

# 放牧对布氏田鼠主要食物选择的影响

侯祥磊<sup>1,2</sup> 李国梁<sup>1,2</sup> 宛新荣<sup>1</sup> 张知彬<sup>1\*</sup>

(1 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

(2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 动物的食物选择受食物资源量、质量和喜好度决定。尽管放牧可减少鼠类喜食植物的数量和质量, 但其如何影响鼠类的食物选择尚不清楚。本研究于 2014 年 5 月至 10 月, 在内蒙古锡林郭勒盟锡林浩特市毛登牧场的大型试验围栏内进行了布氏田鼠的食物选择实验。利用大型实验围栏内 5 年连续放牧处理所构建的植被变化条件, 采用扣笼试验, 调查了布氏田鼠对其中 3 种主要植物的取食情况。研究发现: 连续放牧后, 糙隐子草的盖度增加, 而羊草、克氏针茅盖度降低; 糙隐子草的盖度显著高于羊草、克氏针茅, 成为各季节的优势植物种类。放牧对布氏田鼠取食羊草、克氏针茅和糙隐子草的绝对取食频次均无显著影响。在季节上, 布氏田鼠对克氏针茅和糙隐子草的取食在三个季节均无差异, 但布氏田鼠对羊草取食的绝对频次夏季显著高于春季和秋季; 布氏田鼠对 3 种植物的喜好程度依次为羊草 > 克氏针茅 > 糙隐子草, 但季节和放牧因素不显著影响布氏田鼠对这 3 种植物的喜好度。结果表明, 布氏田鼠的食物选择及食物组成相对稳定, 表现为其对放牧或季节因素造成的喜食植物资源量的变化具有很好的适应性, 推测是其调整取食努力来实现食物组成的平衡。

**关键词:** 放牧; 植被变化; 布氏田鼠; 食物选择

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000 – 1050 (2016) 02 – 0152 – 06

## Influence of sheep grazing on major food selection by Brandt' voles (*Lasiopodmys brandtii*)

HOU Xianglei<sup>1,2</sup>, LI Guoliang<sup>1,2</sup>, WAN Xinrong<sup>1</sup>, ZHANG Zhibin<sup>1\*</sup>

(1 State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China)

(2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China)

**Abstract:** Food selection by animals is determined by their food resources, food quality and food preferences. Although livestock grazing can significantly decrease quality and quantity of the preferred-plant by rodents, it is still not clear how rodents respond to livestock grazing in their food selection. During May to October 2014, we conducted a food selection experiment in the Maodeng pasture, Xilinhot of Xilingol League in Inner-Mongolia. Based on vegetation changes in large-scale enclosures after five years livestock grazing experiment, we investigated food selection of the Brandt' s voles by using cage experiments. We found that grazing increased the coverage of *Cleistogenes squarrosa*, and decreased the coverage of *Leymus chinensis* and *Stipa krylovii*. *C. squarrosa* was the predominant plant species in the enclosures. Grazing had no significant influence on the absolute feeding frequencies on three plants by Brandt' s voles. There was no significant difference in feeding frequency of *S. krylovii* and *C. squarrosa* between seasons, but the feeding frequency of *L. chinensis* was highest in summer. The preference ranking of the three plants by voles was; *L. chinensis* > *S. krylovii* > *C. squarrosa*. However, both seasonal and grazing factors showed no significant impacts on preference index of the three plants by voles. Our results indicate that food selection by Brandt' s voles was relatively stable under grazing pressure, suggesting they had high capacity for adapting to the changing food resources caused by grazing and seasonal factors. We speculate that Brandt' s voles achieve the balance of food components by adjusting feeding efforts.

**Key words:** Brandt' s voles (*Lasiopodmys brandtii*); Food selection; Grazing; Vegetation variation

随着社会经济的快速发展, 人类对生态系统的 干扰越来越强烈。放牧作为人为自然环境的干扰因

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目 (2007CB109100)

作者简介: 侯祥磊 (1989 – ), 男, 硕士研究生, 主要从事鼠类种群及群落生态学研究.

收稿日期: 2015 – 09 – 23; 修回日期: 2015 – 11 – 28

\* 通讯作者, Corresponding author, E – mail: zhangzb@ioz. ac. cn

子显著改变了草原生态系统。人们为了追求更高经济价值，在有限的草地上饲养越来越多的牲畜。如果牲畜对植被的啃食超过了植被的自然更新能力，就会导致植被退化 (Golluscio *et al.*, 2009)。内蒙古草原单位面积草地家畜量在 30 年内增加了 4 倍，与此同时，单位面积植物干物质质量显著减少 (Wang, 2005)。牲畜对植物的影响不仅表现在干物质数量的减少 (Steen *et al.*, 2005)，同时也表现在植物生理特性的变化上 (Lindroth and Batzli, 1984)，尤其是一些重要物质的含量，如次生物质等。这些改变是否会导致草原动物食物选择的改变，仍是一个有待研究的课题。

动物的取食策略受食物质量、数量、能量投入和风险等综合因素的影响 (Freel and Edwards, 1983)。根据最优取食理论，如果优质食物容易获得，就会优先或倾向取食优质食物；如优质食物变得稀少，获取优质资源需要更大的投入或捕食风险增大，因此就有可能取食次优食物。放牧会显著改变鼠类喜食植物的资源量，也有可能改变其取食策略和行为。如果放牧围栏中喜食植物种类下降，次优喜食植物上升，鼠类对其喜食或次喜食植物的选择可能有两种策略。假设一是与放牧引起的资源变化相一致，即鼠类的食物组成也相应的调整，喜食种类的绝对频次下降；假设二是增加取食喜食植物的努力，保持食物组成不变。但这两种情况均不利于鼠类，因为第一种情况使其食物质量下降，第二种情况是增加取食的能量投入和被捕食风险。

研究动物的取食选择，对了解动物—植物协同进化关系具有重要意义 (李俊年和刘季科, 2003)。在田鼠的取食研究方面，李俊年等 (2007) 通过记录东方田鼠 (*Microtus fortis*) 对不同植物的取食及储藏，发现饥饿可使实验个体的食物总摄入量增加；食物摄入量及口量大小随饥饿强度的增大而增加，而觅食频次则无显著改变。王桂明等 (1992) 通过对布氏田鼠胃内容物的分析，得出了布氏田鼠最喜食羊草等高蛋白植物的结论。但有关放牧对布氏田鼠食物选择影响的研究尚不多见。本实验通过大型围栏内扣笼实验，研究了布氏田鼠在不同放牧强度下对植物的食物选择，目的在于检验上述 2 种假设，探讨放牧及不同季节布氏田鼠食物选择的影响因素及对其种群动态的影响。

## 1 研究方法

### 1.1 样地概况

研究地位于内蒙古自治区锡林郭勒盟锡林浩特市东北 42 km 处的毛登牧场，该地区为中温带半干旱大陆性季风气候。研究地海拔 1 080 - 1 200 m，夏季最高气温可达 34℃，冬季最低气温 - 40℃，阳光充足，降水集中在 6 - 8 月份，年均降水量为 170 - 500 mm。土壤为沙土地。原始植被为羊草 (*Leymus chinensis*) 和克氏针茅 (*Stipa krylovii*)，但由于过度放牧，草原出现退化，演变为以克氏针茅、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*) 为主要植被类型的草原。其他植物种类有芨芨草 (*Achnatherum splendens*)、尖齿糙苏 (*Phlomis dentosa*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、碱地风毛菊 (*Saussurea runcinata*)、楔叶委陵菜 (*Potentilla cuneata*)、车前草 (*Plantago asiatica*)、瓣蕊唐松草 (*Taraxacum mongolicum*)、蒲公英 (*Herba taraxaci*) 等。

### 1.2 实验动物

本实验选用的布氏田鼠捕自内蒙古草原动物生态研究站库围栏内。该围栏中布氏田鼠为 2014 年 4 月捕自锡林郭勒盟阿巴嘎旗过冬的布氏田鼠及其后代。实验时用笼捕法捕捉，实验后放回。

### 1.3 围栏处理

内蒙古草原动物生态研究站鼠类大型围栏系统建立于 2008 年，共包括 24 个围栏，每个围栏大小为长 × 宽：60 m × 80 m，围栏上方用 10 cm × 10 cm 网格的尼龙网覆盖，以防止大鸮 (*Buteo hemilasius*) 以及纵纹腹小枭 (*Athene noctus*) 等猛禽对围栏内试验动物的捕食。本研究设对照围栏 4 个，轻度放牧和中度放牧围栏各 4 个。根据内蒙古草原上绵羊放牧强度标准 (Schonbach *et al.*, 2011)，轻度、中度放牧强度分别为每公顷 2 只和 4 只绵羊。按此强度换算，我们在轻度放牧围栏每两周放牧半天，中度放牧围栏每两周放牧一天，每次放牧 40 只绵羊，进行了 5 年的放牧累积。每年早春，在各围栏内释放 13 - 15 对布氏田鼠，每月进行一次标志重捕实验，捕捉方法为笼捕法。捕捉后，记录布氏田鼠个体编号、性别、体重以及生殖状态等数据后原地放回，以监测布氏田鼠种群数量及动态。

### 1.4 食物选择实验方法及步骤

蒋志刚等 (1985) 曾用扣笼法研究了高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 的食物选择。本实验也采用长×宽×高为 1 m×1 m×0.2 m 的小型立方体铁丝网笼研究布氏田鼠的取食。实验室将笼底部直接与地面接触,使植物完全进入内部,笼底部边缘四周安装一圈金属框,用钉子将金属框紧固定在地面上,防止布氏田鼠从笼底与地面的交接处逃离。金属笼被随机放置在围栏内进行取样,笼内设有一小木盒作为隐蔽物,放于样方的正中央,记录笼内植物种类及主要植物的盖度。将捕捉到的布氏田鼠进行 12 h 的饥饿处理(供水不供食物)后,将其放入小木盒中,待布氏田鼠从隐蔽处出来后开始观察其觅食情况,记录 30 min 内布氏田鼠对每种植物的取食情况。布氏田鼠每咬啮 1 口记录频次为 1 次。每个围栏随机设置 6 个样方,在 5 月、7 月和 9 月各进行一次取食实验,分别代表春、夏和秋三个季节。

## 2 数据处理

### 2.1 统计指标

植物盖度:植物地上部分投影到地面的面积占样方面积的比率。

绝对频次:布氏田鼠对每种植物叶片的咬啮口数。

相对喜好度:PI 指数 (Preference index)。指布氏田鼠咬啮某种植物口数的百分比与该植物在该样方内比例的比值。PI 指数反映了布氏田鼠对各种取食植物的喜爱程度。

### 2.2 分析方法

植物盖度、取食绝对频次和 PI 指数符合正态分布,以季节和放牧强度为考察因子进行双因素方差分析。组间差异采用 Tukey 法多重比较检验,统计软件为 R3.3.7。

## 3 结果

### 3.1 放牧围栏内植被盖度的变化

我们对放牧围栏中植被的盖度进行了统计,结果表明:总体上,糙隐子草的盖度显著高于羊草 ( $P < 0.05$ ) 和克氏针茅 ( $P < 0.05$ ),羊草的盖度也显著高于克氏针茅 ( $P < 0.05$ )。糙隐子草占据样方内 27.85% 的面积,成为围栏的优势物种,而羊草和克氏针茅的平均盖度分别为 10.47% 和 5.01%。3 种植物的总盖度占据样方内面积的 43%,为围栏内的主要植被 (图 1)。

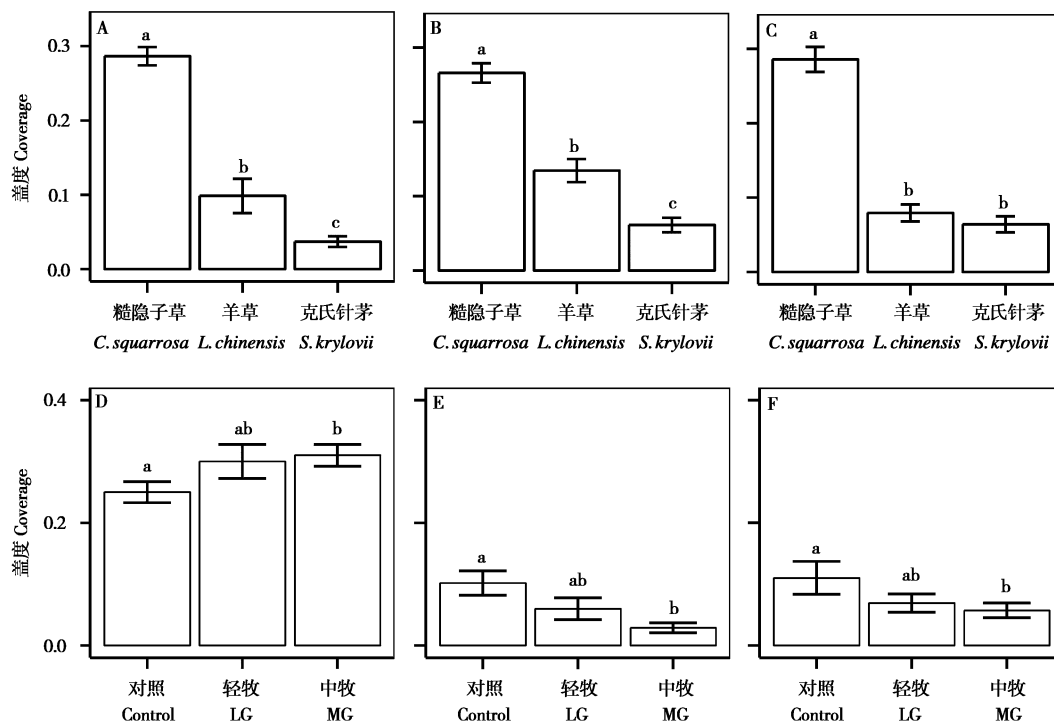


图 1 围栏内三种优势植物盖度的季节和放牧处理间的变化。其中 (A) 5 月, (B) 7 月, (C) 9 月, (D) 9 月份糙隐子草, (E) 9 月份羊草, (F) 9 月份克氏针茅。图中不相同字母表示组间有显著差异。

Fig. 1 Changes in coverage of three dominant plants in enclosures among different seasons and livestock treatments. (A) May, (B) July, (C) September, (D) *C. squarrosa* in September, (E) *L. chinensis* in September, (F) *S. krylovii* in September. Different letters indicate significant treatment effects. LG: Light grazing; MG: Moderate grazing

在 9 月，我们发现中牧组糙隐子草的盖度显著高于对照组 ( $P = 0.047$ )，中牧组羊草和针茅的盖度均显著低于对照组的羊草盖度 ( $P = 0.043$ ) 和克氏针茅盖度 ( $P = 0.021$ )。7 月份，中度放牧组克氏针茅的盖度显著增加 ( $P < 0.05$ )；在其他月份，3 种植物盖度在放牧组和对照组间均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 3.2 放牧对布氏田鼠食物选择的绝对频次的影响

统计不同放牧条件下布氏田鼠对食物选择的绝对频次。结果表明，布氏田鼠在夏季增加了对羊草的取食，而对糙隐子草和克氏针茅的取食频次之间没有差异；在春季及秋季，布氏田鼠对 3 种优势植物的取食频次均没有明显差异；但布氏田鼠取食克氏针茅绝对频次有下降趋势。在处理与季节的交互方面，夏季中牧组布氏田鼠对羊草的啃食显著提高

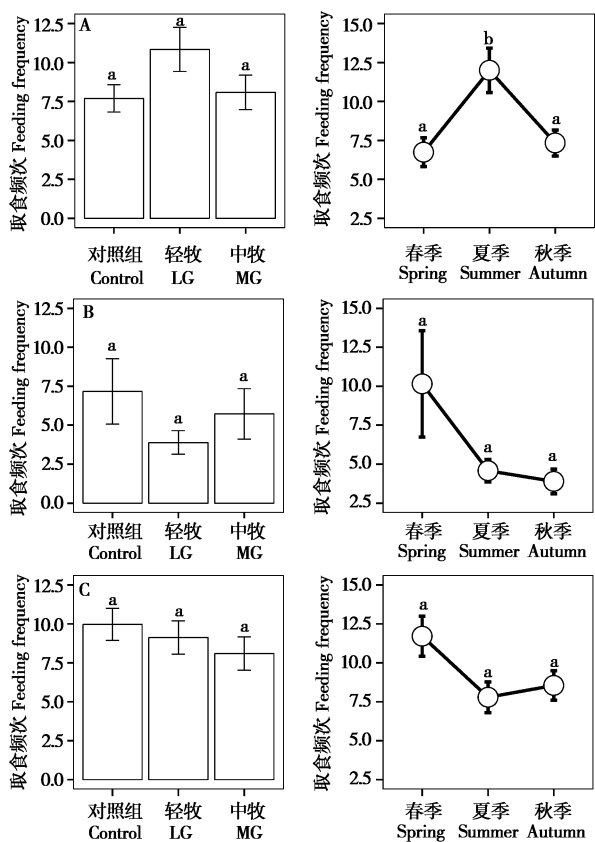


图 2 布氏田鼠在不同季节和不同程度放牧处理中对各种植物的取食频次。其中 (A) 糙隐子草，(B) 羊草，(C) 克氏针茅。图中不相同字母表示组间有显著差异

Fig. 2 Feeding frequency of Brandt's voles on the three plant species in different seasons and grazing treatments. (A) *C. squarrosa*, (B) *L. chinensis*, (C) *S. krylovii*. Different letters indicate significant treatment effects. LG: Light grazing; MG: Moderate grazing

( $P < 0.01$ )，对其他植物没有差异，其他处理组间均无显著差异 (图 2)。

### 3.3 放牧对布氏田鼠食物选择相对喜好度的影响

研究结果表明，在各放牧组间，布氏田鼠对糙隐子草、羊草和克氏针茅的相对喜好度均无显著差异 (糙隐子草:  $F_{2,180} = 0.61$ ,  $P = 0.54$ ; 羊草:  $F_{2,160} = 0.21$ ,  $P = 0.81$ ; 克氏针茅:  $F_{2,106} = 0.29$ ,  $P = 0.75$ )。在各季节间，布氏田鼠对糙隐子草、羊草和克氏针茅的相对喜好度也均无显著差异 (糙隐子草:  $F_{2,180} = 1.8$ ,  $P = 0.16$ ; 羊草:  $F_{2,160} = 1.68$ ,  $P = 0.81$ ; 克氏针茅:  $F_{2,106} = 1.7$ ,  $P = 0.19$ )，但秋季布氏田鼠对羊草的相对喜好度有增加趋势，对克氏针茅的相对喜好度有下降趋势 (见图 3)。布氏田鼠对 3 种植物的喜好度是：羊草 > 克氏针茅 > 糙隐子草。

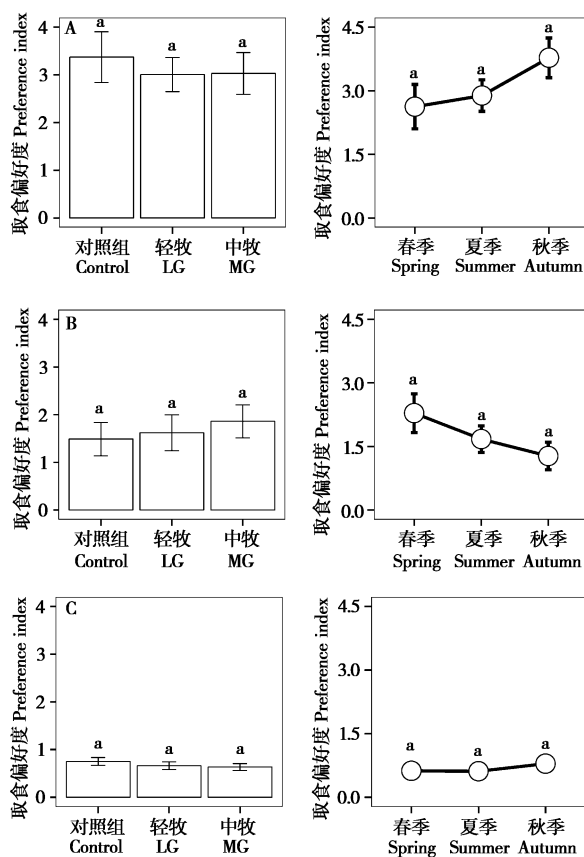


图 3 布氏田鼠在不同季节和不同程度放牧处理中对各种植物的取食偏好度。其中 (A) 为糙隐子草，(B) 为羊草，(C) 为克氏针茅。图中不相同字母表示两季节间有显著差异。

Fig. 3 Preference index of Brandt's voles to the three plant species in different seasons and grazing treatments. (A) *C. squarrosa*, (B) *L. chinensis*, (C) *S. krylovii*. Different letters indicate significant treatment effects. LG: Light grazing; MG: Moderate grazing

## 4 讨论

本研究结合大型围栏放牧控制实验,采用扣笼法研究了放牧和季节因素对布氏田鼠食物选择的影响。结果表明,连续若干年放牧后,围栏植被已经出现了明显退化,表现为糙隐子草盖度显著增加,成为了优势物种;而羊草和克氏针茅盖度显著减少。9月份糙隐子草的盖度在中度放牧组显著高于对照组,而羊草和克氏针茅的盖度在中度放牧组显著低于对照组。但在布氏田鼠的取食上,除布氏田鼠在夏季取食羊草的绝对频次增加外(尤其中度放牧组),放牧及季节因素对布氏田鼠取食羊草、克氏针茅和糙隐子草的绝对取食频次均无显著影响。布氏田鼠最喜食羊草,其次克氏针茅,最后是糙隐子草;但其对这3种植物的喜好度不因季节和放牧发生变化。该研究结果表明,布氏田鼠的食物选择及食物组成相对稳定,其对放牧或季节因素造成喜食植物资源量以及质量的变化具有很好的适应性。

在内蒙古中部典型草原,随着放牧强度的增大,草原植被逐渐退化,一般会出现羊草冷蒿草原→羊草针茅草原→隐子草草原三个阶段的退化演替(吴璇等,2012)。本实验样地中,经过连续5年的放牧,植被已出现了退化,表现为放牧围栏中糙隐子草已占据绝大部分,羊草、克氏针茅很少,这与已有的研究结果相似(王明君等,2004; Li *et al.* 2016)。Li等(2016)发现,连续放牧4年后,放牧围栏内羊草、克氏针茅的各季节盖度、生物量显著降低,而糙隐子草盖度、生物量显著增加。面对喜食植物资源量的变化,布氏田鼠对羊草、针茅和隐子草的取食绝对频次并无显著差别,说明布氏田鼠可能需要增加搜寻羊草的强度,以获取与对照围栏同样多的羊草。这样,必然增加搜寻食物的能量投入和被捕食风险,不利于种群增长。说明动物通过增加搜寻努力可以达到食谱的平衡,但是随着放牧继续,喜食植物变得越来越稀少,增加搜寻时间可能无法保持取食绝对频次稳定,因而最终仍会引起食物质量下降。

动物对食物的取食取决于两个方面,即食物可获得的难易程度以及食物的适口性(Athanasiadou and Kyriazakis, 2004)。动物天生能够识别到某种食物的适口性或其甜味、能量、口感等特性(Ov-

en, 1992; Kyriazakis and Oldham, 1993; Laca, 1998)。王桂明等(1992)指出,布氏田鼠喜欢取食高蛋白植物。由于羊草蛋白质含量相对较高(约为21%),而其他两种牧草较低(均未超过15%),因此,布氏田鼠较多地选择取食羊草。Black(1985)认为动物的适口性受植物的蛋白质含量、粗纤维含量和次级代谢产物含量的影响。在放牧的情况下,植物成分也会相应出现一定的变化。有研究表明,放牧使得植物叶片中的次生物质如单宁含量升高(Freeland and Jazen, 1974; Degabriel *et al.*, 2009),而次生物质的增加会对食草动物取食产生消极的影响(Gillingham and Bunnell, 1989)。我们先前的研究发现,除在夏季中度放牧围栏组粗蛋白含量较对照组有显著提高外,放牧围栏中3种主要植物的粗蛋白含量并没有显著的变化,但放牧围栏内3种主要植物的次生物质(如单宁)含量显著地升高(Li *et al.*, 2016),但布氏田鼠对这3种植物的喜好度并不因季节和放牧而发生变化,说明动物对食物喜好度具有一定的稳定性,可能更多受其自身先天因素影响。但是,布氏田鼠在秋季对羊草的喜食度有上升趋势,对克氏针茅的喜食度有下降趋势(图3),这可能与3种植物生长期有关。据我们的观察,羊草萌发时间最早,叶片枯黄时间最晚,针茅和糙隐子草萌发时间晚,叶片枯黄时间早。

研究表明,植物茎叶的形态(例如物理防御性的刺和硬壳)在食草动物获取食物的难易程度上有一定的影响(Myers and Bazely, 1991)。在我们实验的过程中,布氏田鼠主要取食植物的叶片,极少取食植物茎。3种植物的叶片存在差异,表现为羊草叶片宽大,糙隐子草叶片细小,克氏针茅叶片最细且最长。克氏针茅在秋季大量结实,种子具有物理防御性的针芒状外壳,对牛羊、鼠有一定的物理防御效应,可能是秋季克氏针茅的喜食度有下降趋势的原因之一。

夏季羊草的盖度高于春季和秋季(图1),在喜食植物羊草增多的情况下,布氏田鼠可以更多地利用羊草,因此夏季布氏田鼠对羊草的啃食明显的增多,导致取食绝对频次增加。说明,在优质资源减少的情况下,动物将通过搜寻努力,保持其取食绝对频次不变;在优质资源增加的情况下,动物将倾向于增加其取食绝对频次,以改善食物质量,这

一推测有待进一步的检验。

**致谢:** 感谢内蒙古草原动物生态研究站对本实验提供的支持。感谢中国科学院动物研究所郝树广副研究员对本实验的帮助。

#### 参考文献:

- Athanasiadou S, Kyriazakis I. 2004. Plant secondary metabolites: antiparasitic effects and their role in ruminant production systems. *Proceedings of the Nutrition Society*, **63** (4): 631–639.
- Black J L. 1990. Nutrition of the grazing ruminant. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, **50**: 7–27.
- Davidson A D, Ponce E, Lightfoot D C, Fridrickson E L, Ceballos G. 2010. Rapid response of a grassland ecosystem to an experimental manipulation of a keystone rodent and domestic livestock. *Ecology*, **91** (11): 3189–3200.
- Degabriel J L, Moore B D, Foley W J, Johnson C N. 2009. The effects of plant defensive chemistry on nutrient availability predict reproductive success in a mammal. *Ecology*, **90** (3): 711–719.
- Edwards J. 1983. Diet shifts in moose due to predator avoidance. *Oecologia*, **60** (2): 185–189.
- Ettle T, Mentschel K, Roth F X. 2004. Dietary self-selection for organic acids by the piglet. *Archives of Animal Nutrition*, **58** (5): 379–388.
- Freeland W J, Janzen D H. 1974. Strategy in herbivory by mammals: The role of plant secondary compounds. *American Naturalist*, **108** (961): 269–289.
- Gillingham M P, Bunnell F L. 1989. Effects of learning on food selection and searching behavior of deer. *Canadian Journal of Zoology*, **67** (1): 24–32.
- Golluscio R A, Austin A T, Martinez G C G, Gonzalez-Polo M, Sala O E, Jackson R B. 2009. Sheep grazing decreases organic carbon and nitrogen pools in the Patagonian Steppe: combination of direct and indirect effects. *Ecosystems*, **12** (4): 686–697.
- Hong C Y, Wang C P, Huang S S, Hsu F L. 1995. The inhibitory effect of tannins on lipid peroxidation of rat heart mitochondria. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, **47** (2): 138–142.
- Jiang Z G, Xia W P. 1985. Utilization of the food resources by plateau pika. *Acta Theriologica Sinica*, **5** (4): 251–262. (in Chinese)
- Kyriazakis I, Oldham J D. 1993. Diet selection in sheep: the ability of growing lambs to select a diet that meets their crude protein (nitrogen  $\times$  6.25) requirements. *British Journal of Nutrition*, **69** (3): 617–629.
- Laca E A. 1998. Spatial memory and food searching mechanisms of cattle. *Journal of Range Management*, **51** (4): 370–378.
- Li G L, Yin B F, Wan X R, Wei W H, Wang G M, Krebs C J, Zhang Z B. 2016. Successive sheep grazing reduces population density of Brandt's voles in steppe grassland by altering food resources: a large manipulative experiment. *Oecologia*, **180**: 149–159.
- Li J N, Liu J K. 2000. Plant chemical defenses and the adaptive strategies of herbivorous mammals. *Acta Theriologica Sinica*, **20** (3): 226–231. (in Chinese)
- Li J N, Liu J K. 2003. Ecological implication and behavior mechanism of food selection of mammalian herbivores. *Chinese Journal of Applied Ecology*. **14** (3): 439–442. (in Chinese)
- Li J N, Liu J K, Tao S L. 2007. Effects of hunger and tannic acid on food intake and foraging behaviors in *Microtus fortis*. *Acta Ecologica Sinica*. **27** (11): 4478–4484.
- Myers J H, Bazely D. 1991. Thorns, spines, prickles, and hairs: are they stimulated by herbivory and do they deter herbivores? In: Tallamy D W, Raupp M J eds. *Phytochemical Induction by Herbivores*. New York: John Wiley & Sons, 325–344.
- Owen J B. 1992. Genetic aspects of appetite and feed choice in animals. *Journal of Agricultural Science*, **119**: 151–155.
- Salah N, Miller J, Paganga G, Tijburg L, Bolwell G P, Riceevans C. 1995. Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radical sandalwood chain breaking antioxidants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **322** (2): 339–346.
- Schonbach P, Wei W H, Gierus M, Bai Y F, Müller K, Lin L J, Susenbeth A, Taube F. 2011. Grassland responses to grazing: effects of grazing intensity and management system in an Inner Mongolian steppe ecosystem. *Plant Soil* **340** (1): 103–115.
- Scott L L, Provenza F D. 1999. Variation in food selection among lambs: effects of basal diet and foods offered in a meal. *Journal of Animal Science*, **77** (9): 2391–2397.
- Sorensen J S, McLister J D, Dearing M D. 2005. Novel plant secondary metabolites impact dietary specialists more than generalists (*Neotoma* spp). *Ecology*, **86** (1): 140–154.
- Wan X R, Wang M J, Wang G H, Liu W, Zhong W Q. 2002. The reproductive parameters in the marked populations of brandt's vole. *Acta Theriologica Sinica*, **22** (2): 116–122. (in Chinese)
- Wang G M, Zhou Q Q, Zhong W Q, Wang G H. 1992. Food habits of Brandt's vole (*Microtus brandti*). *Acta Theriologica Sinica*, **12** (1): 57–64. (in Chinese)
- Wang M J, Han G D, Cui G W, Zhao L M. 2010. Effects of grazing intensity on the biodiversity and productivity of meadow steppe. *Chinese Journal of Ecology*, **29** (5): 862–868. (in Chinese)
- Wu X, Wang L X, Liu H M, Liang C Z, Wang W, Liu Z L. 2011. Vigor and resilience of plant communities of typical steppe in Inner Mongolia Plateau. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, **25** (5): 47–50. (in Chinese)
- 王桂明, 周庆强, 钟文勤, 王广和. 1992. 布氏田鼠的食性. 兽类学报, **12** (1): 57–64.
- 王明君, 韩国栋, 崔国文, 赵萌萌. 2010. 放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响. 生态学杂志, **29** (5): 862–868.
- 李俊年, 刘季科. 2000. 植物化学防卫与植食性哺乳动物的适应对策. 兽类学报, **20** (3): 226–231.
- 李俊年, 刘季科. 2003. 植食性哺乳动物食物选择的生态学意义及其行为机制. 应用生态学报, **14** (3): 439–442.
- 李俊年, 刘季科, 陶双伦. 2007. 饥饿和食物单宁酸对东方田鼠 (*Microtus fortis*) 食物摄入量 and 觅食行为的影响. 生态学报, **27** (11): 4478–4484.
- 吴璇, 王立新, 刘华民, 梁存柱, 王炜, 刘钟龄. 2011. 内蒙古高原典型草原生态系统健康评价和退化分级研究. 干旱区资源与环境, **25** (5): 47–50
- 宛新荣, 王梦军, 王广和, 刘伟, 钟文勤. 2002. 布氏田鼠标志种群的繁殖参数. 兽类学报, **22** (2): 116–122.
- 蒋志刚, 夏武平. 1985. 高原鼠兔食物资源利用的研究. 兽类学报, **5** (4): 251–262.