

# 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究\*

刘 伟 周 立 王 溪

(中国科学院西北高原生物研究所 西宁 810008)

**摘要** 从栖息地结构特征决定啮齿动物群落组成的角度出发,通过分析不同放牧强度下植物地上部分生物量、植被组成、种的多样性以及不同放牧处理间相似性系数的变化,初步探讨了小哺乳动物对植被变化的反应,得到如下结论:1)在不同放牧强度下,植物地上部分生物量随放牧强度的增加而减少;植被组成中,优良牧草的比例随放牧强度的增加而降低,杂类草的比例随放牧强度的增加而升高。2)植物种的多样性指数随放牧强度的增加而升高。3)根田鼠种群密度随放牧强度的增加而逐渐降低。4)甘肃鼠兔种群受到重度、次重度放牧强度的严重影响而在这两个处理没有出现。其余处理中,随放牧强度的增加而逐渐减少,其平均密度与放牧强度呈显著的负相关( $r = -0.9321, df = 4, P < 0.01$ )。5)高原鼯鼠的新土丘数在重度、次重度放牧处理有大幅度的增加,且明显高于次轻度和轻度放牧处理,此时的新土丘数与放牧强度呈显著的正相关( $r = 0.9383, df = 4, P < 0.01$ )。

**关键词** 放牧强度,植物群落,啮齿动物。

## RESPONSES OF PLANT AND RODENTS TO DIFFERENT GRAZING INTENSITY

LU Wei ZHOU Li WANG Xi

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001, China)

**Abstract** The response of small mammals to vegetative changes was analyzed with different treatments and the following results were obtained. Plant aboveground biomass, the percentage of grasses, sedges and *Potentilla fruticosa* shrub (leaves, tender stem) decrease with increase of stocking intensity and the percentage of herbs increase with increase of stocking intensity. Vegetative species diversity raise with increase of stocking intensity. Population density of root voles decline with increase of stocking intensity. Populations of Gansu pika does not occur in heavily-grazed, subheavily-grazed treatments since they are influenced dramatically by grazing. Their average densities are significantly negative correlated with stocking intensity in the other treatment. The number of new mounds digged by zokor at heavily grazed, subheavily grazed treatments significantly increases, and their size is larger than that of sublightly and lightly grazed treatments.

\* 国家自然科学基金委员会和中国科学院海北定位站资助项目(39370139)。

收稿日期: 1997-02-27, 修改稿收到日期: 1998-01-22。

**Key words** grazing intensity, plant community, rodents

放牧动物的采食首先直接作用于植物群落, 不同的放牧强度使植被受到不同程度的影响, 因而其群落结构和植被组成必然有所不同。轻度和适度的放牧强度, 对植物生产力的影响并不显著, 植物群落中某种植物生产力的减小会被另外的植物种所补偿, 然而过重的放牧强度会导致草场的退化和草地生产力的大幅度下降而不利于畜牧业的持续发展。重度的放牧使草地的生产力明显降低<sup>[1]</sup>。同时, 过重的放牧还必然引起植被种类组成改变, 某些植物种由于对放牧较为敏感, 在强烈的动物采食下而减少被另外一些对放牧不敏感的种所取代<sup>[2]</sup>。过重的放牧率必然导致植物群落的空间结构由多层 单层, 高 低变化。对于啮齿动物而言, 栖息地环境的改变使某些啮齿动物由于不适应这种环境的改变而迁徙或死亡。植被高度的降低、覆盖的减少, 使得某些喜隐蔽生境的啮齿动物更容易暴露在捕食者的视线之内而遭捕食。较低的覆盖水平也限制了动物的取食时间, 增加了它们活动时遭遇的频度使其行为受到影响<sup>[3]</sup>。植被种类组成的改变, 必然影响到啮齿动物的食物资源, 使其喜食食物增加或减少, 从而影响到它们的丰富度。Baker<sup>[4]</sup>的研究指出: 适宜的栖息地可能是影响小哺乳动物分布和丰盛度的最重要的因子。栖息地受到外界干扰, 例如河流改道(stream-channel realignment), 地表覆盖物的清除(clear-cutting), 火等都可影响小哺乳动物种群和群落组成<sup>[5-7]</sup>。植被和栖息地的变化, 可能对一些种的种群有利, 而对另外一些种的种群不利<sup>[8]</sup>。

70 年代以来, 随着人口的急剧增多和对畜产品的需求增大, 人们强化了草场的利用, 过载放牧, 致使大面积草地退化。相应地引起鼠害猖獗。为解决这些问题, 国内生物学工作者在海北定位站地区做了大量的研究工作<sup>[9-14]</sup>。而这些工作主要集中在放牧动物藏羊与植被的关系上, 很少涉及到草地消费者啮齿动物的种群变化, 仅有的报道是通过夹捕法取得数据, 从功能群角度出发, 分析了放牧对啮齿动物的影响, 而没有反应动物的种群动态<sup>[15]</sup>。本文拟通过分析在不同的放牧强度下, 植被空间结构和种类组成的变化与啮齿动物种群变化间的内在联系, 为有效控制鼠害、发展持续畜牧业经济提供生态依据。

## 1 材料和方法

本研究于 1995 年 5~ 10 月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行。研究样地设在海北定位站东南方向的阴坡金露梅灌丛中。样地总面积 8.02hm<sup>2</sup>, 用刺丝分隔为 5 个大小不同的试验小区, 依次为重度放牧(A), 次重度放牧(B), 中度放牧(C), 次轻度放牧(D)及轻度放牧(E)。按照高寒牧场传统的两季轮牧制度, 夏秋季在金露梅草场轮牧, 放牧时间为 5 个月。放牧用试验动物皆为同龄成年羯藏羊。根据各季草场的平均年度地上净初级生产力和一般成年藏羊在各季草场上的牧草采食量, 设计各放牧强度试验区的牧草利用(消费)率分别为 60% (A), 50% (B), 45% (C), 35% (D), 30% (E), 相应的 5 个放牧强度见表 1。

表 1 各试验区放牧强度

Table 1 Stocking intensities in the experimental areas

处 理 Treatments	A	B	C	D	E
设计牧草利用率(%)Designed utilization of herbage	60	50	45	35	30
放牧强度 Stocking intensity (sheep/km <sup>2</sup> )	5.35	4.47	4.30	3.24	2.55
放牧时间长度(月)Length of stocking time (month)	5	5	5	5	5

在试验开始前(5 月), 对试验样地进行本底调查(表 2)。从 6 月开始到 10 月, 于每月底, 在每个放牧强度试验区随机取 5 个(0.5 × 0.5m<sup>2</sup>)样方, 其中 3 个样方把植物分为 5 个类群: 落草、禾草、杂草、立枯和金露梅, 齐地面剪草, 金露梅仅摘取家畜可食的叶子和嫩枝, 称其鲜重, 然后在 70 ℃ 烘箱内烘 24h, 记录其干重, 在 8 月中旬, 对不同放牧强度试验区用 0.25 × 0.25m<sup>2</sup> 的样方, 取样 4 个, 测定每一植物种的鲜重及干重生物量。

在每一试验小区, 设置 50 × 50m<sup>2</sup> 的活捕样方 1 个, 以 10m 间隔进行方格布笼, 每一置笼站放活捕笼 1 个。用新鲜的胡萝卜为诱饵。以重捕标志法测定根田鼠和甘肃鼠兔的数量, 每 1 标志期为 3~ 5d, 每月 1 次。对于捕获到的根田鼠(*Microtus oeconomus*)和甘肃鼠兔(*Ochotona cansus*), 记录其捕获点、剪指号以及繁殖状况。在月初记录每一试验小区高原鼯鼠(*Myosorex baileyi*)的新土丘数, 用望远镜观测每一试验小区的

喜马拉雅旱獭 (*M artona him alayana*) 的数量,并在试验结束统计所有的喜马拉雅旱獭洞口数。

表 2 不同放牧强度植物地上部分生物量 (g D. W /0. 25m<sup>2</sup>)

Table 2 Aboveground biomass of plant in different stocking intensities

处 理 Treatments	Sample label	Sample					平均 ± 标准差 Means ± Sd
		1	2	3	4	5	
A	鲜 重	26.00	31.00	30.00	34.00	30.00	30.20 ± 2.56
	干 重	17.00	25.50	25.00	21.50	20.50	21.90 ± 3.12
B	鲜 重	32.00	21.00	36.00	27.00	23.00	27.80 ± 5.56
	干 重	25.00	17.50	24.50	18.00	18.00	20.60 ± 3.40
C	鲜 重	21.00	28.00	27.00	36.00	26.00	27.60 ± 4.84
	干 重	18.00	23.00	21.00	25.00	19.50	21.30 ± 2.48
D	鲜 重	25.00	23.00	26.00	22.00	21.00	23.40 ± 1.86
	干 重	19.00	19.00	19.00	18.00	16.50	18.30 ± 0.98
E	鲜 重	38.00	23.00	27.00	34.00	27.00	29.80 ± 5.42
	干 重	28.00	16.00	21.00	24.00	22.50	22.30 ± 3.92

Fresh weight    Dry weight

根田鼠和甘肃鼠兔的种群数量估计采用的直接计数法 (direct-enumeration method)<sup>[16]</sup>, 高原麝鼠的种群数量以其新土丘数的多少作为相对指标, 喜马拉雅旱獭的数量则以实际观测值为准。

植物种的多样性指数采用如下公式计算<sup>[17]</sup>:

$$D = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$$

其中  $D$  表示种的多样性指数,  $P_i$  表示每一种植物在其样方中所占生物量的百分比。

不同放牧强度之间植物组成的相似性系数按如下公式计算<sup>[18]</sup>:

$$R_0 = [ (x_i + y_i) \ln (x_i + y_i) - x_i \ln x_i - y_i \ln y_i ] / [ (X + Y) \ln (X + Y) - \ln X - \ln Y ]$$

$R_0$  表示  $X$  样本与  $Y$  样本的重迭程度;  $x_i$  和  $y_i$  分别表示第  $i$  种植物在  $x$ 、 $y$  样本中的生物量比例,  $x$  和  $y$  分别表示相应样本各植物种所占比例之和。在本文中,  $X = Y = 1$ 。  $R_0$  的范围为  $0 \leq R_0 \leq 1$ ; 当  $R_0 = 0$  时, 表示两个样本完全不同, 当  $R_0 = 1$  时, 说明两个样本完全相同。

本文所有数据均在 BM 计算机上用 Lotus1-2-3 软件分析处理。

## 2 研究结果

### 2.1 放牧引起的植物群落变化

2.1.1 生物量变化 不同放牧强度试验区的地上部分生物量见图 1。在试验初期(6月), A、B、C、D 放牧强度的植物地上部分生物量没有明显的差异, 仅 E 栏稍高。随着牧草生物量均达到最高。此后进入枯黄期, 牧草的生物量开始下降。图 1 显示, 在 7~ 10 月期间, 随放牧强度的增加, 植物地上部分现存量呈下降趋势, 即  $A < B < C < D < E$ 。经相关分析, 不同放牧处理地上部分生物量与放牧强度呈显著的负相关 ( $r_{7月} = - 0.8761, df = 4, p < 0.05; r_{8月} = - 0.9759, df = 4, p < 0.001; r_{9月} = - 0.9764, df = 4, p < 0.001; r_{10月} = - 0.9300, df = 4, p < 0.017$ )。

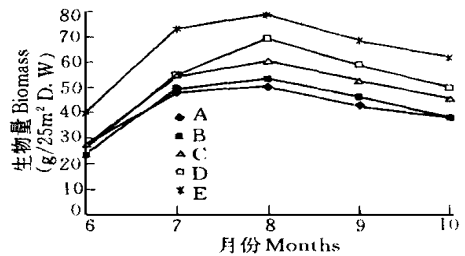


图 1 不同放牧强度植物地上部分生物量比较

Fig 1 Comparison of above ground biomass of plant for different grazing intensity

2.1.2 种的多样性与相似性比较 种的多样性指数是植物群落结构的重要参数, 它能客观地反映群落内物种组成的变化。表 3 列出了不同放牧强度下组成植被的物种数及其对应的多样性指数。可以看出, 随放牧强度的增加, 种的多样性指数呈上升的趋势, 且二者之间呈显著的正相关 ( $r = 0.9900, df = 4, p <$

0.001)。而不同放牧处理植物的种数与多样性指数间没有明显的线性关系。

不同放牧处理间植物组成的相似性系数能准确地反映各放牧强度间物种组成及其生物量分配的差异(表 4)。两个处理间物种的组成及其生物量分配越接近,其相似性系数就越大。在表 4 中 C-D 间相似性系数最大,B-C 间次之...,而 A-E 间最小。对表 4 的每一列进行纵向比较,可发现相邻两个处理间的相似性系数均大,而放牧处理间相离越远,即放牧强度差异越大者,则其相似性系数就越小。这表明相似性系数大小基本上反映了放牧强度间的差异。对于 A 栏而言,从 B-E,相似性系数逐渐减小,同样的 B、C、D 栏都反映了这一趋势。说明放牧强度差异大的,则其植物组成的相似程度就小,反之亦然。

**2.1.3 植被组成的变化** 放牧必然对植物群落产生影响,不同的放牧强度对其影响的程度也是不同的。这种影响的差异也表现在植物群落内各植物种群生物量的变化上,即某些植物种群的生物量有所增加,而另外一些植物种群的生物量随之降低。为了简化分析,通常把植物分为 3 类,优良牧草,藏羊喜食且经常取食的植物;劣质牧草,藏羊从来不食,或者当优良牧草和中等牧草不足时只食少量的植物;中等牧草,介于上述二者之间,由那些偶然吃或幼嫩时取食,成熟后不食,或优良牧草不足时食但喜食程度较低的植物组成。根据野外试验观察,莎草科、禾本科植物和金露梅灌丛的叶子,属于优良牧草,而其余的杂类草植物基本上属于中等或劣质牧草。因此,以全部的莎草科、禾本科植物和金露梅灌丛叶子的生物量作为优良牧草的丰富度指标。

由于试验期间包含了植物生长发育的不同阶段,为了准确地反映植物组成中优良牧草与中等和劣质牧草的平均丰盛度程度,取牧草生长旺盛期(6~8 月)该 3 类牧草生物量的平均值。不同放牧强度下各植物类群和优良牧草的生物量及其所占比例列于表 5。由表 5 可以看出,随着放牧强度由 E A 栏的增加,禾草比例由轻度放牧处理的 50.37% 降低为 38.82%;杂草的变化趋势正好与禾草相反,随放牧强度的增加,其所占生物量比例由 26.97% 逐渐增高为 35.77%。经相关分析,杂草的变化与放牧强度呈显著的正相关( $r=0.9474, df=4, p<0.005$ )。优良牧草的变化与禾草的变化相一致,随放牧强度的增加而减少,并且与放牧强度呈显著的负相关( $r=-0.8988, df=4, p<0.02$ )。作为优良牧草的莎草科植物,在 B 处理中所占生物量比例最大,C 处理次之,而 E 处理最小,与放牧强度呈显著的负相关( $r=-0.8725, df=4, p<0.05$ )。

**3 放牧引起的啮齿动物种群变化**

**3.1 根田鼠**

6~10 月,根田鼠种群呈上升趋势,但 6~8 月间数量变化不明显(图 2)。其中,A、B 处理在 8 月数量最高,其余处理在 9 月达到密度高峰。随放牧强度减轻,根田鼠种群数量逐渐增高,E 处理的种群密度明显高于其它处理( $t_{ac}=5.60, t_{bc}=4.140, t_{ce}=3.843, t_{de}=3.440, df=4, P_{ac}<0.01, P_{bc}<0.02, P_{ce}<0.02, P_{de}<0.02$ )。相关分析结果表明,根田鼠种群平均密度与放牧强度呈显著负相关( $r=-0.9095, df=4, P<0.02$ )。

**表 3 不同放牧处理植物种的多样性指数比较**

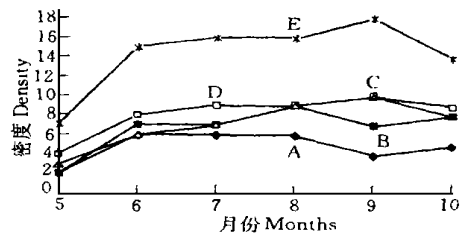
**Table 3 Comparison of species diversity indices of plant in different grazing treatments**

处 理 Treatments	种 数 No. of species	多样性指数 Diversity index	相关检验 Correlation test
A	46	4.65	$r=0.6281$ $df=4$ $P>0.05$
B	50	4.40	
C	47	4.26	
D	42	3.99	
E	44	3.86	

**表 4 不同放牧处理间植物组成相似性比较**

**Table 4 Comparison of similarity indices of plant composition in different treatments**

A		B		C		D		E	
A	1.0000								
B	0.8568	1.0000							
C	0.8508	0.8790	1.0000						
D	0.8458	0.8625	0.9004	1.0000					
E	0.7744	0.8259	0.8391	0.8619	1.0000				



**图 2 不同放牧处理根田鼠种群密度变化**

**Fig 2 Variety of root vole population density in different treatments**

表 5 不同放牧强度各类群植物 6~ 8 月平均地上部分生物量

Table 5 Average aboveground biomass of plant groups during June~ August in different grazing treatments

植物类群 Plant groups	放牧处理 Grazing treatments				
	A	B	C	D	E
禾草	14.90	16.36	21.43	25.50	31.73
Grasses	(38.82)	(37.84)	(43.14)	(48.10)	(50.37)
莎草	4.90	6.08	6.54	5.32	4.50
Sedges	(12.76)	(14.06)	(13.16)	(10.03)	(7.14)
杂草	13.73	15.22	15.23	15.54	16.99
Forbes	(35.77)	(35.21)	(31.32)	(29.31)	(26.97)
灌丛	3.52	3.95	4.95	4.49	7.66
Shrubs	(9.17)	(9.14)	(9.96)	(8.47)	(12.16)
枯草	1.33	1.62	1.20	2.17	2.12
Standing dead	(3.46)	(3.75)	(2.42)	(4.09)	(3.36)
优良牧草 (Gr+ Se+ Sh)	23.32	26.39	32.92	35.31	43.89
优良牧草比例(%) (Gr+ Se+ Sh)/Total	60.76	61.05	66.20	66.60	69.67

### 3.2 甘肃鼠兔

不同放牧处理甘肃鼠兔的种群数量见表 6, 在 A 处理和 B 处理, 未捕获到甘肃鼠兔。随放牧强度从 C 到 E 减轻, 甘肃鼠兔种群数量有所增加, 且轻度放牧处理的甘肃鼠兔数量较多。尽管各处理甘肃鼠兔的种群数量均比较低, 但它基本上反映了甘肃鼠兔种群与放牧处理之间的关系, 即放牧强度越小, 甘肃鼠兔的数量就愈高。

### 3.3 高原鼢鼠

高原鼢鼠 1 年内挖掘活动的高峰一般在 6 月和 10 月。在此期间, 有大量的新土丘出现, 土丘数的多少基本上能准确地反映高原鼢鼠的丰富度。在 7~ 9 月高原鼢鼠繁殖活动减弱, 分巢活动也没有开始, 因此挖掘活动较弱, 主要是修复或营造地道, 这时的新土丘数不能够反映高原鼢鼠的实际数量, 因此用 6 月和 10 月的新土丘数作为高原鼢鼠种群大小的相对指标。在 6 月, A、B、C 处理高原鼢鼠的新土丘数较多(表 7), D、E 处理较少, 各处理间的差异是由于放牧的滞后效应所致。经过 5 个月的放牧至 10 月, A、B、C、D 处理的土丘数均有不同程度的增加, A、B 处理高原鼢鼠的土丘数分别增加了 1.6 倍和 2.5 倍, A、B、C 处理的土丘数也远高于 D、E 处理, 轻度放牧的 E 栏, 土丘数下降 33%。相关分析结果表明, 6 月和 10 月各处理的新土丘数与放牧强度呈显著的正相关 ( $r_{6月} = 0.9431, df = 4, P < 0.01$ ;  $r_{10月} = 0.9383, df = 4, P < 0.01$ )。

### 3.4 喜马拉雅旱獭

试验期间共发现喜马拉雅旱獭洞口 13 个, 观

表 6 不同放牧处理甘肃鼠兔的种群数量

Table 6 Population sizes of Gansu pika in different treatments

月份 Month	处理 Treatments				
	E	A	B	C	D
6	—	—	—	—	—
7	—	—	—	1	2
8	—	—	1	1	1
9	—	—	—	1	1
10	—	—	1	—	2
合计 Total	0	0	2	3	6

表 7 不同放牧处理高原鼢鼠新土丘数

Table 7 New mounds of plateau zokor in different treatments

月份 Month	处理 Treatments				
	E	A	B	C	D
6	14	10	12	6	6
7	2	—	3	2	—
8	—	2	—	—	—
9	—	—	—	—	—
10	37	35	22	10	4

察到旱獭 3 只, 其分布见表 11。13 个洞穴大小不一, 所有洞口均朝向北方, 其中 B、C 处理各有一个洞口较大, 洞口前土堆较为明显, 其余各洞穴洞口较小, 有些洞口的土为试验期间推出的新土(C 处理)。根据报道<sup>[19]</sup>, 笔者认为这 13 个洞穴应为两个家族, B 处理的 4 个洞穴和 C 处理的其中一个(离 B 处理较近)洞穴构成一个家族, 其余 8 个洞穴(C 处理 6 个和 D 处理 2 个)为一个家族。喜马拉雅旱獭是否受放牧强度的影响, 未见这方面的报道。据表 11 可以看出, C 处理洞穴较多, A、E 处理没有洞穴也没发现喜马拉雅旱獭活动。本试验样地坡面朝北, 且地形变化多样, 高低起伏不平, 阳光充足, 不易水淹。C 处理正处于一个山丘隆起的地方, 是喜马拉雅旱獭理想的栖息场所。因此, 初步认为喜马拉雅旱獭受放牧强度的影响较小, 栖息场所的地形则是重要的因素。

#### 4 讨论

研究结果表明: 栖息于不同放牧强度试验区的啮齿动物群落组成不尽相同(表 9)。这一结果与以往的报道有所差异<sup>[15]</sup>。前文从群落的角度出发, 探讨了放牧水平对啮齿动物群落结构和功能的作用, 但缺乏动植物的动态变化。特别是由于近几年来研究地区大面积灭鼠, 导致高原鼠兔种群数量减少, 分布区萎缩, 在金露梅灌丛中已没有高原鼠兔活动。因而, 其研究结果已不能反应目前研究地区的现状。但从畜牧业持续发展角度出发, 作者研究的结果都认为在中度、次轻度放牧水平条件下, 可以抑制鼠害, 有利于畜牧业的持续发展。

Jonsson<sup>[20]</sup>研究了放牧配置对小型哺乳动物的影响, 认为较低的覆盖水平可增加小型哺乳动物的种类; 对植被的过重利用也会导致种的分布区减少。本研究结果充分说明了这一点。

Zimmernan<sup>[21]</sup>研究发现, *M. pennsylvanicus* 和 *M. Ochrogaster* 分布于不同地区。其主要原因是它们的主要食物在很大程度上不同, 同时, 这两种田鼠栖息地中植被盖度也有很大区别。 *M. Pennsylvanicus* 需要具有较高盖度的生境, 而 *M. ochrogaster* 则相反。食性和盖度是影响这两种田鼠分布和丰度的主要因子。根田鼠和甘肃鼠兔同属于食叶类禽群, 均栖息于金露梅灌丛和牧草茂盛的环境中, 盖度是限制它们分布的一个重要因子。

总之, 随着放牧强度的增加, 植被的盖度和高度降低, 伴随优良牧草的减少而杂草增多, 草食性小型啮齿动物的食物多度和栖息生境发生越来越大的变化。其结果是随着放牧强度的增大引起适应隐蔽生境的根田鼠和甘肃鼠兔数量减少, 以及喜食杂草地下根的高原鼠兔数量增加。根田鼠和甘肃鼠兔个体小, 采食量低, 在种群数量不是很高时不会对草场植被产生严重危害。因此, 科学地选取适度的放牧强度, 保持较高的优良牧草比例, 是治理高原鼠兔危害、发展持续畜牧业经济的生态学途径。

表 8 不同放牧处理喜马拉雅旱獭洞穴数

Table 8 Dens number of Himalayan mamot in different treatments

处 理	洞 穴 数	喜马拉雅旱獭数
Treatments	No. of dens	No. of mamot
A	0	0
B	4	1
C	7	2
D	2	0
E	0	0

表 9 不同放牧处理小哺乳动物种类组成

Table 9 Species distribution of small mammal in different treatments

种 类	处理 Treatments				
	A	B	C	D	E
Species					
根田鼠	+	+	+	+	+
甘肃鼠兔	-	-	+	+	+
高原鼠兔	+	+	+	+	+
喜马拉雅旱獭	-	+	+	+	-
合 计 Total	2	3	4	4	3

*M icrotus oeconomus*; *O chotona cansa*; *M yospalax baileyi*; *M artona him alayana*.

#### 参 考 文 献

- 1 Rosiere R E. An evaluation of grazing intensity influence on california annual range. *J. Range Manage* 1987, **40** (2): 160~ 165
- 2 Wilms W D, et al. Effects of stocking rate on a rough fescue grassland vegetation. *J. Range Manage* 1985, **38** (3): 220~ 225

- 3 Birney E C, *et al* Importance of vegetative cover to cycles of *Microtus* populations *Ecology*. 1976, **57**: 1043~ 1051
- 4 Baker R H. Habitats and distribution in J. A. King, ed *Biology of Peromyscus (Rodentia)*. *Am. Soc Mamm. Spec Publ* 1968, 593
- 5 Possardt E E, *et al* Stream channelization impacts on songbird and small mammals in Vermont *Wildl Soc Bull* 1978, **6**: 18~ 24
- 6 Kirkland G L. Response of small mammals to the clear-cutting of northern Appalachian forests *J. Mammal* 1977, **58**: 600~ 609
- 7 Martell A M, *et al* Changes in small mammal populations after clearcutting of northern Ontario black spruce *Can. Field. Nat* 1977, **91**: 41~ 46
- 8 Geier A R. Habitat selection by small mammals of riparian communities: Evaluating effects of habitat alterations *J. Wildl Manage* 1980, **44**(1): 16~ 24
- 9 周兴民, 皮南林, 赵新全, 张松林, 赵多琥 青海海北草甸草场最优放牧强度的初步研究 高原生物学集刊 北京: 科学出版社, 1986 21~ 34
- 10 周立, 王启基, 赵新全, 刘阳 高寒牧场最优生产结构的研究 I. 藏系绵羊种群最大能量输出的生产结构 见: 刘季科主编 高寒草甸生态系统(第3集). 北京: 科学出版社, 1991a 285~ 310
- 11 周立, 王启基, 赵新全 高寒牧场最优生产结构的研究 II. 藏系绵羊种群最大净货币收益生产结构 见: 刘季科主编 高寒草甸生态系统(第3集). 北京: 科学出版社 1991b 311~ 332
- 12 周立, 赵新全, 王启基 高寒牧场最优生产结构的研究 III. 藏羊个体最佳年龄高寒草甸生态系统 见: 刘季科主编 高寒草甸生态系统(第3集). 北京: 科学出版社 1991c 333~ 342
- 13 周立, 王启基, 赵新全, 赵京 高寒牧场最优生产结构的研究 IV. 藏羊种群生产结构的最优动态调整途径 见: 刘季科主编 高寒草甸生态系统(第3集). 北京: 科学出版社 1991d 343~ 358
- 14 周立, 王启基, 赵京, 周琪 高寒草甸牧场最优放牧强度的研究 IV. 植被变化度量与草场不退化最大放牧强度 高寒草甸生态系统(第4集). 北京: 科学出版社, 1995a 403~ 418
- 15 刘季科, 王溪, 刘伟, 聂海燕 藏系绵羊实验放牧水平对啮齿动物群落作用的研究 I. 啮齿动物群落结构和功能的分析 见: 刘季科主编 高寒草甸生态系统(第3集). 北京: 科学出版社 1991. 3: 9~ 22
- 16 Krebs C J. Demographic changes in fluctuating populations of *Microtus californicus* *Ecol Monog*. 1966, **36**: 239~ 273
- 17 Pielou E C. The measurement of diversity in different types of biological collections *J. Theor Biol* 1966, **13**: 131~ 144
- 18 Horn H S. Measurement of "overlap" in comparative ecological studies *Amer Nat* 1966, **100**: 419~ 424
- 19 Johnson S J. Impacts of domestic livestock grazing on small mammals of forest grazing allotments in southeastern Idaho. *Proceeding of the wildlife-livestock relationships symposium*. Published by Forest, Wildlife and Range Experiment Station University of Idaho, Moscow, 1981. 242~ 250
- 20 马立名, 张广登 喜马拉雅旱獭的洞型观察 兽类学报, 1984, **4**(3): 216
- 21 Zimmerman E G. A Comparison of habitat and food of two species of *Microtus* *J. Mammal*, 1965, **46**(4): 605~ 612