取的食物,要保证分析的精确性,则需要更多的样本。但不可否认,胃分析法也有其可取之处,欧善华等用该方法检测出黑麂食物中包含 2 种伞菌目植物,而用粪便显微分析法是很难甚至不可能检测出真菌类植物。

2.4 粪便显微分析法的评价

自 20 世纪 70 年代,粪便显微分析法一直是研究野生动物食物组成的主要方法^[59~61],该法以其易于取样和对动物干扰小的优点,在食草动物食性研究中得到广泛的应用,该法也是唯一能被用来确定珍稀和濒危动物食性的技术^[62]。

粪便显微分析法和胃分析法存在同样一个问题,即它们都是基于可辨认植物部分(可辨认的胃容物和角质表皮碎片)来确定其食物组成。粪便显微分析法是基于粪便中可辨认植物碎片来确定食物的组成,因此它有如下前提:①每种植物的每克碎片数和粉碎、筛选后的碎片大小的分布应是一样的;②每种植物的角质碎片有同等的辨认率;③动物对每种植物的消化率应是相同。若上述前提之一或全部不能成立,粪便显微分析结果将出现误差。但在实际研究中上述的假设是不可能全部实现,上述问题的中心是植物消化率的种间差异,不同植物种的角质碎片的不同辨认率和不同碎裂程度都与此有关。在食性的研究中,粪便显微分析法的主要目的是检验显微组织学技术能否定性、定量地确定粪便中的食物组成,而不是检验植物在通过动物消化道的过程中各种植物表皮碎片的相对数量是否减少。

Warren^[63]的研究认为,粪便分析法在研究动物的食性时,往往要高估禾本草本植物、乔木和灌木,而低估非禾本草本植物在食物中的含量。

为了让实验结果更客观的反映动物的食物组成和喜好程度,许多研究者提出了修正因子来减少由于消化作用使分析结果产生的误差。已提出的修正因子在一些研究中显著地提高了估计结果的准确性^[41,43]。但一些研究者怀疑修正因子的作用^[55,64],他们认为粪便显微分析的估计结果受到许多复杂因素的影响,很难获得一个包括各种影响因素在内的综合修正因子。那么修正因子在实际食性分析中能否发挥作用,这方面的工作有待进一步研究。

粪便显微分析中的分析误差包括抽样误差及不同的样本处理技术、镜检方法和结果表示等对估计结果产生的误差。Monro^[56]认为由于粪样易于混合均匀,容易获得典型的分析样本,从而避免了严重的抽样误差。Stewart^[45]在对非洲 7 种有蹄类的取食实验中,也未发现粪便显微分析中存在明显的抽样误差。Holechek^[65]评价了分析结果的不同表示方法,认为在频率转换法中用相对频率(RF)来表示分析结果更为准确。不同的样本处理技术和镜检方法对分析结果有一定影响,但这方面的评价工作进行的较少。

评价粪便显微分析法的精确性包括两个方面:一是粪便中各种植物的角质碎片能否定性、定量地反映动物的实际食物组成;二是显微组织学能否定性、定量地确定粪便中的植物的组成。因此,评价可通过两个途径来进行:取食试验和手工混合的植物样本。由于取食试验耗费很大的人力、物力,因而通过人工混合植物样本进行粪便模拟和体外试验的结合来评价粪便显微分析法的准确性是一种有效而简便的途径。

粪便显微分析结果除受植物的碎片大小、可辨认率、样本处理方法和镜检方法等因素的影响外,一些研究者^[65,66]强调镜检者的经验是影响粪便显微分析结果的重要因素,并认为加强对镜检者的系统训练是提高估计结果精度的一个极为重要的途径之一。

目前,许多研究者将粪便显微分析法同其他确定食性的方法进行比较,除 Monro^[56]和 Gill^[55]等认为粪便显微分析的定量结果较差外,绝大多数研究表明粪便显微分析法可以准确地确定动物的食物组成。尤其与传统的胃分析法相比较,粪便显微分析法以其取样方便和高的抽样精度及与胃分析同等甚至更好的准确性,在食草动物的食性研究中得到广泛的应用。

2.5 粪便 DNA 分析技术的评价

和粪便显微分析法一样,粪便 DNA 分析技术对野生动物取样干扰少,是一种非破坏性的取样方法(Non-destructive sampling)^[67]。同时粪便样品相对易于采集,易于获得更多的实验材料,并且粪样经过简单的处理可以长期得到保存。由于分子生物学技术的不断发展,能提取粪便中含量极其微小的 DNA,并用 PCR 技术使其扩增,因而对于粪样中那些几乎完全被消化的、不能通过粪便显微分析法和胃分析法辨别的食物种类,PCR 技术就成为现在食物组成分析的唯一方法^[58]。

粪便 DNA 分析技术在判定食性上的缺陷:首先,食物细胞在粪便中会有不同程度的降解,因而从粪便中获得 DNA 的数量,尤其是核 DNA 可能很少,而且 DNA 也会有不同程度的降解,这一定程度上会造成食性种类判定上的困难和偏差。另外,粪便 DNA 分析技术在判定食性上需要大量样品和重复分析,分子生物学的花费较大,尤其是前期基础工作,即得到样本 DNA 图谱,要花费大量的人力和经费,这些因素在一定程度上制约了它的应用。更为重要的是,食物中物种的组成不能通过 DNA 的分析进行定量化,因而粪样中遗传物质的分析仅仅能够作为食物组成研究的一个补充^[68]。

自 1992 年起,粪便 DNA 分析技术逐步开展起来,研究对象主要集中于种群数量较少的动物类群上,绝大多数工作还属于基础性工作,即论证该技术的可行性^[69]。该技术在判定动物食性上国内外的研究报道也较少^[47,50]。

3 有蹄类食性研究的进展及发展趋势

有蹄类食性研究方法有由以胃分析法为主而逐渐向以粪便分析法为主的趋势。如 20 世纪 70 年代至今对狍的 37 篇食性研究文献中,90 年代以前的 29 篇文献中有 21 篇研究者运用了胃分析法,而 90 年代后的 8 篇中有 4 篇用粪便分析法研究了狍的食性^[70]。国内,20 世纪 90 年代后,有蹄类食性调查方法亦以粪便显微分析法为主。最近几年,国外一些研究者^[11,14]也尝试运用粪便 DNA 技术判定动物的食性,但国内尚未见报道。

一些研究者研究了有蹄类特定季节(主要是冬季)或特定月份的食性^[25,31],而也有一部分研究了有蹄类全年的食物组成及其季节变化^[26,33]。Jarman-Bell 原则^[71]描述了有蹄动物食性的一种普遍趋势:小体形的有蹄类选择性地采食高质量的食物,而大体形的有蹄类则不加选择地采食粗劣的食物。基于这一原理,雌雄个体的体型大小影响动物的食性变化。Hofman^[72]根据反刍动物消化道的形态结构和食物选择把反刍动物划分为 3 个取食类群:精饲者(Concentrate selectors)、粗饲者(Bulk and roughage eaters)和混饲者(Mixed feeders)。

动物对食物的选择性影响有蹄类动物的食物组成,从而影响动物能够从环境中获取营养物质的数量。因而,有蹄类动物对食物选择性的确定是食性研究中的主要工作,在国内,食物选择性的确定在最近的研究中得到重视^[16]。食物选择性指动物出于某种目的,对取食生境中现存的食物种类作出的选择,因而,食物选择性与生境中食物可利用量密切相关,有蹄类对食物的利用量大于、等于或小于食物的可利用量,将依次表明有蹄类对食物有正选择性、无选择性和负选择性。研究者运用一些确定食物选择性的量化指标 Ivlev 指数、PI 指数、DC 指数和 FI 指数描述了有蹄类对食物的选择。更多研究者采用建立在统计学上的量化指标描述动物对食物的选择,最常用的如:Neu 法^[73]和 Johnson 法^[74]。

影响有蹄类食物选择的因素(动物形态学特征、植物营养质量、植物物理和化学因素、动物自身生理特征和行为学特征等)的相互关系以及作用机理业已成为最活跃的研究领域之一^[75,76]。研究者通过建立先进的计算机模型探讨这些因素的相互关系及作用机理,预测有蹄类动物的食物选择,从而进一步了解有蹄类动物与其生境的关系,为有蹄类野生资源管理和保护提供更有效的帮助。

References:

- [1] Mussa P P, Aceto P. Preliminary study on the feeding habits of roe deer in the western Alps. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.*, 2003, **87**:105~108.
- [2] Bandy P J, *et al.* Comparative growth in four races of black-tailed deer. *Can. J. Zool.*, 1970, **48**:1401~1410.
- [3] Prins R A, Gellert M J H. Rumen characteristics of red deer, fallow deer and roe deer. *Journal of Wildlife Management*, 1971, **35**:670~680.
- [4] Hearney A W, Jennings T J. Annual foods of the red deer(*Cervus elaphus*) and the roe deer(*Capreolus capreolus*) in the east of England. *J. Zool.*, 1988, **201**:565~570.
- [5] Ramirez R G, Quintanilla J B, Aranda J. White-tailed deer food habits in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 1997, **25**:141~146.
- [6] McCullough D R. Variables influencing food habits of white-tailed deer on the George Reserve. *Journal of mammalogy*, 1985, **66**: 682~692.
- [7] Crawford H S. Seasonal food selection on digestibility by tame white-tailed deer in central Maine. *Journal of Wildlife Management*, 1982, **46**:201~212.
- [8] Ammann A P, Cowan R L, Shead L C, *et al.* Dry matter and energy intake in relation to digestibility in white-tailed deer. *Journal of*

Wildlife Management, 1973, **37**: 195~201.

- [9] Asada M, Ochiai K. Food habits of sika deer on the Boso Peninsula, central Japan. *Ecological Research*, 1996, **11**: 89~95.
- [10] Palitha J, Seiki T. Seasonal food habits of a sika deer population in the warm temperate forest of the westernmost part of Honshu, Japan. *Ecological Research*, 2000, **15**: 153~157.
- [11] Hobbs S N. Composition and quality of elk winter diets in Colorado. *Journal of Wildlife Management*, 1981, **45**: 156~171.
- [12] Zheng S W, et al. Zoology research of *moschus chrysogaster*. *Acta Zoologica Sinica*, 1979, **25**(2): 176~186.
- [13] Ou S H, Sheng H L, Lu H G. The composition of the food habits of the black muntjac and the tufted deer. *Journal of Shanghai Normal College*, 1981, **1**: 111~115.
- [14] Yuan X C, Wang B L. Sambar in Hainan island. *Wildlife*, 1983, **6**: 37~39.
- [15] Xu M S. On the ecology of Kansuan red deer in the area of Qi-Lian Mountains. *Wildlife*, 1983, **1**: 19~21.
- [16] Chen H P, Xiao Q Z. Winter food habits of red deer in Dailing. *Acta Theriologica Sinica*, 1989, **9**(1): 8~15.
- [17] Li J C, Yan T F. An analysis on the feeding habit and destruction of *Cervus elaphus xanthopygus* to young forest. *Chinese Journal of Zoology*, 1989, **24**(3): 34~36.
- [18] Xu X L. Alces alces. *Chinese Journal of Zoology*, 1989, **24**(3): 48~52.
- [19] Cai G Q. Notes on white-lipped deer in China. *Acta Theriologica Sinica*, 1988, **8**(1): 24~26.
- [20] Xu H F, Zhu Z L. Preliminary observations on the living habits of muntjac. *Wildlife*, 1990, **2**: 18~19.
- [21] Yang J, Ding T M. Preliminary study on Japanese sika deer southern China Subspeciese. *Wildlife*, 1990, **3**: 17~19.
- [22] Nie S Q. Study on the wild plants fed by red deer and Japanese sika deer in northeast of China. *Wildlife*, 1990, **3**: 26~27.
- [23] Han J G, Jia S X. Study on the botanical composition of forage samples selected by grazing sleep. *Chinese Grassland*, 1990, **4**: 49~52.
- [24] Yuan X C, et al. The feeding habits of Hai-nan thamin deer. *Journal of Northeast Forestry University*, 1990, **18**(1): 66~71.
- [25] Wu M C, Gao Y T. Ecological research and annual changes of the forest must deer in GuangXi. *Chinese Journal of Zoology*, 1990, **25**(3): 49~53.
- [26] Yu X C, Xiao Q Z, Zhang M H. Winter food habits of the Moose in Heihe forest area. *Zoological Research*, 1990, **13**(3): 263~270.
- [27] Yu X C, Xiao Q Z. The food compisition and seasonal change of the Moose in Heihe forest area. *Acta Theriologica Sinica*, 1991, **11**(3): 258~265.
- [28] Qin R Q, Wei J X. The Eating habit of *Cervus Nippon hortulorum* from the north-east of China on wild plants in Nanking. *Chinese Journal of Zoology*, 1991, **26**(4): 25~29.
- [29] Song Y L, Li S Y. A food habits study on Hainan eld's deer in Hainan island ,China. *Acta Theriologica Sinica*, 1992, **12**(4): 248~254.
- [30] Liang F X, Wen T F. Ecological study on *Moschug moschiferus* in north-east of China. *Journal of Chinese Medicinal Material*, 1992, **15**(3): 10~14.
- [31] Hao Y H, An W S, and Zhang Z H. Studies on the food habits on *Moschug moschiferus*. *Chinese Journal of Zoology*, 1994, **29**(1): 46~50.
- [32] Gao Z X, et al. Winter food-habits of *Mongolian gazella* in Hulun-beir grassland. *Acta Theriologica Sinica*, 1995, **15**(3): 203~208.
- [33] Zhang L, Yuan L. Diet analysis of *Camelus bactrianusferus* in every distribution of world. *Environmental Protection of Xinjiang*, 1997, **3**: 60~64.
- [34] Li D Q, Jiang Z G, Wang Z W. Diet analysis of *Procapra przewalskii*. *Zoological Research*, 1999, **20**(1): 74~77.
- [35] Zeng Z G, et al. Food Habits of Golden takin. *Chinese Journal of Zoology*, 2001, **6**(3): 36~44.
- [36] Liu B W, Jiang Z G. Foraging strategy of Prze Walski's gazelle(*Procapra prze walskzz*). *Acta Zoologica Sinica*, 2002, **48**(3): 309~316.
- [37] Hahn H C Jr. The white-tailed deer in the Edwards plateau region of Texas. *Texas Game, Fish and Oyster Comm. Austin.*, 1945, **52**.
- [38] Cole G F. The pronghorn antelope-its range use and food habits in central Montana with Special reference to alfalfa. Bull. 516. Bozeman: *Montana Agric. Exp. Sta.*, 1956, **63**.
- [39] Wetzel J F, et al. Appraisal of White-tailed deer winter habitats in northeastern Minnesota. *J. Wildl. Manage.*, 1975, **39**: 59~66.
- [40] McMahan C A. Comparative food habits of deer and three classes of livestock. *J. Wildl Manage.*, 1964, **28**: 798~808.
- [41] Dearden B L, et al. Precision of microhistological estimates of ruminant food babies. *J. Wildl. Manage.*, 1975, **30**: 402~407.
- [42] Anthony R G, Smith N S. Comparison of rumen and fecal anlysis to describe deer diets. *J. Wildl. Manage.*, 1974, **38**: 535~540.
- [43] Fitzgerald A E, Waddington D C. Comparison of two methods of fecal analysis of herbivore diet. *J. Wildl. Manage.*, 1979, **48**: 468~473.
- [44] Spark 万方数据 Spark J C. Estimating percentage dey weight in diets using amcoroscopic technique. *J. Range Manage.*, 1968, **21**: 264~265.

- [45] Stewart D R M. Analysis of plant epidermis in faces: a technique for studying the food preferences of grazing herbivores. *J. Appl. Ecol.*, 1967, **4**: 83~111.
- [46] Seber G A F, Pemberton R. The line intercept method for studying plant cuticles from rumen and fecal samples, *J. Wildl. Manage.*, 1979, **43**: 916~925.
- [47] Hoss M, Kohn M, Paabo S, *et al.* Excrement analysis by PCR. *Nature*, 1992, **359**: 199.
- [48] Kohn M H, York B C, Kamradt D A, *et al.* Estimating population size by genotyping faeces. *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 1999, **266**: 657~663.
- [49] Reed J Z, *et al.* Molecular scatology, the use of molecular genetic analyses to assign species, sex and individual identity to seal faces. *Molecular Ecology*, 1997, **6**: 225~234.
- [50] Wasser S K, Houston C S, Koehler G M, *et al.* Techniques for application of faecal DNA methods to field studies of ursids. *Molecular Ecology*, 1997, **6**: 1 091~1 097.
- [51] Kohn M H, Wayne R K. Facts from feces revisited. *Trends in Ecology and Evolution.*, 1997, **12** (6): 223~227.
- [52] Sidransky D, Tokino T, Hamilton S R, *et al.* Identification of ras mutations in the stool of patients with curable colorectal tumors. *Science*, 1992, **256**: 102~105.
- [53] Bretagne S, Guillor J P, Morand M, *et al.* Detection of *Echinococcus multicularis* DNA in fox fece. *Parasitology*, 1993, **106**: 193~199.
- [54] Hobbs N T. Food habits and forage evaluation. In: Hudson R J, and White R J, eds. *Bioenergetics of wild herbivores*. CRC Press, 1985. 314.
- [55] Gill R B, Carpenter L H, Bartmann R M, *et al.* Fecal analysis to estimate mule deer diets. *J. Wildl. Manage.*, 1983, **47**: 902~913.
- [56] Monro R H. An appraisal of some technique used to investigate the feeding ecology of large herbivores with reference to a study on impala in the northern Transvaal. *Afr. J. Ecol.*, 1982, **20**: 71~80.
- [57] Wallmo O C, Gill R B, Carpenter L H, *et al.* Accuracy of field estimates of deer food habits. *J. Wildl. Manage.*, 1973, **37**: 556~562.
- [58] Maillard D. Lalimentation automnale et hivernale du chevreuil par I analyse des contenus stomacaux. *B. M. O. N. C.*, 1987, **109**: 23~27.
- [59] Putman R J. Facts from faces. *Mammal Rev.*, 1984, **14**: 79~97.
- [60] Hobbs N T. Fecal indices to dietary quality: a critique. *J. Wildl. Manage.*, 1987, **51**: 317~320.
- [61] Sutherland W J. Ecological census technique: A Handbook. London: Cambridge University Press, 1996.
- [62] Chen H P. Evaluation on research method of Ungulata food habits. *Chinese Journal of Zoology*, 1991, **26**(2): 40~41.
- [63] Warren L E, Veckerts D N, Shelton M, *et al.* Spanish goat diets in a mixed-brush rangeland in the south Texas Plains. *J. Range Manage.*, 1984, **37**: 340~345.
- [64] Baker R D. An investigation into the accuracy of herbivores diet analysis. *Aust. Wildl. Res.*, 1986, **13**: 559~568.
- [65] Holechek J L, Gross B, Dabo S M, *et al.* Effects of sample preparation, growth stage and observer on microhistological analysis of herbivore diets. *J. Wildl. Manage.*, 1982, **46**: 502~505.
- [66] Free J C, Hansen R M, Sims P L. Estimating dry weights of food plants in feces of herbivores. *J. Range Manage.*, 1970, **23**: 300~302.
- [67] Wei F W, *et al.* Molecular scatology and its application-reliability, limitation and prospect. *Acta Theriologica Sinica*, 2001, **21**(2): 143~151.
- [68] Liu B W, Jiang Z G. Feces analysis and its role in wildlife research. *Zoological Research*, 2002, **23**(1): 71~76.
- [69] Wang R J. Application of molecular scatology to animal ecology. *Acta Zoologica Sinica*, 2001, **47**(6): 699~703.
- [70] Cornelis J, *et al.* Impact of season, habit and research techniques on diet composition of roe deer: a review. *J. Zool. Lond.*, 1999, **248**: 195~207.
- [71] Geist V. On the relationship of social evolution and ecology in ungulates. *Amer. Zool.*, 1974, **14**: 205~220.
- [72] Hofmann R R. The ruminant stomach: Stomach structre and feeding habits of East African game ruminants. In: East African monographs in biology. Nairobi: East African Literature Burea, 1974.
- [73] Neu C W. A technique for analysis of utilization availability data. *J. Wildl. Manage.*, 1974, **38**: 541~545.
- [74] Johnson D H. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 1980, **61**: 65~71.
- [75] Li J S, Song Y L, Zeng Z G. Food Selectivity and influencing factors in Ruminants. *Acta Theriologica Sinica*, 2003, **23**(1): 66~73.
- [76] Li J N, *et al.* Proceeding of coevolution of mammalian herbivores and plant mediated by plant secondary compounds. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(12): 2186~2193.

参考文献:

[12] 郑生武,等. 马麝的生态研究. 动物学报, 1979, **25**(2):176~186.

[13] 欧善华,盛和林,陆厚基. 黑麝和毛冠鹿的食性. 上海师范学院学报(自然科学版),1981,(1):111~115.

[14] 袁喜才,王保琳. 海南岛水鹿. 野生动物, 1983, **6**:37~39.

[15] 胥明肃. 祁连山地的白臀鹿. 野生动物, 1983, **1**:19~21.

[16] 陈化鹏,萧前柱. 带岭林区马鹿冬季食性研究. 兽类学报, 1989, **9**(1):8~15.

[17] 李继承,颜廷峰. 林区野生马鹿食性与危害幼林的分析. 动物学杂志, 1989, **24**(3):34~36.

[18] 徐学良. 驼鹿. 动物学杂志, 1989, **24**(3):48~52.

[19] 蔡桂全. 中国的白唇鹿. 兽类学报, 1988, **8**(1):24~26

[20] 徐宏发,朱自力. 黄麝食性的初步观察. 野生动物,1990, **2**:18~19.

[21] 杨晶,丁铁明. 梅花鹿南方亚种生态研究初报. 野生动物,1990, **3**:17~19.

[22] 聂绍荃. 东北梅花鹿、马鹿采食野生植物研究. 野生动物,1990, **3**:26~27.

[23] 韩建国,贾慎修. 放牧绵羊采食植物成分研究. 中国草地, 1990, **4**:49~52.

[24] 袁喜才,等. 海南坡鹿食性研究. 东北林业大学学报, 1990, **18**(1):66~71.

[25] 吴名川,高耀亭. 广西林麝生态考察和麝资源消长. 动物学杂志,1990, **25**(3):49~53.

[26] 于孝臣,萧前柱,张明海. 黑河林区驼鹿冬季食性研究. 动物学研究, 1990, **13**(3):263~270.

[27] 于孝臣,萧前柱. 黑河林区驼鹿的食物组成及其季节变化. 兽类学报, 1991, **11**(3):258~265.

[28] 秦荣前,魏吉祥. 东北梅花鹿在南京地区采食野生植物观察. 动物学杂志, 1991, **26**(4):25~29.

[29] 宋延龄,李善元. 海南坡鹿的食性研究. 兽类学报, 1992, **12**(4):248~254.

[30] 梁凤锡,温铁锋. 东北原麝的生态调查. 中药材, 1992, **15**(3):10~14.

[31] 郝映红,安文山,张兆海,等. 原麝的食性研究. 动物学杂志, 1994, **29**(1):46~50.

[32] 高中信等. 呼伦贝尔草原黄羊冬季食性的研究. 兽类学报, 1995, **15**(3):203~208.

[33] 张莉,袁磊. 世界野双峰驼各分布区食性分析. 新疆环境保护, 1997, **3**:60~64

[34] 李迪强,蒋志刚,王祖望. 普氏原羚的食性分析. 动物学研究,1999, **20**(1):74~77.

[35] 曾治高,等. 秦岭羚牛的食性. 动物学杂志, 2001, **6**(3):36~44.

[36] 刘丙万,蒋志刚. 普氏原羚的采食对策. 动物学报,2002,**48**(3):309-316.

[62] 陈化鹏. 有蹄类食性研究方法的评价. 动物学杂志, 1991,**26**(2):40~41.

[67] 魏辅文,等. 分子粪便学及其应用——可靠性、局限性和展望. 兽类学报, 2001,**21**(2):143~151.

[68] 刘丙万,蒋志刚. 粪样在野生动物研究中的作用. 动物学研究, 2002, **23**(1): 71~76.

[69] 王戎疆. 粪便 DNA 分析技术在动物生态学中的应用. 动物学报,2001, **47**(6):699~703.

[75] 李俊生,宋延龄,曾治高. 反刍动物的食物选择及其影响因素. 兽类学报,2003, **23**(1):66~73.

[76] 李俊年,刘季科. 植食性哺乳动物与植物协同进化研究进展. 生态学报, 2002, **22**(12):2186~2193.