

洞庭湖区社鼠消化道长度和质量的季节变化^{*}

张美文^{1,2} 王 勇¹ 李 波¹ 黄 璜^{2, **}

(¹ 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; ² 湖南农业大学, 长沙 410128)

摘 要 对洞庭湖区社鼠(*Niviventer confucianus*)自然种群四季的消化道各器官的长度和质量进行了测定。结果表明, 消化道指标季节变化明显, 总体消化道含内容鲜质量、净鲜质量与干质量均具有显著的季节变化, 以冬、春季较高, 夏、秋季较低。消化道各器官的变化与总消化道不尽相同, 其中, 以胃的变化相对比较稳定, 仅长度的变化达显著水平, 以冬季最短, 夏、秋季较长, 这是动物为适应繁殖季节能量需求而增加摄食量的反应, 也与夏秋季食物丰富度有关。小肠、盲肠、大肠的长度和质量指标(内容鲜质量、净鲜质量和干质量)以冬、春季较高, 夏、秋季较低。这是该鼠对冬、春季低温和食物匮乏的适应性反应。总体来说, 洞庭湖区社鼠为适应夏、秋季繁殖盛期能量需求增加的主要对策是增加摄食量; 而为适应冬、春季低温环境和食物数量和质量减少的主要对策是增大消化道, 提高消化效率。

关键词 社鼠; 消化道; 季节变化; 洞庭湖区

中图分类号 Q954.58 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2007)01-0061-06

Seasonal variations of digestive tract length and weight of *Niviventer confucianus* in Dongting Lake region. ZHANG Mei-wen^{1,2}, WANG Yong¹, LI Bo¹, HUANG Huang² (¹*Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China*; ²*Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(1): 61-66.

Abstract: The study showed that there existed obvious seasonal variations in the digestive tract length and weight of *Niviventer confucianus* in Dongting lake region. The fresh weight of digestive tract with contents and the fresh and dry weights of the tract without contents were higher in winter and spring than in summer and autumn. As for different organs of the tract, stomach showed significant seasonal variation of its length, being the shortest in winter and longer in summer and autumn, which was the response of *N. confucianus* to take more food to fit the energy needs for reproduction and to meet the abundant food in summer and autumn. The length, fresh weight with and without contents, and dry weight without contents of other organs (small intestine, caecum and large intestine) were larger in winter and spring than in summer and autumn, an adaptive response to the low temperature and food deficiency in winter and spring. It was suggested that *N. confucianus* had strong capability in adjusting its gastrointestinal volume and size to adapt to the seasonal changes of ambient temperature and food resources.

Key words: *Niviventer confucianus*; digestive tract; seasonal variation; Dongting Lake region.

1 引 言

消化道是动物处理、消化、吸收食物, 获得能量的重要器官, 许多研究认为小型哺乳动物的消化道的长度与质量有一定的季节性变化, 这是动物对环

境条件与自身生理需要的自我调节(Gross *et al.*, 1985; Hammond & Wunder, 1991; 王德华等, 1995; Langer, 2002; Naya *et al.*, 2005)。当动物面对能量需求增加或食物质量下降时, 为满足其代谢需要, 必须增加摄食量或提高消化效率。因此, 一般认为, 消化道大小和形态的自我调节是动物获能策略的重要组成部分, 其变化与环境温度(Bozinovic *et al.*, 1990; 王德华等, 1995; 鲍毅新和杜卫国, 1997; Bozi-

^{*} 国家科技攻关项目(2005BA529A05)和中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-SW-415)。

^{**} 通讯作者 E-mail: hh0225822@sina.com

收稿日期: 2006-03-02 接受日期: 2006-11-05

novic & Nespolo, 1997; 杜卫国等, 1998; 杜卫国和鲍毅新, 2000; 王德华和王祖望, 2001; Naya *et al.*, 2005)、食物质量(Derting *et al.*, 1995; 杜卫国等, 2000; 王德华和王祖望, 2001; Pei *et al.*, 2001)以及繁殖状况(Bozinovic *et al.*, 1990; Borkowska, 1995; Bozinovic & Nespolo, 1997; 杜卫国等, 1998; 徐金会等, 2003)等因素的关系较密切。

关于社鼠(*Niviventer confucianus*)消化道的研究, 仅见浙江(鲍毅新等, 1998; 杜卫国等, 1998; 杜卫国和鲍毅新, 2000)有报道。研究表明, 社鼠消化道质量和长度存在明显的季节变动, 总消化道及各器官的质量季节变化趋势极为相似, 夏季明显低于其它季节。而总消化道及各器官的长度变化不尽相同, 总消化道长度冬季及夏季较高, 胃长在夏季较长, 秋、冬季短; 在寒冷的冬季具有相对较大的小肠、大肠、盲肠; 其中盲肠的变化相对较小。这些变化主要是社鼠适应当地栖息环境气温、食物条件和繁殖状况变化的结果, 其变化明显大于当地栖息于房舍的相近鼠种褐家鼠(*Rattus norvegicus*) (鲍毅新等, 1998; 杜卫国和鲍毅新, 2000)。为了解洞庭湖区域社鼠种群的相关生物学特性, 本文报道在洞庭湖区获得的相关数据。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究区概况

洞庭湖区(28°30'—30°20'N, 111°40'—113°10'E)位于长江中游荆江南岸, 湖南省北部, 属中亚热带向北亚热带的过渡区, 气候温暖湿润, 四季分明。年平均气温 16.4 °C ~ 17.0 °C, 年均降雨量 1 200 ~ 1 550 mm。在洞庭湖区域, 社鼠主要栖息在山区和丘陵区的林地, 是其中的绝对优势种群(张美文等, 2003), 该鼠体型中等, 成体体质量一般在 50 g 以上, 体质量最大仅 100 g 左右。在春、夏、秋季繁殖, 繁殖盛期在夏秋季, 冬季停止繁殖(张美文等, 2006)。以植物的种子、果实为主要食物, 也吃草根、摄叶等。喜盗食淀粉类农作物, 有时在胃中还可发现少量动物性食物(吕国强等, 1986; 鲍毅新, 1993)。

社鼠样本的采集在洞庭湖区西南面的桃源进行, 主要在山区和丘陵地带的林地及其山边农田捕获。当地夏、秋季各类植物的种子相继成熟, 林地内的食物资源较为丰富, 而冬、春季食物相对匮乏。气温在冬春季较低, 夏秋季较高, 2001 年调查当月, 即 3、6、9 和 12 月的平均气温分别为 12.47 °C、24.66

°C、24.15 °C 和 4.60 °C, 最低气温分别为 4.15 °C、17.12 °C、16.18 °C 和 -4.18 °C, 最高气温分别为 26.97 °C、34.70 °C、34.24 °C 和 17.88 °C。

2.2 研究方法

系统调查在 2001 年 3、6、9、12 月进行, 在林地与林缘农田(包括旱地和水田)捕获社鼠。采用夹日法, 用大号铁板夹, 以生葵花籽为饵。所捕获的鼠分类统计, 称取社鼠的体质量(± 0.1 g)、量体长(± 1 mm)后进行解剖, 仔细分离各消化道, 剔除盲肠、大小肠上的肠系膜和其它组织后, 将其平展为最大长度, 但不拉伸, 用直尺(± 1 mm)测其长度; 用滤纸干燥, 用电子天平(± 0.001 g)称其含内容物组织质量。然后用解剖剪将器官纵切, 用生理盐水充分冲洗内容物, 每个器官在滤纸上干燥后, 放于锡铂纸上, 称胃、小肠、大肠和盲肠, 称其去内容物组织质量, 即得鲜质量; 最后置烘箱内(60 °C)烘至恒质量, 称干组织质量。

季节性差异采用以体质量为协变量(消除体质量的影响)的协方差分析(one-way ANCOVA)和 LSD 检验处理, $P < 0.05$ 被认为差异显著。数据分析均在统计软件包 SPSS for windows 上完成。

3 结果与分析

3.1 总消化道形态指标的季节变化

由于捕获的洞庭湖区成年社鼠各消化道指标在生境间均没有显著性差异(表 1), 且林缘农田捕获的样本数较少, 因此将林缘农田和林地生境捕获的样本一并进行统计分析。结果表明, 洞庭湖区社鼠的总消化道以冬、春季较长, 夏季最短, 但季节性差异不显著。而消化道含内容物鲜质量、净鲜质量与干质量具有明显的季节变化, 均以冬、春季较高, 夏、秋季较低(表 2)。其中总消化道长度、含内容物鲜质量、净鲜质量的最低值出现在夏季, 与春季比均有显著性降低。干质量的最低值秋季, 与冬、春季比, 差异显著。

3.2 各消化道的季节变化

消化道各器官的变化与总消化道不尽相同(表 3)。其中胃长度的变化与总体长度的变化正好相反。冬、春季较短, 夏、秋季较长, 有明显的季节差异。含内容物的胃质量最高出现在秋季, 最低在冬季; 净鲜质量夏季较低, 春季最高; 干质量表现为夏、秋季较低, 冬、春季较高; 但其含内容物鲜质量、净鲜质量与干质量均不具明显的季节变化。

表 1 洞庭湖区社鼠消化道指标的生境变化 (Mean ± SE)
Tab.1 Habitat changes of digestive tract of adult *N. confucianus* in Dongting Lake region

器 官	指 标	林 地	林缘农田	ANCOVA	
				<i>F</i> (1, 55)	<i>P</i>
	样本数	50	8		
胃	体质量(g)	59.1 ± 2.5	53.9 ± 7.6		
	长度(mm)	32.6 ± 0.8	33.9 ± 2.0	0.322	0.573
	含内容物质量(g)	2.464 ± 0.168	2.359 ± 0.421	0.054	0.818
	净鲜质量(g)	0.518 ± 0.016	0.554 ± 0.040	0.704	0.405
小肠	干质量(g)	0.115 ± 0.003	0.121 ± 0.008	0.465	0.498
	长度(mm)	627.6 ± 12.1	608.2 ± 30.5	0.349	0.557
	含内容物质量(g)	4.041 ± 0.155	4.197 ± 0.390	0.136	0.713
	净鲜质量(g)	1.675 ± 0.070	1.769 ± 0.177	0.244	0.623
盲肠	干质量(g)	0.176 ± 0.009	0.207 ± 0.022	1.858	0.178
	长度(mm)	50.7 ± 0.9	51.8 ± 2.4	0.204	0.653
	含内容物质量(g)	1.381 ± 0.067	1.464 ± 0.167	0.211	0.648
	净鲜质量(g)	0.258 ± 0.016	0.268 ± 0.040	0.049	0.825
大肠	干质量(g)	0.031 ± 0.001	0.034 ± 0.003	1.044	0.311
	长度(mm)	190.1 ± 3.5	182.2 ± 8.9	0.681	0.413
	含内容物质量(g)	1.424 ± 0.089	1.638 ± 0.224	0.786	0.379
	净鲜质量(g)	0.475 ± 0.019	0.472 ± 0.047	0.004	0.951
总消化道	干质量(g)	0.065 ± 0.003	0.072 ± 0.007	0.782	0.380
	长度(mm)	901.0 ± 13.7	876.1 ± 34.3	0.454	0.503
	含内容物质量(g)	9.310 ± 0.325	9.658 ± 0.817	0.155	0.695
	净鲜质量(g)	2.927 ± 0.096	3.063 ± 0.241	0.275	0.602
	干质量(g)	0.387 ± 0.013	0.434 ± 0.033	1.805	0.185

以体质量为协变量的协方差分析,消化道数据用矫正 Mean ± SE 表示。

表 2 洞庭湖区社鼠总体消化道质量和长度的季节变化 (Mean ± SE)
Tab.2 Seasonal changes of weight and length of total digestive tract of *N. confucianus* in Dongting lake region

月份	样本数	体质量(g)	消化道长(mm)	含内容物质量(g)	消化道净鲜质量(g)	消化道干质量(g)
3月	36	56.7 ± 2.7	914.9 ± 15.8	10.085 ± 0.349a	3.054 ± 0.105ac	0.407 ± 0.015a
6月	10	69.4 ± 6.3	835.1 ± 31.9	7.190 ± 0.704b	2.477 ± 0.211b	0.350 ± 0.030ab
9月	5	51.8 ± 11.4	887.8 ± 42.6	8.797 ± 0.939ab	2.484 ± 0.282ab	0.315 ± 0.040b
12月	7	54.3 ± 6.5	904.7 ± 35.8	9.121 ± 0.791ab	3.387 ± 0.237c	0.441 ± 0.033a
<i>F</i> (3,53)			1.673	4.705	4.037	2.999
<i>P</i>			0.184	0.006	0.012	0.039

以体质量为协变量的协方差分析,消化道数据用矫正 Mean ± SE 表示; 同列不同字母表示平均数间差异显著。

小肠的长度以夏季相对较低,但与其它季节相比,均没有显著性差异。所有质量指标均以冬、春季较高,夏、秋季较低,其中含内容物鲜质量与净鲜质量有显著性的季节变化,而干质量指标的季节变化未达显著。在各季间比较,小肠净鲜质量、干质量均以冬季最高,秋季最低,秋季明显要低于冬季(表 3)。

盲肠除长度指标没有明显的季节变化差异外,其它质量指标均有显著的季节变化,总的趋势是均

以夏季最低,冬春季较高。其中净鲜质量以秋季最高,但春、秋、冬 3 季间无显著性差异,而它们与夏季比均有显著性差异(表 3)。

大肠的所有指标均有明显的季节变化。同样维持冬、春季较高与夏、秋季较低的特征,一般以夏季最低或接近最低水平。长度指标夏季与春季有明显的差异,所有质量指标冬、春季与夏季比,均有明显增加。其中,净鲜质量和干质量,冬、春季均明显高于夏、秋季(表 3)。

表3 洞庭湖区各社鼠消化道指标的季节变化 (Mean \pm SE)Tab. 3 Seasonal changes of digestive tract of adult *N. confucianus* in Dongting Lake region

器 官 指 标		3 月	6 月	9 月	12 月	ANCOVA	
						<i>F</i> (3, 53)	<i>P</i>
胃	长度 (mm)	32.4 ±0.9a	36.4 ±1.8a	35.8 ±2.4a	27.8 ±2.0b	3.685	0.014
	含内容物质量 (g)	2.495 ±0.201	2.416 ±0.405	2.614 ±0.541	2.150 ±0.456	0.196	0.899
	净鲜质量 (g)	0.538 ±0.019	0.493 ±0.038	0.502 ±0.051	0.501 ±0.043	0.563	0.642
	干质量(g)	0.121 ±0.004	0.105 ±0.007	0.106 ±0.010	0.115 ±0.008	1.710	0.176
小肠	长度 (mm)	635.6 ±14.3	581.3 ±28.9	631.4 ±38.5	627.9 ±32.5	0.926	0.435
	含内容物质量 (g)	4.367 ±0.172a	3.202 ±0.346b	3.639 ±0.462ab	4.030 ±0.390ab	3.374	0.025
	净鲜质量 (g)	1.737 ±0.077ac	1.451 ±0.155ab	1.272 ±0.207b	2.072 ±0.174c	3.910	0.014
	干质量(g)	0.183 ±0.010	0.166 ±0.020	0.137 ±0.027	0.216 ±0.023	1.884	0.143
盲肠	长度 (mm)	50.8 ±1.1	47.2 ±2.2	51.8 ±3.0	55.2 ±2.5	1.895	0.142
	含内容物质量 (g)	1.604 ±0.059a	0.727 ±0.119b	1.178 ±0.159c	1.407 ±0.134ac	15.213	<0.001
	净鲜质量 (g)	0.268 ±0.017a	0.164 ±0.035b	0.359 ±0.046a	0.281 ±0.039a	4.002	0.012
	干质量(g)	0.033 ±0.011a	0.025 ±0.002b	0.026 ±0.003bc	0.034 ±0.003ac	4.026	0.012
大肠	长度 (mm)	196.1 ±3.8*	170.2 ±7.3b	168.8 ±10.3b	193.8 ±8.7ab	4.519	0.007
	含内容物质量 (g)	1.619 ±0.098a	0.846 ±0.197b	1.366 ±0.263ab	1.534 ±0.221a	4.113	0.011
	净鲜质量 (g)	0.511 ±0.019a	0.369 ±0.039b	0.351 ±0.052b	0.532 ±0.044a	6.147	0.001
	干质量(g)	0.071 ±0.003a	0.053 ±0.006b	0.046 ±0.009b	0.076 ±0.007a	4.618	0.006

以体质量为协变量的协方差分析,数据用矫正 Mean \pm SE 表示;同行不同字母表示平均数间差异显著。

4 讨论

在季节性环境变化过程中,小型哺乳类消化道大小的变化,反映了环境温度、繁殖状况以及食物质量等因素的变化。这些变化随不同的鼠种和地理区域而有所不同,而且不同器官的反应也不一致。随着一年四季的气候及物候变化,野外同一栖息环境提供给野生动物的环境条件差别较大。如冬季食物数量的减少与质量较差,加上低温环境,导致许多啮齿类在冬季消化道质量和体积增大。这些变化随不同的鼠种(杜卫国和鲍毅新,2000;杜卫国等,2001;李俊生等,2003)和地理区域(Hammond *et al.*, 1999;王德华和王祖望,2001;Hume, 2002)或生境(胡忠军等,2002;刘艳华等,2004)而有所不同,而且不同器官(Gross *et al.*, 1985; Hammond, 1993; Hume *et al.*, 2002)的反应也不一致。如Gross等(1985)对草原田鼠(*Microtus ochrogaster*)观察结果表明,低温和高纤维食物共同作用时,总消化道的长度和干质量增加。其中高纤维素食物可使盲肠大小增加,而当低温驯化可使小肠和盲肠的大小增加。杜卫国等(2001)对7种鼠科啮齿动物消化道长度和质量进行比较研究,结果表明种间差异明显表现在消化道长度,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。高寒地区高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)在自然环境中总消化道长度和含内容物组织质量保持相对的稳定

性,无显著的季节性变化,而组织鲜质量和干质量则季节性变化明显。其中,胃的变化相对比较稳定;小肠各指标的变化最为剧烈,各指标一般于草枯黄期和草生长盛期较高;盲肠的干质量于草枯黄期显著增加,其它指标基本维持稳定;大肠的变化较弱(王德华和王祖望,2001)。华北平原旱作区的大仓鼠(*Cricetulus triton*)于种子食物丰富的秋收季节,肠道质量增大;而冬春季的优质食物贫乏,动物采取增加肠道的长度来吸收更多的营养物质,以维持正常的生命活动(王淑卿等,1999)。而家鼠的栖息环境相对稳定,消化道季节变化没有野生鼠种的强烈,浙江的褐家鼠(*Rattus norvegicus*)消化道形态季节差异就不明显,只有小肠的鲜质量、大肠的长度和鲜质量及盲肠的长度冬季明显高于其它季节,低温是引起消化道形态变化的主要胁迫因子(鲍毅新和杜卫国,1997;杜卫国和鲍毅新,2000)。新疆干旱环境中生存的褐家鼠消化道长度和质量的比较分析,也只有总消化道、小肠和大肠的长度有季节差异,冬、春季高于夏、秋季(艾尼瓦尔,2002)。青海高原地区终生营地下生活的高原鼯鼠(*Myospalax baileyi*)由于其洞道系统的气候条件相对稳定,又具有贮存食物的习性、因而在自然条件下消化道形态的调节并不强烈;在面对各种生态因素的影响各器官仅在某些方面进行一些调节,以提高消化效率(王德华和王祖望,2000)。

本文结果显示,洞庭湖区社鼠在自然环境中的

总消化道及其各器官长度和质量随季节的环境条件改变而有较强烈的反应。与浙江社鼠种群的研究结果相似(杜卫国等,1998;杜卫国和鲍毅新,2000)。引起社鼠消化道形态季节适应调节的主要因子是自身能量需要和繁殖活动的影响。社鼠胃的长度在夏、秋季明显增加,应该与其处于繁殖盛期有关。此时社鼠增大胃的目的就是为了满足高耗能的繁殖活动及育幼行为的需要。同时,当地在夏、秋季具较丰富的食物资源的环境条件也是其采取此类相应对策的保证。从其含内容物胃的质量冬季最低,而干质量却以冬、春季较高,夏、秋季较低可得到佐证。也就是说,洞庭湖区的社鼠为适应夏、秋季繁殖盛期能量需求增加,其主要对策是增加摄食量。其实,繁殖季节胃的容量增加以满足此期动物对能量需求增加的现象,在很多研究中均有发现(Madison,1981;王德华等,1995;Derting & Austin, 1998;王淑卿等,1999;Schwaibold & Pillay, 2003)。而洞庭湖区社鼠的消化道其它器官(小肠、盲肠和大肠)指标季节变化亦较明显,基本是在食物资源相对贫乏和气温较低的冬、春季达到较高水平,这是社鼠为了适应此时较低的环境温度和食物数量与质量下降的需要。对于植食性动物而言,能量来源主要是植物。因此食物的数量和质量是影响消化和吸收的重要因素,在季节环境中食物数量与质量的变化是很明显的,冬、春季动物在低温胁迫下,能量需求增加,必然需要增加同化能量才能维持自身的能量平衡(鲍毅新等,2001)。在冬、春季,食物数量和质量降低与能量需求的增加2方面共同作用,可促使动物在消化道形态结构上进行一些适应性的调节。在洞庭湖区域的冬、春季,社鼠可食的植物果实相对较少,可能不易取食到足够较多的食物,必然要提高消化效率以满足自身代谢的需要,消化道质量增加便是动物采取的一种适应对策。许多动物都有相似的对策(Gross *et al.*, 1985; Bozinovic *et al.*, 1990; Hammond & Wunder, 1991;王德华等,1995;杜卫国等,1998;杜卫国和鲍毅新,2000;王淑卿等,1999;王德华和王祖望,2001;艾尼瓦尔,2002;徐金会等,2003;Schwaibold & Pillay, 2003),因此社鼠的小肠、盲肠和大肠的各项指标均呈现冬、春季要比夏、秋季高的普遍特征。

值得注意的是,社鼠总消化道的长度在季节间没有显著性差异,而3个质量指标均有显著性差异。各器官中,小肠和盲肠的长度亦无显著的季节变化,

而质量指标几乎都有显著性的季节差异。这与Derting和Bogue(1993)提出的因动物能量需求而产生的消化道补偿性改变的4个阶段的推论相符合。因为增加消化道长度是一个最耗能的过程,也是动物适应能量需求的最后一个(第4个)阶段,只有在动物能量需求增加的压力较大时才会采用。从社鼠消化道及其各器官的净鲜质量和干质量在冬、春季明显较高,而仅大肠长度的季节差异明显(小肠和盲肠长度的无季节差异)来看,社鼠种群在冬、春季节除采取了消化道补偿性改变之第3阶段的对策(增加了所有消化道的组织质量),仅部分启动最为耗能的消化道补偿性改变的第4阶段(增加消化道的长度)。说明在洞庭湖区季节性环境的变化中,虽然社鼠在冬、春季受到的能量胁迫比较严峻,但还未到非常严峻的地步。

一般认为,不同生境提供给鼠类的食物条件不同,从而影响到消化道指标的变化(胡忠军等,2002;刘艳华等,2004)。但本文对林缘农田捕获的社鼠与林地生境的比较,消化道指标无一显示显著性差异。其实,林地是社鼠的主要栖息生境,林缘农田捕获的社鼠是林地种群扩散到农田的个体,这从当地的大片农田没有社鼠栖息可以得到佐证(张美文等,2003),这可能是形成其消化道指标在生境间变化不显著的原因。

参考文献

- 艾尼瓦尔·吐米尔. 2002. 新疆干旱环境中褐家鼠消化道长度和质量的季节变化及其适应意义. 生态科学, 21(3): 233-235.
- 鲍毅新,杜卫国,林 治,等. 2001. 环境温度对社鼠能量需求和食物同化的影响. 动物学报, 47(5): 597-600.
- 鲍毅新,杜卫国,林 奕,等. 1998. 社鼠和褐家鼠的能量代谢及消化道形态的比较. 兽类学报, 18(3): 202-207.
- 鲍毅新,杜卫国. 1997. 褐家鼠消化道长度和重量的季节动态. 浙江农业大学学报, 23(1): 52-54.
- 鲍毅新. 1993. 社鼠的研究概要. 浙江师范大学学报(自然科学版), 16(2): 50-54.
- 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. 兽类学报, 21(4): 264-270.
- 杜卫国,鲍毅新,俞华英,等. 1998. 社鼠消化道长度和重量的季节变化. 动物学报, 44(1): 112-114.
- 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. 动物学报, 46(3): 271-277.
- 胡忠军,王 勇,张美文,等. 2002. 不同生活条件下东方田鼠内脏器官比较. 生态学杂志, 21(5): 5-8.
- 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. 动物学报, 49(2): 171-178.

- 刘艳华,陈 萌,李兴平. 2004. 不同生境黑线姬鼠消化道长度和重量的比较. 南京林业大学学报(自然科学版), 28(2): 90-92.
- 吕国强,蔡振卿. 1986. 社鼠生物学特性调查初报. 植物保护, (3): 15-17.
- 王德华,王祖望,孙儒泳. 1995. 根田鼠消化道长度和重量的变化及其适应意义. 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. 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. 动物学报, 47(5): 495-501.
- 王淑卿,张知彬,张健旭,等. 1999. 大仓鼠消化道长度和重量变化的初步研究. 动物学杂志, 34(6): 17-21.
- 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. 动物学报, 49(1): 32-39.
- 张美文,黄 璜,王 勇,等. 2006. 洞庭湖区社鼠(*Niviventer confucianus*)繁殖生态研究. 生态学报, 26(4): 884-894.
- 张美文,王凯荣,王 勇,等. 2003. 洞庭湖区鼠类群落的物种多样性分析. 生态学报, 23(11): 2260-2270.
- Borkowska A. 1995. Seasonal changes in gut morphology of the striped field mouse (*Apodemus agrarius*). *Canadian Journal of Zoology*, 73: 1095-1099.
- Bozinovic FF, Nova F, Claudio C. 1990. Seasonal changes in energy expenditure and digestive tract of *Abrothrix andinnus* (Cricetidae) in the Andes Range. *Physiological Zoology*, 63: 1216-1231.
- Bozinovic F, Nespolo RF. 1997. Effect of ambient temperature and energy demands on digestive functions in leaf-eared mice (*Phyllotis darwini*) from central Chile. *International Journal of Biometeorology*, 41: 23-25.
- Derting TL, Bogue BA. 1993. Response of the gut to moderate energy demands in a small herbivore (*Microtus pennsylvanicus*). *Journal of Mammalogy*, 74: 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*). *Canadian Journal of Zoology*, 73: 243-252.
- Derting TL, Austin MW. 1998. Changes in gut capacity with lactation and cold exposure in a species with low rate of energy use, the pine vole (*Microtus pinetorum*). *Physiological Zoology*, 71: 611-623.
- Gross JE, Wang ZW, Wunder BA. 1985. Effect of food quality and energy needs: Changes in gut morphology and capacities of *Microtus ochrogaster*. *Journal of Mammalogy*, 66: 661-667.
- Hammond KA, Roth J, Janes DN, et al. 1999. Morphological and physiological responses to altitude in deer mice *Peromyscus maniculatus*. *Physiological and Biochemical Zoology*, 72: 613-622.
- Hammond KA. 1993. Seasonal changes in gut size of the wild prairie vole (*Microtus ochrogaster*). *Canadian Journal of Zoology*, 71: 820-827.
- Hammond KA, Wunder BA. 1991. The role of diet quality and energy need in the nutritional ecology of a small herbivore. *Microtus ochrogaster*. *Physiological Zoology*, 64: 541-657.
- Hume ID. 2002. Digestive strategies of mammals. *Acta Zoologica Sinica*, 48: 1-19.
- Hume I, Beiglböck C, Ruf T, et al. 2002. Seasonal changes in morphology and function of the gastrointestinal tract of free-living alpine marmots (*Marmota marmota*). *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 172: 197-207.
- Langer P. 2002. The digestive tract and life history of small mammals. *Mammal Review*, 32: 107-131.
- Madison DM. 1981. Time patterning of nest visitation by lactating meadow voles. *Journal of Mammalogy*, 62: 389-391.
- Naya DE, Bacigalupe LD, Bustamante DM, et al. 2005. Dynamic digestive responses to increased energy demands in the leaf-eared mouse (*Phyllotis darwini*). *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 175: 31-36.
- Pei YX, Wang DH, Hume ID. 2001. Effects of dietary fibre on digesta passage, nutrient digestibility, and gastrointestinal tract morphology in the granivorous Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 74: 742-749.
- Schwaibold U, Pillay N. 2003. The gut morphology of the African ice rat, *Otomys sloggetti robertsi*, shows adaptations to cold environments and sex-specific seasonal variation. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical Systemic and Environmental Physiology*, 173: 653-659.

作者简介 张美文,男,1966年生,博士,副研究员。主要从事动物生态学与农业生物灾害防治研究,发表论文60余篇。
E-mail: zhangmw@isa.ac.cn

责任编辑 刘丽娟