

# 青海省河南蒙古族自治县高原鼠兔洞口 空间分布格局及其成因研究

杜嘉星<sup>1,2</sup>, 宜树华<sup>3,4</sup>, 秦 彧<sup>1</sup>, 于红妍<sup>5</sup>, 马建海<sup>6</sup>, 孙 义<sup>3,4</sup>, 秦 炎<sup>1,2</sup>

- (1. 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 南通大学地理科学学院, 南通 226007; 4. 南通大学脆弱生态环境研究所, 南通 226007; 5. 青海省草原总站, 西宁 810008;  
6. 黄南州草原站, 同仁 811300)

**摘 要:** 黄河源区位于我国青藏高原东北部, 是重要的生态屏障和生物多样性宝库。高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*) 在黄河源区广泛分布, 认识高原鼠兔时空分布特征对了解其在生态系统中的作用具有重要意义。采用无人机技术, 通过自主研发的无人机航拍系统, 于2016年8月、2017年8月、2017年12月、2018年5月多次在位于黄河源区的青海省黄南州河南县进行野外航拍工作, 共布设了29个工作点(每个工作点单独设置航线, 包含12~16个固定拍摄点), 共计拍摄500余张定点航拍照片, 每张照片覆盖地面35 m×26 m范围。同时, 对工作点进行了相关地面调查。河南县高原鼠兔洞口分布异质性较大, 分布极不均衡。鼠洞密度在2016—2017年间有增加趋势, 由平均14.7个·亩<sup>-1</sup>增加到20.1个·亩<sup>-1</sup>。影响鼠洞分布的因素较为复杂, 如气候、植被、放牧、土壤、招鹰架的布设及灭鼠等。就放牧强度与离水源地距离两点加以分析, 结果表明在中等放牧强度下和与水源地有一定距离(50~200 m)的环境下鼠洞密度较高。

**关键词:** 黄河源; 青藏高原; 高原鼠兔; 空间分布; FragMAP 软件

中图分类号: Q958.113

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2019)03-0415-05

## Distribution and cause of plateau pika(*Ochotona curzoniae*) burrows in Henan Mongolian Autonomous county, Qinghai Province

DU Jiaying<sup>1,2</sup>, YI Shuhua<sup>3,4</sup>, QIN Yu<sup>1</sup>, YU Hongyan<sup>5</sup>, MA Jianhai<sup>6</sup>, SUN Yi<sup>3,4</sup>, QIN Yan<sup>1,2</sup>

- (1. State Key Laboratory of Cryospheric Science, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. School of Geographic Science, Nantong University, Nantong 226007; 4. Institute of Fragile Eco-Environment, Nantong University, Nantong 226007; 5. Qinghai Provincial Grassland Station, Xining 810008; 6. Huangnan Prefecture Grassland Station, Tongren 811300)

**Abstract:** Source Region of Yellow River Basin is a core zone for ecological barrier and biodiversity treasury in Tibetan Plateau. Plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is widely distributed in this region and exerts profound effects on the terrestrial ecosystem. Investigating spatial distribution of pika is important to understand the role of them played in the ecosystem. In this study, we investigated pika burrow density by UAV aerial photography and field measurement in Henan county, Huangnan Prefecture, Qinghai Province, Source Region of Yellow River Basin in August 2016, August 2017, December 2017 and May 2018. Totally, 29 work points (each work point includes 12-16 waypoints) were set and 500 aerial photographs were obtained. Each aerial photograph taken by UAV at a height of 20 m covers approximately 35 m × 26 m ground area. We found that the distribution of pika burrows was extreme heterogeneous and unbalanced. The pika burrow density increased from 14.7 in 2016 to 20.1 per mu in 2017. We concluded that the distribution of pika burrow was regulated by the combined factors, including climate, vegetation, grazing, soil, scaffold and deratization, etc. We also analyzed the relationships of pika burrow density with the grazing intensity and the distance from water sources. The results showed that the high pika burrow density was under moderate grazing intensity and at a distance of 50 to 200 m from the water source.

收稿日期: 2018-08-06

基金项目: 国家重点研发项目(2017YFA0604801)和南通市重点实验室项目(CP12016005)共同资助。

作者简介: 杜嘉星, 硕士研究生。E-mail: dujx@lzb.ac.cn

\* 通信作者: 宜树华, 博士, 研究员, 博士生导师。E-mail: yis@lzb.ac.cn

**Key words:** Source Region of Yellow River Basin; Tibetan Plateau; plateau pika; spatial distribution; FragMAP

高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 是一种小型哺乳动物, 隶属于兔形目, 鼠兔科。分布在亚洲中部到东北部一带, 尤其以青藏高原和亚洲中部高原、山地分布最为丰富。高原鼠兔栖息地主要在海拔 3 200~5 200 m 土质疏松、植被稀疏矮小的草场、山坡地和农田附近土坡<sup>[1]</sup>。高原鼠兔喜群居生活, 它们常选择坡位较低、土质疏松、距离水源较近的环境建筑洞穴<sup>[2]</sup>。Smith 和 Foggin<sup>[3]</sup>研究发现高原鼠兔是当地生物多样性的指示种, 能够增加植物物种丰富度, 同时也是当地野生动物的重要食物来源。因此, 高原鼠兔是高寒草甸生态系统中的关键物种。同时, 有研究发现, 高原鼠兔能够加速草甸生态系统的碳排放<sup>[4]</sup>。然而从另一方面来看, 高原鼠兔也被认为是导致草地退化的重要诱因之一。它常常啃食优良牧草, 据相关文献报道, 平均每只高原鼠兔年均采食新鲜牧草 21.6 kg, 从而大幅减少了可饲养家畜的数量和经济效益<sup>[5]</sup>。此外它们挖洞堆土, 破坏生草层<sup>[6]</sup>, 形成了大面积寸草不生的“黑土滩”<sup>[7]</sup>, 对畜牧业生产有很大危害<sup>[8]</sup>。由于目前对于高原鼠兔在高寒草地生态系统中的作用仍存在较大争议, 其对高寒草地的影响仍是近年来的研究热点, 而明晰高原鼠兔的空间分布特征则是深入研究的关键。

高原鼠兔种群数量调查的传统方法有直接计数法、标志重捕法和指数估计法<sup>[9]</sup>。这些方法虽然对种群数量的统计较为准确, 但却耗时费力, 难以进行大范围持续性调查<sup>[10]</sup>。无人机 (unmanned aerial vehicle, UAV), 是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机, 或者由车载计算机完全或间歇地自主操作。无人机应用前景广阔, 如侦察机和靶机, 以及航拍、农业植保和测绘等<sup>[11]</sup>。在生物群落调查中, 无人机具有成本低、效率高等特点, 是进行生物群落快速调查的优良工具<sup>[12-15]</sup>。近年来, 无人机也开始应用于高寒草地研究, 可快速准确地获取植被盖度、鼠洞数量和载畜量等重要信息<sup>[16]</sup>。本研究采用四旋翼无人机在青海省河南县开展航拍调查, 旨在探明该区域高原鼠兔洞口的空间分布特征。同时, 结合地面调查所获得的实测数据, 揭示影响高原鼠兔洞口分布的关键因子, 为当地草地资源管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

河南蒙古族自治县位于青藏高原东部青海省黄

南藏族自治州境内, 黄河右旋弯曲的弦部南端。地势从西南到东北逐渐抬升, 平均海拔 3 600 m, 最高海拔 4 539 m<sup>[17]</sup>。河南县支柱产业为畜牧业, 是全国面积最大的有机畜牧业生产基地全县天然草场, 面积约为 6 471.81 km<sup>2</sup>, 占全县总面积的 92.49%。其中可利用草场面积约为 5 998.29 km<sup>2</sup> 占草场总面积的 92.68%<sup>[18]</sup>。天然草地类型为垂穗披碱草型高寒草甸, 该草甸的主要牧草有垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、线叶嵩草 (*Kobresia capillifolia*) 和珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*) 等<sup>[19]</sup>。

### 1.2 数据采集与处理

**1.2.1 数据来源** 本研究所采用大疆创新科技有限公司 (DJ-Innovations, DJI) 生产的四旋翼无人机精灵 3 专业版 (Phantom 3 Professional) 和御 (Mavic Pro), 通过本团队自主研发的 FragMAP 软件来控制无人机的定位、导航以及航拍<sup>[20]</sup>。无人机飞行的高度  $H$  设定为 20 m, 所使用无人机的视场角 ( $fov$ ) 为  $94^\circ$ , 无人机单张照片所覆盖地面的范围为  $\frac{12}{25} \left( 2H \tan \frac{fov}{2} \right)^2$ , 因此 20 m 高度处所覆盖的样地范围约为 910 m<sup>2</sup> (35 m × 26 m)。单张相片的分辨率约为 4 000 像素 × 3 000 像素, 单个像元的分辨率约为 0.9 cm, 而鼠洞实测直径约为 6 cm 左右, 因此, 无人机航拍的图片能清晰地分辨出鼠洞的位置<sup>[21]</sup>。野外航拍工作分别于 2016 年 8 月和 2017 年 8 月在河南县县域范围内开展, 覆盖了全县范围内的 3 个乡镇, 共 12 个村, 设立了 29 个工作点 (每个工作点包含 12~16 个固定拍摄点) (图 1), 每个工作点分别设置航线, 共计拍摄 500 余张照片。2017 年 12 月和 2018 年 5 月在河南县选取之前航拍过的工作点进行地面调查。

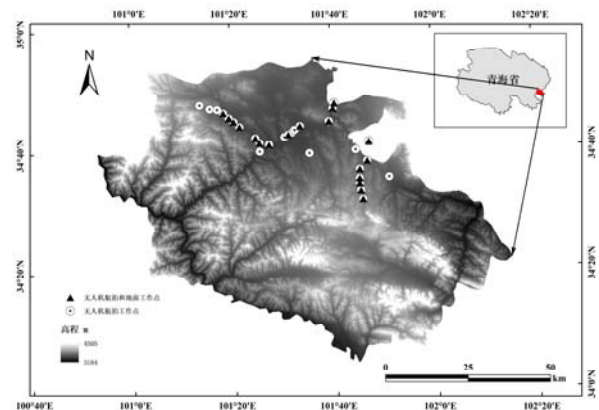


图 1 河南县野外航拍工作点

Figure 1 Henan county filed aerial photography work points

**1.2.2 研究方法** 将野外航拍的照片通过自主研发的 Djilocator 软件对其进行定位, 并用 ProposalClassifier 软件选取合适阈值, 通过自动识别和人工手动补充相结合方法对鼠洞进行提取<sup>[22]</sup>。

地面工作的研究方法如下: 选取曾航拍过的 19 个工作点 (图 1), 在每个工作点航拍照片覆盖的范围内, 随机设置 2~4 个中心点, 分别用长为 14.6 m 的绳子围绕中心点拉绳, 绳环绕一圈 ( $\approx 669.64 \text{ m}^2$ ) 的圆形区域设置为 1 个样地, 记录样地内的总洞口数。之后, 将用沙土将样方内所有鼠洞轻微封堵, 同时累计洞口数量, 24 h 后检查盗开情况, 记录盗开洞口数量, 即有效洞口数。有效洞口系数=样方内盗开洞口数/样方内洞口数量  $\times 100\%$ <sup>[10]</sup>。

结合实地观测, 可发现误差主要来源于软件在自动识别鼠洞的过程中, 容易将牛粪、畜蹄和植被的阴影部分误判为鼠洞。其中一部分误差可以通过人工判别进行更正, 而另一部分则在航拍照片上难以分辨。因此, 在实际应用过程中, 需要利用地面调查数据对无人机提取出的鼠洞数据进行纠正。

本研究使用 R 语言对鼠兔洞口数据进行分组统计分析, 并将结果制图, 地图使用 ArcGIS for Desktop 10.5 和 QGIS2.18 绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 洞口系数转化

通过对航拍照片进行鼠洞的提取, 并与实地观测结果进行比对, 发现航拍照片与实地测量数据存在一定差异, 因此建立回归关系以检验它们之间的相关性。采用已航拍过的 19 个点的数据, 与地面实测数据进行对比。结果表明, 无人机航拍洞口密度 ( $X$ ) 与实测洞口密度 ( $Y$ ) 呈现极显著相关的关系 (回归方程为:  $Y=11.6+0.8X$ ,  $R^2=0.95$ ,  $P<0.001$ ), 将未进行地面工作的余下 10 个工作点航拍数据代入此回归方程, 以减少由无人机照片提取鼠洞的误差。

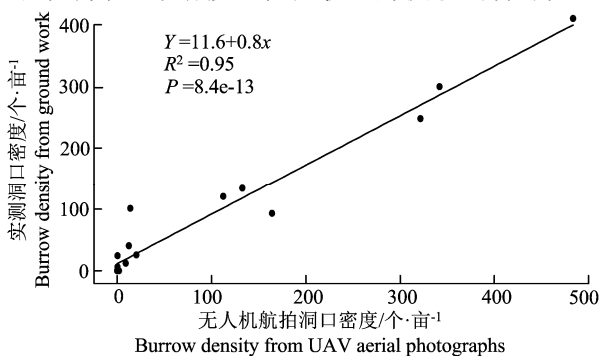


图 2 无人机航拍与实测洞口密度回归关系

Figure 2 Regression relation between the burrow density from UAV aerial photographs and ground work

### 2.2 高原鼠兔空间分布和年际变化特征

根据前面得出的鼠洞密度数据, 和已提取航拍照片中经纬度信息, 使用 ArcGIS 软件进行绘图, 得到 2017 年河南县鼠兔洞口密度的空间分布 (图 3)。

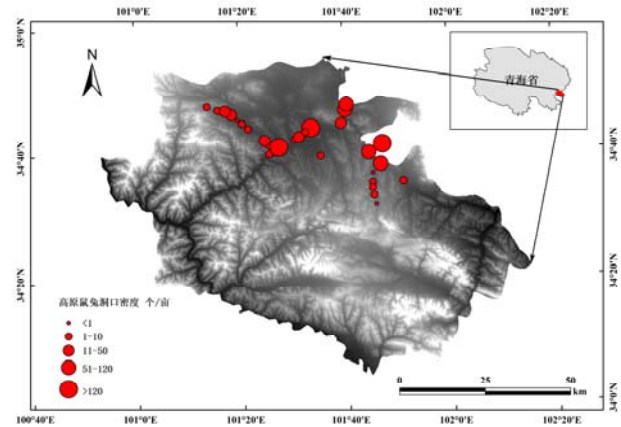


图 3 2017 年河南县鼠兔洞口密度空间分布

Figure 3 Spatial distribution of pika burrow density in Henan county, 2017

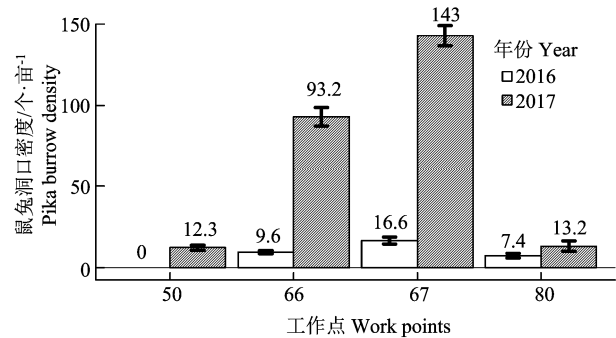


图 4 2016 和 2017 年河南县部分地点鼠兔洞口密度

Figure 4 The pika burrow density in parts of Henan county, 2016&2017

鼠洞最多的样地个数为  $318.3 \text{ 个} \cdot \text{亩}^{-1}$  ( $34^{\circ}40'59''\text{N}$ ,  $101^{\circ}27'26''\text{E}$ , 优干宁镇吉仁村), 最少为  $0 \text{ 个} \cdot \text{亩}^{-1}$ , 平均鼠洞密度为  $64.2 \text{ 个} \cdot \text{亩}^{-1}$ 。密度较高且较集中的区域为县城西南面的省道 S203 优干宁镇至尕群村一段以及克其合滩, 以及东北面的优干宁镇至泽雄村公路沿线。除位于吉仁和南旗两村的 2 个工作点之外, 其他区域的鼠洞密度均较低。根据调查结果, 对河南县各乡镇鼠兔洞口密度进行统计, 统计结果表明: 全县鼠兔灾害最为严重的乡镇为优干宁镇, 平均鼠兔洞口密度为  $104.3 \text{ 个} \cdot \text{亩}^{-1}$ , 其次是宁木特镇, 平均密度为  $64.5 \text{ 个} \cdot \text{亩}^{-1}$ 。而赛尔龙乡鼠洞密度较少。

对比 2016 年的调查数据 (最多  $19.3 \text{ 个} \cdot \text{亩}^{-1}$ , 平均  $9.4 \text{ 个} \cdot \text{亩}^{-1}$ ), 鼠洞密度有所增大。根据上述分析所得的回归方程, 选取了 4 个地理位置相同的工

作点,并将转化后的鼠洞密度进行对比,分析鼠洞的年际变化特征。

从图4可看出,在相同的工作点,与2016年的洞口密度相比,2017年的洞口密度均有所增加,由平均8.4个·亩<sup>-1</sup>增加到65.4个·亩<sup>-1</sup>。其中位于宁木特

镇孕群村的66号工作点(34°38'03"N, 101°46'51"E)增加最多,较往年增加了126.4个·亩<sup>-1</sup>,而增幅最大的则是位于优干宁镇参美村的67号工作点(34°39'55"N, 101°44'37"E),增幅达到871.3%,由此可见,这2个工作点鼠兔数量呈现剧烈增长趋势。

表1 不同放牧强度和与水源距离下的鼠洞密度

Table 1 Pika burrow density under different grazing intensities and distances from water source

限制条件 Restrictive condition	放牧强度 Grazing intensity			与水源地的距离 Distance from water source		
	低 Low	中 Medium	高 High	<50 m	50~200 m	>200 m
鼠兔洞口密度/个·亩 <sup>-1</sup> Pika burrow density	47.2	17.6	245.6	6.3	63.4	7.2

### 2.3 鼠兔分布影响因素

根据实地观测和从当地草原站获取的相关资料,将工作点所在草场的放牧强度分为低中高3种,分别统计其鼠洞密度(表1)可知,在高放牧强度下鼠洞的密度最高(245.6个·亩<sup>-1</sup>),低强度下其次(47.2个·亩<sup>-1</sup>),中等强度下最低(17.6个·亩<sup>-1</sup>)。同时根据无人机航拍的照片测量距离,根据工作地点距离水源地的远近,将工作点划分为<50 m、50~200 m和>200 m 3类(表1)。在与水源地有一定距离(50~200 m)的环境下鼠兔洞口密度最高(63.4个·亩<sup>-1</sup>),在距离水源地过近(<50 m)或过远(>200 m)的环境下鼠洞密度接近,均较少分布。

## 3 讨论

### 3.1 高原鼠兔洞口的时空变化特征

河南县鼠洞密度在2016—2017年间呈现整体增长的趋势,根据当地草原站提供的数据,全县鼠害发生面积由2016年的165万亩提高到了2017年的304.5万亩,危害面积由130万亩提高到242.4万亩,平均洞口密度由14.7个·亩<sup>-1</sup>提高到了20.1个·亩<sup>-1</sup>。这一趋势也与本研究工作的结果相符。部分地点则呈现爆发性增长,增长可达数倍之多,这可能是近年来当地的放牧加重和灭鼠工作不够所导致的。2017年的鼠兔发生面积占到了全县总面积的29%,这对于河南县的畜牧业有较大影响。如何科学地放牧并对高原鼠兔进行有效地控制,是将来一段时间内需要解决的重点问题。在空间上分布异质性较大,不同地理位置的鼠洞分布不均匀,在放牧较重、植被低矮且地势平坦的区域密度较高,而在坡度较大、植被长势良好、太靠近水源或又过于干燥的区域则鲜有分布。

### 3.2 鼠兔分布成因分析

鼠兔的空间分布与诸多因素存在着联系,如气

候<sup>[22]</sup>、植被<sup>[23]</sup>、放牧<sup>[24]</sup>、土壤<sup>[25]</sup>、招鹰架的布设<sup>[5]</sup>和灭鼠<sup>[26]</sup>等,且不同区域受不同因素的影响强度不一。在放牧强度较高、植被较为低矮的区域常常伴随着鼠洞的发生,而围封禁牧、草势较好的区域难见鼠洞的存在。鼠洞空间分布还可能受到局部地区不同气候与土壤状况的影响。

通过分析不同放牧强度与鼠洞密度的关系,可以看到,高放牧强度区域的鼠洞密度(245.6个·亩<sup>-1</sup>)要明显高于中、低放牧强度区域的鼠洞密度(17.6个·亩<sup>-1</sup>, 47.2个·亩<sup>-1</sup>),可以推测出鼠兔的空间分布格局与放牧强度存在着一定的联系。王涓等<sup>[2]</sup>的研究发现高原鼠兔喜欢选择植被较好,较为低矮且洞口周围植被较为稀少的环境,其原因可能是高原鼠兔较为机警,在出洞活动前会仔细观察洞口周围的环境,确认没有危险才会进一步行动,如洞口植被较高则不利于观察周围环境。较高放牧强度区域的牧草经过牛羊等家畜过量啃食,使得植被较为稀少,植被高度较低,符合高原鼠兔对生境的选择;中等放牧强度下由于牛羊对牧草的采食较多,与鼠兔形成竞争关系,可能对鼠兔的生长有所抑制;而在中、低放牧强度条件下,牛羊的采食行为对降低牧草高度的作用有限,均不利于鼠兔的出洞警戒。同时中等放牧强度下牛羊的采食行为会与鼠兔形成竞争,故此强度的鼠兔数量最少,而低放牧强度下鼠兔食物资源较为充足,与牛羊不易形成竞争,故鼠兔数量较中等放牧强度多,这一推测也和张兴禄的研究结论相一致<sup>[27]</sup>。

对鼠洞与水源距离进行分析,可看出,距离水源较近的工作点(<50m)的鼠洞密度要远低于距离水源地有一定距离的工作点(50~200 m)。鼠兔通常喜欢选择离水源有一定距离的环境,既有利于减少获取饮水时移动的距离,减少能量的支出和被捕食的风险<sup>[2]</sup>,又有利于对鼠洞进行挖掘,同时也不易被水淹没。距离水源地50~200 m范围内的鼠

洞占比最大, 距离水源地过近 (<50 m) 在多雨季节鼠洞可能会被水淹没<sup>[28]</sup>, 同时水边土壤含水量较大, 也不利于其对洞穴进行挖掘。

#### 4 结论

本研究采用无人机航拍与地面调查相结合的方法对河南县高原鼠兔洞口的空间分布格局及其成因进行了研究, 相较传统的调查方法大大提高了工作效率, 而且能够在相同的地点形成长时间序列的观测, 有利于进行动态分析。研究结果发现河南县鼠兔洞口的年际变化较大, 较前一年有不同程度的上升。受到诸多环境因子及人类活动的影响, 河南县鼠兔洞口整体的空间分布差异较大, 且在优干宁和宁木特两镇比较集中。由于时间有限, 且野外条件恶劣, 调查结果会受到诸多不确定性因素的影响。要准确分析河南县鼠兔空间分布的成因, 需要长期和大量的野外考察数据予以支撑。因从当地草原站所获取的数据不够全面, 故部分关键数据有所缺乏, 不足以支撑对鼠兔分布成因的系统性阐明。所以, 在今后的研究中应加强这方面的工作, 以期推动高原鼠兔监测方面的进展, 建立起科学的监测网络, 为草地管理提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 刘汉武, 周立, 刘伟, 等. 退化高寒草甸上高原鼠兔的扩散研究[J]. 草业与畜牧, 2008(8): 8-11.
- [2] 王滔, 王小明, 王正寰. 高原鼠兔生境选择的初步研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2004, 41(5): 1041-1045.
- [3] SMITH A T, FOGGIN J M. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan plateau[J]. Animal Conservation, 1999, 2(4): 235-240.
- [4] QIN Y, CHEN J J, YI S H. Plateau pikas burrowing activity accelerates ecosystem carbon emission from alpine grassland on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Ecological Engineering, 2015, 84: 287-291.
- [5] 侯秀敏. 鹰架招鹰控制高原鼠兔种群数量研究初探[J]. 青海草业, 1995, 4(2): 27-30.
- [6] CHEN J J, YI S H, QIN Y. The contribution of plateau pika disturbance and erosion on patchy alpine grassland soil on the Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for grassland restoration[J]. Geoderma, 2017, 297: 1-9.
- [7] YI S H, ZHOU Z Y, REN S L, et al. Effects of permafrost degradation on alpine grassland in a semi-arid basin on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Environ Res Lett, 2011, 6(4): 045403.
- [8] 施银柱. 草场植被影响高原鼠兔密度的探讨[J]. 兽类学报, 1983, 3(2): 181-187.
- [9] 游群. 高原鼠兔种群动态与种群统计特征研究[D]. 长沙: 中南林学院, 2005.
- [10] 陈剑, 王忠全, 王勇, 等. 藏北草原高原鼠兔密度调查方法探讨[J]. 植物保护, 2008, 34(4): 114-117.
- [11] 宜树华, 陈建军, 秦彧, 等. 无人机航拍在青藏高原高寒草地生态系统研究中的初步应用[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2016, 42(1): 1-7.
- [12] PÉREZ-ORTIZ M, PEÑA J M, GUTIÉRREZ P A, et al. A semi-supervised system for weed mapping in sunflower crops using unmanned aerial vehicles and a crop row detection method[J]. Applied Soft Computing, 2015, 37: 533-544.
- [13] SCHIFFMAN R. Drones flying high as new tool for field biologists[J]. Science, 2014, 344(6183): 459.
- [14] MARRIS E. Drones in science: Fly, and bring me data[J]. Nature News, 2013, 498(7453): 156.
- [15] FLOREANO D, WOOD R J. Science, technology and the future of small autonomous drones[J]. Nature, 2015, 521(7553): 460-466.
- [16] CHEN J J, YI S H, QIN Y, et al. Improving estimates of fractional vegetation cover based on UAV in alpine grassland on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Int J Remote Sens, 2016, 37(8): 1922-1936.
- [17] 河南县志编纂委员会. 河南县志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1996.
- [18] 群措. 河南县草原鼠害防治的建设与管理[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2017, 33(10): 15.
- [19] 王伟, 德科加. 不同补播年限下河南县高寒草甸地上生物量、群落多样性与土壤养分特征的相关性研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2017, 47(2): 12-16.
- [20] YI S H. FragMAP: a tool for long-term and cooperative monitoring and analysis of small-scale habitat fragmentation using an unmanned aerial vehicle[J]. Int J Remote Sens, 2017, 38(8/9/10): 2686-2697.
- [21] 郭新磊, 宜树华, 秦彧, 等. 基于无人机的青藏高原鼠兔潜在栖息地环境初步研究[J]. 草业科学, 2017, 34(6): 1306-1313.
- [22] 任世龙, 宜树华, 陈建军, 等. 基于不同数码相机和图像处理方法的高寒草地植被盖度估算的比较[J]. 草业科学, 2014, 31(6): 1007-1013.
- [23] YI S H, CHEN J J, QIN Y, et al. The burying and grazing effects of plateau pika on alpine grassland are small: a pilot study in a semiarid basin on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Biogeosciences, 2016, 13(22): 6273-6284.
- [24] 马波, 王小明, 刘晓庆, 等. 高原鼠兔洞穴数量与其栖息地植被分布格局的 GIS 分析[J]. 生物多样性, 2011, 19(1): 71-78.
- [25] 李文靖, 张堰铭. 高原鼠兔对高寒草甸土壤有机质及湿度的作用[J]. 兽类学报, 2006, 26(4): 331-337.
- [26] 梁杰荣, 周立, 魏善武, 等. 高寒草甸灭鼠后鼠兔和鼢鼠数量恢复的数学模型[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 88-98.
- [27] 张兴禄. 放牧对玛曲高寒草甸植被和鼠害的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [28] 卫万荣. 高原鼠兔栖息地、洞系特征及其功能的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.