

高原鼠兔对高寒草甸植物群落生物量的影响

严红宇^{1,2} 张毓³ 赵建中⁴ 许庆民⁵ 李里^{1,2} 刘伟^{1*}

(1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001) (2 中国科学院大学, 北京 100049)

(3 青海省林业厅野生动植物保护管理站, 西宁 810001) (4 青海省草原总站, 西宁 810001)

(5 青海省环境监测中心站, 西宁 810007)

摘要: 2010 年和 2011 年 8 月在青海省果洛州矮蒿草草甸, 采用样方法测定了不同密度高原鼠兔栖息地内杂草斑和秃斑植物群落特征及地上生物量的变化。结果表明: 2010 年与 2011 年相比, 相同高原鼠兔密度的栖息地内杂草斑和秃斑植物总盖度、平均高度和总地上生物量差异不显著, 但同一年份不同密度栖息地间差异显著。高原鼠兔低、中、高密度栖息地植物总盖度、平均高度和总地上生物量显著低于无鼠兔对照组 ($P < 0.05$), 不同密度间无明显变化规律。低、中、高密度栖息地的莎草、禾草和豆科植物盖度、平均高度和地上生物量显著低于无鼠兔对照组 ($P < 0.05$), 秃斑上豆科植物消失; 杂类草平均高度在低密度栖息地和无鼠兔对照组显著高于中、高密度栖息地 ($P < 0.05$), 盖度和地上生物量对照组最小, 随高原鼠兔密度增加呈增加趋势。2010 年和 2011 年, 高原鼠兔低、中、高密度栖息地内杂草斑面积分别占样地面积的 4.0%、4.3%、13.3% 和 3.8%、4.3%、11.0%, 秃斑面积分别占样地面积的 0.2%、2.6%、4.0% 和 0.2%、2.2%、3.4%; 植物损失地上生物量分别为 110.84 kg/hm²、203.18 kg/hm²、431.58 kg/hm² 和 107.67 kg/hm²、189.46 kg/hm²、365.72 kg/hm²。高原鼠兔的密度 (x) 与植物损失地上生物量 (y) 之间存在对数曲线关系, 说明高原鼠兔的活动显著降低了植物总盖度、平均高度和总地上生物量, 同时也改变了植物功能群组成。随高原鼠兔密度增加, 栖息地内杂草斑、秃斑的面积和植物损失地上生物量呈增加趋势。

关键词: 高原鼠兔; 杂草斑; 秃斑; 损失生物量; 植物群落

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050 (2013) 04-0333-11

Effects of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on plant community biomass in alpine meadow

YAN Hongyu^{1,2}, ZHANG Yu³, ZHAO Jianzhong⁴, XU Qingmin⁵, LI Li^{1,2}, LIU Wei^{1*}

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

(2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(3 Qinghai Province Forestry Department Wildlife Protection Management Station, Xining 810001, China)

(4 Grassland Station of Qinghai Province, Xining 810001, China)

(5 Qinghai Environment Monitoring Center, Xining 810007, China)

Abstract: We studied the variation of plant community characteristics and aboveground biomass in weeds patches and bare patches using sampling in *Kobresia humilis* meadow in Guoluo autonomous prefecture in habitat with different plateau pika (*Ochotona curzoniae*) densities in August, 2010 and 2011. The results showed that there were no significant differences in total plant coverage, mean height and total aboveground biomass in weeds patches and bare patches in habitats with the same pika densities, between years, but there were significant differences among habitat different pika densities within the same year. Total plant coverage, mean height and total aboveground biomass in low density (LD), middle density (MD) and high density (HD) were significantly lower than those in Control at the 0.05 level, but there was no obvious regularity among different densities habitat. Plant coverage, mean height and aboveground biomass of sedges, grasses and legumes in weeds patches and bare patches in LD, MD and HD were significantly lower than those in Control at the 0.05 level, but the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30970498)

作者简介: 严红宇 (1987 -), 女, 硕士研究生, 主要从事动物生态学研究。

收稿日期: 2012-11-16; 修回日期: 2013-05-21

* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: liuwei@nwipb.cas.cn

legumes disappeared in bare patches. Mean plant height of forbs in weeds patches and bare patches in LD and Control were significantly higher than those in MD and HD at the 0.05 level; plant coverage and aboveground biomass of forbs were minimum in Control, they increased as the plateau pika density increased. In 2010 and 2011, the proportions of area of weeds patches were 4.0%, 4.3%, 13.3% and 3.8%, 4.3%, 11.0% in LD, MD and HD, respectively. The proportions of area of bare patches were respectively 0.2%, 2.6%, 4.0% and 0.2%, 2.2%, 3.4%, loss of aboveground biomass were respectively 110.84 kg/hm², 203.18 kg/hm², 431.58 kg/hm² and 107.67 kg/hm², 189.46 kg/hm², 365.72 kg/hm² in LD, MD and HD. The relationship of plateau pika density (x) and loss of plant aboveground biomass (y) was a Ln-curve. We can conclude that total plant coverage, mean height and total aboveground biomass decreased because of the activities of plateau pika, the plant functional group composition was also changed. The area of weeds patches and bare patches, and the loss of plant aboveground biomass, increased as the plateau pika density increases.

Key words: Bare patch; Loss of biomass; Plant community; Plateau pika (*Ochotona curzoniae*); Weeds patch

高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 广泛分布于青藏高原高寒草甸, 是青藏高原及其周边地区的特小型哺乳动物 (冯祚建和郑昌琳, 1985)。高原鼠兔主要利用植被高度较低、视野开阔的草地生境, 因此部分退化的草地成为高原鼠兔的理想栖息地 (施银柱, 1983; 边疆晖等, 1999)。

高原鼠兔对高寒草甸具有双重作用。高原鼠兔可以为小型鸟类和蜥蜴类提供巢穴, 改变微环境, 增加物种丰富度 (Smith and Foggan, 1999), 其挖掘活动可以增加土壤氮元素的含量, 改变土壤理化性质, 有助于营养物质循环, 促进生态系统演变 (李文靖和张堰铭, 2006; 刘伟等, 2010)。另一方面, 高原鼠兔直接取食优良牧草, 如早熟禾 (*Poa annual*)、紫花针茅 (*Stipa purpurea*)、甘肃棘豆 (*Oxytropis kansuensis*) 等 (樊乃昌和景增春, 1995), 对植物造成破坏。此外, 高原鼠兔的挖掘活动对牧草的危害要远远大于啃食, 高原鼠兔挖掘活动挖出的土壤覆盖地表的植物, 导致其死亡 (刘季科等, 1980)。高原鼠兔对高寒草甸的危害关键在于数量的多少, 若高原鼠兔的数量处于较低水平, 会表现为对高寒草甸有利的一面; 而当其数量超过一定的阈值, 会对高寒草甸构成危害 (周雪荣等, 2010)。自 20 世纪 90 年代以来, 高原鼠兔的数量剧增, 对植物的采食量增加, 造成草甸资源损失。由于高原鼠兔的长期破坏, 较干旱的地区出现植被退化与草场沙化, 严重地区则形成放牧价值明显降低的次生裸地“黑土滩”(苏大学, 2001)。

高原鼠兔的存在使高寒草甸植物群落发生退化演替, 但也伴随植物群落的恢复演替过程。高原鼠兔取食、挖掘、排泄、刈割等活动使高寒草甸表面形成土丘和裸露斑块, 经过一段时间恢复演替, 裸斑上逐渐有植物生长, 但植物盖度较低, 称之为秃斑, 秃斑上

植物继续恢复演替, 形成杂草斑。杂草斑和秃斑上植物群落不仅增加了栖息地环境的异质性, 同时也可能对栖息地地上生物量产生影响, 而对此方面的研究涉及较少, 本文拟通过研究不同密度高原鼠兔栖息地内杂草斑和秃斑植物盖度、平均高度和地上生物量的变化, 以定量探讨高原鼠兔密度与植物资源损失量之间的关系, 为评估高原鼠兔对高寒草甸的扰动作用提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究地区自然概况

研究地区位于青海省果洛藏族自治州玛沁县大武乡东南部的军牧场, 地理位置为东经 100°26' ~ 100°41'、北纬 34°17.6' ~ 34°5', 海拔为 3 980 m, 该地区是典型的高原大陆性气候, 无明显的四季之分, 年均温 -2.6°C, 0°C 以上积温为 914.3°C, 日照时数 2 576.0 h, 年降水量 513.02 mm, 5 ~ 9 月份降水量 437.10 mm, 无绝对无霜期, 牧草生长期约 110 ~ 130 d。

该地区主要植被类型为高寒嵩草草甸。主要优势植物种为矮嵩草 (*Kobresia humilis*), 主要伴生种有二柱头藨草 (*Scirpus distigmaticus*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、早熟禾、太白细柄茅 (*Ptilagrostis concinna*)、黑褐苔草 (*Carex moorcraftii*)、铺散亚菊 (*Ajania khartensis*)、弱小火绒草 (*Leontopodium pusillum*)、短穗兔耳草 (*Lagotis beachystachya*)、甘肃棘豆等。土壤类型以高山草甸土为主。高原鼠兔是分布在该地区的优势小型哺乳动物。

1.2 样地设置

在矮嵩草草甸上选取 3 个高原鼠兔密度不同的样地, 高原鼠兔的数量分别为低密度 (Low density, LD) 样地 0 ~ 50 只/hm², 中密度 (Middle den-

sity, MD) 样地 50 ~ 100 只/hm², 高密度 (High density, HD) 样地大于 100 只/hm², 样地大小为 50 m × 50 m。另选一个无鼠兔对照 (Control, CK) 样地, 大小为 50 m × 50 m。根据观察, 样地内小型哺乳动物仅为高原鼠兔。

1.3 方法

2010 年和 2011 年 8 月中旬进行采样。在高原鼠兔低、中、高密度栖息地的杂草斑和秃斑区域 (杂草斑和秃斑的划分标准见表 1) 及无鼠兔对照

样地分别选取 10 个 25 cm × 25 cm 的样方, 其中 6 个样方分莎草、禾草、豆科和杂类草功能群, 4 个样方不分功能群, 测定植物盖度、高度与地上生物量。由于 2011 年对照样地被放牧破坏, 所以参照 2010 年的对照组。

植物盖度用目测法测定; 植物高度用钢卷尺测量植物最高处到地面的垂直距离; 地上生物量用剪刀将植物分功能群齐地面剪下, 带回实验室, 65℃ 烘 24 h 至恒重。

表 1 高原鼠兔栖息地内杂草斑和秃斑的划分标准

Table 1 Standard of weeds patches and bare patches in plateau pika's habitat

斑块 Patch	盖度 Coverage (%)	种类组成 Species composition	损失生物量 Loss of biomass (%)
杂草斑 Weeds patch	≥35	以杂类草为主, 有少量莎草和禾草 Most forbs, a small amount of sedges and grasses	≤50
秃斑 Bare patch	<35	以杂类草为主, 有少量禾草, 莎草极少, 豆科消失 Most forbs, a small amount of grasses, little sedges, no legumes	>50

高原鼠兔密度估计: 高原鼠兔数量 = 有效洞口数/洞口系数。采用堵洞盗洞法测定有效洞口数。将不同密度栖息地内高原鼠兔的全部洞口填埋, 连续 3 d 于每天 9:30 ~ 11:30 记录被盗开的洞口数, 然后重新填埋, 每个密度栖息地的有效洞口数即是连续 3 d 的平均值 (汪诚信和潘祖安, 1981)。洞口系数的测定在附近另外一片区域进行, 同样采用堵洞盗洞法测定区域内的有效洞口数, 然后用夹捕法捕捉区域内的高原鼠兔, 直到捕尽, 当地的洞口系数即为区域内高原鼠兔有效洞口数与数量的比值。

杂草斑和秃斑面积测定: 分别记录不同密度高原鼠兔栖息地内杂草斑和秃斑个数, 根据上述标准 (表 1) 分别在 3 个试验样地内随机选取杂草斑和秃斑各 10 个, 尽量将每个斑块分解为若干个简单的几何图形, 用钢卷尺测量其长、宽、高, 计算其面积。分别用得到的杂草斑和秃斑的平均面积乘以个数来估算杂草斑和秃斑的总面积。

损失生物量利用公式:

$$B = S_1 \cdot B_1 + S_2 \cdot B_2$$

式中, B 为总损失生物量, S₁ 为杂草斑总面积, S₂ 为秃斑总面积, B₁ 为与对照组相比, 单位面积杂草斑植物损失生物量, B₂ 为与对照组相比, 单位面积秃斑植物损失生物量。

1.4 数据统计与分析

文中数据的作图和统计分析分别在 Excel (2003) 和 SPSS Statistics 17.0 中进行。对密度间试验数据进行单因素方差分析, 对年份间试验数据进行 *t* 检验, 结果以平均值 ± 标准误 (Mean ± SE) 表示, 显著水平设为 α = 0.05。

2 结果

2.1 高原鼠兔的密度

2010 年和 2011 年, 实验样地中高原鼠兔低、中、高平均密度分别为 26.57 只/hm²、57.15 只/hm²、138.86 只/hm² 和 28.86 只/hm²、26.00 只/hm²、91.14 只/hm²。分析表明, 2010 年, 高原鼠兔的密度两两之间差异显著 ($F_{(2,6)} = 60.24, P < 0.05$); 2011 年, 高原鼠兔密度比 2010 年有所下降, 低、中密度栖息地显著低于高密度栖息地 ($F_{(2,6)} = 415.03, P < 0.05$) (表 2)。

2.2 不同密度高原鼠兔对植物群落的影响

2.2.1 对杂草斑植物盖度的影响

2010 年和 2011 年, 对照组植物总盖度为 98.3%, 高原鼠兔低、中、高密度栖息地内杂草斑植物总盖度分别为 91.7%、88.3%、93.2% 和 92.2%、88.1%、93.6% (表 3)。分析表明, 相同密度栖息地内杂草斑植物总盖度年间差异不显著, 但 2010 年, 植物总盖度低、中密度栖息地显

著低于对照组 ($F_{(3,32)} = 4.47, P < 0.05$); 2011年, 植物总盖度中密度栖息地显著低于对照组 ($F_{(3,32)} = 2.01, P < 0.05$)。

表2 栖息地内高原鼠兔的密度 (No./hm²)
Table 2 Plateau pika's density in habitat (No./hm²)

密度 Density	年份 Year	
	2010	2011
低密度 Low density	26.57 ± 4.40 ^a	28.86 ± 1.51 ^a
中密度 Middle density	57.15 ± 4.27 ^b	26.00 ± 1.03 ^a
高密度 High density	138.86 ± 11.43 ^c	91.14 ± 2.54 ^b

数据以平均值 ± 标准误表示, 标有相同字母的平均值差异不显著 ($P > 0.05$)

Values are presented as mean ± SE, means with the same letter are not significantly different at the 0.05 level

2010年和2011年, 对照组中莎草、禾草、豆科植物盖度分别为17.7%、69.7%和6.3%, 均高于低、中、高密度栖息地内 (2010年, $F_{\text{莎草}} = 31.63, F_{\text{禾草}} = 95.62, F_{\text{豆科}} = 3.38, df = 3, 20, P < 0.05$; 2011年, $F_{\text{莎草}} = 23.05, F_{\text{禾草}} = 94.46, F_{\text{豆科}} = 3.24, df = 3, 20, P < 0.05$), 杂类草盖度为59.2%, 明显低于不同密度高原鼠兔栖息地内 (2010年, $F_{(3,20)} = 7.78, P < 0.05$; 2011年, $F_{(3,20)} = 6.17, P < 0.05$)。随高原鼠兔密度增加, 禾草平均盖度表现为降低趋势, 在高密度栖息地最小, 均为2.5%。莎草和杂类草盖度均在中密度栖息地最小, 分别为2.7%、2.8%和83.3%、83.3% (表3)。

表3 不同密度高原鼠兔栖息地内杂草斑植物盖度
Table 3 Plant coverage in weeds patches at different plateau pika densities

年份 Year	密度 Density	盖度 Coverage (%)				
		总盖度 Total coverage	莎草 Sedges	禾草 Grasses	豆科 Legumes	杂类草 Forbs
2010	CK	98.3 ± 0.76 ^a	17.7 ± 1.82 ^a	69.7 ± 6.61 ^a	6.3 ± 3.13 ^a	59.2 ± 8.70 ^b
	LD	91.7 ± 0.90 ^b	4.5 ± 0.81 ^b	4.2 ± 0.95 ^b	0.3 ± 0.33 ^b	90.5 ± 2.45 ^a
	MD	88.3 ± 2.59 ^b	2.7 ± 0.84 ^b	3.3 ± 0.92 ^b	0.0 ± 0.00 ^b	83.3 ± 4.92 ^a
	HD	93.2 ± 1.63 ^{ab}	3.9 ± 1.25 ^b	2.5 ± 1.76 ^b	0.8 ± 0.83 ^b	89.3 ± 1.96 ^a
2011	CK	98.3 ± 0.76 ^a	17.7 ± 1.82 ^a	69.7 ± 6.61 ^a	6.3 ± 3.13 ^a	59.2 ± 8.70 ^b
	LD	92.2 ± 2.98 ^a	5.7 ± 1.33 ^b	4.0 ± 1.00 ^b	0.3 ± 0.33 ^b	88.2 ± 4.01 ^a
	MD	88.1 ± 3.38 ^b	2.8 ± 1.17 ^b	3.5 ± 1.06 ^b	0.0 ± 0.00 ^b	83.3 ± 5.31 ^a
	HD	93.6 ± 1.95 ^a	4.9 ± 1.17 ^b	2.5 ± 0.88 ^b	1.0 ± 1.00 ^b	87.8 ± 1.89 ^a

数据以平均值 ± 标准误表示, 同年标有相同字母的平均值差异不显著 ($P > 0.05$)。CK: 无鼠兔对照, LD: 低密度, MD: 中密度, HD: 高密度

Values are presented as mean ± SE, means with the same letter are not significantly different at the 0.05 level in the same year. CK: Control, LD: Low density, MD: Middle density, HD: High density

2.2.2 对秃斑植物盖度的影响

2010年和2011年, 高原鼠兔低、中、高密度栖息地内秃斑植物总盖度分别为29.7%、28.1%、22.9%和33.2%、27.8%、22.3% (表4)。分析表明, 同一密度栖息地内秃斑植物总盖度年间差异不显著, 但同一年份, 随高原鼠兔密度增加, 植物总盖度对照组显著高于不同密度高原鼠兔栖息地 (2010年, $F_{(3,32)} = 192.03$; 2011年, $F_{(3,32)} = 199.55, P < 0.05$), 且在2011年低密度栖息地显著高于高密度栖息地 ($P < 0.05$)。

在不同密度栖息地, 随着高原鼠兔密度上升, 2010年和2011年, 禾草和杂类草盖度呈下降趋

势, 高密度栖息地最小, 分别为2.1%、1.6%和27.2%、27.8%; 而莎草盖度呈上升趋势, 高密度栖息地最大, 分别为1.0%, 1.2% (表4), 但均低于对照组 (2010年, $F_{\text{莎草}} = 75.09, F_{\text{禾草}} = 97.79, F_{\text{杂类草}} = 5.56, df = 3, 20, P < 0.05$; 2011年, $F_{\text{莎草}} = 72.60, F_{\text{禾草}} = 98.33, F_{\text{杂类草}} = 4.94, df = 3, 20, P < 0.05$)。

2.2.3 对杂草斑植物平均高度的影响

2010年和2011年, 对照组植物群落平均高度为11.63 cm, 高原鼠兔低、中、高密度栖息地内杂草斑植物平均高度分别为5.88 cm、4.55 cm、4.08 cm和6.90 cm、4.75 cm、4.08 cm (表5), 随高原鼠兔种

群密度增加而下降, 对照组显著高于不同密度栖息地 (2010 年, $F_{(3,32)} = 33.99$, 2011 年, $F_{(3,32)} =$

24.51, $P < 0.05$), 且 2011 年低密度栖息地显著高于中、高密度栖息地 ($P < 0.05$)。

表 4 不同密度高原鼠兔栖息地内秃斑植物盖度

Table 4 Plant coverage in bare patches at different plateau pika densities

年份 Year	密度 Density	盖度 Coverage (%)			
		总盖度 Total coverage	莎草 Sedges	禾草 Grasses	杂类草 Forbs
2010	CK	98.3 ± 0.76 ^a	17.7 ± 1.82 ^a	69.7 ± 6.61 ^a	59.2 ± 8.70 ^a
	LD	29.7 ± 1.80 ^b	0.7 ± 0.33 ^b	2.6 ± 0.88 ^b	39.5 ± 4.19 ^{ab}
	MD	28.1 ± 2.72 ^b	0.7 ± 0.33 ^b	2.9 ± 1.16 ^b	41.7 ± 4.75 ^{ab}
	HD	22.9 ± 2.25 ^b	1.0 ± 0.52 ^b	2.1 ± 0.52 ^b	27.2 ± 3.02 ^b
2011	CK	98.3 ± 0.76 ^a	17.7 ± 1.82 ^a	69.7 ± 6.61 ^a	59.2 ± 8.70 ^a
	LD	33.2 ± 1.51 ^b	0.3 ± 0.33 ^b	3.0 ± 0.63 ^b	43.2 ± 2.77 ^{ab}
	MD	27.8 ± 2.68 ^{bc}	0.7 ± 0.33 ^b	3.1 ± 1.17 ^b	42.8 ± 5.78 ^{ab}
	HD	22.3 ± 2.34 ^c	1.2 ± 0.65 ^b	1.6 ± 0.58 ^b	27.8 ± 3.96 ^b

数据以平均值 ± 标准误表示, 同年标有相同字母的平均值差异不显著 ($P > 0.05$). CK: 无鼠兔对照, LD: 低密度, MD: 中密度, HD: 高密度

Values are presented as mean ± SE, means with the same letter are not significantly different at the 0.05 level in the same year. CK: Control, LD: Low density, MD: Middle density, HD: High density

表 5 不同密度高原鼠兔栖息地内杂草斑植物平均高度

Table 5 Mean plant heights in weeds patches at different plateau pika densities

年份 Year	密度 Density	平均高度 Mean height (cm)				
		植物群落平均高度 Mean heights of plant community	莎草 Sedges	禾草 Grasses	豆科 Legumes	杂类草 Forbs
2010	CK	11.63 ± 0.40 ^a	12.32 ± 0.89 ^a	23.67 ± 0.79 ^a	4.40 ± 1.49 ^a	6.12 ± 0.33 ^a
	LD	5.88 ± 0.47 ^b	9.45 ± 1.53 ^{ab}	8.95 ± 1.66 ^b	0.67 ± 0.67 ^b	6.43 ± 0.58 ^a
	MD	4.55 ± 0.34 ^b	5.43 ± 1.35 ^b	3.77 ± 0.89 ^c	0.00 ± 0.00 ^b	4.18 ± 0.40 ^b
	HD	4.08 ± 0.69 ^b	5.83 ± 1.49 ^b	4.80 ± 1.98 ^{bc}	1.02 ± 1.02 ^b	3.45 ± 0.46 ^b
2011	CK	11.63 ± 0.40 ^a	12.32 ± 0.89 ^a	23.67 ± 0.79 ^a	4.40 ± 1.49 ^a	6.12 ± 0.33 ^a
	LD	6.90 ± 0.73 ^b	8.08 ± 2.19 ^{ab}	8.98 ± 1.46 ^b	0.72 ± 0.72 ^b	6.47 ± 0.41 ^a
	MD	4.75 ± 0.37 ^c	6.05 ± 1.59 ^b	4.03 ± 0.99 ^c	0.00 ± 0.00 ^b	4.18 ± 0.40 ^b
	HD	4.08 ± 0.68 ^c	5.90 ± 1.47 ^b	4.82 ± 1.98 ^c	0.97 ± 0.97 ^b	3.42 ± 0.41 ^b

数据以平均值 ± 标准误表示, 同年标有相同字母的平均值差异不显著 ($P > 0.05$). CK: 无鼠兔对照, LD: 低密度, MD: 中密度, HD: 高密度

Values are presented as mean ± SE, means with the same letter are not significantly different at the 0.05 level in the same year. CK: Control, LD: Low density, MD: Middle density, HD: High density

对照组各功能群植物平均高度较高, 在不同密度高原鼠兔栖息地, 随高原鼠兔密度增加呈现下降趋势 (表 5)。就不同密度栖息地功能群植物而言, 莎草平均高度在低密度栖息地内较高, 2010 年和 2011 年分别为 9.45 cm 和 8.08 cm, 中、高密度栖息地内较低, 分别为 5.43 cm、5.83 cm 和 6.05 cm、5.90 cm, 二者差异不显著; 禾草植物平

均高度在低密度栖息地内较高, 2010 年和 2011 年分别为 8.95 cm 和 8.98 cm, 中密度和高密度栖息地内较低, 与莎草变化趋势基本一致。分析结果显示, 2010 年, 禾草植物平均高度在低密度栖息地显著高于中密度栖息地; 2011 年, 低密度栖息地显著高于中、高密度栖息地 ($F_{(3,20)} = 41.82$, $P < 0.05$); 豆科植物平均高度较低, 且均低于对照

组；杂类草平均高度随高原鼠兔密度增加而下降，低密度栖息地较高，2010年和2011年分别为6.43 cm和6.47 cm，而中、高密度栖息地较低，且显著低于低密度栖息地（2010年， $F_{(3,20)} = 10.31$ ；2011年， $F_{(3,20)} = 14.52$ ， $P < 0.05$ ）。

2.2.4 对秃斑植物平均高度的影响

2010年和2011年，高原鼠兔低、中、高密度

栖息地内秃斑植物群落平均高度分别为2.29 cm、2.40 cm、2.22 cm和5.54 cm、2.48 cm、2.16 cm（表6），显著低于对照组的11.63 cm（2010年， $F_{(3,32)} = 124.45$ ；2011年， $F_{(3,32)} = 99.14$ ， $P < 0.05$ ）。而在低密度栖息地，2010年秃斑植物群落平均高度显著低于2011年（ $t_{(18)} = 6.28$ ， $P < 0.05$ ）。

表6 不同密度高原鼠兔栖息地内秃斑植物平均高度

Table 6 Mean plant heights in bare patches at different plateau pika densities

年份 Year	密度 Density	平均高度 Mean height (cm)			
		植物群落平均高度 Mean heights of plant community	莎草 Sedges	禾草 Grasses	杂类草 Forbs
2010	CK	11.63 ± 0.40 ^a	12.32 ± 0.89 ^a	23.67 ± 0.79 ^a	6.12 ± 0.33 ^a
	LD	2.29 ± 0.36 ^{b(b)}	1.05 ± 0.47 ^b	2.45 ± 0.96 ^{b(b)}	2.23 ± 0.35 ^{b(b)}
	MD	2.40 ± 0.40 ^b	1.13 ± 0.51 ^b	2.62 ± 1.05 ^b	2.30 ± 0.38 ^b
	HD	2.48 ± 0.44 ^b	1.25 ± 0.57 ^b	2.75 ± 1.21 ^b	2.38 ± 0.39 ^b
2011	CK	11.63 ± 0.40 ^a	12.32 ± 0.89 ^a	23.67 ± 0.79 ^a	6.12 ± 0.33 ^a
	LD	5.54 ± 0.37 ^{b(a)}	0.58 ± 0.58 ^b	7.07 ± 0.35 ^{b(a)}	5.92 ± 0.66 ^{a(a)}
	MD	2.22 ± 0.27 ^c	1.78 ± 1.05 ^b	1.10 ± 0.26 ^c	2.25 ± 0.34 ^b
	HD	2.16 ± 0.32 ^c	1.82 ± 1.06 ^b	0.67 ± 0.21 ^c	2.33 ± 0.36 ^b

数据以平均值 ± 标准误表示，同年标有相同字母的平均值差异不显著，括号中相同字母表示年间差异不显著（ $P > 0.05$ ）。CK：无鼠兔对照，LD：低密度，MD：中密度，HD：高密度

Values are presented as mean ± SE, means with the same letter are not significantly different at the 0.05 level in the same year, the same letter in the bracket means significantly different between years. CK: Control, LD: Low density, MD: Middle density, HD: High density

2010年和2011年，不同功能群植物平均高度对照组较大（表6），莎草、禾草和杂类草分别为12.32 cm、23.67 cm和6.12 cm，显著高于不同密度栖息地植物平均高度（2010年， $F_{\text{莎草}} = 51.33$ ， $F_{\text{禾草}} = 171.97$ ， $F_{\text{杂类草}} = 29.74$ ；2011年， $F_{\text{莎草}} = 48.22$ ， $F_{\text{禾草}} = 192.87$ ， $F_{\text{杂类草}} = 21.54$ ； $df = 3, 20$ ， $P < 0.05$ ）。就不同密度栖息地植物平均高度而言，莎草植物平均高度随高原鼠兔密度增加呈微弱增长趋势，低、中、高密度栖息地莎草平均高度分别为1.05 cm、1.13 cm、1.25 cm和0.58 cm、1.78 cm、1.82 cm，变化幅度不明显；禾草植物平均高度在2010年分别为2.45 cm、2.62 cm、2.75 cm，呈微弱上升趋势，而在2011年呈下降趋势，分别为7.07 cm、1.10 cm、0.67 cm，且低密度栖息地显著高于中、高密度栖息地（ $F_{\text{禾草}} = 192.87$ ， $df = 3, 20$ ， $P < 0.05$ ），同时低密度栖息地年间差异明显，2011年显著高于2010年（ $t_{\text{禾草}} = 4.51$ ， $df = 10$ ， $P < 0.05$ ）；杂

类草植物平均高度在2010年分别为2.23 cm、2.30 cm、2.25 cm，相差较小，而在2011年分别为5.92 cm、2.38 cm、2.33 cm，与2010年相比在低密度栖息地增长明显（ $t_{\text{杂类草}} = 4.91$ ， $df = 10$ ， $P < 0.05$ ），同时显著高于中、高密度栖息地植物平均高度（ $F_{(3,20)} = 21.54$ ， $P < 0.05$ ）。

2.2.5 对杂草斑植物地上生物量的影响

2010年和2011年，对照组植物总地上生物量为488.08 g/m²，高原鼠兔低、中、高密度栖息地内杂草斑植物总地上生物量分别为226.52 g/m²、244.96 g/m²、282.92 g/m²和219.96 g/m²、239.76 g/m²、279.72 g/m²（表7）。分析表明，同一密度栖息地内杂草斑植物总地上生物量年间差异不显著，但同一年份植物总地上生物量随高原鼠兔密度增加呈上升趋势，低、中、高密度栖息地显著低于对照组（2010年， $F_{(3,32)} = 26.12$ ，2011年， $F_{(3,32)} = 24.51$ ， $P < 0.05$ ）。

表 7 不同密度高原鼠兔栖息地内杂草斑植物地上生物量

Table 7 Plant aboveground biomass in weeds patches at different plateau pika densities

年份 Year	密度 Density	地上生物量 Aboveground biomass (g/m^2)				
		总地上生物量 Total aboveground biomass	莎草 Sedges	禾草 Grasses	豆科 Legumes	杂类草 Forbs
2010	CK	488.08 ± 25.04 ^a	103.00 ± 22.64 ^a	272.04 ± 23.32 ^a	14.52 ± 8.28 ^a	98.52 ± 31.88 ^b
	LD	226.52 ± 13.84 ^b	12.92 ± 2.96 ^b	29.56 ± 9.60 ^b	0.12 ± 0.12 ^b	192.04 ± 21.64 ^a
	MD	244.96 ± 13.40 ^b	6.08 ± 2.88 ^b	10.44 ± 3.44 ^b	0.00 ± 0.00 ^b	221.32 ± 22.20 ^a
	HD	282.92 ± 27.64 ^b	12.84 ± 4.08 ^b	9.16 ± 5.80 ^b	3.04 ± 3.04 ^{ab}	264.68 ± 38.80 ^a
2011	CK	488.08 ± 25.04 ^a	103.00 ± 22.64 ^a	272.04 ± 23.32 ^a	14.52 ± 8.28 ^a	98.52 ± 31.88 ^b
	LD	219.96 ± 20.12 ^b	13.64 ± 3.52 ^b	31.96 ± 10.04 ^b	0.16 ± 0.16 ^b	193.44 ± 24.92 ^a
	MD	239.76 ± 14.24 ^b	6.56 ± 3.32 ^b	10.32 ± 3.28 ^b	0.00 ± 0.00 ^b	222.92 ± 22.92 ^a
	HD	279.72 ± 26.92 ^b	12.48 ± 3.80 ^b	8.60 ± 5.16 ^b	2.68 ± 2.68 ^{ab}	262.12 ± 38.56 ^a

数据以平均值 ± 标准误表示, 同年标有相同字母的平均值差异不显著 ($P > 0.05$). CK: 无鼠兔对照, LD: 低密度, MD: 中密度, HD: 高密度
Values are presented as mean ± SE, means with the same letter are not significantly different at the 0.05 level in the same year. CK: Control, LD: Low density, MD: Middle density, HD: High density

2010 年和 2011 年, 不同密度栖息地杂草斑上功能群植物地上生物量的变化不完全一致。莎草、禾草地上生物量对照组明显高于不同密度栖息地 (2010 年, $F_{\text{莎草}} = 15.954$, $F_{\text{禾草}} = 96.459$, $df = 3, 20$, $P < 0.05$; 2011 年, $F_{\text{莎草}} = 15.730$, $F_{\text{禾草}} = 96.008$, $df = 3, 20$, $P < 0.05$)。其中, 莎草地上生物量中密度栖息地最小, 分别为 $6.08 \text{ g}/\text{m}^2$ 和 $6.56 \text{ g}/\text{m}^2$; 禾草地上生物量随高原鼠兔密度增加而下降, 高密度栖息地最小, 分别为 $9.16 \text{ g}/\text{m}^2$ 和 $8.60 \text{ g}/\text{m}^2$ 。杂类草地上生物量随密度增加而上升, 对照组最小, 为 $98.52 \text{ g}/\text{m}^2$, 高密度栖息地最大, 分别为 $264.68 \text{ g}/\text{m}^2$ 和 $262.12 \text{ g}/\text{m}^2$ (表 7), 且低、中、高密度栖息地显著高于对照组 (2010 年,

$F_{(3,20)} = 5.687$, $P < 0.05$; 2011 年, $F_{(3,20)} = 5.330$, $P < 0.05$)。豆科植物地上生物量低、中密度栖息地显著低于对照组 (2010 年, $F_{(3,20)} = 2.417$, $P < 0.05$; 2011 年, $F_{(3,20)} = 2.494$, $P < 0.05$)。

2.2.6 对秃斑植物地上生物量的影响

2010 年和 2011 年, 高原鼠兔低、中、高密度栖息地内秃斑植物总地上生物量分别为 $111.92 \text{ g}/\text{m}^2$ 、 $104.40 \text{ g}/\text{m}^2$ 、 $87.32 \text{ g}/\text{m}^2$ 和 $125.24 \text{ g}/\text{m}^2$ 、 $110.44 \text{ g}/\text{m}^2$ 、 $87.84 \text{ g}/\text{m}^2$ (表 8), 随高原鼠兔密度增加呈下降趋势, 且对照组显著高于低、中、高密度栖息地 (2010 年, $F_{(3,32)} = 188.64$; 2011 年, $F_{(3,32)} = 178.22$, $P < 0.05$)。

表 8 不同密度高原鼠兔栖息地内秃斑植物地上生物量

Table 8 Plant aboveground biomass in bare patches at different plateau pika densities

年份 Year	密度 Density	地上生物量 Aboveground biomass (g/m^2)			
		总地上生物量 Total aboveground biomass	莎草 Sedges	禾草 Grasses	杂类草 Forbs
2010	CK	488.08 ± 25.04 ^a	103.00 ± 22.64 ^a	272.04 ± 23.32 ^a	98.52 ± 31.88
	LD	111.92 ± 7.72 ^b	1.08 ± 0.96 ^b	5.84 ± 3.72 ^b	118.36 ± 9.08
	MD	104.40 ± 11.36 ^b	1.16 ± 1.04 ^b	6.64 ± 4.08 ^b	123.40 ± 14.32
	HD	87.32 ± 8.64 ^b	1.04 ± 0.60 ^b	0.40 ± 0.08 ^b	86.92 ± 11.84
2011	CK	488.08 ± 25.04 ^a	103.00 ± 22.64 ^a	272.04 ± 23.32 ^a	98.52 ± 31.88
	LD	125.24 ± 7.04 ^b	1.16 ± 1.16 ^b	18.52 ± 7.32 ^b	108.44 ± 5.68
	MD	110.44 ± 11.84 ^b	1.44 ± 1.32 ^b	6.80 ± 4.28 ^b	122.60 ± 16.24
	HD	87.84 ± 9.28 ^b	1.04 ± 0.60 ^b	0.28 ± 0.08 ^b	87.52 ± 12.84

数据以平均值 ± 标准误表示, 同年标有相同字母的平均值差异不显著 ($P > 0.05$). CK: 无鼠兔对照, LD: 低密度, MD: 中密度, HD: 高密度

Values are presented as mean ± SE, means with the same letter are not significantly different at the 0.05 level in the same year. CK: Control, LD: Low density, MD: Middle density, HD: High density

对照组莎草、禾草地上生物量分别为 103.00 g/m²和 272.04 g/m²,显著高于不同密度栖息地(2010年, $F_{\text{莎草}} = 20.51, F_{\text{禾草}} = 124.81, df = 3, 20, P < 0.05$; 2011年, $F_{\text{莎草}} = 20.42, F_{\text{禾草}} = 113.11, df = 3, 20, P < 0.05$)。就不同密度栖息地而言,莎草地上生物量中密度栖息地较高,2010年和2011年分别为 1.16 g/m²和 1.44 g/m²;禾草地上生物量随密度增加而下降,高密度栖息地最小,分别为 0.40 g/m²和 0.28 g/m²;杂类草地上生物量随高原鼠兔密度增加呈先上升再下降的趋势,中密度栖息地最大,分别为 123.40 g/m²和 122.60 g/m²(表8),但各密度栖息地间差异不显著。

2.3 植物损失地上生物量与高原鼠兔密度的关系

2.3.1 不同密度高原鼠兔栖息地内杂草斑和秃斑面积

随高原鼠兔密度增加,栖息地内杂草斑和秃斑面积呈增加趋势。2010年,高原鼠兔低、中、高密度栖息地内杂草斑面积分别为 100.12 m²、108.34 m²和 332.44 m²,占样地面积的 4.0%、4.3%和 13.3%,秃斑面积分别为 4.05 m²、63.74 m²和 99.03 m²,占样地面积的 0.2%、2.6%和 4.0%; 2011年,低、中、高密度栖息地内杂草斑面积分别为 94.88 m²、106.21 m²和 275.53 m²,占样地面积的 3.8%、4.6%和 11.0%,秃斑面积分别为 4.07 m²、55.59 m²和 85.01 m²,占样地面积的 0.2%、2.2%和 3.4%(表9)。2010年和2011年,高密度栖息地内杂草斑面积分别是低、中密度栖息地的 3.32倍、3.07倍和 2.90倍、2.59倍;中、高密度栖息地内秃斑面积分别是低密度栖息地的 15.74倍、24.45倍和 13.66倍、20.89倍。

表9 不同密度高原鼠兔栖息地内杂草斑和秃斑面积

Table 9 Area of weeds patch and bare patch in different plateau pika's densities habitat

密度 Density	年份 Year	杂草斑 Weeds patch				秃斑 Bald patch			
		个数 No.	平均值 Mean area (m ²)	总面积 Total area (m ²)	占样地面 积的比例 Percent (%)	个数 No.	平均值 Mean area (m ²)	总面积 Total area (m ²)	占样地面 积的比例 Percent (%)
LD	2010	88	1.14 ± 0.20	100.12 ± 17.69	4.00	10	0.41 ± 0.15	4.05 ± 1.54	0.16
	2011	83	1.14 ± 0.20	94.88 ± 16.55	3.80	8	0.51 ± 0.26	4.07 ± 2.11	0.16
MD	2010	62	1.75 ± 0.25	108.34 ± 15.45	4.33	36	1.77 ± 0.20	63.74 ± 7.18	2.55
	2011	57	1.86 ± 0.48	106.21 ± 27.33	4.25	33	1.68 ± 0.23	55.59 ± 7.43	2.22
HD	2010	156	2.13 ± 0.28	332.44 ± 44.41	13.30	144	0.69 ± 0.09	99.03 ± 12.38	3.96
	2011	137	2.01 ± 0.28	275.53 ± 38.48	11.02	117	0.73 ± 0.14	85.01 ± 16.71	3.40

数据以平均值 ± 标准误差表示. LD: 低密度, MD: 中密度, HD: 高密度

Values are presented as mean ± SE. LD: Low density, MD: Middle density, HD: High density

2.3.2 植物损失地上生物量

与对照组相比,2010年和2011年,高原鼠兔低、中、高密度栖息地植物损失地上生物量分别为 110.84 kg/hm²、203.18 kg/hm²、431.58 kg/hm²和 107.67 kg/hm²、189.46 kg/hm²、365.72 kg/hm²

(表10),随高原鼠兔密度增加而增加。低、中、高密度栖息地植物损失地上生物量在2010年分别占对照组的 2.3%、4.2%和 8.8%,在2011年分别占对照组的 2.2%、3.9%和 7.5%。

表10 不同密度高原鼠兔栖息地植物损失地上生物量

Table 10 Loss of aboveground biomass in different plateau pika's densities habitat

密度 Density	损失生物量 Loss of biomass (kg/hm ²)	
	2010	2011
低密度 Low density	110.84 ± 61.41	107.67 ± 61.64
中密度 Middle density	203.18 ± 62.39	189.46 ± 95.20
高密度 High density	431.58 ± 175.64	365.72 ± 162.30

数据以平均值 ± 标准差表示

Values are presented as mean ± SD

2.3.3 植物损失地上生物量与高原鼠兔密度的关系

随高原鼠兔密度增加, 植物损失地上生物量呈增加趋势, 最初增加速度较快, 但当高原鼠兔密度增加到一定程度时, 植物损失地上生物量增加速度趋于缓慢。植物损失地上生物量 (y) 与高原鼠兔密度 (x) 之间呈对数曲线关系 (图 1), 回归方程为:

$$\hat{y} = -458.23 + 177.75 \ln x \quad (R^2 = 0.725, P < 0.05)$$

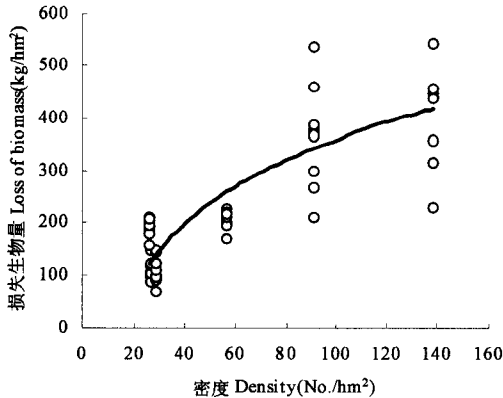


图 1 植物损失生物量与高原鼠兔密度的关系

Fig. 1 Relationship between loss of plant biomass and the plateau pika's density

高原鼠兔的密度很低时, 对高寒草甸资源造成的损失并不严重, 但超过临界数值 (即将 $y=0$ 代入回归方程求得的 $x=13.17$), 高原鼠兔对草甸的危害会随密度增加而增加, 因此可将临界数值作为预防危害的指标。

3 讨论

与对照相比, 高原鼠兔的活动显著降低了植物盖度和平均高度。随高原鼠兔密度增加, 杂草斑上禾草盖度和杂类草的平均高度均呈下降趋势; 秃斑上, 莎草盖度和平均高度呈上升趋势, 而禾草平均高度、杂类草的平均高度和盖度呈下降趋势。高原鼠兔喜食禾草和豆科植物 (樊乃昌等, 1995; 刘伟等, 2008), 高原鼠兔密度增加, 对鼠洞周围禾草植物的采食量增加, 因而其盖度和平均高度降低。另外, 高寒草甸植物群落的平均高度由高大的禾草决定, 而高原鼠兔栖息地内杂草斑和秃斑是植物恢复演替的两个阶段, 植物群落均以高度较低的杂类草占绝对优势, 禾草量少, 且多为一年生植

物, 植株低矮, 所以杂草斑和秃斑植物平均高度要远远低于无鼠兔对照。植物平均高度的降低还与高原鼠兔理想栖息地环境有关, 它们将较高植物视为一种风险源, 因而对较高植物进行刈割, 降低植物平均高度 (刘伟等, 2009a), 以保持开阔的防御视野, 从而能有效发现和逃避捕食者。

随高原鼠兔密度增加, 植物总地上生物量和禾草、豆科植物地上生物量均呈下降趋势, 而杂类草地上生物量则呈上升趋势, 这与孙飞达等 (2008) 的研究结果基本一致。高原鼠兔的选择性取食, 使生长在一起的植物种发生相反的变化, 一种被取食, 另一种因获得更多资源而迅速发展 (Holt, 1984)。也有研究表明, 黑尾草原犬鼠 (*Cynomys ludovicianus*) 重度采食和长期采食的区域, 植物群落组成发生变化, 禾草消失, 杂类草和灌木的丰富度增加 (Coppock *et al.*, 1983)。另外, 植物在遭受干扰时, 生活史对策发生相应的变化, 大多数植物存在无性生殖和有性繁殖之间的均衡, 种子的形态生长也受到干扰, 干扰严重时种子繁殖受阻, 无性生殖将占据主要地位 (刘志民等, 2003)。在植物群落恢复演替过程中, 由高原鼠兔活动所形成的裸露土丘为先锋种植物的繁殖提供了场所, 一年生草本植物可迅速完成其生活史, 在群落中占绝对优势; 而杂草斑上一年生草本所占比例有所下降, 以无性生殖为主的多年生杂类草在植物群落中占优势, 植物群落的多样性增加, 功能逐渐恢复。

具稳定性群体的小型动物, 缺乏像大型动物那种迁徙能力, 当食物资源贫乏时, 它们会扩大领域 (Herrera and Detling, 1989)。因此随高原鼠兔密度增加, 栖息地内由于鼠兔干扰形成的杂草斑和秃斑的面积增加, 植物损失地上生物量也随之增加。刘季科等 (1980) 研究表明, 高原鼠兔的数量与危害面积率之间、与损坏产草量之间存在显著的对数曲线关系, 最初随高原鼠兔数量增加, 危害面积率增加速度较快, 但是当高原鼠兔的数量增加到一定程度时, 危害面积率增加速度则趋于缓慢。这是由于随高原鼠兔密度增加, 其危害面积不断扩大, 所处栖息地条件也随之变劣, 但危害面积率不会随鼠兔密度增加而无限增加。本文也得出相似的结果。

高原鼠兔的取食和挖掘等活动对栖息地内植物群落特征有明显影响, 但植物群落特征的变化对高

原鼠兔的密度也有一定的反作用。栖息地植被是制约高原鼠兔数量的重要因素, 高原鼠兔的密度与植物群落的高度和盖度有直接关系, 植物低矮稀疏的栖息地有利于高原鼠兔的栖息 (施银柱, 1983)。高原鼠兔对栖息地的选择趋向于植被分布的不均匀性, 尤其喜欢有裸地零散分布的生境, 在一定范围内, 高原鼠兔的密度随植被均匀度的下降而增加, 且两者存在显著的线性相关关系 (江小蕾, 1998)。本文结果表明, 栖息地内杂草斑和秃斑面积随高原鼠兔密度增加而增加, 导致植物群落斑块状分布明显, 高原鼠兔栖息地异质性增加, 这又为高原鼠兔的入侵和生存提供了理想栖息地。刘伟等 (2009b) 研究表明, 高原鼠兔在冬季主要采食杂类草中的弱小火绒草和铺散亚菊 (*Ajania khartensis*), 生长季节杂草斑和秃斑上杂类草地上生物量的上升为高原鼠兔冬季生存提供食物, 有利于其顺利越冬。另外, 杂草斑和秃斑的形成导致高寒草甸中一年生草本植物增多, 高原鼠兔的食物资源谱增加, 为提高高原鼠兔自身适合度提供条件。

参考文献:

- Bian J H, Jing Z C, Fan N C, Zhou W Y. 1999. Influence of cover on habitat utilization of plateau pika (*Ochotona curzoniae*). *Acta Theriologica Sinica*, **19** (3): 212–219. (in Chinese)
- Copcock D L, Ellis J E, Detling J K, Dyer M I. 1983. Plant-herbivore interactions in a North American mixed-grass prairie II. Responses of bison to modification of vegetation by prairie dogs. *Oecologia*, **56**: 10–15.
- Fan N C, Jing Z C, Zhang D C. 1995. Studies on the food resource niches of plateau pika and daurian pika. *Acta Theriologica Sinica*, **15** (1): 36–40. (in Chinese)
- Fen Z J, Zheng C L. 1985. Studies on the pikas (genus: *Ochotona*) of China—taxonomic notes and distribution. *Acta Theriologica Sinica*, **5** (4): 269–290. (in Chinese)
- Herrera E A, Detling D W. 1989. Resource utilization and territoriality in group-living capybaras (*Hydrochirus hydrocharris*). *J Anim Ecol*, **58**: 667–669.
- Holt R D. 1984. Spatial heterogeneity, indirect interactions and the coexistence of prey species. *American Nature*, **124**: 377–406.
- Jiang X L. 1998. Relationship of population quantities of plateau pika with vegetation homogeneity. *Acta Pratacultural Sinica*, **7** (1): 60–64. (in Chinese)
- Li W J, Zhang Y M. 2006. Impacts of plateau pikas on soil organic matter and moisture content in alpine meadow. *Acta Theriologica Sinica*, **26** (4): 331–337. (in Chinese)
- Liu J K, Zhang Y Z, Xin G W. 1980. Relationship between numbers and degree of harmfulness of the plateau pika. *Acta Zoologica Sinica*, **26** (4): 378–385. (in Chinese)
- Liu W, Zhang Y, Wang X, Zhao J Z, Xu Q M, Zhou L. 2009. The relationship of the harvesting behavior of plateau pikas with the plant community. *Acta Theriologica Sinica*, **29** (1): 40–49.
- Liu W, Xu Q M, Wang X, Zhao J Z, Zhou L. 2010. Influence of burrowing activity of plateau pikas (*Ochotona curzoniae*) on nitrogen in soils. *Acta Theriologica Sinica*, **30** (1): 35–44. (in Chinese)
- Liu W, Zhang Y, Wang X, Zhao J Z, Xu Q M, Zhou L. 2008. Food selection by plateau pikas in different habitats during plant growing season. *Acta Theriologica Sinica*, **28** (4): 358–366. (in Chinese)
- Liu W, Zhang Y, Wang X, Zhao J Z, Xu Q M, Zhou L. 2009. Food selection pattern for plateau pika in winter. *Acta Theriologica Sinica*, **29** (1): 12–19. (in Chinese)
- Liu Z M, Jiang D M, Gao H Y, Chang X L. 2003. Relationships between plant reproductive strategy and disturbance. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **14** (3): 418–422. (in Chinese)
- Shi Y Z. 1983. On the influences of range land vegetation to the density of plateau pika (*Ochotona curzoniae*). *Acta Theriologica Sinica*, **3** (3): 182–188. (in Chinese)
- Smith A T, Fogg M J. 1999. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan plateau. *Animal Conservation*, **2**: 235–240.
- Su D X. 2001. The management, protection, and regional planning of grassland in West China. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, **22** (1): 14–15. (in Chinese)
- Sun F D, Long R J, Jiang W L, Lu C X. 2008. Biomass distribution characteristics of alpine meadow under different burrowing plateau pika density in Guoluo region, Qinghai Province. *Acta Agrestia Sinica*, **16** (5): 475–479. (in Chinese)
- Zhou X R, Guo Z G, Guo X H. 2010. The role of plateau pika and plateau zokor in alpine meadow. *Pratacul Tural Science*, **27** (5): 38–44. (in Chinese)
- 边疆晖, 景增春, 樊乃昌, 周文扬. 1999. 地表覆盖物对高原鼠兔栖息地利用的影响. 兽类学报, **19** (3): 212–219.
- 冯祚建, 郑昌琳. 1985. 中国鼠兔属的研究—分类与分布. 兽类学报, **5** (4): 269–290.
- 江小蕾. 1998. 植被均匀度与高原鼠兔种群数量相关性研究. 草业学报, **7** (1): 60–64.
- 刘季科, 张云占, 辛光武. 1980. 高原鼠兔数量与危害程度的关系. 动物学报, **26** (4): 378–385.
- 刘伟, 许庆民, 王溪, 赵建中, 周立. 2010. 高原鼠兔挖掘活动对土壤中氮素含量的影响. 兽类学报, **30** (1): 35–44.
- 刘伟, 张毓, 王溪, 赵建中, 许庆民, 周立. 2009a. 高原鼠兔刈割行为与栖息地植物群落的关系. 兽类学报, **29** (1): 40–49.
- 刘伟, 张毓, 王溪, 赵建中, 许庆民, 周立. 2009b. 高原鼠兔冬季的食物选择. 兽类学报, **29** (1): 12–19.

- 刘伟, 张毓, 王溪, 赵建中, 许庆民, 周立. 2008. 植物生长季节不同栖息地高原鼠兔的食物选择. 兽类学报, **28** (4): 358 - 366.
- 刘志民, 蒋德明, 高红瑛, 常学礼. 2003. 植物生活史繁殖对策与干扰关系的研究. 应用生态学报, **14** (3): 418 - 422.
- 孙飞达, 龙瑞军, 蒋文兰, 路承香. 2008. 青海果洛地区不同鼠洞密度下高寒草甸植物生物量分布特征. 草地学报, **16** (5): 475 - 479.
- 李文靖, 张堰铭. 2006. 高原鼠兔对高寒草甸土壤有机质及湿度的作用. 兽类学报, **26** (4): 331 - 337.
- 苏大学. 2001. 西部草原治理与保护区划. 中国农业资源与区划, **22** (1): 14 - 15.
- 汪诚信, 潘祖安. 1981. 灭鼠概论. 北京: 人民卫生出版社, 277 - 288.
- 周雪荣, 郭正刚, 郭兴华. 2010. 高原鼠兔和高原鼯鼠在高寒草甸中的作用. 草业科学, **27** (5): 38 - 44.
- 施银柱. 1983. 草场植被影响高原鼠兔密度的探讨. 兽类学报, **3** (3): 182 - 188.
- 樊乃昌, 景增春, 张道川. 1995. 高原鼠兔与达乌尔鼠兔食物资源维生态位的研究. 兽类学报, **15** (1): 36 - 40.