

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7083.2014.06.011

高寒草甸 3 种啮齿类动物消化道器官形态的比较研究

张守栋^{1,3}, 杨传华², 林恭华¹, 张同作^{1*}, 苏建平^{1*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008; 2. 浙江省湖州市现代农业技术学校, 浙江湖州 313023;
3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 不同动物面对相同或相似的环境压力, 采取不同的适应对策, 消化器官形态差异能体现各自适应的方式。为进一步了解草食哺乳动物对各自生存环境的适应对策, 本文比较了青藏高原高寒草甸 3 种小型草食哺乳动物的消化道长度及消化道器官指数。结果显示: 根田鼠的胃指数高于高原鼫鼠和高原鼠兔, 小肠、大肠及盲肠指数均是高原鼠兔 > 高原鼫鼠 > 根田鼠, 消化道各部位相对长度均是根田鼠 > 高原鼠兔 > 高原鼫鼠。根田鼠大肠及盲肠长度占消化道总长的比例高于高原鼠兔和高原鼫鼠; 小肠占消化道总长的比例最低。结果表明, 动物消化道形态的差异可能与食物组成、能量和代谢需求等因素有关。面对不同的环境压力, 消化道这种适应性差异是不同物种为适应多变的环境条件进化的结果。

关键词: 高寒草甸; 草食哺乳动物; 器官指数; 消化道; 差异; 进化适应

中图分类号: Q959.8 文献标志码: A 文章编号: 1000-7083(2014)06-0868-06

Comparative Studies on the Alimentary Tract of Three Herbivorous Rodents in Alpine Meadow

ZHANG Shoudong^{1,3}, YANG Chuanhua², LIN Gonghua¹, ZHANG Tongzuo^{1*}, SU Jianping^{1*}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;
2. Modern Agricultural Technical School of Huzhou, Huzhou, Zhejiang Province 313023, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Different animals use different adapting strategies of various alimentary tracts to deal with the same or similar environmental stress. In order to understand these strategies, we compared the alimentary tracts' lengths and the digestive organ indices of three herbivorous mammals in alpine meadow, including plateau pika (*Ochotona curzoniae*), plateau zokor (*Myospalax baileyi*) and root voles (*Microtus oeconomus*). The results showed that the root voles had the highest stomach index; while the small intestine index, large intestine index and cecum index of plateau pika were the highest, and those of root voles were the lowest; and the relative lengths of the alimentary tract of root voles were the longest, and those of plateau zokor were the shortest. However, the proportion of large intestine and cecum lengths to the total digestive tract length of root voles were the highest; while the small intestine's was the lowest. It suggested that different animal's alimentary tract may be related to food, energy needs, and metabolic demands and so on. Therefore, various alimentary tracts were the evolutionary adaptations of different species to confronting the environment.

Key words: alpine meadow; herbivorous mammals; organ index; alimentary tract; discrepancy; evolutionary adaptation

消化道器官是动物生理功能的物质基础, 其重量及脏器系数往往是一定环境条件下生理指标的反映, 与动物的生长发育、繁殖、季节及栖息环境变化有关, 有关小型啮齿动物消化道器官的研究, 国内外已有一些报道 (Pucek, 1965; Schieck & Millar, 1985; 杜卫国等, 1999; 张美文等, 2006; 杨传华等, 2012)。消化道形态的变化受食物质量和动物能量需求的影响, 国内外

不少学者探讨了野外条件下鼠类脏器指数和消化道形态的季节变化及其生态适应意义 (Pucek, 1965; Schieck & Millar, 1985; 王德华, 孙儒泳, 1995)。

食物对于决定动物的进化、生活史对策及生态角色是至关重要的 (Kronfeld & Dayan, 1998)。消化道作为食物消化吸收的场所, 其形态结构与食性、食物质量及能量需求等密切相关, 同时可影响食物的

收稿日期: 2014-06-09 接受日期: 2014-08-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31370405, 31372197); 青海省科技支撑计划项目 (2014-NS-413)

作者简介: 张守栋 (1989~), 男, 汉族, 硕士研究生, 研究方向: 进化生态学, E-mail: zhangshoudong666@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhangtz@nwipb.cas.cn; jpsu@nwipb.cas.cn

吸收效率(Gross *et al.* ,1985; McWilliams & Karasov , 2001) 。对于不同种类而言 ,食物的不同会导致消化道形态存在明显差异。Schieck 和 Millar(1985) 比较了 35 种哺乳动物的消化道与食性的关系 ,发现不同动物类群消化道长度的关系是: 草食性动物 > 杂食性动物 > 肉食性动物。Perrin 和 Curtis(1980) 比较了南非 19 种啮齿动物消化系统形态与食性的关系 ,认为食性是导致种间消化道形态差异的主要原因之一。李俊生等(2003) 比较了 7 种荒漠啮齿动物食物组成与消化道长度 ,发现同域共存物种消化道形态结构的差异是对食物资源利用种间权衡的功能反应。杜卫国等(2001) 比较 7 种啮齿动物的消化道 ,发现消化道差异与食性差异有关。对于同一种动物而言 ,食物质量的差异也会导致消化道形态的可塑性变化。Gross 等(1985) 在实验室内对 *Microtus ochrogaster* 的实验证实: 当低温和高纤维食物共同作用时 ,其总消化道的长度和干重增加。在人工饲喂条件下 ,饲喂高纤维食物的长爪沙鼠 *Meriones unguiculatus* 小肠的长度高于低纤维食物组 ,但重量无差异 ,消化道全长和总消化道的重量都高于低纤维食物组(Liu & Wang 2007) 。在寒冷地区或严寒季节 ,动物面临能量需求增加(体温调节价增大) 和食物可利用性或食物质量下降(植物中纤维素含量增加) 的双重压力(王德华 ,孙儒泳 ,1995) 。为了满足其代谢需要 ,动物必须增加摄食量或提高消化效率; 但摄食量增加 ,食物的周转时间可能缩短 ,导致消化能力下降 ,因而消化道的形态改变可能是一种适应调节方式(Gross *et al.* ,1985; 王德华 ,孙儒泳 ,1995) 。

青藏高原地区气候为典型的大陆性高寒气候 ,其特点为冬季寒冷且漫长。高原鼢鼠 *Myospalax baileyi*、高原鼠兔 *Ochotona curzoniae* 和根田鼠 *Microtus oeconomus* 是青藏高原优势植食性小型哺乳动物(崔庆虎等 2005; 王晓君等 2008) ,也是高寒草甸生境中最主要的鼠种 ,且常见到生境重叠的现象(王祖望等 ,1979; 王玉山等 2001) 。高原鼢鼠属啮齿目 Rodentia 鼢形鼠科 Spalacidae 凸颅鼢鼠属 *Eospalax* (Norris *et al.* ,2004; Zhou & Zhou 2008) ,高原鼠兔属兔形目 Lagomorpha 鼠兔科 Ochotonidae 鼠兔属 *Ochotona* (冯祥建 ,郑昌琳 ,1985) 根田鼠属啮齿目 Rodentia 仓鼠科 Cricetidae 田鼠属 *Microtus* (李艳萍 ,2007) 。3 种小型哺乳动物所摄取的食物种类差异很大。高原鼢鼠取食单子叶和双子叶植物的量分别为 1.88% 和 98.12% (王权业等 2000) ,主要取食地

下块根块茎。高原鼠兔取食单子叶和双子叶植物的量分别为 <20% 和 >80% (蒋志刚 ,夏武平 ,1985; 刘伟等 2008) ,主要取食地上部分。根田鼠取食单子叶和双子叶植物的量分别为 55.65% 和 44.35% (刘季科 ,王祖望 ,1991) ,主要取食地上部分。高原鼢鼠是终生生活在完全封闭的地下通道中的地下鼠 ,洞道生境中氧含量显著低于同地区大气氧含量 ,同时 CO₂ 含量很高; 而高原鼠兔与根田鼠生活在地面和开放洞道 ,生境中的氧含量相对较高 ,CO₂ 含量很低。而繁殖期鼠类能量需求会增加 ,繁殖期雌鼠的能量需要明显高于非繁殖雌鼠(Millar ,1977) ,为排除繁殖状态的影响 ,本研究所选用的动物均为雄性。

目前 ,国内外做了大量有关野外啮齿类动物消化道器官重量的工作。而有关青藏高原高寒地区这 3 种小型哺乳动物消化道器官的季节变化均有研究: 根田鼠的消化道季节变化显著(王德华 ,孙儒泳 ,1995) ; 高原鼢鼠的消化道无季节变化(王德华 ,王祖望 2000) ; 高原鼠兔消化道形态季节变化表现为总消化道长度相对稳定 ,组织鲜重和干重季节变化明显 ,胃变化相对稳定 ,小肠变化最为剧烈(王德华 ,王祖望 2001) 。因此排除了高原鼢鼠与高原鼠兔和根田鼠采样时间的差异。但对高寒草甸 3 种小型草食哺乳动物内脏器官及消化道形态的比较研究未见报道。本文通过对青藏高原高寒草甸 3 种小型草食哺乳动物消化道形态的比较研究 ,旨在阐述: 1) 3 种小型食草动物消化道形态的种间差异; 2) 试图解释 3 种小型食草动物消化道形态对食物的适应。

1 材料与方法

1.1 试验动物及自然概况

本试验为消除雌性小型哺乳动物繁殖投入对消化道器官的影响 ,所选试验动物均为雄性。研究组 2012 年 5 月于青海省大通县东峡镇(海拔: 2994 m ,地理位置: 37°03'N ,101°47'E ,年均气温: 2.1℃) 捕获 10 只雄性高原鼢鼠; 2012 年 7 月于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(平均海拔 3200 m ,地理位置: 37°29'~37°45'N ,101°12'~101°23'E) 捕获 13 只成年雄性高原鼠兔 ,10 只雄性根田鼠。采集方法: 高原鼢鼠为地箭死捕法 ,高原鼠兔为绳套法 ,根田鼠为 U 形铁丝笼法。两地生境类型均为高寒草甸生态系统 ,土壤较湿润。由于受东南季风和西伯利亚高压的影响 ,该地区呈典型的大陆高寒气候 ,无明显四季之分 ,仅有冷暖二季。

1.2 器官组织的解剖

捕获动物用电子天平称量其体重(精确到 0.01 g) 经冷冻处理带回实验室。试验在中国科学院西北高原生物研究所高原生物适应与进化重点实验室进行。试验方法参考杨传华等(2012)。解剖时由腹部向上纵向剪开,取出消化道各器官,分离出胃、小肠、大肠和盲肠,将肠道各器官剔除肠系膜,在有生理盐水的解剖盘上平展为最大长度,但不拉伸,用卷尺测量各部分长度(精确到 0.1 cm),最后将消化道各段用解剖剪纵向剪开,用生理盐水将内容物冲洗干净,在滤纸上吸干,置于电子天平上称重(精确到 0.01 g),即为肠道各部分和胃的鲜重。

1.3 数据统计分析

器官指数的计算公式见杜卫国等(1997)。即:器官指数 = 该脏器鲜重/体重 × 100%。消化道相对长度 = 消化道各部位长度/体重。本文用器官指数和消化道相对长度,是为了简化数据便于计算与比较。利用 SPSS 19.0 进行数据处理。分析前,所有数据均用 Kolmogorov-Smirnov 检验其正态性,方差齐性用 Levene 检验,对非正态分布的数据经数据转换使之标准化。用单因素方差分析(One-way ANOVA)及 LSD 和 Tamhane's T2 多重比较检验各相关变量。文内数据以平均值 ± 标准差(Mean ± SD)表示, P < 0.05 即认为差异显著。

表 1 高寒草甸 3 种小型哺乳动物体重及各消化道器官比值(%) (Mean ± SD)
Table 1 Weight and organ ratios of three small mammals in alpine meadow

项目 Items	高原鼯鼠(n = 10) <i>Myospalax baileyi</i>	高原鼠兔(n = 13) <i>Ochotona curzoniae</i>	根田鼠(n = 10) <i>Microtus oeconomus</i>	显著性 Significant
体重 Weight (g)	282.520 ± 32.909 ^a	144.019 ± 11.814 ^b	19.309 ± 2.246 ^c	**
胃 Stomach	0.796 ± 0.115 ^b	0.810 ± 0.115 ^b	1.066 ± 0.196 ^a	**
小肠 Small intestine	0.990 ± 0.194 ^b	1.477 ± 0.453 ^a	0.730 ± 0.222 ^b	**
大肠 Large intestine	0.717 ± 0.208 ^b	1.369 ± 0.222 ^a	0.601 ± 0.174 ^b	**
盲肠 Caecum	0.951 ± 0.122 ^b	1.150 ± 0.239 ^a	0.712 ± 0.256 ^c	**

注: 每行平均数有相同字母者无显著性差异(t 检验 P > 0.05), ** P < 0.01; 下表同

Note: the same superscript letter of every row represents no significant difference (t-test, P > 0.05), ** P < 0.01; the same below

表 2 高寒草甸 3 种小型哺乳动物绝对消化道长度及相对消化道长度
Table 2 The gut length and relative gut length of three small mammals in alpine meadow

项目 Items	高原鼯鼠(n = 10) <i>Myospalax baileyi</i>	高原鼠兔(n = 13) <i>Ochotona curzoniae</i>	根田鼠(n = 10) <i>Microtus oeconomus</i>	显著性 Significant
体长 Body length (cm)	18.690 ± 0.954 ^a	16.923 ± 0.430 ^b	9.040 ± 0.378 ^c	**
小肠长 Small intestine length (cm)	120.390 ± 8.271 ^b	145.077 ± 10.973 ^a	27.990 ± 2.595 ^c	**
大肠长 Large intestine length (cm)	61.820 ± 8.949 ^a	52.231 ± 5.732 ^b	20.110 ± 3.131 ^c	**
盲肠长 Caecum length (cm)	20.810 ± 2.161 ^b	27.769 ± 3.244 ^a	14.000 ± 2.234 ^c	**
总长 Total length (cm)	203.020 ± 11.942 ^b	225.077 ± 16.404 ^a	62.100 ± 5.574 ^c	**
相对小肠长 Relative small intestine length	0.430 ± 0.045 ^c	1.012 ± 0.095 ^b	1.466 ± 0.211 ^a	**
相对大肠长 Relative large intestine length	0.221 ± 0.039 ^c	0.363 ± 0.034 ^b	1.046 ± 0.148 ^a	**
相对盲肠长 Relative caecum length	0.075 ± 0.012 ^c	0.193 ± 0.022 ^b	0.727 ± 0.096 ^a	**
总长/体重 Total length/Body weight	0.726 ± 0.080 ^c	1.569 ± 0.128 ^b	3.240 ± 0.329 ^a	**
小肠长/总长 Small intestine length/ Total length (%)	59.326 ± 2.816 ^b	64.479 ± 2.256 ^a	45.171 ± 3.284 ^c	**
大肠长/总长 Large intestine length/ Total length (%)	30.380 ± 3.516 ^a	23.192 ± 1.698 ^b	32.279 ± 3.134 ^a	**
盲肠长/总长 Caecum length/ Total length (%)	10.294 ± 1.317 ^c	12.329 ± 1.005 ^b	22.549 ± 3.116 ^a	**

2 结果

2.1 消化道器官比值的差异

青藏高原高寒草甸中 3 种小型草食哺乳动物的体重及各消化道器官比值在表 1 中列出。单因素方差分析显示, 3 种动物的体重及消化道器官比值存在极显著差异(P < 0.01)。各动物间器官指数的差异不尽相同。通过 LSD 和 Tamhane's T2 多重比较显

示, 根田鼠的胃指数大于高原鼯鼠与高原鼠兔, 且差异极显著(P < 0.01); 高原鼠兔的小肠及大肠指数大于高原鼯鼠与根田鼠, 且差异极显著(P < 0.01); 盲肠指数的差异为高原鼠兔 > 高原鼯鼠 > 根田鼠, 且差异极显著(P < 0.01)。

2.2 消化道长度差异

单因素方差分析显示, 3 种动物总消化道及各消化道器官的长度存在显著性差异。由于 3 种动物

的体重、体长也存在极显著性差异 ($P < 0.01$) ,为消除体重、体长差异对实验结果的影响,以消化道相对长度为指标作单因素方差分析。消化道相对长度是消化道各部位长度/体重;另外以消化道各部位长度/消化道总长 $\times 100\%$ 来说明各部位在该动物中的重要性,即消化道各部位长度所占消化道总长的比例(表 2)。

青藏高原 3 种动物的消化道及消化道各部位间存在极显著差异 ($P < 0.01$)。对于消化道总长,高原鼠兔 $>$ 高原鼯鼠 $>$ 根田鼠,且差异极显著 ($P < 0.01$);对于小肠及盲肠长度,高原鼠兔 $>$ 高原鼯鼠 $>$ 根田鼠,且差异极显著 ($P < 0.01$);对于大肠长度,高原鼯鼠 $>$ 高原鼠兔 $>$ 根田鼠,且差异极显著 ($P < 0.01$)。

3 种动物消化道各部位相对长度均是根田鼠 $>$ 高原鼠兔 $>$ 高原鼯鼠,且差异极显著 ($P < 0.01$)。各部位长度/消化道总长也存在极显著差异 ($P < 0.01$)。对于小肠长度/消化道总长,高原鼠兔 $>$ 高原鼯鼠 $>$ 根田鼠,且差异极显著 ($P < 0.01$);对于大肠长度/消化道总长,高原鼯鼠与根田鼠大于高原鼠兔;对于盲肠长度/消化道总长,根田鼠 $>$ 高原鼠兔 $>$ 高原鼯鼠,且差异极显著 ($P < 0.01$)。

3 讨论

消化道形态结构与能量需求密切相关 (Derting & Bogue, 1993)。消化道的形态学可指示野外小型草食哺乳动物所面临的能量压力大小 (Wunder, 1992)。消化道长度及消化器官发生形态结构上的适应性反应受食性及食物质量的影响 (刘璐等, 2010)。相同或不同栖息环境以及不同食性和食物质量条件下,不同物种间消化道各器官的适应性变化等可能有区别 (Hume *et al.*, 2002)。比较已报道的消化道形态差异的研究,我们发现物种间的差异非常显著。例如:社鼠 *Niviventer niviventer* 和褐家鼠 *Rattus norvegicus* 消化道长度和重量存在显著的季节变化 (杜卫国, 鲍毅新, 2000);比较南非热带稀树草原 15 种啮齿动物消化道长度与食性的关系时发现,食性不同,消化道差异显著 (Korn, 1992);对南非 19 种啮齿动物消化系统形态与食性的关系的研究,结果表明食性是导致种间消化道形态差异的主要原因之一 (Perrin & Curtis, 1980);对 7 种啮齿动物的消化道的比较研究,发现消化道差异与食性差异有关 (杜卫国等, 2001)。

本研究发现,青藏高原高寒草甸 3 种小型草食哺乳动物食性差异明显,且消化道形态差异显著,不同消化道器官差异不尽相同(表 1, 表 2)。在器官指数中,根田鼠的胃指数大于高原鼯鼠与高原鼠兔,高原鼠兔的小肠及大肠指数大于高原鼯鼠与根田鼠,盲肠指数的差异为高原鼠兔 $>$ 高原鼯鼠 $>$ 根田鼠;消化道各部位相对长度均是根田鼠 $>$ 高原鼠兔 $>$ 高原鼯鼠。李俊生等 (2003) 对 7 种荒漠啮齿动物食物组成与消化道长度的比较研究,发现同域共存物种消化道形态结构的差异是对食物资源利用种间权衡的功能反应。即使是同一物种,其消化道长度也随食物质量的差异而发生明显的季节性变化 (王德华, 孙儒泳, 1995; 杜卫国, 鲍毅新, 2000; 王德华, 王祖望, 2000, 2001)。

胃是动物暂时贮藏食物和对食物进行初步消化吸收的场所,其大小一般与动物体重、食物质量、温度和繁殖状态等条件相关 (Perrin & Curtis, 1980)。较大的胃意味着能一次摄入较多食物 (刘璐等, 2010)。野生种类相对较大的胃,具有重要的生态学意义,它既可提高觅食效率和获得足够食物,又可减少暴露时间,从而降低被捕食的风险 (杜卫国等, 2001)。根田鼠的最大代谢率高于高原鼠兔的最大代谢率 (王玉山等, 2001),高原鼯鼠的代谢率明显低于高原鼠兔 (王祖望等, 1979)。本研究发现,根田鼠的胃指数大于高原鼯鼠和高原鼠兔。根田鼠取食的食物中单子叶植物占多数,食物质量较低,且个体代谢率较高,所处环境为地上环境,被捕食风险大。因此,根田鼠相对较大的胃可以满足能量需求,提高觅食效率,降低被捕食风险。

小肠是主要营养成分消化和吸收的场所 (杜卫国等, 2001)。小肠的变化反映了动物的能量需要,因此小肠的长度受动物能量需求的影响较大 (王德华, 王祖望, 2001)。小肠具有很大的表型可塑性 (phenotypic plasticity) (刘璐等, 2010)。饲喂高纤维食物的长爪沙鼠小肠的长度高于低纤维食物组,但重量无差异,消化道全长和总消化道的重量都高于低纤维食物组 (Liu & Wang, 2007)。高原鼯鼠取食单子叶和双子叶植物的量分别为 1.88% 和 98.12% (王权业等, 2000)。高原鼠兔取食单子叶和双子叶植物的量分别 $< 20\%$ 和 $> 80\%$ (蒋志刚, 夏武平, 1985; 刘伟等, 2008)。根田鼠取食单子叶和双子叶植物的量分别为 55.65% 和 44.35% (刘季科, 王祖望, 1991)。高原鼠兔取食的单子叶植物虽然相对较

少,但取食部位主要是地上部分,纤维素含量较高,因此小肠长度较长。根田鼠取食的食物中纤维素含量最高,需要延长消化道长度对营养成分充分吸收,因此小肠长度最长。由于根田鼠食物中纤维素含量高,纤维素主要经后肠消化,因此高原鼠兔的小肠指数最高,根田鼠小肠占消化道的比例最小。

盲肠和大肠是后肠发酵动物的主要发酵场所 (Van Soest & Peter, 1994),对食物中纤维素含量较敏感(王德华,孙儒泳,1995)。纤维素经盲肠分解后的营养物质主要由大肠吸收 (Schieck & Millar, 1985)。盲肠和大肠的容量增大,将延长消化物在消化道内的滞留时间,从而提高对细胞壁的消化效率(王德华,王祖望,2000)。根田鼠食物中单子叶植物占比例最大,纤维素含量最高。高原鼠兔食物中单子叶植物比例虽低,但取食部位主要是地上部分,因此纤维素含量较高。高原鼠兔主要取食杂草类的地下部分,营养较高,纤维素含量较低。因此,根田鼠的大肠及盲肠长度相对最长,高原鼠兔次之,高原鼠兔最短,并且根田鼠的大肠及盲肠有相对较大的重要性。由于高原鼠兔和根田鼠食物中纤维素含量均较高,但是两者的消化道器官指数和相对长度不一致。这可能是两种动物面对食物及能量需求的双重压力采取不同的消化策略。

综上所述,在器官水平,青藏高原高寒草甸 3 种小型草食哺乳动物的消化道器官长度和重量指数都表现出显著性差异。不同物种面对不同的环境压力,消化道这种适应性差异是物种为适应多变的环境条件进化的结果。这种差异可能与其生境、栖息地类型、食物组成、能量和代谢需求等因素有关。

4 参考文献

- 崔庆虎,蒋志刚,连新明,等. 2005. 根田鼠栖息地选择的影响因素[J]. 兽类学报, 25(1): 45-51.
- 杜卫国,鲍毅新,刘季科. 2001. 七种鼠科啮齿动物消化道长度和重量的比较[J]. 兽类学报, 21(4): 264-270.
- 杜卫国,鲍毅新,施利强,等. 1999. 社鼠内脏器官重量和水分含量的季节变化[J]. 动物学杂志, 34(1): 23-25.
- 杜卫国,鲍毅新. 2000. 社鼠和褐家鼠消化道长度和重量的季节变化[J]. 动物学报, 46(3): 271-277.
- 杜卫国,俞华英,施利强,等. 1997. 褐家鼠的身体及内脏器官重量和含水量的初步研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 8(3): 161-163.
- 冯祚建,郑昌琳. 1985. 中国鼠兔属(*Ochotona*)的研究——分类与分布[J]. 兽类学报, 5(4): 269-289.
- 蒋志刚,夏武平. 1985. 高原鼠兔食物资源利用的研究[J]. 兽类学报, 5(4): 251-262.
- 李俊生,宋延龄,曾治高. 2003. 7 种荒漠啮齿动物食物组成与消化道长度的比较[J]. 动物学报, 49(2): 171-178.
- 李艳萍. 2007. 根田鼠雄性生殖腺的胚后发育[D]. 西安: 陕西师范大学: 1-66.
- 刘季科,王祖望. 1991. 高寒草甸生态系统[M]. 北京: 科学出版社.
- 刘璐,徐金会,孔杰,等. 2010. 3 种鼠类消化道长度和重量的比较[J]. 曲阜师范大学学报: 自然科学版, 36(2): 109-112.
- 刘伟,张毓,王溪,等. 2008. 植物生长季节不同栖息地高原鼠兔的食物选择[J]. 兽类学报, 28(4): 358-366.
- 王德华,孙儒泳. 1995. 根田鼠消化道长度和重量的变化及其适应意义[J]. 兽类学报, 15(1): 53-59.
- 王德华,王祖望. 2000. 高寒地区高原鼠兔消化道形态的季节变化[J]. 兽类学报, 20(4): 270-276.
- 王德华,王祖望. 2001. 高寒地区高原鼠兔消化道形态的季节动态[J]. 动物学报, 47(5): 495-501.
- 王权业,张堰铭,魏万红,等. 2000. 高原鼠兔食性的研究[J]. 兽类学报, 20(3): 193-199.
- 王晓君,魏登邦,魏莲,等. 2008. 高原鼠兔和高原鼠兔肺细叶的结构特征[J]. 动物学报, 54(3): 531-539.
- 王玉山,王德华,王祖望. 2001. 高原鼠兔和根田鼠的最大代谢率[J]. 动物学报, 47(6): 601-608.
- 王祖望,曾缙祥,韩永才. 1979. 高原鼠兔和中华鼠兔气体代谢的研究[J]. 动物学报, 25(1): 75-85.
- 杨传华,都玉蓉,谢久祥,等. 2012. 两种鼠兔内脏器官形态差异及其分类学意义[J]. 兽类学报, 32(3): 259-265.
- 张美文,王勇,李波,等. 2006. 洞庭湖区社鼠脏器重量的比较[J]. 动物学杂志, 41(1): 113-117.
- Derting TL, Bogue BA. 1993. Responses of the gut to moderate energy demands in a small herbivore (*Microtus pennsylvanicus*) [J]. Journal of mammalogy, 71(1): 59-68.
- Gross JE, Wang Z, Wunder BA. 1985. Effects of food quality and energy needs: changes in gut morphology and capacity of *Microtus ochrogaster* [J]. Journal of mammalogy, 64(4): 661-667.
- Hume ID, Beiglböck C, Ruf T, et al. 2002. Seasonal changes in morphology and function of the gastrointestinal tract of free-living alpine marmots (*Marmota marmota*) [J]. Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology, 172(3): 197-207.
- Korn H. 1992. Intestine lengths of southern african savanna rodents and insectivores—intraspecific and interspecific comparisons [J]. Journal of Zoology, 228: 455-460.
- Kronfeld N, Dayan T. 1998. A new method of determining diets of rodents [J]. Journal of Mammalogy, 79(4): 1198-1202.
- Liu QS, Wang DH. 2007. Effects of diet quality on phenotypic flexibility of organ size and digestive function in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) [J]. Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology, 177(5): 509-518.
- McWilliams SR, Karasov WH. 2001. Phenotypic flexibility in digestive system structure and function in migratory birds and its ecological sig-

- nificance[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology, 128(3): 577-591.
- Millar JS. 1977. Adaptive features of mammalian reproduction[J]. Evolution, 32(2): 370-386.
- Norris RW, Zhou KY, Zhou CQ, et al. 2004. The phylogenetic position of the zokors (*Myospalacinae*) and comments on the families of muroids (*Rodentia*) [J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 31(3): 972-978.
- Perrin MR, Curtis BA. 1980. Comparative morphology of the digestive system of 19 species of Southern African myomorph rodents in relation to diet and evolution[J]. South African Journal of Zoology, 15(1): 22-33.
- Pucek Z. 1965. Seasonal and age changes in the weight of internal organs of shrews[J]. Acta Theriologica, 10(26): 369-438.
- Schieck JO, Millar JS. 1985. Alimentary tract measurements as indicators of diets of small mammals[J]. Mammalia, 49(1): 93-104.
- Van Soest, Peter J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant, Second edition [M]. Cornell University Press: 1-476.
- Wunder BA. 1992. Morphophysiological indicators of the energy state of small mammals[J]. Mammalian energetics: interdisciplinary views of metabolism and reproduction: 86-104.
- Zhou C, Zhou K. 2008. The validity of different zokor species and the genus *Eospalax* inferred from mitochondrial gene sequences[J]. Integrative Zoology, 3(4): 290-298.

(上接第 867 页)

的采集,增加了该物种的分布记录,但其中国境内的详细分布状况尚需进一步研究。

莱氏蹄蝠在每一个栖息地的种群数量比较小,不超过 100 只,目前种群数量呈下降趋势,属于“低危/需予关注”(LR/LC)物种(IUCN, 2013)。鉴于该物种在中国分布区狭窄,且数量少,需要加强对该物种的研究和保护力度。

4 参考文献

- Smith AT, 解焱. 2009. 中国兽类野外手册[M]. 长沙: 湖南教育出版社: 296-301.
- 陆长坤, 王宗祯, 全国强, 等. 1965. 云南西南部临沧地区兽类的研究[J]. 动物分类学报, 2(4): 279-295.
- 潘清华, 王应祥, 岩崑. 2007. 中国哺乳动物彩色图鉴[M]. 北京: 中国林业出版社: 52-56.
- 盛和林. 2005. 中国哺乳动物图鉴[M]. 郑州: 河南科学技术出版社: 98-100.
- 谭邦杰. 1992. 哺乳动物分类名录[M]. 北京: 中国医药科技出版社: 80.
- 王应祥. 2003. 中国哺乳动物种和亚种分类名录与分布大全[M]. 北京: 中国林业出版社: 38.
- 杨奇森, 夏霖, 冯祚建, 等. 2007. 兽类头骨测量标准 V: 食虫目、翼手目[J]. 动物学杂志, 42(2): 56-62.
- Bates PJ, Harrison DL. 1997. Bats of the Indian subcontinent [M]. England: Harrison Zoological Museum Publication.
- Corbet GB, Hill JE. 1992. The Mammals of the Indomalayan Region. A Systematic Review [M]. London: Natural History Museum Publications Oxford University Press: 104-117.
- Hill JE. 1963. A revision of the genus *Hipposideros* [M]. London: Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology Series: 87-91.
- IUCN. 2013. IUCN Red List of Threatened Species [DB/OL]. www.iucnredlist.org. Downloaded on 15 March 2014.
- Robinson MF, Jenkins PD, Francis CM, et al. 2003. A new species of the *Hipposideros pratti* group (Chiroptera, Hipposideridae) from Lao PDR and Vietnam [J]. Acta Chiropterologica, 5(1): 31-48.
- Robinson MF, Smith AL. 1997. Chiroptera from Loei Province, north-east Thailand [J]. Nat Hist Bull Siam Soc, 45: 1-16.
- Simmons NB. 2005. Order chiroptera [M] // Wilson DE, Reeder DM, eds. Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference 3rd ed. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press: 312-529.