

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **2013**

中国生态学学会
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33卷第3期

2013年2月 (半月刊)

目次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燚, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燚, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201207281071

刘贵河, 王国杰, 汪诗平, [韩建国], 宛新荣, 郝树广. 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位. 生态学报, 2013, 33(3): 0856-0866.

Liu G H, Wang G J, Wang S P, [Han J G], Wan X R, Hao S G. The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0856-0866.

内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位

刘贵河¹, 王国杰², 汪诗平^{2,*}, [韩建国]³, 宛新荣⁴, 郝树广⁴

(1. 河北北方学院动物科技学院, 张家口 075000; 2. 中国科学院青藏高原研究所高寒生态学和生物多样性实验室, 北京 100101;

3. 中国农业大学动物科技学院草业科学系, 北京 100193; 4. 中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要:为探讨荒漠草原主要食草动物(绵羊、达乌尔黄鼠和亚洲小车蝗)的食性及其种间生态位变化与草原退化的关系,以内蒙古苏尼特右旗荒漠草原为研究对象,于 2003 年 7—8 月运用饱和链烷技术研究小针茅群落不同放牧强度下绵羊、达乌尔黄鼠和亚洲小车蝗的食性及其生态位变化。结果表明:随牧压的增大,群落中小针茅数量显著减少,猪毛菜比例随着增加;绵羊、达乌尔黄鼠、亚洲小车蝗 3 种食草动物的主要食物均来源于猪毛菜,且采食比例随牧压增大而递增;3 种食草动物对牧草的选择性指数随牧压的变化而变化,双齿葱和多根葱优先被采食;三者生态位重叠程度很高且生态位宽度随牧压的增加而变窄。重度放牧改变了小针茅群落的植物组成,使其演替为猪毛菜群落,3 种食草动物对草地资源存在激烈的竞争,因此,控制鼠、虫的种群密度,防止鼠、虫害的发生对保证放牧家畜的食物安全具有十分重要的现实意义。

关键词:荒漠草原; 绵羊; 达乌尔黄鼠; 亚洲小车蝗; 食性; 营养生态位

The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe

LIU Guihe¹, WANG Guojie², WANG Shiping^{2,*}, [HAN Jianguo]³, WAN Xinrong⁴, HAO Shuguang⁴

1 Animal and Technology College, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China

2 Key Laboratory of Alpine ecology and Biodiversity, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 Department of Grassland Science, Animal and Technology College, China Agricultural University, Beijing 100193, China

4 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract: In recent years, degradation of the natural grassland areas of Inner Mongolia has been particularly severe. Many factors have contributed to grassland degradation, including frequent grazing, trampling and damage by herbivores. These factors have not only changed the structure of the plant communities and plant species composition; they have also affected community succession. To examine the effects of grassland degradation on the dietary composition and trophic niches of the main herbivores of the Inner Mongolian desert steppe (*Ovis aries*, *Spermophilus dauricus*, *Oedaleus asiaticus*), we measured changes in the dietary composition and trophic niches occupied by these herbivores under different intensity grazing regimes in June-July 2003 using an n-alkane technique. The results showed that the richness of *Stipa klemenzii*-dominated communities decreased significantly with increased grazing intensity, whereas the proportion of *Salsola collina* in the community increased. *Salsola collina* was the main food source for *Ovis aries*, *Spermophilus dauricus* and *Oedaleus asiaticus*. Six to eight plant species were ingested by *Ovis aries* but *Salsola collina* made up the largest proportion of its diet. The other

基金项目:中国科学院“百人计划”优先资助项目(292005312D1102626);中国科学院知识创新工程方向性项目(KSCX2-YW-N-040)资助

收稿日期:2012-07-28; 修订日期:2012-11-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangship2008@yahoo.cn

main species ingested by *Ovis aries* were *Allium bidentatum*, *Cleistogenes songorica* and *Allium polyrhizum*. Five to seven plant species were ingested by *Spermophilus dauricus* in *Stipa klemenzii*-dominated communities, but *Allium bidentatum* and *Salsola collina* were consumed to a greater extent than other species. *Spermophilus dauricus* fed less selectively on *Salsola collina* with increased levels of grazing intensity and more selectively on *Stipa krylovii*. Overall, *Spermophilus dauricus* fed most selectively on *Allium bidentatum*, which had the highest selectivity index score. Five plant species were ingested by *Oedaleus asiaticus*, but *Cleistogenes songorica* and *Salsola collina* constituted the largest proportion of its diet. The selectivity indices of *Oedaleus asiaticus* for *Salsola collina* and *Allium polyrhizum* were lower with increased grazing intensity, while the selectivity indices for *Cleistogenes songorica* and *Stipa krylovii* increased. The selectivity index of *Oedaleus asiaticus* for *Allium bidentatum* was highest at moderate grazing intensities. Analysis of variance tests on grazing intensity, herbivore identity and plant species factors revealed significant differences between each factor that we examined ($P < 0.05$) and significant ($P < 0.01$) interactions between any two factors or among the three factors. The proportion of plant species ingested by herbivores in ungrazed plots was significantly ($P < 0.05$) lower than that in grazed plots, but there was no significant difference between moderate grazing and heavy grazing intensity plots. The proportion of plant species ingested by *Ovis aries* was significantly ($P < 0.05$) lower than that ingested by *Spermophilus dauricus* and *Oedaleus asiaticus*, but multiple comparisons of the diets of different herbivores showed that there was no significant difference between *Spermophilus dauricus* and *Oedaleus asiaticus*. Trophic niche breadth of the three herbivores became increasingly narrow with increasing grazing intensity. There was a great deal of overlap among the three herbivores with the greatest trophic overlap occurring between *Ovis aries* and *Spermophilus dauricus*. There was also considerable overlap in the diets of *Ovis aries* and *Oedaleus asiaticus*, *Spermophilus dauricus* and *Oedaleus asiaticus*. In summary, heavy grazing on the Inner Mongolian desert steppe changed a *Stipa klemenzii*-dominated community into a *Salsola collina*-dominated community. This succession led to the degradation of the grassland, and to fierce competition for resources among the three main herbivorous species. Therefore, controlling pests and mice population densities to prevent outbreaks is important for grazing livestock and food safety.

Key Words: desert steppe; *Ovis aries*; *Spermophilus dauricus*; *Oedaleus asiaticus*; Diet composition; trophic niche

近年来,我国90%的可利用草地处于不同程度退化之中^[1],尤其是内蒙古天然草原退化极为严重^[2-3]。多数学者认为超载过牧是草地退化的根本原因^[4-5]。还有学者认为,草原鼠类频繁地采食优良牧草、挖洞损伤牧草等也是引发草地退化的原因^[6-8],尤其在重牧区影响更为严重^[9]。此外,蝗虫也是天然草原最主要的食草动物之一,其群落结构和种群数量的变化影响着草原群落结构和功能的发挥,其危害程度取决于牧草的生育期和群落结构^[10-11]。总之,食草动物频繁的啃食、践踏和损伤不仅改变了植物群落的结构和种类组成,也影响并决定着群落的演替方向^[6,12-13];相反,植被群落的变化也影响着食草动物群落与种群结构的改变^[14-18],二者互为因果又相辅相成,这种关系形成了不同放牧强度下草原特有的生态系统。在该系统中,食草动物对食物资源相互竞争,出现生态位重叠与分化现象^[19]。有关食草动物食性及生态位研究多集中在同一类物种内^[20-24],对不同类食草动物种间生态位变化的研究相对较少^[25-26]。而天然草原同时承受着上述多种食草动物的干扰,它们的食性及生态位变化共同决定着草原的演替方向,但这方面的研究未见报道。本研究选择内蒙古荒漠草原小针茅(*Stipa klemenzii*)群落为研究对象,运用饱和链烷技术^[27-31]研究不同放牧强度下,绵羊(*Ovis aries*)、优势鼠种达乌尔黄鼠(*Spermophilus dauricus*)、优势蝗虫亚洲小车蝗(*Oedaleus asiaticus*)食性变化及其营养生态位关系,以揭示天然草原放牧退化演替规律,为植被恢复及草原合理利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验样地选择在内蒙古荒漠草原苏尼特右旗北部小针茅群落中,地处北纬42°46'36",东经112°40'25",海

拔 1100 m, 年降雨量平均为 200 mm, 未退化植物群落种类组成以小针茅、多根葱 (*Allium bidentatum*) 和无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*) 为主, 草群高度为 13—17 cm, 植被总盖度为 35% 左右, 土壤为棕钙土。试验于 2003 年 7—8 月份用链烷技术估测群落中自由放牧绵羊、优势鼠种、优势蝗虫的食性。

1.2 试验设计

1.2.1 自由放牧绵羊食性研究

对天然草原自由放牧的家畜而言, 放牧梯度等级的确定最好是根据离开水源的距离来确定^[32-33], 该试验的放牧强度是以离开村庄或围栏距离的远近来选择不同放牧压力的试验小区, 无牧区选择在围封 10a 的围栏内, 中等放牧区和重度放牧区分别选择在距村庄 2.0 km 和 1.0 km 的区域, 因为当地牧民的家畜晚上都圈于圈中。

1.2.2 达乌尔黄鼠食性研究

采用 4 号木板夹, 在不同牧压区域进行鼠类取样, 夹距 5 m, 行距 50 m, 共 3 行, 每行 100 夹, 共放置 300 夹, 连续测定 3 日, 在每日的上午和傍晚查夹并取鼠, 每 40 夹的面积为 1 hm², 3 日连续夹捕数目可视为样地鼠密度。捕获的鼠经熏蒸灭蚤 (疫) 后, 统计鼠的种类和数量, 以计算鼠的密度及优势鼠种比例 (表 1)。试验区主要鼠种有达乌尔黄鼠、黑线毛足鼠 (*Phodopus sungorus*)、五趾跳鼠 (*Allactaga sibirica*)、长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*)、黑线仓鼠 (*Cricetulus Barabensis*)、短耳仓鼠 (*Allocricetulus eversmanni*)、五趾心颅跳鼠 (*Cardiocranius paradoxus*) 等, 不同放牧区达乌尔黄鼠数量最多, 为优势种 (表 1)。然后在实验室解剖达乌尔黄鼠并取其胃内含物。

表 1 不同放牧强度鼠种的密度及其组成

Table 1 The density of mice and their composition under different grazing intensities

放牧强度 Grazing intensity	鼠种密度 (只/hm ²) Density of mice	鼠种组成 Composition of mice/%							
		达乌尔黄鼠 <i>S. dauricus</i>	五趾跳鼠 <i>A. sibirica</i>	黑线毛足鼠 <i>P. sungorus</i>	短耳仓鼠 <i>A. eversmanni</i>	小家鼠 <i>Mus musculus</i>	长爪沙鼠 <i>M. unguiculatus</i>	黑线仓鼠 <i>C. Barabensis</i>	五趾心颅跳鼠 <i>C. paradoxus</i>
NG	5.92	32.3	16.1	29	9.7	3.2	6.5	3.2	0
MG	2.24	50	16.7	8.3	25	0	0	0	0
HG	4.64	24	16	24	12	0	4	8	12

NG: 无牧区 No grazing; MG: 中度放牧区 Moderate grazing; HG: 重度放牧区 Heavy grazing (similarly hereinafter)

1.2.3 亚洲小车蝗食性研究

运用扫网的方法测定草原蝗虫的种类和密度, 在不同牧压试验区内随机取 20 个点, 每点向外辐射扫 10 网, 共计 200 网, 统计蝗虫种类与数量, 计算蝗虫密度, 确定优势蝗虫种并在笼内关养 1d, 收集其粪便。试验区不同牧压下优势蝗虫均为亚洲小车蝗 (表 2)。

表 2 不同放牧强度蝗虫的密度及其优势种比例

Table 2 The density of grasshopper and proportion of their dominant species under different grazing intensities

放牧强度 Grazing intensity	蝗虫密度/(成虫/200 网) Density of grasshopper	亚洲小车蝗比例/% Proportion of <i>O. asiaticus</i>	亚洲小车蝗密度/(成虫/200 网) Density of <i>O. asiaticus</i>
NG	15.3	70.6	10.8
MG	32.6	95.3	31.1
HG	24.8	95.5	23.7

1.3 样品采集和处理

1.3.1 植物样品的采集与处理

在不同放牧压力下的每个试验小区内, 沿 2 条 100 m 的样线间隔 10 m 做一个样方 (1.0 m × 1.0 m), 共计 20 个样方。样方内植物齐地面刈割, 分种称量鲜重后, 在 65 °C 烘箱中烘干至恒重, 称量干物质质量。取相对生物量大于 0.5% 的每种牧草约 20—200 g 过 1 mm 筛粉碎, 分析其链烷含量。

1.3.2 羊粪样品的采集与处理

同期在相应试验区域随机选择 10 只绵羊,带上集粪袋,连续 3d 收集新鲜羊粪并置于 65℃ 烘箱中烘干,然后将每只绵羊的粪便分别混合均匀,粉碎过 1 mm 筛,分析其链烷含量。

1.3.3 鼠胃内含物的取样与处理

对在试验区内所取的达乌尔黄鼠全部进行解剖(无牧区 10 只;中度放牧区 6 只;重度放牧区 6 只),取胃内含物,并按放牧梯度混合胃内含物,在 65℃ 烘箱中烘干,粉碎过 1 mm 筛,分析其链烷含量。

1.3.4 蝗虫粪便的取样与处理

通过扫网,取亚洲小车蝗成熟个体约 150 头(M:F=1:1),放置在笼中(1.0 m × 0.5 m × 0.5 m),不加任何食物,每隔 6 小时收集一次粪便,共收集 4 次,粪便样品在 65℃ 烘箱中烘干,分析其链烷模式。

1.4 样品分析

植物与粪便样品链烷模式分析方法参见刘贵河等^[31]方法进行分析。

1.5 数据处理和分析

1.5.1 采食牧草比例计算

对放牧绵羊、优势鼠种和优势蝗虫的牧草采食比例采用最小平方优化程序 Eatwhat 软件进行计算^[34]。

1.5.2 选择性指数计算

选择性指数(SI) 又称偏嗜性指数,是指食物中某种牧草占的重量百分率与群落中该种植物占的重量百分率的比值。用公式 $SI = \frac{D}{P}$ 计算,式中, D 为在食性中牧草的百分数, P 为在群落中牧草的百分数^[35-36]。

1.5.3 营养生态位计算

食草动物营养生态位宽度采用 Shaanon-Wiener 信息指数计算,生态位重叠指数采用 Hurlbert (1978) 重叠指数计算,计算公式分别为 $B_j = - \sum_{i=1}^r P_{ij} \times \lg P_{ij}$ 和 $O_{ik} = \sum_{j=1}^r \frac{P_{ij} \times P_{kj}}{C_j}$, 式中 B_j 为生态位宽度; O_{ik} 生态位重叠指数; P_{ij} 为 i 食草动物利用 j 资源的比例; P_{kj} 为 k 食草动物利用 j 资源的比例; C_j 为第 j 个资源状态的相对多度^[37]。

1.5.4 数据分析

试验数据采用 SPSS11.5 软件 GLM 模型进行二因素及三因素方差分析,应用 LSD 与 T 方法进行多重比较,所有数据用 Excel 计算并形成图表。

2 结果与分析

2.1 群落中植物的种类组成

通过植被样方数据可知,不同放牧强度下小针茅群落中共有 14—20 种植物,但其中的 10 种植物地上生物量占群落总生物量的 99% 以上,它们是食草动物的主要食物来源。其中,优势种小针茅随放牧强度的增加而下降,猪毛菜(*Salsola collina*) 随放牧强度增加而增加,变为优势种(表 3),说明小针茅群落随牧压的增大演替为猪毛菜群落。有关放牧强度对植被更详细的影响参见王国杰等^[38],这里不再赘述。

表 3 不同放牧强度主要植物种及其干物质比例

Table 3 Main plant species and their dry matter proportion in the community under different grazing intensities

植物种类 Plant species	NG	MG	HG	植物种类 Plant species	NG	MG	HG
多根葱 <i>A. bidentatum</i> /%	0.87	3.46	1.01	双齿葱 <i>Allium polyrhizum</i> /%	1.23	1.09	0.95
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> /%	1.33	0.13	0.22	苔草 <i>Cares duriuscula</i> /%	1.28	0.05	0.52
无芒隐子草 <i>C. songorica</i> /%	9.97	6.74	8.85	小旋花 <i>Convolvulus ammannii</i> /%	1.46	0.61	1.40
草麻黄 <i>Ephedra sinica</i> /%	0.11	0.12	2.63	木地肤 <i>Kochia pristata</i> /%	0.10	3.06	0.12
猪毛菜 <i>S. collina</i> /%	20.22	75.28	81.65	小针茅 <i>S. klemenzii</i> /%	62.88	9.09	2.14
占总生物量比例 Proportion of total DM/%	99.45	99.63	99.49				

2.2 群落中主要植物种链烷模式

小针茅群落中 10 种主要植物的链烷模式见表 4, 在这些植物中, 奇数碳链的浓度高于相邻偶数碳链浓度, 且优势链烷 C_{27} 、 C_{29} 、 C_{31} 和 C_{33} 模式存在种间差异, 链烷浓度总和也存在种间差异。

表 4 小针茅群落中主要植物种链烷浓度/(mg/kg 干物质)

Table 4 n-alkane concentrations of main plant species in *S. klemenzii* community

植物种类 Plant species	C_{21}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{35}	总和 Total
多根葱 <i>A. bidentatum</i>	2	8	2	16	2	92	22	331	20	233	16	24	0	768
双齿葱 <i>A. polyrhizum</i>	3	112	17	106	17	239	22	693	65	4177	57	94	3	5605
冷蒿 <i>A. frigida</i>	1	9	2	39	1	76	14	836	52	679	53	117	29	1908
苔草 <i>C. duriuscula</i>	4	6	3	7	2	21	6	274	31	303	23	58	2	740
无芒隐子草 <i>C. songorica</i>	4	1	2	7	2	29	5	85	4	90	4	4	5	242
小旋花 <i>C. ammannii</i>	1	2	2	7	1	18	1	32	2	38	1	8	0	113
草麻黄 <i>E. sinica</i>	1	5	2	10	1	25	5	236	7	48	10	7	0	357
木地肤 <i>K. pristata</i>	1	3	3	41	4	116	15	559	24	335	19	71	9	1200
猪毛菜 <i>S. collina</i>	1	2	1	4	1	14	4	93	7	92	5	11	1	236
小针茅 <i>S. klemenzii</i>	2	15	3	22	6	171	12	474	21	2521	33	1892	88	5260

2.3 不同放牧强度下 3 种食草动物的食性

试验区内虽然有 10 种主要植物种, 但由于不同放牧强度下群落组成发生了显著变化(表 3), 所以导致了不同放牧强度下食草动物采食的牧草种类和数量存在一定的差异(表 5)。绵羊主要采食其中的 6—8 种植物, 其中猪毛菜占的比例最大, 且在重牧区绵羊增加了对冷蒿(*Artemisia frigida*)和苔草(*Cares duriuscula*)的采食; 达乌尔黄鼠主要采食其中的 5—7 种植物, 主要以猪毛菜和多根葱为主; 亚洲小车蝗主要采食 5 种植物, 其中无芒隐子草、小针茅和猪毛菜采食比例较大, 然后是双齿葱(*Allium polyrhizum*)和多根葱。通过对放牧强度、食草动物和牧草种类 3 因子进行方差分析, 发现每种因子都存在显著的差异, 而且两两之间和三者之间都存在极显著的互作(表 6)。进一步进行多重比较发现, 无牧区野生食草动物采食的牧草比例显著低于放牧区, 但中度放牧区与重度放牧区食草动物采食牧草比例差异不显著(表 7); 绵羊采食牧草比例显著低于达乌尔黄鼠和亚洲小车蝗, 但达乌尔黄鼠和亚洲小车蝗的采食比例差异不显著(表 8)。不同放牧强度不同食草动物对 8 种牧草采食的比例除苔草和木地肤(*Kochia pristata*)外, 所有牧草采食比例差异均显著(表 9)。

表 5 不同放牧强度 3 种食草动物食性组成及多重比较(平均值±标准误)/%

Table 5 Estimated diet composition (Mean±S. E%) and their multiple comparisons of three herbivores using the n-alkane technique under different grazing intensities

植物种 Plant species	绵羊 <i>O. aries</i>		达乌尔黄鼠 <i>S. dauricus</i>			亚洲小车蝗 <i>O. asiaticus</i>		
	MG	HG	NG	MG	HG	NG	MG	HG
多根葱 <i>A. bidentatum</i>	11.0±1.2a	4.5±0.3a	16.4±2.0a	14.6±2.1a	13.2±1.3a	0.4±0.1b	5.6±0.3a	0.8±0.1b
双齿葱 <i>A. polyrhizum</i>	5.3±0.8a	1.5±0.1a	1.1±0.1a	4.2±0.8a	2.2±0.4a	2.5±0.4a	2.1±0.2a	1.3±0.1a
冷蒿 <i>A. frigida</i>	0	1.0±0.1	9.3±1.3a	1.3±0.3b	1.4±0.2b	0	0	0
苔草 <i>C. duriuscula</i>	0	1.0±0.1	3.2±0.4	0	0	0	0	0
无芒隐子草 <i>C. songorica</i>	11.6±1.5a	17.8±2.1a	0	0	4.3±0.7	19.0±2.0a	22.7±2.3a	28.4±2.5a
木地肤 <i>K. pristata</i>	3.5±1.2	0	0	0	0	0	0	0
猪毛菜 <i>S. collina</i>	60.6±2.1a	72.2±2.2a	60.5±2.4a	76.8±3.2a	77.6±2.6a	38.8±2.2b	58.0±3.4a	63.2±3.3a
小针茅 <i>S. klemenzii</i>	8.0±1.8a	2.0±0.3a	9.5±1.2a	3.1±0.2b	1.3±0.3b	39.3±2.2a	11.6±1.8b	6.3±1.2b

相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

表 6 牧草采食比例三因子方差分析表
Table 6 Three factor analysis of variance of diet proportion

变异来源 Source of variation	平方和 Type III sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	<i>F</i>
放牧强度 Grazing intensity	832.641	2	416.32	263.958 **
食草动物 Herbivores	815.261	2	407.63	258.448 **
牧草种类 Plant species	66565.481	7	9509.354	6029.179 **
放牧强度×食草动物 Grazing intensity× herbivores	1663.121	4	415.78	263.615 **
放牧强度×牧草种类 Grazing intensity×plant species	8251.361	14	589.383	373.684 **
食草动物×牧草种类 Herbivores×plant species	7197.236	14	514.088	325.945 **
放牧强度×食草动物×牧草种类 Grazing intensity×herbivores×plant species	3130.473	28	111.803	70.886 **
误差 Error	227.12	144	1.577	
总和 Total	88682.693	215		

* * 差异极显著 ($P < 0.01$)

表 7 不同放牧强度牧草采食比例多重比较
Table 7 Multiple comparisons of diet proportion under different grazing intensities

放牧强度 Grazing intensity	平均数 Mean	标准差 Std. deviation	样本含量 Number of samples
NG	8.2958a	15.71730	72
MG	12.4292b	21.09884	72
HM	12.4917b	23.34801	72

相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

表 8 不同食草动物牧草采食比例多重比较
Table 8 Multiple comparisons of diet proportion in different herbivores

食草动物 Herbivores	平均数 Mean	标准差 Std. Deviation	样本含量 Number of samples
绵羊 <i>O. aries</i>	8.3250a	18.31380	72
达乌尔黄鼠 <i>S. dauricus</i>	12.4125b	23.24482	72
亚洲小车蝗 <i>O. asiaticus</i>	12.4792b	19.02243	72

相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

表 9 不同牧草种类采食比例多重比较表
Table 9 Multiple comparisons of diet proportion in different plant species

牧草种类 Plant species	平均数 Mean	标准差 Std. Deviation	样本含量 Number of samples
苔草 <i>C. duriuscula</i>	0.4593a	1.01952	27
木地肤 <i>K. pristata</i>	0.3852a	1.15948	27
多根葱 <i>A. bidentatum</i>	7.3778b	6.33521	27
冷蒿 <i>A. frigida</i>	1.4444c	2.91380	27
双齿葱 <i>A. polyrhizum</i>	2.2481d	1.60633	27
无芒隐子草 <i>C. songorica</i>	11.5370e	10.58436	27
小针茅 <i>S. klemenzi</i>	8.7889f	11.71299	27
猪毛菜 <i>S. collina</i>	56.3370g	23.40620	27

相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.4 不同放牧强度 3 种食草动物对牧草的选择性指数

选择性指数大于 1.0 说明该种植物被优先采食,在不同牧压下,绵羊对牧草的选择性指数不同(表 10),

但优先采食多根葱、无芒隐子草和双齿葱,其中多根葱和无芒隐子草随牧压的增大选择性指数上升,双齿葱随牧压的增大选择性指数下降,并且在中度放牧区和重牧区,绵羊分别对木地肤、冷蒿和苔草具有很高的选择性,虽然绵羊的选择性采食表现为随牧压变化而变化,但主要取决于群落中可食牧草数量及易接近程度;而达乌尔黄鼠对食物的选择性指数除小针茅和无芒隐子草外均很高(表 10),尤其对多根葱的选择性指数最高,随牧压的增大,达乌尔黄鼠对猪毛菜的选择性指数下降,对小针茅的选择性指数增加,也同样说明该鼠种具有很强的选择性采食行为,也同样受牧压的影响较大;随着牧压的增大,亚洲小车蝗对双齿葱和猪毛菜的选择性指数下降,而对无芒隐子草和小针茅选择性指数增加,多根葱在适牧条件下,选择性指数最高(表 10),说明亚洲小车蝗对食物的选择性采食受牧压影响也较大。

表 10 不同放牧强度 3 种食草动物对牧草的选择性指数 (SI)

Table 10 Selectivity index (SI) of three herbivores of primary plant species under different grazing intensities

植物种 Plant species	绵羊 <i>O. aries</i>		达乌尔黄鼠 <i>S. dauricus</i>			亚洲小车蝗 <i>O. asiaticus</i>		
	MG	HG	NG	MG	HG	NG	MG	HG
多根葱 <i>A. bidentatum</i>	3. 18	4. 46	13. 01	13. 76	13. 68	0. 46	1. 62	0. 79
双齿葱 <i>A. polyrhizum</i>	4. 86	1. 58	1. 15	1. 16	1. 98	2. 03	1. 93	1. 37
冷蒿 <i>A. frigida</i>	—	4. 55	6. 77	7. 69	4. 55	—	—	—
苔草 <i>C. duriuscula</i>	—	1. 92	2. 34	—	—	—	—	—
无芒隐子草 <i>C. songorica</i>	1. 72	2. 01		—	0. 56	1. 91	3. 37	3. 21
木地肤 <i>K. pristata</i>	1. 14	—	—	—	—	—	—	—
猪毛菜 <i>S. collina</i>	0. 8	0. 88	3. 02	1. 02	0. 96	1. 92	0. 77	0. 77
小针茅 <i>S. klemenzii</i>	0. 88	0. 93	0. 16	0. 33	0. 47	0. 63	1. 28	2. 94

2.5 不同放牧强度 3 种食草动物营养生态位宽度

3 种食草动物在不同放牧压力下,其营养生态位宽度是不一样的(表 11),随牧压的增大,绵羊和亚洲小车蝗的营养生态位变窄,而达乌尔黄鼠的生态位在中度放牧区最低,但总的变化趋势也随牧压的增大而变窄。

表 11 不同放牧强度 3 种食草动物营养生态位宽度

Table 11 Coefficient of trophic niche breadth of three herbivores under different grazing intensities

食草动物 Herbivores	放牧强度 Grazing intensity		
	NG	MG	HG
绵羊 <i>O. aries</i>	—	1. 27	0. 92
达乌尔黄鼠 <i>S. dauricus</i>	1. 20	0. 78	0. 81
亚洲小车蝗 <i>O. asiaticus</i>	1. 17	1. 15	0. 92

2.6 3 种食草动物营养生态位重叠度

生态位重叠程度反映了物种间对资源利用的相似程度,同时也反映它们之间潜在的竞争程度。3 种食草动物在小针茅群落中实际营养生态位重叠程度较高(表 12),其中绵羊和达乌尔黄鼠生态位重叠程度最高,依次为绵羊和亚洲小车蝗、达乌尔黄鼠和亚洲小车蝗生态位的重叠,说明 3 种食草动物在小针茅群落中对牧草的利用程度相似,竞争较为激烈。结合 3 种食草动物对牧草的选择性指数(表 10)分析,三者对双齿葱和多根葱的竞争最为激烈,其次是绵羊与达乌尔黄鼠对冷蒿的竞争,以及绵羊与亚洲小车蝗对无芒隐子草的竞争,因为猪毛菜在群落中比例较高,竞争表现不明显。

3 讨论

(1) 链烷技术理论上可以评价食草动物对 15 种牧草的采食^[28],但是当食草动物采食的牧草种类较多或牧草中链烷含量较低的情况下会增大估测误差^[39-40],普遍结论认为,链烷技术可以准确评价食草动物对 2—10 种牧草的采食比例^[29,41]。据植被样方统计,无牧区有 20 种植物,中度放牧区有 14 种植物,重度放牧区有 17 种植物,根据牧草生物量及其出现频率,人为剔除了无牧区中生物量低于 0. 05% 的几种植物或出现频

率极少的植物,比如米口袋(*Gueldenstaedtia verna*)占群落生物量的0.03%、地苣瓜(*Cynanchum thesioides*)占0.02%、扁蓿豆(*Pocockia ruthenia*)占0.0005%、乳白花黄芪(*Astragalus galactites*)占0.002%、平车前(*Plantago depressa*)占0.04%、洽草(*Koeleria cristata*)占0.03%、雾冰黎(*Bassia dasyphylla*)占0.04%等,类似的植物还有鸦葱(*Scorzonera austriaca*)、细叶鸢尾(*Iris tenuifolia*)、天门冬(*Asparagus cochinchinensis*),而这些植物在放牧区域几乎没有或偶见。因此本研究选择生物量占99%以上的10种代表性植物进行试验,力求结果更为真实。尽管食草动物可能采食了10种牧草以外的其他牧草种类,但由于其在群落中的数量很少,对绵羊和蝗虫的食性影响较小,加之链烷技术本身的缺陷^[40],本研究只对其中的10种牧草进行估测,建议以后结合其他方法对食草动物食性进一步展开量化研究。

表 12 3 种食草动物营养生态位重叠度

Table 12 Overlap of trophic niche among three herbivores in *S. klemenzii* community

食草动物 Herbivores	绵羊 <i>O. aries</i>	达乌尔黄鼠 <i>S. dauricus</i>	亚洲小车蝗 <i>O. asiaticus</i>
绵羊 <i>O. aries</i>	+	0.1944	0.1815
达乌尔黄鼠 <i>S. dauricus</i>		+	0.1033
亚洲小车蝗 <i>O. asiaticus</i>			+

(2)放牧家畜食性的变化受很多因素影响,比如,牧草的适口性、物候期、形态学特征及气候、地形等因素^[42]。当放牧地牧草资源(地上生物量)丰富时,放牧家畜能够选择喜食的牧草种,反之,家畜就被迫采食先前不喜食的植物种,尤其在重牧区^[12,36,43]。本试验结果表明,在重牧区,绵羊对猪毛菜的采食比例增加,这与群落中猪毛菜数量增多有关。当食物资源缺乏或喜食的牧草种类较少时,绵羊通过增加放牧时间来寻找适口性好的牧草或难于接近的牧草^[44-45],试验结果显示,在重牧区,绵羊增加了对冷蒿与苔草的采食,而这些牧草在群落中数量极少,此结果也同样说明了绵羊具有很强的选择性采食行为。

(3)放牧不仅改变了草地的植物种类组成^[5],进而也改变了鼠的种群结构^[7,46],本研究随着牧压的变化鼠的种类及其密度也随之变化(表1),达乌尔黄鼠在无牧区和重度放牧区的密度虽然低于50%,但在群落中其种群密度相对较高,尽管达乌尔黄鼠不足以代表草地啮齿动物类群,但一定程度上也能反映出主要鼠类与放牧家畜之间的营养生态位关系,笔者未能研究全部鼠种的食性,建议在以后研究中逐步完善。啮齿动物食性较为复杂,因为多数啮齿动物除了采食牧草茎叶外,还采食植物根系、牧草种子和无脊椎动物^[17,47],所以在分析啮齿动物采食牧草种类时,只能进行粗略的估测,不能确定相对准确的采食比例。但达乌尔黄鼠是以植物性食物为主的鼠种^[48],受实验条件和方法的限制,本研究只能粗略估测出达乌尔黄鼠采食了5—6种牧草,主要以杂类草和禾草为主,此结果与王桂明等^[21]的研究结果类似,尽管群落中牧草种类和数量随牧压改变发生了巨大的变化,但达乌尔黄鼠仍喜食多根葱、双齿葱和冷蒿,达乌尔黄鼠的这种选择性采食可能与鼠种有关^[49],也可能与植物生长季节有关^[50]。本研究在重度放牧区黄鼠增加了对无芒隐子草的采食,这与群落中无芒隐子草的生物量无关,可能与群落中喜食牧草种类减少有关。

(4)前人总结了很多的方法来评价蝗虫食性,但大多数方法只能对蝗虫采食的牧草种类进行归类^[51],虽然嗦囊内含物显微分析技术被广泛用于评价蝗虫的食性^[52],但在实际应用中很难被推广^[53],本研究应用链烷技术估测的亚洲小车蝗食性主要以禾草和杂类草为主,此结果与前人的研究结果一致^[11]。影响蝗虫食性的因素很多,如气候干旱、高温^[54]、植被类型、盖度和草地退化程度^[16,20]。本研究发现,亚洲小车蝗的食性随放牧强度的变化差异不显著,说明亚洲小车蝗对食物的选择性较强,受群落多样性的影响较小。

(5)生态位宽度是指一个种群在一个群落中所利用的各种不同资源的总和^[37]。当食物资源充足时,食草动物利用最适于其生存和最方便利用的食物资源,导致营养生态位变窄^[50],当食物资源短缺时,它们则尽量发挥其资源利用潜力,促使生态位变宽^[21]。本试验3种食草动物的生态位随牧压的增大而变窄,对绵羊而言,这不是食物资源充足的结果,而是食物资源唯一性的结果,对鼠和蝗虫而言,食物资源变的丰富。放牧不

仅改变了小针茅群落的植物种类组成,而且会加剧鼠虫害的发生,同时也说明小针茅群落已经不适合放牧利用^[55]。

(6)不同种群生态位重叠意味着对食物资源存在竞争,尤其在食物资源不足时^[56-57]。本研究达乌尔黄鼠和亚洲小车蝗的生态位与绵羊的生态位重叠程度较大,说明它们的食谱相近,对食物资源存在激烈的竞争。造成食草动物生态位重叠的原因有很多,其中动物本身对植物的选择性采食和食物资源的可利用性是主要因素^[58]。本研究发现,3种食草动物共同喜食的牧草种类很多,如多根葱、双齿葱和冷蒿等。此外,种群密度也是影响生态位重叠的一个重要因素^[59],当群落中一个种群的密度增加,就会加大与其他种群生态位重叠的程度,同时也会影响其他与之生态位重叠的种群数量,它们之间是负相关关系^[35]。本研究发现,在围栏内,鼠种的密度最大,在中度放牧区鼠种的密度最低,随着放牧强度的增加,鼠种的密度又增大,说明适度放牧会降低群落中鼠的密度,过度放牧又会加大群落中鼠的密度,而蝗虫密度随牧压的变化与鼠的密度变化相反,说明放牧会引发鼠、虫密度的消长^[6],同时也说明过度放牧是引发鼠、虫害发生的直接原因。因此,控制鼠、虫的种群密度,防止鼠、虫害的发生对保证放牧家畜的食物安全也具有十分重要的现实意义。

References:

- [1] Chen Z Z, Wang S P. Typical Grassland Ecosystem in China. Beijing: Science Publishing House, 2000: 125-169.
- [2] Xu Z X, Li Y Q. Influence of grassland degeneration on soil erosion. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2003, 17(1): 65-68.
- [3] Li B. The rangeland degradation in North China and its preventive strategy. Scientia Agricultura Sinica, 1997, 30(6): 1-9.
- [4] Sun H Q, Zhou H, Wang P. Progress on grassland degenerated succession. Grassland of China, 1999, (1): 51-56.
- [5] Wang S P, Wang Y F, Chen Z Z. Grazing System Management. Beijing: Science Publishing House, 2003: 150-290.
- [6] Wan X R, Liu W, Wang G H, Zhong W Q. Food consumption and feeding characters of *Phodopus roborovskii* on Hunshandake sandy land of Inner Mongolia. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(2): 223-227.
- [7] Li X L, Zhang J, Zhang G S. Studies on the relationship between grazing succession of grassland and harmful rats density in alpine region. Pratacultural Science, 1996, 13(1): 44-50.
- [8] Huang C D. Effect of plateau xokoron grassland vegetatilt in cold and high meadow. Pratacultural Science, 2004, 21(10): 58-62.
- [9] Jiang X L. Relationship of population quantities of plateau Pika with vegetation homogeneity. Acta Pratacultural Sinica, 1998, 7(1): 60-64.
- [10] Kang L. Grasshopper-plant interactions under different grazing intensities in Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(1): 1-11.
- [11] He D H, Zheng Z M. Trophic niche and interspecific food competitive model of grasshoppers in desert grassland. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(6): 605-611.
- [12] Wang S P, Li Y H, Wang Y F, Chen Z Z. Influence of different stocking rates on plant diversity of *Artemisia frigida* Community in Inner Mongolia Steppe. Acta Botanica Sinica, 2001, 43(1): 89-96.
- [13] Li Y H. The divergence and convergence of *Aneurolepidium chinense* steppe and *Stipa grandis* steppe under the grazing influence in Xilin river valley, Inner Mongolia. Chinese Journal of Plant Ecology, 1988, 12(3): 189-196.
- [14] Wang S P. Relationships between body gains and stocking rates of grazing sheep on typical Inner Mongolian grassland. Acta Prataculturae Sinica, 2000, 9(2): 10-16.
- [15] Kang L, Chen Y L. Dynamics of grasshopper communities under different grazing intensities in Inner Mongolian steppes. Entomologia Sinica, 1995, 2(3): 265-281.
- [16] Qiu X H, Li H C. Effect of livestock exclusion on abundance of grasshoppers on *Aneurolepidium chinense* and *Stipa grandis* steppes. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(4): 403-406.
- [17] Liu W, Zhou L, Wang X. Responses of plant and rodents to different grazing intensity. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(3): 376-382.
- [18] Jiang T A, Wang S Q, Xue Z D. Correlation between vegetation coverage and Zoker population quantity. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(5): 24-27.
- [19] Fu H P, Wu X D, Yang Z L. Niche characteristics of rodents by diverse disturbance in Alashan Desert, Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2637-2643.
- [20] Kang L, Chen Y L. Trophic niche of grasshoppers within steppe ecosystem in Inner Mongolia. Acta Entomologica Sinica, 1994, 37(2): 178-189.
- [21] Wang G M, Zhou Q Q, Zhong W Q. Trophic niches of four species of common small mammals in Inner Mongolia grassland and their relationships. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(1): 71-76.
- [22] Myserud A. Diet overlap among ruminants in Fennoscandia. Oecologia, 2000, 124(1): 130-137.
- [23] Fu H P, Ma C M, Ai D, Huang Y, Wu X D. The population niche of principal rodents in the Alashan desert region of Inner Mongolia. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2003, 24(4): 22-25.
- [24] Liu B W, Jiang Z G. Dietary overlap between *przewalski's* gazelle and domestic sheep in the Qinghai lake region and implications for rangeland management. Journal of Wildlife Management, 2004, 68(2): 241-246.

- [25] Mellado M, Olvera A, Queros A, Mendoza G. Dietary overlap between prairie dog (*Cynomys mexicanus*) and beef cattle in a desert rangeland of northern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 2005, 62(3): 449-458.
- [26] Steen H, Atle M, Gunnar A. Sheep grazing and rodent populations: evidence of negative interactions from a landscape scale experiment. *Oecologia*, 2005, 143(3): 357-364.
- [27] Dove H. Using the *n*-alkanes of plant cuticular wax to estimate the species composition of herbage mixtures. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1992, 43(8): 1711-1724.
- [28] Dove H, Mayes R W. The use of plant wax alkanes as marker substances in studies of the nutrition of herbivores: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1991, 42(6): 913-952.
- [29] Valiente O L, Delgado P, de Vega A, Guada J A. Validation of the *n*-alkane technique to estimate intake, digestibility, and diet composition in sheep consuming mixed grain: roughage diets. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2003, 54(7): 693-702.
- [30] Kuzyk G W, Hudson R J. Using *n*-alkane markers to estimate forage intake of mule deer. *Canadian Journal of Zoology*, 2006, 84(11): 1576-1583.
- [31] Liu G H, Lin L J, Zhang Y J, Wang S P, Han J G, Ma X Z. Study on the accuracy and precision of *n*-alkanes as markers for estimating of diet composition and herbage intake of sheep. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(7): 1472-1479.
- [32] Fuls E R. Ecosystem modification created by patch-overgrazing in semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*, 1992, 23(1): 59-69.
- [33] Pickup G, Chewings V H. A grazing gradient approach to land degradation assessment in arid areas from remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(3): 597-617.
- [34] Dove H, Moore A D. Using a least-squares optimization procedure to estimate botanical composition based on the alkanes of plant cuticular wax. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 46(8): 1535-1544.
- [35] Van Dyne G M, Heady H F. Botanical composition of sheep and cattle diets on a mature annual range. *Hilgardia*, 1965, 36(13): 465-492.
- [36] Wang S P. The dietary composition of fine wool sheep under different stocking rates and relationship between dietary diversity and plant diversity in Inner Mongolia steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 237-243.
- [37] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Publishing House, 2004: 77-97.
- [38] Wang G J, Wang S P, Hao Y B, Cai X C. Effect of grazing on the plant functional group diversity and community biomass and their relationship along a precipitation gradient in Inner Mongolia Steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1649-1656.
- [39] Jiang C, Zhang Y J, Luo H L, Chang S J. Optimum combination of plant wax compositions as markers in the composition estimation of dietary plant species of desert steppe in Inner Mongolia. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(3): 576-582.
- [40] Newman J A, Cribari-neto F, Jensen M J. The sensitivity of *n*-alkane analysis to measurement error: implications for use in the study of diet composition. *The Journal of Agricultural Science*, 1998, 131(4): 465-476.
- [41] Martins H, Elston D A, Mayes R W, Milne J A. Assessment of the use of *n*-alkanes as markers to describe the complex diets of herbivores. *The Journal of Agricultural Science*, 2002, 138(4): 425-434.
- [42] Wang S P. The dietary composition of fine wool sheep and plant diversity in Inner Mongolia steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6): 951-957.
- [43] Boo R M, Lindstrom L I, Elia O R, Mayor M D. Botanical composition and seasonal trends of cattle diets in central Argentina. *Journal of Range Management*, 1993, 46(6): 479-482.
- [44] Dumont B, Petit M, Dhour P. Choice of sheep and cattle between vegetative and reproductive cocksfoot patches. *Applied Animal Behaviour Science*, 1995, 43(1): 1-15.
- [45] Wang S P, Li Y H. Behavior ecology of grazing sheep V. Interrelation between ingestion behavior and sward characteristics. *Acta Prataculturae Sinica*, 1997, 6(4): 31-38.
- [46] Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S, Dai Y, Wang Q J, Shi J J, Wang L Y. Effects of grazing intensity on mixed-sown community of *Elymus natans* and *Puccinellia tenuiflora* and *Ochotona curzoniae* in Yangtze and Yellow River headwater region. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2006, 15(2): 28-33.
- [47] Zhao T B, Liang W, Qin F C, Liu Y H, Wang L M, Li J Z. A brief note on ecological study on *Spermophilus dauricus*. *Journal of Inner Mongolia Normal University: Natural Science Edition*, 2000, 29(2): 125-129.
- [48] Bai X W, Shi X M, Dong G R, Du G Y, Zhang Y Z. Feeding habits of *Spermophilus dauricus* Brandt in the north frontier administration areas of Hebei province. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2010, 12(4): 382-383.
- [49] Cao Y F, Lin G H, Lu X F, Su J P. Food habits of *Ochotona koslowi*. *Chinese Journal of Zoology*, 2009, 44(1): 58-62.
- [50] Yang W K, Liu W, Huang Y, Qiao H H, Xu W X, Xia C J, Li J, Xu F, Blank D. Food habits of great gerbil (*Rhombomys opimus*) in south of Gurbantunggut Desert. *Arid Land Geography*, 2011, 34(6): 912-918.
- [51] Nelson M L, Gangwere S K. A key to grasshopper food plants based on anatomical features. *The Michigan Botanist*, 1981, 20(3): 111-126.
- [52] Wang S G, Ma X M. Food selection and food niche of locust *Catantops pinguis* from Hangzhou, Zhejiang. *Plant Protection*, 2009, 35(4): 39-43.
- [53] Norbury G L, Sanson G D. Problems with measuring diet selection of terrestrial, mammalian herbivores. *Australian Journal of Ecology*, 1992, 17(1): 1-7.
- [54] Evans E W. Absence of inter specific competition among Tallgrass Prairie grasshoppers during a drought. *Ecology*, 1992, 73(3): 1038-1044.
- [55] Zuo X A, Zhao X Y, Zhao H L, Guo X R, Li Y Q, Zhao Y P. Changes on species composition and function diversity in degraded process of grassland in Horqin Sand Land. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 181-185.

- [56] William J, Zielinski N, Duncan P. Diets of Sympatric Populations of American Martens (*Martes americana*) and Fishers (*Martes pennanti*) in California. *Journal of Mammalogy*, 2004, 85(3): 470-477.
- [57] Baldi R, Pelliza-Sbriller A, Elston D, Albon S. High potential for competition between guanacos and sheep in Patagonia. *Journal of Wildlife Management*, 2004, 68(4): 924-938.
- [58] Wissinger S A. Niche overlap and the potential for competition and intraguild predation between size-structured populations. *Ecology*, 1992, 73(4): 1431-1444.
- [59] Cheng Z Q, Zhang K B, Liu J, Chang J, Wang X, Wang L L, Sun P F. The study on vegetable niche of natural grassland of desertification grassland region in Yanchi County, Ningxia. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, 18(3): 36-40, 47-47.

参考文献:

- [1] 陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统. 北京: 科学出版社, 2000: 125-169.
- [2] 许志信, 李永强. 草地退化对水土流失的影响. *干旱区资源与环境*, 2003, 17(1): 65-68.
- [3] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策. *中国农业科学*, 1997, 30(6): 1-9.
- [4] 孙海群, 周禾, 王培. 草地退化演替研究进展. *中国草地*, 1999, (1): 51-56.
- [5] 汪诗平, 王艳芬, 陈佐忠. 放牧生态系统管理. 北京: 科学出版社, 2003: 150-290.
- [6] 宛新荣, 刘伟, 王广和, 钟文勤. 浑善达克沙地小毛足鼠的食量与食性动态. *生态学杂志*, 2007, 26(2): 223-227.
- [7] 李希来, 张静, 张国胜. 高寒地区草地放牧演替与害鼠密度关系的研究. *草业科学*, 1996, 13(1): 44-50.
- [8] 黄成定. 高原鼯鼠危害对高寒草甸植被的影响. *草业科学*, 2004, 21(10): 58-62.
- [9] 江小蕾. 植被均匀度与高原鼠兔种群数量相关性研究. *草业学报*, 1998, 7(1): 60-64.
- [10] 康乐. 放牧干扰下的蝗虫-植物相互作用关系. *生态学报*, 1995, 15(1): 1-11.
- [11] 贺达汉, 郑哲民. 荒漠草原蝗虫营养生态位及种间食物竞争模型的研究. *应用生态学报*, 1997, 8(6): 605-611.
- [12] 汪诗平, 李永宏, 王艳芬, 陈佐忠. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响. *植物学报*, 2001, 43(1): 89-96.
- [13] 李永宏. 内蒙古锡林河流域羊草草原和大针茅草原在放牧影响下的分异和趋同. *植物生态学与地植物学学报*, 1988, 12(3): 189-196.
- [14] 汪诗平. 内蒙古典型草原放牧绵羊体增重与放牧率之间的关系. *草业学报*, 2000, 9(2): 10-16.
- [16] 邱星辉, 李鸿昌. 围栏禁牧对羊草草原和大针茅草原蝗虫丰富度的影响. *应用生态学报*, 1997, 8(4): 403-406.
- [17] 刘伟, 周立, 王溪. 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究. *生态学报*, 1999, 19(3): 376-382.
- [18] 江延安, 王胜琪, 薛志德. 陕北黄土高原退耕还林地甘肃鼯鼠数量与植被覆盖度的相关性研究. *水土保持通报*, 2005, 25(5): 24-27.
- [19] 付和平, 武晓东, 杨泽龙. 不同干扰条件下荒漠啮齿动物生态位特征. *生态学报*, 2005, 25(10): 2637-2643.
- [20] 康乐, 陈永林. 草原蝗虫营养生态位的研究. *昆虫学报*, 1994, 37(2): 178-189.
- [21] 王桂明, 周庆强, 钟文勤. 内蒙古典型草原4种常见小哺乳动物的营养生态位及相互关系. *生态学报*, 1996, 16(1): 71-76.
- [23] 付和平, 马春梅, 艾东, 黄英, 武晓东. 内蒙古阿拉善荒漠主要啮齿类种群生态位. *内蒙古农业大学学报: 自然科学版*, 2003, 24(4): 22-25.
- [31] 刘贵河, 林立军, 张英俊, 汪诗平, 韩建国, 马秀枝. 饱和链烷技术测定绵羊食性食量精确性研究. *中国农业科学*, 2006, 39(7): 1472-1479.
- [36] 汪诗平. 不同放牧率下绵羊的食性及食物多样性与草地植物多样性间的关系. *生态学报*, 2001, 21(2): 237-243.
- [37] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004: 77-97.
- [38] 王国杰, 汪诗平, 郝彦宾, 蔡学彩. 水分梯度上放牧对内蒙古主要草原群落功能群多样性与生产力关系的影响. *生态学报*, 2005, 25(7): 1649-1656.
- [39] 姜超, 张英俊, 罗海玲, 常书娟. 内蒙古荒漠草原区分采食成分的最佳蜡层指示剂组合. *草地学报*, 2012, 20(3): 576-582.
- [42] 汪诗平. 不同放牧季节绵羊的食性及食物多样性与草地植物多样性间的关系. *生态学报*, 2000, 20(6): 951-957.
- [46] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 代勇, 王启基, 施建军, 王柳英. 放牧强度对江河源区垂穗披碱草 (*Elymus natans*) / 星星草 (*Puccinellia tenuiflora*) 混播草地群落和高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 的影响. *西北农业学报*, 2006, 15(2): 28-33.
- [47] 赵天颢, 梁伟, 秦奉程, 刘艳华, 王林梅, 李建中. 草原黄鼠生态学研究概述. *内蒙古师大学报: 自然科学版*, 2000, 29(2): 125-129.
- [48] 白雪薇, 史献明, 董国润, 杜国义, 张月芝. 河北省塞北管理区达乌尔黄鼠食性调查. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2010, 12(4): 382-383.
- [49] 曹伊凡, 林恭华, 卢学峰, 苏建平. 柯氏鼠兔的食性分析. *动物学杂志*, 2009, 44(1): 58-62.
- [50] 杨维康, 刘伟, 黄怡, 乔洪海, 徐文轩, 夏参军, 林杰, 徐峰, Blank D. 古尔班通古特沙漠南缘大沙鼠的食性. *干旱区地理*, 2011, 34(6): 912-918.
- [52] 王世贵, 马小梅. 浙江杭州地区红褐斑腿蝗的食性选择及其取食生态位. *植物保护*, 2009, 35(4): 39-43.
- [55] 左小安, 赵学勇, 赵哈林, 郭铁瑞, 李玉强, 赵玉萍. 科尔沁沙地草地退化过程中的物种组成及功能多样性变化特征. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 181-185.
- [59] 程中秋, 张克斌, 刘建, 常进, 王晓, 王黎黎, 苏鹏飞. 宁夏盐池荒漠草原区天然草地植物生态位研究. *水土保持研究*, 2011, 18(3): 36-40, 47-47.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China	Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies	OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP)	LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
Progress and perspectives of ecosystem services management	ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model	BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area	XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed	LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China	LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island	RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests	GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve	LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City	CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection	HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County	FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas	PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation	DONG Ying, SHI Lei (809)
Ecological protection and well-being	LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi	WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains	JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe	LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features	CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of <i>Eucalyptus</i>	ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to submergence and drought alternation	WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	
.....	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	
.....	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	
.....	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	
.....	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	
.....	ZHANG Hua, HU Hongjun , CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	
.....	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	
.....	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	
.....	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	
.....	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 33 卷 第 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元