

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

贺兰山野化牦牛冬春季食性

姚志诚¹, 刘振生^{1,*}, 王兆锭², 胡天华³, 李志刚³

(1. 东北林业大学野生动物资源学院, 哈尔滨 150040; 2. 内蒙古贺兰山国家级自然保护区管理局, 巴彦浩特 750300;
3. 宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局, 银川 750021)

摘要: 2008年11–12月和2009年4–5月对贺兰山野化牦牛的冬季和春季食性进行了分析, 在其分布的哈拉乌沟收集冬季粪样500 g, 春季粪样498 g, 利用粪便显微分析法分析贺兰山牦牛取食植物的种类组成和比例, 结果表明, 冬季牦牛取食11科20种(属)植物, 主要取食禾本科(59.10%)和菊科(26.05%)植物, 其中针茅(35.86%)、冷蒿(23.96%)、冰草(8.28%)、莎草(7.60%)、虎尾草(6.81%)、芦苇(6.58%)构成了冬季食物总量的89.09%, 为冬季主要食物。春季取食植物11科21种(属)植物, 主要取食禾本科(52.76%)和莎草科(18.80%)植物, 其中针茅(22.72%)、莎草(18.80%)、冰草(13.23%)、狗尾草(9.93%)、唐松草(6.46%)、冷蒿(6.31%)占春季食物总量的77.45%, 为春季主要食物。此外, 冬春季均取食一定量的毛茛科和豆科植物。冬春季针茅都是贺兰山野化牦牛的大宗食物。冬季食物生态位宽度低于春季, 而Shannon-Wiener指数和Pielou均匀度指数均高于春季。

关键词: 牦牛; 食性; 粪便分析; 贺兰山

Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China

YAO Zhicheng¹, LIU Zhensheng^{1,*}, WANG Zhaoding², HU Tianhua³, LI Zhigang³

1 College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Helan Mountains National Nature Reserve of Inner Mongolia, Bayanhaote 750300, China

3 Helan Mountains National Nature Reserve of Ningxia, Yinchuan 750021, China

Abstract: Feral yak were introduced into the Helan Mountains on the border between Ningxia Hui and Inner Mongolia Autonomous Regions, China, by the Buddhist monks of Tibet about two hundred years ago. The feral yak population was estimated to be around 200 individuals at present. The plant species composition of the diet of feral yak was studied in order to better understand seasonal variation from November to December 2008 and from April to May 2009. We collected 5–10 g fecal pellets of feral yak from each dung piles in Halawu drainages, and then mixed them to form a single, species-specific composite sample. Using this method, we obtained 500 g dung in winter and 498 g in spring during the whole study area. The composition in the diet was determined by fecal microhistological analyses. The results showed that feral yak consumed 20 plant species (genera) belonging to 11 families in winter. The main families in the winter diet were Gramineae (59.10%) and Compositae (26.05%). The major plant species of winter diet included *Stipa* spp. (35.86%), *Artemisia frigida* (23.96%), *Agropyron cristatum* (8.28%), *Cyperus fuscus* (7.60%), *Chloris virgata* (6.81%) and *Phragmites australis* (6.58%), accounting for 89.09% of the whole diet. The graminoid category accounted for a large proportion of the feral yak's diet in winter. Shrubs made up the second largest proportion. In spring, the main families in the diet were Gramineae (52.76%) and Cyperaceae (18.80%), among which 21 plant species (genera) belong to 11 families. *Stipa* spp. (22.72%), *Cyperus fuscus* (18.80%), *Agropyron cristatum* (13.23%), *Setaria viridis* (9.93%) and *Thalictrum aquilegifolium* (6.46%), *Artemisia frigida* (6.31%) were main components in spring diet, contributing 77.45% of the whole diet. The graminoid category predominated in the diet during spring, accounting for 52.76% of the total diet. Forbs

基金项目: 国家新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-08-0753); 国家自然科学基金资助项目(30970371); “十一五”科技支撑资助项目(2008BADB0B04); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(DL09CA03)

收稿日期: 2009-12-25; **修订日期:** 2010-03-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhenshengliu@163.net

made up 36.98% of the diet. *Haplophyllum tragacanthoides* and *Asterothamnus centrali-asiaticus* primarily occurred in feces sampled in winter, while *Artemisia sacrorum*, *Potentilla* spp. and *Ammopiptanthus mongolicus* appeared in feces collected in spring. The feral yak also consumed small amounts of Ranunculaceae and Leguminosae, both in winter or spring. The contribution of several plant species eaten by feral yak was different between in winter and in spring. *Chloris virgata* and *Artemisia frigida* decreased to 2.28% and 6.31% from 6.81% and 23.96% respectively in spring, while *Setaria viridis* and *Oxytropis* spp. increased from 1.57% and 0.94% to 9.93% and 4.43%. *Stipa* spp. was the prevalent species of all plant species recorded as eaten by feral yak in winter (35.86%) and spring (22.72%). Although food niche width in winter (4.785) was lower than in spring (7.770), the Shannon-Wiener diversity index (−2.848) and Pielou's evenness index (−0.951) were higher in winter than in spring (−3.403, −1.180, respectively). Although feral yak also consumed large amounts of *Stipa* spp., other plant species consumed by feral yak differed from those of yak on the Tibet Plateau, which may reflect adaptations for geographical range, vegetation, and other factors. The main components in feral yak diet were not similar to sympatric ungulates (blue sheep and red deer) in winter, when shared food resources become limited, and thus feral yak are unlikely to compete with these other ungulates during that season.

Key Words: feral yak; diet composition; fecal samples; Helan Mountains

食物是野生动物生存的三要素之一^[1],是影响种群数量和个体生存的关键生态因子^[2-3],食性作为基础生态学研究,能揭示野生动物基本的生境需求,为栖息地评价、种内种间关系、生态容纳量估计和种群数量、行为和生理的动态等生态学问题提供基础资料,同时为制定科学的保护策略提供理论依据^[4]。因此对野生动物进行食性研究尤为重要。

牦牛(*Bos grunniens*)别名野牛,国家 I 级重点保护野生动物,列为 CITES 附录-I 中。牦牛是青藏高原特有种,现分布于西藏、青海、四川、甘肃等地。贺兰山野化牦牛据记载于 200 多年前清乾隆年间,作为喇嘛从青海、甘肃向贺兰山的寺庙驮运经书的工具而带入贺兰山,后将其放入山中,逐渐野化形成现在的种群,种群数量目前有 200 多只^[5]。由于该牦牛种群在贺兰山已经野化了 200 多年,因此已经适应了贺兰山的气候、地质地貌和植被特征,对其食性的研究有助于了解贺兰山野化牦牛与原分布区牦牛的食性差异,探讨食草有蹄类对新环境的适应机制。为此,于 2008 年 11—12 月和 2009 年 4—5 月采集贺兰山野化牦牛冬春季粪样对其食性进行了研究。

1 研究地概况

贺兰山(38°21′—39°22′N, 105°44′—106°42′E)地处宁夏回族自治区与内蒙古自治区交界处。贺兰山是荒漠与半荒漠草原之间的分界线,具有典型的大陆性气候,全年干旱少雨,年均降水量 200—400 mm 之间,年均蒸发量为 2000 mm,年均无霜期 170 d。为草原向荒漠的过渡地带,最高峰海拔 3 556 m,相对高差达 2 000 m。区内植被垂直变化明显,从山麓到主峰有 4 个植被垂直带:①山地草原带,分布于海拔 1400—1600 m,以短花针茅(*Stipa breviflora*)和灌木亚菊(*Ajania fruticulosa*)为建群种,植被旱生化明显,覆盖度 10% 左右;②山地疏林草原带,位于海拔 1600—2000 m 之间,灰榆(*Ulmus pumila*)稀疏个体与大量蒙古草原区系植物相结合,生长着大面积蒙古扁桃(*Prunus mongolica*)灌丛;③山地针叶林带,分布于 1900—3100m 的中山和亚高山地带,本带又分为两个植被亚带,即油松(*Pinus tabulaeformis*)林亚带(1900—2350m)和青海云杉(*Pinus crassifolia*)林亚带(2350—3100m),混生有山杨(*Populus davidiana*)林和灰榆、杜松(*Juniperus rigida*)疏林,以及小叶金露梅(*Dasiphora parvifolia*)灌丛和华西银露梅(*Dasiphora mandshurica*)灌丛;④亚高山灌丛和草甸带,位于 3100—3556 m 的主峰周围地带,建群种为毛蕊杯腺柳(*Salix cupularis*)和鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)等^[6]。

2 研究方法

2.1 粪样与植物样本收集

于 2008 年 11—12 月、2009 年 4—5 月分别在贺兰山哈拉乌沟采集野化牦牛冬春季粪样,遵循随机取样的

原则,将有牦牛分布的哈拉乌沟分成 5 段,根据冬春季牦牛野外粪便干燥和风化程度,2 个季节每段内捡拾 5 日内的新鲜野化牦牛粪便(表面有湿润光泽,因风化失水较少,易掰开或踩碎)。在每个沟段内从发现的每堆牦牛粪中取 5—10 g 混合到一起,组成一个复合样本。在所调查的区域,冬季共收集粪便 500 g,春季收集粪便 498 g,各组成 5 个复合样本,冷冻保存带回制片。

采集粪样的同时采集哈拉乌沟内冬春季的所有植物样本 68 种,采集时每种植物的叶、茎、花尽量都采集到,注明种名一起装入信封内,带回实验室制作显微对照装片。

2.2 显微制片

将采集的植物与粪便样本在 60 ℃烘箱里烘 72 h 至恒重,用筛孔为 1 mm 的粉碎机粉碎,然后在 40—100 目分样筛中筛选,取筛上样装入信封内。制片时取大约 1 g 放入培养皿内,倒入次氯酸钠约 1/3 培养皿容量。用解剖针搅拌使样品完全浸泡在药液内,贴上标签。间隔 3—5 h(次氯酸钠处理时间长短和室内温度有关,室内温度越高,反应越快,细胞形态呈现的越早)制作临时装片观察细胞形态是否清晰,并制作临时装片观察细胞形态的呈现效果。待细胞形态清晰后把培养皿内容物倒入 200 目的网筛冲洗 2 min,移入洗净的培养皿内,滴 1—2 滴番红花红染色剂。染色大约 30 min。染色结束后再次冲洗 2 min 洗去染色剂。用镊子取少量置于滴有蒸馏水的载玻片上,使碎片充分展开,用滤纸吸掉水分,滴 1 滴甘油,用镊子稍微搅拌使碎片分布均匀并尽量减少卷曲和重叠。盖上盖玻片。用中性树胶封片并贴上标签待观察。每种植物和复合粪便样本均制作 3 张装片贴标签待检。

2.3 显微镜片的镜检

每张显微片在放大 100 倍的显微镜下检查 10 个视野(避免重复),观察每个视野中出现的可辨认植物表皮角质碎片,根据不同的细胞形态类别和特点参照植物显微装片鉴定出该植物的种并记录在视野中出现的次数。

统计求得每种植物角质碎片的出现频率 F 。采用频率转换法^[7-8],依公式:

$$F = 100(1 - e^{-D})$$

转换为每个视野中每种植物可辨认表皮角质碎片的平均密度 D , D 又可转换为相对密度 RD :

$$RD = (\text{每种植物可辨认的表皮角质碎片的密度}) / (\text{各种植物可辨认角质碎片的密度之和}) \times 100\%$$

RD 即食物中各种植物的干重组成比例。可作为食物中各种植物实际比例的估计值,据此列出牦牛冬春季食谱及大宗食物。

2.4 多样性分析

用 Shannon-Wiener 指数 H' 、均匀度指数 J' 、生态位宽度指数 B 分析牦牛冬夏季食物组成,分析研究地区牦牛食物资源现状。

Shannon-Wiener 指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i$$

Pielou 均匀度指数:

$$J' = H' / H_{\max}$$

食物生态位宽度指数:

$$B = 1 / \sum P_i^2$$

式中, P_i 代表牦牛食物中某植物的干重组成比例, $H_{\max} = \ln S$, S 为牦牛食物组成中植物种类数。

3 结果

3.1 贺兰山野化牦牛冬春季食物组成

镜检粪样装片和植物对照装片,显微观察结果显示贺兰山野化牦牛冬季采食植物 11 科 20 种(属)植物(表 1),其中针茅(*Stipa* spp.)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、梭草(*Cyperus fuscus*)、虎尾

草 (*Chloris virgata*)、芦苇 (*Phragmites australis*) 构成牦牛冬季食物组成的 89.09%, 为贺兰山野化牦牛冬季主要食物。其中针茅为 35.86%、冷蒿为 23.96%、冰草为 8.28%、梭草为 7.60%、虎尾草为 6.81%、芦苇为 6.58%, 针茅是冬季牦牛的大宗食物。野化牦牛冬季大量取食禾本科草本, 其次是灌丛, 再次是非禾本科草本, 乔木在食物中的比例很少 (图 1)。

春季食物组成中采食的植物种类为 11 科 21 种 (属) 植物 (表 1), 其中针茅、梭草、冰草、狗尾草 (*Setaria viridis*)、唐松草 (*Thalictrum aquilegifolium*)、冷蒿占贺兰山野化牦牛春季食物总量的 77.45%, 为春季野化牦牛的主要食物。其中针茅为 22.72%、梭草为 18.80%、冰草为 13.23%、狗尾草为 9.93%、唐松草为 6.46%、冷蒿为 6.31%, 针茅是春季牦牛的大宗食物。春季食物组成中, 禾本科草本所占比例最高, 其次为非禾本科草本, 再次是灌丛, 乔木仅有 1.34% (图 1)。

表 1 贺兰山野化牦牛冬春季食物组成比例

Table 1 the winter and spring diet composition of feral yak

植物种类 Plant species	冬季 Winter		春季 Spring	
	RD/%	采食顺序 Sequence	RD/%	采食顺序 Sequence
禾本科 Gramineae	59.10		52.76	
针茅 <i>Stipa</i> spp.	35.86	1	22.72	1
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	8.28	3	13.23	3
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	6.81	5	2.28	10
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	6.58	6	4.60	7
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	1.57	8	9.93	4
菊科 Compositae	26.05		8.82	
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	23.96	2	6.31	6
狗娃花 <i>Heteropappus hispidus</i>	0.63	13	1.31	13
灌木亚菊 <i>Ajania fruticulosa</i>	0.63	15	0.27	18
小红菊 <i>Dendranthemum chonetii</i>	0.31	18	0.13	20
中亚紫菀木 <i>Asterothamnus centrali-asiaticus</i>	0.52	16	—	
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	—		0.80	16
莎草科 Cyperaceae	7.60		18.80	
梭草 <i>Cyperus fuscus</i>	7.60	4	18.80	2
毛茛科 Ranunculaceae	2.74		6.46	
唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i>	2.74	7	6.46	5
豆科 Leguminosae	1.57		5.85	
棘豆 <i>Oxytropis</i> spp.	0.94	9	4.43	8
黄芪 <i>Astragalus</i> spp.	0.63	14	1.16	14
沙冬青 <i>Ammopiptanthus mongolicus</i>	—		0.26	19
芸香科 Rutaceae	0.84		—	
针枝芸香 <i>Haplophyllum tragacanthoides</i>	0.84	10	—	
旋花科 Convolvulaceae	0.73		1.60	
鹰爪柴 <i>Convolvulus gortschakovii</i>	0.73	11	1.60	11
藜科 Chenopodiaceae	0.63		2.56	
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	0.63	12	2.56	9
百合科 Liliaceae	0.42		0.93	
葱韭 <i>Allium porrum</i>	0.42	17	0.93	15
茜草科 Rubiaceae	0.21		0.75	
内蒙野丁香 <i>Leptodermis ordosica</i>	0.21	19	0.75	17
松科 Pinaceae	0.11		1.34	
青海云杉 <i>Picea crassifolia</i>	0.11	20	1.34	12
蔷薇科 Rosaceae	—		0.13	
萎陵菜 <i>Potentilla</i> spp.	—		0.13	21

—: 表示未取食; RD: 占食物的百分比

3.2 冬春季食物组成差异

粪便显微分析结果显示,贺兰山野化牦牛冬季食物为 11 科 20 种(属),春季食物为 11 科 21 种(属)。冬季食物种类与春季相比多了 2 种植物:针枝芸香(*Haplophyllum tragacanthoides*)和中亚紫菀木(*Asterothamnus centrali-asiaticus*);有 3 种植物在冬季粪样镜检中没有出现:铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、萎陵菜(*Potentilla* spp.)和沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*),镜检到的各科植物在食物中的比例和顺序也不相同(表 1)。冬季各科的采食顺序为禾本科>菊科>莎草科>毛茛科>豆科>旋花科>藜科>其他,春季各科采食顺序为禾本科>莎草科>菊科>毛茛科>豆科>藜科>旋花科>其他(图 2)。此外,同一植物在冬春季食物中所占的比例也不相同,如虎尾草由冬季的 6.81%降低为春季的 2.28%,冷蒿由冬季的 23.96%降至春季的 6.31%,狗尾草由冬季的 1.57%升至春季的 9.93%,棘豆(*Oxytropis* spp.)由冬季的 0.94%升至春季的 4.43%。不同科的植物在不同季节食物组成的比例也有差异,禾本科、菊科在冬季食物组成中的比例高于春季,莎草科、毛茛科、豆科的比例冬季低于春季(图 2)。

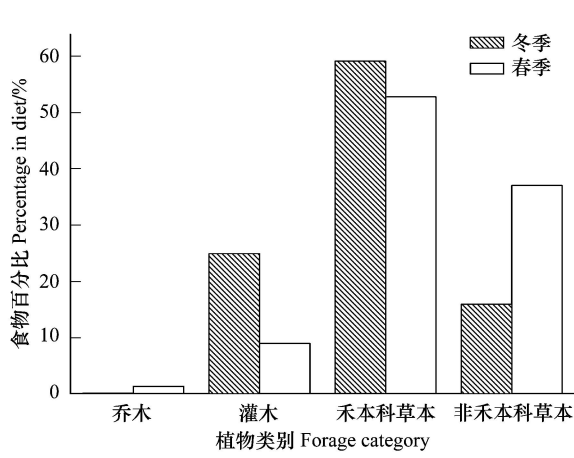


图 1 野化牦牛对不同植物类别采食比例的比较

Fig.1 Relative percentage of forage categories in the diets of feral yak

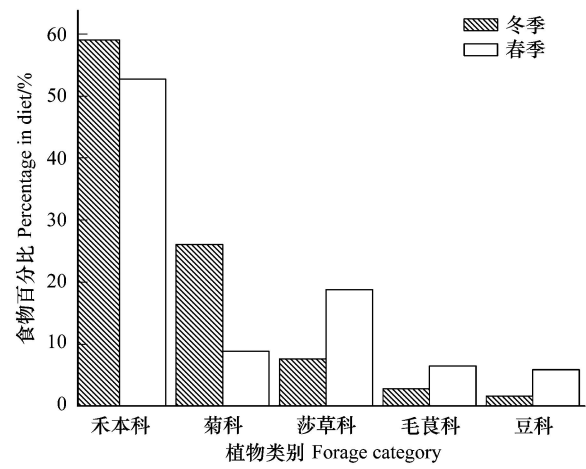


图 2 野化牦牛冬春季主要食物种类比例

Fig.2 Main food categories of feral yak in winter and spring

计算了冬春季牦牛的 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数和食物生态位宽度指数(表 2),可知冬季食物生态位宽度低于春季,而 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均高于春季。

表 2 野化牦牛春季食物的多样性指数、均匀度指数和食物生态位宽度

Table 2 Food diversity evenness indices and niche width of feral yak in winter and spring

	食物种类 Species	Shannon-Wiener 指数 H' Shannon-Wiener diversity index H'	Pielou 均匀度指数 J' Pielou's evenness index J'	食物生态位宽度 B Food niche width B
冬季 Winter	20	-2.848	-0.951	4.785
春季 Spring	21	-3.403	-1.180	7.770

4 讨论

贺兰山野化牦牛冬季春季均大量取食草本,尤其是禾本科草本,在冬季和春节食物组成中的比例均超过 1/2(表 1),其中禾本科草本的针茅所占比例最大,冬季为 35.86%,春季为 22.72%,位于 2 个季节采食顺序的首位。冬季取食的灌木较多,为 24.90%,高于春季的 8.92%。而乔木在 2 个季节的食物组成中的比例均很小(图 1)。产生这一结果的原因除与牦牛的食性有关外,可能也与研究方法有关,由于对贺兰山野化牦牛食性研究中采用的方法为显微分析法^[9-10],制片采用缓慢消化法,为使显微装片的细胞形态易于观察,实验中采用 1% 番红花红加以染色^[11],使用中性树胶作为制片介质。由于显微分析法是以动物粪便为媒介对动物

食性加以研究,所以该方法得到的结果会高估消化率低的食物比例,低估消化率高的食物比例^[12]。野化牦牛食物中的草本植物如针茅、狗尾草等纤维含量高,消化率低,被牦牛取食消化后以粪便形式排出较多,从而在粪便镜检中出现的概率较大。

牦牛并不是贺兰山的本地种,200多年前由青藏高原人为带入并成为贺兰山的野化物种,将研究结果和青藏高原分布的野生牦牛食性对比分析,从食性角度探讨野化牦牛对贺兰山植被环境的适应特征。青藏高原的野生牦牛以禾本科植物为主要食物,尤其针茅属,在每个分布地区至少占食物量的30%,并且较多取食禾本科植物^[13]。而贺兰山野化牦牛冬春季均大量取食针茅属植物,冬季为35.86%,春季22.72%,取食量平均值为29.29%。青藏高原野牦牛取食的植物如委陵菜、棘豆、黄芪(*Astragalus* spp.)、灌木亚菊在贺兰山野化牦牛的取食食物种也有出现(表1),说明贺兰山的野化牦牛食性中保留了青藏高原牦牛的取食特点。然而也存在一定的差异,青藏高原分布的野牦牛取食的早熟禾(*Poa* sp.)、老芒麦(*Elymus sibiricus*)、白草(*Pennisetum flaccidum*)、青藏苔草(*Carex moorcroftii*)、火绒草(*Leontopodium* sp.)、垫状驼绒藜(*Ceratoides compacta*)等多种植物没有在本次实验采集的野化牦牛粪样装片中出现,这主要是由于二者取食地的植被差异造成的。而对青海省玉树县国营牧场家养牦牛在天然草地的食性研究则表明,它们主要取食小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、矮嵩草(*K. humilis*)等莎草科和披碱草(*Elymus* spp.)、针茅、早熟禾等禾本科植物;在玉树县种畜场主要取食线叶嵩草(*K. capillifolia*)、矮嵩草、小嵩草等莎草科和针茅、早熟禾等禾本科植物^[14],与本研究的结果有相似之处,也存在一定的差异。

有蹄类动物的采食对策包括对食物种类、采食时间和采食地的选择^[15-18],而这种对策的形成是长期进化、适应环境的结果^[19-20]。此外取食还与物种生理结构、不同时期的生理需求、食物的可得性与取食植物不同季节的营养质量有关^[21-22],一般植物春季的营养质量最高,消化率高,冬季营养质量最低干物质消化率低^[10]。同时有蹄类动物的采食对策会因采食地点和时间不同而做出相应的调整,外在反应表现在不同时间和地点采食的植物种类在食物组成中占的比例大小的变化。由于贺兰山野化牦牛仅分布在贺兰山哈拉乌沟,冬季迁徙到低海拔地区活动,该地区为山地疏林草原带,植物多以禾本科和蒿类为主。越冬后返回高海拔的亚高山灌丛和草甸带,植物多以禾本科和莎草科为主。采食地点的变化导致冬季食物组成中广泛分布在低海拔地区的多数植物在食物组成中的比例增高,如针茅、冷蒿等(表1)。春季野化牦牛迁移到高海拔地区,其食物组成比例发生了较大的变化,针茅比冬季减少了约13%,而冷蒿的比例更是降低了17.65%;而莎草比例则由冬季的7.60%上升到18.80%(表1)。野化牦牛冬季不取食铁杆蒿、沙冬青和萎陵菜,而春季不取食中亚紫菀木和针枝芸香,这是由于这些植物在取食地没有分布或分布很少所导致的。同时野化牦牛的采食策略也因采食时间的变化而变化,这一点可以从贺兰山野化牦牛冬春季食性差异中看出,春季食物比冬季丰富,食物生态位宽度明显增加,由冬季的4.785上升到春季的7.770(表2),食物的可选择性增加使得取食的各科植物在食物组成中所占比例比冬季较为均匀,其中豆科植物在食物中所占比例升高显著(表1),春季的食物种类和数量都多于冬季,说明野化牦牛的取食策略不再是冬季的以能量支出和摄入的关系为主,春季的取食策略还包含了植物营养质量、生理需要、喜好和适口性等因素^[10,23]。

在贺兰山与野化牦牛同域分布的有蹄类有马鹿(*Cervus elaphus*)和岩羊(*Pseudois nayaur*),而冬季对有蹄类动物的存活是一个至关重要的时期^[2-3],因此对3种动物的冬季食物组成进行了比较。贺兰山岩羊食物组成大约23种(属)植物。禾本科草本和灰榆、金露梅(*D.* spp.)、锦鸡儿(*Caragana* spp.)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、蒙古扁桃等植物的当年枝和落叶构成岩羊冬季食物组成的74.83%^[24]。马鹿冬季主要取食的植物有灰榆、山杨、蒙古扁桃、金露梅、锦鸡儿等植物的当年枝和落叶以及少量的禾本科草本植物,其中灰榆为大宗食物,针叶树和其他草本植物所占比例均较小^[6]。可以看出贺兰山野化牦牛与岩羊和马鹿在取食植物上存在较小的食物竞争,尤其是大宗食物不重叠,贺兰山野化牦牛与其他2种食草有蹄类不存在明显的食物竞争。

References:

- [1] Ma J Z, Zou H F, Jia J B. Wildlife Management Second edition. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2004: 53-57.
- [2] Moen A N. Energy conservation by white-tailed deer in the winter. Ecology, 1976, 57 (1): 192-198.
- [3] Schmitz O J. Thermal constraints and optimization of winter feeding and habitat choice in white-tailed deer. Holarctic Ecology, 1991, 14 (1): 104-111.
- [4] Zheng R Q, Bao Y X. Study methods and procedures for ungulate food habits. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24 (7): 1532-1539.
- [5] Liu Z S. Vertebrates Helan Mountain. Yinchuan: Ningxia People's Publishing House, 2009: 395-396.
- [6] Cui D Y, Liu Z S, Wang X M, Zhai H, Hu T H, Li Z G. Winter food-habits of red deer in Helan Mountains, China. Zoological Research, 2007, 28 (4): 383-388.
- [7] Johnson M K. Frequency sampling formicroscopic analysis of botanical compositions herbivore diet samples. The Journal of Range Management, 1982, 35 (3): 541-542.
- [8] Gao Z X, Chen H P, Wang X P. Evaluation of fecal analysis for determining food habits of herbivores. Acta Theriologica Sinica, 1991, 11 (3): 186-193.
- [9] Todd J W, Hansen R M. Plant fragments in the feces of bighorns as indicators of food habits. Journal of Wildlife Management, 1974, 37 (3): 363-366.
- [10] Chen H P, Xiao Q Z. Winter food-habits of red deer in Dailing. Acta Theriologica Sinica, 1989, 9 (1): 8-15.
- [11] Zhang L B, Xu H F, Xue W J, Jiang H R, Meng X X. Winter and spring diet composition of musk deer in Feng County, Shanxi Province. Sichuan Journal of Zoology, 2008, 27 (1): 110-114.
- [12] Plumptre A. The chemical composition of montane plants and its influence on the diet of the large mammalian herbivores in the Parc National des Volcans, Rwand. Journal of Zoology, 1995, 235 (2): 323-337.
- [13] Schaller G B. Wildlife of the Tibetan Steppe. Chicago: University of Chicago, 1998: 209-211.
- [14] Song R D, Hasagawa N, Li G M, Xu N, Cai G, Zhang Q L. Botanical composition and grazing behaviour of Qinghai yaks of plateau type in the natural rangeland. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2008, 29 (5): 31-35.
- [15] Nagy K A. Field metabolic rate and food requirement scaling in mammals and birds. Ecological Monographs, 1987, 57 (2): 111-128.
- [16] Nagy K A. Field bioenergetic of mammals: what determined field metabolic rates. Australian Journal of Zoology, 1994, 42 (1): 43-53.
- [17] Sun R Y. The Principles of Animal Ecology Third edition. Beijing: Beijing Normal University Press, 2001: 259-261.
- [18] Liu B W, Jiang Z G. Foraging strategy of Prze Walski's gazelle (*Procapra przewalskii*). Acta Zoologica Sinica, 2002, 48 (3): 309-316.
- [19] Krebs J R, Davies N B. An Introduction to Behavioural Ecology. Third edition Cambridge: Blackwell Scientific Publications, 1993: 48-76.
- [20] Jiang Z G. Principles of Animal Behavior and Techniques of Species Conservation. Beijing: Science Press, 2004: 102-124.
- [21] Drozd A. Seasonal intake and digestibility of natural foods by roe deer. Acta Theriologica, 1979, 24 (12/21): 137-170.
- [22] Teng L W, Liu Z S, Song Y L, Li S Y, Fu M L. Food habit of Indian muntjac *Muntiacus muntjak* at Hainan Island, China. Acta Zoologica Sinica, 2004, 50 (4): 511-518.
- [23] Liu W, Yang W K, Xu W X. Food habits of the Kulan (*Equus hemionus*) in autumn. Acta Theriologica Sinica, 2008, 28 (1): 33-36.
- [24] Liu Z S, Wang X M, Teng L W, Cao L R. Food habits of blue sheep, *Pseudois nayaur* in the Helan Mountains, China. Folia Zoologica, 2007, 56 (1): 13-22.

参考文献:

- [1] 马建章, 邹红菲, 贾竞波. 野生动物管理学 (第二版). 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2004: 53-57.
- [4] 郑荣泉, 鲍毅新. 有蹄类食性研究方法及其研究进展. 生态学报, 2004, 24 (7): 1532-1539.
- [5] 刘振生. 贺兰山脊椎动物. 银川: 宁夏人民出版社, 2009: 395-396.
- [6] 崔多英, 刘振生, 王小明, 翟昊, 胡天华, 李志刚. 贺兰山马鹿冬季食性分析. 动物学研究, 2007, 28 (4): 383-388.
- [8] 高中信, 陈化鹏, 王筱平. 粪便显微分析法测定植食动物食性的评价. 兽类学报, 1991, 11 (3): 186-193.
- [10] 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.
- [11] 张履冰, 徐宏发, 薛文杰, 姜海瑞, 孟秀祥. 陕西凤县林麝的冬、春季食性的初步研究. 四川动物, 2008, 27 (1): 110-114.
- [14] 宋仁德, 长谷川信美, 李国梅, 徐宁, 才尕, 张青兰. 天然草地放牧牦牛采食行为及食性选择的研究. 家畜生态学报, 2008, 29 (5): 31-35.
- [17] 孙濡泳. 动物生态学原理 (第三版). 北京: 北京师范大学出版社, 2001: 259-261.
- [18] 刘丙万, 蒋志刚. 普氏原羚的采食对策. 动物学报, 2002, 48 (3): 309-316.
- [20] 蒋志刚. 动物行为原理与物种保护方法. 北京: 科学出版社, 2004: 102-124.
- [22] 滕丽微, 刘振生, 宋延龄, 李善元, 符明利. 海南大田国家级自然保护区赤鹿的食性. 动物学报, 2004, 50 (4): 511-518.
- [23] 刘伟, 杨维康, 徐文轩. 蒙古野驴的秋季食性分析. 兽类学报, 2008, 28 (1): 33-36.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huaqun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许可证	京海工商广字第 8013 号		

