

高原鼠兔挖掘活动对植物种的丰富度和地上生物量的影响

刘伟¹ 李里² 严红宇² 孙海群³ 张莉²

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

(3 青海大学农牧学院, 西宁 810016)

摘要: 用空间序列代替时间序列的方法, 分析了高原鼠兔挖掘形成的鼠丘上和鼠丘间植物群落物种丰富度、物种组成和地上生物量的变化, 探讨鼠兔挖掘活动对植物群落的影响。结果表明: 多年鼠丘上植物种类丰富度较高, 分别比两年鼠丘和对照增加 25.0% 和 17.5%; 多样性指数变化趋势为对照 > 多年鼠丘 > 两年鼠丘, 种的均匀度变化趋势为对照 > 多年鼠丘 > 两年鼠丘; 两年鼠丘和多年鼠丘、对照之间群落系数较低, 分别为 0.346 2 和 0.285 7, 显示了它们在植物种类组成上存在较大差异; 地上生物量变化趋势为多年鼠丘 > 两年鼠丘 > 对照, 且多年鼠丘上植物地上生物量显著高于两年鼠丘和对照 ($F_{\text{多年-对照}} = 13.544 0$, $F_{\text{多年-两年}} = 11.768 2$, $P < 0.05$), 分别增加了 66.3% 和 77.8%。高原鼠兔的挖掘活动有利于增加物种丰富度和自身的适应性, 但就高原鼠兔栖息地植物群落而言, 考虑到一定数量当年鼠丘的存在, 地上生物量呈下降趋势。

关键词: 高原鼠兔; 挖掘活动; 种的丰富度; 种的多样性

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050 (2012) 03-0216-05

Effects of burrowing activity of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on plant species richness and aboveground biomass

LIU Wei¹, LI Li², YAN Hongyu², SUN Haiqun³, ZHANG Li²

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

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(3 Qinghai Agriculture and Animal Husbandry College, Qinghai University, Xining 8100016, China)

Abstract: Using an approach of spatial sequence instead of temporal sequence, we analyzed the change in plant community species richness, species composition and aboveground biomass among plateau pika (*Ochotona curzoniae*) mounds and non-mound (control), and explained the effect of burrowing activities of pikas on the plant community on mounds. The results showed that the plant species richness in the older mound increased by 25.0% and 17.5% respectively compared to the two-year mound and control. The trend of species diversity index was control > older mound > two-year mound, and species evenness was control > older mound > two-year mound. There were great differences in plant composition among the two-year mound, the older mound and the control, and the community coefficients were 0.346 2 and 0.285 7 respectively. The aboveground biomass of the older mound was significant higher than two-year mound and the control ($F_{\text{old mound-control}} = 13.544 0$, $F_{\text{old mound-two-year}} = 11.768 2$, $P < 0.05$), and increased by 66.3%, 77.8% respectively compared to the two-year mound and control. Burrowing activities of pikas favor an increase in species richness and the fitness to themselves, but in terms of habitat plant community of pikas, taking a certain number new mounds into account, the aboveground biomass declined.

Key words: Burrowing activity; Plateau pika; Species diversity; Species richness

在陆地生态系统中, 食草者可决定植物群落的生产力和物种的组成, 甚至限制某一植物类群的生长 (Louda, 1982), 而食草者对植物生长、植物群落组成的作用受放牧强度、放牧时间以及放牧间隔时间等诸多因素的影响 (Chapin and McNaugh-

ton, 1989; Oosterheld and McNaughto, 1991)。这些影响有些是有益的, 有些是不利的 (McNaughton, 1983; Hik and Jefferies, 1990; Tunner *et al.*, 1993; McNaughton *et al.*, 1997; Eliot and Hik, 2005)。在食草者—植物关系的研究中, 小型哺乳

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30970498)

作者简介: 刘伟 (1965-), 男, 博士, 主要从事草地生态学研究。E-mail: liuwei@nwipb.cas.cn

收稿日期: 2012-03-04; 修回日期: 2012-05-07

动物鼠兔（麝鼠兔 *Ochotona princeps*，高原鼠兔 *O. curzoniae*）与植物的协同进化一直为草原生态学研究的重点领域之一。研究表明，麝鼠兔的生命活动，诸如取食、挖掘、贮草对植物群落物种丰富度、生产力均产生不同的影响（Huntly et al., 1986; Eliot and Hik, 2005），同时，高原鼠兔挖掘活动可增加环境的异质性，对鸟类的分布和多样性产生影响（Chien and Smith, 2003），因此被称为草地生态系统的关键种（keystone species）和异源工程师（allogenic engineers）而引起广泛的重视（Aho et al., 1998; Smith and Foggin, 1999）。

高原鼠兔主要分布于青藏高原及其毗邻的尼泊尔、锡金地区，是青藏高原高寒草甸主要的优势种小型哺乳动物（冯祚建和郑昌琳，1985）。在挖掘活动过程中，地表下土壤被大量推至地表形成鼠丘，不仅改变了土壤原有的结构和形态，而且增加了土壤表层湿度、有机质含量及速效 N 成分（李文靖和张堰铭，2006；刘伟等，2010），进而对栖息地植物群落产生影响。因此，本研究拟通过测定非鼠丘区域、两年和多年鼠丘区域植物群落的变化，探讨高原鼠兔挖掘活动对植物群落物种组成、物种丰富度和地上生物量的影响。

1 研究方法

1.1 研究地区自然概况

研究区域位于青海省果洛藏族自治州玛沁县大武乡格多地区，地理位置为北纬 $34^{\circ}17' \sim 34^{\circ}25'$ ，东经 $100^{\circ}26' \sim 100^{\circ}43'$ ，平均海拔 4 120 m。该地区气候具有典型的高原大陆性气候特点，无明显的四季之分，仅有冷暖之别，冷季漫长，干旱且寒冷；暖季短暂，潮湿而阴冷，年温差较小，而日温差较大，全年无绝对无霜期，年降水量为 420 ~ 560 mm，多集中在 6 ~ 10 月。土壤为高山灌丛草甸土，土壤表层和亚表层中的有机质含量丰富（刘伟等，2008）。

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*），主要的伴生种有高山嵩草（*K. pygmaea*）、二柱头蔗草（*Scirpus distigmaticus*）、垂穗披碱草（*Elymus nutans*）、早熟禾（*Poa annua*）、长颈藁本（*Ligusticum thomsonii*）、甘肃棘豆（*Oxytropis kansuensis*）、铺散亚菊（*Ajania khartensis*）、弱小火绒草（*Leontopodium pusillum*）、短穗兔耳草（*Lagotis achystachya*）等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择

研究样地为冬春草场中度退化的矮嵩草草甸。样地面积为 $1\ 000\text{ m} \times 800\text{ m}$ ，为避免大型食草动物的啃食，样地采用网围栏封闭。野外试验于 2010 年 8 月 20 ~ 30 日在该地区的植物生长季末进行。

1.2.2 鼠丘的选择

鼠丘为高原鼠兔建立新洞道或雨后维护原有洞道时从地表以下推出疏松土壤而形成的圆或椭圆形土堆，依据堆积时间的长短分为当年鼠丘、两年鼠丘和多年鼠丘三类。分类标准如下：当年鼠丘体积较大，形状为较规则的圆丘，土壤颜色为褐色，土壤颗粒结构松散，土壤湿度较大，最显著的特点是堆积的鼠丘上几乎没有任何植物生长；两年鼠丘表面的土壤有些板结，有少量的植物生长；多年鼠丘土壤表面颜色基本与鼠丘周围土壤一致，土壤表面已经完全板结，鼠丘上生长有大量的植物。由于当年鼠丘上植物很少，在封闭样地内，仅选择两年和多年鼠丘进行取样，每类鼠丘各选取 10 个，在鼠丘边缘用带有号码牌的木桩标记（刘伟等，2010）。

1.2.3 植物群落调查

采用样方法于 2010 年 8 月 25 ~ 26 日分别选择鼠丘间区域（对照）、高原鼠兔两年鼠丘和多年鼠丘各 10 个。由于鼠丘形状的不规则，采用 $0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m}$ 的小样方取样，并测定植物群落的总盖度、分盖度和高度，然后分种齐地面刈割，带回实验室在 70°C 烘箱中烘干 24 h，称重记录。盖度采用目测法测量，植株高度利用钢卷尺测量，为自然状态下植物最高处至地面的垂直距离。

1.2.4 数据分析

重要值： $IV = (\text{相对盖度} + \text{相对生物量}) / 2$

物种丰富度指数： $R = S$

物种多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数：

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

均匀度指数的计算采用 Pielou 指数：

$$J = H' / \ln S$$

式中， P_i 为种 i 的相对重要值， S 为 i 种所在样方的物种总数。

非鼠丘区域、两年鼠丘和多年鼠丘植物群落比较采用相似性指数分析（Horn, 1966）：

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

式中， x_i 为第 i 种植物在所在植物群落类型样

方内的所占比例, y_i 为 i 种植物在另一植物群落类型样方内所占比例; 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。

2 结果

2.1 不同鼠丘植物群落物种丰富度和多样性的变化

表 1 不同处理物种丰富度和多样性指数比较

Table 1 Comparison of species richness and diversity in different treatments

处理组 Treatment	物种丰富度 Species richness	物种多样性 Species diversity	均匀度 Evenness
两年鼠丘 Two-year mound	30	3.0968	0.6311
多年鼠丘 Old mound	40	3.8276	0.7192
对照 Control	33	4.0233	0.7976

2.2 物种组成变化

不同鼠丘上不仅物种的丰富度不尽一致, 而且物种组成亦存在着较大差异。在两年鼠丘上, 莎草科植物仅黑褐苔草 (*Carex moorcraftii*) 1 种 (表 2), 禾本科植物 2 种, 为垂穗披碱草和早熟禾, 豆科植物 2 种, 为甘肃棘豆和茵垫黄芪 (*Astragalus chilienshanensis*); 而在多年鼠丘上, 莎草科植物、禾本科植物和豆科植物分别为 4、4 和 3 种; 在其余的杂类草中, 两年与多年鼠丘上杂类草种类均高于对照, 且在多年鼠丘和对照中出现的常见种

高原鼠兔挖掘活动将地下土壤推至表层, 形成了次生裸地, 引起植物群落的次生演替。通常情况下, 在第一年很少或没有植物侵入, 进入第二年, 鼠丘上出现大量植物, 而多年鼠丘上植物生长茂盛, 物种丰富度增加, 且高于两年鼠丘 25% 和对照 17.5% (表 1)。物种多样性指数和均匀度指数在对照中较高, 多年鼠丘上较低, 而在两年鼠丘上最低, 显示了与物种丰富度的变化不尽一致。

植物, 如短穗兔耳草、弱小火绒草、美丽风毛菊 (*Saussurea superba*)、黄帚橐吾 (*Ligularia virgaurea*)、唐古特毛茛 (*Ranunculus tanguticus*)、丝梗婆婆纳 (*Veronica filipes*)、黑边假龙胆 (*Gentiana azurea*) 等在两年鼠丘植物群落中不存在, 而在多年鼠丘和对照中很少或不出现的植物, 如灰藜 (*Chenopodium album*)、藏芥 (*Hedinia tibetica*)、蜜花香薷 (*Elsholtzia densa*)、叠裂黄堇 (*Corydalis dasyspeta*)、羽叶点地梅 (*Pomatosace filicula*) 等却存在于两年鼠丘植物群落中。

表 2 不同处理主要植物种类组成比较

Table 2 Comparison of plant species composition in different treatments

处理组 Treatment	莎草科 Sedges	禾本科 Grasses	豆科 Legume	杂类草 Forbs
两年鼠丘 Two-year mound	1	2	2	25
多年鼠丘 Old mound	4	4	3	29
对照 Control	4	3	3	23

为了更好地说明鼠丘及鼠丘和对照之间植物群落种的组成差异, 采用群落相关系数比较其相似程度 (表 3)。可以看出, 多年鼠丘植物群落种的组

成和对照较为接近, 相似程度为 55.3%, 而两年鼠丘与多年鼠丘、对照间植物群落种的组成差异明显, 其相似程度分别为 34.6% 和 28.6%。

表 3 不同处理间植物群落系数比较

Table 3 Comparison of community coefficient among different treatments

处理组 Treatment	两年鼠丘 Two-year mound	多年鼠丘 Old mound	对照 Control
两年鼠丘 Two-year mound	1		
多年鼠丘 Old mound	0.3462	1	
对照 Control	0.2857	0.5532	1

2.3 地上生物量变化

鼠丘上植物群落地上部分生物量均高于对照

(图 1)。其中, 多年鼠丘上地上生物量比对照增加了 77.8%, 两年鼠丘比对照增加了 11.0%, 且多

年鼠丘比两年鼠丘生物量增加了 60.3%。方差分析结果表明：多年鼠丘植物群落地上生物量显著高于两年鼠丘和对照 ($F_{\text{多年}-\text{对照}} = 13.5440$, $F_{\text{多年}-\text{两年}} = 11.7682$, $P < 0.05$)。

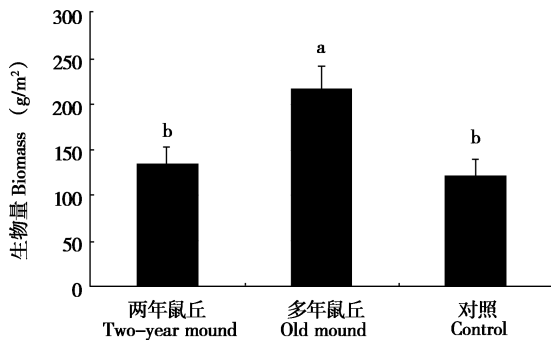


图 1 鼠丘上植物群落地上生物量变化。柱状图顶部字母相同表示二者之间差异不显著 ($P > 0.05$)

Fig. 1 Aboveground biomass of plant community in different treatments. Bars topped with the same letter are not significantly different ($P > 0.05$)

3 讨论

3.1 物种丰富度增加的机理

Huntly 和 Reichman (1994) 的研究结果表明, 与没有挖掘活动的区域比较, 动物的挖掘活动对土壤表面的干扰可以增加植物种的丰富度; 在北美草原, 作为草地生态系统关键种——草原狗 (*Cynomys ludovicianus*) 的干扰结果是提高了物种多样性 (Whicker and Detling, 1988; Stapp, 1998); 在蒙古草原, 达乌尔鼠兔 (*O. daurica*) 的挖掘活动有利于增加当地植物花的多样性 (Dmitriev, 1985); 某些植物, 如 *Euphorbia altaica*, *Artemisia* spp 以及一些十字花科植物仅生长在帕氏鼠兔 (*O. pallasii pricei*) 鼠丘上 (Smith et al., 1990)。高原鼠兔的挖掘活动不仅可以改变原有的土壤形态, 增加环境的异质性, 且其废弃的洞穴为当地的多种地鸦 (*Pseudopodoces humilis*) 和雪雀 (*Montifringilla adamsi*, *M. blanfordi*, *M. davidiana*, *M. ruficollis*, *M. taczanowski*) 等鸟类提供了巢穴和繁殖场所, 增加了当地鸟类的种群数量和物种多样性, 并为当地鸟类和兽类捕食者提供食物, 因而被称为维持高寒草甸生态系统生物多样性的关键种 (Smith and Foggin, 1999)。在挖掘活动过程中, 高原鼠兔将大量土壤推至地表, 并形成鼠丘, 为植物的次生演替奠定了基础。我们的试验结果显示, 物种丰富度的变化趋势为多年鼠丘 > 对照 > 两年鼠丘, 说明高原鼠兔的挖掘活动有利于增加物种丰富度, 与上述

的研究结果基本一致。

鼠丘上植物种从无到有, 从少到多, 是一种典型的次生演替过程。在次生演替过程中, 两年鼠丘为演替的初级阶段。此时, 鼠丘上植物种类多为先锋种植物, 如灰藜、藏芥、蜜花香薷等, 禾本科、豆科和莎草科植物均较少, 因此鼠丘上物种丰富度较低。而多年鼠丘土壤已经板结, 并形成草皮层, 已接近或类似于非鼠丘区域植物群落。不仅有先锋种植物, 同时高寒草甸常见的伴生种植物也已侵入, 如弱小火绒草、唐古特毛茛、黑边假龙胆等, 同时, 禾本科和莎草科植物种类增加, 因此物种最为丰富, 甚至多于对照。而此时的物种多样性指数并没随着物种数量的增加而增加, 却低于对照。我们认为这与每个物种在植物群落中的功能和地位分配有关。多年鼠丘植物群落在演替过程中, 在增加高寒草甸主要伴生种的同时, 保留了某些次生裸地上生长的植物种, 如高山紫菀 (*Aster alpinus*)、伏毛铁棒锤 (*Aconitum pendulum*)、西藏微孔草 (*Microula tibetica*)、白包筋骨草 (*Ajuga lupulina*)、拉拉藤 (*Galium verum*) 等, 这些种类在多年鼠丘上仅占有很小的比例 (分别为 0.3%, 0.4%, 0.6%, 0.1% 和 0.2%), 导致了植物种分布的不均匀, 从而引起多样性指数低于对照。

3.2 挖掘活动对植物群落地上生物量的影响

在高寒草甸生态系统, 不同施肥量和施肥时间均对植物群落生产力、群落物种组成及多样性指数产生明显的影响 (马玉寿等, 2003; 陈亚明等, 2004; 邱波等, 2004), 表明了植物生长受到养分, 特别是氮元素的限制。高寒草甸土壤有机质含量丰富, 但由于气候寒冷, 死亡根系的分解归还作用速度缓慢, 使得本就贫乏的土壤养分成为有机态存贮于土壤, 土壤表现出全量养分丰富, 而速效养分贫乏的特点。而鼠类的挖掘活动过程中, 深层土壤被移至地表, 不仅增加了土壤通透性 (Laundre, 1993), 加速水分渗透, 增加土壤含水量和有机质含量 (Desmet et al., 1999; Kerley and Withford, 2004; 李文靖和张堰铭, 2006), 而且加速了速效养分的释放, 使土壤中有效养分含量上升 (Karsten et al., 2007; 刘伟等, 2010), 从而有利于植物群落生产力的提高。我们的试验结果也证实, 在多年鼠丘上, 植物群落地上部分生物量显著高于两年鼠丘和对照。

高原鼠兔的挖掘活动不仅有利于增加鼠丘上植物种的丰富度, 同时, 亦有利于增加高原鼠兔自身

的适应性,主要表现在以下两个方面:1.高原鼠兔的挖掘活动,改变了原有栖息地环境的异质性,植物群落均匀度下降(表1),有利于高原鼠兔种群数量的增加(江小蕾,1998);2.鼠丘上植物群落组成中,禾本科植物种类较多(表2),为高原鼠兔提供了丰富的食物资源,有利于高原鼠兔的取食(刘伟等,2008)。高原鼠兔的挖掘活动仅表现在两年和多年鼠丘上植物群落地上生物量增加,而当年鼠丘上植物很少或几乎没有植物生长,因此对于栖息地植物群落地上生物量而言,生物量不仅没有增加,相反呈下降趋势。

参考文献:

- Aho K, Huntly N J, Moen J, Oksanen T. 1998. Pikas (*Ochotona princeps*; Lagomophya) as allogenic engineers in an alpine ecosystem. *Oecologia*, **114**: 405 - 409.
- Chapin F S III, McNaughton S J. 1989. Lack of compensatory growth under phosphorus deficiency in grazing-adapted grasses from the Serengeti Plains. *Oecologia*, **79**: 551 - 557.
- Chen Y M, Li Z Z, Du G Z. 2004. Effects of fertilization on plant diversity and economic herbage groups in alpine meadow. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, **24** (3): 424 - 429. (in Chinese)
- Chien H L, Smith A T. 2003. Keystone status of plateau pikas (*Ochotona curzoniae*): effect of control on biodiversity of native birds. *Biodiversity and Conservation*, **12**: 1901 - 1912.
- Desmet P G, Cowling R M. 1999. Patch creation by fossorial rodents: a key process in the revegetation of phytotoxic arid soils. *J Arid Environments*, **43**: 35 - 45.
- Dmitriev P P. 1985. The relationship between some shrubs of the Mongolian steppes and colonies of mammals. *Zh Obshch Biol*, **46**: 661 - 669.
- Eliot J B M, Hik D S. 2005. Influences of chronic and current season grazing by collared pikas on above-ground biomass and species richness in subarctic alpine meadows. *Oecologia*, **145**: 288 - 297.
- Feng Z J, Zheng C L. 1985. Studies on the pikas (Genus: *Ochotona*) of China-Taxonomic notes and distribution. *Acta Theriologica Sinica*, **5**: (4): 269 - 289. (in Chinese)
- Hik D S, Jefferies R L. 1990. Increase in the net aboveground primary production of a salt-marsh forage grass: a test of the predictions of the herbivore-optimization model. *J Ecol*, **78**: 180 - 195.
- Horn H S. 1966. Measurement of "overlap" in comparative oecological studies. *Amer Nat*, **100**: 419 - 424.
- Huntly N J. 1987. Influence of refuging consumers (Pikas: *Ochotona princeps*) on subalpine meadow vegetation. *Ecology*, **68**: 274 - 283.
- Huntly N J, Reichman O J. 1994. Effect of subterranean mammalian herbivores on vegetation. *J Mammal*, **75**: 852 - 859.
- Huntly N J, Smith A T, Ivins B L. 1986. Froaging behavior of the pika (*Ochotona princeps*), with comparisons of grazing versus haying. *J Mammal*, **67**: 139 - 148.
- Jiang X L. 1998. Relationship of population quantities of plateau pika with vegetation homogeneity. *Acta Prataculturae Sinica*, **7** (1): 60 - 64. (in Chinese)
- Karsten W, Karin N, Vroni R. 2007. Habitat engineering under dry conditions: The impact of pikas on vegetation and site conditions in southern Mongolian steppes. *J Vegetation Science*, **18**: 665 - 674.
- Kerley G I H, Withford W G. 2004. Effects of pocket gophers on desert soils and vegetation. *J Arid Environment*, **58**: 155 - 166.
- Laundre J W. 1993. Effects of small mammal burrows on water in filtration in a cool desert environment. *Oecologia*, **94**: 43 - 48.
- 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 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)
- Louda S M. 1982. Distribution ecology: variation in plant recruitment over a gradient in relation to insect. *Ecological Monographs*, **52** (1): 25 - 41.
- Ma Y S, Lang B N, Li Q Y, Shi J J, Dong Q M. 2003. Effect of fertilizing nitrogen rate and time on Kobresia pymaea meadow grassland. *Pratacultural Science*, **20** (3): 47 - 49. (in Chinese)
- McIntire E J B, Hik D S. 2005. Influences of chronic and current season grazing by collared pikas on above-ground biomass and species richness in subarctic alpine meadows. *Oecologia*, **145**: 288 - 297.
- McNaughton S J. 1983. Compensatory plant growth as a response to herbivory. *Oikos*, **40**: 329 - 336.
- McNaughton S J, Banyikwa F F, McNaughton M M. 1997. Promotion of the cycling of diet-enhancing nutrients by African grazers. *Science*, **278**: 1798 - 1800.
- Oosterheld M, McNaughton S J. 1991. Effects of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing. *Oecologia*, **85**: 305 - 313.
- Qiu B, Luo Y J, Du G Z. 2004. The effect of fertilizer gradients on vegetation characteristics in alpine meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, **13** (6): 65 - 68. (in Chinese)
- Smith A T, Foggin J M. 1999. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan plateau. *Animal Conservation*, **2**: 235 - 240.
- Smith A T, Formozov A N, Hoffmann R S, Zheng C, Erbajeva M A. 1990. The Pikas. In: Chapman J A, Flux J A C eds. Rabbits, Hares and Pikas: Status Survey and Conservation Action Plan. Gland, Switzerland: IUCN. 14 - 60.
- Stapp P. 1998. A re-evaluation of the role of prairie dogs in Great Plains grasslands. *Conserv Biol*, **12**: 1253 - 1259.
- Turner C L, Seastedt T R, Dyer M I. 1993. Maximization of aboveground grassland production: the role of defoliation frequency, intensity and history. *Ecol Appl*, **3**: 175 - 186.
- Whicker A D, Detling J K. 1988. Ecological consequences of prairie dog disturbances. *BioScience*, **38**: 778 - 785.
- 马玉寿, 郎百宁, 李青云, 施建军, 董全民. 2003. 施氮量与施氮时间对小嵩草甸草地的影响. *草业科学*, **20** (3): 47 - 49.
- 冯祚建, 郑昌琳. 1985. 中国鼠兔属 (*Ochotona*) 的研究—分类与分布. *兽类学报*, **5** (4): 269 - 289.
- 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. 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.
- 李文靖, 张堰铭. 2006. 高原鼠兔对高寒草甸土壤有机质和湿度的作用. *兽类学报*, **26** (4): 331 - 337.
- 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.
- 陈亚明, 李自珍, 杜国祯. 2004. 施肥对高寒草甸植物多样性和经济类群的影响. *西北植物学报*, **24** (3): 424 - 429.
- 邱波, 罗燕江, 杜国祯. 2004. 施肥梯度对甘南高寒草甸植被特征的影响. *草业学报*, **13** (6): 65 - 68.