



长爪沙鼠肠道形态与能量需求的研究

李巍, 卢领群, 黄河儒, 楼琦, 石巧娟, 萨晓婴

(浙江省医学科学院实验动物中心, 杭州 310013)

【摘要】 目的 分析物种差异与肠道形态及能量代谢的关系, 阐明长爪沙鼠的能量需求。方法 长爪沙鼠、SD大鼠、ICR小鼠各10只, 分别单独饲养于代谢笼内, 收集5 d动物24 h内的粪便、尿液。尿液及粪便经分别测量体积与重量后, 送检尿能与粪能。收集结束后, 所有动物称重, 麻醉后腹主动脉采血致死, 取动物肠道, 测量肠长度。结果 大鼠维持的消化能和代谢能分别为314.56 kJ/d、314.55 kJ/d, 小鼠分别为10.608 kJ/d、9.799 kJ/d, 沙鼠分别为99.828 kJ/d、99.927 kJ/d。大鼠每增加1 g体重需要的消化能和代谢能分别是19.273 kJ和18.831 kJ, 小鼠分别是71.842 kJ和72.390 kJ, 沙鼠分别是56.142 kJ和55.965 kJ。大、小鼠的消化道总长大于沙鼠, 大鼠小肠最长, 而沙鼠有较大的盲肠百分比。结论 三种动物在肠道长度和能量需求方面有显著差异。

【关键词】 能量需求; 肠道形态; 合理饲喂; 食性

【中图分类号】 R-332 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2016) 01-0037-05

doi: 10.3969/j.issn.1671.7856.2016.001.007

Study on the intestinal morphology and energy demands in Mongolian gerbil

LI Wei, LU Ling-qun, HUANG He-ru, LOU Qi, SHI Qiao-juan, SA Xiao-ying

(Zhejiang Academy of Medical Sciences, Zhejiang Center of Laboratory Animals, Hangzhou 310013, China)

【Abstract】 Objective To illuminate energy demands of Mongolian gerbil by analyze the diversity in intestinal morphology and the energy metabolism of different species. **Methods** 10 SD rats, 10 ICR mice and 10 mongolian gerbils were feed individually in metabolic cages. Gather and measure the energy of their feces and urine in 24 h for 5 days. Then, all the animals were weighed and anaesthetized, collect and measure the length of the intestine. **Results** Rats digestive energy and metabolic energy respectively are 314.56 kJ/d and 314.55 kJ/d, mice are 10.608 kJ/d and 9.799 kJ/d, gerbils are 99.828 kJ/d and 99.927 kJ/d. Rats digestive energy and metabolic energy used to increase body weight respectively are 19.273 kJ/g and 18.831 kJ/g, mice are 71.842 kJ/g and 72.390 kJ/g, gerbils are 56.142 kJ/g and 55.965 kJ/g. In these animals, the length of gerbils` digestive tract is the shortest, the length of rats` small intestine is the longest, and the percentage of gerbils` appendix is the largest. **Conclusions** There are significant differences in the length of the gut and energy needs.

【Key words】 Energy demands; Intestinal morphology; Scientific feeding; Eating patterns

长爪沙鼠在分类学上隶属于哺乳纲啮齿目仓鼠科沙鼠亚科, 是一类具有重要研究意义的小型植食性动物。作为在贫瘠环境中驯化、净化而得的一种“多功能”实验动物, 长爪沙鼠已经在动物实验中

[基金项目] 科技支撑计划重点项目(2011BAI15B01); 浙江省科技计划项目(2013C37013, 2013C37012)。

[作者简介] 李巍(1980-), 女, 研究实习员, 硕士, 研究方向: 实验动物疾病模型的研究。E-mail: vivilab@163.com。

[通讯作者] 萨晓婴(1952-), 男, 研究员, 研究方向: 实验动物学。E-mail: saxiaoyin@163.com。

得到了广泛应用。在长爪沙鼠能量需求方面国内研究较少,且尚未引起应有的重视,使用大、小鼠育成饲料进行饲养,是否适合并未做过相关的研究。本实验的目的旨在通过了解不同物种的食性、消化道结构与能量需求,阐明不同物种在能量和营养消化吸收的区别,为合理配置饲料、合理饲喂长爪沙鼠提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 实验动物

清洁级雄性 Z:ZCLA 长爪沙鼠,体重 40 ~ 60 g; 雄性 SD 大鼠,体重 140 ~ 160 g; 雄性 ICR 小鼠,体重 16 ~ 20 g; 各 10 只。由浙江省实验动物中心提供【SCXK(浙)2014-0001】、【SYXK(浙)2014-0008】。饲养在屏障环境。饲喂 Co⁶⁰ 灭菌的鼠育成配合饲料,饮用超滤水。笼器具、垫料等均经 121℃ 高压灭菌后使用。按实验动物使用的 3R 原则给予人道的关怀。

1.1.2 饲料 鼠育成饲料,由上海普路腾生物科技有限公司生产【沪饲证(2014)04001】。

1.2 方法

1.2.1 标本采集

将实验动物单独饲养于代谢笼内,收集 5 d 动物 24 h 粪便、尿液。收集结束后,所有动物称重,麻醉后腹主动脉采血致死,取动物肠道。

1.2.2 指标测定

取肠,测量肠长度。取尿液,测量体积后,送检尿能。取粪便,称重后送检粪能。取育成饲料,送杭州国正检测技术有限公司进行各营养成分含量及能量的检测。

1.3 统计学方法

计量资料以均值 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,采用 SPSS11.5 统计分析软件分析。各组间比较采用两样本均数的 *t* 检验。

2 结果

2.1 饲料营养及总能水平

鼠育成饲料可满足离乳后大、小鼠正常生长所需的营养和能量。鼠育成饲料能量及各种营养成分含量见表 1。

2.2 体重及能量代谢比较

三种实验动物的日增重、日采食能、粪能、尿

能、消化能、代谢能结果详见表 2。根据动物的总能、消化能及代谢能,可计算出动物能量消化率、代谢率,详见表 3。

表 1 鼠育成饲料能量及各种营养成分含量表

项目 Test Items	结果 Test Results
△总能(energy)	16.55(MJ/kg)
粗蛋白(protein)	21.10%
粗脂肪(fat)	4.0%
粗纤维(fiber)	3.3%
粗灰分(ash)	7.8%
钙(calcium)	1.10%
磷(phosphor)	1.00%
钠(sodium)	3103.27(mg/kg)
钾(kalium)	8.62×10^3 (mg/kg)
镁(magnesium)	3.10×10^3 (mg/kg)
△硫(sulfur)	0.22%
铁(ferrum)	587.75(mg/kg)
铜(copper)	15.82(mg/kg)
锰(manganese)	217.69(mg/kg)
硒(selenium)	0.40(mg/kg)
锌(zinc)	95.86(mg/kg)
天门冬氨酸(ASP)	1.74(g/100g)
苏氨酸(THR)	0.76(g/100g)
丝氨酸(SER)	0.91(g/100g)
谷氨酸(GLU)	3.52(g/100g)
脯氨酸(PRO)	1.00(g/100g)
甘氨酸(GLY)	0.76(g/100g)
丙氨酸(ALA)	0.96(g/100g)
胱氨酸(CYS)	0.52(g/100g)
缬氨酸(VAL)	0.84(g/100g)
蛋氨酸(MET)	0.16(g/100g)
异亮氨酸(ILE)	0.70(g/100g)
亮氨酸(LEU)	1.60(g/100g)
酪氨酸(TYR)	0.75(g/100g)
苯丙氨酸(PHE)	0.98(g/100g)
赖氨酸(LYS)	1.20(g/100g)
组氨酸(HIS)	0.49(g/100g)
精氨酸(ARG)	1.09(g/100g)

表 2 动物能量消化代谢试验结果($\bar{x} \pm s, n = 5$)

Tab. 2 The results of energy metabolism test of different animals($\bar{x} \pm s, n = 5$)

种属 Species	大鼠 Rats	小鼠 Mice	沙鼠 Mongolian gerbils
动物日增重, g/d (Increase body weight, IW)	3.35 ± 0.74	1.04 ± 0.08	1.23 ± 0.22
饲料总能, kJ/d (Gross energy, GE)	407.75 ± 13.65	88.07 ± 6.91	175.37 ± 12.66
粪能, kJ/d (energy in feces, FE)	28.67 ± 2.34	2.95 ± 0.39	6.24 ± 0.49
尿能, kJ/d (energy in urine, UE)	1.50 ± 0.36	0.24 ± 0.05	0.12 ± 0.05
消化能, kJ/d (digestible energy, DE)	379.07 ± 15.02	85.12 ± 6.77	169.13 ± 12.57
代谢能, kJ/g (metabolizable energy, ME)	377.58 ± 14.69	84.88 ± 6.80	169.01 ± 12.54

表 3 动物能量消化代谢规律($\bar{x} \pm s, n = 5$)

Tab. 3 The rules of energy digestion and metabolism of different animals($\bar{x} \pm s, n = 5$)

种属 Species	大鼠 Rats	小鼠 Mice	沙鼠 Mongolian gerbils
消化率 DE/GE (%) (the rate of digestible energy)	92.95 ± 0.73	96.65 ± 0.42	96.43 ± 0.35
代谢率 ME/GE (%) (the rate of Metabolic energy)	92.59 ± 0.67	96.37 ± 0.41	96.36 ± 0.36
代谢能/消化能 ME/DE	99.61 ± 0.08	99.71 ± 0.07	99.93 ± 0.03

对表中动物的消化能、代谢能和平均日增重进行线性回归分析, 可得出以下 6 个方程:

大鼠: $DE = 314.560 + 19.273 IW, R^2 = 0.905$ (1)

$ME = 314.550 + 18.831 IW, R^2 = 0.902$ (2)

小鼠: $DE = 10.608 + 71.842 IW, R^2 = 0.642$ (3)

$ME = 9.799 + 72.390 IW, R^2 = 0.645$ (4)

沙鼠: $DE = 99.828 + 56.142 IW, R^2 = 0.941$ (5)

$ME = 99.927 + 55.965 IW, R^2 = 0.940$ (6)

由以上回归方程可知, 动物维持和每增加 1 g 体重需要的消化能和代谢能见表 4、5。在本实验条件下, 大鼠和沙鼠的消化能、代谢能^[1]都与日增重有明显的正相关性($R^2 \geq 0.9$), 小鼠的消化能、代谢能与日增重无明显线性关系($R^2 < 0.9$)。由表可知, 体重最大的大鼠维持所需能量最多, 小鼠增加单位体重需要能量的最多。

表 4 动物维持所需能量

Tab. 4 The requirement of energy of different animals

种属 Species	大鼠 Rats	小鼠 Mice	沙鼠 Mongolian gerbils
消化能(kJ/d) (the digestible energy)	314.56	10.608	99.828
代谢能(kJ/d) (the Metabolic energy)	314.55	9.799	99.927

表 5 动物增重所需能量

Tab. 5 The energy to gain weight of different animals

种属 Species	大鼠 Rats	小鼠 Mice	沙鼠 Mongolian gerbils
消化能(kJ/g) (the digestible energy)	19.273	71.842	56.142
代谢能(kJ/g) (the Metabolic energy)	18.831	72.390	55.965

表 6 三种动物肠道长度比较($\bar{x} \pm s, n = 10$)Tab. 6 The length of intestinal tract about different animals($\bar{x} \pm s, n = 10$)

种属 Species	大鼠 Rats	小鼠 Mice	沙鼠 Mongolian gerbils
十二直肠(Twelve rectum)	12.02 ± 1.42	9.10 ± 0.93	10.90 ± 2.82
空/回肠(jejunum / ileum)	108.43 ± 7.30	43.58 ± 2.62	25.33 ± 6.18
盲肠(appendix)	4.89 ± 0.49	3.11 ± 0.22	5.13 ± 1.05
结肠(colon)	18.95 ± 2.18	12.73 ± 0.87	20.91 ± 2.57
直肠(rectum)	3.47 ± 0.31	1.22 ± 0.17	1.91 ± 0.42
十二直肠%(Twelve rectum %)	8.14 ± 0.91	13.05 ± 1.31	17.45 ± 5.51 ^{△*}
空/回肠%(jejunum / ileum %)	73.34 ± 2.13	62.46 ± 1.71	38.59 ± 7.40
盲肠%(appendix %)	3.32 ± 0.41	4.47 ± 0.34	8.07 ± 1.51 ^{△△**}
结肠%(colon %)	12.85 ± 1.53	18.27 ± 1.12	32.85 ± 3.43 ^{△△**}
直肠%(rectum %)	2.35 ± 0.23	1.75 ± 0.23	3.05 ± 0.81

注:与大鼠比较, $\Delta P < 0.05$, $\Delta\Delta P < 0.01$; 与小鼠比较, $* P < 0.05$, $** P < 0.01$ 。

Note: Compared with rats, $\Delta P < 0.05$, $\Delta\Delta P < 0.01$; Compared with mice, $* P < 0.05$, $** P < 0.01$.

2.3 肠道长度比较

肠道是营养物质吸收的主要场所,不同营养成分在肠道的不同部位吸收。三种动物肠道不同部位长度及与肠道总百分比见表 6,与其他两种动物相比,沙鼠肠道小肠所占的百分比较低,而盲肠和结肠所占的百分比则较高,反映出沙鼠的食性和对营养物质的消化吸收不同于其他两种动物。

3 讨论

小型哺乳动物的生境和食性是消化道形态的决定因素,而后者与能量的获取密切相关。能量的获取能力、分配速率和效率对动物的生存繁衍起着至关重要的作用^[2]。小型哺乳动物获取食物后,需迅速有效进行消化吸收,获得可供自身利用的能量。研究证明^[3-4],野生动物的能量摄入率更大程度地取决于动物消化道处理食物的效率而非食物可得性,肠道结构特征直接影响着动物消化道处理食物的效率。适应动物消化道容纳和处理食物的能力,以及消化和吸收营养物质的能力是限制其能量收支的重要因素^[5,6]。消化道各器官的容量直接影响食物滞留时间,进而影响消化吸收率而影响动物获能效率。对于小型啮齿动物而言,不同食性是影响消化道差异的主要原因之一^[7-10]。Perrin 和 Curits^[11]通过对比南非 19 种啮齿类动物消化道形态结构与食性的关系,从进化论的角度阐明因食性差异引发物种间消化器官的形态不同。按照物种进化遵循的“适者生存”法则,由于生存环境和食性的不同,动物消化道产生了明显差异,形成与其生境、食性相适应的形态、结构特征。能量获取能力取决于消化道形态结构,而消化道形态结构与食性密切相关。本研究涉及到的这三种实验动物,野生

的长爪沙鼠主要居于干旱沙质土壤地区,以植物的部分及其种籽为主要食料,属于草食动物。而大鼠是由野生褐家鼠驯化后所获得的变种,小鼠是由小家鼠演变而来。家鼠的食性和生境与长爪沙鼠相差甚大。虽然经过了长时间的人工驯养、杂交和净化,饲养的环境和食物都相同,但上述的研究结果及大规模的实验室监测数据表明,三种实验动物的肠道结构仍存在一定的差异,这使得三种实验动物在能量获取方面也不尽相同。

在动物食性与消化道形态结构的对应关系研究中,有人发现,动物的消化道长度和重量与其食性密切相关^[9]。通过比较不同食性动物的消化道发现,其长度差异比重量差异更明显,大肠和盲肠较小肠更能反映动物的食性差异。小肠接受胃液、胰液和胆汁,最为食物消化和营养吸收最重要部位,其形态学特征的变化反应了不同物种对能量需求的异同,小肠长度或重量的增加可能意味着动物对能量需求较高。盲肠和大肠前段是纤维素的发酵部位,植物细胞壁消化主要依赖于食物在发酵腔内的滞留时间,纤维素经盲肠分解后的营养物质主要由大肠吸收。当食物质量下降、纤维素含量升高时,盲肠和大肠的大小增加。大肠还是水和离子的主要吸收部位。Korn^[12]在比较南非热带稀疏草原 15 种啮齿动物消化道长度与食性的关系时发现,对啮齿类而言,杂食者消化道的长度明显要长于食种子和食昆虫类。本试验中,人工饲养前属杂食的大、小鼠的消化道总长大于属食种籽类的沙鼠,能量需求最高的大鼠小肠最长,而吃植物茎叶的沙鼠有较大的盲肠百分比。在能量需求方面^[13],动物随着体重增加,其总能量需求以降低的速率增加,而消化道容量则以与体重相同的速率增加。即单位

体重消化道容量保持恒定,而能量需求则降低。这样,动物个体越大,每单位代谢需要的消化道容量则越大;考虑到这种关系,小型食草兽更容易受消化能力的胁迫,虽然大动物需要更多的总能量,而小动物单位体重则需要更多的能量。本研究证实了这一点,体重最大的大鼠需要最多的总能量,而体重最小的小鼠单位体重需要最多的能量。

通过本实验,可以看出同种饲料饲养的三种实验动物的肠道结构并不相同,反应出动物的能量吸收有一定的差异。但人工饲养前后生境的差别使得动物在能量利用方面存在的差别。人工饲养前,家鼠处于半自然环境,而沙鼠处于野外环境。野外环境较半自然环境复杂,食物可得性差,因此,长爪沙鼠因觅食和防御等活动而消耗的能量高于家鼠故每日的能量需求也高,人工饲养后长爪沙鼠的能量需求降低。特别要考虑,长爪沙鼠半数时间(秋、冬两季)以草籽为主要食物,而其余时间以植物茎叶为主要食物,食物营养成分存在巨大变化。为缓解野外环境的生存压力,沙鼠在脂质代谢及能量存储等方面有异于家鼠。野外环境时,长爪沙鼠的脂肪有随年龄而增加的现象^[14]。且食物质量较好时沙鼠会发生脂质蓄积^[15]。人工饲养后,其处于相对安逸的生活环境及良好的食物可得性,耗能下降,产生能量过剩,存在能量物质(包括脂质)的蓄积。本实验室的动态监测显示,人工饲养的长爪沙鼠血脂 TG 含量随饲喂时间延长而升高的情况,可由 0.73 ± 0.70 mmol/L 升高到 2.21 ± 3.14 mmol/L,高 TG 发生率为 28.57%。目前长爪沙鼠人工饲养饲喂的饲料为大、小鼠的育成饲料,沙鼠与大、小鼠的食性、消化道结构及能量需求都有较大的差别。应参考动物的食性及能量需求,对长爪沙鼠制定合理的饲料配方,做到合理饲喂。

参考文献:

- [1] 刘道杨,付戴波,瞿明仁,等. 12~13 月龄湘中黑牛的能量代谢规律与需要量[J]. 动物营养学报,2013,25(12): 3013-3019.
- [2] Roberts S B, Rosenberg I. Nutrition and aging: changes in the regulation of energy metabolism with aging [J]. *Physiol Rev*, 2006, 86: 651-667.
- [3] Kersten M., Visser, W. The rate of food processing in the Oystercatcher: Food intake and energy expenditure are constrained by a digestive bottleneck [J]. *Funct. Ecol*, 1996, 10:440-448.
- [4] Kvist A, Lindström A. Maximum daily energy intake: It takes time to lift the metabolic ceiling [J]. *Physiol Biochem Zool*, 2000, 73(1):30-6.
- [5] Derting T L, Bogue B A. Responses of the gut to moderate energy demands in a small herbivore [J]. *Journal of Mammalogy*, 1993, 74(1):59-68.
- [6] Derting T. L, Noakes E. B. Seasonal changes in gut capacity in the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) and meadow vole (*Microtus pennsylvanicus*). *Can. J. Zool.*, 1995, 73: 243-252.
- [7] 李俊生,宋延龄,曾治高. 7 种荒漠啮齿动物食性组成与消化道长度比较[J]. 动物学报,2003,49(2):171-178.
- [8] 柳劲松,孙儒泳,王德华. 三种啮齿动物的消化道形态特征[J]. 动物学杂志,2007,42(1):8-13.
- [9] 杜卫国,鲍毅新,刘季科. 七种鼠科啮齿动物消化道长度和重量的比较[J]. 兽类学报,2001,21(4):264-270.
- [10] 王德华. 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,1995,15(1):53-59.
- [11] Perrin M R, Curtis B A. Comparative morphology of the digestive system of 19 species of Southern African myomorph rodents in relation to diet and evolution [J]. *S. Afr. J. Zool.*, 1980, 15(1):22-33.
- [12] Korn H. Intestine lengths of Southern African savanna rodents and insectivores: intra- and inter-specific comparisons [J]. *Journal of Zoology*, 1992, 228(3):455-460.
- [13] Demment MJ, Van Soest PJ. A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and nonruminant herbivores [J]. *Am Nat*, 1985, 125:641-672.
- [14] 刘新宇,潘茜,王德华. 年龄对布氏田鼠和长爪沙鼠能量代谢的影响[J]. 中国科学:生命科学,2014,44(9):920-928.
- [15] 王海芳. 食物质量对长爪沙鼠体重和褐色脂肪组织重量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2005,40(2):146-148.

[修回日期]2015-11-23