

草食性小型哺乳动物的食粪行为

刘全生 王德华 *

(中国科学院动物研究所农业虫害综合治理国家重点实验室, 北京, 100080)

摘要: 食粪行为广泛存在于草食性中小型哺乳动物中, 是特指动物取食由盲肠内容物所形成的粪便的行为。这些动物具有特殊的结肠分离机制, 能够产生两种不同的粪便。食粪行为延长了食物在消化道中的平均滞留时间; 提高了对高纤维食物的消化率; 弥补了食物中氨基酸和维生素的缺乏, 满足了动物对这些营养物质的需求; 是动物消化过程中的一个特殊组成部分。食粪行为的节律性是动物对取食和食粪的风险权衡的结果。食粪行为的发展是与动物草食性的特点紧密相关的, 是动物对身体较小、食物质量低和天敌威胁等不利因素适应的结果。本文对这些方面的研究进展进行了综述。

关键词: 草食性哺乳动物; 食粪行为; 硬便; 软便; 食粪节律

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2004)04-0333-06

Coprophagy in Herbivorous Small Mammals

LIU Quansheng WANG Dehua

(State Key Lab of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract: Coprophagy is widespread among small and medium sized mammalian herbivores. These animals have a colonic separation mechanism, by which they can form two kinds of feces. Coprophagy provides another avenue for some species to recover nutrients, vitamins, microbial proteins and short chain fatty acids which produced in the hindgut. The digestibility of high fibre food is improved by caecotrophy. The daily rhythm of reingestion is the result of tradeoff between the risk of feeding and coprophagy. The ingestion of soft feces is more strongly related to diet than to taxonomic association. This paper reviewed the coprophagy and its evolutionary and nutritional significance in herbivorous small mammals.

Key words: Herbivores; Coprophagy; Soft feces; Hard feces; Daily rhythm of feces reingestion

自然选择对中小型草食性哺乳动物的觅食、摄食、消化和同化模式的进化起重要作用。通过比较不同食性的个体, 可确定动物的一些适应性调节的营养生物学特征^[1]。食物的质量、数量、空间分布和密度决定了动物的食性类型及其在生态、行为、生理及形态上的营养适应类型。食粪行为 (Coprophagy) 是中小型草食性哺乳动物重要的营养适应性特征之一。按代谢率与动物身体大小 (Body size) 呈异速增长关系的理论^[2], 中小型的草食性哺乳动物应该具有相对较高的代谢水平, 由于受身体大小的限制, 一般应取食高质量、低纤维的食物。由于内温性小型哺乳动物的总代谢需求较大型动物要低, 因此, 利用少量的高质量食物就能满足

其代谢需求^[3]。但许多小型哺乳动物受环境因素的限制, 并不总是能够获得足够的高质量食物, 因而不得不以较容易获得的高纤维的植物茎叶为食。在长期的适应进化过程中, 中小型的草食性哺乳动物进化出多种有效的生理机制从低质量的食物中获得营养和能量。食粪行为作为消化过程的一个特殊部分, 可提高中小型草食性哺乳动物从食物中获取能量和营养的效率。裴艳新等^[4,5]曾对动物的食粪行为有过简要的论述, 食粪行为在动物的营养和消化对策中占有重要地位, 本文从食粪行为的定义、硬便和软便的形成机理、食粪节律、营养和生态进化意义等方面进行了比较系统的论述。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39970128, 30170151); 中国科学院知识创新工程项目 (KSCX2-SW-103)

作者简介: 刘全生 (1977-), 男, 硕士研究生, 主要从事动物生理生态学研究。

收稿日期: 2003-05-23; 修回日期: 2003-06-17

*通讯作者, E-mail: wangdh@ioz.ac.cn

1 食粪行为的定义

食粪行为是描述动物取食粪便的一个术语,所取食的粪便包括异种的或同种动物的,其它个体的或自身产生的,已排出体外的或者直接从肛门摄取的等等。一些动物仅在其发育的某个阶段或在营养缺乏时期才具有食粪行为,如幼年的金色中仓鼠(*Mesocricetus auratus*)、褐家鼠(*Rattus norvegicus*)、纯种马驹和树袋熊(*Phascolarctos cinereus*)等都有摄取母亲粪便的现象^[6]。爬行类中刚孵化的绿鬣蜥(*Iguana iguana*)也具有规律性地摄食成体粪便的现象,Troyer^[7,8]认为,这能有助于幼体消化道内微生物种群的建立,并可提供额外的营养。在哺乳动物中,许多雌性会舔舐其幼体的肛门引起反射排泄,然后摄取其粪便,如:羊、牛。一些雌性有袋类动物也有相似的过程,它们周期性地清洁育儿袋,并取食其中的粪便;哺乳期的啮齿类和澳洲野狗(*Canis dingo*)摄取幼仔的粪便和尿液,能使水分的散失减少 50%~80%;工作中的雪橇狗和家养的猫在整夜禁食后也会摄食其粪便;马在取食含粗蛋白 6.2% 的食物 3 个月后,也开始摄食粪便,但当摄食含粗蛋白 10% 的食物一周后,便停止摄食粪便^[6]。许多学者发现,食虫目的鼯鼠类也有食粪行为^[1],但现在仍然没有确定动物从肛门取食何种物质,因为在很多情况下取食的并不是粪便^[9]。

与上述的食粪行为不同,许多中小型草食性哺乳动物在成年后,食粪行为变得非常有规律。一般用重摄入(Reingestion)和食软便行为(Caecotrophy)来描述它们的食粪行为。重摄入表示动物摄入自己的粪便,它不仅是未消化物质的再循环,而且是动物消化功能的一部分。食软便行为则特指动物有规律地摄取由盲肠内容物组成的粪便的行为。另外,为与一般的食粪行为相区分,食便餐(Refecation)是特指当食物中缺少维生素 B 且含有未煮过的生淀粉时,大鼠取食自己排出的大量含有气体(Gas-occluded)的白色粪便^[1]。此时大鼠仍能保持健康,因为由肠道合成的动物自身缺少的营养元素可直接被肠道吸收,或者借助食粪行为再次循环,被小肠吸收。本文所论述的食粪行为仅限于重摄入和食软便行为。

2 草食性哺乳动物的食粪行为

Morot^[10]首次描述了家兔的食粪行为。此现象后来被 Madsen^[11]和 Taylor^[12]重新描述和证实。他

们发现家兔产生硬便和软便两种粪便,并且是直接

从肛门摄取软便,不经咀嚼即咽下。后来的研究发现,软便和盲肠内容物的营养成分极相似^[13],并在野兔的胃和结肠中都发现完整的软便^[14]。重摄入行为也被观察到,说明软便是来自于盲肠的内容物。

除在兔科动物发现食粪行为外,在鼠兔科、灵长类中的鼯狐猴(*Lepilmur mustelinus*)、有袋类中的奇卷尾袋貂(*Pseudocheirus peregrinus*)和铜卷尾袋貂(*Pseudochirops cupreus*)中都发现有食粪行为^[15]。食粪行为在啮齿类动物中极为普遍。早期研究主要集中在大鼠、豚鼠(*Cavia porcellus*)和金色中仓鼠等实验动物中^[1]。Krzywanek^[16]首次描述了啮齿类的食粪行为方式:动物直接从肛门摄取,咀嚼后咽下。迄今,食粪行为对动物的营养作用仍是研究的热点之一。总体看,对野生啮齿类食粪行为的研究仍很少。啮齿目的 29 科中已在 11 科发现有食粪行为,但很多种类缺乏这方面的信息,不利于全面理解这些物种的营养生态位。我国在这方面的研究仅见 Pei 等^[17]对布氏田鼠(*Microtus brandti*)食粪行为的报道,他们根据消化道各器官中的食物标记物 Co-EDTA 浓度随标记物摄入时间的变化,证明了布氏田鼠具有食粪行为。

3 具有食粪行为的草食性动物的粪便类型及形成机理

3.1 硬便和软便

具有食粪行为的草食性哺乳动物的粪便有两种类型。兔形目动物、鼯狐猴、奇卷尾袋貂、河狸鼠(*Myocastor coypus*)、南美水豚(*Hydrochaeris hydrochaeris*)等都具有食粪行为,它们产生外形不同的两种粪便。一种是不成球形的软便,源自于盲肠的内容物,富含维生素、氨基酸以及短链脂肪酸(Short chain fatty acid, SCFA),一些矿物质和水分的含量也较硬便中的高,例如兔子软便中蛋白含量是硬便的 2.66 倍,达到 18.55%,而食物中为 10.94%,而软便中总 SCFA 是硬便的 4 倍,细菌浓度为 4.58 倍^[6];有些兔形目种类软便还外被一层粘蛋白膜;另一种就是干燥且有固定形状硬便。在田鼠类、仓鼠类、平原囊鼠(*Geomys bursarius*)、啮齿更格卢鼠(*Dipodomys microps*)、褐家鼠、绒毛丝鼠(*Chinchilla lanigera*)和豚鼠等具有食粪行为的动物中,它们摄食的粪便与其丢弃的粪便在外形

上并无区别,但在营养成分的含量上却存在较大差异,例如软便中氮浓度在褐家鼠、绒毛丝鼠和豚鼠中分别为 35、34 和 47 mg/g DM,而在其硬便中分别为 20、18 和 17 mg/g DM^[6]。

3.2 硬便和软便的形成机理

在 20 世纪 70 年代,软便和硬便产生分离的机理在家兔中曾有过研究。Björnhag^[18]及 Pickard 等^[19]首先发现结肠分离机制 (Colonic separation mechanisms)。随后, Björnhag^[20]综述了中小型草食性哺乳动物消化物 (Digesta) 在消化道内的运动细节。如在兔子中,主要过程是这样的:消化物从回肠进入盲肠,在盲肠的蠕动下前后移动。盲肠的蠕动是有节律的。在形成硬便时,每分钟蠕动 1~2 次;形成软便时蠕动节律减半。过些时间会有一个大的蠕动将一部分消化物运到前结肠。在形成硬便时,结肠袋的逆蠕动也活跃起来,随着逆蠕动过程,消化物中的流体和细微颗粒 (<100 μm) 就逆流回到盲肠。颗粒移动速度大约为 1 mm s⁻¹。这样消化物中的大颗粒 (>100 μm) 被积累在结肠阀 (Fuscoliculi) 处形成硬便。因此硬便是干燥且由很多大的颗粒组成的。在形成软便时,结肠袋的运动减少,并由不规则的但比较集中的蠕动,大幅度地把消化物推向结肠阀处,在这里形成软便。在家兔中,无论什么类型的粪便从前结肠的后部到肛门的时间都约为 2 h。在草食性小啮齿类动物,如田鼠、旅鼠,因为具有特殊的螺旋前结肠和内壁延伸形成的窄通道,小颗粒和微生物经此窄通道回到盲肠。

消化物从胃到空肠的流动整天都是连续的,因此,在形成软便或硬便时,消化物从空肠到盲肠是连续供给的。软便和硬便的产生是由于结肠分离机制周期性的活动所致。在兔形目动物,这种分离机制是依赖于食物颗粒大小的机械过程,它的基本功能是以硬便的方式快速排出难消化的大颗粒,并且在盲肠中保留细微的食物颗粒和微生物继续发酵吸收^[20]。可能所有具有规律性食粪行为的草食性哺乳动物都有这种分离机制,且能形成不同类型的粪便^[21],但并非所有具有结肠分离机制的动物都能产生不同类型的粪便和食粪行为,如大袋鼯 (*Petaurides volans*) 和树袋熊虽有结肠分离机制,但却无不同类型的粪便,也不具有食粪行为,这可能是由于它们的结肠分离机制是不间断地进行的结果^[22]。

4 食粪行为的节律性

草食性哺乳动物的食粪行为具有日节律性。该节律与动物排软便的时间一致,一般都发生在动物休息时,此时结肠分离机制并不活跃。夜间取食的动物,如兔子、奇卷尾袋貂、绒毛丝鼠、南美水豚、褐家鼠和河狸鼠等在白天休息的时候有食粪行为;而啮齿更格卢鼠虽全天取食,但仅在白天具有食粪行为^[1];加州田鼠 (*Microtus californicus*)、草原田鼠 (*M. pennsylvanicus*)、东美松田鼠 (*M. pinetorum*) 以及豚鼠等的食粪行为与取食行为在一天内交替发生多次,说明食粪节律受取食节律的影响。Kenagy 等^[23]发现,当改变智利八齿鼠 (*Octodon degus*) 的取食时间时,其白天的两次取食间隔内也出现食粪行为,而正常的食粪行为则发生在夜间休息时;该鼠食粪行为的季节变化与其取食节律的改变有关。

此外,各种动物的食粪频次也不尽相同。雄性金色中仓鼠 20 次/d,雄性豚鼠 165 次/d,雌性豚鼠 197 次/d,雄性绒毛丝鼠 201 次/d^[24]。Takahashi 等^[25]记录了成年河狸鼠食粪频次为 48 次/d。同种动物的食粪频次的变化还依赖于食物质量改变^[26]。不同的发育阶段也会影响食粪的节律和频次。实验小鼠在 5~6 周龄时昼夜都有频繁的食粪行为,而 100 周龄时食粪行为很少且多集中在白天^[24]。Heisinger^[27]认为,光周期能调节取食和食粪节律。

5 食粪行为的意义

5.1 营养和消化

食粪行为使随粪便排出的盲肠发酵的细胞产物(多种必须的氨基酸、维生素 B 和维生素 K、短链脂肪酸等)和未完全吸收的微量元素得以重新利用,可避免此类营养的丢失。细胞产物中的氨基酸、维生素 B 很少能被结肠吸收。Osborne 等^[28]报道,禁食粪便可抑制大鼠的生长。Chilcott 等^[29]发现,禁食粪便的奇卷尾袋貂对氮的维持需求加倍。实验豚鼠营养消化高度依赖取食粪便,其取食的粪便较丢弃的粪便含有更多的氮,若禁止取食粪便会致其死亡^[30],成年河狸鼠从软便中获得的蛋氨酸和赖氨酸量,分别占其总摄入量的 26% 和 19%^[25]。

食粪行为使细小的消化物颗粒在消化道中得以循环,并经历二次发酵和消化,可增加食物的消化率^[31]。由于结肠分离机制仅依赖于消化物颗粒的

大小进行分离, 因此细小的颗粒若再次到达盲肠, 仍被滞留, 此后, 随软便再次循环直至被完全消化吸收^[15]。此外, 在兔子的粪便中发现有淀粉分解菌, 且在其胃中仍可继续释放淀粉酶, 使淀粉降解为乳酸^[31]。表明有较高营养价值的物质并非随排泄而丢失, 而是通过食粪行为更好地被利用^[32]。

5.2 适应进化

中小型草食性哺乳动物中广泛存在的食粪行为, 是对它们的身体大小、高纤维食物及肠道结构的适应。中小型草食性哺乳动物较高的代谢率要求快速获取能量, 且食物不应在消化道内长时间滞留^[32]。但植物茎叶中的营养几乎都存在于含高纤维的细胞壁内, 且哺乳动物没有直接消化纤维素的酶, 需要消化道内共生的微生物发酵降解纤维, 而需要足够的时间才能达到较高的消化率^[33]。布氏田鼠的食物平均滞留时间 (Mean retention time, MRT) 较多数中小型草食性哺乳动物的短, 甚至少于西岸田鼠 (*M. townsendii*) 的一半^[17]。中小型的草食性哺乳动物除具有发达的盲肠和结肠分离机制以提高对纤维的消化能力外, 食粪行为起着极重要的作用。

由于摄入的粪便代替了本应摄入胃中的食物, 所以食粪的收益依赖于动物所食的粪便和食物的相对营养含量^[6]。同时, 食粪的收益还依赖于对取食和食粪的风险之间的权衡。食粪行为发生在一天当中不取食的时段内^[31], 摄入的粪便可维持消化道中消化物的连续, 并促进消化道的利用效率。Kenagy 等^[23]发现: 在一天内, 无论取食和食粪分别集中于一段时间进行, 还是交替进行多次, 智利八齿鼠的排便速率皆一致, 说明消化生理对消化道功能时间分配于食粪还是取食的调节存在一定的变化范围, 使食粪与取食有效利用消化道总可得到平衡。智利八齿鼠一天排出的粪便有 38 % 被重摄入, 87 % 的食粪行为发生在夜间^[23]。Alexander^[34]应用数学模型模拟在取食同种食物时, 后肠发酵动物食粪的种类较不食粪种类的能量收益多 10 % ~ 15 %, 尤其是在取食低质量食物时, 更是如此。

在自然环境中, 由于气候、天敌、动物自身体能等因子的限制, 动物总有一段时间不能外出取食, 此时重摄入相对富含营养的软便可提供一部分能量; 动物在取食时尽可能地摄入较多的食物, 经粗消化, 分离滞留易消化的小颗粒, 在不能外出取

食时, 再通过摄食粪便消化和吸收。Taylor^[35]用假反刍 (Pseudo-rumination) 来解释食粪行为, 是对此行为的生态意义而言的。他认为, 食粪行为和反刍行为一样有利于动物在有限的时间内最大限度地取食, 并提高食物的消化率。短尾兔 (*Lepus brachyurus*) 和雪兔 (*Lepus timidus*) 甚至在取食开始前和结束后, 都具有规律性的取食硬便的行为。与食软便比较, 取食硬便与反刍更相似, 因为硬便中含有更多的食物大颗粒, 而软便中主要是小的食物颗粒和微生物。Hirakawa^[15]对取食硬便行为的解释是: 兔子都是夜间取食, 在天色还未全黑时, 取食的风险大于取食硬便的收益, 且硬便的大颗粒经过再次咀嚼研磨是可以继续消化的。虽然取食硬便并没有一个特别的生理消化功能, 但给野兔提供了很大的生态收益。

6 食粪行为的进化

Kenagy 等^[11]提出, 食粪行为的发生与动物食性的相关性要远胜于与分类联系的相关性。在完全不同的分类群中, 可以观察到很相似的食粪行为; 在同一分类群中, 食粪行为在草食性种类中出现的频率较在食谷的种类和食果实的种类中要高。表明食粪是与草食性相关, 而不是由于物种系统发生的因素^[15], 且食粪行为也与动物的个体大小相关。除南美水豚体重达到了 35 ~ 60 kg, 已知的其它具有食软便行为的哺乳动物的体重都在 10 kg 以下^[15, 36]。

依据消化系统结构由简到繁的特点, Hirakawa^[15]把食粪行为的发展划分为 4 个阶段: 初始阶段, 动物适应草食性特殊的消化系统, 如分离机制和发酵腔 (Fermentation chamber) 尚未很好地发育, 动物仅在饥饿时摄食粪便。其食性不是严格的草食性。第二阶段, 草食性加强, 发酵腔和分离机制也有所发展, 但是粪便还无任何差别, 也无一般的食粪行为。大袋鼠和树袋熊消化系统就处于这个阶段^[22]。第三阶段, 分离机制进一步发展, 可产生外形无差别, 但营养成分含量有差异的粪便。动物摄食粪 有营养学上的重要意义, 且对于动物在取食低质量食物时也是必须的。如绒毛丝鼠、加州田鼠和豚鼠等。第四阶段, 是发展最好的阶段。分离机制发展完善, 可产生形态相异的软便和硬便。摄食粪便成为满足营养需求所必需的消化过程。动物具有专门的摄食粪便期, 在此期间,

物的取食活动受到抑制。如兔子、河狸鼠、奇卷尾袋貂和南美水豚等。

综上所述, 草食性中小型哺乳动物的食粪行为是对食草习性进化适应的结果, 属于整个消化过程的一部分。食粪行为不仅给动物带来营养和能量上的收益, 亦是适应不利的环境因子(恶劣天气、天敌、低质量食物)和自身身体大小限制的较好对策之一。Hirakawa^[15]推测, 很可能还有更多未被认识的高度依赖食粪行为的小型食草动物。此外, 食粪行为的启动和终止调节及其适应进化机理等方面的研究尚需加强。食粪行为的研究对理解严格的草食性小型哺乳动物的生物学、生理学和生态学等都具有重要的意义。我国的小型哺乳动物种类繁多, 生境多样, 气候多变, 有关该领域的研究尚需要进一步加强。

参考文献:

- [1] Kenagy GJ, Hoyt D F. Reingestion of feces in rodents and its daily rhythmicity [J]. *Oecologia*, 1980, **44**: 403 - 409.
- [2] Kleiber M. The fire of life: An introduction to animal energetics [M]. Krieger, Huntington, N. Y. 1975.
- [3] Demment M W, Van Soest P J. A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and non-ruminant herbivores [J]. *Am Nat*, 1985, **125**: 641 - 672.
- [4] 裴艳新, 王德华. 化学反应器理论与食草动物的消化对策 [J]. 兽类学报, 2000, **20** (4): 304 - 312.
- [5] 裴艳新, 王德华. 小型食草动物的结肠分离机制及其食粪行为 [J]. 生态学杂志, 2001, **20** (4): 52 - 54.
- [6] Stevens C E, Hume I D. Comparative physiology of the vertebrate digestive system [M]. 2 d (ed). New york: Cambridge University Press, 1995.
- [7] Troyer K. Behavioral acquisition of the hindgut fermentation system by hatchling Iguana iguana [J]. *Behav Ecol Sociobiol*, 1984, **14**: 189 - 193.
- [8] Troyer K. Diet selection and digestion in Iguana iguana: the importance of age and nutrient requirements [J]. *Oecologia*, 1984, **61**: 201 - 207.
- [9] Hirakawa H, Haberl W. A review of the behaviour of licking the everted rectum in shrews [J]. *Acta Theriologica*, 1998, **43**: 113 - 120.
- [10] Mbrt C. Des pelotes stomacales des l'porid's [J]. *Mémoires, Société Centrale de Médecine Vétérinaire*, 1882, Serie 1, **12**, 137 - 137 Paris.
- [11] Madsen H. Does the rabbit chew the cud? [J]. *Nature*, 1939, **143**: 981 - 982.
- [12] Taylor E L. Does the rabbit chew the cud? [Appendix to Madsen's note] [J]. *Nature*, 1939, **143**: 982 - 983.
- [13] Eden A. Coprophagy in the rabbit. Origin of 'Night' Faces [J]. *Nature*, 1940, **145**: 628 - 629.
- [14] Southern H N. Coprophagy in the wild rabbit [J]. *Nature*, 1940, **145**: 262.
- [15] Hirakawa H. Coprophagy in leporids and other mammalian herbivores [J]. *Mammal Rev*, 2001, **31** (1): 61 - 80.
- [16] Krzywanek F W. Vergleichende untersuchungen über die Mechanik der Verdauung II. Mitteilung. Röntgenologische studien am omnivoren nager (Ratte) [J]. *Archiv für Tierheilkunde (Berlin)*, 1927, **55**: 523 - 536.
- [17] Pei Y X, Wang D H, Hume I D. Selective digesta retention and coprophagy in Brandt's vole (*Microtus brandti*) [J]. *J Comp Physiol B*, 2001, **171**: 457 - 464.
- [18] Björnag G. Separation and delay of contents in rabbit colon [J]. *Swed J Agric Res*, 1972, **2**: 125 - 136.
- [19] Pickard D W, Stevens C E. Digesta flow through the rabbit large intestine [J]. *Amer J Physiol*, 1972, **222**: 1 161 - 1 166.
- [20] Björnag G. Adaptation in the large intestine allowing small animals to eat fibrous foods [A]. In: Chivers D J, Langer P eds, *The Digestive System in Mammals* [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, 287 - 309.
- [21] Björnag G. Sufficient fermentation and rapid passage of digesta. A problem of adaptation in the hindgut [J]. *Acta Veter Scandi*, Suppl, 1989, **86**: 204 - 211.
- [22] Foley W J, Cork S J. Use of fibrous diets by small herbivores: how can the rules be 'bent'? [J]. *Trends Ecol Evol*, 1992, **7**: 159 - 162.
- [23] Kenagy GJ, Veloso C, Bozinovic F. Daily rhythms of intake and feces reingestion in the degu, an herbivorous Chilean rodent: Optimizing digestion through coprophagy [J]. *Physiol Biochem Zool*, 1999, **72** (1): 78 - 86.
- [24] Ebino K Y. Studies on coprophagy in experimental animals [J]. *Exp Anim*, 1993, **42**: 1 - 9.
- [25] Takahashi T, Sakaguchi E. Behaviors and nutritional importance of coprophagy in captive adult and young nutrias (*Myocastor coypus*) [J]. *J Comp Physiol B*, 1998, **168** (4): 281 - 288.
- [26] Cranford J A, Johnson E O. Effects of coprophagy and diet quality on two microtine rodents (*Microtus pennsylvanicus* and *Microtus pinetorum*) [J]. *Journal of mammalogy*, 1989, **70**: 494 - 502.
- [27] Heisinger J F. Analysis of the reingestion rhythm in confined cotton-tails [J]. *Ecology*, 1965, **46**: 197 - 201.
- [28] Osborne T B, Mendel L B. Feeding experiments with isolated food-substances. *Carnegie Inst of Wash*, 1911, Publ. No. 156.
- [29] Chilcott M J, Hume I D. Coprophagy and selective retention of fluid digesta: their role in nutrition of the common ringtail possum, *Pseudocheirus peregrinus* [J]. *Aust J Zool*, 1985, **33**: 1 - 15.
- [30] Sharkey M J. Some aspects of coprophagy in rabbits and guinea-pigs fed fresh lucerne [J]. *Mammalia*, 1971, **35**: 162 - 168.
- [31] Hörnicke H, Björnag G. Coprophagy and related strategies for digesta utilization [A]. In: Ruckebusch Y, Thivent P. eds, *Digestive*

- Physiology and Metabolism in Ruminants [C]. Lancaster: MTP Press, 1980, 707 - 730.
- [32] Langer P. The digestive tract and life history of small mammals [J]. *Mammal Rev*, 2002, **32** (2): 107 - 131.
- [33] Gibson T. Microbial degradation of aromatic compounds [J]. *Science*, 1968, **161**: 1093 - 1106.
- [34] Alexander R M. The energetics of coprophagy: a theoretical analysis [J]. *J Zool (Lond)*, 1993, **230**: 629 - 637.
- [35] Taylor E L. Pseudo-rumination in the rabbit [J]. *Proc Zool Soc London*, 1940, **110**: 159 - 163.
- [36] Hirakawa H. Supplement: Coprophagy in leporids and other mammalian herbivores [J]. *Mammal Rev*, 2002, **32** (2): 150 - 152.

书 评

《动物行为原理与物种保护方法》简介

20 世纪末, 人们开始注意到动物行为研究在物种保护中的作用。然而, 关于动物行为与物种保护的研究才刚刚开始, 人们还不甚了解就地 (*in situ*) 保护或者迁地 (*ex situ*) 保护动物时需要考虑的行为因素。中国野生动物保护事业起步较晚, 尤其缺少行为学理论与动物保护方面的研究和实践。

2004 年, 由中国科学院动物研究所蒋志刚研究员主编的《动物行为原理与物种保护方法》一书由科学出版社出版。这是国内第一本关于动物行为理论与物种保护实践的著作。作者在查阅大量最新文献和总结多年研究工作的基础上, 介绍了动物行为学研究历史、行为学研究方法和技术以及行为的激素调节理论等; 详细阐述了动物的采食行为、繁殖行为、育幼行为、玩耍行为、通讯行为、聚群行为、领域行为、扩散和迁移等以及这些行为与物种保护的关系; 该书还着重探讨了动物行为的时空结构与多样性, 总结了行为与生境元素之间的关系。另外, 结合我国诸多自然保护区实例, 该书还介绍了行为学研究在自然保护区设计以及人工繁育野生动物放归中的应用。

Eberhard Curio 1996 年在 *Trends in Evolution and Ecology* 上发表文章指出, 物种保护离不开动物行为学研究。为了提高物种保护行动的成功, 应当把保护动物行为的正常发育与表达纳入到管理野生动物的工作中。该书不仅仅停留在文献综述的程度上, 作者结合了自己多年的科研工作和培养研究生的经验、体会、融知识、思维方式、实验技能培养于一体, 重点阐述了学科新理论、新技术、新方法、新进展。该书内容具有一定的先进性、科学性、应用性、启发性和系统性, 适合从事生物学、自然保护、环境保护、行为学和实验生物学的科技工作者、大学生、研究生学习和参考。对于野生动物保护站、动物园和自然保护区的管理工作者来说, 该书也有很高的参考价值。

李春旺 (中国科学院动物研究所)