

# 高原鼢鼠繁殖季日活动模式及其影响因素

张飞宇 周富斐 周建伟 周睿 包达尔罕 叶国辉 花立民\*

甘肃农业大学草业学院 草业生态系统教育部重点实验室 兰州 730070

**摘要:** 研究高原鼢鼠 (*Myospalax baileyi*) 繁殖季的活动模式, 对于了解它们的生存策略及生态防治非常重要。于 2019 年选择高原鼢鼠繁殖期 (3 至 5 月) 在甘肃省玛曲县采日玛乡, 利用无线电跟踪技术监测高原鼢鼠繁殖季活动模式, 并分析高原鼢鼠活动强度与 0~10 cm 土层土壤温度和土壤相对湿度的关系。1) 高原鼢鼠在繁殖期内表现出 3 个日活动高峰, 第一个高峰时间是 08:00 时, 第二个高峰时间是 14:00 时, 第三个高峰时间是 20:00 时; 2) 日活动差异指数 ( $\theta$ ) 表明, 高原鼢鼠在繁殖期内活动强度变化幅度较大, 呈非均匀型分布; 昼行性指数 ( $\lambda$ ) 表明, 高原鼢鼠在繁殖期白天更为活跃; 日活动时间总量 ( $A_T$ ) 表明, 高原鼢鼠繁殖期每天的总活动时长在 8 h 左右; 3) 相关分析表明, 高原鼢鼠繁殖期活动强度与 0~10 cm 土层的土壤温度呈正相关 ( $P < 0.05$ ), 与 0~10 cm 土层的土壤相对湿度不相关 ( $P > 0.05$ )。繁殖期的高原鼢鼠活动强度受 0~10 cm 土层土壤温度影响, 不受土壤相对湿度影响。

**关键词:** 活动模式; 无线电追踪; 高原鼢鼠; 土壤温度; 土壤相对湿度

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2020) 03-297-09

## Diurnal Activity Pattern of Plateau Zokor in Breeding Season and Its Influencing Factors

ZHANG Fei-Yu ZHOU Fu-Fei ZHOU Jian-Wei ZHUA Rui

BAO Daerhan YE Guo-Hui HUA Li-Min\*

Grassland Science College of Gansu Agricultural University, Ministry of Education,

Grassland Ecosystem Key Laboratory, Lanzhou 730070, China

**Abstract:** Understanding the activity patterns of Plateau Zokor (*Myospalax baileyi*) during the breeding season has a great importance to their survival strategies and ecological control for zokor damage. This study used the radio tracking technology to monitor the activity patterns of plateau zokor during the breeding period from March to May in Maqu County, Gansu Province and analyzed the correlation between the activity pattern and the soil relative moisture as well as soil temperature at the depth with 0 - 10 cm. The results showed that: 1) the plateau zokors exhibited three peaks of daily activity pattern during the breeding

**基金项目** 国家重点研发计划项目 (No. 2017YFC0504803), 甘肃省重点研发计划项目 (No. 17YF1NA059), 甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目;

\* 通讯作者, E-mail: hualm@gsau.edu.cn;

**第一作者介绍** 张飞宇, 男, 硕士研究生; 研究方向: 草地保护; E-mail: zhangfeiyu\_gsau@163.com。

收稿日期: 2019-12-27, 修回日期: 2020-04-03 DOI: 10.13859/j.cjz.202003003

period. These peak time appeared at 08:00, 14:00, and 20:00, respectively. (Fig. 1). 2) the daily activity difference index ( $\theta$ ) indicated that the activity intensity of plateau zokors varies significantly with uneven distribution during the breeding period. The diurnal index ( $\lambda$ ) indicated that plateau zokor had more activities in daytime during the breeding period. The daily activity time index ( $A_T$ ) indicated that the total daily activity duration of the plateau zokor was about 8 hours (Table 2). 3) Correlation analysis showed that the activity intensity of plateau zokor in breeding period was positively correlated with soil temperature (0 - 10 cm) ( $P < 0.05$ ) (Fig. 4), but not correlated with soil relative moisture (0 - 10 cm) ( $P > 0.05$ ) (Fig. 5). Our research indicated that the activity intensity of plateau zokor was influenced by the soil temperature at depth between 0 and 10 cm.

**Key words:** Activity pattern; Radio-tracking; Plateau Zokor, *Myospalax baileyi*; Soil temperature; Soil relative moisture

动物活动模式是动物行为研究中的一个关键内容。研究动物的活动模式,可以反映出动物个体营养状况、生存压力及社会地位等信息(孙儒泳 2006)。动物活动模式受到光照、温度、湿度、进食时间、营养物质等多种内源性和外源性因子的共同调节(孙儒泳 2006)。尚玉昌(2006)认为,温度变化能直接影响动物行为及其活动规律。此外,动物不同发育期的活动强度及变化规律各有不同(孙儒泳 2006)。在繁殖期,为了最大限度地提高自身繁殖成功率,动物根据环境条件和自身状况在繁殖能量需求、捕食风险水平、种内竞争等行为之间进行权衡,改变活动模式,以确定各种行为的合理时间分配(尚玉昌 1998)。多数研究认为,啮齿动物在繁殖期的资源要求要高于非繁殖期,故繁殖期的活动模式与非繁殖期有所不同。

高原鼯鼠(*Myospalax baileyi*)是青藏高原高寒草甸独居型的地下啮齿动物,对于高寒草甸生态系统能量流动和物质循环具有重要影响。但是,高原鼯鼠也是高寒草甸的主要害鼠之一(张堰铭等 2002)。非繁殖期高原鼯鼠生活在各自的洞道系统中,彼此相隔、很少遇到(Nevo 2007)。室内研究发现,繁殖期高原鼯鼠的日活动模式与非繁殖期的日活动模式显著不同(魏万红等 1996)。研究表明,动物活动模式与自身内分泌调节和外界环境刺激等各种因素有关(Kitchen et al. 2000),因此,室内观

测结果并不能准确反映其在自然状态下的活动情况,有时则可能得出相反结果(Kenagy et al. 2002, Urrejola et al. 2005)。相较室内模拟生境观察的方法,对动物在自然状态下的观察能更准确反映其采食、繁殖及其对外界环境因子的响应等信息(Bennett 1992)。但野外条件下繁殖期高原鼯鼠的日活动模式研究尚无有关报道。目前,针对高原鼯鼠危害,使用范围最广和时间最长的防治方法为弓箭法捕鼠。弓箭灭鼠的方法成本较低且具有环保价值,但明显劣势就是工作效率低下。魏万红等(1996)认为,繁殖期是防治高原鼯鼠的最佳时机。因此,如果能发现并掌握繁殖期高原鼯鼠的活动规律,那么就可以在防治高原鼯鼠的过程中,选择其活动高峰期放置弓箭,减少人力资源的浪费,进而提高捕鼠效率。因此,研究高原鼯鼠繁殖期的活动模式,不仅对于高原鼯鼠的行为学研究具有重要意义,也能为高原鼯鼠的防治提供技术支撑。本研究利用无线电追踪技术探究自然条件下高原鼯鼠繁殖季活动模式及其影响因素。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地概况

本研究区选在青藏高原东北缘甘肃省玛曲县采日玛乡的高寒草甸(35°58' N, 101°53' E)。研究区平均海拔 3 650 m,地势开阔、多风,

气候寒冷。年均降水量 450~780 mm, 主要分布在 7~9 月; 年平均温度为 1.2 °C, 最冷月 1 月均温为 -10 °C, 最热月 7 月均温为 11 °C; 年平均霜期不少于 270 d。实验地的优势植物主要为垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、洽草 (*Koeleria cristata*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、甘肃马先蒿 (*Pedicularis kansuensi*)、老鹳草 (*Geranium wilfordii*)、矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 等 (文淑均等 2012), 属于典型高原鼯鼠分布地。

## 1.2 无线电追踪

由于高原鼯鼠营地下穴居生活, 无法用肉眼进行实际观测。因此本研究使用无线电追踪设备进行监测。无线电追踪设备由无线电接收机、手持 Yagi 天线和发射器三部分组成。无线电接收机为英国 Biotrack 公司生产的 Sika, 无线电频率接收范围为 138~168 MHz; 手持 Yagi 天线为新西兰 Sirtrack 公司生产; 发射器为英国 Biotrack 公司生产的 Ag357, 重量 4.7 g, 无线电频率 160~161 MHz, 供电时间 9 个月。每个发射器的音调和发射频率各不相同, 对标记鼠无线电跟踪时能够区分个体 (姬程鹏等 2017)。

本研究选择冷季放牧草场为实验样地, 面积为 1.12 hm<sup>2</sup>。在整个样地纵横方向每隔 10 m 打一固定木桩, 建立 80 m × 140 m 相对坐标系, 为后期无线电追踪提供目标动物的定位点 (姬程鹏等 2018)。周文扬和窦丰满 (1990) 研究发现, 繁殖期高原鼯鼠 3 月 20 日左右开始活动, 5 月 10 日前后到交配后期, 故本研究监测时期选择在 2019 年 3 月 28 日至 5 月 10 日, 进行连续 44 d 不间断监测。每天监测 24 h, 每次监测间隔时间为 2 h, 记录高原鼯鼠活动位置。2019 年 3 月 20 日, 利用自制活捕笼 (Hua et al. 2015) 对样地内高原鼯鼠进行无损伤捕获。捕获后利用自制麻醉瓶进行麻醉, 记录其性别, 称量体重和体长等信息后, 佩戴无线电发射器, 全部操作时间在 2 min 内完成。待高原鼯鼠恢复正

常活动后放回原捕获洞道, 释放后的高原鼯鼠会迅速回其主巢, 人工追踪并记录主巢位置。主巢位置的确定是结合无线电设备所发出音调的响度和监测过程中观察得出。当释放后的高原鼯鼠在活动洞道时, 活动洞道距离地面较近, 无线电设备发出音调的响度较强。随着高原鼯鼠进入到较深的主巢洞道中, 无线电设备所发出音调的响度骤然降低; 在无线电监测过程中观察高原鼯鼠停留时间和停留次数最多的位置, 即为主巢位置。放归后 48 h 对高原鼯鼠进行追踪定位, 将其离开主巢 1 m 之外定义为出巢活动 (姬程鹏等 2018)。高原鼯鼠主巢深度在 2 m 左右, 挖掘采食活动一般在地表浅层的活动道完成 (周文扬等 1990)。本研究采用的高原鼯鼠无线电追踪技术完全满足实验需要 (姬程鹏等 2017)。研究期间累计活捕并佩戴发射器高原鼯鼠 7 只, 详细信息见表 1。

表 1 高原鼯鼠佩戴无线电发射器的个体信息

Table 1 Individual information of collared Plateau Zokor

性别 Gender	发射器编号 Collar number	体重 Body mass (g)	体长 Body length (cm)	尾长 Tail length (cm)
雌性 Female	160.459	216.3	18.2	3.1
	160.064	291.9	19.8	3.5
	160.691	252.0	18.7	2.9
	160.883	218.3	19.2	3.1
雄性 Male	160.556	432.1	19.8	4.2
	160.041	503.0	24.8	4.1
	160.179	506.8	25.2	4.3

## 1.3 土壤温湿度监测

在青海的研究发现, 高原鼯鼠挖掘采食活动一般在地表 10~15 cm 左右, 易受表层土壤温湿度的影响 (周文扬等 1990)。但不同地区的高原鼯鼠挖掘采食活动洞道距离地表深度稍有不同。我们在实验样地捕捉高原鼯鼠过程中, 共挖开 30 条洞道, 测量了洞道顶部与地面的距离, 平均为 11.38 cm。因此, 于 2019 年 3 月 28 日至 5 月 10 日, 在佩戴了无线电发射器的高原鼯鼠实验区, 沿对角线选取 3 个点使用土

壤温湿度仪（顺科达土壤温湿度速测仪 TR-8 型）监测并记录每个点地表土层（10 cm 左右）的土壤温湿度，土壤温湿度的测定与高原鼯鼠活动监测同期，每隔 2 h 测定 1 次。

#### 1.4 数据处理与分析

由于本实验是在野外进行，加之高原鼯鼠营地下生活，无法观测每种行为持续时长和频次。因此，依据无线电监测数据，参照宛新荣等（2002）对“啮齿动物活动模式的几种数值指标”方法来反应高原鼯鼠的活动模式，即以  $n$  表示记录时间点数目，本研究时间间隔为 2 h，全天 24 h 追踪动物的活动强度，因此本文中  $n = 12$ ；以  $t_i$  表示第  $i$  个数据的时间值，例如 02:00 时的时间值为 2，24:00 时的时间值为 24；以  $f_i$  表示在  $t_i$  时刻观察到的活动高原鼯鼠个体数量；以  $N$  表示观察时刻样地内佩戴发射器的高原鼯鼠个体数（本研究此数据为 7 ind），以  $A_i$  表示  $t_i$  时刻的活动强度， $A_i = f_i/N$ ；以  $r_i$  表示  $t_i$  时刻的相对活动强度， $r_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$ 。利

用以上数据计算高原鼯鼠活动强度的日活动差异指数  $\theta$ （daily-discrepancy index）、昼行性指数  $\lambda$ （diurnal-nocturnal index）、活动强度指数  $\eta$ （activity-intensity index）、峰形指数  $\varphi$ （peak-type index）、日活动时间总量  $A_T$ （daily-activity time index）。

$$\theta = \sum_{i=1}^n r_i^2, \lambda = \sum_{i=1}^6 r_i, \eta = \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n f_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$$

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \left[ r_i \cdot \left( t_i - \sum_{i=1}^n (r_i \cdot t_i) \right)^2 \right], A_T = \eta \cdot 24 \text{ (h)}$$

日活动差异指数  $\theta$  用于衡量动物日活动行为分配的均匀程度， $\theta$  值越大，表示高原鼯鼠 1 d 之内的活动时间分配越不均匀。昼行性指数  $\lambda$  用于判别高原鼯鼠活动属于昼行性还是夜行性，如果  $\lambda$  值接近 13/24（约为 0.54），表示活动没有明显的昼夜差别； $\lambda > 13/24$ ，表明高原鼯鼠以昼行性为主； $\lambda < 13/24$ ，表明以夜行性

为主。峰型指数  $\varphi$  表示高原鼯鼠日活动双峰型程度高低，峰型指数数值越高，表明双峰型特征越明显。日活动时间总量  $A_T$  则反映高原鼯鼠每天活动的总时间，可以表示动物的绝对活动强度（宛新荣等 2002）。

数据先用单样本 K-S 检验方法（One-sample Kolmogorov-Smirnov test）进行正态性检验。用 Excel 2017 对原始数据进行处理计算，用 SPSS 22.0 对雌雄活动强度  $A_i$  进行重复性方差分析，对雌雄白天活动时间和晚上活动时间、日活动差异指数  $\theta$ 、昼行性指数  $\lambda$ 、峰型指数  $\varphi$ 、日活动时间总量  $A_T$  进行独立样本  $t$  检验（independent-samples  $t$  test），对活动强度  $A_i$  与土壤温度和湿度分别以 Pearson 法进行相关性分析，最后采用 Graphpad Prism8.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 高原鼯鼠活动强度

本研究发现繁殖季（3~5 月）高原鼯鼠日活动强度有 3 个时间高峰，分别出现在 08:00 时、14:00 时和 20:00 时（图 1）。雌雄个体活动高峰相同，但二者活动强度有所差异。通过重复性方差分析发现，繁殖期时间因素对高原鼯鼠的活动强度有极显著影响（ $P < 0.001$ ），时间和性别的交互作用对活动强度具有显著影响（ $P < 0.05$ ）。因此，利用重复性方差分析中多重比较分析相同时间点雌雄的活动强度，在 08:00 时（ $t = 3.275, P < 0.01$ ）和 10:00（ $t = 2.814, P < 0.01$ ）雄性高原鼯鼠的活动强度显著高于雌性高原鼯鼠，其余时间段，雌雄个体活动强度差异不显著（图 1）。经过 K-S 检验，高原鼯鼠昼间和夜晚活动时长均符合正态分布，对繁殖季雌雄个体昼间活动时间和夜晚活动时间分别进行独立样本  $t$  检验，雌雄个体昼间活动时间均显著高于夜间活动时间（雌性  $t = 12.13, P < 0.05$ ；雄性  $t = 8.68, P < 0.05$ ），且昼间活动时间雄性显著高于雌性（ $t = 4.034, P < 0.05$ ）（图 2）。雄性夜间活动时间略高于雌性夜间活动时间，但无差异（图 2）。

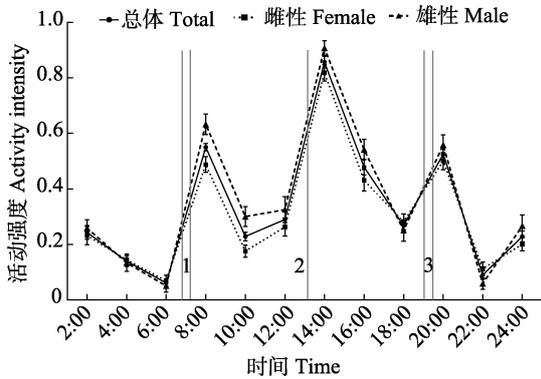


图 1 繁殖期高原鼯鼠活动强度

Fig. 1 Activity intensity of Plateau Zokors during breeding period

区域 1 表示每天天亮至日出时刻；线条 2 表示每日日中时刻；区域 3 表示日落时刻。  
Area 1 represents the time from dawn to sunrise every day; Line 2 represents the time of day; Area 3 represents the time of sunset.

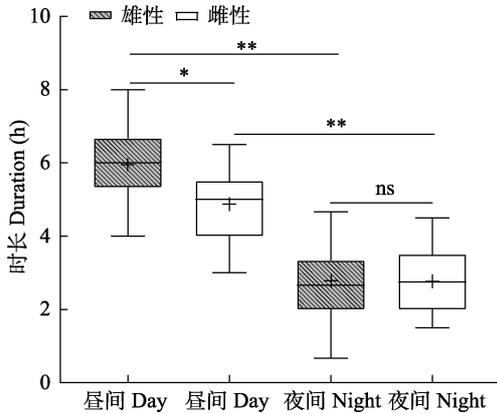


图 2 繁殖期高原鼯鼠雌雄个体昼夜活动分配时长  
Fig. 2 The duration of diurnal activities of male and female in Plateau Zokor during breeding period

\*\* $P < 0.01$ , \* $P < 0.05$ , ns $P > 0.05$

2.2 高原鼯鼠繁殖期活动模式

经过 K-S 检验，发现高原鼯鼠繁殖期雌雄个体的日活动差异指数  $\theta$ 、昼行性指数  $\lambda$ 、峰型指数  $\varphi$  和日活动时间总量  $A_T$  均符合正态分布。繁殖期雌雄个体间日活动差异指数、峰型指数和昼行性指数差异均不显著（表 2）。但雄性个体日活动时间总量显著高于雌性个体日活动时

表 2 高原鼯鼠日活动模式的主要指标

Table 2 The main index of daily activity pattern of Plateau Zokors

样本 Sample	日活动差异指数 $\theta$ Daily-discrepancy index	昼行性指数 $\varphi$ Diurnal-nocturnal index	日活动时间总量 $A_T$ Daily-activity time index
总体 Total	0.133 ± 0.002	0.692 ± 0.008	7.914 ± 0.125
雌性 Female	0.148 ± 0.004	0.683 ± 0.014	7.425 ± 0.193
雄性 Male	0.154 ± 0.004	0.706 ± 0.015	8.587 ± 0.213

间总量 ( $t = 4.020$ ,  $P < 0.05$ ) (表 2)。

2.3 土壤温度和湿度变化以及与高原鼯鼠活动强度的相关性

总体来看，高原鼯鼠繁殖期土壤最高温度出现在 14:00 时，土壤最低温度出现在 06:00 时，每日随时间变化幅度较大。繁殖期最高土壤相对湿度出现在 10:00 时，最低土壤相对湿度出现在 18:00 时，每日随时间变化幅度较小（图 3）。将观察时刻的活动强度与对应时刻土壤温度和湿度做相关性分析，发现繁殖期高原鼯鼠总体活动强度与土壤温度之间存在明显相关性 ( $r = 0.5942$ ,  $P < 0.05$ ) (图 4a)，但与土壤相对湿度之间不存在相关性 ( $r = 0.0813$ ,  $P > 0.05$ ) (图 4b)。

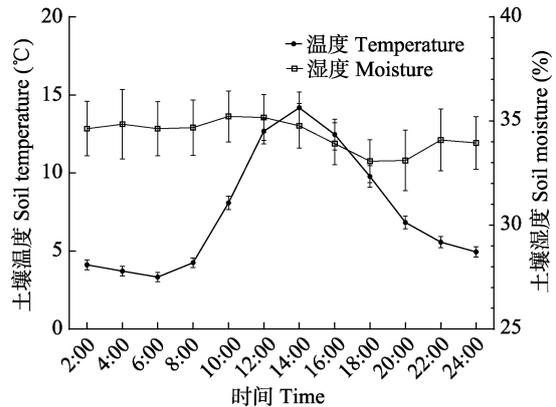


图 3 繁殖季高原鼯鼠栖息地土壤温湿度的日变化  
Fig. 3 Changes of soil temperature and moisture in Plateau Zokors' habitat during breeding season

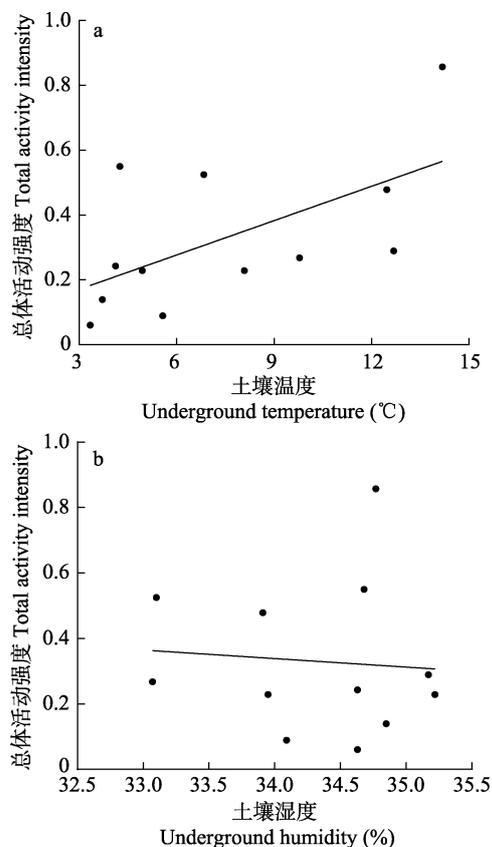


图4 繁殖季0~10 cm 土层土壤温度 (a) 和相对湿度 (b) 与高原鼯鼠活动强度的相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis underground temperature (a) and relative humidity (b) in 0 - 10 cm soil layer and activity intensity of Plateau Zokor during breeding season

### 3 讨论

本研究发现高原鼯鼠在繁殖期主要集中在白天活动, 活动强度出现3个时间高峰, 活动强度与土壤相对湿度不相关, 但与土壤温度有显著相关性, 在14:00时土壤温度最高时活动强度达到最高。繁殖期雄性高原鼯鼠比雌性更加活跃, 活动强度和活动时间均高于雌性。

繁殖期高原鼯鼠活动强度出现3个时间高峰, 分别集中在08:00时、14:00时和20:00时, 基本与当地日出、日中和日落时间吻合。这与非繁殖期所发现活动模式有所不同, 姬程鹏等

(2018)对高原鼯鼠非繁殖期活动模式的研究发现, 只有日出和日落前后2个活动高峰, 认为日中土壤温度达到最高, 在高温时间段减少活动频次以减少身体失水。曾绍祥等(1984)研究也表明, 高原鼯鼠不适应高温, 当环境温度达30℃时, 其体温迅速上升; 当温度升至35℃, 已有个体出现死亡, 表明高原鼯鼠对洞道环境的温度比较敏感。在高原鼯鼠非繁殖期(6~9月)地温相对较高, 最高温度接近24℃。高原鼯鼠为了躲避高温出现了2个活动高峰, 即日出和日落的时间。但在高原鼯鼠的繁殖期(3~5月), 是青藏高原高寒牧区寒冷季节, 气温和地温均较低。本研究监测到最高地温也只有14℃, 相当于姬程鹏等(2018)暖季研究高原鼯鼠非繁殖期节律所记录的最低温度。因此, 日中相对较高的土壤温度可能是高原鼯鼠增加体温的好机会。此外, 求偶本能也能影响其活动强度, 活动强度的增加是提高交配成功率的影响因素之一。这两个因素可能是导致出现日中活动强度高峰的原因之一。繁殖期高原鼯鼠日出和日落活动高峰符合晨昏型活动模式。已有研究发现, 其他穴居啮齿动物, 如蓝栉鼠(*Ctenomys talarum*) (Cutrera et al. 2006)和东方田鼠(*Microtus fortis calamorum*) (胡忠军等 2002)有晨昏型活动模式。这些结果和本研究结果类似。研究发现, 地下啮齿动物中埃氏小鼯形鼯鼠(*Spalax ehrenbergi*) (Rado et al. 1992)和甘肃鼯鼠(*Myospalax cansus*) (孟婷婷 2014)具有光感受器, 能感受到外界光刺激。因此, 光照变化可能是造成高原鼯鼠日出和日落前后活动的因素之一。

动物昼夜活动节律本质上是内源性的, 由生物自身因素控制, 并可对环境(例如光、温度、进食时间等)变化作出适应性调整(谢朝辉等 2005)。姬程鹏等(2018)发现, 在高原鼯鼠非繁殖期6~10月, 其昼夜均活动, 昼间活动多于夜间。本研究在高原鼯鼠繁殖期的观察结果与上述结果一致。昼行性指数 $\lambda$ 结果表明, 高原鼯鼠雌雄个体均以昼行性活动为主,

并且昼间活动时间显著高于夜间活动时间。地温监测结果表明, 青藏高原昼夜温差较大, 夜晚气温相比白天低。孙儒泳(2006)认为环境温度能影响动物的代谢水平。Skliba等(2014)发现, 地下鼠在夜间低温状态下活动需要消耗较多的能量来维持体温。杨生妹等(2007)研究发现, 夜间高原鼯鼠天敌活动相对旺盛。因此, 高原鼯鼠增加昼间活动时间以利用太阳辐射地表产生的热量来维持体温, 保持正常代谢水平, 并减少夜间活动时间来规避被捕食风险。

日活动强度差异指数  $\theta$  结果表明, 高原鼯鼠繁殖期的活动强度变化幅度较大, 呈非均匀型分布。高原鼯鼠是营地下生活独居型啮齿动物, 通过挖掘采食土壤中植物根、鳞茎等为食(王权业等 2000), 具有很强的领域性, 个体间洞道相距较远(王宏生等 2015)。3~5 月为高原鼯鼠的繁殖期(魏万红等 1996), 在繁殖期间雌雄寻找配偶需通过挖掘扩大领域范围, 目的是为增加雌雄个体间相遇几率(王莹等 2018)。高原鼯鼠和其他地下啮齿动物相同, 挖掘活动需消耗巨大的能量, 而寻找配偶及繁殖尤其是极其耗能的过程(Vleck 1981, 苏建平 1992)。因此, 高原鼯鼠在挖掘过程中需要回巢休息之后, 再次返回挖掘处继续挖掘。3~5 月除繁殖活动外, 也会进行储食活动, 此时牧草尚未萌发, 植物地下根系鲜嫩多汁, 营养丰富, 正好补充冬季严重消耗的存粮(周文扬等 1990)。因此, 上述原因都可能导致它们活动强度变化幅度较大。

繁殖期高原鼯鼠总体每日活动时间达 8 h 左右(表 2), 雄性昼间活动时间和日活动时间总量都显著高于雌性( $P < 0.05$ )。王权业等(1994)研究发现, 雄性高原鼯鼠每回合掘土持续时间和掘土量显著高于雌性鼯鼠。本研究通过无线追踪也发现, 雄性活动范围相比雌性更大, 并且雄性个体推出的鼠丘数量相比雌性更多。尚玉昌(2006)认为, 雌性在生殖上的投资通常要大于雄性, 雌性会尽可能选择具有优质基因和占有优质资源的雄性个体交配, 这

将会导致雄性个体间为争夺雌性配偶而展开激烈竞争。因此, 雄性需要不断提高竞争配偶的能力。已有研究表明, 种群内竞争能力强的雄性个体能够更好地保护巢区, 并能得到与多个异性个体交配的机会, 获得足够的食物和找到比较安全的避护所(Baker 1981, 魏万红等 2000)。因此, 求偶竞争可能是导致高原鼯鼠雄性个体每日活动时间总量高于雌性的原因之一。

本研究结果发现, 繁殖期高原鼯鼠的日活动强度和土壤温度呈显著正相关关系( $P < 0.05$ )。姬程鹏等(2018)研究发现, 非繁殖期高原鼯鼠的日活动强度和温度之间无显著性相关。但本研究时间为青藏高原高寒牧区的 3~5 月份, 是比较寒冷的时期, 也是高寒草甸从枯黄期向返青期的转变时期。前人在研究中发现, 营独居生活的地下啮齿动物活动模式与日常温度波动之间的关系具有偏好或避免高温或低温的特征(Skliba et al. 2014)。Rado 等(1993)研究发现, 埃氏小鼯形鼯鼠在一天中最热的时期将其活动降至最低。平原囊鼠(*Geomys bursarius*)在一天中最冷的时期会降低其活动以保证自身正常体温(Benedix 1994)。Skliba 等(2007)在非洲热带林地中利用无线电对霜鼠(*Heliophobius argenteocinereus*)跟踪发现, 最冷时期霜鼠的活动强度和温度之间呈正相关。巨型鼯鼠(*Fukomys mechowii*)和安塞尔鼯鼠(*F. anelli*)活动高峰均发生在采食洞道温度最高时(Lovy et al. 2013, Skliba et al. 2014)。这些研究结果均和本研究一致, 表明土壤温度确实能影响高原鼯鼠的活动强度。本研究发现, 土壤相对湿度与高原鼯鼠活动强度无相关性。田永亮等(2017)发现, 高原鼯鼠洞道内土壤和空气湿度均较高, Wang 等(2000)发现高原鼯鼠喜居潮湿、松软的土壤。这也表明高原鼯鼠已经适应较高土壤相对湿度环境。本研究监测到高原鼯鼠繁殖期的土壤相对湿度变化不大, 日均值在 35%左右。因此, 高原鼯鼠繁殖期活动强度与土壤相对湿度无关。

## 参 考 文 献

- Baker A E M. 1981. Gene flow in house mice: behavior in a population cage. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 8(2): 83–90.
- Benedix J H. 1994. A predictable pattern of daily activity by the pocket gopher *Geomys bursarius*. *Animal Behaviour*, 48(3): 501–509.
- Bennett N C. 1992. The locomotory activity patterns of a functionally complete colony of *Cryptomys hottentotus hottentotus* (Rodentia: Bathyergidae). *Journal of Zoology*, 228(3): 435–443.
- Cutrer A P, Antinuchi C D, Mora M S, et al. 2006. Home-range and activity patterns of the South American subterranean rodent *Ctenomys talarum*. *Mammalogy*, 87(6): 1183–1191.
- Hua L M, Ji W H, Zhou J W, et al. 2015. A live trap and trapping technique for subterranean zokors (Rodentia). *Mammalia*, 79(4): 487–490.
- Kenagy G J, Nespolo R F, Vasquez R A. 2002. Daily and seasonal limits of time and temperature to activity of degus. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(3): 567–581.
- Kitchen A M, Gese E M, Schauster E R. 2000. Changes in coyote activity patterns due to reduced exposure to human persecution. *Zoology*, 78(5): 853–857.
- Lovy M, Skliba J, Sumner R. 2013. Spatial and temporal activity patterns of the free-living giant mole-rat (*Fukomys mechowii*), the Largest Social Bathyergid. *PLoS One*, 8(1): e55357.
- Nevo E. 2007. Mosaic evolution of subterranean mammals: tinkering, regression, progression, and global convergence. *Heredity*, 84(4): 493–494.
- Rado R, Bronchti G, Wollberg Z, et al. 1992. Sensitivity to light of the blind mole rat: behavioral and neuroanatomical study. *Zoology*, 38(3): 323–331.
- Rado R, Shanas U, Zuri I, et al. 1993. Seasonal activity in the blind mole-rat (*Spalax-Ehrenbergi*). *Canadian Journal of Zoology*, 71(9): 1733–1737.
- Skliba J, Lovy M, Hrouzkova E, et al. 2014. Social and environmental influences on daily activity pattern in free-living subterranean rodents: the case of a eusocial bathyergid. *Biological Rhythms*, 29(3): 203–214.
- Skliba J, Sumner R, Chitaukali W N, et al. 2007. Determinants of daily activity patterns in a free-living afro-tropical solitary subterranean rodent. *Mammalogy*, 88(4): 1009–1016.
- Urrejola D, Lacey E A. 2005. Daily activity patterns of free-living cururos (*Spalacopus cyanus*). *Mammalogy*, 86(2): 302–308.
- Vleck D. 1981. Burrow structure and foraging costs in the fossorial rodent, *Thomomys bottae*. *Oecologia*, 49(3): 391–396.
- Wang Q Y, Fan N C. 2000. The burrowing behavior of *Myospalax baileyi* and its relation to soil hardness. *Acta Theriologica Sinica*, 16(4): 35–42.
- 胡忠军, 郭聪, 王勇, 等. 2002. 东方田鼠昼夜活动节律观察. *动物学杂志*, 37(1): 18–22.
- 姬程鹏, 周建伟, 楚彬, 等. 2017. 无线电追踪技术在高原鼯鼠生态学中的应用. *草原与草坪*, 37(3): 48–52.
- 姬程鹏, 周建伟, 楚彬, 等. 2018. 祁连山东段高原鼯鼠暖季活动节律及其影响因素. *兽类学报*, 38(2): 201–210.
- 孟婷婷. 2014. 甘肃鼯鼠 *Myospalax cansus* 哈氏腺结构及其 Clock mRNA 的表达. 西安: 陕西师范大学硕士学位论文, 19–37.
- 尚玉昌. 1998. 行为生态学. 北京: 北京大学出版社, 77–91.
- 尚玉昌. 2006. 动物的行为节律. *生物学通报*, 41(10): 8–10.
- 苏建平. 1992. 高原鼯鼠挖掘取食活动的能量代价及其最佳挖掘. *兽类学报*, 12(2): 117–125.
- 孙儒泳. 2006. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社, 51–65.
- 田永亮, 周建伟, 于应文, 等. 2017. 祁连山北麓高原鼯鼠栖息地的选择要素. *兽类学报*, 37(4): 407–413.
- 宛新荣, 王梦军, 刘伟, 等. 2002. 啮齿动物活动模式的几种数值指标. *兽类学报*, 22(3): 211–217.
- 王宏生, 鲍根生, 曾辉, 等. 2015. 高原鼯鼠生物学特性及其在生态系统中的作用. *黑龙江畜牧兽医*, 4(1): 66–68.
- 王权业, 张堰铭, 魏万红, 等. 2000. 高原鼯鼠食性的研究. *兽类学报*, 20(3): 193–199.
- 王权业, 周文扬, 张堰铭, 等. 1994. 高原鼯鼠挖掘活动的观察. *兽类学报*, 14(3): 203–208.
- 王莹, 魏代红, 张卫国, 等. 2018. 高原鼯鼠地上土丘性状季节性差异. *草业科学*, 35(11): 204–209.
- 魏万红, 樊乃昌, 周文扬, 等. 2000. 繁殖期高原鼠兔的攻击行为. *动物学报*, 46(3): 278–286.
- 魏万红, 周文扬, 王权业, 等. 1996. 高原鼯鼠繁殖期和非繁殖期的行为比较. *兽类学报*, 16(3): 194–201.
- 文淑均, 李伟, 杜国祯. 2012. 围栏封育对青藏高原东缘高寒草甸种子雨的影响. *草业科学*, 29(3): 333–340.
- 谢朝晖, 余秋生, 邵宝平, 等. 2005. 哺乳动物生物钟昼夜节律同步机制的研究进展. *西北农林科技大学学报*, 33(9): 45–52.
- 杨生妹, 魏万红, 殷宝法, 等. 2007. 高寒草甸生态系统中高原鼠

- 兔和高原鼯鼠的捕食风险及生存对策. 生态学报, 27(12): 4972-4978.
- 曾绍祥, 王祖望, 师治贤. 1984. 高山地区高原鼯鼠的代谢特点及若干生理指标的观察. 高原生物学集刊, 3(1): 163-171.
- 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(2): 144-154.
- 周文扬, 窦丰满. 1990. 高原鼯鼠活动与巢区的初步研究. 兽类学报, 10(1): 31-39.