

# 新疆北部荒漠草原黄兔尾鼠种群参数的季节比较



应亚奇<sup>1</sup> 王乐文<sup>1</sup> 王大伟<sup>1,2\*</sup> 阿帕尔·阿布都吾甫尔<sup>3</sup>  
努尔古丽·努尔旦<sup>3</sup> 李璇<sup>3</sup> 王晓彤<sup>3</sup> 阿布都克尤木·卡德尔<sup>4</sup>  
宋英<sup>1</sup> 李宁<sup>1</sup> 刘晓辉<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 杂草鼠害与草地有害生物防控创新中心, 北京 100193; 2. 中国农业科学院西部农业研究中心, 新疆 昌吉 831100; 3. 新疆维吾尔自治区草原生物灾害防控中心, 乌鲁木齐 830000; 4. 新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所, 农业农村部西北荒漠作物有害生物综合治理重点实验室, 乌鲁木齐 830091)

**摘要:** 为了解新疆北部荒漠草原重要害鼠黄兔尾鼠 *Eolagurus luteus* 种群参数的季节性特点, 于春(4月)、夏(6月)、秋(9月)、冬(1月)四季在乌苏市巴音沟牧场采集野外种群样本, 比较其在不同季节间的种群参数及生理指标。结果表明: 黄兔尾鼠的种群密度和性比存在明显的季节差异, 夏季的有效洞口密度和有效洞口比率均显著高于秋季, 分别为秋季的1.67倍和2.00倍, 夏秋季性比偏向雌性, 冬春季性比偏向雄性。黄兔尾鼠的生理状态亦呈现出明显的季节性特点, 春季是其繁殖盛期, 雌鼠的怀孕率和繁殖率在该时期最高, 均为85.7%, 而其余季节的怀孕率和繁殖率均在30.0%以下。同时成年雌雄鼠的肥满度、脾脏相对质量、肾上腺相对质量和繁殖器官相对质量在春季均达到最高, 显著高于其余季节, 代表其具有更好的营养状态以及更高的免疫力和应激水平。黄兔尾鼠在春季活跃的繁殖行为与其在该时期较好的生理状态一致, 表明该鼠可周期性地调整生理与繁殖状态, 以适应生境剧烈的季节变化, 从而保证种群的延续。

**关键词:** 黄兔尾鼠; 种群参数; 生理指标; 季节差异; 新疆; 繁殖参数

## Seasonal fluctuations in population parameters of yellow stepped voles in the desert steppe of northern Xinjiang

Ying Yaqi<sup>1</sup> Wang Lewen<sup>1</sup> Wang Dawei<sup>1,2\*</sup> Abuduwufuer Apar<sup>3</sup> Nuerdan Nuerguli<sup>3</sup> Li Xuan<sup>3</sup>  
Wang Xiaotong<sup>3</sup> Kader Abudukeyoumu<sup>4</sup> Song Ying<sup>1</sup> Li Ning<sup>1</sup> Liu Xiaohui<sup>1</sup>

(1. Weed, Rodent and Rangeland Pest Monitoring and Management, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Western Agricultural Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji 831100, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 3. Center for Grassland Biological Disaster Prevention and Control of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 4. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

**Abstract:** To investigate the seasonal variations in population parameters of the yellow stepped vole *Eolagurus luteus*, a prominent pest inhabiting the desert grasslands of northern Xinjiang Uygur Autonomous Region, field populations were sampled in spring (April), summer (June), autumn (September) and winter (January) from Bayingou Pasture in Wusu. Results revealed significant seasonal fluctuations in population density and sex ratio of the yellow stepped vole. The number and ratio of active holes were signifi-

基金项目: 国家自然科学基金(32090022), 新疆农业科学院自主培育专项(xjnkycxzx-2022003), 新疆维吾尔自治区“天池英才”引进计划

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: wangdawei02@caas.cn

收稿日期: 2024-04-26

cantly higher in summer compared with autumn, showing increases of 1.67 and 2.00 times, respectively. Sex ratios favored females in summer and autumn, while favoring males in winter and spring. Seasonal variations in the physiological status of the yellow stepped vole were evident, with peak breeding activity observed in spring. Female vole pregnancy and reproductive rates peaked during the spring at 85.7%, contrasting with rates below 30.0% in other seasons. Additionally, adult male and female voles exhibited peak level of fatness, relative spleen weight, relative adrenal gland weight and relative reproductive organ weight in spring, significantly surpassing levels in other seasons, indicating enhanced nutrition, immunity, and stress levels. The yellow stepped vole's boosted reproductive behavior in spring corresponds with their improved physiological status in spring, implying a seasonal adoption of their physiological and reproductive status to environmental alterations and maintaining population stability.

**Key words:** yellow stepped vole; population parameter; physiological characteristic; seasonal difference; Xinjiang; reproductive parameter

新疆维吾尔自治区(简称新疆)拥有广阔的草地资源,据新疆第三次全国国土调查结果显示,草地面积达5 198.6万 $\text{hm}^2$ ,约占全国草地面积的19.7%。该地区独特的“三山夹两盆”地貌造就了巨大的海拔落差,形成了多样的气候条件和丰富的植被类型。这也导致小型啮齿动物种类多样化高、分布广泛且易暴发成灾,制约着当地农、林、牧业的生产和发展(努尔古丽·马汉等,2009;琪琪格,2015)。新疆草原生活着50多种鼠类动物,主要害鼠种类包括黄兔尾鼠 *Eolagurus luteus*、大沙鼠 *Rhombomys opimus*、赤颊黄鼠 *Spermophilus erythrognys* 和鼯形田鼠 *Ellobius talpinus* 等10余种(王思博和杨赣源,1983;杨东生等,2004;吴建国,2018)。其中,黄兔尾鼠是新疆北部草原的主要害鼠之一,其为害面积占新疆草原鼠害发生总面积的20%以上(吴建国,2018;岳方正等,2020),给当地生态和经济带来了不容忽视的影响。

鼠害的频繁发生主要归因于鼠类超强的繁殖能力,它们具有繁殖周期短、胎仔数多和性成熟快等特点,这些因素共同促使害鼠种群能够在短时间内迅速增长(汪诚信,2007;王勇等,2023)。鼠类对环境变化极为敏感,能根据光照、温度和食物等外界环境条件及时调整自身的生理状态,包括免疫、应激和生殖等。由于生存环境的季节性波动,鼠类通常选择条件适宜的春夏季进行繁殖,以确保幼仔在最佳环境中出生,从而最大限度地提高后代的成活率(Jiménez et al., 2015; Hall et al., 2018)。如内蒙古典型草原上的布氏田鼠 *Lasiopodomys brandtii* 经历过繁殖盛期后,其在秋季的种群密度较春季增加了数倍(施大钊等,2004);并且布氏田鼠在夏季和秋季的种群密度及生理状态呈现显著的季节和年龄差异

(王大伟等,2010;郝伟丽等,2016;任飞等,2016);越冬鼠拥有绝对的繁殖优势和更持久的繁殖能力,这不仅保证了种群的持续增长,也使它们成为鼠害防治的重点对象(Chen et al., 2019; Wang et al., 2019)。因此,深入探究草原害鼠的季节性繁殖特点对于明确其种群波动和暴发成灾的机制具有重要意义。

黄兔尾鼠属于啮齿目仓鼠科东方兔尾鼠属 *Eolagurus*(魏辅文等,2021)。该物种在国外主要分布于蒙古境内,在国内分布于新疆、甘肃、青海和内蒙古等省区(王思博和杨赣源,1983)。在新疆,黄兔尾鼠主要分布于天山北麓和阿尔泰山南坡的低山丘陵带,尤其喜栖于荒漠蒿属 *Artemisia* 草原(倪亦非和徐光清,2012)。它们啃食牧草并挖掘洞穴,加剧草场退化和水土流失,严重影响了草原的生态安全;此外,黄兔尾鼠还是鼠疫等人畜共患病的自然宿主,增加了疾病传播的风险(杨俊平和皇甫盛,2000;吴建国,2018)。作为一种数量变动较为剧烈的鼠种,黄兔尾鼠种群数量在食物充足、气候条件较好的年份猛增并暴发成灾,其鼠洞密度最高超过6 800个/ $\text{hm}^2$ ,鼠密度超过500只/ $\text{hm}^2$ (龚建宁,2001)。尽管已有研究涉及黄兔尾鼠的分布(马勇等,1982;倪亦非和徐光青,2012)、生活习性(马勇等,1982)、繁殖特征(沙依拉吾和武什肯,2000;姜春雷等,2010;韩晓玲,2014)、年龄结构(赵登科,2003)和种群数量(倪亦非,1998;杨东生,2007;杜来,2023)等方面,但对其种群密度的季节性波动及繁殖的季节性特征却鲜有报道。本研究以乌苏市巴音沟牧场的黄兔尾鼠为对象,通过比较分析其不同季节间的种群密度和脏器相对质量,揭示其种群季节性变化的规律,以期为深入理解黄兔尾鼠种群生态学特性及其数量激增致灾的机制提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试样本:本研究分别于2021年6月(夏季)、2021年9月(秋季)、2022年1月(冬季)、2022年4月(春季)在新疆乌苏市巴音沟牧场(42°12' N, 85°2' E)采集野生黄兔尾鼠样本供试,该地区海拔约1 000 m,草原类型为温带荒漠草原,是重要的春秋草场,害鼠种类以黄兔尾鼠为优势种。

供试鼠夹和花生仁:长120 mm、宽65 mm的中号捕鼠夹,祥云家源鼠夹厂。花生仁购自乌苏市生鲜超市。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 黄兔尾鼠的捕获及其洞群参数调查

分别于2021年6月(夏季)和9月(秋季)在新疆乌苏市巴音沟牧场进行黄兔尾鼠洞口数的调查。根据植被类型、植被盖度和鼠类活动程度等特征共选取11个相似的面积约为0.25 hm<sup>2</sup>的圆形(半径为28.3 m)样方,每个样方相距1 km以上。夏季随机调查5个样方内黄兔尾鼠的总洞口数,秋季调查另外6个样方内黄兔尾鼠的总洞口数,并采用堵洞盗洞法调查24 h内样方中的有效洞口数。由于春季和冬季积雪未化,未进行洞口数的调查。计算总洞口密度(每公顷草地上的总洞口数)、有效洞口密度(每公顷草地上的有效洞口数)、有效洞口比率(样方内有效洞口数/样方内总洞口数×100%)和洞口系数(样方内的捕鼠数/样方内的洞口数)。同时于6月(夏季)、9月(秋季)分别随机选取其中的3个样方采用捕尽法调查样方内的鼠密度,即在有效洞口连续布夹2 d,每个洞口沿洞道方向布设中号鼠夹1~2个,以新鲜花生仁为诱饵,每2 h收集1次样方内夹捕的黄兔尾鼠,捕获的黄兔尾鼠取下后在原有洞口重新支好鼠夹,直至无新个体上夹。并于2022年1月(冬季)、4月(春季)在样方附近黄兔尾鼠活动洞口处布夹进行取样,鼠夹布设方式同上,调查当月布设1次,布夹3~5 h后收夹,取下捕获的黄兔尾鼠样本。

#### 1.2.2 黄兔尾鼠生理指标的测定

对1.2.1捕获的不同季节黄兔尾鼠样本进行解剖,记录个体的性别、体重、胴体重、各器官重(包括脾脏、肾上腺、睾丸、附睾、储精囊、卵巢、子宫),并计算各项反映黄兔尾鼠生理状态的指标。性比=雄性总鼠数/雌性总鼠数;胴重比=胴体重/体重;肥满度=体重/体长;器官相对质量=器官质量/体重×100;怀孕率=怀孕雌鼠数/雌鼠总数×100%;繁殖率=(怀孕

雌鼠数+子宫上带有子宫斑雌鼠数)/雌鼠总数×100%。体重和胴体重用十分之一精度的天平称量,生理器官质量用万分之一精度的分析天平称量。为避免年龄差异带来的影响,仅选取成年鼠的数据进行比较分析。

#### 1.2.3 黄兔尾鼠的年龄划分

黄兔尾鼠年龄划分标准参考胴体重指标进行(赵登科,2003)。夏秋季捕获的个体可划分为3组,一组主要为当年生未性成熟个体,胴体重<22 g;一组主要为当年生性成熟个体,胴体重介于22~40 g之间;一组主要为越冬个体,胴体重>40 g。黄兔尾鼠在秋冬季停止繁殖,虽然冬季和春季捕获个体的体重较轻,但根据毛色判断也均为越冬鼠。

### 1.3 数据分析

使用SPSS 19软件对试验数据进行统计分析。季节间黄兔尾鼠的洞群参数数据经正态分布检验均符合参数检验条件,采用独立样本 $t$ 检验法进行差异显著性检验;季节间黄兔尾鼠生理指标和脏器相对质量数据采用单因素方差分析,其中不同季节间的差异采用最小显著差数(least significant difference, LSD)法进行检验,相同季节不同性别间的差异采用独立样本 $t$ 检验法进行检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄兔尾鼠种群的基本参数

#### 2.1.1 洞群参数

黄兔尾鼠的洞群参数呈现明显的季节性差异。秋季的总洞口密度为3 167个/hm<sup>2</sup>,比夏季的总洞口密度高21.43%,但二者间无显著差异(表1)。夏季的有效洞口密度和有效洞口比率分别为1 211个/hm<sup>2</sup>和46.35%,分别是秋季有效洞口密度和有效洞口比率的1.67倍和2.00倍(表1)。夏季的总洞口系数和有效洞口系数也均高于秋季(表1)。

#### 2.1.2 性比

黄兔尾鼠种群的性比表现出了明显的季节差异。夏季和秋季捕鼠量较多,分别为274只(126雄/148雌)和181只(88雄/93雌),性比总体上偏雌性,分别为0.85和0.95,且在夏季偏向性更强。虽然冬季和春季捕鼠量较少,均为19只(雄鼠分别为13只和12只,雌鼠分别为6只和7只),但是性比一致表现为偏雄性,分别为2.17和1.71,且在冬季的偏向性更强。

#### 2.1.3 年龄结构

夏季黄兔尾鼠的胴体重差异最大,介于6.2~76.8 g之间,而在秋季则介于24.5~40.0 g之间(图1-

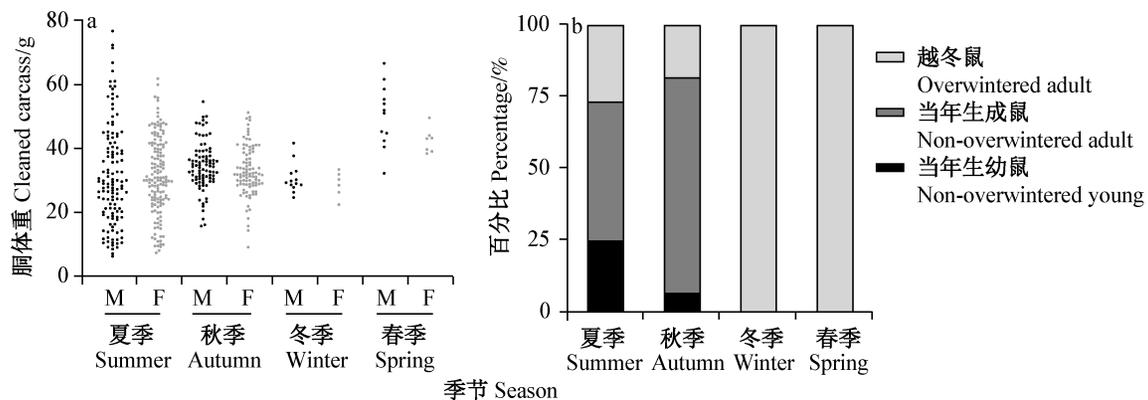
a)。夏季种群主要由越冬成鼠(26.74%)、当年生成鼠(48.35%)和当年生幼鼠(24.91%)组成;而在秋季种群当年生成鼠已成为绝对优势主体(75.14%),而越冬成鼠和当年生幼鼠的比例总和下降至不足25.00%;冬季和春季的黄兔尾鼠胴体重均大于22.4 g,毛色深黄,为越冬成鼠特征(图1-b)。

表1 夏季和秋季黄兔尾鼠的洞群参数

Table 1 Burrow parameters of yellow stepped vole in summer and autumn

参数 Parameter	夏季 Summer	秋季 Autumn	<i>t</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
总洞口密度/(个/hm <sup>2</sup> ) Total number of holes/(individuals/hm <sup>2</sup> )	2 608±767(1 804-3 816)	3 167±898(2 204-4 552)	-1.097	0.135	0.301
有效洞口密度/(个/hm <sup>2</sup> ) Number of active holes/(individuals/hm <sup>2</sup> )	1 211±396(740-1 556)	727±230(340-988)	2.538	4.998	0.032
有效洞口比率 Ratio of active hole/%	46.35±8.76(38.31-56.03)	23.13±5.77(15.18-30.20)	5.288	3.991	0.001
鼠密度/(只/hm <sup>2</sup> ) Density of voles/(individuals/hm <sup>2</sup> )	365	156			
总洞口系数 Coefficient of total holes	0.130	0.045			
有效洞口系数 Coefficient of active holes	0.292	0.224			

表中数据为平均数±标准差。括号中数字为数据变化范围。夏季样方的样本量为5;秋季样方的样本量为6。总/有效洞口系数在3个样方内进行,只有1个数值。Data are mean±SD. The variation ranges show in the bracket. The sample size of sample plots is five in summer and six in autumn. The coefficient of total or active holes is calculated using the data from three sample plots, there are only one value.



M: 雄鼠; F: 雌鼠。M: Male; F: female.

图1 不同季节黄兔尾鼠胴体重分布(a)和年龄组成(b)

Fig. 1 The distribution of carcass weight (a) and age composition (b) of yellow stepped vole in different seasons

## 2.2 黄兔尾鼠生理指标的比较

### 2.2.1 营养状态指标的比较

成年雌雄鼠的胴重比均存在显著的季节性变化(雄鼠: $F=14.648$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ ;雌鼠: $F=17.303$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ )。雄鼠胴重比在秋季最高,显著高于夏季和冬季;雌鼠胴重比也在秋季达最高,显著高于春季、夏季和冬季(图2-a)。性别间比较结果表明,雄鼠胴重比在春季和夏季均显著高于雌鼠(夏季: $F=5.533$ ,  $t=2.902$ ,  $df=203$ ,  $P=0.004$ ;春季: $F=4.034$ ,  $t=6.688$ ,  $df=17$ ,  $P<0.001$ ;图2-a)。

成年雌雄鼠的肥满度也存在显著的季节性变化(雄鼠: $F=10.366$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ ;雌鼠: $F=12.053$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ )。雌雄鼠的肥满度均在春季最高,显著高于夏季、秋季和冬季,但肥满度在雌雄鼠间无显著差异(图2-b)。

### 2.2.2 免疫与应激指标的比较

成年雌雄鼠的脾脏相对质量均存在显著的季节性变化(雄鼠: $F=8.203$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ ;雌鼠: $F=18.090$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ )。雌雄鼠的脾脏相对质量均在春季达到最高,显著高于夏季、秋季和冬季;而各季节雌雄鼠间的脾脏相对质量均无显著差异(图3-a)。

成年雌雄鼠的肾上腺相对质量也存在显著的季节性变化(雄鼠: $F=70.789$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ ;雌鼠: $F=5.200$ ,  $df=3$ ,  $P=0.002$ )。雌雄鼠的肾上腺相对质量均在春季最高,春季的雄鼠肾上腺相对质量显著高于夏季、秋季和冬季,而春季的雌鼠肾上腺相对质量显著高于夏季和秋季(图3-b)。性别间比较结果表明,雄鼠的肾上腺相对质量在春季显著高于雌鼠( $F=22.436$ ,  $t=5.892$ ,  $df=17$ ,  $P<0.001$ ;图3-b)。

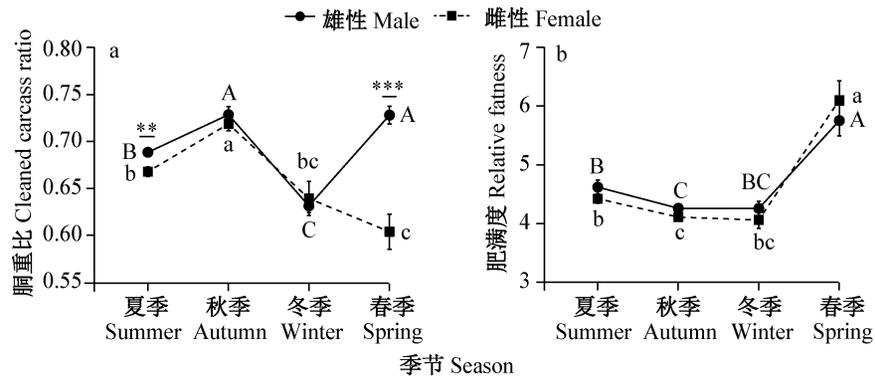


图2 不同季节雌雄黄兔尾鼠的胴重比(a)和肥满度(b)

Fig. 2 Carcass weight ratio (a) and fatness (b) of male and female yellow stepped vole in different seasons

图中数据为平均数±标准误。不同大、小写字母分别表示经LSD法检验不同季节的雄性黄兔尾鼠之间、雌性黄兔尾鼠之间差异显著( $P<0.05$ )。\*\*和\*\*\*表示同一季节不同性别间经独立样本 $t$ 检验法检验差异显著( $P<0.01$ 和 $P<0.001$ )。Data are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters indicate significant difference among the males or the females yellow stepped vole in different seasons by LSD test ( $P<0.05$ ), respectively. \*\* or \*\*\* indicates significant difference between male and female in the same season by independent-sample  $t$  test ( $P<0.01$  or  $P<0.001$ ).

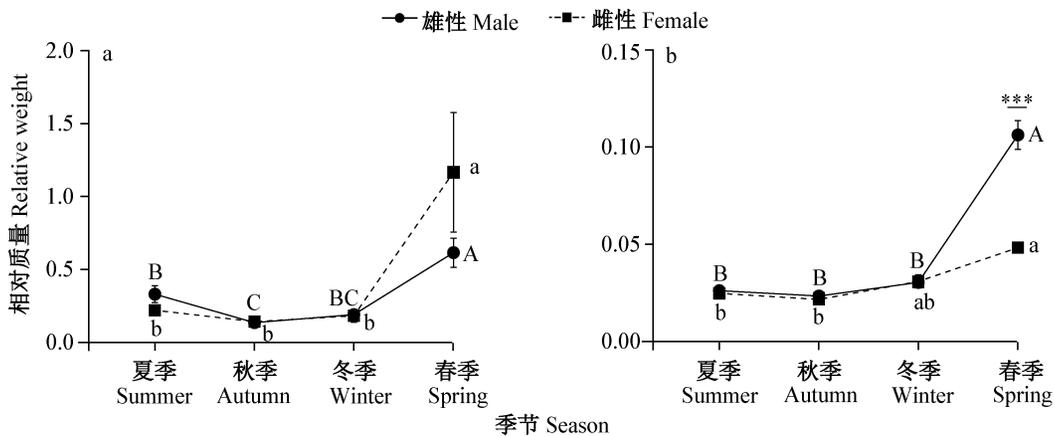


图3 不同季节雌雄黄兔尾鼠的脾脏(a)和肾上腺(b)相对质量

Fig. 3 Relative weight of spleen (a) and adrenal gland (b) in male and female yellow stepped vole in different seasons

图中数据为平均数±标准误。不同大、小写字母分别表示经LSD法检验不同季节的雄性黄兔尾鼠之间、雌性黄兔尾鼠之间差异显著( $P<0.05$ )。\*\*\*表示同一季节不同性别间经独立样本 $t$ 检验法检验差异显著( $P<0.001$ )。Data are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters indicate significant difference among the males or the females yellow stepped vole in different seasons by LSD test ( $P<0.05$ ), respectively. \*\*\* indicates significant difference between male and female in the same season by independent-sample  $t$  test ( $P<0.001$ ).

## 2.3 黄兔尾鼠繁殖参数的比较

### 2.3.1 雄性性腺器官

成年雄鼠的睾丸、附睾、储精囊相对质量存在显著的季节性变化(睾丸: $F=16.730$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ ;附睾: $F=12.887$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ ;储精囊: $F=75.829$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ )。雄鼠3种性腺器官相对质量均在春季最高,显著高于夏季、秋季和冬季,且3种性腺器官相对质量在夏季显著高于秋季和冬季,秋季和冬季间3种性腺器官相对质量均无显著差异(图4)。

### 2.3.2 雌性性腺器官

成年雌鼠的性腺器官(卵巢、子宫)相对质量存

在显著的季节性变化(卵巢: $F=49.582$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ ;子宫: $F=114.214$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ )。雌鼠的2种性腺器官相对质量均在春季最高,显著高于夏季、秋季和冬季(图5)。夏季雌鼠的2种性腺器官相对质量均显著高于秋季;而秋季和冬季雌鼠间的2种性腺器官相对质量均无显著差异(图5)。

### 2.4 黄兔尾鼠的怀孕率和繁殖率

黄兔尾鼠的怀孕率和繁殖率在春季最高,均为85.7%。春季捕获的7只雌性黄兔尾鼠中仅有1只未孕,且子宫上无子宫斑。夏季黄兔尾鼠的怀孕率大幅降低,仅为0.8%,在86只成年雌鼠中仅有1只怀孕;

秋冬季无孕鼠(图6)。黄兔尾鼠的繁殖率在夏季下 降为29.7%,在秋季为9.3%,在冬季为0(图6)。

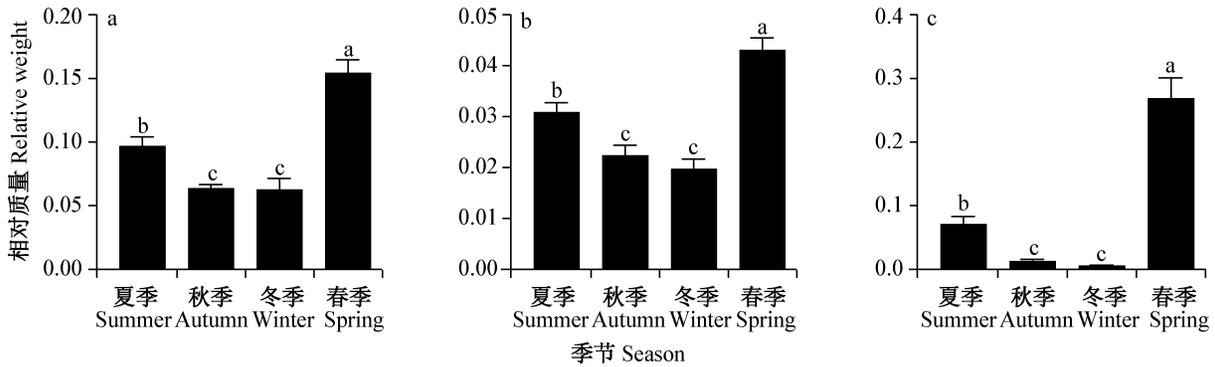


图4 不同季节雄性黄兔尾鼠的睾丸(a)、附睾(b)和储精囊(c)相对质量

Fig. 4 Relative weights of testes (a), epididymis (b) and seminal vesicle (c) of male yellow stepped vole in different seasons  
图中数据为平均数±标准误。柱上不同字母表示经LSD法检验不同季节间差异显著( $P<0.05$ )。Data are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference among different seasons by LSD test ( $P<0.05$ ).

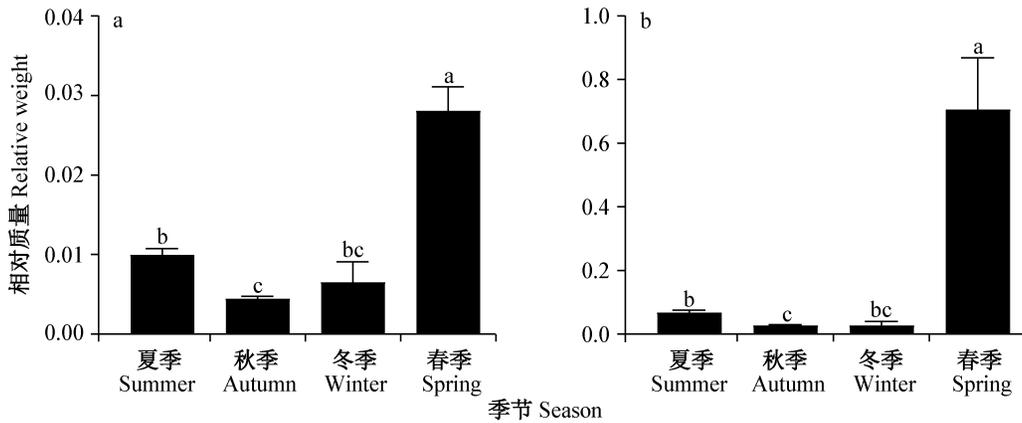


图5 不同季节雌性黄兔尾鼠的卵巢(a)和子宫(b)相对质量

Fig. 5 Relative weight of ovaries (a) and uterus (b) of female yellow stepped vole in different seasons  
图中数据为平均数±标准误。柱上不同字母表示经LSD法检验不同季节间差异显著( $P<0.05$ )。Data are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference among different seasons by LSD test ( $P<0.05$ ).

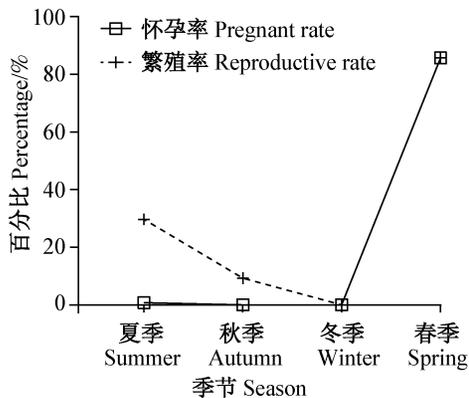


图6 不同季节黄兔尾鼠的怀孕率和繁殖率

Fig. 6 Pregnant and reproductive rates of yellow stepped vole in different seasons

### 3 讨论

本研究结果表明,黄兔尾鼠的总洞口密度在秋

季高于夏季,增加了21.43%,但在2个季节间无显著差异,而夏季的有效洞口密度和有效洞口比率均显著高于秋季,分别是秋季的1.67倍和2.00倍。这可能与黄兔尾鼠在该年秋季已过繁殖高峰期,正处于非繁殖状态有关。一般认为,黄兔尾鼠的繁殖活动始于春季(4月),并在秋季(8—10月)结束,期间黄兔尾鼠的种群数量会出现1~2个峰值(马勇等,1982;沙依拉吾和武什肯,2000)。本研究结果也表明,乌苏市黄兔尾鼠种群中当年生幼鼠的比例在夏季明显高于秋季,而冬季和春季则全部由越冬鼠组成,这进一步印证了黄兔尾鼠在春夏季达到繁殖高峰。黄兔尾鼠喜栖于砾石戈壁和黏土荒漠(马勇等,1987),由于该地理环境降水少且土质坚硬,洞穴可以长期留存。在经历过春夏季繁殖高峰后,秋季的总洞口数量在原有洞口的基础上随挖掘活动进一

步增加。此外,黄兔尾鼠种群具有较强的迁移特性(马勇等,1987;于心等,1994)。秋季黄兔尾鼠有效洞口密度和有效洞口比率下降也可能与该物种较强的迁移特性有关。马勇等(1982)观察到黄兔尾鼠的洞群数量从9月开始减少,其位置向食物条件更好的地段集中;陶双庆等(1985)也发现随着食物耗尽,黄兔尾鼠在7月出现大量外迁现象,而在冬末春初时随着积雪融化和植物生长而出现回迁现象。本研究中虽然未调查植被数据,但秋季有效洞口密度和有效洞口比率的下降可能也是由于黄兔尾鼠迁出导致的结果。另外,黄兔尾鼠的为害密度等级以洞口密度为依据,当洞口密度超过1 200个/hm<sup>2</sup>时被认定为严重为害等级(孙崇潞等,1986)。本研究发现虽然夏季和秋季的总洞口密度均已达到严重为害等级,但有效洞口密度在2个季节间存在显著差异,这可能是由于环境干燥,黄兔尾鼠洞口可以长期保存所致。因此,建议在黄兔尾鼠的监测与防治中应将有效洞口数和鼠密度结合调查,及时更新防治标准。

性比是种群中雄性与雌性的比例,可以反映种群的繁殖潜力。自然条件下,鼠类种群组成的性比一般接近1:1。性比的季节变化与种群繁殖、生长、死亡以及迁移等相关,同时也受环境因子的影响(周延山等,2015)。本研究发现黄兔尾鼠夏秋季性比偏雌而冬春季偏雄的现象可能反映了雌雄鼠在面对高密度时的社群压力和冬春季的越冬压力时,具有不同的抵抗能力。李金钢和王延正(1999)在对甘肃鼯鼠 *Myospalax cansus* 的研究中也观察到种群性比随季节波动的现象,这与繁殖季初生鼠中的性别比例构成以及特定环境中雌雄鼠生存率差异有关。因此,性比的季节性波动或许与物种长期进化适应过程有关。

睾丸和卵巢是两性动物生殖系统中的关键器官,其质量变化直接反映了动物的生殖活性(Bao et al., 2014; Wang et al., 2017)。在种群生态学中,雌性个体的繁殖能力是决定种群规模的重要因素之一,怀孕率是衡量繁殖季节的主要指标。尽管以往的研究并未对黄兔尾鼠的繁殖器官相对质量进行季节间的比较分析,但有对其怀孕率的报道,如黄兔尾鼠的繁殖高峰期集中在4—5月,此时怀孕率最低为20%,最高可达85%;在6月时怀孕率急剧下降,甚至归零;某些年份在7月可能会出现第2个怀孕率高峰(陶双庆等,1985;沙依拉吾和武什肯,2000)。本研究也进一步证实了性腺器官相对质量是评估黄兔尾鼠生育能力的有效指标。本研究结果显示,雌雄黄

兔尾鼠的性腺器官相对质量和怀孕率均在春季达到峰值,而到了夏季(6月),性腺器官相对质量显著下降,怀孕率也几乎为零。这表明春季是黄兔尾鼠繁殖最活跃的季节,其生殖能力在此期间达到顶峰。

春季黄兔尾鼠繁殖旺盛可能与植物返青、食物资源丰富有关。荒漠草原的植被在春季复苏和蓬勃生长主要得益于冬季融雪,春季为新疆融雪高峰期,确保了食物供应在该阶段的稳步增长;而夏秋季节草原的食物生产更多受降水的影响,这种依赖性存在一定程度的不确定性(张生军等,2009;李春娥等,2022)。肥满度和胴重比是衡量动物对生态环境适应程度的常用指标,食物资源比较丰富且生存状况良好时,肥满度就较高(夏武平和孙崇潞,1963;李晓晨等,1992)。啮齿动物在春季进入繁殖期时,身体状况处于最佳水平,有利于鼠的繁殖活动(郑元利和杨再学,2003)。本研究结果表明,黄兔尾鼠的肥满度随季节的变化趋势与其繁殖状态的季节波动完全一致,在春季最高而在冬季最低。这也与黑线姬鼠 *Apodemus agrarius* 的肥满度和繁殖率随季节变化的趋势一致(郑元利和杨再学,2003),反映了黄兔尾鼠繁殖高峰与植物返青在时间上的同步性,这作为一种适应性生存策略有助于后代的生长。但是,胴重比却表现出与繁殖节律不完全一致的特点和明显的性别差异,即雄鼠胴重比在春秋两季均最高,雌鼠胴重比仅在秋季最高,而在春季和夏季显著低于雄鼠。在秋季黄兔尾鼠有较好的营养状态可能是为越冬进行准备,这在布氏田鼠中也有相关报道(王大伟等,2010),而怀孕、哺乳等高耗能的繁殖行为则可能导致繁殖期雌鼠的营养状态显著降低。

另外,肾上腺相对质量也反映出黄兔尾鼠春季旺盛的繁殖行为。本研究结果表明,雌雄鼠的肾上腺相对质量在春季繁殖季最高,尤其在雄鼠中更明显,其质量是秋季的4.5倍左右。同时,肾上腺相对质量在春季繁殖季也存在显著的性别差异,雄鼠的肾上腺相对质量是雌鼠的2.2倍。王大伟等(2010)研究也发现繁殖季雌雄布氏田鼠的肾上腺相对质量显著高于秋季非繁殖季,但繁殖季雌鼠的肾上腺相对质量显著高于雄鼠。肾上腺相对质量反映出动物的社会胁迫程度,在春季鼠类的活动和种群密度开始增加,雄鼠间的打斗行为增加与雌鼠数量以及对雌鼠的竞争有关,而怀孕、哺乳等行为也会导致雌鼠肾上腺质量显著增加(Christian, 1962)。因此,肾上腺相对质量的变化趋势也说明了在春季黄兔尾鼠旺盛的繁殖行为导致个体的社会压力激增。脾脏是动

物体内重要的免疫器官,其大小指示着免疫功能的强弱。在本研究中脾脏相对质量在繁殖期(春季)更大,这不同于布氏田鼠,不支持冬季免疫增强假设(Nelson & Demas, 1996; 王大伟等, 2010),可能也是由于春季食物丰富导致个体免疫力提高和繁殖能力增强。

总之,黄兔尾鼠的种群生理存在明显的季节差异,充分说明了其繁殖行为的季节性特征。在春季,黄兔尾鼠有更好的营养水平和免疫力,但也面临更高的应激水平。这些发现深入揭示了黄兔尾鼠的生存策略以及对新疆荒漠草原环境的适应机制。通过深入研究黄兔尾鼠种群生态学,有助于进一步理解其对多变环境的适应机制,更准确地把握其种群动态规律,这对于制订更有效的管理措施以减少其对草原生态系统的不良影响至关重要。

### 参 考 文 献 (References)

- Bao L, Li Q, Liu Y, Li B, Sheng X, Han Y, Weng Q. 2014. Immunolocalization of NGF and its receptors in ovarian surface epithelium of the wild ground squirrel during the breeding and nonbreeding seasons. *European Journal of Histochemistry*, 58(2): 2363
- Chen Y, Wang DW, Li N, Hu XF, Ren F, Hao WL, Song Y, Liu XH. 2019. Kinship analysis reveals reproductive success skewed toward overwintered Brandt's voles in semi-natural enclosures. *Integrative Zoology*, 14(5): 435-445
- Christian JJ. 1962. Seasonal changes in the adrenal glands of woodchucks (*Marmota monax*). *Endocrinology*, 71(3): 431-447
- Du L. 2023. Occurrence pattern and control strategy of *Lagurus luteus* in Xishan Mountain, Barkun County, Xinjiang. *Xinjiang Animal Husbandry*, 39(2): 45-47 (in Chinese) [杜来. 2023. 新疆巴里坤县西山黄兔尾鼠发生规律及防治策略. *新疆畜牧业*, 39(2): 45-47]
- Gong JN. 2001. Grasshoppers and pest rat hazard in grassland of Xinjiang and their controlling strategy. *Journal of Catastrophology*, 16(2): 65-69 (in Chinese) [龚建宁. 2001. 新疆草原蝗、鼠灾害与控制策略. *灾害学*, 16(2): 65-69]
- Hall JM, Buckelew A, Lovern M, Secor SM, Warner DA. 2018. Seasonal shifts in reproduction depend on prey availability for an income breeder. *Physiological and Biochemical Zoology*, 91(6): 1129-1147
- Han XL. 2014. Study on occurrence of Aletai grassland rodent in Aletai Xinjiang. *Grass-Feeding Livestock*, (3): 49-51 (in Chinese) [韩晓玲. 2014. 新疆阿勒泰市草原黄兔尾鼠害研究初探. *草食家畜*, (3): 49-51]
- Hao WL, Wang DW, Ren F, Hu XF, Tian L, Li N, Liu XH. 2016. Fecal hormones imply different reproduction strategies of male Brandt's voles born in different seasons. *Acta Theriologica Sinica*, 36(4): 413-421 (in Chinese) [郝伟丽, 王大伟, 任飞, 胡祥发, 田林, 李宁, 刘晓辉. 2016. 粪便激素水平反映不同出生时期雌性布氏田鼠的繁殖策略. *兽类学报*, 36(4): 413-421]
- Jiang CL, Apaer, Wu JG, Zhang SX, Yang DS. 2010. Investigation on *Lagurus luteus* in Dongshan, Mulei County. *Xinjiang Animal Husbandry*, 25(4): 34 (in Chinese) [姜春雷, 阿帕尔, 吴建国, 张生祥, 杨东生. 2010. 木垒县东山黄兔尾鼠调查. *新疆畜牧业*, 25(4): 34]
- Jiménez R, Burgos M, Barrionuevo FJ. 2015. Circannual testis changes in seasonally breeding mammals. *Sexual Development*, 9(4): 205-215
- Li CE, Ma J, He Z. 2022. Change characteristic analysis of natural vegetation coverage in Yili River Valley. *Geospatial Information*, 20(2): 84-88 (in Chinese) [李春娥, 马静, 何芷. 2022. 伊犁河谷天然植被覆盖度的变化特征分析. *地理空间信息*, 20(2): 84-88]
- Li JG, Wang TZ. 1999. Sex ratio in wild population of Gansu zokor *Myospalax cansus*. *Zoological Research*, 20(6): 431-434 (in Chinese) [李金钢, 王廷正. 1999. 甘肃鼯鼠种群性比的研究. *动物学研究*, 20(6): 431-434]
- Li XC, Wang TZ, Liu JK. 1992. Studies on the relative fatness of greater long-tailed hamster. *Acta Theriologica Sinica*, 12(4): 275-279 (in Chinese) [李晓晨, 王廷正, 刘加坤. 1992. 大仓鼠肥满度的研究. *兽类学报*, 12(4): 275-279]
- Ma Y, Wang FG, Jin SK, Li SH. 1987. Classification and distribution of rodents in northern Xinjiang. Beijing: Science Press (in Chinese) [马勇, 王逢桂, 金善科, 李思华. 1987. 新疆北部地区啮齿动物的分类和分布. 北京: 科学出版社]
- Ma Y, Wang FG, Jin SK, Li SH, Sun CL, Hao SS. 1982. On distribution and ecology of yellow steppe lemming (*Lagurus luteus*) of Xinjiang. *Acta Theriologica Sinica*, 2(1): 81-88 (in Chinese) [马勇, 王逢桂, 金善科, 李思华, 孙崇潞, 郝守身. 1982. 新疆黄兔尾鼠的分布及其生态习性的初步观察. *兽类学报*, 2(1): 81-88]
- Mahan N, Jiao SP, Liang Y. 2009. Occurrence status and control measures of rodent pests in Xinjiang. *Forestry of Xinjiang*, (6): 38-39 (in Chinese) [努尔古丽·马汉, 焦淑萍, 梁瀛. 2009. 新疆鼠害发生现状及其防治对策. *新疆林业*, (6): 38-39]
- Nelson RJ, Demas GE. 1996. Seasonal changes in immune function. *The Quarterly Review of Biology*, 71(4): 511-548
- Ni YF. 1998. Several issues in the study of population dynamics prediction of *Lagurus luteus*. *Xinjiang Animal Husbandry*, (1): 10-12 (in Chinese) [倪亦非. 1998. 黄兔尾鼠种群动态预测研究中的几个问题. *新疆畜牧业*, (1): 10-12]
- Ni YF, Xu GQ. 2012. Distribution and ecological geographical characteristics of *Lagurus luteus* in Xinjiang. *Xinjiang Animal Husbandry*, (6): 59-63 (in Chinese) [倪亦非, 徐光青. 2012. 新疆黄兔尾鼠的分布区及其生态地理特征. *新疆畜牧业*, (6): 59-63]
- Qiqige. 2015. Harm and control of *Lagurus luteus* in grassland of Tarbagatay Prefecture, Xinjiang. *Animal Husbandry and Feed Science*, 36(8): 42-43 (in Chinese) [琪琪格. 2015. 新疆塔城地区草原黄兔尾鼠的危害及防治. *畜牧与饲料科学*, 36(8): 42-43]
- Ren F, Wang DW, Li N, Hao WL, Tian L, Du SY, Liu XH. 2016. The analysis on developmental patterns of reproduction system of Brandt's voles born in different seasons. *Plant Protection*, 42(2): 31-37 (in Chinese) [任飞, 王大伟, 李宁, 郝伟丽, 田林, 杜森云, 刘晓辉. 2016. 不同季节出生的布氏田鼠繁殖发育模式分析. *植物保护*, 42(2): 31-37]
- Shayilawu, Wushiken. 2000. Study on the reproductive characteristics

- of *Lagurus luteus*. Xinjiang Animal Husbandry, (4): 19–20 (in Chinese) [沙依拉吾, 武什肯. 2000. 黄兔尾鼠繁殖特征研究. 新疆畜牧业, (4): 19–20]
- Shi DZ, Gao LW, Ren C, Wan XR. 2004. Forecast population of Brandt's vole by using matrix model. Journal of Plant Protection, 31(3): 305–310 (in Chinese) [施大钊, 高灵旺, 任程, 宛新荣. 2004. 应用Leslie矩阵对布氏田鼠种群数量的模拟分析. 植物保护学报, 31(3): 305–310]
- Sun CL, Hao SS, Fan FL, Qiao Z, Zhao Y. 1986. Economic threshold in the yellow steppe lemming (*Lagurus luteus*) control. Acta Zoologica Sinica, 32(1): 86–91 (in Chinese) [孙崇澍, 郝守身, 范福来, 乔璋, 赵勇. 1986. 黄兔尾鼠防治中经济阈值的探讨. 动物学报, 32(1): 86–91]
- Tao SQ, Hou LX, Zhao XC, Qiao Z. 1985. Some observations on the ecology of yellow stepped vole. Arid Zone Research, 2(3): 42–45 (in Chinese) [陶双庆, 侯兰新, 赵新春, 乔璋. 1985. 对黄兔尾鼠生态的一些观察. 干旱区研究, 2(3): 42–45]
- Wang CX. 2008. A sensation caused by *Microtus fortis* in the summer of 2007. Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments, 14(6): 431–433 (in Chinese) [汪诚信. 2008. 2007年夏季引起震动的东方田鼠. 中华卫生杀虫药械, 14(6): 431–433]
- Wang DW, Cong L, Wang Y, Liu XH. 2010. Population parameters and physiological characteristics of Brandt's vole (*Lasiopodomys brandtii*) in breeding and non-breeding seasons. Acta Ecologica Sinica, 30(13): 3562–3568 (in Chinese) [王大伟, 丛林, 王宇, 刘晓辉. 2010. 繁殖季节和非繁殖季节布氏田鼠种群参数和生理特点的差异. 生态学报, 30(13): 3562–3568]
- Wang DW, Li N, Tian L, Ren F, Li ZG, Chen Y, Liu L, Hu XF, Zhang XC, Song Y, et al. 2019. Dynamic expressions of hypothalamic genes regulate seasonal breeding in a natural rodent population. Molecular Ecology, 28(15): 3508–3522
- Wang JJ, Wang Y, Zhu MY, Zhang FW, Sheng X, Zhang HL, Han YY, Yuan ZR, Weng Q. 2017. Seasonal expression of luteinizing hormone receptor and follicle stimulating hormone receptor in testes of the wild ground squirrels (*Citellus dauricus* Brandt). Acta Histochemica, 119(7): 727–732
- Wang SB, Yang GY. 1983. Xinjiang rodent fauna. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, pp. 185–188 (in Chinese) [王思博, 杨赣源. 1983. 新疆啮齿动物志. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, pp. 185–188]
- Wang Y, Liu XH, Wang D, Liu SY. 2023. The current status and trend of rodent biology and management in China. Plant Protection, 49(5): 325–334, 339 (in Chinese) [王勇, 刘晓辉, 王登, 刘少英. 2023. 我国鼠害学科发展现状与展望. 植物保护, 49(5): 325–334, 339]
- Wei FW, Yang QS, Wu Y, Jiang XL, Liu SY, Li BG, Yang G, Li M, Zhou J, Li S, et al. 2021. Catalogue of mammals in China: 2021. Acta Theriologica Sinica, 41(5): 487–501 (in Chinese) [魏辅文, 杨奇森, 吴毅, 蒋学龙, 刘少英, 李保国, 杨光, 李明, 周江, 李松, 等. 2021. 中国兽类名录: 2021版. 兽类学报, 41(5): 487–501]
- Wu JG. 2018. Analysis of the occurrence trend and control strategies of grassland rodent and insect pests in Xinjiang in 2018. Xinjiang Animal Husbandry, 33(5): 42–45 (in Chinese) [吴建国. 2018. 2018年新疆草原鼠虫害发生趋势分析及防治对策. 新疆畜牧业, 33(5): 42–45]
- Xia WP, Sun CL. 1963. On the relative fatness of the red-backed vole, *Clethrionomys rutilus* Pallas. Acta Zoologica Sinica, 15(1): 33–43 (in Chinese) [夏武平, 孙崇澍. 1963. 红背鼯肥满度的研究. 动物学报, 15(1): 33–43]
- Yang DS. 2007. Forecasting of the changing trends the population of *Lagurus luteus* with the experience. Grass-Feeding Livestock, (2): 15–17 (in Chinese) [杨东生. 2007. 用经验预测黄兔尾鼠种群数量的发生趋势. 草食家畜, (2): 15–17]
- Yang DS, Zhao XC, Xiong L, Xu GQ, Han XL. 2004. Dynamic monitoring of grassland rodent pests in Xinjiang. Xinjiang Animal Husbandry, (6): 58–60 (in Chinese) [杨东生, 赵新春, 熊琳, 徐光青, 韩晓玲. 2004. 新疆草原鼠害的动态监测. 新疆畜牧业, (6): 58–60]
- Yang JP, Huangfu S. 2000. Investigation of distribution of *Lagurus luteus* and the epidemics of plague in animals in Wulatezhong Banner. Inner Mongolia Science Technology and Economy, (5): 69 (in Chinese) [杨俊平, 皇甫盛. 2000. 乌拉特中旗黄兔尾鼠分布及鼠疫动物流行病学调查. 内蒙古科技与经济, (5): 69]
- Yu X, Zhao F, Ye RY. 1994. Distribution and natural death phenomenon of *Lagurus luteus* in Xinjiang. Endemic Diseases Bulletin, 9(1): 74–76 (in Chinese) [于心, 赵飞, 叶瑞玉. 1994. 黄兔尾鼠在分布及多次大批自毙现象. 地方病通报, 9(1): 74–76]
- Yue FZ, Li RC, Wang ZP, Xu ZT, Chai SQ. 2020. Investigation and analysis of grassland biological disaster prevention and control in China in 2019. Forest Pest and Disease, 39(4): 45–48 (in Chinese) [岳方正, 李荣才, 王志鹏, 徐震霆, 柴守权. 2020. 2019年我国草原生物灾害防治工作调查与分析. 中国森林病虫, 39(4): 45–48]
- Zhang SJ, Wang TM, Li ZW, Mou P, Kou XJ, Ge JP. 2009. Dynamic correlation analysis of remote-sensing green index of vegetation and hydrothermal conditions in Xinjiang 1982–2003. Journal of Ecology and Rural Environment, 25(2): 16–19 (in Chinese) [张生军, 王天明, 李钟汶, 牟溥, 寇晓军, 葛剑平. 2009. 新疆植被遥感绿色指数与水、热关系的动态相关分析. 生态与农村环境学报, 25(2): 16–19]
- Zhao DK. 2003. A preliminary study on the age structure and occurrence patterns of the population of *Lagurus luteus*. Grassland and Turf, 23(3): 53–54 (in Chinese) [赵登科. 2003. 黄兔尾鼠种群年龄结构与发生规律初探. 草原与草坪, 23(3): 53–54]
- Zheng YL, Yang ZX. 2003. Relative fatness seasonal change of *Apodemus agrarius*. Guizhou Agricultural Sciences, 31(2): 12–15 (in Chinese) [郑元利, 杨再学. 2003. 黑线姬鼠肥满度的季节变化研究. 贵州农业科学, 31(2): 12–15]
- Zhou YS, Hua LM, Ji WH, Chu B, Liu L. 2015. A review about reproductive characteristics of zokors. Pratacultural Science, 32(6): 1010–1016 (in Chinese) [周延山, 花立民, 纪维红, 楚彬, 刘丽. 2015. 鼯鼠亚科繁殖特性研究进展. 草业科学, 32(6): 1010–1016]

(责任编辑:李美娟)