

## 硒胁迫下普氏原羚的采食对策

申小云<sup>1,2,\*</sup>

(1. 重庆科技学院, 重庆 401331; 2. 中国科学院动物研究所, 北京 100101)

**摘要:**通过对青海湖湖东地区土壤和牧草矿物质元素含量的分析,发现该区严重缺硒。然而,生存于湖东地区的普氏原羚却不见缺硒表症,普氏原羚在长期的进化过程中适应了缺硒环境。提出假说:普氏原羚应对硒胁迫的主要对策是选择采食高硒植物,在湖东地区,牧草硒含量是影响普氏原羚选择食物的主要因素。得出结论:在湖东地区,芨芨草是普氏原羚的基本食物,同时是主要的高硒植物。普氏原羚应对硒胁迫的主要对策是选择芨芨草草地作为采食地,增加高硒植物芨芨草在食物中的比例。也不是嗜食或喜食高硒植物。

**关键词:**普氏原羚;采食对策;芨芨草;高寒草甸;青海湖地区

文章编号:1000-0933(2009)06-2775-07 中图分类号:Q145,Q958 文献标识码:A

## Forage strategy of the Przewalski's gazelle (*Procapra przewalskii*) under selenium stress

SHEN Xiao-Yun<sup>1,2,\*</sup>

1 Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China

2 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2775 ~ 2781.

**Abstract:** We sampled soil and forage samples from the Hudong area of the Qinghai Lake watershed, China and determined the mineral element contents in the samples. We found that concentrations of selenium in soil and forage samples were significantly lower than normal levels. Thus, there is a plausible severe selenium deficiency in the life forms in the Hudong area of the Qinghai Lake watershed, China. However, we did not discover any clinical sign of selenium deficiency in the critically endangered Przewalski's gazelle which is living in the area. Presumably, the gazelles have adapted to circumstances of the selenium deficiency. How do the gazelles cope with selenium deficiency? We hypothesized that the selenium content of the forage may differ among forage plant species, which is a major factor affecting the foraging strategy of the Przewalski's gazelle in the Hudong area of the Qinghai Lake watershed; the Przewalski's gazelle selects forage with rich selenium as food to cope with the selenium stress. We further sampled and analyzed contents of minerals in soils and forage species from the Hudong area of the Qinghai Lake watershed during the summer grazing seasons of 2006 and 2007. We also reanalyzed the previous results about diet study of Przewalski's gazelle. We reached following conclusions: shining spargrass (*Splendid achnatherum*) is a plant with rich selenium and major forage of the Przewalski's gazelle in the Hudong area of the Qinghai Lake watershed, China. To balance the selenium content in diet, the Przewalski's gazelle selects grazed on shining spargrass steppe. But, shining spargrass is not a preferred and favored plant for Przewalski's gazelle.

**Key Words:** Przewalski's gazelle; shining spargrass; foraging strategy; alpine meadow; the Qinghai Lake watershed

动物的采食对策包括食物种类和采食地点的选择<sup>[1,2]</sup>。植物种类、植物营养物质含量及动物本身的遗传

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(20060400501)

收稿日期:2008-07-07; 修订日期:2009-02-26

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shenxy03@lzu.cn

因素都对动物的食物选择有重要的影响<sup>[3,4]</sup>。对许多动物来说,单一食物中的营养成分通常是有限的。动物需要采食多种食物来满足身体所必须的能量和矿物质营养,而对于草食动物,食物的营养就显得更加重要,因为它们只有通过恰当地选择植物种类,才能维持日常的能量平衡<sup>[5,6]</sup>。因此,动物采食必须做出一系列决策,例如向何处觅食,选择那些食物<sup>[7,8]</sup>。

硒(Se)在动物体内发挥多种生物学效应。Se的抗氧化作用是Se生理生化作用的基础。Se是构成GSH-Px(谷胱甘肽过氧化物酶)的活性中心的元素,催化还原型谷胱甘肽(GSH)清除体内的自由基<sup>[9]</sup>。Se还可改善机体的非特异性免疫功能,影响免疫器官的结构。机体缺Se时,淋巴细胞的增殖分化受到抑制,淋巴细胞分泌的淋巴因子减少,吞噬细胞吞噬和杀灭病原体的能力受到严重影响,机体抗病能力明显降低。因此,缺Se常常对机体引起严重的损害,主要表现是生长发育迟缓、繁殖力下降、消瘦、骨骼肌变性和细胞膜变性等。最终导致各种疾病,乃至衰老和死亡<sup>[10]</sup>。

普氏原羚(*Procapra przewalskii*)是我国特有的物种。近一世纪以来由于人口增长和草地退化,普氏原羚分布范围不断萎缩,数量不断减少<sup>[11]</sup>。现在主要分布在青海湖地区。1994年青海湖地区普氏原羚不到300只<sup>[12]</sup>。普氏原羚的濒危状态引起了世界关注。目前,关于草食动物采食对策的研究,已在食物组成、采食时间、采食地点、栖息地的选择以及生态系统中同一营养级动物的食谱重叠及食性分化等方面进行了广泛的研究<sup>[13]</sup>。但环境胁迫对草食动物采食对策影响的研究一直处于空白。在湖东地区对土壤和牧草矿物元素的研究发现湖东地区是严重缺Se地区,然而生存于此区的普氏原羚却不见缺Se表症,普氏原羚在长期的进化过程中形成了对缺Se环境的适应。普氏原羚的采食对策在这种适应中起到了什么作用呢?

## 1 研究地点和研究方法

### 1.1 研究地点

试验地区为青海湖湖东地区,海拔3036~3226m。研究地区面积为1000km<sup>2</sup>左右,人口2500人左右,其中可利用草地和农业用地占土地面积的75.6%。湖东地区属高寒半干旱气候,日温差大,无霜期短。该区有芨芨草(*Achnatherum splendens*)草地、狼毒(*Stellera chamaejasme*)草地、沙蒿(*Artemisia desertorum*)灌丛、疏花针茅(*Stipapanicillata*)草地、沙生针茅(*Stipa glareosa*)草地和马蔺(*Iris lacteal*)草甸等不同的植被类型。芨芨草草地是普氏原羚分布区主要的植被类型,优势植物有芨芨草、赖草(*Leymus secalinus*)、冰草(*Agropyron cristatum*)和青藏苔草(*Carex mooscroftii*)等,这些植物都是优良的牧草。狼毒草地分布在沙丘的外围,以狼毒、碱蒿(*Artemisia anethifolia*)和萎陵菜(*Potentilla chinensis*)等植物为建群种。沙蒿灌丛和疏花针茅草地主要分布在沙丘和草地的交界处,沙蒿灌丛建群植物是沙蒿。疏花针茅草地的主要植物有针茅(*Stipa spp*)、披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)和唐古特铁线莲(*Clematis tangutica*)等。沙生针茅草地主要分布在沙丘内,优势植物有青藏苔草(*Carexmooscroftii*)和青海野青茅(*Deyeuxia kdconocia*)。马蔺草甸主要分布于湖边等生境,建群植物是马蔺。此外,还有沙地柏(*Sabina vulgaris*)灌丛和金露梅(*Potentilla parrifolia*)灌丛。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 显微分析法分析食性:

试验在湖东地区进行。采集研究区内常见植物的地上部分,60~80℃烘干至恒重后粉碎,按文献的方法制成标准玻片在显微镜下观察<sup>[13]</sup>。根据植物细胞的形状和大小,气孔的结构及栓化细胞的有无等特点鉴别植物种类。建立当地植物细胞显微结构检索表。每月随机收集至少20个普氏原羚的粪样。粪样60~80℃烘干30h后保存。显微组织学分析时,每次取3粒构成混合粪样,研碎用番红染色,每个样本做10个玻片,每个玻片利用频率转换法在显微镜下放大100倍进行观察,区分50个视野,与当地植物细胞显微结构检索表对照,记录普氏原羚粪样中的植物组成。

#### 1.2.2 土壤和植物矿物质元素含量的分析

试验在2006年6月开始到2007年9月结束,在试验开始的第30天,分25个点各采集0~30cm的表层土壤样本各5个,每个点间隔100m。在60~80℃的高温下烘干至恒重,并用孔径10mm的筛子除去细沙,用

原子吸收光谱分析法分析土壤矿物质元素含量。在 2006 年 7 月采集当地的主要牧草: 黄芪 (*Astragalus tanguticus*)、沙蒿、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、狼毒、马蔺、芨芨草、细叶苔草 (*Carex stenophylla*)、粗穗苔草 (*Carex scabrofrisis*)、紫花针茅 (*Stipa purpurei*)、扁穗冰草 (*Agropyron cristatum*)、草地早熟禾 (*Poa pratensis*)、青海固沙草 (*Orinus kokonorica*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、披针叶黄华、碱蒿和唐古特铁线莲等植物的地上部分。每种植物选择 10 个 (1m × 1m) 的样方, 各样方间隔 100m。每个样方采样本 1 个, 每种植物采集 10 个样本, 在 60 ~ 80℃ 的高温中烘干至恒重, 用原子吸收光谱分析法进行矿物质元素分析。同时分草地类型分别采集狼毒草地、沙蒿灌丛、冷蒿草地、马蔺草地、芨芨草草地、疏花针茅草地、沙生针茅草地和紫花针茅草地的混合牧草地上部分, 每种植物类型选择 5 个 (1m × 1m) 的样方, 各样方间隔 100m。每个样方采样本 2 个, 每种植物类型采样本 10 个, 在 60 ~ 80℃ 的高温中烘干至恒重, 然后进行矿物质元素分析。同时不分草地类型随机采集混合牧草地上部分、地下部分和全草样本各 50 个, 在 10 个 (1m × 1m) 的样方中采集, 各样方间隔 100m。每个样方采集混合牧草地上部分、地下部分和全草样本各 5 个, 在 60 ~ 80℃ 的高温中烘干至恒重。用原子吸收光谱分析法进行矿物质元素的分析。

### 1.2.3 植物 Se 含量标准的确定

植物 Se 含量大于或等于混合牧草平均 Se 含量的植物为高 Se 植物; 植物 Se 含量小于混合牧草平均 Se 含量的植物为低 Se 植物。

### 1.2.4 数据分析

实验数据整理后用 SPSS13.0 统计软件进行分析, 检验数据分布为正态分布后, 用单因素方差分析法分析不同品种的牧草及不同草地类型混合牧草的矿物质元素含量的差异, 用多因素方差分析法分析牧草不同部位之间矿物质元素含量的差异。数据以平均数 ( $\bar{x}$ ) ± 标准差 (S) 表示。采用选择性指数  $E_i$  研究普氏原羚对采食生境的选择和对植物的选择<sup>[14]</sup>。植物在食物中的比例用植株在群落中的比例同该植物被采食比例的积表示。

## 2 结果

### 2.1 土壤矿物质营养的含量

湖东地区土壤中铜 (Cu) 的平均含量是 (5.87 ± 1.75) μg/g, 铁 (Fe) 的平均含量是 (7438 ± 1697) μg/g, 锌 (Zn) 的平均含量是 (27 ± 8) μg/g, 硒 (Se) 的平均含量是 (0.033 ± 0.006) μg/g, 钼 (Mo) 的平均含量是 (0.091 ± 0.076) μg/g, 锰 (Mn) 的平均含量是 (217 ± 38) μg/g。

### 2.2 牧草矿物质营养的含量

混合牧草地上部分、地下部分及全草的矿物质元素含量 (表 1) 差异显著 (Cu,  $F_{2,12} = 5.456$ ,  $P = 0.021$ ; Mn,  $F_{2,12} = 1.726$ ,  $P = 0.017$ ; Fe,  $F_{2,12} = 0.827$ ,  $P = 0.031$ ; Zn,  $F_{2,12} = 0.957$ ,  $P = 0.012$ ; Se,  $F_{2,12} = 1.934$ ,  $P = 0.006$ ; Mo,  $F_{2,12} = 2.897$ ,  $P = 0.030$ )。

表 1 湖东地区牧草矿物质营养的含量 (μg/g)

Table 1 Mineral contents of forage in the Hudong area

牧草部位 Location of forage	Cu	Fe	Zn	Se	Mo	Mn
牧草地上部分 Forage above ground	4.12 ± 0.78 <sup>a*</sup>	779 ± 459 <sup>a</sup>	35 ± 16 <sup>a</sup>	0.032 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.259 ± 0.046 <sup>a</sup>	67 ± 24 <sup>a</sup>
牧草地下部分 Forage under ground	5.31 ± 0.67 <sup>b</sup>	1549 ± 397 <sup>b</sup>	51 ± 23 <sup>b</sup>	0.039 ± 0.008 <sup>b</sup>	0.354 ± 0.119 <sup>b</sup>	91 ± 22 <sup>b</sup>
混合全草 Composite whole grass	4.25 ± 0.32 <sup>a</sup>	1337 ± 459 <sup>b</sup>	49 ± 14 <sup>b</sup>	0.035 ± 0.006 <sup>a</sup>	0.362 ± 0.106 <sup>b</sup>	67 ± 24 <sup>a</sup>

\* 同一列数据上标字母相同表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 下同 \* In the same lines, same letters mean no significant differences ( $P > 0.05$ ), the same below

### 2.3 湖东地区不同品种牧草硒含量的差异

黄芪、沙蒿、冷蒿、狼毒、马蔺、芨芨草、细叶苔草、粗穗苔草、紫花针茅、扁穗冰草、草地早熟禾、青海固沙草、垂穗披碱草、披针叶黄华、碱蒿和唐古特铁线莲的 Se 含量存在极显著的差异 ( $F_{16,54} = 4.402$ ,  $P = 0.003$ ,

表 2)。

表 2 湖东地区不同品种牧草 Se 含量

Table 2 Content of Se in variable forages in the Hudong area

牧草名称 Forage name	Se 元素含量 Content of Se (μg/g)	牧草名称 Forage name	Se 元素含量 Content of Se (μg/g)
黄芪 <i>Astragalus</i> spp.	0.018 ± 0.0076	狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	0.015 ± 0.0065
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	0.023 ± 0.0075	芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	0.042 ± 0.0097
马蔺 <i>Iris lacteal</i>	0.020 ± 0.0092	粗穗苔草 <i>Carex scabrirofris</i>	0.031 ± 0.0087
细叶苔草 <i>Carex stenophylla</i>	0.028 ± 0.0065	扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	0.028 ± 0.0066
紫花针茅 <i>Stipa purpurei</i>	0.027 ± 0.0039	青海固沙草 <i>Orinus kokonorica</i>	0.041 ± 0.0075
草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	0.018 ± 0.0043	披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolata</i>	0.012 ± 0.0031
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.014 ± 0.0057	唐古铁线莲 <i>Clematis tangutica</i>	0.038 ± 0.0057
碱蒿 <i>Artemisia anethifolia</i>	0.018 ± 0.0065	沙蒿 <i>Artemisia desertorum</i>	0.039 ± 0.0097
沙蒿 <i>Artemisia desertorum</i>	0.039 ± 0.0097		

## 2.4 不同类型草地混合牧草的矿物质元素含量

不同草地类型之间 Cu、Mn、Zn 和 Mo 元素的含量(表 3)无明显的差异(Cu,  $F_{7,24} = 1.141$ ,  $P = 0.382$ ; Mn,  $F_{7,24} = 0.975$ ,  $P = 0.789$ ; Zn,  $F_{7,24} = 2.863$ ,  $P = 0.235$ ; Mo,  $F_{7,24} = 2.232$ ,  $P = 0.816$ , 表 2.3)。不同草地类型之间 Se 和 Fe 元素的含量存在明显的差异(Se,  $F_{7,24} = 2.572$ ,  $P = 0.032$ ; Fe,  $F_{7,24} = 9.571$ ,  $P = 0.01$ )。

表 3 不同类型草地混合牧草矿物质元素含量(μg/g)

Table 3 Mineral content in composite forages from different grasslands

草地类型 Type of grassland	Cu	Mn	Fe	Zn	Se	Mo
狼毒草地 <i>Stellera chamaejasme</i> grassland	3.87 ± 0.89	64 ± 18	720 ± 383 <sup>a</sup>	25 ± 13	0.0236 ± 0.0076 <sup>a</sup>	0.230 ± 0.074
沙蒿灌丛 <i>Artemisia desertorum</i> shrubland	4.10 ± 0.68	58 ± 16	709 ± 314 <sup>a</sup>	34 ± 11	0.0246 ± 0.0094 <sup>a</sup>	0.184 ± 0.061
冷蒿草地 <i>Artemisia frigida</i> grassland	4.53 ± 1.17	56 ± 23	769 ± 270 <sup>a</sup>	38 ± 14	0.0228 ± 0.0050 <sup>a</sup>	0.212 ± 0.067
马蔺草地 <i>Iris lactea</i> grassland	4.33 ± 0.72	66 ± 17	806 ± 296 <sup>ab</sup>	32 ± 10	0.0238 ± 0.0096 <sup>a</sup>	0.238 ± 0.059
芨芨草草地 <i>Achnatherum splendens</i> grassland	4.55 ± 0.76	66 ± 19	748 ± 399 <sup>a</sup>	35 ± 15	0.0388 ± 0.0048 <sup>b</sup>	0.236 ± 0.079
疏花针茅草地 <i>Stipa penicillata</i> grassland	4.46 ± 0.87	54 ± 11	874 ± 105 <sup>b</sup>	29 ± 6	0.0196 ± 0.072 <sup>a</sup>	0.258 ± 0.042
沙生针茅草地 <i>Stipa glareosa</i> grassland	3.92 ± 1.00	53 ± 11	817 ± 269 <sup>ab</sup>	30 ± 9	0.0218 ± 0.0081 <sup>a</sup>	0.262 ± 0.040
紫花针茅草地 <i>Stipa purpura</i> grassland	3.83 ± 0.63	64 ± 18	765 ± 165 <sup>ab</sup>	39 ± 14	0.0256 ± 0.0097 <sup>a</sup>	0.294 ± 0.0230

## 2.5 普氏原羚对植被的选择与牧草 Se 含量的关系

普氏原羚对植被类型的选择同混合牧草平均 Se 含量的相关系数是  $R = 0.864$ , 相关系数的显著性概率水平  $P = 0.006$ , 呈极显著的正相关(表 4)。

表 4 普氏原羚对植被的选择同牧草 Se 含量的关系

Table 4 Relationship between selection of feeding habitat and content of Se in the forages from those habitats in the Przewalski's gazelle

草地类型 Category	选择指数 Selected index	混合牧草 Se 含量(μg/g) Content of Se in forage
芨芨草草地 <i>Achnatherum splendens</i> grassland	0.423	0.0388 ± 0.0048
疏花针茅草地 <i>Stipa penicillata</i> grassland	-0.207	0.0196 ± 0.0072
沙蒿灌丛 <i>Artemisia desertorum</i> shrubland	-0.208	0.0246 ± 0.0094
紫花针茅草地 <i>Stipa purpura</i> grassland	-0.276	0.0256 ± 0.0097
马蔺草地 <i>Iris lactea</i> grassland	-0.289	0.0238 ± 0.0096
冷蒿草地 <i>Artemisia frigida</i> grassland	-0.311	0.0212 ± 0.0067
狼毒草地 <i>Stellera chamaejasme</i> grassland	-0.313	0.0236 ± 0.0076
沙生针茅草地 <i>Stipa glareosa</i> grassland	-0.478	0.0218 ± 0.0081

## 2.6 普氏原羚对植物的选择同牧草 Se 含量的关系

普氏原羚对牧草的选择性指数同植物 Se 含量的相关系数  $R = -0.390$ , 相关系数的显著性概率水平  $P = 0.299$ , 选择性指数同植物 Se 含量不相关(表 5)。由此可见普氏原羚对牧草的选择同牧草 Se 含量没有内在的必然联系。

表 5 普氏原羚对牧草的选择同牧草硒含量的关系

Table 5 Relationship between Selected forage and content of Se in forage in the Przewalski's gazelle

采食植物 Foraging plant	选择指数 Selected index	Se 含量 Content of Se ( $\mu\text{g/g}$ )
黄芪 <i>Astragalus</i> spp.	0.286	0.018 $\pm$ 0.0076
细叶苔草 <i>Carex stenophylla</i>	0.263	0.028 $\pm$ 0.0065
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	0.208	0.023 $\pm$ 0.0075
扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	0.171	0.028 $\pm$ 0.0066
粗穗苔草 <i>C. scabrirofris</i>	0.075	0.031 $\pm$ 0.0087
紫花针茅 <i>Stipa purpura</i>	0.037	0.029 $\pm$ 0.0039
青海固沙草 <i>Orinus kokonorica</i>	-0.043	0.041 $\pm$ 0.0075
披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolata</i>	-0.328	0.012 $\pm$ 0.0031
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	-0.886	0.042 $\pm$ 0.0097

## 2.7 主要牧草在食物中占的比例和牧草 Se 含量的关系

主要牧草在食物中占的比例同牧草 Se 含量相关显著( $R = 0.655$ ,  $P = 0.041$ , 表 6)。

表 6 植物在食物中的比例同牧草硒含量的关系

Table 6 Relationship between proportion of plant in feed and Se content of the plants

采食植物 Foraging plant	占食物的比例 Proportion of plant (%)	Se 含量 Content of Se ( $\mu\text{g/g}$ )
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	7.287	0.042 $\pm$ 0.0097
紫花针茅 <i>Stipa purpura</i>	5.398	0.029 $\pm$ 0.0039
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	3.205	0.023 $\pm$ 0.0075
青海固沙草 <i>Orinus kokonorica</i>	1.623	0.041 $\pm$ 0.0075
粗穗苔草 <i>C. Scabrirofris</i>	0.636	0.031 $\pm$ 0.0087
披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolata</i>	0.574	0.012 $\pm$ 0.0031
扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	0.561	0.028 $\pm$ 0.0066
细叶苔草 <i>Carex stenophylla</i>	0.538	0.028 $\pm$ 0.0065
黄芪 <i>Astragalus</i> spp.	0.072	0.018 $\pm$ 0.0076

## 3 讨论

### 3.1 湖东地区土壤和牧草矿物质营养的含量

2006 年和 2007 年在环青海湖地区对土壤和牧草矿物质元素的研究发现: 湖东地区土壤平均 Se 含量只有  $(0.033 \pm 0.0062) \mu\text{g/g}$ , 湖东地区混合牧草平均 Se 含量只有  $(0.032 \pm 0.0070) \mu\text{g/g}$ 。对动物来说, 土壤平均 Se 含量小于  $0.04 \mu\text{g/g}$ ; 混合牧草平均 Se 含量小于  $0.05 \mu\text{g/g}$  为严重缺乏<sup>[15]</sup>。因此湖东地区是严重缺 Se 地区。

以前的研究发现不同植物蓄积 Se 的内在能力差别很大。即使在同一品种内不同的品系或变种对 Se 元素的含量都可能营养学上的重要差异<sup>[16]</sup>。在湖东地区对黄芪、沙蒿、冷蒿、狼毒、马蔺、芨芨草、细叶苔草、粗穗苔草、紫花针茅、扁穗冰草、草地早熟禾、青海固沙草、垂穗披碱草、披针叶黄华、碱蒿和唐古铁线莲等植物的 Se 含量进行了系统的研究得出了同样的结论( $F_{16,34} = 4.402$ ,  $P = 0.003$ )。同时发现这些植物的 Se 含量极显著地低于正常值( $0.1 \mu\text{g/g}$ )<sup>[17]</sup>。在湖东地区不同草地类型之间混合牧草的 Se 和 Fe 元素的含量也存在明显的差异。芨芨草草地混合牧草的 Se 含量极明显高于其它草地类型。其中主要原因是芨芨草占芨芨草草

地地上生物量的 34.7%<sup>[18]</sup>。同时芨芨草是湖东地区主要的高 Se 植物,Se 含量达 $(0.042 \pm 0.0097) \mu\text{g/g}$ 。

### 3.2 牧草矿物质营养的含量同采食对策的关系

野生动物的食物选择与多种因素有关,包括可取食植物种类的多少、食物资源的丰富度、植物的分布情况、人为干扰强度和天敌的影响等。从植物因素来说,又包括植物种类、化学组成、形态特征、物候期或成熟度、相对可利用性、植物的气味、味道及接近的难易程度等<sup>[19,20]</sup>。但影响动物采食对策的主要因素应包括两个方面:动物本身和所生存的环境。当生存受到环境胁迫时必然产生相应的对策来适应环境<sup>[21,22]</sup>。Se 缺乏常常对动物机体引起严重的损害。在严重缺 Se 区,普氏原羚的采食对策必然受到 Se 胁迫的影响。以前的研究表明:在湖东地区,芨芨草草地是普氏原羚分布区的主要植被类型,芨芨草占芨芨草草地地上生物量的 34.7%。芨芨草是普氏原羚的基本食物。青草期,芨芨草占普氏原羚食物的 10% 左右。枯草期,普氏原羚对芨芨草的采食量约为青草期的 2 倍<sup>[23]</sup>。因此,虽然芨芨草在普氏原羚的食物中占有很大的比例。但不管青草期还是枯草期,普氏原羚对芨芨草的选择均表现为负选择。在我们的研究中,普氏原羚对芨芨草的选择指数是所有植物中最低的,选择指数仅 -0.886。但因芨芨草占芨芨草草地牧草地上生物量的比例相当高,因此芨芨草在食物中的比例仍然高达 7.287%,是普氏原羚食物中比例最高的植物。所以选择芨芨草草地为采食地有利于增加高 Se 植物芨芨草在食物中的比例,增加食物 Se 含量。同时,普氏原羚对芨芨草的负选择能达到保护芨芨草资源的目的。

研究表明:芨芨草草地的混合牧草平均 Se 含量极显著高于其它草地类型。普氏原羚对植被类型的选择指数同混合牧草平均 Se 含量的相关系数是  $R = 0.864$ ,相关系数的显著性概率水平  $P = 0.006$ ,是极显著的正相关。由此可见普氏原羚特别喜欢选择芨芨草草地作为栖息地和采食地。牧草在食物中的比例同牧草 Se 含量也是显著正相关( $R = 0.655, P = 0.041$ )。因此高 Se 植物在食物中的占有较大的比例。普氏原羚对植物种类的选择性指数同植物 Se 含量的相关系数  $R = -0.390$ ,相关系数的显著性概率水平  $P = 0.299$ 。由此可见普氏原羚对牧草种类的选择同牧草 Se 含量没有内在的必然联系,其结论:普氏原羚选择芨芨草草地作为栖息地和采食地,选择芨芨草作为主要食物是普氏原羚应急 Se 胁迫的主要措施。普氏原羚对 Se 胁迫的反应主要表现在对栖息地和主要食物的选择,也不是嗜食或者喜食高 Se 植物。

### 3.3 采食对策与保护管理

#### 3.3.1 增加普氏原羚的基本食物

降低普氏原羚栖息地牲畜的数量,控制啮齿动物数量以减少牲畜和啮齿动物对普氏原羚食物资源的消耗。拆除围栏,建立生境走廊,扩大普氏原羚的采食区域,提高普氏原羚的食物资源量等都是有利于普氏原羚保护的重要措施。

#### 3.3.2 草地施 Se 肥扩大普氏原羚的栖息地

湖东地区是严重的缺 Se 地区,给草地施 Se 肥增加牧草的 Se 含量,使普氏原羚从不同类型草地的牧草中均能获得足够的 Se 以满足生长发育和繁殖的需要。这样就扩大了普氏原羚的栖息地,增加了普氏原羚基本食物的种类。因此草地施 Se 肥也是保护普氏原羚的重要措施之一。

### References:

- [ 1 ] Nagy K A. Bio-energy of mammals: What does determined field metabolic rates? *Australian Journal of Zoology*, 2003, 42: 43 - 53.
- [ 2 ] Julien-Laferriere D. Foraging strategies and food partitioning in the neotropical frugivorous mammals *caluromys philander* and *potosflavus*. *Journal of Zoology*, 1999, 247: 71 - 80.
- [ 3 ] McNorghton S J. Grazing lawns: animals in herds, plant form, and evolution. *American Naturalist*, 1984, 124: 863 - 886.
- [ 4 ] Hou F J, Li G, Yang F G. Grazing behavior of Gansu wapiti (*Cervus elaphus kansuensis*) in summer & winter on the alpine grassland of Qilianshan Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (9): 1807 - 1815.
- [ 5 ] Klein D R. Winter food preferred learning of snowshoe hares in interior Alaska. *The Journal of Wildlife Management*, 1977, 13: 266 - 275.
- [ 6 ] Provenza F D. Acquired aversions as the basis for varied diets of food preference and intake in ruminants. *Journal of Animal Science*, 1996, 74: 2010 - 2020.

- [ 7 ] Abrahms M V, Dill L M. A determination of the energetic equivalence of the risk of predation. *Ecology*, 1989, 70: 999 — 1007.
- [ 8 ] Tamara C G. Alternative forms of competition and predation dramatically affect habitat selection under foraging predation risk trade-offs. *Behavioral Ecology*, 2002, 13: 280 — 290.
- [ 9 ] Lei X G, Dann H M, Ross D A, Cheng W S. Dietary selenium supplementation is required to support full expression of three selenium dependent glutathione peroxidases in various tissues of weanling pigs. *Journal of Nutrition*, 1998, 128: 130 — 135.
- [ 10 ] Herbert E, Small J M W, Jones D G, Suttle N F. Evaluation of superoxide dismutase assays for the routine diagnostic assessment of copper status in blood samples In: Momcilovic, B(ed) *Proceedings of the Seventh International Symposium on Trace Elements in Man and Animals*. Dubrovnik. Zagreb, 1991, 5 — 16.
- [ 11 ] Jiang Z G, Wang S. In *Antelopes. Global Survey and Regional Action Plan*. IUCN. Gland, 2000, 125 — 231.
- [ 12 ] Jiang Z G, Feng Z J, Wang Z W, Chen L W, Cai P, Li Y B. Historical and current distributions of the Przewalski's gazelle. *Acta Theoriologia Sinica*, 1995, 15 (4): 241 — 245.
- [ 13 ] Zhang R Q, Bao Y X. Study methods and procedures for ungulate food habits. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1532 — 1539.
- [ 14 ] Liu B W, Jiang Z G. Dietary overlap between przewalki's gazelle and domestic sheep in the Qinghai Lake region and implications for rangeland management. *The Journal of Wildlife Mangement*, 2004, 68(2): 223 — 228.
- [ 15 ] Suttle N F. *The mineral nutrition of livestock*. New York. CABI publishing, 1999, 421 — 474.
- [ 16 ] Liu W D. *Micro element and Micro element fertilizer*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1999, 65 — 91.
- [ 17 ] Wang Z Y, Cao G X, Hu Z Q. *Mineral element metabolism and animal disease*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1995. 200 — 232.
- [ 18 ] Li D Q, Jiang Z G, Wang Z W. Analysis on food habits of Przewalski's gazelle. *Zoological Research*, 1999, 20(1): 74 — 77.
- [ 19 ] Paul B, Mccullough D. Factors influencing white-tailed deer activity patterns and habitat use. *Wildlife Monographs*, 1990, 190: 5 — 51.
- [ 20 ] Jiang Z, Li D, Wang Z. Proximate factor accounting for the population declining in the Przewalski's gazelle in Qinhai Lake region. *Oryx*, 1999, 34 (2): 129 — 135.
- [ 21 ] Iason G R, Mantecon A R, Sim D A. Can grazing sheep compensate for a daily foraging time constraint. *Journal of Animal Ecology*, 1999, 68: 87 — 93.
- [ 22 ] Li Z G, Jiang Z G. Dietary Composition and Overlap of Sympatric Przewalsk's Gazelle, Tibetan Gazelle and Tibetan Domestic Sheep in Upper Buha River. Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Wildlife Management*, 72(4): 944 — 948.
- [ 23 ] Liu B W, Jiang Z G. Foraging strategy of Przewalski's gazelle. *Acta Zoologica Sinica*, 2002, 48(3): 309 — 316.

#### 参考文献:

- [ 4 ] 侯扶江, 李广, 杨逢刚. 甘肃马鹿夏冬季在祁连山草地的放牧行为. *生态学报*, 2003, 23(9): 1807 ~ 1815.
- [ 12 ] 蒋志刚, 冯祚建, 王祖望, 陈立伟, 蔡平, 李永波. 普氏原羚的历史分布与现状. *兽类学报* 1995, 15 (4): 241 ~ 245.
- [ 13 ] 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.
- [ 16 ] 刘武定. *微量元素营养与微肥施用*. 北京: 中国农业出版社, 1999. 65 ~ 91.
- [ 17 ] 王宗元, 曹光辛, 胡在朝. *动物矿物质营养代谢与疾病*. 上海: 上海科学技术出版社, 1995. 200 ~ 232.
- [ 18 ] 李迪强, 蒋志刚, 王祖望. 普氏原羚的食性分析. *动物学研究*, 1999, 20(1): 74 ~ 77.
- [ 23 ] 刘丙万, 蒋志刚. 普氏原羚采食对策. *动物学报*, 2002, 48(3): 309 ~ 316.