

祁连山东段高原鼯鼠种群特征 与环境因子的关系分析

周延山^① 楚彬^① 马素洁^② 刘丽^① 姬程鹏^① 花立民^{①*}

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: 为明晰环境因子对高原鼯鼠 (*Eospalax baileyi*) 种群特征的影响, 本研究以高原鼯鼠的种群密度、体重、妊娠率作为其种群特征指标, 选择 2008 ~ 2014 年的归一化植被指数 (NDVI)、年均降水量和年均温为环境因子, 分析种群特征与环境因子在时间尺度上的变化关系。2008 ~ 2014 年, 研究区域归一化植被指数 (NDVI) 年度间无显著性差异 ($P > 0.05$), 高原鼯鼠体重、妊娠率和种群密度年度间均无显著性差异 ($P > 0.05$); 高原鼯鼠雌雄个体体重以及种群密度和妊娠率均与环境因子归一化植被指数 (NDVI)、年均降水量及年均温均无相关关系 ($P > 0.05$)。以上结果说明, 高原鼯鼠体重变化、妊娠率和种群密度与栖息地植被生长状况及气候因子无相关关系, 环境因子对高原鼯鼠种群特征的影响较小。

关键词: 高原鼯鼠; 归一化植被指数; 气候因子; 繁殖特性; 种群密度

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 05-734-09

Relationship between Population Features of Plateau Zokor (*Eospalax baileyi*) and Environmental Factors in Eastern Qilian Mountain Regions

ZHOU Yan-Shan^① CHU Bin^① MA Su-Jie^② LIU Li^① JI Cheng-Peng^① HUA Li-Min^{①*}

① College of Rangeland Science of Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070; ② College of Engineering of Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China

Abstract: The Plateau Zokor (*Eospalax baileyi*) is one of the dominant rat species of the Qinghai-Tibet Plateau and it has an important role in alpine grassland ecosystems. In this study, the zokors were captured by setting the 6 samples each year in the study area (Table 1); bodyweight, pregnancy rate and population density of Plateau Zokor were chosen as the index of population features; normalized difference vegetation index (NDVI), the annual average precipitation and temperature from 2008 to 2014 (Table 2) were chosen as the environmental factors. The paper analyzed the relationship between population features of Plateau Zokor

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31460635), 农业部公益性行业科研项目 (No. 201203041);

* 通讯作者, E-mail: hualm@gsau.edu.cn;

第一作者介绍 周延山, 男, 硕士研究生; 研究方向: 草地生态; E-mail: zhouyanshan_gsau@163.com.

收稿日期: 2015-12-16, 修回日期: 2016-04-05 DOI: 10.13859/j.cjz.201605003

and environmental factors in order to clear influence of environmental factors on the population features of Plateau Zokor. The results showed that there was no significant difference on inter-annual NDVI ($P > 0.05$, Fig. 1) and bodyweight, pregnancy rate, population density year to year from 2008 to 2014 ($P > 0.05$, Table 3). With the development of time, the bodyweight of male and female, population density and pregnancy rate had not correlation with the environmental factors such as average annual precipitation and average annual temperature ($P > 0.05$, Fig. 2 - 7). The above results show that there were no correlation between bodyweight, population density and pregnancy rate of Plateau Zokor and environmental factors, which means the environmental factors had little influence on zokors' population features.

Key words: Plateau Zokor, *Eospalax baileyi*; Normalized difference vegetation index, NDVI; Climatic factors; Reproductive characteristics; Population features

环境条件的变化, 已成为草原啮齿动物种群快速繁殖和栖息地扩展的主要原因 (Richens 1965, 施银柱 1983, 边疆晖等 1994)。当这些啮齿动物种群数量超过环境容量时, 将会导致或加剧草地的退化 (鲍根生等 2016)。因此, 明晰草原啮齿动物种群变化特征、栖息地选择与环境因子的关系, 对草地啮齿动物危害防治和草地生物多样性保护具有重要意义。

高原鼯鼠 (*Eospalax baileyi*) 是青藏高原的优势啮齿动物之一, 对高寒草甸生态系统有着重要影响 (张堰铭等 2002, 钟文勤等 2002, 周建伟等 2013)。高原鼯鼠栖息地选择主要取决于气候、植被、地形、土壤和天敌等因素, 而气候条件和植被状况直接决定着种群数量的变化 (张军等 2011), 因此可通过植被的某些指标以及气候因子估测和评价高原鼯鼠种群特征 (Olson et al. 2004)。高原鼯鼠体重变化、繁殖特性与气候因子是否有直接关系, 目前尚无统一结论。以往对高原鼯鼠栖息地的研究主要集中在高原鼯鼠种群密度与生物因子和非生物因子之间的关系, 忽视了自身的繁殖和采食行为, 且这些研究大多基于较小的空间尺度和较短的时间尺度 (李金刚等 1995, 魏万红等 1997, 丁连生等 1998, 韩天虎等 1999)。本研究以高原鼯鼠体重变化、妊娠率和种群密度作为种群特征指标, 利用较长时间尺度 (2008 ~ 2014 年) 的归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI)、年均降水

量和年均温为环境因子, 分析种群特征与环境因子之间的关系, 为高原鼯鼠生态学研究提供资料。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

本研究在祁连山东段天祝县抓喜秀龙乡 ($37^{\circ}11'N$, $102^{\circ}29'W$, 海拔 2 700 ~ 3 100 m) 进行, 草地类型为高寒草甸。地形受甘肃天祝县马牙雪山和雷公山的影响, 形成东向的峡谷地带, 西高东低, 昼夜温差较大, 空气稀薄, 太阳辐射强, 气候寒冷潮湿, 年均降水量 416 mm, 主要集中在 7 ~ 9 月, 年均蒸发量 1 592 mm, 无绝对无霜期。仅分冷、热两季。年均气温 $0.1^{\circ}C$, 7 月和 1 月气温分别为 $12.7^{\circ}C$ 和 $-18.3^{\circ}C$, 不低于 $0^{\circ}C$ 的年积温 $1\ 380^{\circ}C$ 。植物生长期 120 ~ 140 d (楚彬等 2016)。

1.2 实验设计

2008 ~ 2014 年在高原鼯鼠怀孕期 (5 月初), 选择高原鼯鼠分布区, 每年根据其分布区在不同的位置设置样方 6 个, 样方大小为 $50\ m \times 50\ m$, 样方之间的间隔距离大于 300 m。利用地弓捕获该样方内高原鼯鼠, 至捕尽为止 (表 1), 将每个样方内捕获的鼯鼠数量换算为每公顷数量, 作为调查样地的种群密度。将捕获的个体逐一进行编号, 用上海精科 YP1002N 电子天平测量其体重。在室内利用解剖观察雌性妊娠斑, 计算当年捕获个体的妊娠率 [妊娠率

= (妊娠鼠数量/捕获的成年雌性个体数量) × 100%]。除设置的 6 个样方外, 每年在捕获区选择一个面积一致的样方作为植被调查(NDVI 调查)的对照区, 对照样方保持自然状态, 不捕鼠。以年均降水量和年均气温反映当年气候因子, 以归一化植被指数 (NDVI) 代表当年植被生长状况, 研究高原麝鼠体重变化和妊娠率与气候因子和植被状况的关系。

1.3 数据来源

NDVI 数据: 由甘肃省草原总站提供 2008 ~ 2014 年的归一化植被指数 (NDVI) 卫星影像资料, 选择草地盛期 (8 月份) 数据。时间分辨率为 15 d, 空间分辨率为 8 km × 8 km。该数据集的处理过程包括校正遥感器的改变、遥感器灵敏度随时间变化、卫星轨道的漂移和太阳高度角等对数据质量的影响。利用 ENVI 图像

处理软件, 对 2008 ~ 2014 年 8 km 的 NDVI 数据进行处理, 包括图像格式转换、投影、裁剪、波段叠合等。在地理信息软件 ARC/GIS 支持下, 提取研究区的行政边界、土地利用图, 并投影到与研究区遥感图像 NDVI 一致的坐标参数下。使用 PCI 软件按照行政区域、土地利用类型等提取 7 年的草地盛长期 (8 月份) NDVI 数据 (花立民 2012)。

气象数据: 2008 ~ 2014 年研究区年均降水量和年均气温资料由中国气象数据共享网站下载 (表 2)。

1.4 数据分析

用 SPSS19.0 软件进行统计分析, 其中, 高原麝鼠的种群特征与环境因子年度间的变化分析用 One-Way ANOVA 方差分析, 多重比较采用 LSD 法; 高原麝鼠种群特征与环境因子的关

表 1 捕获个体数量统计 (只)

Table 1 The number of statistics about the capture of the individual (ind)

年度 Year	样方1 Quadrat 1		样方2 Quadrat 2		样方3 Quadrat 3		样方4 Quadrat 4		样方5 Quadrat 5		样方6 Quadrat 6		总捕获数 Total number of capture	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
	2008	6	0	4	1	3	2	1	1	1	0	6	1	21
2009	1	0	0	2	1	0	3	2	3	0	1	3	9	7
2010	2	2	0	3	0	3	2	3	2	1	2	0	8	12
2011	3	1	1	1	0	1	2	1	2	2	2	2	10	8
2012	0	1	1	1	2	2	5	6	3	5	3	2	14	17
2013	3	2	1	1	1	2	1	3	1	1	2	2	9	11
2014	2	2	2	1	2	0	3	3	3	1	3	2	15	9

表 2 2008 ~ 2014 年研究区域年均降水量和年均气温的变化

Table 2 Average annual precipitation and the average annual temperature change of research area in the 2008 - 2014

	年度 Year						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
年均降水量 (mm) Average annual precipitation	390.6	368.3	372	479.6	592.8	305.9	490.4
年均气温 (°C) Average annual temperature	0.48	1.20	0.77	0.46	0.10	1.64	0.90

系用相关性分析。

2 结果与分析

2.1 高原麝体重、妊娠率和种群密度年度变化

高原麝体重、妊娠率和种群密度的年度变化见表 3。方差分析, 高原麝雌性体重 ($df = 6$, $F = 1.65$, $P > 0.05$)、雄性体重 ($df = 6$, $F = 1.32$, $P > 0.05$)、妊娠率 ($F = 1.63$, $P > 0.05$) 和种群密度 ($F = 1.20$, $P > 0.05$) 随着年份的变化无显著性差异。

2.2 高原麝栖息地植被状况 (NDVI) 的年度变化

将高原麝捕获点归一化植被指数 (NDVI) 进行多重比较 (图 1), 2010 年 NDVI 显著小于 2009、2011、2012、2013、2014 年和对照区 ($df = 7$, $F = 4.131$, $P < 0.05$), 2008 年 NDVI 与其他年份的差异不明显。说明随着年份变化, 调查区植被生长状况没有明显差异。

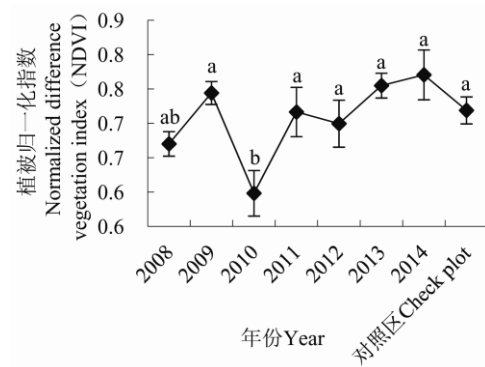


图 1 研究区域植被归一化指数 (NDVI) 年度变化
Fig. 1 Annual normalized difference vegetation index (NDVI) change of research area

不同年份不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

The different years of different small letters mean significant difference ($P < 0.05$).

2.3 高原麝体重、妊娠率和种群密度与归一化植被指数 (NDVI) 的相关性

将捕获的雌雄个体体重与 NDVI 进行相关

表 3 2008 ~ 2014 年高原麝雌雄个体体重、雌性妊娠率和种群密度变化范围及平均值

Table 3 The range and the average value of the weight and pregnancy rate and population density of Plateau Zokors in the 2008 - 2014

		雄性体重 (g)	雌性体重 (g)	妊娠率 (%)	种群密度 (只/hm ²)
		Bodyweight of male	Bodyweight of female	Prognancy rate	Population density
2008	变化范围 Variation range	78 ~ 302	83 ~ 233.5	50 ~ 100	8 ~ 24
	平均值 Average value	228.38 ± 24.28 ^a	177.87 ± 7.34 ^a	72.17 ± 12.70 ^a	16.00 ± 2.53 ^a
2009	变化范围 Variation range	165 ~ 315	130 ~ 265.5	33 ~ 100	4 ~ 20
	平均值 Average value	199.00 ± 9.59 ^a	181.63 ± 9.63 ^a	73.20 ± 16.41 ^a	10.00 ± 2.25 ^a
2010	变化范围 Variation range	118 ~ 297	122 ~ 222	33 ~ 100	4 ~ 20
	平均值 Average value	229.86 ± 18.05 ^a	170.25 ± 11.71 ^a	62.50 ± 12.50 ^a	13.33 ± 2.67 ^a
2011	变化范围 Variation range	140 ~ 330	136 ~ 300	50 ~ 100	4 ~ 16
	平均值 Average value	267.64 ± 27.49 ^a	214.24 ± 26.59 ^a	25.00 ± 14.43 ^a	12.00 ± 2.07 ^a
2012	变化范围 Variation range	118 ~ 360	94 ~ 207	0 ~ 50	4 ~ 44
	平均值 Average value	225.05 ± 21.90 ^a	167.43 ± 4.16 ^a	40.67 ± 13.11 ^a	20.67 ± 6.15 ^a
2013	变化范围 Variation range	160 ~ 330	110 ~ 300	50 ~ 67	8 ~ 20
	平均值 Average value	216.36 ± 13.57 ^a	194.80 ± 30.51 ^a	41.67 ± 15.98 ^a	13.33 ± 1.98 ^a
2014	变化范围 Variation range	176 ~ 343	159 ~ 240	0 ~ 100	8 ~ 24
	平均值 Average value	279.22 ± 10.52 ^a	186.04 ± 6.07 ^a	62.50 ± 9.60 ^a	16.00 ± 2.01 ^a

同一列相同小写字母“a”表示无差异, 显著水平 $P = 0.05$ 。

The small letters within the same column mean significant difference, level significantly, $P = 0.05$.

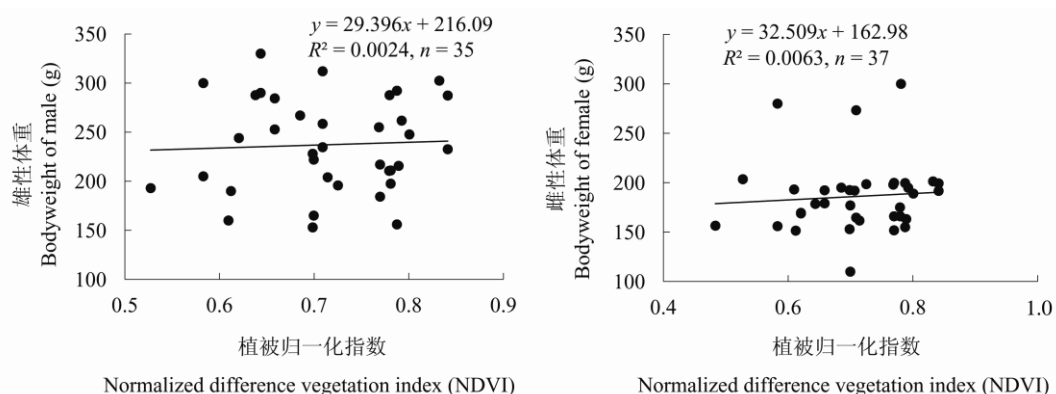


图 2 高原鼯鼠体重与植被归一化指数 (NDVI) 的关系

Fig. 2 The relationship between weight of Plateau Zokors and normalized difference vegetation index (NDVI)

性分析 (图 2), 在 2008 ~ 2014 年间, 高原鼯鼠雌 ($r = 0.049, P > 0.05$) 雄 ($r = 0.079, P > 0.05$) 个体体重与 NDVI 均不相关。说明不同年份, 植被生长状况对高原鼯鼠体重影响较小。

高原鼯鼠每年的妊娠率和 NDVI 进行相关性分析 (图 3), 2008 ~ 2014 年间高原鼯鼠妊娠率与 NDVI 不相关 ($r = -0.043, P > 0.05$), 说明高原鼯鼠妊娠率在时间尺度上的变化与植被生长状况的关系不显著, 植被的生长状况对高原鼯鼠繁殖的影响较小。

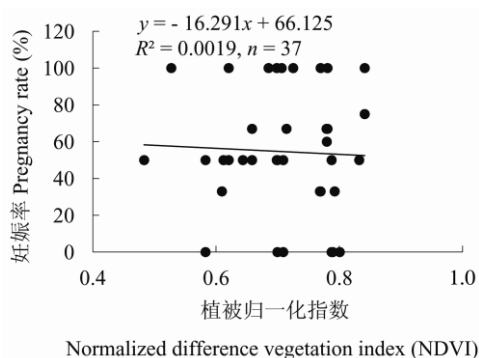


图 3 高原鼯鼠繁殖特性与植被归一化指数 (NDVI) 的关系

Fig. 3 The relationship between the reproductive characteristics of Plateau Zokors and normalized difference vegetation index (NDVI)

2008 ~ 2014 年间高原鼯鼠种群密度与 NDVI 无相关性 ($r = 0.138, P > 0.05$) (图 4)。说明高原鼯鼠种群密度随着时间的变化与植被生长状况的关系亦不显著, 植被生长状况对高原鼯鼠种群数量来说为非密度制约因子。

2.4 高原鼯鼠体重、妊娠率和种群密度与降水量和气温的相关性

高原鼯鼠雌雄个体体重与当年平均降水量和平均气温进行相关性分析 (图 5), 2008 ~

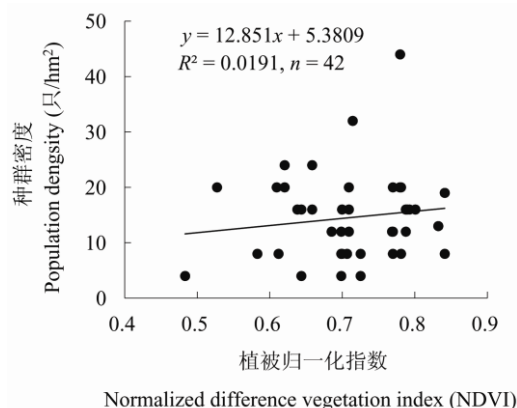


图 4 高原鼯鼠种群密度与植被归一化指数 (NDVI) 的关系

Fig. 4 The relationship between the population density of Plateau Zokors and normalized difference vegetation index (NDVI)

2014 年间雌 ($r = -0.299, P > 0.05$) 雄 ($r = 0.660, P > 0.05$) 性个体体重与年平均降水量无相关关系; 雌 ($r = 0.229, P > 0.05$) 雄 ($r = 0.477, P > 0.05$) 个体体重与年平均气温无相关关系。说明气候因素和栖息地植被生长状况一样, 对高原鼯鼠体重的影响较小。

2008 ~ 2014 年间高原鼯鼠妊娠率与年平均降水量 ($r = 0.084, P > 0.05$) 和年均气温 ($r = 0.096, P > 0.05$) 无相关关系 (图 6)。说明气候因素的变化对高原鼯鼠繁殖的影响较小, 高原鼯鼠的繁殖更多地取决于其种内竞争。通过相关性研究表明, 2008 ~ 2014 年间高原鼯鼠种群密度与年平均降水量 ($r = 0.682, P > 0.05$) 和年平均气温 ($r = -0.620, P > 0.05$) 无相关关系 (图 7)。说明气候因素对高原鼯鼠种群密度的影响较小, 气候因素对高原鼯鼠来说也是非密度制约因子。

3 讨论

3.1 高原鼯鼠的种群波动

动物种群波动取决于多种因素。动物种群动态调节的外源性因素理论认为, 非密度制约因子 (如气候因子) 和密度制约因子 (如食物资源) 都可以影响到种群密度的高低 (孙儒泳 2003)。本研究发现, 在 2008 ~ 2014 年间, 高原鼯鼠种群密度年度间并无显著性差异, 这与张堰铭 (1999) 对高原鼯鼠的研究结果一致, 说明高原鼯鼠是一类种群密度较稳定的啮齿动物。而且, 本研究发现高原鼯鼠种群密度变化与气候因子 (降雨和气温) 以及食物资源 (NDVI) 并无显著关系, 这说明高原鼯鼠种群密度调节可能更多地受制于行为-内分泌反馈调节机制。孙儒泳 (2003) 研究认为, 小型啮齿类动物种群密度调节为行为-内分泌反馈调节机制, 杨荷芳 (1979) 对布氏田鼠 (*Lasiopodomys brandtii*) 的种群调节的研究也证实这一点。高原鼯鼠作为营地下栖息的啮齿

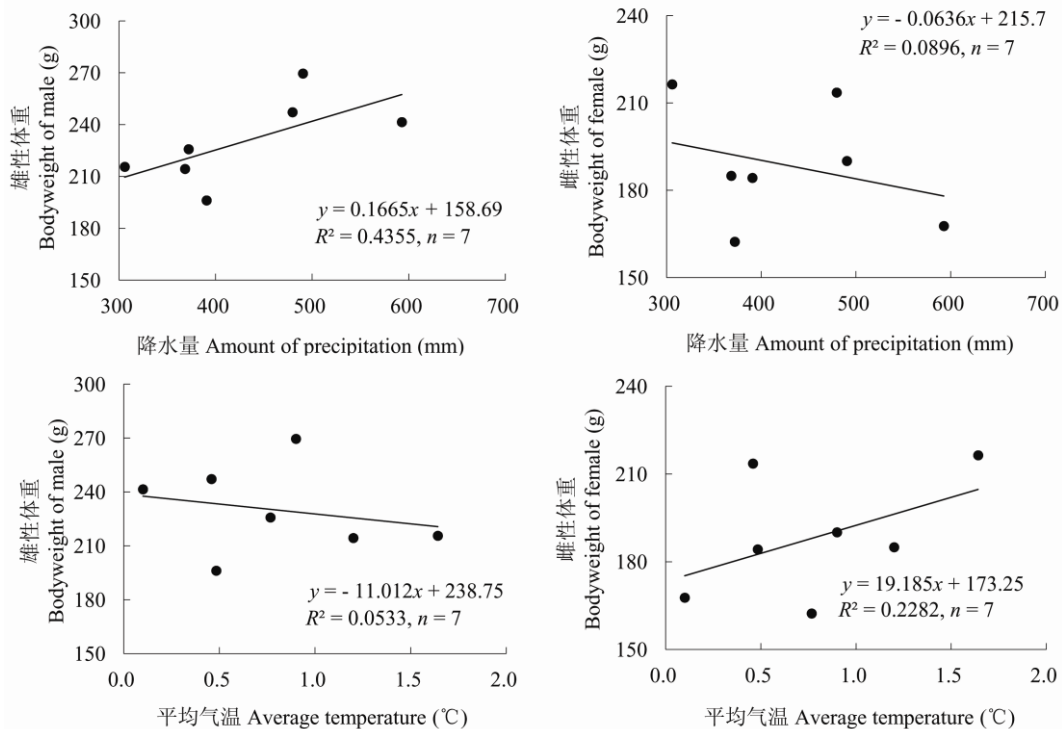


图 5 高原鼯鼠体重变化与气候因子的关系

Fig. 5 The relationship between the weight changes of Plateau Zokors and climate factors

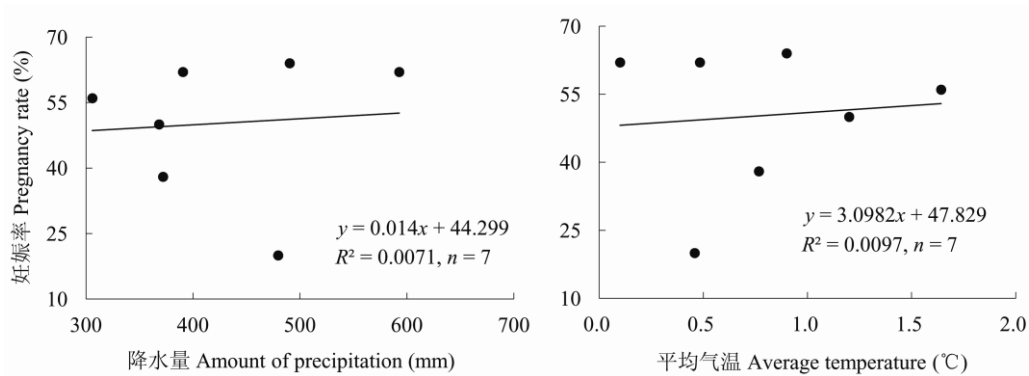


图 6 高原鼯鼠繁殖特性与气候因子的关系

Fig. 6 The relationship between the reproductive characteristics of Plateau Zokors and climate factors

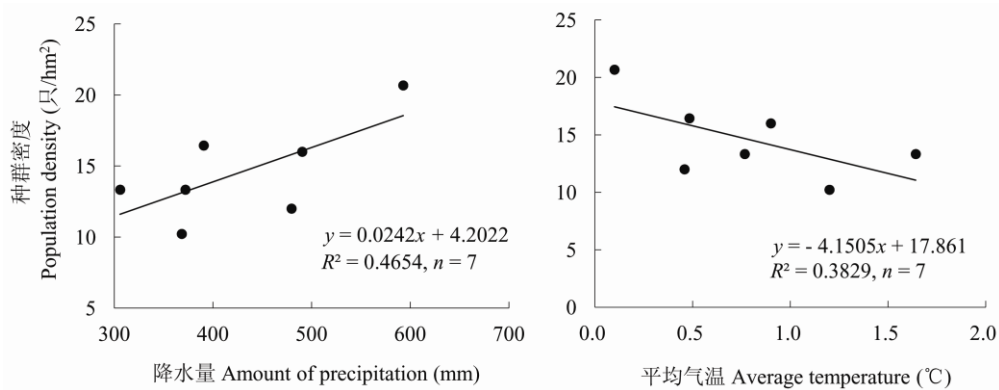


图 7 高原鼯鼠种群密度与气候因子的关系

Fig. 7 The relationship between the population density of Plateau Zokors and climate factors

动物,与其他地下啮齿动物相似,其生活环境,如食物、温度、安全性等相对比较稳定(Sabine 2015)。Šumbera (2008)等发现非洲鼯形鼠亚科(Tachyoryctinae)物种的种群数量变动也不明显,在较长的一段时间内,基本保持相对稳定状态。本研究结果显示,高原鼯鼠种群数量与本研究采用的环境因子无相关关系,其变动可能主要通过行为-内分泌调节机制控制。目前,防治鼯鼠对草地的危害主要通过控制其种群密度进而达到防治目的的理论是把高原鼯鼠看作一个局域种群,但是高原鼯鼠栖息于异质性较高的天然草地,不同的局域种群各自占据适宜的栖息地。Levins 模型(1976)认为集合种群数量变动取决于生境斑块破碎程度以及局域种群距离的远近。本研究每年在研究区域不

同地点通过设置样方捕获高原鼯鼠,结果显示其种群密度在时间尺度上无显著性差异,并且与环境因子无显著关系,似乎也证实高原鼯鼠以集合种群的形式分布于草地斑块之间。

3.2 高原鼯鼠体重变化

食物资源、土壤性质、种群密度等生态因子对小型啮齿动物在体重、体型变动等方面具有较大影响(Batzli 1983)。本文在时间尺度上对高原鼯鼠体重变动进行研究,发现高原鼯鼠体重在时间尺度上无显著性差异,对此结果,可以从2个方面进行解释。一是高寒草甸区相对丰富的地下生物量为高原鼯鼠提供了充沛的食物资源,因此,在一定时间尺度内,其体重保持一个稳定的状态。二是洞道系统作为高原鼯鼠的重要活动场所,其洞道直径的大小既要

保证自身的活动, 还要抵御外界天敌的捕食。高原鼯鼠体重大小与洞道直径有关, 自身体重的改变不利于其地下活动。因此, 高原鼯鼠体重长期保持一个稳定的状态, 在适应环境方面具有重要的生态学意义。另外, 高原鼯鼠作为草地初级消费者之一, 其体重的大小必须依靠大量挖掘采食栖息地植被根系来维持 (Gettinger 1984)。杨宏亮等 (1992) 和王明春 (1997) 研究表明, 甘肃鼯鼠 (*E. cansus*) 和中华鼯鼠 (*E. fontanieri*) 的体重与采食量呈显著正相关关系, 鼯鼠栖息地食物资源的好坏决定着其体重的变化。但是本研究发现, 高原鼯鼠雌雄个体体重在年度间无显著性差异, 说明随着时间的变化高原鼯鼠采食量基本保持一个稳定的状态, 高原鼯鼠采食状况保持不变, 也就意味着对草地植被的影响处于一个稳定的状态。另外, 本研究发现高原鼯鼠雌雄个体体重的变化与植被生长状况 (NDVI) 无显著关系, 进一步证实了上述结论。高原鼯鼠体重变化与气候因子和植被生长状况无显著关系的原因可能与其本身采食行为有关, 因为前人已有研究表明, 在适度种群密度时, 高原鼯鼠的挖掘采食活动有利于草地演替 (Liu et al. 1997, 张堰铭等 2002, Zhang et al. 2003, 张卫国等 2004)。动物领域的大小随领域的功能、动物身体大小、食性和种群密度大小等因素而变化, 领域面积随其占有者的体重而扩大 (牛翠娟等 2007), 根据本研究结果, 可以得出高原鼯鼠随着年份的变化其巢域也不会发生较大变化, 那就意味着高原鼯鼠对草地的破坏面积并没有增加。因此, 鼯鼠的挖掘采食对草地造成的危害程度值得进一步研究。

3.3 高原鼯鼠妊娠率变化

地下掘土类动物繁殖力因物种、种群密度、地理位置、气候条件和栖息地质量的不同而表现出差异 (Andersen et al. 1981)。一般来讲, 食物资源和营养越丰富, 动物繁殖的机会就越多, 其繁殖力会相应增加 (Nevo 1979)。郎杏茹等 (2007) 研究也表明, 鼯鼠栖息地植

被生长状况较好时, 鼯鼠妊娠率也随之增高。本研究发现高原鼯鼠妊娠率年度间无显著性差异, 而栖息地质量 (NDVI) 随着年份的变化也未出现较大差异, 这说明了高原鼯鼠妊娠率和栖息地质量并不存在相关关系。我们分析原因可能是本研究区域高原鼯鼠种群密度尚未达到栖息地环境容量, 因为充沛的食物资源使得其繁殖处于一个稳定状态 (张堰铭等 2002)。目前, 对于高原鼯鼠繁殖的研究集中于繁殖本身的季节性变化 (韩崇选等 2003), 而对于繁殖与栖息地环境因子的关系并没有高度重视。栖息地环境因子是否为高原鼯鼠繁殖的制约因素, 值得我们进一步深入探讨。此外, 本研究只是在特定区域内的一个初步工作而已, 在空间尺度下调查高原鼯鼠生境适合度有待于进一步研究。

参 考 文 献

- Andersen D C, Mac Mahon J A. 1981. Population dynamics and bienergetics of a fossorial herbivore, *Thomomys talpoides* (Rodentia: Geomyidae), in a spruce-fir forest. *Ecological Monographs*, 51(2): 179–202.
- Batzli G O. 1983. Response of arctic rodent population to nutritional factor. *Oikos*, 40(3): 396–406.
- Getttinger R D. 1984. Energy and water metabolism of free-ranging pocket gophers, *Thomomys bottae*. *Ecology*, 65(1): 740–751.
- Levin S A. 1976. Population dynamic models in heterogeneous environments. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 7(5): 287–310.
- Liu R H, Liu B Y, Zhao X C, et al. 1997. The basic characteristics of the zokor pests and the ecological strategies of controlling in forest area. *Acta Theriologica Sinica*, 17(4): 272–278.
- Nevo E. 1979. Adaptive convergence and divergence of subterranean mammals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10(1): 269–308.
- Olson G S, Glenn E M, Anthony R G, et al. 2004. Modeling demographic performance of northern spotted owls relative to forest habitat in Oregon. *Journal of Wildlife Management*, 68(4): 1039–1053.

- Richens V B. 1965. An evaluation of control the Wasatch pocket gopher. *The Journal of Wildlife Mangement*, 29(3): 413-425.
- Sabine B, Meike B, Charlotte K M. et al. 2015. Temperature preferences of African mole-rats (family Bathyergidae). *Journal of Thermal Biology*, 53(1): 15-22.
- Šumbera R, Šklíba J, Elichová M, et al. 2008. Natural history and burrow system architecture of the silvery mole-rat from *Brachystegia* woodland. *Journal of Zoology*, 274(1): 77-81.
- Zhang Y M, Zhang Z B, Liu J K. 2003. Burrowing rodents as ecosystem engineers: The ecology and management of plateau zokors *Myospalax fontanieri* in alpine meadow ecosystems on the Tibetan Plateau. *Mammal Review*, 33(3): 284-294.
- 鲍根生, 王宏生, 曾辉, 等. 2016. 不同形成时间高原鼢鼠鼠丘土壤养分分配规律. *生态学报*, 36(7): 1-7.
- 边疆晖, 樊乃昌, 景增春, 等. 1994. 高寒草甸地区小哺乳动物群落与植物群落演替关系的研究. *兽类学报*, 14(3): 209-216.
- 楚彬, 花立民, 周延山, 等. 2016. 祁连山东段不同放牧强度下高原鼢鼠栖息地选择分析. *草业学报*, 25(1): 179-186.
- 丁连生, 张卫国, 韩天虎. 1998. 高原鼢鼠种群消长与繁殖特性的关系. *草业学报*, 7(4): 49-54.
- 韩崇选, 杨学军, 王明春, 等. 2003. 农林啮齿动物灾害环境修复与安全诊断. 西安: 西北农林科技大学出版社, 370-372.
- 韩天虎, 张卫国, 丁连生. 1999. 高原鼢鼠栖息地的植被特征. *草业学报*, 8(2): 43-49.
- 花立民. 2012. 玛曲草原植被 NDVI 与气候和载畜量变化的关系分析. *草业学报*, 21(4): 224-235.
- 郎杏茹, 王培新, 韩崇选, 等. 2007. 黄土高原次改林地地下植物与鼢鼠繁殖的关系. *西北林学院学报*, 22(6): 78-84.
- 李金钢, 王廷正, 刘敏. 1995. 延安地区甘肃鼢鼠种群繁殖特征的研究. 西安: 西北大学出版社, 42-51.
- 牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 等. 2007. 基础生态学. 北京: 高等教育出版社, 126-127.
- 施银柱. 1983. 草场植被影响高原鼠兔密度的探讨. *兽类学报*, 3(2): 181-187.
- 孙儒泳. 2003. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社, 218-219.
- 王明春, 韩崇选, 胡忠朗, 等. 1997. 甘肃鼢鼠取食节律及对不同饵料喜食性的研究. *西北农业大学学报*, 25(2): 37-41.
- 魏万红, 王权业, 周文扬, 等. 1997. 灭鼠干扰后高原鼢鼠的种群动态与扩散. *兽类学报*, 17(1): 53-61.
- 杨荷芳. 1979. 布氏田鼠种群内部调节研究——种群密度、肾上腺及生殖腺重量之间的关系. *动物学报*, 25(2): 154-168.
- 杨宏亮, 王廷正. 1992. 甘肃鼢鼠对农作物的为害程度及防治中经济阈值的初步研究. *植物保护学报*, 19(3): 283-287.
- 张军, 葛庆征, 张卫国, 等. 2011. 植被性状与高原鼢鼠栖息地适合度的关系. 28(5): 836-840.
- 张卫国, 江小蕾, 王树茂, 等. 2004. 鼢鼠的造丘活动及不同休牧方式对草地植被生产力的影. *西北植物学报*, 24(10): 1882-1887.
- 张堰铭. 1999. 高原鼢鼠对高寒草甸群落特征及演替的影响. *动物学研究*, 20(6): 435-445.
- 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.
- 钟文勤, 樊乃昌. 2002. 我国草地鼠害的发生原因及其生态治理对策. *生态学通报*, 37(7): 1-5.
- 周建伟, 花立民, 左松涛, 等. 2013. 高原鼢鼠栖息地选择研究进展. *草业科学*, 30(4): 647-653.