

湖北大老岭国家级自然保护区中华鬣羚 和中华斑羚冬季食性比较

沈红洋^{1,3#} 雷东方^{2#} 齐一轩^{1,3} 林友兴^{1,3} 王传华^{1,3*}

1 三峡大学生物与制药学院 宜昌 443002; 2 湖北沐芳农林生态科技有限公司 宜昌 443000;

3 湖北省三峡地区生态保护与治理国际联合研究中心 宜昌 443002

摘要: 食性研究是濒危动物保护的重要内容。中华鬣羚 (*Capricornis milneedwardsii*) 和中华斑羚 (*Naemorhedus griseus*) 均为我国二级重点保护野生动物, 为了研究两种动物生存瓶颈期(越冬期)的食性, 本研究于 2023 年 11 月至 2024 年 3 月, 在湖北大老岭国家级自然保护区内, 运用红外相机技术、样线调查、野外样方法与粪便显微分析技术, 对同域分布的中华鬣羚和中华斑羚开展了越冬期粪便食物组成研究。之后通过国家标准方法对食源植物中相应营养成分(粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、粗灰分)含量进行测定, 通过营养成分含量和采食频率的相关性分析对两种有蹄类动物冬季营养适应机制进行研究。结果如下: (1) 共发现中华鬣羚粪便 83 处, 中华斑羚粪便 47 处, 收集到两个物种的复合粪便样本各 20 份。(2) 中华鬣羚和中华斑羚冬季均取食 12 科 13 种植物, 两者取食植物 12 种存在重叠, 中华鬣羚冬季主要食源植物为莎草科 (Cyperaceae)、胡颓子科 (Elaeagnaceae)、鳞毛蕨科 (Dryopteridaceae) 和黄杨科 (Buxaceae) 植物; 中华斑羚冬季主要食源植物为莎草科、五福花科 (Adoxaceae)、龙胆科 (Gentianaceae) 和黄杨科植物。(3) 中华鬣羚和中华斑羚冬季食物多样性十分接近, Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 分别为 2.23 和 2.25, Pielou 均匀度指数 (J') 分别为 0.86 和 0.87, 生态位宽度指数 (B) 分别为 8.30 和 8.42, 且二者食物生态位重叠指数 (C) 为 0.88, 重叠较大。(4) 中华鬣羚冬季取食频率与食源植物中粗蛋白 ($R=0.42, P<0.05$)、粗脂肪 ($R=0.35, P<0.05$) 及粗纤维含量 ($R=0.33, P<0.05$) 具有显著正相关, 与粗灰分和单宁含量的相关性无统计学意义 ($P>0.05$); 中华斑羚冬季取食频率与食源植物中粗蛋白 ($R=0.61, P<0.05$)、粗脂肪 ($R=0.59, P<0.05$) 和粗灰分 ($R=0.45, P<0.05$) 含量具有显著正相关, 与食物中粗纤维和单宁含量的相关性无统计学意义 ($P>0.05$)。结果表明, 中华鬣羚和中华斑羚在冬季食物资源利用上存在较高重叠。在取食策略上, 两种动物在冬季更注重食物的可获取性而非适口性, 并优先保证蛋白质和能量的稳定摄入, 两者间的差异主要体现在中华鬣羚更侧重食物带来的饱腹性, 中华斑羚则更侧重食物的营养精细度。

关键词: 中华鬣羚; 中华斑羚; 食物组成; 食性比较; 越冬期

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2026) 04-507-17

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31570543);

* 通信作者, E-mail: wang740301@ctgu.edu.cn;

共同第一作者 沈红洋, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态学; E-mail: 19086829319@163.com。

雷东方, 男, 学士; 研究方向: 森林生态学; E-mail: 892249263@qq.com。

收稿日期: 2025-09-22, 修回日期: 2026-02-06 DOI: 10.13859/j.cjz.202625171 CSTR: 32109.14.cjz.202625171

Comparison on winter diets of Chinese Serow (*Capricornis milneedwardsii*) and Chinese Goral (*Naemoredus griseus*) in Hubei Dalaoling National Nature Reserve, China

SHEN Hong-Yang^{1,3#} LEI Dong-Fang^{2#} QI Yi-Xuan^{1,3} LIN You-Xing^{1,3} WANG Chuan-Hua^{1,3*}

¹ College of Biological and Pharmaceutical Sciences, China Three Gorges University, Yichang 443002; ² Hubei Mufang Agriculture, Forestry and Ecological Technology Co., Ltd., Yichang 443000; ³ International Joint Research Center for Ecological Protection and Governance in the Three Gorges Area of Hubei Province, Yichang 443002, China

Abstract: [Objectives] Dietary research is a crucial component of conservation studies for endangered wildlife. Both Chinese Serow (*Capricornis milneedwardsii*) and Chinese Goral (*Naemoredus griseus*) are class II national key protected wild animals in China. The winter season is characterized by harsh environmental conditions and scarce food resources, making the overwintering period a critical survival bottleneck for these two species. To clarify the winter dietary strategies and nutritional adaptation mechanisms of these sympatric species, this study was conducted in Hubei Dalaoling National Nature Reserve from November 2023 to March 2024. The specific research objectives are as follows: (1) To identify the winter food composition and plant category preferences of the two species; (2) To analyze the diversity of their winter diets and the degree of food niche overlap; (3) To explore the correlations of their foraging frequency with the nutrient components (crude protein, crude fat, crude fiber, crude ash) and tannin of food plants; (4) To provide targeted scientific support for the conservation and management of the two species by comparing their dietary differences and adaptive strategies. **[Methods]** On the basis of infrared camera monitoring data collected from 2019 to 2024, 20 sites with high occurrence frequencies of Chinese Serow and 9 sites with high occurrence frequencies of Chinese Goral were selected as survey locations. At each site, a transect approximately 2 km in length was established perpendicular to the contour lines, along which signs of activity of both species were recorded and fresh fecal samples (≤ 3 d old) were collected. For each fecal occurrence area, a 20 m $\times$ 20 m plot was centered on the location to collect plant species consumed by the two ungulates. Fecal microhistological analysis (10 $\times$ 10 magnification) was conducted to determine winter diet composition, and the frequency of occurrence (F) and relative density (RD) of each plant species in feces were calculated. Diet diversity was assessed based on the Shannon-Wiener diversity index (H'), evenness index (J'), and niche breadth index (B), while winter diet overlap between the two species was quantified by Pianka's index (C). Nutritional components and tannin content of plants were determined strictly following national standard methods of the People's Republic of China. Data analysis was conducted in OriginPro 2024 (Version 10.1.0.178), where one-way ANOVA was carried out to test differences in tannin content among plant species, followed by Tukey's multiple comparison tests. Pearson correlation analyses and visualization were performed in R version 4.3.2 to examine relationships between winter feeding frequency and plant nutritional components. **[Results]** (1) Both species fed on 13 plant species belonging to 12 families in winter. The main

winter food sources of Chinese Serow were *Carex taliensis* (17.05%), *Elaeagnus lanceolata* (12.54%), *Dryopteris atrata* (11.35%), and *Pachysandra terminalis* (10.37%); while the main winter food sources of Chinese Goral were *C. taliensis* (18.55%), *Viburnum erosum* (12.35%), *Tripterospermum discoideum* (9.31%), and *P. terminalis* (9.04%) (Table 2). (2) The categories of food plants for Chinese Serow in winter were in the order of shrubs (39.35%), herbs (22.09%), ferns (17.37%), lianas (14.95%), and mosses (6.26%); for Chinese Goral, the order was herbs (34.13%), shrubs (30.88%), lianas (14.81%), ferns (13.66%), and mosses (6.52%) (Fig. 4). (3) The winter food diversity of Chinese Serow and Chinese Goral was close (Shannon-Wiener index H' : 2.23 vs. 2.25; Pielou evenness index J' : 0.86 vs. 0.87; Simpson index B : 8.3 vs. 8.42), and their food niche overlap was high (Schoener's niche overlap index $C = 0.88$), indicating that intense interspecific competition may exist between the two species (Table 3). (4) The winter foraging frequency of Chinese Serow showed positive correlations with the content of crude protein, crude fat, and crude fiber in food (correlation coefficients R : 0.42, 0.35, and 0.33 respectively, $P < 0.05$), but no significant correlation with crude ash or tannin content ($P > 0.05$). For Chinese Goral, its winter foraging frequency was positively correlated with crude protein, crude fat, and crude ash content in food (R : 0.61, 0.59, and 0.45 respectively, $P < 0.05$), while no significant correlation was found with crude fiber or tannin content ($P > 0.05$) (Figs. 5 ~ 7). **[Conclusion]** The food plant species of Chinese Serow and Chinese Goral show a high overlap in winter. Regarding their foraging strategies, both species prioritize food accessibility over palatability in winter and give priority to ensuring a stable intake of protein and energy. The difference between the two species lies mainly in that Chinese Serow focuses more on the satiety provided by food, while Chinese Goral places a greater emphasis on the nutritional refinement of food.

Key words: *Capricornis milneedwardsii*; *Naemorhedus griseus*; Food composition; Dietary comparison; Overwintering period

野生动物食性研究是动物生态学研究的基础内容之一，旨在从动物摄取营养的角度揭示动物对环境变化做出的适应性调整，可为濒危动物保护及野生动物资源科学管理提供理论支持（郑荣泉和鲍毅新 2004）。其中，有蹄类动物冬季食性的研究一直备受动物保护领域学者的关注。冬季气候恶劣、食物资源匮乏，有蹄类动物冬季的食性充分体现其对环境资源的利用策略，因此，冬季食性研究又被视作评价物种对环境适宜程度不可或缺的内容之一。动物的食性选择是一个十分复杂的过程。对薐羚（*Tragelaphus sylvaticus*）的研究表明，与营养状态较差的个体相比，营养状态较好的个体将更多的能量用于搜寻营养精细度更高的食物，因此其食性趋于特化（Walker et al. 2023）；通

过对比骆马（*Vicugna vicugna*）夏季和冬季食性发现，其取食策略从夏季食物资源丰富时的机会主义向冬季食物资源匮乏时的选择性取食转变（Puig et al. 2011）。上述研究均表明，有蹄类动物的食性既受自身生理状态的影响，又受到植物营养成分和可获得性等外界环境因素的影响。

中华鬣羚（*Capricornis milneedwardsii*）（隶属于牛科鬣羚属）和中华斑羚（*Naemorhedus griseus*）（隶属于牛科斑羚属）均为我国典型林栖类动物（魏辅文 2022）。中华鬣羚分布于我国黄河以南以及西藏等地，主要栖息于热带和亚热带常绿阔叶林中；中华斑羚分布于我国西南、东北、华北、华南各地，主要栖息于山地针叶林、山地针阔叶混交林和山地常绿阔叶林

(汪松 1998)。近年来,伴随着生境破坏和人为猎杀等原因,两种动物的种群数量和分布范围呈现出逐年下降趋势,现两者均为国家二级重点保护野生动物,同时被国际自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, ICUN)评定为易危级(Vulnerable, VU)物种(蒋志刚等 2016)。同域分布下的中华鬣羚和中华斑羚在时空生态位上表现出较大重叠(刘伟等 2023),两种动物不可避免地围绕部分环境资源产生竞争。而在冬季,受到低温等环境因素影响,动物可利用的环境资源进一步收缩,物种间竞争强度也随之加剧。如同域分布下的驼鹿(*Alces alces*)、马鹿(*Cervus elaphus*)和狍(*Capreolus pygargus*) 3 种有蹄类动物由于体型的差异,其食性原本分别偏向于木本、灌木兼草本以及草本植物,但冬季积雪厚度增加导致 3 个物种可取食的植物种类减少,围绕食物资源的竞争强度随之增加(Ratkiewicz et al. 2024)。冬季食物资源对于维系中华鬣羚和中华斑羚的种群数量稳定至关重要,因此开展中华鬣羚和中华斑羚冬季食性的研究对于其种群保护具有重要意义。

然而,目前国内对中华斑羚和中华鬣羚的研究多聚焦于同域分布下两者的时空生态位特征,仅见少数对中华鬣羚食性的研究(宋延龄等 2005, 肖安国等 2008),对中华斑羚的食性研究虽多于中华鬣羚,但多数研究仅注重其食物组成,对营养策略的研究仍十分缺少(吴建平等 2005, 张维等 2006, 刘夫仁等 2022)。因此,在植物资源条件丰富且两个物种存在同域分布的地区开展针对其食性和营养特征的比较研究,对于揭示两种动物越冬期的适应性具有重要意义。湖北大老岭自然保护区内植被具有亚热带向暖温带过渡的特征,植物物种多样性极高,加上保护区独特的地理位置,使其成为中华鬣羚和中华斑羚的适宜栖息地,两种动物于保护区内出现的频率较高(彭洪林等 2023, 李文静 2024)。本研究基于粪便显微分析技术,以大老岭自然保护区为研究区域,通

过对同域分布的中华鬣羚和中华斑羚冬季食性进行比较分析,为保护区内两个物种的种群保护和管理工作提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

湖北大老岭国家级自然保护区位于湖北省宜昌市夷陵区西北部、长江西陵峡北岸(110°51'08" ~ 111°00'26" E, 30°52'35" ~ 31°07'24" N),是中国地势第二级阶梯向第三级阶梯的过渡区域、江汉平原与鄂西山地的分界线(王功芳等 2019)。保护区总面积 14 225 hm²,其中核心区、缓冲区和实验区面积分别达到 5 127 hm²、4 410 hm²和 4 598 hm²(许玥等 2012),平均海拔 1 700 m (960 ~ 2 008 m),本研究红外相机布设点的海拔范围为 939 ~ 1 950 m (图 1)。保护区以森林生态系统为主要保护对象,森林覆盖率达 98%,主要植被类型包括针叶林、常绿阔叶林、常绿阔叶落叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林和灌丛等(沈泽昊和张新时 2000)(表 1),且野生动植物资源丰富,是三峡库区生物多样性的典型代表和生态环境保护的重点地区。

1.2 食性调查

1.2.1 粪便和植物样本收集 根据红外相机于 2019 至 2024 年间收集的数据,共提取出 38 个中华鬣羚冬季出现的相机点位和 14 个中华斑羚冬季出现的相机点位(图 1)。从中选取 20 个中华鬣羚和 9 个中华斑羚出现频率较高的点位作为调查点,以各调查点为中心,沿等高线方向设置长约 2 km 的样线使其充分覆盖两个物种的活动区域,沿线调查两个物种的生活痕迹并收集 3 d 内的新鲜粪便样本。为避免重复采样,中华鬣羚粪便的采样点至少间隔 200 m,中华斑羚粪便的采样点至少间隔 100 m(刘夫仁等 2022)。粪便鉴别参考《中国兽类踪迹指南》(马世来等 2001),中华鬣羚粪便体积与粗纤维含量明显大于同区域其他物种,新鲜中华鬣羚粪便结构完整,可见明显的植物残渣,且

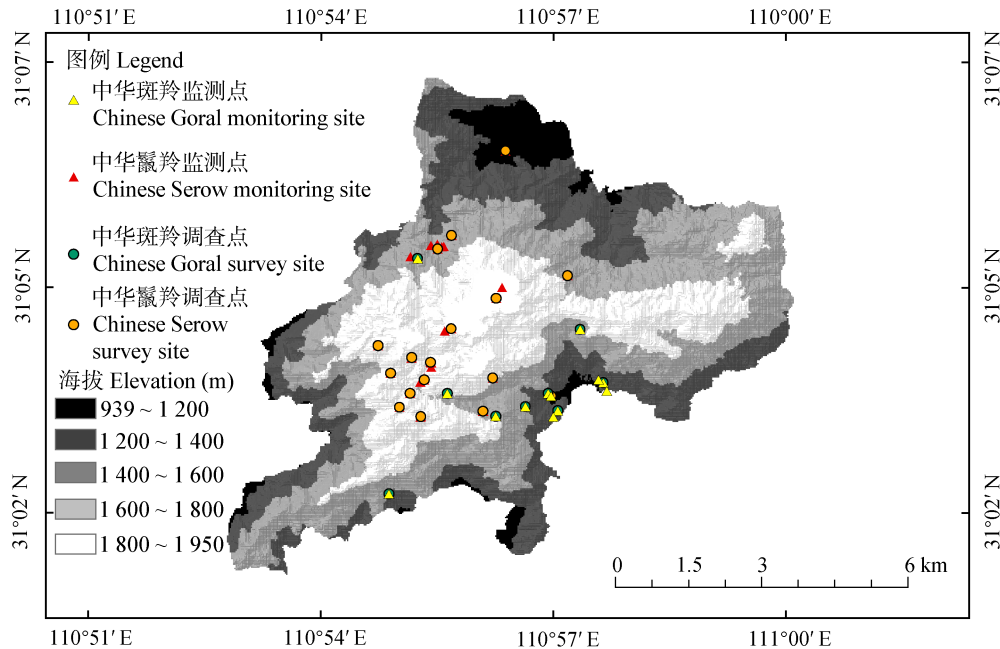


图 1 湖北省大老岭国家级自然保护区中华鬣羚和中华斑羚的监测点与调查点

Fig. 1 Monitoring and survey sites of *Capricornis milneedwardsii* and *Naemorhedus griseus* in Hubei Dalaoling National Nature Reserve

监测点为拍摄到中华鬣羚和中华斑羚出现的红外相机点位，调查点为监测点中筛选出的两个物种出现频率较高的红外相机点位。
Monitoring sites are infrared camera stations where Chinese Serow and Chinese Goral were recorded, and survey sites are those monitoring sites with high occurrence frequencies of the two species.

表 1 监测点和调查点所在海拔范围对应植被类型

海拔范围 Altitude range (m)	植被类型 Vegetation type
939 ~ 1 200	针阔混交林、日本落叶松、杉木林、栎林及硬阔林
1 200 ~ 1 400	Mixed coniferous and broad-leaved forest, <i>Larix kaempferi</i> , <i>Cunninghamia lanceolata</i> , <i>Quercus spinose</i> , and broad-leaved forest
1 400 ~ 1 600	
1 600 ~ 1 800	
1 800 ~ 1 950	日本落叶松、硬阔林
	<i>Larix kaempferi</i> , broad-leaved forest

有光泽；新鲜的中华斑羚粪便呈暗绿色椭圆形，表面湿润有光泽，黏度高，收集时不易碎裂（唐书培等 2018），时间较长的粪便则因为低温和风化导致开裂、干枯。记录采集相关信息，包括收集时间、地点、生境类型等。粪便样本使用密封袋封好后放入 2 ~ 6 °C 低温箱内保存。共收集到中华鬣羚粪便 83 份，中华斑羚粪便

47 份。分别从每份粪便中选取 2 粒粪粒为分析样本，制作中华鬣羚和中华斑羚各 20 个复合样本并于 -80 °C 冷冻保存（徐嘉等 2018a）。
以发现粪便的区域为中心设置 20 m × 20 m 的样方，在排除中华鬣羚和中华斑羚无法获取的植物后，收集所有剩下的植物种类各两份，分别用于制片后对比粪便中的角质碎片、鉴定植

物种类及进行营养成分分析(崔多英等 2007)。

1.2.2 制片 将每堆粪便中取出的 2 粒粪粒作为复合样本,与采集的植物样本一起放入 60~70 °C 的烘箱烘干 48 h 至恒重后研磨,并利用 40~100 目筛进行筛选,取筛上样后按步骤进行制片(徐嘉等 2018a)。每个粪便复合样本制作 5 张、每个植物样本制作 3 张。

1.2.3 镜检 每张粪便显微片在 10 × 10 倍显微镜(宁波永新光学股份有限公司,型号 Nexcope-NE900)下随机选择 10 个互不重复的视野进行观察,根据每个视野中可辨认的植物组织细胞形态并参照植物样本的显微片进行物种鉴定(王志勇等 2019)。其中大部分样本可鉴定至属或种,对于同属内难以区分的物种则结合取样点植物区系组成(热娜古丽·艾合麦提等 2015)进行综合判断。在单个视野下出现的植物,无论其碎片大小与数量都仅记录为出现一次(滑荣等 2020)。之后统计求出植物角质碎片的出现频率 F ,采用频率转换法(吕忠海等 2020),其公式为 $F = 100(1 - e^{-D})$,将 F 转化为每个视野中每种植物可辨认的表皮角质碎片的平均密度(D), D 可转化为相对密度 D_R ,其公式为:

$$D_R = \sum_{i=1}^n D_i \times 100\%,$$

其中, D_i 表示第 i 种植物可辨认表皮角质碎片的平均密度, n 表示植物种类数, D_R 为食物中各种植物的组成比例,可作为食物中各种植物采食频率的估计值,并以此列出中华鬣羚和中华斑羚冬季食物组成。

1.3 食物多样性分析

利用 Shannon-Wiener 指数(H')、均匀度指数(J')、生态位宽度指数(B)分析中华鬣羚和中华斑羚冬季食物组成多样性,具体公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i, J' = H'/H_{\max}, B = 1/\sum P_i^2,$$

其中, P_i 为有蹄类动物取食的第 i 种植物在所有被取食植物中所占比例, $H_{\max} = \ln S$, S 为物种冬季食物组成中植物的种类数。

采用 Pianka 指数(Pianka 1973)计算冬季中华鬣羚和中华斑羚的食物重叠度,具体公式为:

$$C = \frac{\sum P_{ij}P_{ik}}{\sqrt{\sum P_{ij}^2 \sum P_{ik}^2}},$$

其中, P_{ij} 和 P_{ik} 分别为植物 i 在中华鬣羚和中华斑羚冬季食物中的比例,重叠度指数 C 的范围为 0(无重叠)至 1(全部重叠)。

1.4 食物营养成分测定

2024 年 10 月于大老岭保护区内采集中华鬣羚和中华斑羚越冬期食源植物的可食用部分,每种植物采集 1 000 g,并用电子分析天平[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司,型号 BSA124S,量程 0~120 g,精度 0.000 1 g]称取植物样本的鲜重。将收集到的植物样本可食用部分经烘箱 60 °C 烘干至恒重,将烘干后的样本研磨后过 40 目网筛并装入密封袋备用。植物样本中营养成分的测定均参照国家标准方法,包括粗蛋白(GB/T 6432-2018)、粗脂肪(GB 5009.6—2025)、粗灰分(LY/T 1268—1999)、粗纤维(GB/T 5009.10—2003)和单宁(GB/T 27985—2011)。每个样品设置 3 次平行测定,取 3 次测定值的平均值作为对应营养成分的最终测定值。

1.5 数据分析

利用 Excel 2016 对镜检结果进行数据整理。利用 SPSS 27.0.1 软件对多组植物的单宁含量进行单因素方差分析和 Tukey 多重比较,在进行方差分析前,首先采用 Shapiro-Wilk 检验数据或模型残差的正态性,之后采用 Levene 检验方差齐性(高子靖等 2020)。利用 R 4.3.2 (R Core Team 2023)对两种连续型变量冬季采食频率与植物营养成分含量进行 Pearson 相关性分析并作图。Pearson 相关系数 R 表示相关强度的取值范围为:极强($0.8 \leq R \leq 1$)、强($0.6 \leq R < 0.8$)、中等($0.4 \leq R < 0.6$)、弱($0.2 \leq R < 0.4$)、极弱或无($0 \leq R < 0.2$),显著性水平平均设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 中华鬣羚和中华斑羚冬季食物组成

湖北大老岭自然保护区内中华鬣羚和中华斑羚冬季食物组成包括莎草科 (Cyperaceae)、龙胆科 (Gentianaceae)、鳞毛蕨科 (Dryopteridaceae)、五福花科 (Adoxaceae)、菝葜科 (Smilacaceae)、木通科 (Lardizabalaceae)、黄杨科 (Buxaceae)、杜鹃花科 (Ericaceae)、山矾科 (Symplocaceae)、胡颓子科 (Elaeagnaceae)、菊科 (Asteraceae) 和瑞香科 (Thymelaeaceae) 共 12 个科及 1 种苔藓植物。植物类型包括 3 种草本、6 种灌木、2 种蕨类、2 种藤本以及 1 种苔藓植物。中华鬣羚和中华斑羚取食植物的种类基本相似, 有 12 种植物重叠, 不同的是, 中华鬣羚取食瑞香科灌木瑞香

(*Daphne odora*), 不取食菊科草本野艾蒿 (*Artemisia lavandulifolia*), 中华斑羚则与之相反。莎草科、胡颓子科、鳞毛蕨科和黄杨科占中华鬣羚冬季食物来源的 57.33%, 为其冬季主要食物来源; 莎草科、五福花科、龙胆科和黄杨科占中华斑羚冬季食物来源的 49.25%, 为其冬季主要食物来源 (表 2)。

植物类型上, 灌木植物为中华鬣羚最主要的食物来源, 占其冬季食物组成的 39.35%, 其中胡颓子科植物披针叶胡颓子 (*Elaeagnus lanceolata*) 被其采食的频率最高, 占比为 12.54%, 杜鹃花科植物美丽马醉木 (*Pieris formosa*) 被其采食的频率最低, 仅为 1.44%; 草本植物在中华鬣羚冬季食物组成中占比 22.10%, 莎草科植物大理苔草 (*Carex taliensis*)

表 2 湖北大老岭国家级自然保护区中华鬣羚和中华斑羚的冬季食物组成

Table 2 Winter food composition of <i>Capricornis milneedwardsii</i> and <i>Naemorhedus griseus</i> in Hubei Dalaoling Nature Reserve					
科 Family	植物种类 Plant species	出现的频率 Occurrence frequency, <i>F</i> (%)		占食物的百分比 Relative dietary proportion, <i>D_R</i> (%)	
		中华鬣羚 <i>Capricornis milneedwardsii</i>	中华斑羚 <i>Naemorhedus griseus</i>	中华鬣羚 <i>C. milneedwardsii</i>	中华斑羚 <i>N. griseus</i>
莎草科 Cyperaceae	大理苔草 <i>Carex taliensis</i>	46.30	56.24	17.05	18.55
龙胆科 Gentianaceae	湖北双蝴蝶 <i>Tripterospermum discoideum</i>	16.80	33.95	5.04	9.31
鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	暗鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris atrata</i>	33.90	26.34	11.35	6.86
	草叶耳蕨 <i>Polystichum neolobatum</i>	19.70	26.15	6.02	6.80
五福花科 Adoxaceae	宜昌荚蒾 <i>Viburnum erosum</i>	23.70	42.33	7.42	12.35
菝葜科 Smilacaceae	长托菝葜 <i>Smilax ferox</i>	25.80	18.00	8.18	4.45
苔藓植物 Bryophyta		20.40	25.21	6.26	6.52
木通科 Lardizabalaceae	三叶木通 <i>Akebia trifoliata</i>	8.40	27.66	2.41	7.27
黄杨科 Buxaceae	顶花板凳果 <i>Pachysandra terminalis</i>	31.50	33.16	10.37	9.04
杜鹃花科 Ericaceae	美丽马醉木 <i>Pieris formosa</i>	5.10	12.94	1.44	3.11
山矾科 Symplocaceae	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	14.30	8.25	4.23	1.93
胡颓子科 Elaeagnaceae	披针叶胡颓子 <i>Elaeagnus lanceolata</i>	36.70	28.53	12.54	7.54
菊科 Asteraceae	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulifolia</i>	0.00	24.37	0.00	6.27
瑞香科 Thymelaeaceae	瑞香 <i>Daphne odora</i>	24.50	0.00	7.71	0.00

F. 相应植物在中华鬣羚或中华斑羚粪便样本中出现的频率; *D_R* 表示该植物占食谱的相对比例。
F. The frequency of each plant species appeared in the fecal samples of Chinese Serow and Chinese Goral; *D_R*. Relative dietary proportion (i.e., the percentage of each plant species in the total food composition).

被中华鬣羚采食的频率最高，占比为 17.05%，龙胆科植物湖北双蝴蝶（*Tripterospermum discoideum*）被其采食的频率最低，仅为 5.04%；蕨类、藤本和苔藓类植物分别占中华鬣羚冬季食物组成的 17.37%、14.95%和 6.26%。中华斑羚最主要的食物来源为草本植物，占其冬季食物组成的 34.31%，其中莎草科植物大理苔草采食频率最高，占 18.55%，菊科植物野艾蒿被其采食的频率最低，为 6.27%；灌木植物占中华斑羚冬季食物来源的 30.88%，其中采食频率最高的为五福花科植物宜昌荚蒾（*Viburnum erosum*），占 12.35%，山矾科植物山矾（*Symplocos sumuntia*）被其采食的频率最低，为 1.93%；蕨类、藤本和苔藓类植物分别占中华斑羚冬季食物组成的 13.66%、14.81%和 6.52%。

2.2 中华鬣羚和中华斑羚冬季食物多样性

中华鬣羚和中华斑羚冬季取食植物种类在 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、生态位宽度指数上基本相同；中华鬣羚和中华斑羚食物生态位重叠指数 *C* 为 0.88（表 3）。

2.3 中华鬣羚和中华斑羚冬季食源植物营养成分含量

大老岭地区冬季中华鬣羚和中华斑羚食源植物中，粗蛋白和粗灰分含量最多的植物为莎草科植物大理苔草，其粗蛋白含量达到 19.73%，粗灰分含量达到 13.67%；粗脂肪含量最多的植物为龙胆科植物湖北双蝴蝶，其含量达到 13.95%；粗纤维和单宁含量最高的植物为胡颓子科植物披针叶胡颓子，其粗纤维含量达到 27.17%，单宁含量达到 33.00%（图 2，3）。

表 3 中华鬣羚和中华斑羚冬季食物多样性

	中华鬣羚 <i>Capricornis milneedwardsii</i>	中华斑羚 <i>Naemorhedus griseus</i>
食物种类 Food species	13	13
多样性指数 Shannon-Wiener diversity index, <i>H'</i>	2.23	2.25
Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index, <i>J'</i>	0.86	0.87
生态位宽度指数 Niche breadth index, <i>B</i>	8.30	8.42
食物生态位重叠指数 Food niche overlap index, <i>C</i>	0.88	

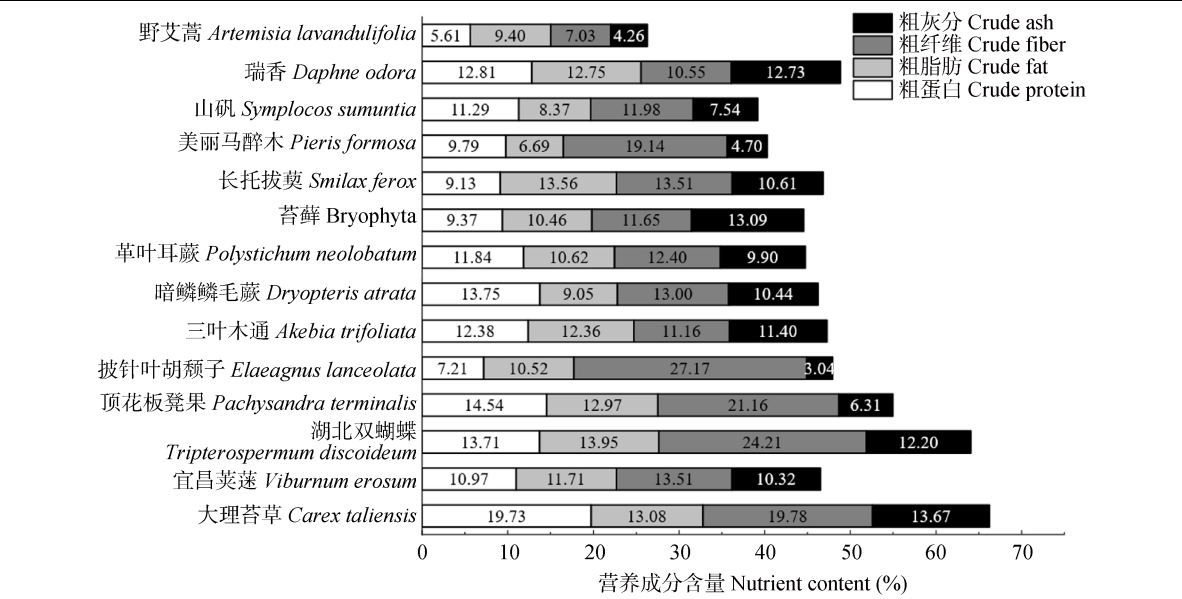


图 2 中华鬣羚和中华斑羚冬季食源植物营养成分含量

Fig. 2 Nutrient content of winter food source plants for *Capricornis milneedwardsii* and *Naemorhedus griseus*

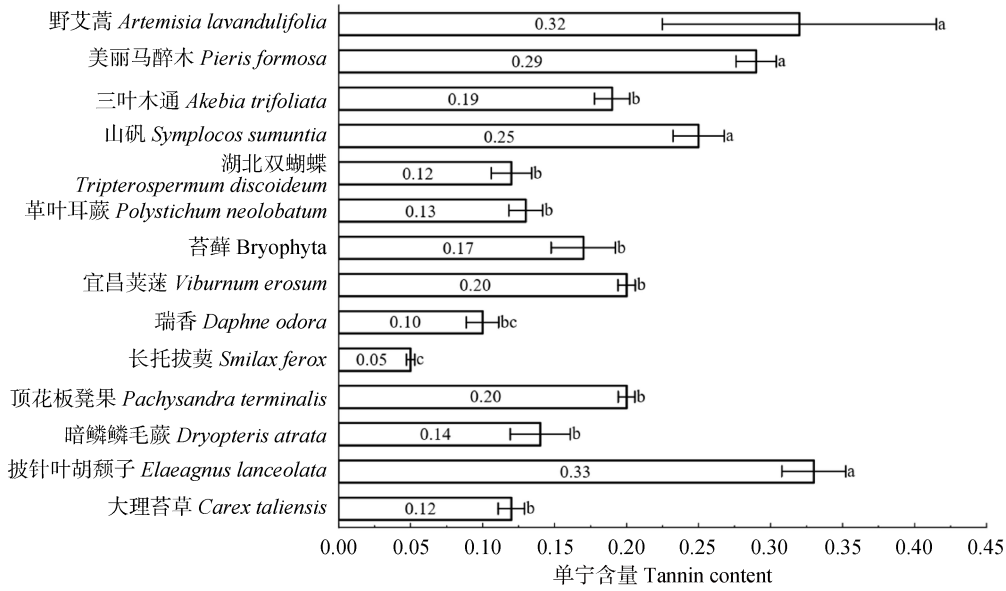


图 3 中华鬣羚和中华斑羚冬季食源植物单宁含量

Fig. 3 Tannin content of winter food source plants for *Capricornis milneedwardsii* and *Naemorhedus griseus*

图中误差线为标准差；不同小写字母表示经单因素方差分析后采用 Tukey HSD 法进行多重比较，不同植物种间单宁含量差异显著 ($P < 0.05$)，相同字母则代表差异不显著。

The error bars in the figure represent standard deviation. Different lowercase letters indicate significant differences in tannin content among plant species based on one-way ANOVA followed by Tukey's HSD multiple comparison test ($P < 0.05$), while the same letter indicates no significant difference.

植物类别上，中华鬣羚和中华斑羚冬季食源植物不同类别中粗蛋白含量从高到低依次为：草本、蕨类、灌木、藤本、苔藓；粗脂肪含量依次为：草本、藤本、灌木、苔藓、蕨类；粗灰分含量依次为：草本、苔藓、蕨类、灌木、藤本。中华鬣羚冬季食源植物类别中粗纤维含量从高到低依次为草本、藤本、灌木、蕨类、苔藓，中华斑羚则为藤本、草本、灌木、蕨类、苔藓（图 4）。

2.4 中华鬣羚和中华斑羚冬季营养策略分析

基于中华鬣羚和中华斑羚两个物种冬季植物取食频率与其相应食源植物所含营养成分含量的相关性分析，中华鬣羚冬季对植物的取食频率与其食源植物中所含的粗蛋白 ($R = 0.42$, $P < 0.05$) 呈中度正相关，与粗脂肪 ($R = 0.35$, $P < 0.05$)、粗纤维 ($R = 0.33$, $P < 0.05$) 呈弱正相关，与粗灰分含量和单宁含量相关性无统

计学意义 ($P > 0.05$)（图 5，6）。中华斑羚冬季对植物的取食频率与其食源植物中所含粗蛋白 ($R = 0.61$, $P < 0.05$) 呈强正相关，与粗脂肪 ($R = 0.59$, $P < 0.05$)、粗灰分 ($R = 0.45$, $P < 0.05$) 呈中度正相关，与粗纤维含量和单宁含量相关性无统计学意义 ($P > 0.05$)（图 6，7）。

3 讨论

3.1 食性研究方法选择

本研究采用粪便显微分析技术，通过观察粪便中植物表皮角质碎片以及细胞形态结构对中华鬣羚和中华斑羚冬季食物组成进行鉴定。相比于直接观察法、胃内容分析法等传统食性研究方法，粪便显微分析技术能够在不干扰动物正常活动的前提下研究其食物组成，且样品的收集与保存便捷，尤其适用于中华鬣羚和中华斑羚此类濒危野生有蹄类动物的食性研究

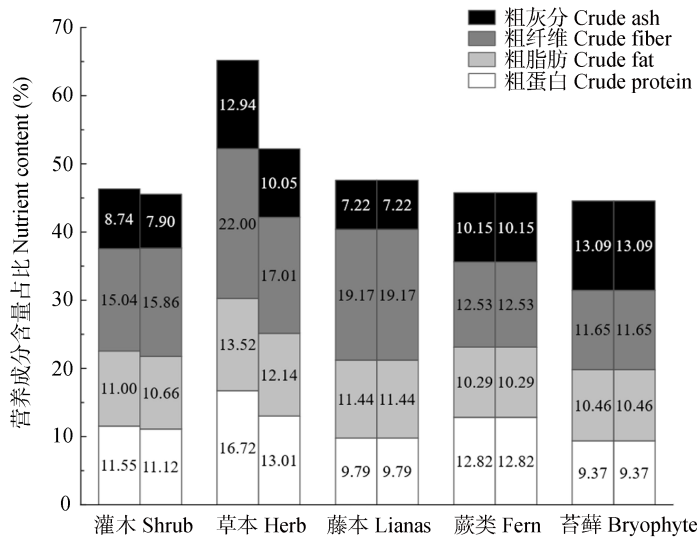


图 4 中华鬣羚（左）和中华斑羚（右）冬季食源植物类别营养含量

Fig. 4 Nutrient content of winter food source plant categories for *Capricornis milneedwardsii* (left) and *Naemorhedus griseus* (right)

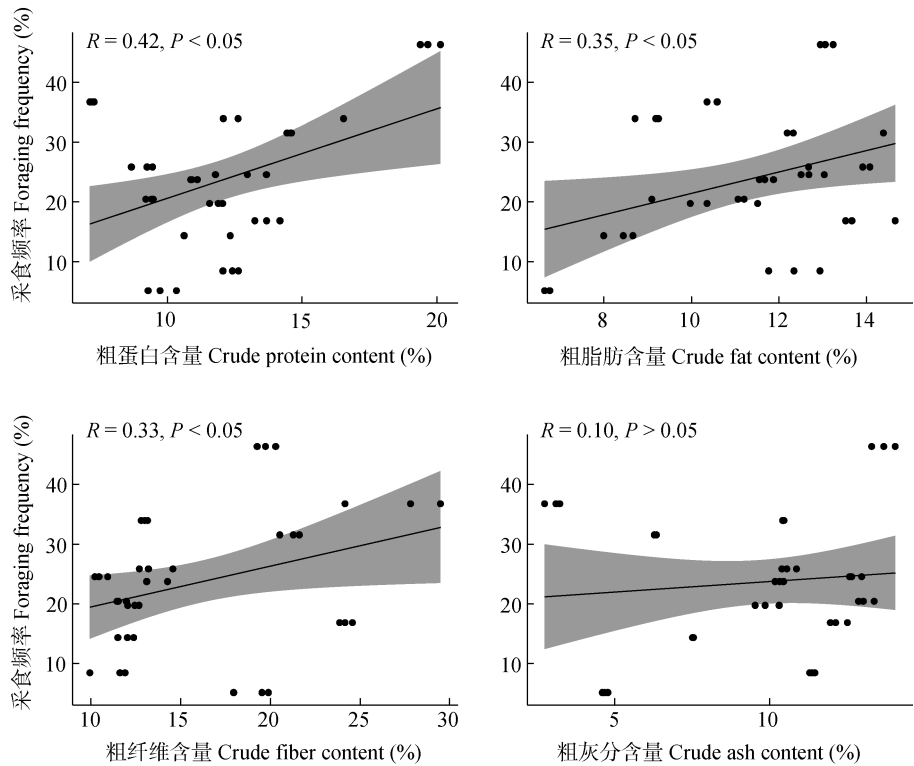


图 5 中华鬣羚冬季采食频率与食源植物营养成分相关性

Fig. 5 Correlations between winter foraging frequency and nutrient components of *Capricornis milneedwardsii*

图中黑色圆点代表相应植物对应的营养成分含量，线为相关性拟合趋势线，灰色区域代表置信区间。
Each individual dot represents the nutrient content of a corresponding plant. The line denotes the trend line of the correlation fit, and the gray area indicates the confidence interval.

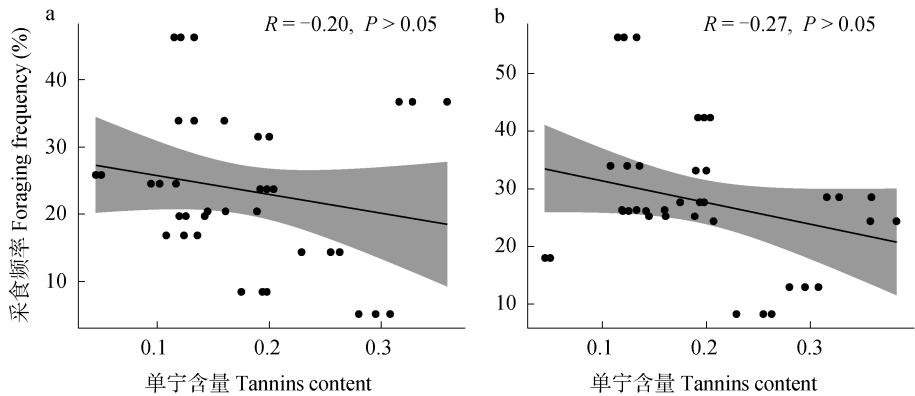


图 6 中华鬣羚 (a) 和中华斑羚 (b) 冬季采食频率与食源植物单宁含量相关性

Fig. 6 Correlations between winter foraging frequency and tannin content in *Capricornis milneedwardsii* (a) and *Naemorhedus griseus* (b)

图中黑色圆点代表相应植物的单宁含量，线为相关性拟合趋势线，灰色区域代表置信区间。
Each individual dot represents the tannin content of a corresponding plant. The line denotes the trend line of the correlation fit, and the gray area indicates the confidence interval.

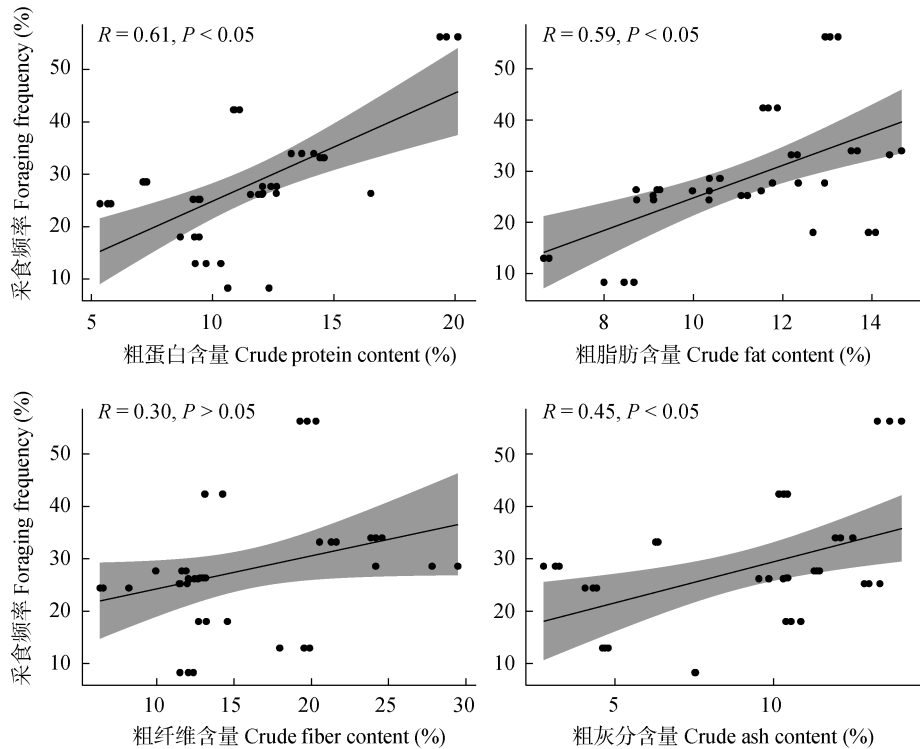


图 7 中华斑羚冬季采食频率与食源植物营养成分相关性

Fig. 7 Correlations between winter foraging frequency and nutrient components of *Naemorhedus griseus*

图中黑色圆点代表相应植物对应的营养成分含量，线为相关性拟合趋势线，灰色区域代表置信区间。
Each individual dot represents the nutrient content of a corresponding plant. The line denotes the trend line of the correlation fit, and the gray area indicates the confidence interval.

(郑荣泉和鲍毅新 2004, 贾海燕 2013)。该方法也存在一定局限性, 例如, 受到动物本身消化能力和不同植物消化率差异的影响, 可能导致研究结果出现一定的偏差(宫爽等 2022, 黄乃莹 2023)。但通过选用恰当的修正因子以及改善样本处理方式和提高镜检技术水平等方式, 仍能保证所得结果的准确性(高中信等 1991)。

目前粪便显微分析技术在野生有蹄类动物食性研究中的应用已十分成熟。本研究在样品采集、制片、显微观察及计数规则等方面均参照前人的研究进行统一设置, 具备较高的可重复性。同时, 在植物鉴定过程中通过制作并使用植物对照显微片进行比对分析, 能够降低人为主观判断带来的误差, 进一步提高研究结果的可靠性。

3.2 中华鬣羚和中华斑羚冬季食物组成与食性重叠

对秦岭中华鬣羚的食性研究表明, 该物种冬季以取食木本植物为主, 其次是草本植物, 此外还会取食蕨类和藤本植物(宋延龄等 2005)。本研究的结果与其基本符合, 在大老岭自然保护区内, 中华鬣羚表现出取食的广泛性, 对不同类别的植物均有取食, 取食频率由大到小依次为灌木、草本、蕨类、藤本以及苔藓。但与前述研究相比, 本研究发现中华鬣羚取食植物的种类上存在较大差异, 这可能是由于研究区域的气候条件不同导致植物资源也有所不同。此外, 中华鬣羚对生境的选择性会随着季节变化, 以确保食物资源的稳定供应(吴鹏举和张恩迪 2004)。同时, 中华鬣羚在冬季食物资源匮乏时还会出现啃食树皮的行为(李安宁等 2024), 这些特征都表明中华鬣羚具有较强的环境适应性。

对小兴安岭中华斑羚的食性研究显示, 其冬季主要食物为草本植物, 其次为灌木, 具体取食植物种类包括羊胡子苔草(*Carex callitrichos*)、兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)、青杨(*Populus ussuriensis*)和苔藓(吴建平等 2005)。

与本研究比较, 苔草属植物均为中华斑羚冬季取食率最高的植物种类, 这可能与苔草属植物具备良好的抗寒能力、在冬季依旧保持较高的储备量有关(叶艳然等 2017)。另外, 结合对中华斑羚夏、冬两季的食性研究可知, 中华斑羚冬季取食种类多样性降低, 而木本植物在其食物中的占比明显提升(刘夫仁等 2022)。这一变化反映出中华斑羚在冬季食物资源匮乏时会更侧重食物的可获取性。

本研究发现, 中华鬣羚和中华斑羚食物生态位高度重叠(重叠度指数 $C = 0.88$), 这可能与两者冬季生境部分重叠以及冬季食物种类固化有关。根据本研究红外相机数据, 中华鬣羚和中华斑羚分布海拔分别集中于 1 800 ~ 1 950 m 和 1 200 ~ 1 400 m, 并同时在 1 400 ~ 1 800 m 的海拔范围内有分布。结合他人研究, 同域分布的中华鬣羚和中华斑羚的适宜栖息地存在高度重叠(冯彬等 2022, 刘伟等 2023), 并且冬季均倾向于优先选择阔叶林作为栖息地(吴华和胡锦矗 2001, 孔飞等 2013, 边坤等 2016)。具体到本研究中, 同一海拔范围内, 两种动物均优先选择硬阔林和栎林作为栖息地, 这使得两者可获取的植物种类基本趋同。并且大老岭国家级自然保护区冬季气温骤降、降雪量大, 使得食物资源大量减少, 积雪进一步限制了中华鬣羚和中华斑羚的行动能力, 令其活动范围进一步缩小。上述因素的共同作用导致中华鬣羚和中华斑羚可获取的食物资源多样性大幅度降低、可取食的植物种类逐渐同化。由于同域分布下的物种生态位格局体现为一种相互补偿机制(Bagchi et al. 2003), 因此在探讨物种间关系时还需进一步结合时间、空间等维度进行综合判断, 本研究仅从食性方面对大老岭地区同域分布的中华鬣羚和中华斑羚进行了分析, 未来需结合上述多个维度进一步深入探讨两者种间关系。

3.3 中华鬣羚和中华斑羚冬季营养适应机制

植物中的营养成分是驱动有蹄类动物选择食物的重要因素, 有蹄类动物为了适应环境的

变化，会合理调整所摄入食物的营养结构，并在这个过程中形成与自身生存需求高度匹配的营养策略（Alm et al. 2002, Alvarado et al. 2012）。在营养生态学中，研究者提出了五大假说模型，其中能量最大化模型和蛋白质最大化模型认为动物取食策略的核心在于最大程度地获取食物中的能量和蛋白质（郭松涛等 2011），本研究的结果与这一理论框架存在一定程度的契合。在关于有蹄类动物的食性研究中，研究者根据消化道结构和食物选择将反刍动物分为了精饲者、混饲者和粗饲者 3 种类型（李俊生等 2003），中华鬣羚和中华斑羚为典型的混饲者，其特点是能够根据自身生理情况调整营养策略以保证自身核心营养的摄入（郑荣泉和鲍毅新 2004）。具体到冬季生境，低温加剧了两者的代谢强度与能量消耗：一方面需要将更多的能量转化为热量以维持体温的恒定，另一方面还需要摄入足够的蛋白质支撑代谢的正常进行，因此优先选择粗蛋白和粗脂肪含量较高的食物资源，以保证核心营养的稳定摄入。

中华鬣羚和中华斑羚在冬季均选择优先摄入蛋白质和脂肪，但在粗纤维和粗灰分等其他营养指标上的摄入优先度上有所差异。粗纤维含量是决定植物适口性的关键因素，粗纤维含量越低的植物营养价值越高（Yang et al. 2021）。此外，粗纤维的含量还影响有蹄类动物对植物的消化效率，粗纤维含量高的植物在动物胃内的滞留时间更长，从而带来持久的饱腹感。本研究结果显示，植物中粗纤维含量与中华斑羚取食频率无相关性，与中华鬣羚取食频率则有一定相关性，这种差异可能是由于中华鬣羚的体型相较于中华斑羚更大，因此需要摄入更多的食物满足生理需求，对中华鬣羚而言，选择高粗纤维含量的植物有利于其长时间保持饱腹感，从而减小外出觅食所消耗的体力，而中华斑羚由于体型更小，食物的需求量较低，其取食策略更少考虑粗纤维带来的饱腹感，转而更侧重于食物的营养价值。对藏羊（*Ovis aries*）的研究佐证了这一点，尽管粗纤维含量

高的植物无法满足动物对各类营养的需求，但却对藏羊的偏食性具有正向作用，饥饿状态下的藏羊为了实现饱腹会优先选择粗纤维含量高的植物（王金兰等 2024）。粗灰分是指样品的有机部分在完全燃烧后留下的包括矿物质氧化物、盐类等无机成分，是评价食物品质的重要指标（朱辉明等 2021）。研究表明，同一生境下草本植物的平均粗灰分含量高于木本植物（彭辅松 1990, 徐永荣等 2004），本研究支持该结果。草本植物作为中华斑羚冬季主要食源植物类型，为中华斑羚提供了更多的粗灰分，使得中华斑羚的取食频率与粗灰分含量呈现出一定的相关性，而中华鬣羚冬季以木本植物为主要食源植物，其粗灰分含量相对更低，导致其取食频率与食物中的粗灰分含量未呈现出相关性。

单宁作为一种植物次生代谢物质，会与动物唾液蛋白结合形成难溶性沉淀，不仅导致植物适口性下降，还会干扰动物的消化系统对营养的吸收能力，因此被长期视为一种抗营养因子（王妍等 2024）。在已有研究中，食草动物表现出优先取食单宁含量更低的植物种类和部位，其取食频率与食物中单宁含量呈典型的负相关关系（张智勇等 2012, 王文霞 2016），但本研究未发现中华鬣羚和中华斑羚取食频率与食物中单宁含量存在相关性。这种现象可能是由于中华鬣羚和中华斑羚冬季可获取的食物资源十分有限导致的，一方面，冬季极端的低温导致两种动物可获取的食物资源减少，获取优质的食物资源往往意味着需要耗费更多的能量，这种行为并不利于越冬，因此两种动物不得不调整取食策略，以食物的适口性换取食物的利用率和可获取性（徐嘉等 2018b）；另一方面，在本研究区域内还分布着林麝（*Moschus berezovskii*）、小鹿（*Muntiacus reevesi*）和野猪（*Sus scrofa*）等有蹄类动物，这些动物的存在会进一步压缩中华鬣羚和中华斑羚的食物资源，导致两者在营养策略上作出相应的调整，通过被动提升对单宁的耐受性和适口性差的食

物接受度来缓和对食物的竞争 (Cain et al. 2017)。

本研究结果显示, 大老岭国家级自然保护区中华鬣羚和中华斑羚冬季更侧重食物资源的可获取性, 并优先保证粗蛋白和粗脂肪这类核心营养成分的摄入, 表明两种动物在一定程度上面临着冬季食物资源有限的压力。为保障中华鬣羚和中华斑羚顺利越冬并维持种群稳定, 建议对保护区内这两种动物冬季赖以生存的食源植物种类进行监测和保护, 尤其是大理苔草、披针叶胡颓子和宜昌莢蒾等在其食物组成中占比较大的植物。

参 考 文 献

- Alm U, Birgersson B, Leimar O. 2002. The effect of food quality and relative abundance on food choice in fallow deer. *Animal Behaviour*, 64(3): 439–445.
- Alvarado M D S, Gonzalez-Rodriguez H, Ramirez-Lozano R G, et al. 2012. Chemical composition and digestion of shrubs browsed by White-tailed Deer (*Odocoileus virginianus* Texanus). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11(23): 4428–4434.
- Bagchi S, Goyal S P, Sankar K. 2003. Niche relationships of an ungulate assemblage in a dry tropical forest. *Journal of Mammalogy*, 84(3): 981–988.
- Cain J W, Avery M M, Caldwell C A, et al. 2017. Diet composition, quality and overlap of sympatric American pronghorn and gemsbok. *Wildlife Biology*, 2017(1): wlb.00296.
- Pianka E R. 1973. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1973): 53–74.
- Puig S, Rosi M I, Videla F, et al. 2011. Summer and winter diet of the guanaco and food availability for a High Andean migratory population (Mendoza, Argentina). *Mammalian Biology*, 76(6): 727–734.
- R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. Version 4.3.2. [EB/OL]. [2025-08-29]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.
- Ratkiewicz M, Coissac E, Świsłocka M, et al. 2024. Winter diet overlap among moose, roe deer and red deer in coniferous and mixed forests depends on snow cover depth. *Forest Ecology and Management*, 556: 121710.
- Walker R H, Hutchinson M C, Potter A B, et al. 2023. Mechanisms of individual variation in large herbivore diets: Roles of spatial heterogeneity and state-dependent foraging. *Ecology*, 104(2): e3921.
- Yang C, Yan T, Sun Y, et al. 2021. Shrub cover impacts on yak growth performance and herbaceous forage quality on the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Rangeland Ecology & Management*, 75: 9–16.
- 边坤, 王开锋, 刘楚光, 等. 2016. 秦岭周至自然保护区斑羚夏季生境选择利用. *生态学杂志*, 35(6): 1553–1560. [Bian K, Wang K F, Liu C G, et al. 2016. Habitat selection by *Naemorhedus goral* during summer and winter in the Zhouzhi Nature Reserve of Qinling Mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 35(6): 1553–1560.]
- 崔多英, 刘振生, 王小明, 等. 2007. 贺兰山马鹿冬季食性分析. *动物学研究*, 28(4): 383–388. [Cui D Y, Liu Z S, Wang X M, et al. 2007. Winter food-habits of red deer (*Cervus elaphus alxaicus*) in Helan Mountains, China. *Zoological Research*, 28(4): 383–388.]
- 冯彬, 胡露, 赵姗姗, 等. 2022. 同域分布中华鬣羚与中华斑羚时空生态位特征. *生态学报*, 42(13): 5275–5284. [Feng B, Hu L, Zhao S S, et al. 2022. Spatio-temporal niche characteristics of sympatric Chinese Serow and Chinese Goral. *Acta Ecologica Sinica*, 42(13): 5275–5284.]
- 高中信, 陈化鹏, 王筱平. 1991. 粪便分析法测定植食动物食性的评价. *兽类学报*, 11(3): 186–193. [Gao Z X, Chen H P, Wang X P. 1991. Evaluation of fecal analysis for determining food habits of herbivores. *Acta Theriologica Sinica*, 11(3): 186–193.]
- 高子靖, 卜海侠, 鲁长虎. 2020. 三种圈养草食性野生动物粪便对粪食性金龟的引诱效果. *动物学杂志*, 55(5): 566–573. [Gao Z J, Bu H X, Lu C H. 2020. Attractiveness of three species of captive wild herbivore dung to dung Beetles. *Chinese Journal of Zoology*, 55(5): 566–573.]
- 宫爽, 张萍, 栾雪, 等. 2022. 粪便显微分析和DNA宏条形码技术在野猪食性分析中的应用和比较. *野生动物学报*, 43(3): 645–653. [Gong S, Zhang P, Luan X, et al. 2022. Application and comparison of fecal microscopic analysis and DNA metabarcoding technology for dietary analysis of Wild Boar. *Chinese Journal of Wildlife*, 43(3): 645–653.]

- 郭松涛, 纪维红, 常鸿莉, 等. 2011. 灵长类营养生态学的研究进展. 人类学学报, 30(4): 405–414. [Guo S T, Ji W H, Chang H L, et al. 2011. Processes in the study of primate nutritional ecology. Acta Anthropologica Sinica, 30(4): 405–414.]
- 国家林业局. 1999. 森林植物与森林枯枝落叶层灰分的测定 LY/T 1268-1999. [S/OL]. [2025-09-20]. <https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F1A80FBB19E05397BE0A0AB44A>. [State Forestry Administration. 1999. Determination of crude ash content in forest plant and forest floor: LY/T 1268-1999. [S/OL]. [2025-09-20]. <https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F1A80FBB19E05397BE0A0AB44A>.]
- 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2018. 饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法 GB/T 6432-2018. [S/OL]. [2025-09-20]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcno=9523E30B3D6AA9362B2BD5CAD8A0633F>. [State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2018. Determination of crude protein in feeds - Kjeldahl method: GB/T 6432-2018. [S/OL]. [2025-09-20]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcno=9523E30B3D6AA9362B2BD5CAD8A0633F>.]
- 滑荣, 崔多英, 刘佳, 等. 2020. 江苏盐城湿地麋鹿冬季食性研究. 动物学杂志, 55(1): 1–8. [Hua R, Cui D Y, Liu J, et al. 2020. Winter diets of Père David's Deer in Yancheng Wetland, Jiangsu Province, China. Chinese Journal of Zoology, 55(1): 1–8.]
- 黄乃莹. 2023. 基于分子粪便法和粪便显微法的梅花鹿和狍食性比较研究. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文. [Huang N Y. 2023. Based on the molecular fecal method and fecal microscopy method for a comparative study of the feeding habits of Sika Deer and Roe Deer. Harbin: Northeast Forestry University, Master's dissertation.]
- 贾海燕. 2013. 粪便分析技术在植食性动物食性研究中的作用. 陇东学院学报, 24(5): 73–76. [Jia H Y. 2013. Significance of fecal analysis technique in herbivore's diet studies. Journal of Longdong University, 24(5): 73–76.]
- 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 2016. 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 24(5): 501–551, 615. [Jiang Z G, Jiang J P, Wang Y Z, et al. 2016. Red list of China's vertebrates. Biodiversity Science, 24(5): 501–551, 615.]
- 孔飞, 朱云, 常保华, 等. 2013. 观音山鬣羚 (*Capricornis sumatraensis*) 冬季生境选择. 陕西林业科技, (3): 25–27, 56. [Kong F, Zhu Y, Chang B H, et al. 2013. Research on the habitats selection by Mainland Serow (*Capricornis sumatraensis*) in winter in Guanyin Mountain. Shaanxi Forest Science and Technology, (3): 25–27, 56.]
- 李安宁, 邓帅豫, 咎林森. 2024. 中华鬣羚的保护生物学研究进展. 西北农业学报, 33(6): 981–988. [Li A N, Deng S Y, Zan L S. 2024. Advance in conservation biological research of Chinese Serow (*Capricornis milneedwardsii*). Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 33(6): 981–988.]
- 李俊生, 宋延龄, 曾治高. 2003. 反刍动物的食物选择及其影响因素. 兽类学报, 23(1): 66–73. [Li J S, Song Y L, Zeng Z G. 2003. Food selectivity and influencing factors in ruminants. Acta Theriologica Sinica, 23(1): 66–73.]
- 李文静. 2024. 湖北大老岭自然保护区植物区系地理研究. 武汉: 湖北大学硕士学位论文. [Li W J. 2024. Phytogeographical study of the flora in Hubei Dalongling Nature Reserve. Wuhan: Hubei University, Master's dissertation.]
- 刘夫仁, 贺伟, 赛罕, 等. 2022. 同域分布马鹿与中华斑羚的冬季食物构成比较. 动物学杂志, 57(6): 845–854. [Liu F R, He W, Sai H, et al. 2022. Differences in winter and summer diet composition between sympatric Red Deer and Chinese Goral. Chinese Journal of Zoology, 57(6): 845–854.]
- 刘伟, 李旭琴, 李忠伦, 等. 2023. 四川贡嘎山中华斑羚和中华鬣羚的时空分布及重叠性. 应用生态学报, 34(6): 1630–1638. [Liu W, Li X Q, Li Z L, et al. 2023. Spatio-temporal distribution and overlap of *Naemorhedus griseus* and *Capricornis milneedwardsii* in Gongga Mountain, Sichuan, China. Chinese Journal of Applied Ecology, 34(6): 1630–1638.]
- 吕忠海, 张玮琪, 刘浩, 等. 2020. 西藏马鹿与同域野生有蹄类、家畜草前期食性比较. 应用生态学报, 31(2): 651–658. [Lyu Z H, Zhang W Q, Liu H, et al. 2020. Comparison on feeding habits of *Cervus wallichii* and sympatric ungulates and domestic animals in green grass period. Chinese Journal of Applied Ecology, 31(2): 651–658.]
- 马世来, 马晓峰, 石文英. 2001. 中国兽类踪迹指南. 北京: 中国林业出版社, 232–234. [Ma S L, Ma X F, Shi W Y. 2001. A Guide to Mammal Tracking in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 232–234.]
- 彭辅松. 1990. 植物燃值与发展速生、丰产薪炭林的关系. 武汉植物学研究, 8(2): 194–198. [Peng F S. 1990. Relationship between the fuel value of plants and developing the fast-growing

- and high yielding forest for firewood. Journal of Wuhan Botanical Research, 8(2): 194–198.]
- 彭洪林, 谭艳, 高新章, 等. 2023. 湖北大老岭国家级自然保护区鸟兽资源的初步调查. 湖北林业科技, 52(5): 43–50, 84. [Peng H L, Tan Y, Gao X Z, et al. 2023. Preliminary survey of mammals and birds in Dalaoling National Nature Reserve of Hubei. Hubei Forestry Science and Technology, 52(5): 43–50, 84.]
- 热娜古丽·艾合麦提, 李叶, 张翔, 等. 2015. 阿尔金山国家级自然保护区高原鼠兔的食性显微组织分析. 中国媒介生物学及控制杂志, 26(2): 164–167. [Renagui E, Li Y, Zhang X, et al. 2015. Microscopic histological analysis of diet of *Ochotona curzoniae* in the Altun Mountain National Nature Reserve. Chinese Journal of Vector Biology and Control, 26(2): 164–167.]
- 沈泽昊, 张新时. 2000. 三峡大老岭地区森林植被的空间格局分析及其地形解释. 植物学报, 42(10): 1089–1095. [Shen Z H, Zhang X S. 2000. The spatial pattern and topographic interpretation of the forest vegetation at Dalaoling Region in the Three Gorges. Acta Botanica Sinica, 42(10): 1089–1095.]
- 宋延龄, 巩会生, 曾治高, 等. 2005. 鬣羚食性的研究. 动物学杂志, 40(5): 50–56. [Song Y L, Gong H S, Zeng Z G, et al. 2005. Food habits of Serow. Chinese Journal of Zoology, 40(5): 50–56.]
- 唐书培, 姜秀丽, 王晓玲, 等. 2018. 内蒙古赛罕乌拉国家级自然保护区中华斑羚的季节性食物构成分析. 四川动物, 37(3): 311–316. [Tang S P, Jiang X L, Wang X L, et al. 2018. Seasonal diet analysis of *Naemorhedus griseus* in Saihanwula National Nature Reserve. Sichuan Journal of Zoology, 37(3): 311–316.]
- 汪松. 1998. 中国濒危动物红皮书 兽类. 北京: 科学出版社, 318–330. [Wang S. 1998. China Red Data Book of Endangered Animals: Mammals. Beijing: Science Press, 318–330.]
- 王功芳, 李道新, 田风雷, 等. 2019. 湖北三峡大老岭自然保护区野生资源植物分类与利用. 湖北林业科技, 48(3): 40–45. [Wang G F, Li D X, Tian F L, et al. 2019. Classification and utilization of wild resources plants in Dalaoling Nature Reserve of Hubei Three Gorges. Hubei Forestry Science and Technology, 48(3): 40–45.]
- 王金兰, 曹文侠, 李文. 2024. 祁连山不同地形饲用植物对藏羊偏食性的影响. 生态学报, 44(16): 7213–7225. [Wang J L, Cao W X, Li W. 2024. Response of foraging preference of Tibetan Sheep to forage plants in different topographies on Qilian Mountains. Acta Ecologica Sinica, 44(16): 7213–7225.]
- 王文霞. 2016. 林麝食源植物的营养学特征及食物选择主导因子的研究. 北京: 北京林业大学博士学位论文. [Wang W X. 2016. Studies on the nutrition characteristics of food plants and the leading factors of food choice of Forest Musk Deer (*Moschus berezovskii*). Beijing: Beijing Forestry University, Doctoral dissertation.]
- 王妍, 郭长征, 黎观红, 等. 2024. 植物单宁的提取方法、生物学功能及其在动物营养中的应用. 动物营养学报, 36(11): 6942–6957. [Wang Y, Guo C Z, Li G H, et al. 2024. Extraction methods and biological functions of plant tannins and their application in animal nutrition. Chinese Journal of Animal Nutrition, 36(11): 6942–6957.]
- 王志勇, 孟德怀, 骆颖, 等. 2019. 贺兰山马鹿春季食性分析. 野生动物学报, 40(4): 825–831. [Wang Z Y, Meng D H, Luo Y, et al. 2019. Spring food-habits of Red Deer (*Cervus elaphus alashanicus*) in Helan Mountains, China. Chinese Journal of Wildlife, 40(4): 825–831.]
- 魏辅文. 2022. 中国兽类分类与分布. 北京: 科学出版社, 406–410. [Wei F W. 2022. Taxonomy and Distribution of Mammals in China. Beijing: Science Press, 406–410.]
- 吴华, 胡锦矗. 2001. 四川唐家河羚牛、鬣羚、斑羚春冬季生境选择比较研究. 生态学报, 21(10): 1627–1633. [Wu H, Hu J C. 2001. A comparison in spring and winter habitat selection of Takin, Serow and Goral in Tangjiahe, Sichuan. Acta Ecologica Sinica, 21(10): 1627–1633.]
- 吴建平, 单继红, 王志平. 2005. 小兴安岭通河林区斑羚冬季食性分析. 动物学杂志, 40(4): 40–44. [Wu J P, Shan J H, Wang Z P. 2005. Winter food-habits of goral in Tonghe Region of Lesser Xingan Mountains. Chinese Journal of Zoology, 40(4): 40–44.]
- 吴鹏举, 张恩迪. 2004. 西藏慈巴沟自然保护区鬣羚生境选择的季节性变化. 兽类学报, 24(1): 6–12. [Wu P J, Zhang E D. 2004. Habitat selection and its seasonal change of Serow (*Capricornis sumatraensis*) in Cibagou Nature Reserve, Xizang. Acta Theriologica Sinica, 24(1): 6–12.]
- 肖安国, 张石宝, 和政军, 等. 2008. 高黎贡山鬣羚食性的初步研究. 科技信息, (32): 59, 19. [Xiao A G, Zhang S B, He Z J, et al. 2008. A preliminary study on the feeding habits of Serow in Gaoligong Mountain. Science & Technology Information, (32): 59, 19.]
- 徐嘉, 暴旭, 刘振生, 等. 2018a. 贺兰山同域分布高山麝和阿拉善

- 马鹿秋季食性的比较研究. 生态学报, 38(10): 3705–3711. [Xu J, Bao X, Liu Z S, et al. 2018. A comparative study of autumn diets of Alpine Musk Deer (*Moschus chrysogaster*) and Alashan Red Deer (*Cervus alashanicus*) in the Helan Mountains, China. Acta Ecologica Sinica, 38(10): 3705–3711.]
- 徐嘉, 暴旭, 刘振生, 等. 2018b. 贺兰山高山麝冬春季的食性. 生态学杂志, 37(1): 111–118. [Xu J, Bao X, Liu Z S, et al. 2018. Winter and spring diet composition of *Moschus chrysogaster* in the Helan Mountains, China. Chinese Journal of Ecology, 37(1): 111–118.]
- 徐永荣, 冯宗炜, 朱敬恩. 2004. 武汉和天津园林植物叶片热值比较研究. 生态学杂志, 23(6): 11–14. [Xu Y R, Feng Z W, ZHU J E. 2004. Comparison of foliage caloric values of garden plants in Wuhan and Tianjin, China. Chinese Journal of Ecology, 23(6): 11–14.]
- 许玥, 沈泽昊, 吕楠, 等. 2012. 湖北三峡大老岭自然保护区光叶水青冈群落种子雨 10 年观测: 种子雨密度、物种构成及其与群落的关系. 植物生态学报, 36(8): 708–716. [Xu Y, Shen Z H, Lü N, et al. 2012. Ten years' observation of seed rain in a *Fagus lucida* community in Dalaoling Nature Reserve in the Three Gorges: Seed rain density, species composition and their correlation with the community. Chinese Journal of Plant Ecology, 36(8): 708–716.]
- 叶艳然, 王文莉, 郑成淑, 等. 2017. 四种野生苔草属植物的耐寒性评价. 应用生态学报, 28(1): 89–95. [Ye Y R, Wang W L, Zheng C S, et al. 2017. Evaluation of cold resistance of four wild *Carex* species. Chinese Journal of Applied Ecology, 28(1): 89–95.]
- 张维, 王文, 唐珞, 等. 2006. 黑龙江龙口自然保护区斑羚冬季食性分析. 东北林业大学学报, 34(3): 32, 44. [Zhang W, Wang W, Tang L, et al. 2006. Winter food habits of Gorals in Longkou Nature Reserve of Heilongjiang Province. Journal of Northeast Forestry University, 34(3): 32, 44.]
- 张智勇, 王强, 付强, 等. 2012. 邛崃山系 3 种主食竹单宁及营养成分含量对大熊猫取食选择性的影响. 北京林业大学学报, 34(6): 42–46. [Zhang Z Y, Wang Q, Fu Q, et al. 2012. Effects of tannin and nutrient elements in three species of staple food bamboo on giant Panda herbivory tendency. Journal of Beijing Forestry University, 34(6): 42–46.]
- 郑荣泉, 鲍毅新. 2004. 有蹄类食性研究方法及其研究进展. 生态学报, 24(7): 1532–1539. [Zheng R Q, Bao Y X. 2004. Study methods and procedures for ungulate food habits. Acta Ecologica Sinica, 24(7): 1532–1539.]
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2009. 食品中粗脂肪的测定 GB/5009.6-2025. [S/OL]. [2025-09-20]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcno=2355D4B9609AF56C2FB8B6B5E1FB2262>. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2009. Determination of crude fat in foods: GB/ 5009.6-2025. [S/OL]. [2025-09-20]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcno=2355D4B9609AF56C2FB8B6B5E1FB2262>.]
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2012. 饲料中单宁的测定 分光光度法 GB/T 27985—2011. [S/OL]. [2025-09-20]. https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/howGb?type=online&hcno=663A4BD5C286495E7C297AAEF863AB9A&request_locale=zh. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2012. Determination of tannin in feeds-Spectrophotometry: GB/T 27985—2011. [S/OL]. [2025-09-20]. https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/showGb?type=online&hcno=663A4BD5C286495E7C297AAEF863AB9A&request_locale=zh.]
- 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 2004. 植物类食品中粗纤维的测定 GB/T 5009.10—2003. [S/OL]. [2025-09-20]. https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/showGb?type=online&hcno=C112134E0C052B38407F8DC656B034A7&request_locale=zh. [Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2004. Determination of crude fiber in vegetable foods: GB/T 5009.10—2003. [S/OL]. [2025-09-20]. https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/showGb?type=online&hcno=C112134E0C052B38407F8DC656B034A7&request_locale=zh.]
- 朱辉明, 段丽平, 熊俊娟, 等. 2021. 不同方法测定玉米蛋白粉粗灰分含量分析. 湖南饲料, (6): 31–33. [Zhu H M, Duan L P, Xiong J J, et al. 2021. Analysis of crude ash content in corn gluten meal determined by different methods. Hunan Feed, (6): 31–33.]