

# 一种地下啮齿动物土丘数量和分布调查的新方法

花立民<sup>①</sup> 楚彬<sup>①</sup> 周延山<sup>①</sup> 马素洁<sup>②</sup> 周建伟<sup>①</sup>

① 甘肃农业大学草业学院 兰州 730070; ② 甘肃农业大学工学院 兰州 730070

**摘要:** 地下啮齿动物挖掘形成的土丘数量变化以及分布是其生态学研究的重要内容之一。传统的土丘数量和分布调查方法是计数法和填图法, 存在工作量较大和误差较高等缺点。实时动态控制系统技术 (RTK) 是一种高精度的 GPS 测量方法, 能够在野外实时得到厘米级的定位精度。本文以甘肃省天祝县抓喜秀龙乡高原鼢鼠 (*Eospalax baileyi*) 分布区为调查区域, 利用 RTK 技术实现了高原鼢鼠土丘数量和分布情况调查, 并结合 ArcGIS 软件实现了土丘数量及其相对种群密度变化的统计分析。RTK 技术在研究其土丘空间分布特征、相对种群密度 (以土丘数量代表) 以及草地危害评估等方面具有很好的效果。此方法不仅可用于地下啮齿动物土丘数量和分布调查, 还可用于地上啮齿动物洞口数量和分布的调查。

**关键词:** 实时动态控制系统技术 (RTK); 啮齿动物; 洞口; 土丘

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2018) 03-461-07

## A Method for Investigating Mounds Number of Subterranean Rodent and Its Distribution

HUA Li-Min<sup>①</sup> CHU Bin<sup>①</sup> ZHOU Yan-Shan<sup>①</sup> MA Su-Jie<sup>②</sup> ZHOU Jian-Wei<sup>①</sup>

① *College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070;* ② *College of Engineering Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*

**Abstract:** Number changes and distribution ranges of mounds made by subterranean rodent is the key to monitor the population size change for this group rodent. Traditionally, people counted the number of mounds and plotted a map to figure out their distribution ranges. Both of the methods had some problem in term of heavy workload and the results were far from perfect. In this paper we used a method named the real-time kinematic (RTK) which based on GPS to estimate the number and range of mounds by subterranean rodent and got a high precision result that can locate a point of the mounds in a precision in the centimeter level. We selected the study area in an area located in the Plateau Zokor (*Eospalax baileyi*) located in Zhuaxixiulong

**基金项目** 国家重点研发计划项目 (No. 2017YFC0504803), 国家自然科学基金项目 (No. 31460635) 和甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目;

**第一作者介绍** 花立民, 男, 教授; 研究方向: 草地保护研究; E-mail: hualm@gsau.edu.cn.

收稿日期: 2017-10-25, 修回日期: 2018-01-06 DOI: 10.13859/j.ejz.201803014

Township in Tianzhu County, Gansu province in where the subterranean rodent was founded. We used RTK technology to investigate the number and distribution of the mounds by Zokors. We combined ArcGIS software to analyze the changes of the mounds number and its relative population density. According to the more precision results, we believed this method is a good way to study the distribution pattern of Zokor's mounds and the relative population density of Zokor's, as well as damage assessment of rangeland caused by the Zokor. We suggested this method can be both used for investigating mounds number and its distribution range of subterranean rodent, as well as used in the investigation of hole made by the aboveground rodents.

**Key words:** Real-time kinematic (RTK); Rodent; Mounds; Hole

地下啮齿动物营地下生活, 广泛分布于草地、农田和林业生态系统 (Lacey et al. 2000), 在物质循环和能量流动中有着重要的位置和功能, 是生物多样性重要组成部分 (Begall et al. 2007, Powers et al. 2011)。地下啮齿动物挖掘、采食等行为会影响土壤环境和植物群落结构, 当其种群密度超出环境容量时就成为有害生物并影响着生态安全, 如栖息于青藏高原的典型地下啮齿动物——高原鼯鼠 (*Eospalax baileyi*) 就是目前农牧业防治的主要害鼠之一 (张堰铭 2002, 韩崇选等 2005, 孙飞达等 2011)。由于地下啮齿动物栖息于地下, 难以通过布置地面鼠夹来调查其种群数量或种群密度。目前主要采用调查其推出的土丘数量来间接反映相对种群密度和危害程度 (何俊龄等 2006)。而且, 地下啮齿动物的土丘数量及其分布可以反映其栖息地选择 (周建伟等 2013)。因此, 土丘数量和分布的调查在地下啮齿动物生态学研究 and 害情调查等方面具有重要意义。

传统地下啮齿动物土丘数量和分布调查法主要是土丘计数法和填图法 (王权业等 1987, 孔照芳等 1990)。土丘计数法用于相对种群密度调查时需要多人同时在样地里分别计数新、旧土丘, 存在工作强度大、重复计数或漏数等导致统计数据精度低等问题。而且, 在地下啮齿动物危害评价时, 样地面积大小影响其评价效果。周延山等 (2016) 认为选择较大面积的样地 (一般大于  $75\text{ m} \times 75\text{ m}$ ) 会比较准确地反映高原鼯鼠真实的危害情况。但是, 调查样地面积的增加也会增加工作量和误差。此外, 当

前地下啮齿动物栖息地研究多是采用对其已推出土丘分布的植物学或土壤学静态研究 (韩天虎等 1999, 张卫国等 2004, 张军等 2011), 其实质是反映了已定居的地下啮齿动物栖息地特征。通过土丘分布的时空变化反映栖息地选择的动态研究不足 (周建伟等 2013)。因此, 寻找一种高效、准确和动态反映地下啮齿动物种群数量和栖息地选择及分布的研究方法就显得尤为重要。

实时动态控制测量技术 (real-time kinematic, RTK) 是一种高精度的 GPS 测量方法, 它采用了载波相位动态实时差分计数, 是能够在野外实时得到厘米级定位精度的测量方法, 目前主要用于工程测量、地质灾害监测等方面 (王利等 2011)。相比传统的手持 GPS 测量仪  $10 \sim 15\text{ m}$  的误差精度, 该技术可以精确到厘米级, 而且实时传送数据, 配合地理信息软件可以生成调查点的经纬度和海拔数据。由于地下啮齿动物推出的土丘有时距离很近或者形成土丘群, 土丘之间有时相距  $0.1 \sim 0.2\text{ m}$ , 难以用普通手持 GPS 或亚米级 GPS (水平精度大于  $0.5\text{ m}$ ) 记录土丘的经纬度和海拔信息。因此, RTK 技术可以准确地调查地下啮齿动物的新旧土丘数量以及其分布。结合 ArcGIS 或 MapGIS 软件, 针对不同研究目的, 可以开展不同地形、不同时间 (如季节、年际) 的土丘数量及其分布调查, 配合植被、土壤调查数据, 可用于分析种群动态变化、动态栖息地分布及选择等地下啮齿动物生态学研究中。本文以青藏高原优势地下啮齿动物高原鼯鼠为例, 调查

其土丘数量和分布，为开展相对种群密度、栖息地选择等方面的研究提供一种新型技术手段。对于地上啮齿动物，如高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 洞穴数量和分布调查，也可借鉴此技术开展相关研究。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域和被测动物

选择祁连山东段甘肃省天祝藏族自治县的高寒草甸，平均海拔 3 000 m，年均气温 0.1 °C。主要植物有鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、甘肃洽草 (*Koeleria cristata*)、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、短尖苔草 (*Brevicuspis brevicuspis*)、平车前 (*Plantago depressa*)、条叶龙胆 (*Gentiana manshurica*)、矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 等。高原鼯鼠是该区域栖息的 优势地下鼠 (刘丽等 2015)。本试验选择 5 个高原鼯鼠土丘数量各异的样地，样地面积分别是 2.18、1.10、1.61、1.26 和 2.50 hm<sup>2</sup>。用 RTK 每年春季和秋季对高原鼯鼠土丘数量和分布进行调查。

### 1.2 方 法

#### 1.2.1 基准站和移动站使用方法 选用中海达

测绘仪器有限公司生产的 V8-CORS 双星 RTK，有 1 个基准站和 4 个手持移动站。基准站主要设备包括主机 (V8-B)、锂电池 (BL-1400)、电台 (UH-460) 等。移动站主要设备包括主机 (V8-R4)、PDA 手簿、460 MHz 轻便接收天线 (UHF-11) 和 2 m 碳素杆 (CLS2-1) 等。实时动态监测平面精度为  $\pm 0.01$  m，高程为  $\pm 0.03$  m，传输距离  $\leq 20\ 000$  m。具体技术参数详见产品说明书。如图 1 所示，首先选择视野开阔且地势较高的地方架设基准站。基准站附近不应有高楼或成片密林 (影响卫星信号接收)、大面积水塘 (多路径效应严重)、高压输电线或变压器 (有干扰)。首先打开 GPS 基准站接收机设置项目，选择合适的坐标系统 (如北京-54)，并设置连接 GPS。其次设置手持移动站与基准站建立通讯联系。最后将移动站放置在要调查的高原鼯鼠推出的新旧土丘上，点击移动站自带的 PDA 手簿，系统自动记录当前调查点的 GPS 经纬度和海拔数据。

#### 1.2.2 新、旧土丘类型的划分标准

新旧土丘划分主要以土丘的土壤状况、植被盖度和植物种类组成为依据，其中，当年新土丘土壤湿润且疏松，有龟裂，基本无植被；旧土丘土壤紧实，植被盖度大于 60%，一年生植物比例小于

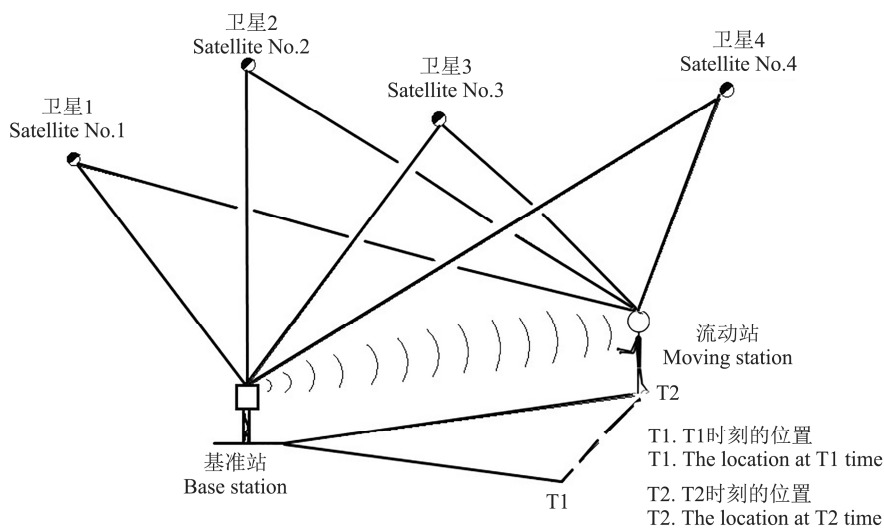


图 1 RTK 使用示意图

Fig. 1 Schematic diagram of RTK

10% (周延山等 2016)。高原鼯鼠推土造丘行为主要发生在春秋两季(王权业等 1987)。RTK 技术调查土丘数量和分布时,一般选择春季进行。按照当年新土丘划分标准,首先标记当年春季新土丘的经纬度和海拔。其余土丘自然划分为上一年度旧土丘。秋季调查时,也是首先标记当年秋季新土丘的经纬度和海拔。其余土丘自然为上一季节或上一年度的旧土丘。如果重复标记,在 ArcGIS 软件中呈现出的重复点则为上个季节或上一年度的旧土丘。

**1.2.3 土丘数量的调查方法** 在 2010 至 2012 年每年春、秋两季,对不同高原鼯鼠土丘数量样地内的新土丘数量进行调查。2010 年春季调查时,把前一年(即 2009 年)的土丘都定义为旧土丘。利用 RTK 调查时,新、旧土丘经纬度和海拔信息采集分别建立新旧土丘的项目名称。操作人员在调查样地手持移动站的碳素杆并排前行进行数据采集。采集时注意查看碳素杆在土丘留下的标记,以避免重复或漏采。数据采集工作完成后,查看 RTK 工作手簿,将数据保存为“.csv”格式并导出数据。利用 Excel 软件将数据打开,可以分别统计新、旧土丘总量。平面直角坐标系中的  $x$ 、 $y$ 、 $h$ ,  $x$  为北向坐标,  $y$  为东向坐标,  $h$  为高程;空间大地坐标系中的  $B$ 、 $L$ 、 $H$ ,  $B$  为纬度,  $L$  为经度,  $H$  为高程。

另外一种方法可将数据导入 ArcGIS 软件进行分区统计。利用 Excel 软件将数据进行编辑,表格中第 1 列为土丘的编号;第 2~4 列分别为平面直角坐标系中的  $x$ 、 $y$ 、 $h$ 。利用 ArcGIS10.2 软件的数据添加模块,将编辑好的 Excel 文件导入,数据呈表格属性。若采用经纬度方式导入,经纬度数据应换算成“度十进制”格式。利用“显示 XY 数据”模块将土丘数据点位按照经纬度进行显示。模块设置中,“X 字段”应选择表格数据中“ $y$ ”列;“Y 字段”应选择表格数据中“ $x$ ”列;“输入坐标系”设置投影坐标系统,可在编辑选项中选择或导入(坐标系选择项目设置时的坐标系统)。

数据在界面显示为点,可通过数据导出,保存为 SHP 格式。叠加样区位置图层,可利用表格属性和选择项将土丘点进行分区统计。

**1.2.4 土丘空间位置分布调查方法** RTK 获取的点位数据携带精确的坐标信息。将 RTK 获取样区边界点数据导入 ArcGIS 软件,连点成线,可以制作样区基础地理图层。同时叠加不同年份的 RTK 土丘点数据,形成土丘分布专题图。不同年份土丘可以采用不同颜色表示,使土丘分布特征更清晰明确。

**1.2.5 高原鼯鼠相对种群密度及其空间分布调查方法** 以高原鼯鼠土丘数量与样地面积的比值表示相对种群密度(周延山等 2016)。高原鼯鼠相对种群密度空间分布及其变化是利用 ArcGIS 软件完成。利用 ArcGIS 软件中点密度分析模块,设置搜索圆形半径为 39.867 m (搜索面积为 1  $\text{hm}^2$ ),可以将调查土丘分布点生成高原鼯鼠相对种群密度空间分布图。以调查当年的总土丘分布为基础数据,以后每年开展同样的调查。利用代数运算模块进行差值计算得到高原鼯鼠相对种群密度空间变化图。

## 2 结果

### 2.1 RTK 技术在调查土丘数量方面的应用

利用 RTK 系统调查高原鼯鼠土丘数量时,利用手持移动站在新旧土丘上停留 1~2 s,同时在 PDA 手簿输入土丘的编号,即可实现土丘经纬度和海拔高程的自动记录。将手簿记录的数据导入地理信息软件,手簿记录的编号即是新旧土丘的调查数量。根据调查样地的面积,可以 3~4 人同时操作,不需要调查人员间的通视,即相互看见,具有效率高、准确性高等优势。RTK 技术可以实现年际间高原鼯鼠总土丘数量调查(表 1),通过计算也可得出高原鼯鼠相对种群密度,即土丘数量与样地面积的比值。根据研究目的不同,也可以实现月际间总土丘数量变化的调查,也可以实现月际或年际新、旧土丘数量动态变化的调查工作。

### 2.2 RTK 在研究土丘分布方面的应用

表 1 不同样区土丘数量及相对种群密度信息

Table 1 The number of mounds and relative density of population in different sample area

样区 Sample area	样地面积 Sample size (hm <sup>2</sup> )	土丘数量 The number of mounds (个)				平均相对种群密度 (以土丘数量表示) Relative density of population (Indicated as the mounds number) (个/hm <sup>2</sup> )
		2010 年 Year	2012 年 Year	2013 年 Year	总量 Total	
1	2.50	60	57	54	171	68
2	1.26	44	49	38	131	104
3	1.61	48	15	13	76	47
4	1.10	127	34	59	220	200
5	2.18	110	78	102	290	133

鼯鼠土丘分布与栖息地选择密切相关。RTK 技术可以得到新、旧土丘的经纬度和高程数据，配合地理信息软件，如 ArcGIS，可以将土丘地理位置数据输出成图（图 2）。本调查区高原鼯鼠的土丘呈聚集分布，主要分布在鼯鼠捕获区的西南部、中东部区域。从 2009 年到 2012 年土丘的分布发生了年际变化。配合地面植被、地下根系以及土壤学等方面的调查，可以开展高原鼯鼠栖息地选择等研究。

基于 RTK 技术得到的调查区高原鼯鼠总土丘空间分布数据（2010 至 2012 年），利用

ArcGIS 软件代数运算模块进行差值计算得到高原鼯鼠相对种群密度空间变化图（图 3）。从图中可以看出 2012 年鼯鼠调查区西南部的相对种群密度最高，达到土丘 300 个/hm<sup>2</sup> 以上（图 3a）。从高原鼯鼠相对种群密度空间变化图（图 3b）来看，中东部高原鼯鼠相对种群密度呈增长趋势，表明高原鼯鼠种群从高密度区向低密度区扩散。

### 3 讨论

采用 RTK 技术在不同样地或不同时间调

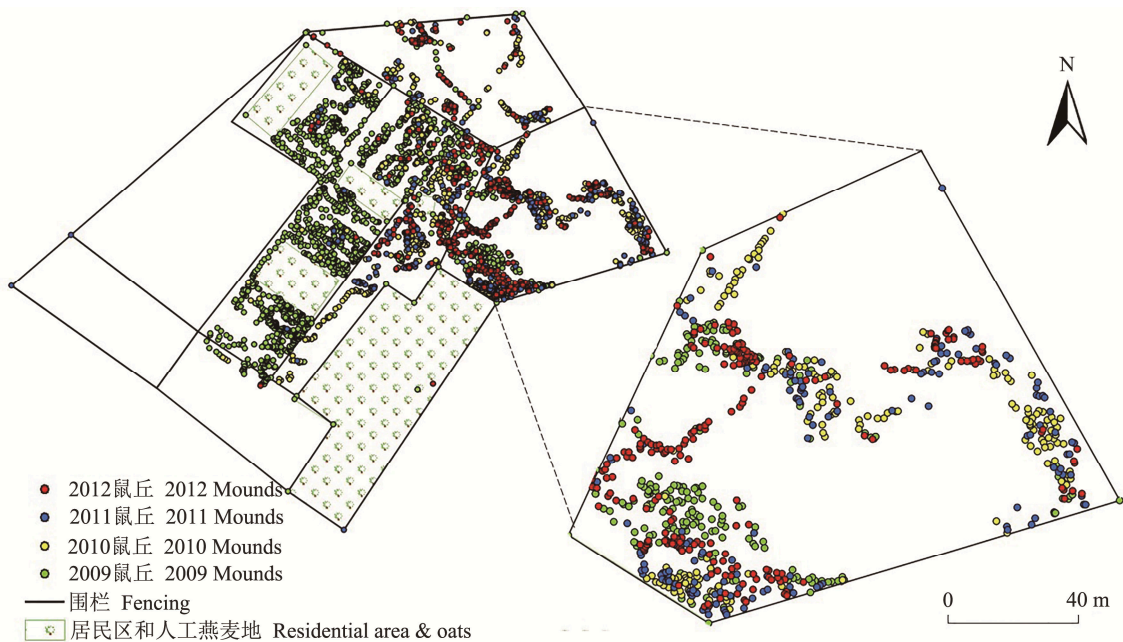


图 2 土丘分布图

Fig. 2 The distribution of zokor mounds

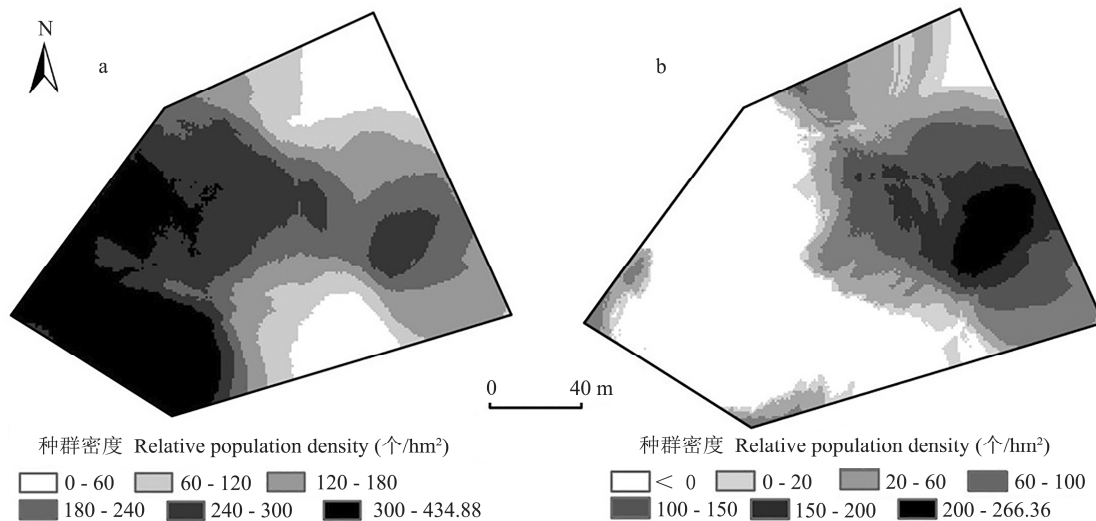


图3 相对种群密度分布图

Fig. 3 The relative density of population distribution

a. 2012年相对种群密度分布图; b. 2010至2012年相对种群密度空间变化图。

a. The distribution of relative population density in 2012; b. The spatial change of relative population density from 2010 to 2012.

查土丘数量, 基准站每次固定安放同样位置, 手持移动站(碳素杆, 含锂电池重量1 300 g), 不仅节省人力, 而且可以准确标记每个土丘的GPS位置。在地理信息软件(如ArcGIS)的帮助下, 很快地统计出土丘数量的时空变化, 是一项快速的土丘数量调查技术。在调查中, 为了避免重复计数或漏数土丘, 可用移动站的碳素杆在土丘上戳一个洞, 以防止多人调查时重复计数。地下啮齿动物种群密度调查多在植被返青和越冬前进行(何俊龄等 2006), 植被稀疏, 调查者可轻易看见土丘上戳的洞, 不易重复。此外, 由于新土丘更能反映地下啮齿动物的种群密度(张卫国等 2004), 是否有调查者已经在土质松软的新土丘上戳的洞更是轻易可见。

RTK技术除用于地下啮齿动物种群密度调查外, 在其栖息地选择研究中更有重要的技术支持。以往在研究地下啮齿动物(如高原鼯鼠)栖息地选择时, 多采用调查其已栖息区域的植被、土壤等指标, 这种调查只能反映其静态的栖息地特征, 对栖息地选择并不能真实反

映(周建伟等 2013)。地下啮齿动物栖息地选择是一个缓慢的过程, 通过其不断推出的土丘在时间和空间上的变化, 可以反映栖息地选择。采用RTK技术可以不断记录土丘数量及其分布, 特别是新土丘的GPS位置。在一定的时空尺度, 用地理信息软件(如ArcGIS)可以清晰地发现其新土丘分布或运动的方向, 结合植被、土壤和其他因素可以较为准确地研究其栖息地选择, 这对保护生物多样性和控制草原、农田及林业鼠害有着重要意义。

RTK技术尽管依赖于GPS卫星网络。但是它的精确度是手持GPS无法比拟的。目前手持GPS的水平精度在15~20 m, 即使是亚米级的手持GPS, 精度也在0.5~1.0 m之间。而地下啮齿动物推出的密集土丘, 有时其相隔距离不到0.5 m。因此, 手持GPS的精度达不到地下啮齿动物科学研究的需要。早期的RTK设备接收芯片多采用美国的全球定位系统(Global Positioning System), 价格较高(一台基准站加4个移动站大约20余万元人民币)。但是随着我国自主研发的北斗导航系统应用的不断普

及, 基于北斗导航的 GPS 芯片使得价格降低很快, 目前一套价格大约 8~10 万元人民币。性能的提高和价格的降低, 使得 RTK 技术在啮齿动物研究中更易推广。当然, RTK 技术也不是万能的, 较容易受卫星状况、天气状况、数据链传输状况的影响。但与它带来的高效和便捷相比, 这些问题是可以克服的。

除用于地下啮齿动物生态学研究外, RTK 也可以用在地上啮齿动物生态研究中。如高原鼠兔、布氏田鼠 (*Microtus brandti*) 等地面鼠洞口密度、分布等调查中。采用的方法同高原鼫鼠土丘调查方法, 结合植被、土壤调查内容, 可以开展地上啮齿动物的空间分布格局、栖息地选择以及其他相关研究。

## 参 考 文 献

- Begall S, Burda H, Schleich C E. 2007. Subterranean Rodents: News from Underground. Berlin: Springer, 4-9.
- Lacey E A, Patton J L, Cameron G N. 2000. Life Underground the Biology of Subterranean Rodents. Chicago and London: The University of Chicago Press, 20-22.
- Powers B, Johnson M D, Lamanna J A, et al. 2011. The influence of cattle grazing on pocket gophers in the Central Sierra Nevada Mountains, California: potential implications for Great Gray Owls. *Northwestern Naturalist*, 92(1): 13-18.
- 韩崇选, 李金钢, 杨学军, 等. 2005. 中国农林啮齿动物与科学管理. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 197-228.
- 韩天虎, 张卫国, 丁连生. 1999. 高原鼫鼠栖息地植被特征. *草业学报*, 8(2): 43-49.
- 何俊龄, 张金沙, 杨莹博, 等. 2006. 高原鼫鼠土丘空间格局及主要特征研究. *草业学报*, 15(1): 107-112.
- 孔照芳, 鲁挺, 孟宪政, 等. 1990. 拓宽生物防治草地鼠害的途径——应用人工鹰架防治草地鼠害的研究. *草业科学*, 7(2): 8-13.
- 刘丽, 花立民, 杨思维, 等. 2015. 放牧干扰下高原鼫鼠栖息地选择因素. *动物学杂志*, 50(5): 725-734.
- 孙飞达, 龙瑞军, 郭正刚, 等. 2011. 鼠类活动对高寒草甸植物群落及土壤环境的影响. *草业科学*, 28(1): 146-151.
- 王利, 张勤, 李寻昌, 等. 2011. RTK 技术用于滑坡动态实时变形监测的研究. *工程地质学报*, 19(2): 193-198.
- 王权业, 樊乃昌. 1987. 高原鼫鼠 (*Myospalax baileyi*) 的挖掘活动及其种群数量统计方法的探讨. *兽类学报*, 7(4): 283-290.
- 张军, 葛庆征, 张卫国, 等. 2011. 植被性状与高原鼫鼠栖息地适合度的关系. *草业科学*, 28(5): 836-840.
- 张卫国, 江小蕾, 王树茂, 等. 2004. 鼫鼠的造丘活动及不同休牧方式对草地植被生产力的影响. *西北植物学报*, 24(10): 1882-1887.
- 张堰铭, 刘季科. 2002. 地下鼠生物学特征及其在生态系统中的作用. *兽类学报*, 22(5): 144-154.
- 周建伟, 花立民, 左松涛, 等. 2013. 高原鼫鼠栖息地的选择. *草业科学*, 30(4): 647-653.
- 周延山, 花立民, 楚彬, 等. 2016. 祁连山东段高原鼫鼠对高寒草甸危害评价. *生态学报*, 36(18): 5922-5930.