

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7083.2014.05.002

高原鼢鼠的消化对策

张守栋^{1,3}, 林恭华¹, 杨传华², 崔雪峰^{1,3}, 覃雯^{1,3}, 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: 动物面临不同的生活环境及生活方式, 往往采取不同的消化对策, 而消化道结构在动物的消化对策中起关键作用。为进一步了解高原鼢鼠的生存对策, 比较了高原鼢鼠与大白鼠消化道形态结构与食物摄入量、食物吸收量及食物消化率的差异。结果表明: 高原鼢鼠的食物摄入量及食物吸收量显著低于大白鼠, 食物消化率、蛋白质消化率及粗纤维消化率显著高于大白鼠。而两种动物的蛋白质吸收量及粗纤维吸收量差异不显著。高原鼢鼠的胃、小肠、大肠、盲肠干重及大肠长度与盲肠长度显著高于大白鼠, 小肠长度差异不显著。可见, 动物的消化率及能量需求与其消化道形态相适应。高原鼢鼠采取摄取少量的食物、增加消化道长度或重量、提高食物消化率的消化对策。

关键词: 高原鼢鼠; 消化道形态; 消化率; 消化对策; 进化适应

中图分类号: Q959.8; Q958.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-7083(2014)05-0646-06

Digestion Strategy of Plateau Zokor

ZHANG Shoudong^{1,3}, LIN Gonghua¹, YANG Chuanhua², CUI Xuefeng^{1,3}, QIN Wen^{1,3},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: Animal lifestyles can vary in different environments by adopting different digestion strategies, and the morphology of digestive tracts may play a key role in such adaptations. In order to investigate the surviving stratagem of plateau zokor (*Myospalax baileyi*), a typical subterranean rodent species endemic to the Qinghai-Tibet Plateau, the gastrointestinal morphology, food intake, food assimilation and food digestibility of plateau zokor was analyzed compared with laboratory rat (*Rattus norvegicus*). The results showed that the amount of food intake and food assimilation of zokors were significantly less than those of rats; the food digestibility, protein digestibility and crude fiber digestibility were significantly higher than those of rats; however, no significant differences of protein assimilation and crude fiber assimilation were observed between the two animals. The stomach, small intestine, large intestine and cecum of zokors were significantly heavier (dry weight) than those of rats. The large intestine and cecum of zokors were significantly longer than those of rats while no significant difference was observed between the lengths of the small intestine. Overall, our results here confirmed that there was obvious consistency between the morphology of digestive tracts and digestibility. The decreased food intake and increased digestive capacity were the digestion strategies of plateau zokors.

Key words: plateau zokor (*Myospalax baileyi*); digestive tract morphology; digestibility; digestion strategy; evolutionary adaptation

营养生态学是动物生态学研究的一个基本组成部分, 主要包括动物的营养需求、觅食与消化对策, 为了对特定物种的营养生态学有一个全面理解, 确定其营养需求及消化对策至关重要 (Hume, 2001)。

加强物种营养生态特性的理解, 能够更好地进行物种保护与生物防治。

消化道结构在动物的消化对策中起着关键作用 (徐金会等, 2003), 作为食物消化吸收的场所, 其形

收稿日期: 2014-02-15 接受日期: 2014-06-09

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-113)

作者简介: 张守栋 (1989 ~), 男, 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

态结构与食性、食物质量及能量需求等密切相关,同时可影响食物的吸收效率(冯祚建,郑昌琳,1985; Gross *et al.*, 1985; Karasov, 1996)。不同物种面对不同的环境压力,形成了各自不同的消化对策。鲍毅新等(1998)在对社鼠和褐家鼠的能量代谢及消化道形态的比较研究中发现,具有较长的消化道和较高的消化率是社鼠对野外较差食物条件的适应对策。刘全生等(2010)的研究表明,黄毛鼠通过增加摄食量和降低消化率的消化对策适应高纤维食物,此外,降低体重使总能量需求减少,也是其适应低质量食物的对策之一,该研究符合整合处理反应假说(the Integrated Processing Response hypothesis)(Batzli *et al.*, 1994),即当食物质量下降时,植食性动物会通过增加摄食量,降低消化物在消化道内的滞留时间,增大胃肠道容积,降低消化率等来维持消化能量摄入。Derting 和 Bogue(1993)、Derting 和 Noakes(1995)的研究表明,当能量需求增高时,小型哺乳动物依赖胃肠道形态的改变增加消化道容积,进而满足代谢需要。对于不同种类而言,能量需求的不同会导致消化道形态存在明显差异。杜卫国等(2001)对 7 种鼠科动物消化道长度和重量的比较研究表明,消化道长度存在明显的种间差异,其中盲肠、大肠长度的种间差异大于胃、小肠及消化道全长,且与食性、生境有关。

高原鼯鼠 *Myospalax baileyi* 是一种完全独居的典型地下啮齿动物,是青藏高原的主要鼠害之一,栖息于海拔 2600 ~ 4600 m 的草原草甸等生境(樊乃昌,施银柱,1982;周文扬,窦丰满,1990)。研究发现,高原鼯鼠制造的土丘不仅严重改变植物群落结构,而且破坏草场生产力(Zhang *et al.*, 2003; Zhang & Liu, 2003)。通常,土丘边缘生物量增加,顶部生物量降低(Wang *et al.*, 2008),由于高原鼯鼠特殊的地下生活方式,其进化适应的问题已经引起许多科学工作者的关注(Tang *et al.*, 2010a, 2010b; Lin *et al.*, 2011, 2012; Zhang *et al.*, 2012)。目前,科研工作者对地下啮齿动物生活的耗能问题及与挖掘活动相关的进化适应性问题已做了大量研究(Marhold & Nagel, 1995; Vassallo, 1998; Luna & Antinuchi, 2007a, 2007b)。研究表明,金毛裸鼠 *Eremitalpa namibensis* 在沙子里“游动”的能耗是地上跑动的 26 倍,而动物穿过坚实土壤的能耗是这种游动的 10 倍以上(Seymour *et al.*, 1998)。高原鼯鼠挖掘洞道时的代谢率是基础代谢率的 3 倍以上(苏建平,王祖

望,1992),而其洞道长达 100 多 m,甚至超过 200 m(周文扬,窦丰满,1990)。因此,高原鼯鼠较高的能量需求势必要求其具有特殊的消化对策。

本文以 SD 大鼠 *Rattus norvegicus* 为对照,通过对两种动物消化道形态结构与食物摄入量、食物吸收量及食物消化率的测定,旨在阐明以下两个重要问题:1) 高原鼯鼠消化道形态和特征有何独特之处;2) 高原鼯鼠采取何种消化对策适应特殊的地下生活方式。

1 材料与方法

1.1 试验动物及自然概况

高原鼯鼠于 2012 年 5 月、10 月和 2013 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。生境类型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。SD 大鼠 2013 年 7 月购于甘肃中医学院实验动物中心,共 20 只,雌雄各半。

1.2 食物消耗量及消化率测定

捕获的高原鼯鼠在实验室内进行适应性饲养,主要投喂少量甘蓝和大小鼠维持饲料(购于北京科奥协力饲料有限公司)。在野外,高原鼯鼠水分的获取主要靠食物;在实验室给予一定的水分补给。试验于 2013 年 7 月在中国科学院高原生物适应与进化重点实验室进行。选取充分适应实验室饲养条件的高原鼯鼠 60 只(雌雄各半),大白鼠 20 只(雌雄各半)。每日 18:00 定时投喂每只试验动物维持饲料 50 g,补充充足的水分,并将前日剩余饲料及排出的粪便分别检出、标号,置于烘箱内 80℃ 烘干至恒重,最后置于电子天平(Mettler Toledo Inc.,精确到 0.0001 g)上称重。试验持续 7 d,每只试验动物的粪便混合存放。

在预实验中我们发现,两种动物粪便中蛋白质含量和纤维素含量差别非常明显,且方差较小。我们认为样本量为 10 就足以满足统计要求。因此,我们对每种动物随机选取 10 个个体的粪便来测量蛋白质和纤维素含量。试验中各取高原鼯鼠、大白鼠的粪便 10 份(雌雄各半),饲料 3 份,均研磨成粉末,以供蛋白质含量与纤维素含量测定。蛋白质含量($n = 10$)测定采用 Kjeltac TM 8400 凯氏定氮仪(上海纤检仪器有限公司);纤维素含量($n = 10$)测定采用粗纤维测定仪(华

焯 SLQ-6 ,上海纤检仪器有限公司)。

1.3 器官组织的解剖

在预实验中,我们发现两种动物消化道器官某些指标差异不显著(例如:小肠长度),因此,我们采用了参与试验的全部动物的消化道解剖数据。食物消耗量试验结束后,将试验动物(高原鼯鼠 60 只,大白鼠 20 只;雌雄各半)采用断颈法处死。解剖参考杨传华等(2012)的方法: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(Mettler Toledo Inc.,精确到 0.0001 g)上称重,即为肠道各部分和胃的鲜重。称量烘干至恒重的锡箔纸,将各消化道器官用锡箔纸包起,并置于烘箱内 80℃ 烘干至恒重,最后置于电子天平(Mettler Toledo Inc.,精确到 0.0001 g)上称重。

1.4 数据统计分析

用投喂食物(PF)、剩余食物(RF)、排出粪便(FO)的干物质的量,我们计算出下列指标:食物摄入量,FI = PF - RF;食物吸收量,FA = FI - FO;食物消化率,FD = FA/FI × 100%。同样,用食物中蛋白质含量百分比(P1%)、粗纤维含量百分比(C1%)和

粪便中蛋白质含量百分比(P2%)、粗纤维含量百分比(C2%) ,我们计算下列指标:蛋白质吸收量,PA = FI × P1% - FO × P2%;蛋白质消化率,PD = PA/(FI × P1%);粗纤维吸收量,CA = FI × C1% - FO × C2%;粗纤维消化率,CD = CA/(FI × C1%)。

为了增强数据的可靠性及排除动物体重的影响,我们以对应试验动物的体重为协变量,用一般线性模型(单变量分析)检验两种动物各消化道器官的长度及干重的差异。两种动物在食物摄入量、食物吸收量、食物消化率、蛋白质吸收量、蛋白质消化率、粗纤维吸收量及粗纤维消化率的差异,我们同样以对应试验动物的体重为协变量,用一般线性模型(单变量分析)检验。以上数据均用 SPSS 19.0 进行处理。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。

2 结果

从表 1 看出,两种动物的食物摄入量、食物吸收量、食物消化率、蛋白质消化率及粗纤维消化率均达到显著水平(P < 0.05),其中,食物摄入量、食物吸收量、食物消化率与蛋白质消化率达到极显著水平(P < 0.01),高原鼯鼠的食物摄入量及食物吸收量显著低于大白鼠,而食物消化率、蛋白质消化率及粗纤维消化率显著高于大白鼠。两种动物对蛋白质吸收量与粗纤维吸收量的差异未达到显著水平(P > 0.05)。

表 1 食物消化率及单因素组间比较
Table 1 Food digestibility (Mean ± SD) and univariate comparison among groups

测定项目 Items measured	高原鼯鼠 <i>Myospalax baileyi</i>	大白鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	ANOVA (df = 1)		样本量	
			F	P	n1	n2
体重(g) Weight	301.360 ± 72.322	194.898 ± 21.641	5.539	0.031	60	20
食物摄入量(g) Food intake	11.170 ± 2.917	15.231 ± 2.145	35.859	0.000	60	20
食物吸收量(g) Food assimilation	9.122 ± 2.503	11.459 ± 1.773	20.065	0.000	60	20
食物消化率(%) Food digestibility	81.352 ± 3.362	75.163 ± 2.967	32.079	0.000	60	20
蛋白质吸收量(g) Protein assimilation	2.054 ± 0.486	2.380 ± 0.373	2.391	0.140	10	10
蛋白质消化率(%) Protein digestibility	85.582 ± 1.803	72.077 ± 1.715	119.055	0.000	10	10
粗纤维吸收量(g) Cellulose assimilation	0.296 ± 0.133	0.209 ± 0.044	1.150	0.298	10	10
粗纤维消化率(%) Cellulose digestibility	41.922 ± 13.776	24.111 ± 4.051	6.233	0.023	10	10

注: n1 代表高原鼯鼠样本量, n2 代表大白鼠样本量, 体重是两物种实验前的初始体重

Note: n1 represents the sample size of *Myospalax baileyi*, n2 represents the sample size of *Rattus norvegicus*, the weight is the original weight before experiment

由表 2 看出,以对应试验动物的体重为协变量,两种动物在胃、小肠、大肠、盲肠干重及大肠长度与盲肠长度上的差异均达到极显著水平(P < 0.01)。高原鼯鼠的胃干重、小肠干重是大白鼠的 2 倍;高原鼯鼠的大肠干重、盲肠干重、大肠长度及盲肠长度超

过了大白鼠的 3 倍。高原鼯鼠与大白鼠的小肠长度差异不显著,但小肠干重的差异却达到极显著水平。高原鼯鼠大肠干重与盲肠干重占整个消化道比例的 46%,而大白鼠大肠干重与盲肠干重仅占整个消化道比例的 32%。

表 2 内脏器官特征及单因素组间比较
Table 2 Characteristics (Mean \pm SD) of inner organs and univariate comparison among groups

测定项目 Items measured	器官 Organ	高原鼯鼠 <i>Myospalax baileyi</i>	大白鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	Univariate analysis		样本量	
				F	P	n1	n2
干重 Dry weight (g)	胃 Stomach	0.439 \pm 0.086	0.218 \pm 0.054	147.210	0.000	60	20
	小肠 Small intestine	0.242 \pm 0.102	0.144 \pm 0.034	11.700	0.001	60	20
	大肠 Large intestine	0.324 \pm 0.125	0.097 \pm 0.024	46.946	0.000	60	20
	盲肠 Caecum	0.257 \pm 0.085	0.072 \pm 0.025	67.956	0.000	60	20
长度 Length (cm)	小肠 Small intestine	129.752 \pm 16.615	127.115 \pm 10.932	0.312	0.578	60	20
	大肠 Large intestine	67.010 \pm 8.714	20.808 \pm 2.536	434.718	0.000	60	20
	盲肠 Caecum	23.075 \pm 3.671	7.238 \pm 0.993	244.917	0.000	60	20

3 讨论

消化道结构在动物的消化策略中起着关键作用,并影响食物的吸收效率。消化道形态结构与能量需求密切相关,其形态学指标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)。不同物种面对不同的环境压力,形成了各自不同的消化对策(鲍毅新,杜卫国,1998)。

动物从食物中获取能量和营养的数量取决于摄食量和消化效率,而动物对某种食物的消化效率取决于食物中的营养组成、食物在消化道中的滞留时间以及胃肠道的消化吸收能力(Karasov, 1996)。本研究发现,两种动物的食物摄入量、食物吸收量、食物消化率、蛋白质消化率及粗纤维消化率差异显著,且两种动物的胃、小肠、大肠、盲肠干重及大肠长度与盲肠长度也差异显著,但各参数的差异不尽相同。其中,食物摄入量、食物吸收量、食物消化率与蛋白质消化率差异显著;蛋白质吸收量与粗纤维吸收量差异不显著。可见两种动物对蛋白质和粗纤维的需求量无差异,高原鼯鼠摄入较少的食物,并且具有较高的食物消化率。两种动物的小肠长度无差异,但小肠干重差异显著。消化道器官的其他指标均是高原鼯鼠显著大于大白鼠。

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(徐金会等,2003),较大的胃意味着其潜在的消化能力也较高。此外,较大的胃意味着能一次摄入较多食物(刘璐等,2010),野生动物相对较大的胃,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)。本研究发现体重校正后,高原鼯鼠胃干重大于大白鼠。高原鼯鼠作为典型的地下鼠,其绝大部分生命活动在地下洞道内完成,捕食风险较低。SD大鼠由褐家鼠驯化而来,作为典型的地面动物,其被捕食的风险远高于地下鼠。尽管SD大鼠属于家养

的实验动物,不存在捕食风险,然而人类对其驯养仅有100年左右历史,其生活史特征应与褐家鼠无过多差别。可以认为,高原鼯鼠具有更大的胃,并非为了减小捕食风险,而更可能是为了提高消化能力。

小肠是营养成分消化和吸收的主要场所(杜卫国等,2001;杨传华等,2012,2013),小肠的变化反映了动物的能量需求(王德华,王祖望,2001)。消化道形态结构变化主要表现在两个方面:一是消化道容积变化,以消化道长度的变化为主要测量指标;二是消化道壁组织结构的变化,如微绒毛增加,粘膜厚度增加等(杜卫国等,2001)。我们之前的研究表明,食物中添加单宁酸后(食物质量降低),高原鼯鼠小肠长度没有变化,而重量却显著增加(Lin *et al.*, 2012),这意味着高原鼯鼠单位长度小肠重量与其消化功能有密切关联。本研究的结果显示,两种小型哺乳动物的小肠长度差异不显著,但高原鼯鼠的小肠干重显著高于大鼠。可见高原鼯鼠小肠单位长度所含的组织较多,这可能是导致其食物消化率和蛋白质消化率显著高于大白鼠的主要原因。

盲肠和大肠是后肠发酵动物的主要发酵场所,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)。本研究结果表明高原鼯鼠的大肠干重、盲肠干重、大肠长度及盲肠长度显著大于大白鼠。两种动物粗纤维的消化率差异显著,高原鼯鼠大肠干重与盲肠干重占整个消化道比例的46%,而大白鼠大肠干重与盲肠干重仅占整个消化道比例的32%。可见高原鼯鼠后肠发酵相对于大白鼠更为重要,同时也解释了高原鼯鼠粗纤维消化率高于大鼠的可能机制。在野外,褐家鼠以作物种子、果实以及动物性食物为食,粗纤维含量低,而高原鼯鼠主要以植物根茎为食

(Xie *et al.*, 2014) 粗纤维含量较高。因此,高原鼯鼠具有更为发达的大肠和盲肠,体现了其在消化器官形态和功能上对其特殊生活特征的适应性。

研究结果表明,高原鼯鼠有较高的食物消化率。高原鼯鼠通过挖掘进行寻求配偶、觅食等活动耗能巨大(王权业,樊乃昌,1987;周文扬,窦丰满,1990; Seymour *et al.*, 1998)。但由于高原鼯鼠的基础代谢速率(BMR)与地上哺乳动物(Zhang, 2007)相比并没有表现出明显的昼夜节律(王祖望等,1979;苏建平,1992)。高原鼯鼠花费大量时间用于休息和睡眠。在非繁殖期,每个小时用于休息和睡眠的时间占69%(47%~89%)(魏万红等,1996)。此外,当静息代谢速率(RMR)明显低于正常睡眠时,高原鼯鼠经常陷入深度睡眠(Lin *et al.*, 2011)。因此,高原鼯鼠最终消耗的能量并不大。

综上所述,高原鼯鼠由于终生生活于地下阴湿环境,挖掘觅食、储食越冬,食物来源较地上动物存在更多困难。为适应这种特殊的生活环境,高原鼯鼠采用摄取少量的食物、增加消化道容积或组织量、提高食物消化率的消化对策。然而高原鼯鼠这一消化对策在其他地下啮齿类动物中是否成立,尚有待进一步研究。

4 参考文献

- 鲍毅新,杜卫国. 1998. 社鼠和褐家鼠的能量代谢及消化道形态的比较[J]. 兽类学报, 18(3): 202-207.
- 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.
- 樊乃昌,施银柱. 1982. 中国鼯鼠(*Eospalax*)亚属分类研究[J]. 兽类学报, 2(2): 183-196.
- 冯祚建,郑昌琳. 1985. 中国兔鼠属(*Ochotona*)的研究——分类与分布[J]. 兽类学报, 5(4): 269-289.
- 刘璐,徐金会,孔杰,等. 2010. 三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.
- 刘全生,冯志勇,龚鹏博,等. 2010. 高纤维食物对黄毛鼠摄食和消化的影响[J]. 兽类学报, 30(3): 291-296.
- 苏建平,王祖望. 1992. 高原鼯鼠种群能量动态的研究——I. 平均每日代谢及挖掘活动代谢特征[J]. 兽类学报, 12(3): 200-206.
- 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取食行为[J]. 兽类学报, 12(2): 117-125.
- 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. 高寒地区高原鼯鼠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. 高寒地区高原兔鼠消化道形态的季节动态[J]. 动物学报, 47(5): 495-501.
- 王权业,樊乃昌. 1987. 高原鼯鼠(*Myospalax baileyi*)的挖掘活动及其种群数量统计方法的探讨[J]. 兽类学报, 7(4): 283-290.
- 王祖望,曾缙祥,韩永才. 1979. 高原兔鼠和中华鼯鼠气体代谢的研究[J]. 动物学报, 25(1): 75-85.
- 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[J]. 兽类学报, 16(3): 194-201.
- 徐金会,安书成,邵发道. 2003. 棕色田鼠消化道形态变化与能量需求的关系[J]. 动物学报, 49(1): 32-39.
- 杨传华,都玉蓉,谢久祥,等. 2012. 两种鼯鼠内脏器官形态差异及其分类学意义[J]. 兽类学报, 32(3): 259-265.
- 杨传华,都玉蓉,林恭华,等. 2013. 甘肃鼯鼠和高原鼯鼠小肠组织学结构的比较[J]. 兽类学报, 33(2): 172-177.
- 周文扬,窦丰满. 1990. 高原鼯鼠活动与巢区的初步研究[J]. 兽类学报, 10(1): 31-39.
- Batzli GA, Broussard, Oliver R. 1994. The integrated processing response in herbivorous small mammals [M]// The Digestive System in Mammals: Food, Form, and Function. Cambridge University Press: Cambridge: 324-336.
- 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.
- Derting TL, Noakes III EB. 1995. Seasonal changes in gut capacity in the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) and meadow vole (*Microtus pennsylvanicus*) [J]. Canadian Journal of Zoology, 73(2): 243-252.
- 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. 2001. Digestive strategies of mammals [J]. Acta zoologica Sinica, 48(1): 1-19.
- Karasov WH. 1996. Digestive plasticity in avian energetics and feeding ecology [M]// Chapman, Hall. Avian energetics and nutritional ecology. Cynthia Carey: University of Colorado Press: 61-84.
- Lin GH, Li WJ, Nevo E, *et al.* 2011. Adaptive evolution of flaky thumb claw and elongated compulsory arousal duration in the subterranean rodent plateau zokor [J]. Ethology Ecology & Evolution, 23(1): 77-80.
- Lin GH, Xie JX, Cui XF, *et al.* 2012. Effects of supplemental dietary tannic acid on digestion in plateau zokors (*Eospalax baileyi*) [J]. Annales Zoologici Fennici, 49: 371-377.
- Luna F, Antinuchi CD. 2007a. Energetics and thermoregulation during digging in the rodent tuco-tuco (*Ctenomys talarum*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 146(4): 559-564.
- Luna F, Antinuchi CD. 2007b. Effect of tunnel inclination on digging energetics in the tuco-tuco, *Ctenomys talarum* (Rodentia: Ctenomyidae) [J]. Naturwissenschaften, 94(2): 100-106.
- Marhold S, Nagel A. 1995. The energetics of the common mole rat *Cryptomys*, a subterranean eusocial rodent from Zambia [J]. Journal of Comparative Physiology B, 164(8): 636-645.
- Schieck JO, Millar JS. 1985. Alimentary tract measurements as indicators of diets of small mammals [J]. Mammalia, 49(1): 93-104.
- Seymour RS, Withers P, Weathers W. 1998. Energetics of burrowing, running, and free-living in the Namib Desert golden mole (*Eremitalpa*

- namibensis*) [J]. Journal of Zoology, 244(1): 107-117.
- Tang LZ, Zhang TZ, Lin GH, et al. 2010a. Phylogenetic discontinuity of plateau zokor (*Myospalax baileyi thomas*) populations in Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Polish Journal of Ecology, 58(1): 167-176.
- Tang LZ, Wang LY, Cai ZY, et al. 2010b. Allopatric divergence and phylogeographic structure of the plateau zokor (*Eospalax baileyi*), a fossorial rodent endemic to the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Biogeography, 37(4): 657-668.
- Vassallo AI. 1998. Functional morphology, comparative behaviour, and adaptation in two sympatric subterranean rodents genus *Ctenomys* (Caviomorpha: Octodontidae) [J]. Journal of Zoology, 244(3): 415-427.
- Wang TC, Xiong YC, Ge JP, et al. 2008. Four-year dynamic of vegetation on mounds created by zokors (*Myospalax baileyi*) in a subalpine meadow of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Arid Environments, 72(2): 84-96.
- Wunder BA. 1992. Morphophysiological indicators of the energy state of small mammals [M]// Mammalian energetics: interdisciplinary views of metabolism and reproduction. New York: Cornell University Press: Tonasi TE, Horton TH: 86-104.
- Xie JX, Lin GH, Liu CX, et al. 2014. Diet selection in overwinter caches of plateau zokor (*Eospalax baileyi*) [J]. Acta Theriologica, 59(2): 337-345.
- Zhang TZ, Nevo E, Tang LZ, et al. 2012. Plateau zokors on the Qinghai-Tibetan Plateau follow Bergmann's rule latitudinally, but not altitudinally [J]. Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde, 77(2): 108-112.
- Zhang YM, Zhang ZB, Liu JK. 2003. Burrowing rodents as ecosystem engineers: the ecology and management of plateau zokors *Myospalax fontanieri* in alpine meadow ecosystems on the Tibetan Plateau [J]. Mammal Review, 33(3): 284-294.
- Zhang YM, Liu JK. 2003. Effects of plateau zokors (*Myospalax fontanieri*) on plant community and soil in an alpine meadow [J]. Journal of mammalogy, 84(2): 644-651.
- Zhang YM. 2007. The biology and ecology of plateau zokors (*Eospalax fontanieri*) [M]// Begall S, Burda H, Schleich C (eds). Subterranean Rodents: News from Underground. Verlag Berlin Heidelberg: Springer: 237-249.

传播科学信息的媒介 开展学术交流的平台

欢迎订阅 2015 年第 34 卷 *四川动物* 杂志

四川动物 杂志由四川省动物学会、成都大熊猫繁育研究基金会、四川省野生动植物保护协会和四川大学联合主办,创刊于 1981 年,系国内外公开发行的动物学学术性刊物,主要报道和交流动物学及其分支学科和野生动物保护方面的基础研究、应用基础研究的成果、理论、经验和动态;普及与提高相结合,基础性与应用性并重。先后为《中文核心期刊要目总览(2004 年版、2008 年版、2011 年版)》核心期刊、中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊),为中国科学引文数据库、中国学术期刊综合评价数据库、中国生物学文摘数据库、中国学术期刊(光盘版)、中国期刊网(中国知网)、万方数据系统(中国数字化期刊群)、台湾中文电子期刊思博网等收录。

● **主要栏目:** 研究报告、基础资料、野生动物保护与自然保护区、实验动物与动物实验、教学探索、综述与进展。

● **读者对象:** 广大从事动物学、生物学和野生动物保护方面的科研、教学、管理、医卫等科技工作者,有关院校师生和业余爱好者。

● **双月刊,**大 16 开,每期 164 页,精印彩色封面,逢单月末出版,2015 年全年 6 期国内定价 300 元(每期 50 元),国外为每期 20 美元,全年 120 美元。

● **订阅办法:** 从邮局汇款至本刊编辑部,写清订阅人姓名、地址、邮编,附言订阅数量即可。

电话/传真: 028-85410485 **电子邮件:** scdwzz001@163.com scdwzz@vip.163.com

邮局汇款: 四川省成都市望江路 29 号四川大学生命科学学院内《四川动物》编辑部

邮政编码: 610064

银行汇款: 开户银行: 中国工商银行四川分行营业部东大支行 **户名:** 四川省动物学会

帐号: 4402298009000012596