

# 鼠类活动对高寒草甸初级生产力和土壤物理性状的影响

孙飞达<sup>1,2</sup>, 龙瑞军<sup>2</sup>, 路承香<sup>1</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)

**摘要:**以高原鼠兔有效洞口作为调查对象,研究了高原鼠兔洞穴密度对三江源区高寒草甸地上、地下和总生物量以及土壤物理性状的影响。结果表明:随着草地鼠洞密度的增大,地上、地下生物量呈“V”字型变化趋势,先剧烈下降后缓慢上升,满足二次函数关系,样地(近似零密度)生物量最大;地下生物量主要分布在 0-10 cm 土层,随着鼠洞密度的增大有向表层聚集的趋势,生长旺盛期更为明显;8 月地上、地下及其总生物量显著高于 6 月( $P < 0.05$ ),各月地下生物量远远大于地上生物量( $P < 0.01$ ),地上生物量和地下生物量满足二次函数关系。土壤含水量、容重和 pH 值与鼠洞密度没有直接的线性关系,但含水量随土层深度增加而降低,容重和 pH 值随土层深度增加而增加,土壤各因子与不同土层满足线性关系。

**关键词:**高原鼠兔;鼠洞密度;高寒草甸;初级生产力;土壤因子

中图分类号:S812;Q958.113

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)03-0225-05

## Effects of Rodents Activities on Primary Productivity and Soil Physical Characteristics in Alpine Meadow

SUN Fei-da<sup>1,2</sup>, LONG Rui-jun<sup>2</sup>, LU Cheng-xiang<sup>1</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)

**Abstract:** This paper mainly focused on the biomass distribution and soil physical characteristics of burrowing plateau pikas (*Ochotona curzoniae*) densities plots in June and August, which were forage grass initial and bloom period in growing season respectively, in order to discover the effects of plateau pikas activities to plant community biomass and soil environment. The experimental results showed that with the burrows in use increasing, the aboveground, underground and total biomass were described with “V” model, firstly declined sharply and then rose slowly, which was described with quadratic function, and the biomass of the first plot (Approximate Zero Plot, AZP) was the most. The underground biomass distributed at a scale of 0-10 cm, and plant roots were trended together in soil surface layer, especially in August. In August, the aboveground, underground and total biomass were significantly more than in June, and the underground biomass was greater than aboveground at every plots and different periods in growing season. The relationship of underground and aboveground biomass was described with quadratic function. The soil water percentage, soil bulk density and pH had no directly relationship with the increasing burrowing rodents densities, but had the linear relationship with different layers.

**Key words:** plateau pika (*Ochotona curzoniae*); burrowing rodents density; alpine meadow; primary productivity; soil physical characteristics

高寒草甸是青藏高原主要天然草地,当前草地退化面积在不断扩大,以高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)为主的鼠类活动无疑加剧了本已脆弱的草地生态环境,致使优良牧草锐减,毒杂草滋生,使青藏高原草地资源的持续利用和生态环境质量受到严

峻挑战,直接威胁着青藏高原草地畜牧业的可持续发展<sup>[1-2]</sup>。

生物量和土壤环境作为生态系统最基本的参照特征,反映了生态系统获取能量的能力和牧草生长的条件,是草地生态系统研究的重要内容之一<sup>[3]</sup>。

\* 收稿日期:2008-09-10

基金项目:国家自然科学基金重点项目(30730069)

作者简介:孙飞达(1978-),男,甘肃靖远人,讲师,博士,主要从事草地生态学研究。E-mail:sunfd08@163.com

通信作者:龙瑞军(1964-),男,吉林农安人,教授,博士生导师,主要从事青藏高原草地生态管理系统研究。E-mail:longrj@lzu.pdu.cn

有关高寒草甸生物量和土壤因子的研究很多,很多学者从放牧<sup>[4-5]</sup>、气象因子<sup>[6-8]</sup>、不同植物群落<sup>[9-10]</sup>和不同退化程度<sup>[11]</sup>等方面探讨了地上生物量动态及地下生物量的形成规律以及土壤理化性质的变化和对生长环境的响应,以高原鼠兔活动及其不同种群密度对高寒草甸生物量和环境影响的研究甚少<sup>[12]</sup>。本文主要以高寒草甸在不同鼠洞密度下生物量的垂直分布特征、植物地上部分和地下生物量之间的关系以及土壤物理因子对鼠洞密度的响应进行研究,以期揭示以高原鼠兔为主的鼠类活动对高寒草地资源的破坏机理及为高寒草地资源的保护等提供科学依据。

## 1 研究区自然概况

### 1.1 试验区气候条件

研究区位于青海省果洛州玛沁县大武镇 2 km 处牧户俄日布承包的草地(原果洛州乳品场),位于 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性气候,年均温 - 3.9℃, 5 月积温 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 2 471.6 mm<sup>[12]</sup>。

### 1.2 植被及土壤类型

主要的土壤类型为高山草甸土、高山灌丛草甸土、高山寒漠土等。植被以小嵩草 (*Kobresia Pygmaea*)、矮嵩草 (*Kobresia humilis* (C. A. Mey) Serg.)、粗喙苔草 (*Carex scabrirostris*)、高山早熟禾 (*Poa annua* Linn.)、紫羊茅 (*Festuca rubra*)、细叶苔草 (*Carex tofibi*)、露蕊乌头 (*Aconitum gymnadrum*) 等为常见植物的高寒草甸。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槌 (*Aconitum pendulum*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)、甘肃马先蒿 (*Pedicularis kan-*

*suensis*)、黄帚橐吾 (*Ligularia virgaurea*)、细叶亚菊 (*Ajania trnuiifolia*) 等代替<sup>[12]</sup>。

### 1.3 鼠类种群

实验区鼠类主要分布以高原鼠兔为主,少有高原鼯鼠 (*Myospalax baileyi*) 存在。高原鼯鼠营地下活动,其挖掘活动完全有别于高原鼠兔。偶见青海田鼠 (*Microtus fuscus*),密度极小,洞穴均以高原鼠兔洞穴计。高原鼠兔是果洛州危害严重的鼠类,普遍分布在全州各县的滩地和坡地。本试验以高原鼠兔的有效洞口作为调查对象,然后确定不同的种群密度。

## 2 试验材料与研究方法

### 2.1 选取样地

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嵩草草甸选取 10 个 50 m × 50 m 且立地条件相近似的样方,样方被大武河一小支流所分割随机分布在小河两侧,样方之间相距 50 ~ 200 m 不等,均为同一类型草地的不同演替阶段。然后对每个样地进行堵洞填埋调查总洞口和有效洞口,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,每天被鼠兔刨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洞口是连续 3 d 的平均值<sup>[12-13]</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 (0.062 5 hm<sup>2</sup>) 的小样方,共计 40 个 25 m × 25 m 鼠类调查样地。采用统计软件 SPSS 11.5 聚类分析法确定 5 个高原鼠兔洞穴梯度的样地,每个样地设置 5 个小样方进行生物量和土壤取样。并根据马玉寿等<sup>[14]</sup>对退化草地的界定可以确定样地为近似未退化、样地 为轻度退化,样地 为重度退化或“黑土滩”,样地 为中度退化。

表 1 高原鼠兔不同洞穴密度样地 (25 m × 25 m) 基本条件

| 序列         | 有效洞口数 | 海拔/ m | 地理坐标 (N, E) |              | 植被总盖度/ % | 土壤坚实度/ (kg · cm <sup>-2</sup> ) |
|------------|-------|-------|-------------|--------------|----------|---------------------------------|
|            |       |       | N           | E            |          |                                 |
| 3 ± 0.00   |       | 3740  | 34° 27. 861 | 100° 12. 875 | 93       | 4. 03                           |
| 14 ± 0. 33 |       | 3741  | 34° 28. 395 | 100° 12. 767 | 76       | 2. 90                           |
| 32 ± 0. 58 |       | 3751  | 34° 28. 331 | 100° 12. 691 | 35       | 2. 30                           |
| 54 ± 0. 62 |       | 3742  | 34° 28. 197 | 100° 13. 060 | 33       | 0. 38                           |
| 85 ± 1. 15 |       | 3778  | 34° 27. 819 | 100° 11. 785 | 60       | 1. 45                           |

### 2.2 生物量的测定

在植物生长季前期(6月上旬)和生长旺盛期(8月

下旬)用收获法测定地上生物量。在确定的 5 个不同洞穴梯度样地按梅花桩形分布取 5 个 50 cm × 50 cm 的

小样方。地下生物量与地上生物量同时测定,取 15 cm ×15 cm ×30 cm 的土柱 5 次重复,分 3 层取样,每个原状土柱高 10 cm。按层用细筛(1 mm)筛去土,再用细纱布包好根系,用清水洗净,并拣出石块和其它杂物,均在 80 °C 恒温下经 12 h 烘至恒重,称其干重。

### 2.3 土壤物理因子测定

用烘干法测含水量,用土壤坚实度仪(5 kg 弹簧,16 mm 圆柱探头)测土壤坚实度,用环刀法测土壤容重,用电位法(土水比为 1 : 2.5)测土壤 pH 值。每个指标的测定均分为 3 层,每层 10 cm,5 次重复,6 月、8 月共取土样 150 个。

采用环刀法测算土壤容重<sup>[15]</sup>。

### 2.4 数据分析

用 Excel 和 SPSS 软件定量计算,进行数据的统计分析和多重比较。

## 3 结果与讨论

### 3.1 不同鼠洞密度样地的生物量特征

不同样地地上、地下和总生物量在草地生长初

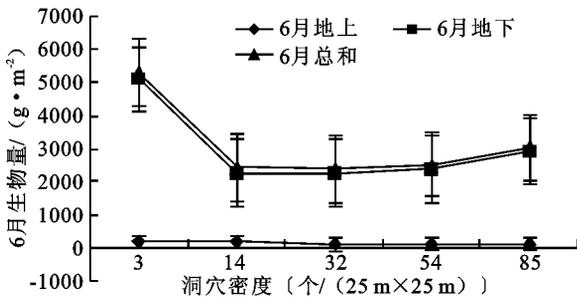


图 1 不同鼠洞密度样地在不时期生物量变化

生物量和有效鼠洞密度的关系满足  $y = ax^2 + bx + c$  (6 月地上生物量除外),  $R^2$  在 0.667 6 ~ 0.932 3。样地 的各种生物量均大于其它样地,总体上随着洞穴密度的增加而呈现“V”字形走势,样地 各种生物量为最大,然后随着洞穴密度增加地上生物量急剧下降,而在样地 有所增加。地下生物量在样地 后急剧下降,然后在样地 、有所增加,这与样地类型密切相关。样地 为重度退化草地,植被以铁棒槌、乌头等毒杂草为主,直立根系发达,而短根系优质牧草锐减。样地 有效鼠洞密度最大,并为中度退化草地,从样地 到样地 表现为从重度退化到中度退化的阶段,所以出现了生物量回升的趋势。本试验选取样地是以高原鼠兔有效洞口密度增加为梯度,避开了常规按照草地退化阶段,即未退化 - 轻度退化 - 中度退化 - 重度退化<sup>[11]</sup>的顺序来试验设计及相关数据分析,从而可以从洞穴密度角度说明鼠类种群和草地退化的关系,并为下一步确定适宜的鼠类种类密度提供必要的支持。

期(6 月上旬)和旺盛期(8 月下旬)的变化显示(图 1),8 月/6 月地上生物量比分别为:1.74,1.10,0.93,0.99,1.75,样地 , , 的地上生物量 8 月显著高于 6 月( $P < 0.05$ ),而样地 、 基本持平;8 月/6 月地下生物量比为:1.03,1.63,1.36,1.28,0.63,表现为只有在样地 中 8 月地下生物量低于 6 月,而其他 4 个样地均明显高于 6 月;8 月/6 月总生物量比分别为:1.06,1.59,1.34,1.26,0.68,和地下生物量的表征一致。6 月份,地下和地上生物量差异极其显著( $F = 25.84, P < 0.01$ ),其比值分别为 27.64,11.81,21.18,18.19,23.45 倍;8 月份,地下与地上生物量也表现为差异极其显著( $F = 33.21, P < 0.01$ ),其比值分别为 16.45,17.52,30.90,23.41,8.48。地上生物量和地下生物量满足二次函数关系式。

6 月份的函数式为: $y = 485.86x^2 - 3338.1x + 7643.8 R^2 = 0.8737^{**} P < 0.01$

8 月份的函数式为: $y = 93.531x^2 - 1306.8x + 6269 R^2 = 0.9176^{**} P < 0.01$

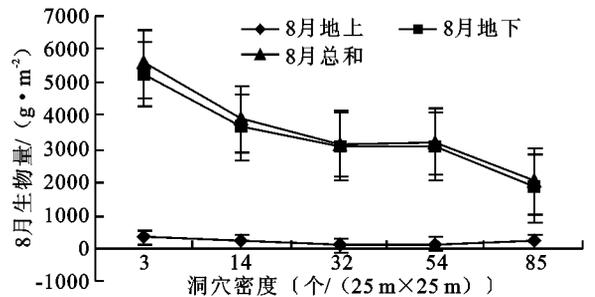


图 2 为不同鼠洞密度样地 6 月份和 8 月份地下生物量分层分布的情况。6 月份各样地 0 - 10 cm 植物根系占总根系的百分率分别是:81.73%,78.21%,83.45%,83.16%和 82.73%,均值为 81.86%;10 - 20 cm 占有量分别为:14.96%,16.89%,11.52%,12.38%和 13.0%,均值为 13.75%;20 - 30 cm 占有量分别为:3.32%,4.9%,5.02%,4.46%和 4.26%,均值为 4.39%。

8 月份各样地 0 - 10 cm 植物根系占总根系的百分率分别是:91.54%,88.85%,82.74%,85.36%和 79.32%,均值为 85.56%;10 - 20 cm 占有量分别为:6.21%,9.07%,14.65%,11.1%和 14.54%,均值为 11.09%;20 - 30 cm 占有量分别为:2.35%,2.08%,2.61%,3.55%和 6.15%,均值为 3.35%。8 月与 6 月各层根系占有量比值分别为:0 - 10 cm 为 1.05 倍;10 - 20 cm 基本持平;20 - 30 cm 为 0.76 倍。第一层根系增多,第二层基本保持不变,第三层有减少趋势。

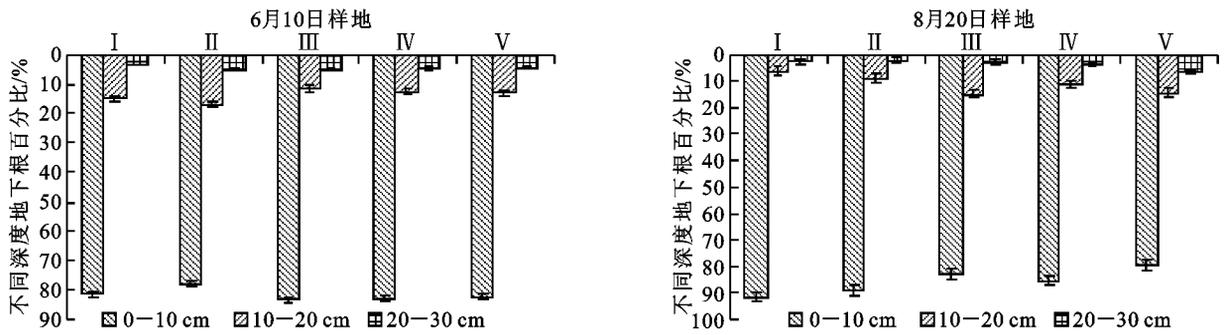


图 2 不同鼠洞密度样地不同时期地下生物量分层分布

3.2 不同鼠洞密度样地的含水量容重及 pH

5 个样地 1/16 hm<sup>2</sup> 的面积有效洞口分别为 3, 14, 32, 54 和 85 个, 虽然和土壤含水量、容重、pH 值没有直接的线性关系。但是含水量、容重、pH 值均与其分层满足线性相关, 符合  $y = \pm ax + b$  形式, 其中  $x$  为 1, 2, 3, 分别代表以 10 cm 为一深度的土层。含水量随深度增加而降低, 表层 (0 - 10 cm) 最高, 8

月份高于 6 月份, 这与 8 月份降雨量较多有关系, 样地 含水量为最高, 样地 为最低, 而样地 也保持了较高的湿度; 容重随土层深度增加而增加, 8 月份低于 6 月份, 由于地下根主要积聚在第一层, 而 8 月份为生长旺盛期; 土壤显弱碱性, pH 值随土层深度增加而增加, 而样地 高于其它 4 个样地, 这与该样地的退化程度有着密切的关系<sup>[14]</sup>。

表 3 不同鼠洞密度样地不同土层土壤含水量、容重及 pH

| 样地  | 土层 | 含水量/ %      |             | 容重/(g · cm <sup>-3</sup> ) |              | pH 值       |            |
|-----|----|-------------|-------------|----------------------------|--------------|------------|------------|
|     |    | 6月          | 8月          | 6月                         | 8月           | 6月         | 8月         |
| 1 # |    | 29.03 ±0.58 | 36.99 ±0.65 | 1.0464 ±0.00               | 0.2774 ±0.00 | 7.53 ±0.02 | 6.67 ±0.00 |
| 2 # |    | 22.99 ±0.23 | 29.76 ±0.47 | 1.2935 ±0.01               | 0.7244 ±0.00 | 7.87 ±0.03 | 7.43 ±0.01 |
| 3 # |    | 18.52 ±0.22 | 29.53 ±0.63 | 1.3016 ±0.00               | 0.9184 ±0.02 | 7.96 ±0.01 | 7.98 ±0.02 |
| 1 # |    | 31.33 ±1.10 | 41.50 ±1.21 | 0.8926 ±0.00               | 0.7854 ±0.01 | 7.43 ±0.00 | 6.95 ±0.01 |
| 2 # |    | 27.47 ±0.43 | 33.34 ±0.57 | 1.0570 ±0.01               | 0.9577 ±0.01 | 7.68 ±0.01 | 7.76 ±0.01 |
| 3 # |    | 22.85 ±0.35 | 26.03 ±0.23 | 1.2124 ±0.02               | 1.1069 ±0.02 | 7.98 ±0.01 | 7.98 ±0.01 |
| 1 # |    | 27.88 ±0.56 | 27.73 ±0.42 | 1.2534 ±0.01               | 1.0235 ±0.00 | 7.70 ±0.00 | 7.02 ±0.02 |
| 2 # |    | 25.21 ±0.56 | 23.63 ±0.16 | 1.3233 ±0.01               | 1.1655 ±0.01 | 7.91 ±0.02 | 7.37 ±0.01 |
| 3 # |    | 20.30 ±0.16 | 23.66 ±0.20 | 1.3242 ±0.03               | 1.2002 ±0.01 | 8.12 ±0.01 | 8.04 ±0.00 |
| 1 # |    | 17.22 ±0.23 | 24.67 ±0.21 | 1.1213 ±0.02               | 0.9784 ±0.03 | 7.79 ±0.01 | 7.21 ±0.01 |
| 2 # |    | 20.00 ±0.02 | 23.95 ±0.38 | 1.1329 ±0.01               | 1.1811 ±0.02 | 8.07 ±0.00 | 8.02 ±0.01 |
| 3 # |    | 17.91 ±0.34 | 22.32 ±0.10 | 1.2925 ±0.00               | 1.3844 ±0.00 | 8.21 ±0.02 | 8.09 ±0.01 |
| 1 # |    | 28.33 ±0.72 | 38.91 ±0.03 | 0.9625 ±0.00               | 0.8675 ±0.01 | 6.32 ±0.01 | 6.24 ±0.01 |
| 2 # |    | 24.45 ±0.48 | 31.03 ±0.08 | 1.1471 ±0.01               | 1.1354 ±0.02 | 6.53 ±0.00 | 8.03 ±0.01 |
| 3 # |    | 21.67 ±0.30 | 28.38 ±0.11 | 1.1585 ±0.02               | 1.1438 ±0.04 | 6.66 ±0.01 | 8.07 ±0.02 |

注: 1 # 代表 0 - 10 cm, 2 # 代表 10 - 20 cm, 3 # 代表 20 - 30 cm。

3.3 讨论

鼠类活动就像放牧一样成为草地一种重要的干扰。不仅可以直接改变草地的形态特征, 而且还可以改变草地群落的组成、结构和生产力<sup>[16]</sup>。但是鼠类活动又不同于放牧, 因为放牧纯属人为干扰, 可以控制其种群密度和放牧频率来缓解草场的压力。而鼠类种群密度的变化要靠草场的特性来反馈和调节, 人为的控制往往适得其反<sup>[17]</sup>。

植物群落地下 (根系) 植物量是生物 (地下、地上) 总生产量的重要组成部分。根系具有固定支持植物, 调节植物生长发育、贮存营养物质、供给地上

部分水分和营养物质等基本功能, 对于地上植物量的形成和植物生长发育起着重要的作用<sup>[18]</sup>。本研究中, 不同鼠洞密度样地地下不同深度的净生产量在垂直高度上具有明显的空间分布特征, 0 - 10 cm 的最大, 10 - 20 cm 和 20 - 30 cm 层依次递减, 这与王启基等<sup>[10]</sup>对高寒矮嵩草草甸的研究结果基本一致, 但其表层根系含量更加趋于表层化, 这与鼠类活动有关。由于植物群落受鼠类活动等因素发生一定程度的退化, 在退化状态下, 植物个体小型化, 根系的分布范围自然也会随之变小。同时鼠类活动也造成了本研究结论偏高的原因, 高原鼠兔的栖息地在

距地面 10 cm 以下,恰好地面 10 cm 以下的植物根系被破坏或啃食,造成了 0-10 cm 根系占有量偏高的结论。

生长季地上、地下和总生物量与不同鼠洞密度的变化曲线用二次函数关系式  $y = ax^2 + bx + c$  进行拟合。随着鼠洞密度的增加,草地地上生物量总体呈现下降趋势,直到样地 (HP) 有所上升。这说明拥有最大鼠类种群并非是退化最严重的草地,但是继续逆向演替的信号,是草地进一步恶化的标志。

本研究表明,土壤容重因样地不同鼠洞密度而异,但各样地遵循 0-30 cm 深度内自上而下逐渐增加的趋势。同时,不同样地间土壤容重也存在一定差异,这主要是由于不同鼠类活动程度导致的不同草地植被组成和对地表覆盖度以及植物根系分布的差异,长期造成了土壤持水量、紧实度以及土壤质地结构等性状的改变而产生的<sup>[19]</sup>。同时,在不同月份由于降水和土壤温度等的影响,土壤含水量以及土壤自然结构孔隙度等因素都会略有不同,因此各月间土壤容重也有所不同。土壤容重和 pH 值 3 个土层土壤容重的变化趋势基本一致,都是土壤表层含量最低,随深度增加而增加。

## 4 结论

(1) 地上、地下及总生物量随鼠洞密度增加呈现先下降后上升的趋势,满足  $y = ax^2 + bx + c$  关系,各生物量样地 (近似零密度) 为最大;

(2) 8 月份地上、地下及其总生物量基本高于 6 月;地下生物量均显著大于地上生物量;6 月份,地下/地上生物量比在 11.81 ~ 27.64 倍,8 月份,地下/地上生物量比为 8.48 ~ 30.90 倍;地上生物量和地下生物量满足  $y = ax^2 + bx + c (a > 0)$  关系。

(3) 各样地 0-10 cm 根系占总根系的百分比较高,6 月份达 78.21% ~ 83.45%,8 月份达 79.32% ~ 91.54%,鼠类活动加剧了向表层聚集的趋势。

(4) 土壤含水量、容重和 pH 值与鼠洞密度没有直接的线性关系,但鼠类活动扰动了土壤质地结构等性状。土壤含水量、容重和 pH 值均与其分层满足线性相关,符合  $y = \pm ax + b$  形式。

### 参考文献:

[1] 钟祥浩. 国内外学术界一直关注的问题:青藏高原研究 - 兼作开设“青藏高原研究”栏目启事[J]. 山地学报,

2005, 23(3):257-259.

- [2] Aho K, Huntly N, Moen J, et al. Pikas (*Ochotona princeps*:Lagomorpha) as allogenic engineers in an alpine ecosystem[J]. *Oecologia*,1998,14:405-409.
- [3] 李英年,王勤学,古松,等. 高寒植被类型及其植物生产力的检测[J]. *地理学报*,2004,59(1):40-48.
- [4] 董全民,赵新全,马玉寿,等. 牦牛放牧率与小高草高寒草甸暖季草地地上、地下生物量相关分析[J]. *草业科学*,2005,22(5):65-71.
- [5] Martin GL. The role of small ground-foraging mammals in top soil health and biodiversity: Implications to management and restoration [J]. *Ecological Management and Restoration*,2003,4:114-119.
- [6] 李林,李凤霞,郭安红,等. 近 43 年来“三江源”地区气候变化趋势及其突变研究[J]. *自然资源学报*,2006,21(1):79-85.
- [7] 张磊,缪启龙. 青藏高原近 40 年来的降水变化特征[J]. *干旱区地理*,2007,30(2):241-242.
- [8] 王堰,李雄,缪启龙. 青藏高原近 50 年来气温变化特征的研究[J]. *干旱区地理*,2004,27(1):41-46.
- [9] 王启基,周兴民,张堰青. 青藏高原金露梅灌丛的结构特征及其生物量[J]. *西北植物学报*,1991,11(4):333-340.
- [10] 王启基,王文颖,邓自发. 青海海北地区高山嵩草草甸植物群落生物量动态及能量分配[J]. *植物生态学报*,1998,22(3):222-230.
- [11] 刘伟,周华坤,周立. 不同程度退化草地生物量的分布模式[J]. *中国草地*,2005,27(2):9-13.
- [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[J]. *草地学报*,2008,6(5):476-476.
- [13] 刘季科,张云占,辛光武. 高原鼠兔数量与危害程度的关系[J]. *动物学报*,1980,26(4):378-385.
- [14] 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[J]. *草业科学*,1999,15(2):5-9.
- [15] 熊顺贵. 基础土壤学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2001.
- [16] 钟文勤,樊乃昌. 鼠类在草地生态系统中的作用[J]. *生物学通报*,2002,37(7):17-20.
- [17] 钟文勤. 啮齿动物在草原生态系统中的作用与科学管理[J]. *生物学通报*,2008,28(3):886-888.
- [18] 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[D]. 兰州:甘肃农业大学,2008.
- [19] 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[J]. *生态学报*,2008,28(3):886-888.