

# 高原鼠兔对高寒草甸土壤有机质及湿度的作用

李文靖<sup>1, 2</sup> 张堰铭<sup>1\*</sup>

(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)

**摘要:** 为探讨高原鼠兔对土壤理化性质的作用, 本研究于 2005年 8月, 采用灼烧和烘干法, 分别测定了高原鼠兔栖息及被灭杀地区土壤有机质含量及湿度。结果表明: 高原鼠兔栖息地区, 0~5 cm及 6~10 cm土壤层有机质含量和湿度均极显著或显著高于被灭杀地区; 11~30 cm土壤层, 二者无显著差异; 31~50 cm土壤层, 有机质含量差异极显著, 而土壤湿度则无显著差异。说明, 高原鼠兔活动可增加高寒草甸土壤表层有机质含量和湿度, 进而改变土壤理化性质, 促进生态系统物质循环。

**关键词:** 高寒草甸; 高原鼠兔; 土壤有机质; 土壤湿度

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 1050 (2006) 04 - 0331 - 07

## Impacts of plateau pikas on soil organic matter and moisture content in alpine meadow

L I Wenjing<sup>1,2</sup>, ZHANG Yanming<sup>1\*</sup>

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

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

**Abstract:** We investigated the impact of plateau pikas (*Ochotona curzoniae*) on the organic content and moisture content of soil in alpine meadow. Soil samples were collected in late summer 2005 from layers up to 50 cm deep from an area where pikas were at a density of ca. 50 ha<sup>-1</sup> (medium density) and from an area where no pikas were present following intensive control 18 years ago. The amount of organic matter in the soil was determined by mass loss on ignition (% by weight). Soil moisture content was determined by mass loss following drying (% by weight). In the top 10 cm of soil there was more organic matter and a higher moisture content in areas where pikas were present than where they were absent (organic matter ca. 23.20% vs ca. 17.05% and ca. 17.28% vs ca. 15.35%; moisture content ca. 54.05% vs ca. 41.03% and ca. 44.48% vs ca. 39.49%). Between 11 - 30 cm deep, both areas had similar soil organic matter (average ca. 15.35%; ca. 14.44% and ca. 13.55%) and water content (average ca. 39.15%; ca. 37.60% and ca. 34.00%). Between 31 - 50 cm deep there was more organic matter (ca. 13.74%) in areas where pikas were present than where they were absent (ca. 12.83%), but both areas had similar soil moisture content (average ca. 30.40%). Our results show that medium densities of plateau pikas can promote the material cycle in alpine meadow ecosystems.

**Key words:** Alpine meadow; Plateau pika (*Ochotona curzoniae*); Soil moisture; Soil organic matter

小哺乳动物广泛分布于世界各地, 是生态系统的重要组成部分, 此类动物不仅种类繁多, 且数量巨大, 对生态系统物质及能量循环具有重要的作用 (Clark *et al.*, 2005)。该类动物可通过挖掘、排泄、觅食等活动, 引起土壤理化性质发生变化, 从而改变物质循环速率。现研究表明, 囊鼠 (*Geomys*) 挖掘可改变土壤的空间结构, 直接或间接

影响土壤湿度及营养成分 (Reichman and Seabloom, 2002); 田鼠 (*Microtus longicaudas*, *M. richardsoni*, *M. montanus*) 亦可通过觅食改变栖息地碎屑 (litter) 的质量和数量, 对土壤的物质循环产生直接作用 (Sirotmak and Huntly, 2000); Clark 等 (2005) 对 5 种小哺乳动物 (*Peromyscus leucopus*, *P. maniculatus*, *Reithrodontomys fulvescens*, *R.*

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30470311); 国家科技部“十五”攻关资助项目 (2004BA528B); 西部之光联合学者资助项目  
作者简介: 李文靖 (1983 -), 男, 硕士研究生, 主要从事动物-植物系统研究。

收稿日期: 2006 - 01 - 09; 修回日期: 2006 - 04 - 05

\* 通讯作者, correspondence author, E-mail: zhangym@nwipb.ac.cn

montanus, *Signodon hispidus*) 粪尿输出量的研究结果表明, 小哺乳动物对物质循环的作用强度与大型野生哺乳动物基本相同; 北美鼠兔 (*Ochotona princeps*) 贮存干草以及澳大利亚本土小哺乳动物 (*Betongia penicillata*, *Isoodon obesulus*, *Potorous tridactylus*) 寻找食物时挖掘土壤及翻动落叶等活动均可对土壤形成过程、养分含量及植被演替产生重要的作用 (Aho *et al*, 1998; Martin, 2003)。小哺乳动物的觅食及挖掘等活动还可增加环境的异质性, 改变生态系统景观 (landscape) 特征, 进而, 影响无脊椎动物、鸟类及其它哺乳动物等的数量和分布 (Ceballos *et al*, 1999; Chien and Smith, 2003)。

高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 是青藏高原高寒草甸生态系统优势小型哺乳动物 (刘季科等, 1982; 宗浩等, 1991)。由于其食物生态位与家畜高度重叠, 且在退化、弃耕草地可长期保持较高的种群密度 (刘季科等, 1980), 一般认为高原鼠兔挖掘及觅食可改变微地形结构, 导致水土流失, 加剧冰融 (王权业等, 1996), 以及“黑土滩”的形成 (尚占环和龙瑞军, 2005)。因此, 该动物被视为青藏高原最主要的有害生物 (景增春等, 1991; Fan *et al*, 1999; 杨振宇和江小蕾, 2002)。然而, 亦有研究指出, 高原鼠兔挖掘活动可促进下层和表层土壤混合, 其地下网状通道系统能增加土壤通透性, 提高土壤水分涵养水平, 进而减少水土流失程度, 加快物质循环的速率 (Smith and Foggin, 1999)。上述非一致性的结论导致了对高原鼠兔在生态系统中作用认识的模糊性以及种群管理的不确定性。因此, 本研究拟通过分析高原鼠兔栖息地区土壤有机质含量及土壤湿度的变化规律, 评价高原鼠兔在高寒草甸生态系统物质循环中的作用, 检验高原鼠兔的活动可以改变土壤理化性质, 加快有机物分解速率的假设, 为该物种的管理提供一定的理论依据。

## 1 研究地区概况与研究方法

### 1.1 研究地区概况

本研究于 2005 年 8 月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区进行。该研究站地处  $37^{\circ}29' \sim 37^{\circ}45' N$ ,  $101^{\circ}12' \sim 101^{\circ}23' E$ , 海拔为 3 200 ~ 3 300 m, 年平均气温  $-1.6^{\circ}C$ , 平均年降水量 560 mm, 其中 79% 集中于 5 ~ 9 月 (李英年等, 2004)。该地区植被类型为矮蒿草 (*Kobresia humilis*) 草甸, 单子叶植物以针茅 (*Stipa sp.*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、嵩草 (*Kobresia sp.*)、

早熟禾 (*Poa sp.*)、苔草 (*Carex sp.*) 为主, 双子叶植物常见的有鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)、矮火绒草 (*Leontopodium nanum*)、雪白委陵菜 (*Potentilla nivea*)、二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*)、摩荇草 (*Morina chinensis*)、美丽风毛菊 (*Saussurea superba*) 等。土壤类型为高寒草甸土, 其表层有机质及 N、P、K 储量丰富, 潜在肥力高, 营养物质多以有机态存在, 矿化过程微弱, 养分有效率低 (乐炎舟等, 1982)。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地设置

依据高原鼠兔灭杀历史状况, 本研究选择两块样地: A 区, 位于定位站东侧 4 km 的乱海子, 自 1998 年以来, 未进行药物灭杀; B 区, 位于定位站西侧 3 km 的西大滩, 该区自 1988 年冬季药物灭杀高原鼠兔后, 种群未能恢复。A、B 两区均属平坦而开阔的冬春季放牧地。

#### 1.2.2 高原鼠兔种群密度的估计

采用样线法 (Merikallio, 1958) 估计高原鼠兔种群密度。在高原鼠兔活动高峰期 (上午 10: 00) (宗浩和夏武平, 1987), 分别在样地中部沿直线匀速步行, 同时统计两侧 10 m 范围内的高原鼠兔数量, 行走距离为 100 m, 10 次重复。种群密度计算公式如下:

$$\text{高原鼠兔密度} = \frac{n}{2ab} \times 10000 \quad (\text{Merikallio, 1958})$$

其中  $n$  为每次行走所见到的高原鼠兔的数量;  $a$  为每次步行的距离,  $b$  为单侧视线的宽度。

#### 1.2.3 土壤湿度测定

采用烘干法测定土壤湿度 (刘孝义, 1982)。2005 年 8 月中下旬, 在每一样地中部沿直线选取  $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$  的样方 20 个, 样方间隔 20 ~ 40 m。以地表面为基准将土壤划分为 0 ~ 5 cm, 6 ~ 10 cm, 11 ~ 15 cm, 16 ~ 20 cm, 21 ~ 30 cm, 及 31 ~ 50 cm 6 层, 每层取一定量的土壤, 置于土壤盒 (直径 50 mm, 高 30 mm), 60 烘箱内烘干 48 h, 测定样品湿度。精度为  $\pm 0.01 \text{ g}$ , 土壤湿度计算公式为:

$$\text{土壤湿度} = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad (\text{刘孝义, 1982})$$

式中,  $W_1$  为土壤湿重,  $W_2$  为土壤干重,  $W_3$  为土壤盒重。

#### 1.2.4 土壤有机质测定

采用灼烧法测定土壤有机质含量 (Storey, 1984)。将烘干土壤粉碎, 去除石砾及草根, 过

1 mm筛后,取 3~5 g装入坩锅,称量后,置于马福炉中,加温至 700 ,灼烧 3 h。冷却后再次称重,精度为  $\pm 0.0001$  g。按下式计算土壤有机质含量:

$$\text{土壤有机质含量} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_3} \times 100\% \quad (\text{Storer, 1984})$$

式中,  $W_1$  为灼烧前土壤与坩锅总重量,  $W_2$  为灼烧后土壤与坩锅总重量,  $W_3$  为坩锅重量。

### 1.3 统计分析

由于土壤有机质含量及湿度均为数值变量,经检验,所有的统计变量均符合正态分布。采用双因素 ANOVA (two-way ANOVA) 分别检验样地类型和土壤层次对土壤有机质含量和土壤湿度的独立作用及其交互效应。应用配对样本  $t$  检验 (paired-samples  $t$  test) 分别测定两样地相同土壤层有机质含量和湿度的差异性。全部分析由统计软件 SPSS

for Windows 11.5 完成。

## 2 结果

### 2.1 高原鼠兔种群密度

经测定, A 区高原鼠兔种群密度为  $48.0 \pm 4.3$  只 /  $\text{hm}^2$ , 与该地区历史资料比较, 属中密度水平 (梁杰荣, 1982; 景增春等, 1991); B 区为 0 只 /  $\text{hm}^2$ 。

### 2.2 土壤有机质

A、B 区不同土壤层, 有机质含量存在较大的差异 (图 1)。双因素 ANOVA 结果 (表 1) 表明, 不同栖息地和土层深度对土壤有机质含量均有极显著的独立作用和交互效应, 说明高原鼠兔的活动和土壤层次均对高寒草甸土壤有机质的含量产生影响, 且二者之间有极显著的交互效应。

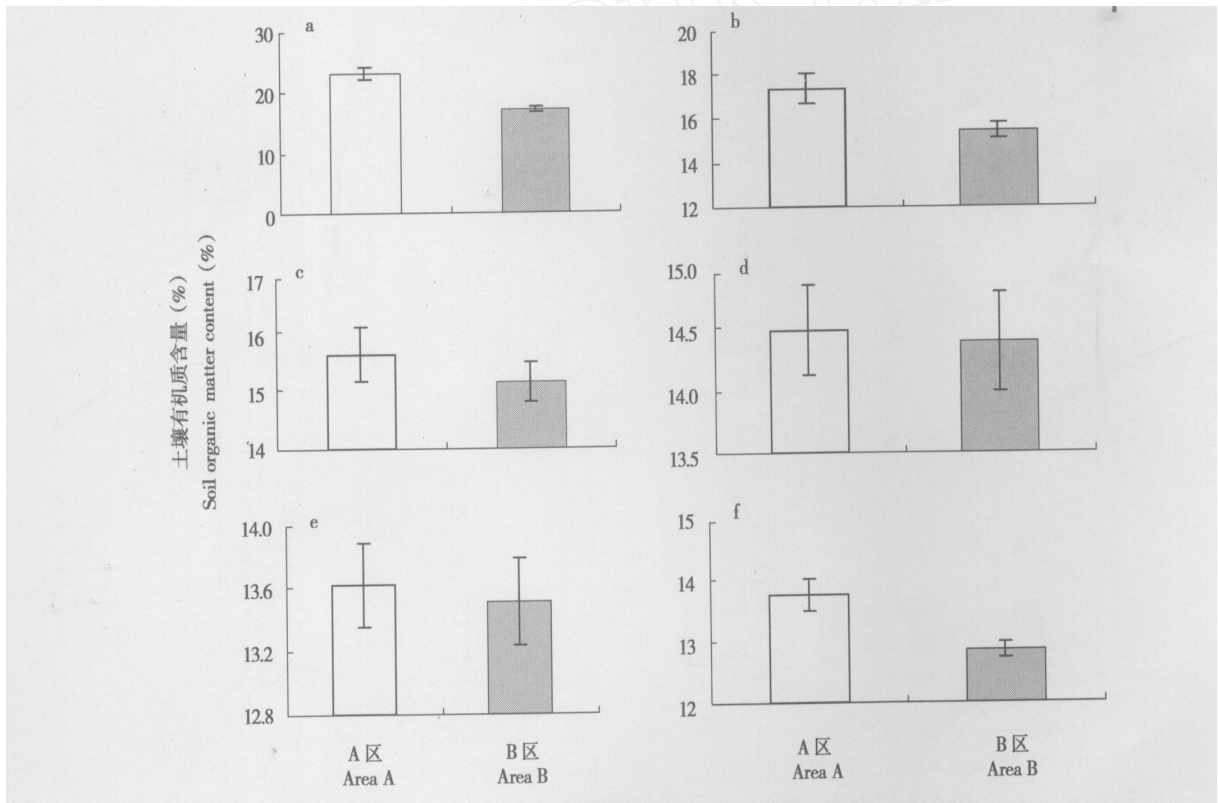


图 1 高原鼠兔栖息地不同层次土壤有机质的含量 (%) (平均值 ± 标准误); a: 0~5 cm 土壤层; b: 6~10 cm 土壤层; c: 11~15 cm 土壤层; d: 16~20 cm 土壤层; e: 21~30 cm 土壤层; f: 31~50 cm 土壤层

Fig. 1 Soil organic matter content (%) (M ± SE) of different depth in the habitats of plateau pika: a: layer of 0 - 5 cm; b: layer of 6 - 10 cm; c: layer of 11 - 15 cm; d: layer of 16 - 20 cm; e: layer of 21 - 30 cm; f: layer of 31 - 50 cm.

相同土壤层次, A 区土壤有机质含量均高于 B 区 (图 1)。配对样本  $t$  检验结果表明, 两地相同土壤层, 有机质含量的差异性不一致: 0~5 cm 土壤层, 有机质含量差异极显著 ( $t=6.543$ ,  $df=19$ ,  $P<0.001$ ), 31~50 cm 土壤层, 差异极显著 ( $t=$

$3.003$ ,  $df=19$ ,  $P<0.01$ ); 6~10 cm 土壤层, 差异显著 ( $t=2.018$ ,  $df=19$ ,  $P<0.05$ ); 11~15 cm 土壤层 ( $t=0.174$ ,  $df=19$ ,  $P>0.05$ ), 16~20 cm 土壤层 ( $t=0.271$ ,  $df=19$ ,  $P>0.05$ ), 21~30 cm 土壤层 ( $t=0.051$ ,  $df=19$ ,  $P>0.05$ ) 差异则不显著。

表 1 高原鼠兔栖息地土壤有机质含量的双因素 ANOVA

Table 1 The result from two-way ANOVA for soil organic matter content of plateau pika's habitat

变异来源 Source of variation	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F	P
栖息地 Habitat	76.113	1	76.113	11.047	<0.001
土壤层次 Layer	1885.046	5	377.09	54.719	<0.001
交互作用 Interaction effect	337.045	5	67.409	9.784	<0.001
残差 Residual	1570.901	228	6.890		
总和 Total	3869.106	240			

## 2.3 土壤湿度

土壤湿度在不同样区及土壤层具有明显的差异(图 2)。双因素 ANOVA 结果(表 2)表明,不同栖息地和土层深度对土壤湿度均有极显著的独立作

用和交互效应,说明高原鼠兔的活动和土壤层次均对高寒草甸土壤湿度产生影响,且二者之间有极显著的交互效应。

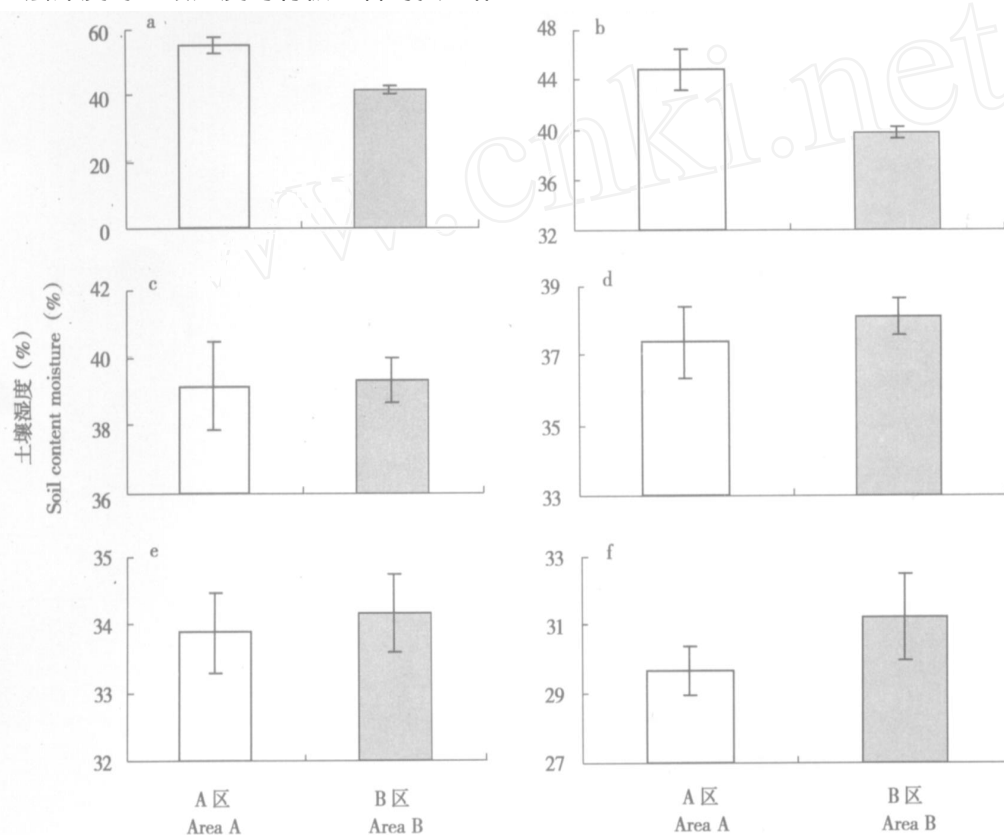


图 2 高原鼠兔栖息地不同层次土壤的湿度 (%) (平均值 ± 标准误); a: 0~5 cm 土壤层; b: 6~10 cm 土壤层; c: 11~15 cm 土壤层; d: 16~20 cm 土壤层; e: 21~30 cm 土壤层; f: 31~50 cm 土壤层

Fig. 2 Soil moisture content (%) (M ± SE) of different depth in the habitat of plateau pika; a: layer of 0 - 5 cm; b: layer of 6 - 10 cm; c: layer of 11 - 15 cm; d: layer of 16 - 20 cm; e: layer of 21 - 30 cm; f: layer of 31 - 50 cm.

表 2 高原鼠兔栖息地土壤湿度的双因素 ANOVA

Table 2 The result from two-way ANOVA for soil moisture of plateau pika's habitat

变异来源 Source of variation	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F	P
栖息地 Habitat	412.155	1	412.155	14.476	<0.001
土壤层次 Layer	7370.622	5	1474.124	51.774	<0.001
交互作用 Interaction effect	1665.316	5	333.063	11.698	<0.001
残差 Residual	6491.659	228	28.472		
总和 Total	371825.091	240			

表层土壤 (0~10 cm), A区土壤湿度均高于B区; 下层土壤 (11~50 cm), B区土壤湿度均稍高于A区 (图2)。配对样本 *t* 检验结果表明, 两地相同土壤层, 土壤湿度的差异性亦不一致: 0~5 cm土壤层, 湿度差异极显著 ( $t=5.085, df=19, P<0.001$ ); 6~10 cm土壤层, 差异显著 ( $t=2.746, df=19, P<0.05$ ); 11~15 cm土壤层 ( $t=0.099, df=19, P>0.05$ ), 16~20 cm土壤层 ( $t=0.634, df=19, P>0.05$ ), 21~30 cm土壤层 ( $t=0.318, df=19, P>0.05$ ), 31~50 cm土壤层 ( $t=0.847, df=19, P>0.05$ ) 差异均不显著。

#### 2.4 土壤有机质含量与土壤湿度的关系

本研究结果表明, 土壤湿度与有机质含量呈显著的正相关关系 ( $R=0.8339$ , 图3)。随土壤湿度的增加, 有机质含量亦显著增加 ( $t=0.834, P<0.001$ )。

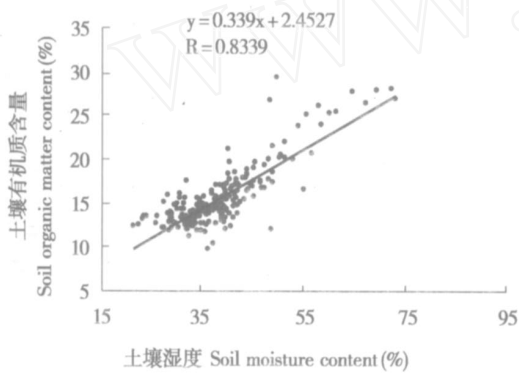


图3 土壤有机质含量与土壤湿度的线性回归关系

Fig. 3 Linear regression of soil organic matter content and soil moisture content

### 3 讨论

本研究结果表明, 高原鼠兔的活动可显著提高表层土壤 (0~5 cm及6~10 cm) 有机质含量 (图1)。植食性小哺乳动物粪尿的分解能促进生态系统的物质循环 (Clark *et al.*, 2005)。高原鼠兔的活动主要集中于地面 (Smith and Wang, 1991; 张堰铭等, 2005)。伴随觅食及领域等活动, 常有选择地在其巢区内排泄粪、尿; 加之, 各社群巢区存在一定的重叠, 因此, 地面排泄活动是增加土壤表层有机质含量的主要原因之一。此外, 高原鼠兔的挖掘活动亦可改变土壤结构, 增加其透气性, 有利于有机物分解。高原鼠兔选择性觅食和刈割 (蒋志刚和夏武平, 1985), 及冬季对枯草和碎屑的消

费, 使高寒草甸有机碎屑变得更小, 有利于分解者对此残留物的分解, 该机理类似于昆虫及田鼠等增加土壤物质的循环速率 (Bardgett *et al.*, 1998; Sirotak and Huntly, 2000; Chapman *et al.*, 2003)。在11~30 cm土壤层, 两类栖息地有机质含量无明显差异, 说明高原鼠兔挖掘能力有限, 因此, 难以对本层土壤产生显著作用。31~50 cm土壤层, 高原鼠兔栖息地区土壤有机质含量比21~30 cm土壤层稍高, 与土壤有机质含量随土壤层而下降的趋势相反, 且与灭杀地区土壤有机质含量差异极显著 (图1), 可能与此物种在该土壤层掘洞、筑巢及储藏植物有关。高原鼠兔洞道主要分布于距地表30~50 cm的土壤层, 平均距离为33 cm, 最深可达60 cm (Fan *et al.*, 1999), 研究发现高原鼠兔深洞道有大量 (平均1.5 kg) 干燥植物, 主要用于巢材或其它用途 (张毓等, 2005)。由于洞道内湿度显著高于地面 (Reichman and Smith, 1990), 因此, 此类植物极易分解, 可影响该土壤层有机质含量。然而, 高原鼠兔每个家群的主巢一般为1个 (Fan *et al.*, 1999), 其洞道及主巢贮藏植物的数量甚为有限, 是否能够显著地改变土壤有机质含量, 仍需进一步地研究证明。

中等密度高原鼠兔的活动可显著增加高寒草甸表层土壤 (0~5 cm及6~10 cm) 的湿度 (图2)。其原因是高原鼠兔的活动, 特别是掘洞活动可改变表层土壤结构, 导致土壤疏松、毛细管持水量及土壤总空隙度增加, 因此, 表层土壤保持水分的能力增强, 增加了表层土壤的湿度。由于土壤湿度与有机质含量呈显著的正相关关系 (图3), 因此, 高原鼠兔挖掘活动可间接提高土壤表层有机质含量。高原鼠兔栖息地区, 11~50 cm土壤层湿度低于灭杀地区, 但二者之间没有明显差异, 亦说明高原鼠兔挖掘能力有限, 难以对深层土壤产生显著作用。

高原鼠兔栖息地土壤表层有机质含量和土壤湿度的结果说明, 该动物觅食和挖掘等活动不仅可直接促进植物有机物分解, 亦可促进土壤微生物的活动, 间接改变有机物分解速率。

综上所述, 高原鼠兔的觅食、挖掘及排泄粪尿等活动, 可以改变高寒草甸土壤的理化性质, 促进物质循环。尽管高原鼠兔仅对浅层 (0~10 cm) 土壤有机质含量及湿度产生显著的作用, 然而, 在气候恶劣的青藏高原, 有机物分解和植物对营养物质的吸收等过程主要发生在土壤表层, 且高寒草甸土壤的养分有效率较低 (乐炎舟等, 1982), 因

此, 在高寒草甸生态系统中, 高原鼠兔加快物质循环的作用极为重要。

致谢: 本项研究的野外工作得到中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站的支持, 并提供必要的实验设备; 实验室仪器由王启兰和王溪老师提供; Dr. Tony Arthur (CSIRO Sustainable Ecosystems, Australia) 修改英文摘要, 特此致谢。

#### 参考文献:

- Aho K, Huntly N, Moen J, Oksanen T. 1998. Pikas (*Ochotona princeps*: Lagomorpha) as allogenic engineers in an alpine ecosystem. *Oecologia*, **114**: 405 - 409.
- Bardgett R D, Wardle D A, Yeates G W. 1998. Linking above-ground and below-ground interactions: How plant response to foliar herbivory influence soil organisms. *Soil Bio Chem*, **30**: 1867 - 1878.
- Ceballos G, Pacheco J, List R. 1999. Influence of prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) on habitat heterogeneity and mammalian diversity in Mexico. *Journal of Arid Environments*, **41**: 161 - 172.
- Chapman S K, Hart S C, Cobb N S, Whitham T H, Koch G W. 2003. Insect herbivory increases litter quality and decomposition: an extension of acceleration hypothesis. *Ecology*, **84**: 2867 - 2876.
- 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.
- Clark J E, Hellgren E C, Parsons J L, Jorgenson E E, Engle D M, Leslie D M. 2005. Nitrogen outputs from feces and urine deposition of small mammals: implications for nitrogen cycling. *Oecologia*, **144**: 447 - 455.
- Fan N C, Zhou W Y, Wei W H, Wang Q Y, Jiang Y J. 1999. Rodent pest management in the Qinghai-Tibet alpine meadow ecosystem. In: Singleton G, Hinds L, Leirs H, Zhang Z B eds. Ecological-based rodent management. Canberra: Arawang Communication Group, 285 - 304.
- Jiang Z G, Xia W P. 1985. Utilization of the food resources by plateau pika. *Acta Theriologica Sinica*, **5**: 251 - 262. (in Chinese)
- Jing Z C, Fan N C, Zhou W Y, Bian J H. 1991. Integrate management of grassland rodent pest in Panpo area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **2** (1): 73 - 80. (in Chinese)
- Le Y Z, Zuo K C, Zhang J X, Zhao B L, Wang Z M, Guo J H. 1982. Soil type and basic characteristics at Haibei Research Station of alpine meadow ecosystem. In: Xia W P ed. Alpine meadow ecosystem I. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 19 - 33. (in Chinese)
- Li Y N, Zhao X Q, Cao G M, Zhao L, Wang Q X. 2004. Analyses on climates and vegetation productivity background at Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research Station. *Plateau Meteorology*, **23** (4): 558 - 567. (in Chinese)
- Liang J R. 1982. On the restoration of population density of plateau pika and common Chinese zokor after control. In: Xia W P ed. Alpine meadow ecosystem I. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 93 - 100. (in Chinese)
- Liu J K, Liang J R, Zhou X M, Li J H. 1982. Rodent community and number in the region of the research station of alpine meadow ecosystem. In: Xia W P ed. Alpine Meadow Ecosystem I. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 34 - 43. (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)
- Martin G. 2003. The role of small ground-foraging mammals in top soil health and biodiversity: Implications to management and restoration. *Ecological Management and Restoration*, **4**: 114 - 119.
- Merikallio E. 1958. Finnish birds: Their distribution and numbers. *Fauna Fennica*, **5**: 1 - 181.
- Reichman O J, Seabloom E W. 2002. The role of pocket gophers as subterranean ecosystem engineers. *Trends in Ecology and Evolution*, **17**: 44 - 49.
- Reichman O J, Smith S C. 1990. Burrows and burrowing behaviour by mammals. In: Genoways H H ed. Current Mammalogy, Vol (2). New York: Plenum Press, 197 - 244.
- Shang Z H, Long R J. 2005. Formation reason and recovering problem of the 'black soil type' degrade alpine grassland in Qinghai-Tibetan plateau. *Chinese Journal of Ecology*, **24** (6): 652 - 656. (in Chinese)
- Sirotnak J, Huntly N. 2000. Direct and indirect effects of herbivores on nitrogen dynamics: voles in riparian areas. *Ecology*, **81**: 78 - 87.
- Smith A T, Foggin M J. 1999. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan plateau. *Animal conservation*, **2**: 235 - 240.
- Smith A T, Wang X G. 1991. Social relationships of adult black-lipped pikas (*Ochotona curzoniae*). *Journal of Mammalogy*, **72**: 231 - 247.
- Storer D A. 1984. A simple high sample volume ashing procedure for determination of soil organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **15**: 759 - 772.
- Wang Q Y, Jing Z C, Fan N C. 1996. The dynamics of pest rodents and the integrated management of rodents on alpine meadow. In: Wang Z W, Zhang Z B eds. Theory and practice of rodent pest management. Beijing: Science Press, 206 - 228. (in Chinese)
- Yang Z Y, Jiang X L. 2002. The harm of plateau pika on grassland vegetation and its control threshold value. *Pratacultural Science*, **19** (4): 63 - 65. (in Chinese)
- Zhang Y M, Zhang Z B, Wei W H, Cao Y F. 2005. Time allocation of territorial activity and adaptations to environment of predation risk by plateau pikas. *Acta Theriologica Sinica*, **25** (4): 333 - 338. (in Chinese)
- Zhang Y, Liu W, Wang X Y. 2005. A preliminary study of caching behavior of the plateau pika. *Zoological research*, **26** (5): 479 - 483. (in Chinese)
- Zong H, Fan N C, Yu X F, Zhu J C. 1991. The research on the pop-

- ulation spatial patterns of the plateau zokor (*Myospalax fontanierii*) and the plateau pika (*Ochotona curzoniae*) in the alpine meadow ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, **11** (2): 125 - 129. (in Chinese)
- Zong H, Xia W P. 1987. Circadian activity rhythms of plateau pikas. *Acta Theriologica Sinica*, **7** (3): 211 - 223. (in Chinese)
- 王权业, 景增春, 樊乃昌. 1996. 高寒草甸鼠害的数量动态与鼠害的综合治理. 见: 王祖望, 张知彬主编. 鼠害治理的理论与实践. 北京: 科学出版社, 206 - 228.
- 乐炎舟, 左克成, 张金霞, 赵宝莲, 王在模, 郭建华. 1982. 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点. 见: 夏武平主编. 高寒草甸生态系统 1. 兰州: 甘肃人民出版社, 19 - 33.
- 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.
- 刘季科, 梁杰荣, 周兴民, 李建华. 1982. 高寒草甸生态系统定位站的啮齿动物群落与数量. 见: 夏武平主编. 高寒草甸生态系统 1. 兰州: 甘肃人民出版社, 34 - 43.
- 刘孝义. 1982. 土壤物理及土壤改良研究法. 上海: 上海科学技术出版社, 41 - 52.
- 李英年, 赵新全, 曹广民, 赵亮, 王勤学. 2004. 海北高寒草甸生态系统定位站气候、植被生产力背景分析. *高原气象*, **23** (4): 558 - 567.
- 杨振宇, 江小蕾. 2002. 高原鼠兔对草地植被的危害及防治阈值研究. *草业科学*, **19** (4): 63 - 65.
- 张堰铭, 张知彬, 魏万红, 曹伊凡. 2005. 高原鼠兔领域行为时间分配格局及其对风险环境适应的探讨. *兽类学报*, **25** (4): 333 - 338.
- 张毓, 刘伟, 王学英. 2005. 高原鼠兔贮草行为初探. *动物学研究*, **26** (5): 479 - 483.
- 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 - 261.
- 宗浩, 夏武平. 1987. 高原鼠兔似昼夜节律的研究. *兽类学报*, **7** (3): 211 - 223.
- 宗浩, 樊乃昌, 于福溪, 朱嘉诚. 1991. 高寒草甸生态系统优势鼠种高原鼢鼠 (*Myospalax fontanierii*) 和高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 种群空间格局的研究. *生态学报*, **11** (2): 125 - 129.
- 尚占环, 龙瑞军. 2005. 青藏高原“黑土型”退化草地成因与恢复. *生态学杂志*, **24** (6): 652 - 656.
- 梁杰荣. 1982. 灭鼠后高原鼠兔和中华鼢鼠的数量恢复. 见: 夏武平主编. 高寒草甸生态系统 1. 兰州: 甘肃人民出版社, 93 - 100.
- 景增春, 樊乃昌, 周文扬, 边疆晖. 1991. 盘坡地区草场害鼠的综合治理. *应用生态学报*, **2**: 73 - 80.