

# 高原鼠兔洞穴密度对高寒草甸土壤理化性质的影响\*

孙飞达<sup>1</sup> 郭正刚<sup>2</sup> 尚占环<sup>2</sup> 龙瑞军<sup>2†</sup>

(1 四川农业大学草业科学系, 四川雅安 625014)

(2 兰州大学青藏高原生态系统管理国际中心, 兰州 730020)

## EFFECTS OF DENSITY OF BURROWING PLATEAU PIKAS (*OCHOTONA CURZONIAE*) ON SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF ALPINE MEADOW SOIL

Sun Feida<sup>1</sup> Guo Zhenggang<sup>2</sup> Shang Zhanhuan<sup>2</sup> Long Ruijun<sup>2†</sup>

(1 Department of Grassland Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

(2 International Centre for Tibetan Plateau Ecosystem Management, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

关键词 高原鼠兔; 洞穴密度; 高寒草甸; 土壤理化因子

中图分类号 Q948.15+8; S181 文献标识码 A

高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)广布于高寒草甸地区,是江河源区小型哺乳动物优势种之一<sup>[1]</sup>。鼠兔的挖掘活动能够改变生物量和影响土壤结构和变化过程,因此鼠兔活动对草地土壤的影响是草地生态学者关注的问题<sup>[2-4]</sup>。在青藏高原,鼠兔—土壤—植物形成了一个综合的草地生态系统,一直以来是生态学界研究的焦点。土壤最本质的特征是具有肥力,而土壤养分是组成肥力的重要因素之一。同时土壤营养元素的形成、分布以及其相对含量等特征是生物功能发挥正常的保证。高原鼠兔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<sup>[5]</sup>,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<sup>[6]</sup>以及“黑土滩”的形成<sup>[7]</sup>,因此该物种被视为青藏高原主要的有害生物<sup>[8-9]</sup>。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,其地下网状洞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<sup>[10]</sup>。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。本文拟通过分析高原鼠兔洞穴密度对高寒草甸土壤理化特性的影响,以期探讨高原鼠兔挖掘行为在草地中的作用,为进一步确立适宜的鼠兔生态功能提供一定的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于青海省果洛藏族自治州玛沁县大武镇,地理坐标 32°31'~35°37' N, 96°54'~101°51' E,海拔 3 740~3 780 m。气候属典型高原大陆型气候,年均温 -3.9℃,≥5℃积温 850℃,其中最冷月 1 月的平均气温为 -12.6℃,最热月 7 月的平均气温为 9.7℃,牧草生长季为 156 d,无绝对无霜期,全年日照时间 2 260 h,太阳辐射强,昼夜温差大。年降水量 513.2~542.9 mm,多集中在 6~9 月,年蒸发量为 2 472 mm,雨热同季,有利于牧草生长。

主要的土壤类型为高山草甸土,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<sup>[11]</sup>。

\* 国家自然科学基金重点项目(30730069)资助

† 通讯作者, E-mail: longrj@lzu.edu.cn

作者简介:孙飞达(1978—),男,甘肃靖远人,讲师,博士,主要从事高寒草甸生态系统研究。Tel:13419340280, E-mail:sunfd08@163.com

收稿日期:2008-09-09;收到修改稿日期:2008-12-03

草地为已发生不同程度退化的嵩草草甸 (*Kobresia meadow*), 它与高寒草甸群落相联, 其基本成土过程是生草过程, 并以剖面上部植物根系絮结形成致密草皮为其主要特征。植被组成以小嵩草 (*Kobresia apyrgmaea*)、矮嵩草 (*Kobresia humilis*)、粗喙苔草 (*Carex scabrrostris*)、高山早熟禾 (*Poa alpina*)、紫羊茅 (*Festuca rubra*)、细叶苔草 (*Cayex tofibi*)、露蕊乌头 (*Aconitum gymanadrum*) 等为主。以嵩草属 (*Kobresia*) 植物为建群种的草地植被严重退化后已被铁棒锤 (*Aconitum pendulum*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)、甘肃马先蒿 (*Pedicularis kansuensis*)、黄帚橐吾 (*Ligularia virgaurea*)、细叶亚菊 (*Ajania tenuifolia*) 等代替。

试验区鼠类主要以高原鼠兔 (*Ochotona curzoni*) 占绝对优势, 偶有极少高原鼯鼠 (*Myospalax baileyi*) 存在。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 野外调查及取样

于 2006 年 5 月份采用堵洞法进行鼠类调查。在实验区围栏内禁牧条件

下的嵩草草甸上选取 10 个 50 m × 50 m 且立地条件相近的样方, 均为同一类型草地的不同演替阶段。对每个样地进行堵洞填埋调查总洞口和有效洞口以及由于高原鼠兔挖掘活动造成的次生裸露地面积, 第 1 天将所有鼠洞口计数作为总洞口数然后进行填埋, 后 3 天连续每天在 12:00 ~ 14:00 调查记录被鼠兔抛开的新洞口并计数、然后重新填埋, 每天被鼠兔抛开的新洞口即为当天的有效洞口, 最后确定的每个样地有效鼠洞是连续 3 天的平均值<sup>[12]</sup>。由于 50 m × 50 m 样方比较大, 且植被分布均匀性差等特点, 为了降低试验取样的系统误差, 故将 50 m × 50 m 的样方沿中轴线均分为 4 个 25 m × 25 m 的小样方, 共计 40 个鼠类调查样地。根据对高寒草甸鼠类梯度的划分标准<sup>[13]</sup>并结合地上植物群落等综合条件选取 5 个典型的高原鼠兔不同洞穴密度梯度, 分别是 I, 近似零密度; II, 低密度; III, 中密度; IV, 次高密度和 V, 高密度样地, 进行样地资料调查和收集, 每个密度类别下均设 5 次重复 (见表 1)。

表 1 高原鼠兔不同洞穴密度样地基本条件

不同洞穴密度样地	有效洞口数	植被总盖度 (%)	土壤坚实度 ( $\text{kg cm}^{-2}$ )	优势种和亚优势种组成
近似零密度样地 (I)	3 ± 0 a	93.5 ± 1.5 a	4.03 ± 0.02 a	矮嵩草 + 小嵩草 + 垂穗披碱草等
低密度样地 (II)	14 ± 0 b	46.4 ± 1.2 c	2.90 ± 0.01 b	垂穗披碱草 + 细叶亚菊 + 海乳草等
中密度样地 (III)	32 ± 1 c	35.7 ± 0.6 d	2.30 ± 0.02 c	细叶亚菊 + 兰石草 + 矮火绒等
次高密度样地 (IV)	54 ± 1 d	33.6 ± 1.2 d	0.38 ± 0.01 d	铁棒锤 + 露蕊乌头 + 细叶亚菊等
高密度样地 (V)	85 ± 1 e	60.6 ± 1.2 b	1.45 ± 0.03 e	青海凤毛菊 + 垂穗披碱草 + 麻花苣等

注: 表中数据为平均值 ± 标准差。同列无相同字母, 则差异显著 ( $p < 0.05$ )

### 1.2.2 土壤特性的测定

分别于牧草生长初期 (6 月 10 日) 和生长旺盛期 (8 月 20 日) 在不同鼠洞密度样地进行土壤特征参数的测定和取样。用烘干法测定土壤含水量, 用土壤坚实度仪 (5 kg 弹簧, 16 mm 圆柱探头) 测定土壤坚实度, 用环刀法测土壤容重, 每个指标的测定均分为 3 层, 每层 10 cm, 5 次重复。同时用曲管温度计测定土壤各层地温 (深度分别为 5、10、15、20、25 cm)。同时在各样地内采集深度为 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm 的土样, 经过预处理后分别进行养分的测定。其中有机质用磷酸浴-重铬酸钾容量法; 全氮用半微量开氏法; 速效氮用碱解扩散法; 速效钾用  $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提-火焰光度法; pH 采用电位法 (水土比为 2.5:1)<sup>[14]</sup>。

## 1.3 数据分析

用 DPS7.05 统计软件进行数据的基本处理和

图表制作; 用 SPSS10.0 统计软件对不同鼠洞密度下植物群落和土壤养分各参数进行 ANOVA 分析, 应用新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同鼠洞密度下土壤含水量、容重、pH 和地温的变化

试验结果表明 (表 2), 6 月上旬和 8 月下旬土壤含水量均表现为表层 0 ~ 10 cm 最高, 然后随着土壤深度增加逐渐减少。8 月份各层土壤含水量均显著高于 6 月份对应层的土壤含水量 ( $p < 0.01$ ), 这与 8 月份降雨增多, 气候湿润有关系。随着洞穴密度的增加, 土壤含水量表现为先降低后增加再降低的变化态势。不同密度样地中, 近似零密度、低密

度和高密度样地土壤含水量相对较高,次高密度样地含水量最低,这与样地植被状况及土壤条件密切

相关,次高密度样地分布区草甸为重度退化,植被稀疏,土质疏松,截留水分能力差,蒸发量大。

表 2 不同洞穴密度样地土壤含水量、容重、pH 变化

土层(cm)	样地	含水量(%)		容重( $g\ cm^{-3}$ )		pH	
		6月上旬	8月下旬	6月上旬	8月下旬	6月上旬	8月下旬
0~10	I	29.00 ± 0.90 b	37.00 ± 1.40 b	0.28 ± 0.00 e	1.05 ± 0.03 bc	7.53 ± 0.04 a	6.67 ± 0.19 ab
	II	31.33 ± 1.33 a	41.50 ± 1.23 a	0.79 ± 0.00 d	0.89 ± 0.04 d	7.43 ± 0.09 a	6.95 ± 0.14 a
	III	27.88 ± 0.22 b	27.73 ± 1.01 c	1.02 ± 0.02 a	1.25 ± 0.07 a	7.70 ± 0.34 a	7.02 ± 0.05 a
	IV	17.22 ± 1.00 c	24.67 ± 0.09 c	0.98 ± 0.04 b	1.12 ± 0.06 b	7.79 ± 0.01 a	7.21 ± 0.44 a
	V	28.33 ± 1.16 b	38.91 ± 1.89 ab	0.87 ± 0.00 c	0.96 ± 0.03 c	6.32 ± 0.04 b	6.24 ± 0.39 b
10~20	I	22.99 ± 0.21 c	29.76 ± 1.25 b	0.72 ± 0.00 d	1.29 ± 0.00 b	7.87 ± 0.01 a	7.43 ± 0.01 b
	II	27.47 ± 0.53 a	33.34 ± 1.26 a	0.96 ± 0.05 c	1.06 ± 0.01 d	7.68 ± 0.02 b	7.76 ± 0.22 b
	III	25.21 ± 0.82 b	23.63 ± 0.03 c	1.17 ± 0.05 a	1.32 ± 0.00 a	7.91 ± 0.12 a	7.37 ± 0.12 b
	IV	25.20 ± 0.02 b	23.95 ± 1.05 c	1.17 ± 0.00 ab	1.13 ± 0.04 c	7.91 ± 0.01 a	7.37 ± 0.29 b
	V	24.45 ± 0.29 b	31.03 ± 0.99 b	1.14 ± 0.01 b	1.15 ± 0.00 c	6.53 ± 0.22 c	8.03 ± 0.01 a
20~30	I	18.52 ± 0.14 c	29.53 ± 0.37 a	0.92 ± 0.01 d	1.30 ± 0.02 b	7.96 ± 0.07 a	7.98 ± 0.21 a
	II	22.85 ± 1.18 a	26.03 ± 1.07 b	1.11 ± 0.00 c	1.21 ± 0.00 c	7.98 ± 0.26 a	7.98 ± 1.88 a
	III	20.30 ± 0.00 b	23.66 ± 0.38 c	1.20 ± 0.06 b	1.32 ± 0.04 a	8.12 ± 0.04 a	8.04 ± 0.06 a
	IV	17.91 ± 0.30 c	22.32 ± 0.73 d	1.38 ± 0.00 a	1.29 ± 0.02 ab	8.21 ± 0.32 a	8.09 ± 0.18 a
	V	21.67 ± 0.57 b	28.38 ± 0.61 a	1.14 ± 0.03 b	1.16 ± 0.02 c	6.66 ± 0.23 b	8.07 ± 0.42 a

注:表中数据为平均值 ± 标准差。以同层为比较,同列有相同字母者,则差异不显著( $p > 0.05$ )

土壤容重是单位体积下的土壤质量,其大小不仅与土壤内部性状如质地、结构、土壤紧实度、有机质含量有关,同时还受外部因素(如降水和生产活动等)的影响。随着洞穴密度的增加,各样地间容重变化并没有明显的规律性,但中密度和次高密度样地一直保持最大值,这与植物群落组成及相应地下根系分布密切相关;各个样地容重均随着土层深度增加而逐渐增大,这与地下根系向地表聚集的趋势一致;各个样地的各层土壤 8 月份的土壤容重均高于 6 月份的土壤容重。

高寒草甸土壤 pH 表现为弱碱性,由于 8 月份生长旺盛,雨水充足,土壤相对肥沃,其 pH 小于 6 月份,接近于中性或弱碱性,第一层(0~10 cm)甚至显弱酸性,次高密度样地高于其他 4 个样地。土壤 pH 随洞穴密度的变化在不同土层出现分歧。在 0~10 cm 层,高密度样地的 pH 显著小于其他样地;10~20 cm 层,6 月份时高密度样地土壤 pH 显著小于其他样地,但在 8 月份时却表现正好相反;20~30 cm 层,8 月份土壤 pH 在各个样地间没有显著差异,而 6 月份时高密度样地显著低于其他样地。这说明鼠类活动对土壤 pH 的影响十分复杂,短期无规律可循。

6 月、8 月地温变化见图 1。测定时的大气温度分别为 26℃ 和 28℃,8 月 20 日的各层地温略高于 6 月 10 日的地温,但差异不显著( $p > 0.05$ )。不同鼠洞样地 5、10、15 cm 土层深度的地温均表现为随鼠洞密度增加而先上升后下降的趋势,且各层地温符合 5 cm > 10 cm > 15 cm 关系;20 cm 土层深度地温则随鼠洞密度增加而表现为先下降后上升趋势,次高密度时地温最低;25 cm 土层深度的地温各样地间变化不大,变幅在 2~4℃ 之间。不同鼠洞密度样地在中等密度时地温基本保持最高,5 cm 土层深度地温超过了即时大气温度并达到 30℃。

## 2.2 不同洞穴密度样地土壤养分特征

从图 2 可知,随着洞穴密度的增大,无论是 6 月上旬还是 8 月下旬,不同土壤层的有机质、全氮、速效氮和速效钾从近似零密度样地到次高密度样地均有不同程度的降低,在高密度样地有所抬升,8 月下旬土壤营养因子含量除速效钾而外均大于 6 月上旬的含量。另外,随着鼠洞密度的增大,以有机质变化最为明显,其次为全氮,速效钾和速效氮;各样地不同深度土壤养分含量对鼠洞密度增加响应程度依次为 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm。方差分

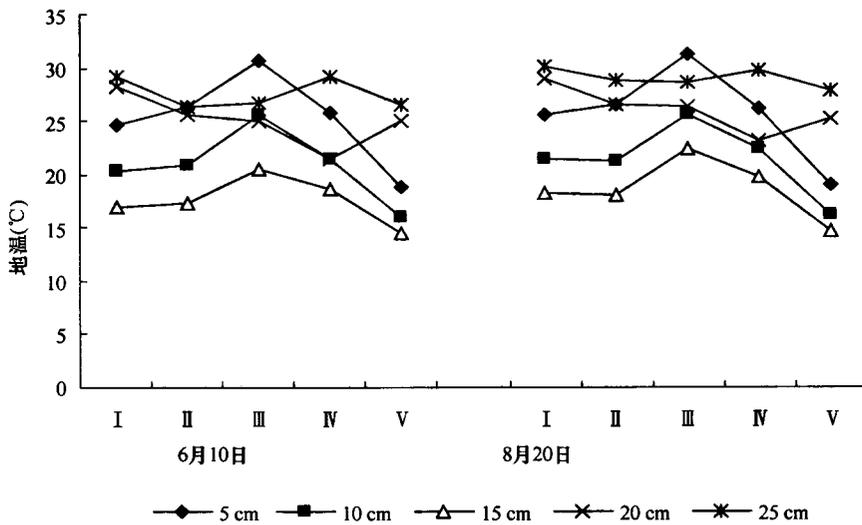


图1 不同洞穴密度样地地温变化

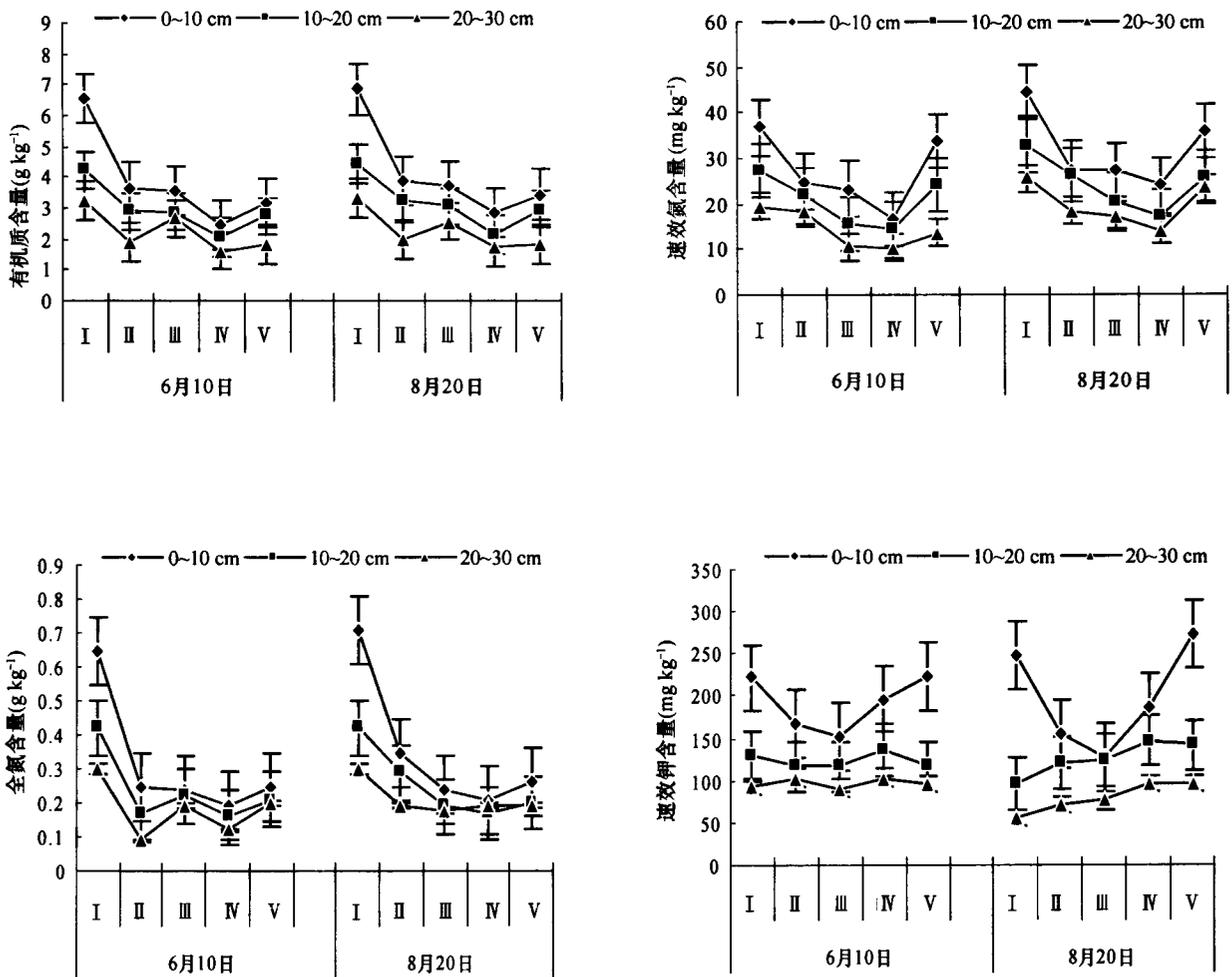


图2 土壤营养因子养分含量对高原鼠兔洞穴密度的响应

析表明,无论是生长初期的6月上旬还是旺盛期的8月下旬高原鼠兔洞穴密度对不同土壤层养分因子有机质、全氮和速效钾的含量的影响均极显著( $p < 0.01$ ),但对速效氮含量的影响不显著(表3)。由于研究地域高海拔气候寒冷等特点,土体有机质、有机氮的净矿化作用以及氮素的微生物和非微生物固定作用均较弱,使得氮素尤其是速效氮的含量较低<sup>[15-16]</sup>。在高寒草甸植物生长季内,速效氮一直是制约牧草发育和生长的因子,无论是6月初还是8月底速效氮一直比较匮乏,再加上试验地封育自然

休养生息,没有人为施肥,一直氮素贫瘠的土壤对于鼠类活动的频度和密度反应就不敏感;而且各样地均为不同退化演替阶段的草地,土壤性质的变化总是滞后于地面植物的演替和变化,而且地下营养体库容量大,且受到地面鼠类活动的影响是间接的,因此研究不同鼠洞密度对土壤养分因子的影响,在短时间内很难研究清楚各营养因子与鼠洞密度(鼠类种群密度)之间的确切变化规律,有待连续多年的深入研究。

表3 高原鼠兔洞穴密度对土壤各土层营养因子养分含量的影响

土壤营养因子	平方和(SS)		自由度(df)		F值		显著性检验	
	6月	8月	6月	8月	6月	8月	6月	8月
有机质(SOM)	8 805.1	8 766.4	4	4	5.549	5.501	**	**
全氮(TN)	9 520.6	9 512.7	4	4	6.209	6.200	**	**
速效氮(AN)	6 289.9	5 810.9	4	4	1.558	0.978	ns	ns
速效钾(AP)	70 691.4	92 639.8	4	4	36.051	16.901	**	**

### 2.3 不同鼠洞密度与土壤营养因子养分含量之间的关系

不同鼠洞密度和土壤各层营养因子养分含量之间的关系满足简单的数学模型: $y = ax^2 + bx + c$ 。式中, $y$ 代表土壤各营养因子的含量, $x$ 为洞穴密度, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 为常数,反映草地的土壤营养状况。

6月上旬的草场,第三层(20~30 cm)的土壤营养因子与不同鼠洞密度不具有二次函数回归关系,这是由于草甸生长初期底层营养物质匮乏和积累不够,对鼠洞密度递增反应不够敏感,严重滞后。8月份草场的土壤各层和不同鼠洞密度均具有很好的二次函数关系式。

由建立的回归方程可知,土壤各营养因子养分含量在样地鼠洞密度由近似零密度至低密度、中等密度、次高密度升高的过程中降低,由次高密度到高密度升高的过程中增高。从样地退化不同演替阶段的角度很好地印证了该曲线态势,即从未退化(近似零密度)—轻度退化(低密度、中等密度)—重度退化(次高密度)—中度退化(高密度)的过程,而土壤营养因子养分含量变化也与草地退化演替阶段基本相吻合,次高密度样地各土层养分含量基本保持最小。表层有机质含量(0~10 cm)与鼠洞密度递增关系并不显著,这可能与高寒草甸第一层有机质含量较丰富有关。土壤速效氮主要来源于有机质的矿化,其含量受有机质本身C/N、温度、湿度

等诸多因素的影响,易变性强,在小嵩草高寒草甸中相对缺乏,对鼠洞密度的变化反应不够敏感<sup>[17]</sup>。从放牧的角度来看<sup>[16,18]</sup>,增大放牧率,动物对植物体的采食会更加频繁,而植物体对强放牧率胁迫具有采食后进行营养繁殖或有性繁殖,速效氮的消耗量超过有机氮的矿化供给量,导致速效氮的含量减少,但随着放牧率的继续增大,植物体对强放牧胁迫的调节作用减弱,有机氮的矿化供给量超过了速效氮的消耗量。在高寒草甸生态系统中鼠类活动要比人为放牧要复杂的多,它们不仅地上采食,而且挖掘土壤进行地上地下物质和能量的循环,因此鼠洞密度对各土壤因子养分含量的影响与植物的根系、土壤动物和微生物之间的效应关系,尚需系统、深入地进一步研究和探讨<sup>[19-21]</sup>。

### 3 结论

1) 鼠类活动及其危害程度是草地退化和演替的衍生物和信号,鼠类活动只是加剧了草地退化的进程,鼠害并非草地退化的直接诱因。

2) 当有效洞口密度达到512个 $\text{hm}^{-2}$ 时(中密度),即高原鼠兔种群密度范围为:70~110只 $\text{hm}^{-2}$ 时,土壤各因子含量逐渐衰减并接近于最低值,此时鼠兔种群已到了必须加以防控的范围;当达到864个 $\text{hm}^{-2}$ 时(次高密度),高寒草甸土壤各养分含

量最低,土壤贫瘠,草地退化严重。

3)不同鼠洞密度与土壤含水量、容重、pH 没有直接的线性关系,随着鼠洞密度的增加,土壤含水量表现为先降低后增加再降低的变化态势,鼠类活动对土壤 pH 的影响十分复杂,短期无规律可循。

4)随着鼠洞密度的增加,有机质变化最为明显,其次为全氮,最后为速效钾和速效氮;从表层到深层土壤养分对鼠洞密度响应剧烈程度逐渐降低。不同时期草场各土壤层有机质、全氮、速效氮和速效钾与洞穴密度基本可以用二次回归关系( $y = ax^2 + bx + c$ )来表示。

致谢 本研究外业取样和室内分析过程中,甘肃农业大学聂学敏硕士和中国科学院西北高原生物研究所孙涛博士给予了不同程度的帮助,在此表示感谢!

### 参考文献

- [ 1 ] 马玉寿,郎百宁,王启基. “黑土型”退化草地研究工作的回顾与展望. 草业科学,1999,16(2):5—9
- [ 2 ] Jones C G, Lawton J H, ShachAP M. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*,1994,69:373—386
- [ 3 ] Bardgett R D, Wardle D A, Yeates G W. Linking aboveground and belowground interactions: How plant response to foliar herbivory influence soil organisms. *Soil Bio Chem*, 1998, 30:1 867—1 878
- [ 4 ] Aho K, Huntly N, Moen J, et al. Pikas (*Ochotona princeps*: Lag-SOMorpha) as allogenic engineers in an alpine ecosystem. *Oecologia*,1998,114:405—409
- [ 5 ] 刘季科,张云占,辛光武. 高原鼠兔数量与危害程度的关系. 动物学报,1980,26(4):378—385
- [ 6 ] 王权业,景增春,樊乃昌. 高寒草甸鼠害的数量动态与鼠害的综合治理//王祖望,张知彬. 鼠害治理的理论与实践. 北京:科学出版社,1996:206—228
- [ 7 ] 尚占环,龙瑞军. 青藏高原“黑土型”退化草地成因与恢复. 生态学杂志,2005,24(6):652—656
- [ 8 ] 景增春,樊乃昌,周文扬. 盘坡地区草场害鼠的综合治理. 应用生态学报,1991,2(1):73—80
- [ 9 ] 杨振宇,江小蕾. 高原鼠兔对草地植被的危害及防治阈值研究. 草业科学,2002,19(4):63—65
- [ 10 ] Smith A T, Foggin M J. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan plateau. *Animal Conservation*,1999,2:235—240
- [ 11 ] 乐炎舟,左克成,张金霞,等. 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点//夏武平. 高寒草甸生态系统. 兰州:甘肃人民出版社,1982:19—33
- [ 12 ] 孙飞达,龙瑞军,蒋文兰,等. 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,2008,16(5):475—479
- [ 13 ] 张堰铭,樊乃昌,王权业,等. 害鼠治理条件下鼠类群落变动的生态过程. 兽类学报,1998,18(2):137—143
- [ 14 ] 熊顺贵. 基础土壤学. 北京:中国农业大学出版社,2001:76—84
- [ 15 ] 孙飞达,龙瑞军,蒋文兰,等. 三江源区不同鼠洞密度下高寒草甸植物群落生物量和土壤容重特性研究. 草业学报,2008,17(5):111—116
- [ 16 ] 董全民,赵新全,马玉寿,等. 牦牛放牧率和放牧季节对小嵩草高寒草甸土壤养分的影响. 生态学杂志,2005,24(7):729—735
- [ 17 ] 孙飞达. 高原鼠兔洞穴密度对高寒草甸初级生产力及土壤特性的影响. 兰州:甘肃农业大学草业学院,2008
- [ 18 ] 刘伟,周立,王溪. 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究. 生态学报,1999,19(3):378—382
- [ 19 ] 李文婧,张堰铭. 高原鼠兔对高寒草甸土壤有机质及湿度的作用. 兽类学报,2006,26(4):331—337
- [ 20 ] 焦菊英,马祥华,白文娟,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落与土壤环境因子的对应分析. 土壤学报,2005,42(5):745—746
- [ 21 ] 王启基,李世雄,王文颖,等. 江河源区高山嵩草草甸植物土壤碳、氮储量对覆被变化的响应. 生态学报,2008,28(3):886—888