

# 大绒鼠消化道形态的季节变化

朱万龙 贾婷 王睿 练硝 王政昆\*

(云南师范大学生命科学学院 生物能源持续开发利用教育部工程研究中心 昆明 650092)

**摘要:** 为探讨栖息于横断山地区大绒鼠 (*Eothenomys miletus*) 的消化道特征与环境之间的适应关系,对自然环境中大绒鼠消化道各项指标进行了测定。实验分别测定了不同季节大绒鼠胃、小肠、大肠、盲肠的长度,及其含内容物重、去内容物重、干组织重。结果表明,大绒鼠消化道特征存在季节性变化,随着温度降低、食物质量下降,大绒鼠的小肠、盲肠长度增加;各器官重量均在6月份最大;大绒鼠在低温、食物质量下降、繁殖等胁迫因子作用下,通过增加食物摄入、调节消化道形态来满足能量需求的增加,维持正常的生理机能。大绒鼠的消化道在不同季节中表现出的变化模式,与其低纬度高海拔、年平均温度较低的生存环境有关,从一方面反映了该物种在温度胁迫下的生存机制和适应对策。

**关键词:** 大绒鼠; 消化道; 季节变化

**中图分类号:** Q958, Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)02-121-06

## Seasonal Variations of the Digestive Tract Morphology in *Eothenomys miletus*

ZHU Wan-Long JIA Ting WANG Rui LIAN Xiao WANG Zheng-Kun\*

(School of Life Sciences of Yunnan Normal University, Engineering Research Center of Sustainable Development and Utilization of Biomass Energy Ministry of Education, Kunming 650092, China)

**Abstract:** In order to study the relation of digestive tract and circumstances in *Eothenomys miletus*, weights and length *et al* of stomach, small intestine, large intestine, caecum were measured in their nature environment. The total digestive tracts showed significant seasonal adjustment in wet and dry weights. Most of the measurements of the gut were tend to be larger in cold season than in warm season. The length of small intestine and caecum in *E. miletus* increased in low temperature, poor food quantity and propagation; the weights of the above mentioned organs of *E. miletus* were largest in June. As to maintain the normal physiological function in low temperature, *E. miletus* increased energy intake and adjusted the length of digestive tract. The changes pattern of *E. miletus* in different seasons were related to their microenvironment such as low latitude, high elevation, and lower average ambient temperature. This suggests that the adjustments in capacity and size of the gastrointestinal tract play an important role in their digestive strategies of *E. miletus* in natural environment.

**Key words:** *Eothenomys miletus*; Digestive tract; Seasonal variations

作为食物消化吸收的场所,动物消化道形态结构与食性、食物质量及能量需求等密切相关,许多研究表明,消化道形态的改变在动物适应能量消耗增加或食物质量降低等方面占重要的地位<sup>[1]</sup>。当动物处于低温环境或繁殖过程中时,能量需求比较高,动物可通过调节消化道的

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30260021, 30560026), 科技强省重点项目(No. 2007C000Z1), 云南省教育厅科学研究基金项目(08J0014);

\*通讯作者, E-mail: wzk\_930@yahoo.com.cn;

第一作者介绍 朱万龙,男,硕士研究生;研究方向:动物生理生态; E-mail: zwl\_8307@163.com。

收稿日期:2008-09-24, 修回日期:2009-01-02

形态来提高消化效率,获得更多的能量。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<sup>[1,2]</sup>,消化道的形态学和生理学特征可以决定动物对营养物质及能量摄入的吸收效率以及吸收速率<sup>[3,4]</sup>。有些学者认为消化道的形态学特征可以用来指示野外小型草食兽的能量压力水平,如相对长的小肠可能意味着动物的能量需求增加(如低温、哺乳、活动性高等);如果胃较大,说明动物可能正值哺乳期(雌体);盲肠大小的增加表明动物食性向高纤维素含量的食物转换<sup>[4]</sup>。同时,消化道含内容物组织重量也是衡量动物每日摄食的一个很好的指标<sup>[5]</sup>。在进化过程中,很多小型哺乳动物通过调节消化系统的形态(包括长度、重量及消化酶活性等)来保持食物处理和消化系统恒定方面的平衡<sup>[6,7]</sup>。

横断山脉地区地处古北界与东洋界两大区系交汇处,是我国特有的高山峡谷地区;哺乳动物种类丰富,特有种类和古老种类比例高,被誉为“第四纪冰期动物的避难所”<sup>[8]</sup>;同时,该地区是“南北动物迁移和扩散的走廊和通道”<sup>[9]</sup>。由于横断山特殊的地质地貌和环境温度等条件的地带性及非地带性变化,可能对小型哺乳动物生理生态特征产生不同程度的影响。绒鼠属(*Eothenomys*)是田鼠亚科中的一个特殊的类群,除两种分布于日本外,其余均分布于我国的横断山脉及其附近地区。绒鼠属中的大绒鼠(*E. miletus*)是横断山脉地区的特有类群及典型代表<sup>[10,11]</sup>,栖息于高原山林区,是中国的特有种,在田鼠亚科中占有特殊的地位。在云南,大绒鼠分布在剑川、鹤庆、保山等地,是滇西纵谷型鼠疫的主要动物宿主,也是当地主要害鼠<sup>[12]</sup>。本研究以大绒鼠为对象,对自然环境中其消化道形态的季节变化进行了测定,为研究自然环境中大绒鼠的能量压力水平及其适应特征提供实验依据。

## 1 研究方法

**1.1 动物来源** 实验动物于2007年3月( $n = 31$ )、6月( $n = 14$ )、9月( $n = 13$ )、11月( $n = 20$ )

用鼠笼捕自云南省剑川县石龙村(北纬 $26^{\circ}22'$ ,东经 $99^{\circ}48'$ ),海拔 $2\,550 \sim 2\,615$  m的农田、灌丛中。为了避免动物取食节律的误差,白天的捕获时间为 $10:00 \sim 18:00$ 时。该地区位于云岭山脉的中部(属横断山),北纬 $26^{\circ}15' \sim 26^{\circ}45'$ ,东经 $99^{\circ}40' \sim 99^{\circ}55'$ ,境内最高峰为雪邦山(海拔 $4\,295$  m),地势高差悬殊,山脉南北走向。年平均气温 $9.1^{\circ}\text{C}$ ;1月平均最低温度为 $-4.0^{\circ}\text{C}$ ,7月平均最高温度为 $24.1^{\circ}\text{C}$ ,低于同纬度平原地区;气温随海拔的增加而显著降低。该地区干湿季节分明,表现出明显的温带季风气候特征<sup>[11]</sup>。

**1.2 动物处理** 实验动物捕获后均选择成年个体作为实验样本,带回云南省剑川县地方病防治站石龙村监测点,断颈处死,称量体重,记录性别、繁殖状态等,然后进行解剖。仔细将胃肠器官完全取出,分离出胃、小肠、大肠及盲肠,将各器官小心剔除肠系膜及其他组织,平展为最大长度,不要拉伸,然后测量各部分长度( $\pm 1$  mm)。用分析天平称量各器官的重量( $\pm 0.1$  mg)。每个器官在滤纸上干燥后,放于锡铂纸上,称量其含内容物器官重;然后用解剖剪将器官纵切,用生理盐水充分冲洗内容物,用滤纸干燥,称量其去内容物器官重,即鲜重;最后置烘箱内( $60^{\circ}\text{C}$ )烘至恒重,称量干重<sup>[13]</sup>。

**1.3 统计分析** 数据以2007年3月、6月、9月、11月统计。所捕获的大绒鼠的雌雄比3月为 $11/20$ ,6月为 $9/5$ ,9月为 $8/5$ ,11月为 $8/12$ ,不同季节大绒鼠消化道各指标雌雄之间差异不显著( $P > 0.05$ ),故合并计算。实验大绒鼠中包括孕鼠,雌性实验大绒鼠中6月和9月孕鼠的比例分别为 $5/9$ 和 $3/8$ ,但孕鼠与非孕雌鼠的各指标差异均不显著(所有 $P > 0.05$ ),故两者也可合并统计。为了去除动物的体重对实验结果的影响,实验过程中各季节所挑选的实验动物平均体重在( $33.01 \pm 4.83$ ) g范围内,体重无显著性差异( $F = 2.133, P > 0.05, n = 78$ ),故未进行体重矫正。采用SPSS 15.0软件包进行实验数据的统计分析。季节性差异采用单因子方差分析(One-way ANOVA), $P < 0.05$ 被认为差异显

著。数据均以平均值  $\pm$  标准差 (Mean  $\pm$ SD) 表示。

## 2 结 果

**2.1 总消化道的季节变化** 大绒鼠消化道总长以 3 月份最长, 9 月份最短。单因子方差分析表明季节之间差异极显著 ( $F_{(3,76)} = 9.511, P < 0.01$ ), 其中 6 月、9 月与 3 月差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 而 11 月与 3 月、9 月, 6 月与 9 月、11 月均表现为差异不显著 ( $P > 0.05$ )。不同季节间, 大绒鼠消化道总含内容物重差异显著

( $F_{(3,76)} = 2.829, P < 0.05$ ), 其中 6 月、9 月与 3 月差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其他月份间均表现为差异不显著 ( $P > 0.05$ )。总去内容物重差异显著 ( $F_{(3,76)} = 3.750, P < 0.05$ ), 其中 6 月与 3 月差异显著 ( $P < 0.05$ ), 6 月与 11 月差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 9 月与 11 月差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其他月份间均表现为差异不显著 ( $P > 0.05$ )。总干重均差异显著 ( $F_{(3,76)} = 3.194, P < 0.05$ ), 其中 6 月与 3 月差异显著 ( $P < 0.05$ ), 9 月、11 月与 6 月差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其他月份间均表现为差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (表 1)。

表 1 大绒鼠总消化道的季节变化

Table 1 Seasonal variations in total digestive tract morphology in *Eothenomys miletus* (Mean  $\pm$ SD)

	3 月 March	6 月 June	9 月 September	11 月 November
体重 Body weight (g)	31.15 $\pm$ 2.85 <sup>a</sup>	36.28 $\pm$ 3.11 <sup>a</sup>	34.27 $\pm$ 6.21 <sup>a</sup>	30.73 $\pm$ 4.96 <sup>a</sup>
消化道总长度 Total length (mm)	78.95 $\pm$ 5.38 <sup>b</sup>	69.44 $\pm$ 5.23 <sup>a</sup>	68.10 $\pm$ 4.50 <sup>a</sup>	73.45 $\pm$ 4.49 <sup>ab</sup>
消化道含内容物重 Weight with contents (g)	5.192 1 $\pm$ 0.593 4 <sup>a</sup>	6.040 8 $\pm$ 0.842 7 <sup>b</sup>	6.080 1 $\pm$ 0.700 4 <sup>b</sup>	5.940 2 $\pm$ 0.949 9 <sup>ab</sup>
消化道去内容物重 Wet weight (g)	1.683 3 $\pm$ 0.159 8 <sup>a</sup>	2.164 3 $\pm$ 0.200 8 <sup>b</sup>	1.891 8 $\pm$ 0.102 1 <sup>b</sup>	1.722 3 $\pm$ 0.110 9 <sup>a</sup>
消化道干重 Dry weight (g)	0.221 3 $\pm$ 0.054 3 <sup>a</sup>	0.342 1 $\pm$ 0.104 5 <sup>b</sup>	0.254 6 $\pm$ 0.009 2 <sup>a</sup>	0.281 1 $\pm$ 0.029 3 <sup>a</sup>

单因子方差分析, 上标字母相同时, 表示两者之间的差异不显著, 字母不同时, 表示两者之间差异显著,  $P < 0.05$ 。

One-way ANOVA test, different letters in the upside of value indicates significant at  $P < 0.05$ .

表 2 大绒鼠消化道各器官的季节变化

Table 2 Seasonal variations in different organs of digestive tract in *Eothenomys miletus* (Mean  $\pm$ SD)

	3 月 March	6 月 June	9 月 September	11 月 November
<b>胃 Stomach</b>				
含内容物重 Weight with contents (g)	0.992 1 $\pm$ 0.107 8 <sup>a</sup>	2.063 3 $\pm$ 0.273 1 <sup>b</sup>	1.830 7 $\pm$ 0.157 9 <sup>b</sup>	1.302 2 $\pm$ 0.502 1 <sup>a</sup>
去内容物重 Wet weight (g)	0.433 4 $\pm$ 0.048 9 <sup>a</sup>	0.521 1 $\pm$ 0.056 7 <sup>a</sup>	0.489 8 $\pm$ 0.034 5 <sup>a</sup>	0.462 2 $\pm$ 0.034 3 <sup>a</sup>
干重 Dry weight (g)	0.075 2 $\pm$ 0.008 9 <sup>a</sup>	0.159 1 $\pm$ 0.049 1 <sup>b</sup>	0.085 2 $\pm$ 0.008 2 <sup>a</sup>	0.098 9 $\pm$ 0.009 9 <sup>a</sup>
<b>小肠 Small intestine</b>				
长度 Length (mm)	423.67 $\pm$ 31.62 <sup>b</sup>	377.86 $\pm$ 31.94 <sup>a</sup>	379.36 $\pm$ 26.57 <sup>a</sup>	395.11 $\pm$ 24.68 <sup>ab</sup>
含内容物重 Weight with contents (g)	1.199 8 $\pm$ 0.462 2 <sup>a</sup>	1.992 1 $\pm$ 0.421 0 <sup>b</sup>	1.780 9 $\pm$ 0.368 9 <sup>b</sup>	1.673 4 $\pm$ 0.189 4 <sup>ab</sup>
去内容物重 Wet weight (g)	0.492 1 $\pm$ 0.061 2 <sup>a</sup>	0.779 1 $\pm$ 0.069 2 <sup>c</sup>	0.671 2 $\pm$ 0.030 5 <sup>b</sup>	0.508 3 $\pm$ 0.050 7 <sup>a</sup>
干重 Dry weight (g)	0.040 2 $\pm$ 0.018 8 <sup>a</sup>	0.078 1 $\pm$ 0.01 7 <sup>b</sup>	0.059 2 $\pm$ 0.010 2 <sup>b</sup>	0.065 2 $\pm$ 0.007 6 <sup>b</sup>
<b>大肠 Large intestine</b>				
长度 Length (mm)	229.75 $\pm$ 12.66 <sup>c</sup>	209.94 $\pm$ 16.97 <sup>b</sup>	195.14 $\pm$ 13.87 <sup>ab</sup>	219.77 $\pm$ 19.34 <sup>bc</sup>
含内容物重 Weight with contents (g)	0.522 2 $\pm$ 0.080 5 <sup>a</sup>	0.681 4 $\pm$ 0.108 3 <sup>b</sup>	0.597 2 $\pm$ 0.086 5 <sup>ab</sup>	0.552 3 $\pm$ 0.068 9 <sup>a</sup>
去内容物重 Wet weight (g)	0.298 3 $\pm$ 0.029 6 <sup>a</sup>	0.514 5 $\pm$ 0.038 7 <sup>c</sup>	0.307 5 $\pm$ 0.008 1 <sup>ab</sup>	0.332 4 $\pm$ 0.020 1 <sup>b</sup>
干重 Dry weight (g)	0.035 1 $\pm$ 0.008 9 <sup>a</sup>	0.048 2 $\pm$ 0.009 4 <sup>c</sup>	0.045 1 $\pm$ 0.000 9 <sup>bc</sup>	0.411 2 $\pm$ 0.001 7 <sup>ac</sup>
<b>盲肠 Caecum</b>				
长度 Length (mm)	139.75 $\pm$ 9.50 <sup>c</sup>	105.12 $\pm$ 3.55 <sup>a</sup>	107.98 $\pm$ 4.62 <sup>a</sup>	119.60 $\pm$ 4.47 <sup>b</sup>
含内容物重 Weight with contents (g)	2.480 3 $\pm$ 0.629 7 <sup>c</sup>	1.302 2 $\pm$ 0.210 1 <sup>a</sup>	1.848 7 $\pm$ 0.244 5 <sup>b</sup>	2.398 6 $\pm$ 0.402 1 <sup>c</sup>
去内容物重 Wet weight (g)	0.452 3 $\pm$ 0.022 1 <sup>b</sup>	0.350 6 $\pm$ 0.020 1 <sup>a</sup>	0.420 2 $\pm$ 0.009 5 <sup>b</sup>	0.431 1 $\pm$ 0.009 3 <sup>b</sup>
干重 Dry weight (g)	0.068 1 $\pm$ 0.010 8 <sup>a</sup>	0.057 2 $\pm$ 0.006 9 <sup>a</sup>	0.059 1 $\pm$ 0.003 3 <sup>a</sup>	0.074 8 $\pm$ 0.005 8 <sup>a</sup>

单因子方差分析, 上标字母相同时, 表示两者之间的差异不显著, 字母不同时, 表示两者之间差异显著,  $P < 0.05$ 。

One-way ANOVA test, different letters in the upside of value indicates significant at  $P < 0.05$ .

**2.2 各消化器官形态的季节变化** 单因子方差分析结果表明,不同季节中,大绒鼠胃干重差异极显著 ( $F_{(3,76)} = 7.311, P < 0.01$ ),胃含内容物重差异显著 ( $F_{(3,76)} = 2.928, P < 0.05$ )。胃干重和含内容物重均 6 月最高,3 月最低。胃去内容物重差异不显著 ( $F_{(3,76)} = 1.723, P > 0.05$ ) (表 2)。不同季节间小肠长度、小肠含内容物重、去内容物重均差异极显著 ( $F_{(3,76)} = 5.486, P < 0.01$ ;  $F_{(3,76)} = 7.412, P < 0.01$ ;  $F_{(3,76)} = 8.164, P < 0.01$ ),小肠干重差异显著 ( $F_{(3,76)} = 2.182, P < 0.05$ )。小肠含内容物重、去内容物重和干重均 6 月最高,3 月最低,而小肠长度 3 月最高,6 月最低 (表 2)。不同季节间大肠长度、大肠含内容物重、去内容物重均差异极显著 ( $F_{(3,76)} = 2.930, P < 0.01$ ;  $F_{(3,76)} = 6.926, P < 0.01$ ;  $F_{(3,76)} = 8.307, P < 0.01$ ),大肠干重差异显著 ( $F_{(3,76)} = 2.817, P < 0.05$ )。大肠长度 3 月最高,6 月最低,而大肠含内容物重、去内容物重和干重均 6 月最高,3 月最低 (表 2)。不同季节间盲肠的长度差异极显著 ( $F_{(3,76)} = 5.615, P < 0.01$ ),盲肠含内容物重、去内容物重差异显著 ( $F_{(3,76)} = 2.723, P < 0.05$ ;  $F_{(3,76)} = 3.255, P < 0.05$ )。盲肠长度 3 月最高,6 月最低,而盲肠含内容物重、去内容物重均 6 月最高,3 月最低。盲肠干重差异不显著 ( $F_{(3,76)} = 0.357, P > 0.05$ ) (表 2)。

### 3 讨论

**3.1 消化道总长度和重量的季节变化及其适应意义** 消化道形态结构的改变与能量需求或能量利用有密切的关系,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<sup>[14]</sup>。当外界环境发生变化时,许多小型哺乳动物可以通过调节消化道来适应食物质量的变化,这种调节主要表现在加快食物周转速率、改变消化道容积等方面<sup>[15-18]</sup>,这些可使小型哺乳动物减少巢外取食和低温暴露的机会<sup>[17]</sup>。小型哺乳动物的消化道的季节变化研究已经有很多报道,不同物种消化道的变化趋势不同<sup>[13,19-22]</sup>。

大绒鼠消化道变化趋势是冬季最长,夏季最短,这可能与大绒鼠特殊的生存环境有关。大绒鼠生活的横断山地区是典型的低纬度高海拔地区,当冬季来临,食物质量变差,面临的食物压力增加,其通过增加小肠、盲肠及消化道总长度等来增加能量,以抵御寒冷,适应其生活环境的变化。6~10 月间是大绒鼠的繁殖期<sup>[23]</sup>,本实验中,6 月和 9 月捕捉的雌性大绒鼠多数为孕鼠,胎仔数平均为 2~4 只。在繁殖期,大绒鼠需要摄取更多的食物、消耗大量的能量来完成妊娠、哺乳等过程,因此消化道总重量在夏季最大。尽管大绒鼠消化道总长度在夏季较短,但是 6~9 月食物丰富,温度胁迫的影响较小,其同样可以获得足够的能量来满足需要。

### 3.2 消化道各部分的季节变化及其适应意义

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,加大胃容积可以延长食物在消化道内的滞留时间,可以显著提高消化率<sup>[5]</sup>。除此以外,胃的变化还可能与其繁殖有关,繁殖季节胃的长度及重量增加可以满足此期动物对能量需求的增加<sup>[4,24]</sup>。6 月和 9 月为大绒鼠繁殖期,这种情况下,为了满足繁殖所需要的大量能量,大绒鼠就需要增加摄食量,因此胃重在其繁殖季节较大。

小肠是食物消化和营养吸收的主要场所,其变化往往反映了动物对能量的需求,随能量需求的增加(如处于繁殖、低温时),小肠的反应最为剧烈<sup>[25]</sup>。当动物处于繁殖季节或暴露在低温环境条件下,其能量需求增加,小肠长度也明显增加,动物通过增加小肠长度及内壁微绒毛等来适应繁殖、低温或食物质量下降带来的影响<sup>[26,27]</sup>。大绒鼠小肠长度 3 月最高,6 月最低,表明其在冬季所需要的能量较高,这与大绒鼠冷驯化条件下体重、体温降低,维持生命活动所需的绝对能量减少是密切相关的<sup>[28]</sup>。6 月虽然小肠长度较短,但是其可以通过增加摄入量来获得更多的能量以满足繁殖等需要。

大肠是水分和离子重吸收的重要部位,大肠的变化主要与动物的食物质量、水代谢有关<sup>[29]</sup>。大绒鼠大肠的各项指标均是在食物质

量较好、雨量较为充沛的 6 月和 9 月较高。这与石龙地区独特的气候条件是相适应的。石龙地区干湿季节分明,昼夜温差大,白天太阳辐射较强。6~9 月是该地区的雨季,降雨量较为充沛且白天气温较高,而 10 月到次年 5 月是该地区的旱季,降雨量很少,日间温度降低。大绒鼠通过改变大肠的长度和重量,以适应环境的变化。

盲肠是纤维素的发酵部位,主要反映食物质量的变化。当食物中纤维素含量高或低温驯化时,盲肠增大<sup>[14]</sup>。当食物质量降低时,盲肠的增大程度超过其他器官,因高纤维素食物,主要在盲肠内发酵消化<sup>[30]</sup>。大绒鼠盲肠的各项指标均在温度较低、食物质量相对较差的冬春季较高,这是因为较大的盲肠长度和重量可以获得更多的能量来维持其正常的生命活动。

总之,大绒鼠在不同季节表现出的消化道变化特征,反映了该物种对横断山地区年温差小、日温差大,干湿季节分明的独特环境特征的适应模式,即通过增加小肠、盲肠的长度,增加消化道总长度或总重量等来满足寒冷或繁殖导致的能量需求增加,适应其生活环境的变化。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Derting T L, Bogue B A. Responses of the gut to moderate energy demands in a small herbivore (*Microtus pennsylvanicus*). *Journal of Mammalogy*, 1993, **74**: 59 ~ 68.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] Corp N, Gorman M L, Speakman J R. Apparent absorption efficiency and gut morphometry of wood mice, *Apodemus sylvaticus*, from two distinct populations with different diets. *Physiol Zool*, 1997, **70**: 610 ~ 614.
- [ 4 ] Wunder B A. Morphophysiological indicators of the energy state of small mammals. In: Tomasi T E, Horton T A eds. *Mammalian Energetics: Interdisciplinary Views of Metabolism and Reproduction*. Ithaca, New York (USA): Comstock Pub Assoc, 1992, 83 ~ 104.
- [ 5 ] Green D A, Millam J S. Changes in gut dimensions and capacity of *Peromyscus maniculatus* relative to diet quality and energy needs. *Can J Zool*, 1987, **65**: 2 159 ~ 2 162.
- [ 6 ] Diamond J M, Karasov W H. Trophic control of the intestinal mucosa. *Nature*, 1983, **304**: 18.
- [ 7 ] Naya D E, Bacigalupe L D, Bustamante DM, et al. Dynamic digestive responses to increased energy demands in the leaf-eared mouse (*Phyllotis darwini*). *J Comp Physiol B*, 2005, **175**: 31 ~ 36.
- [ 8 ] 冯祚建,蔡桂全,郑昌琳. 西藏哺乳类. 北京: 科学出版社, 1986.
- [ 9 ] 吴征镒,王荷生. 中国自然地理 植物地理. 北京: 科学出版社, 1985, 118 ~ 121.
- [ 10 ] 郑少华. 川黔地区第四纪啮齿动物化石. 北京: 科学出版社, 1993.
- [ 11 ] 王政昆,刘璐,梁子卿等. 大绒鼠体温调节和产热特征. *兽类学报*, 1999, **19**(4): 276 ~ 286.
- [ 12 ] 黄文几,陈延熹,温业新. 中国啮齿类. 上海: 复旦大学出版社, 1995.
- [ 13 ] 王德华,王祖望. 高寒地区高原鼯鼠消化道形态的季节变化. *兽类学报*, 2000, **20**(4): 270 ~ 276.
- [ 14 ] 徐金会,安书成,邵发道. 棕色田鼠消化道形态变化与能量需求的关系. *动物学报*, 2003, **49**(1): 32 ~ 39.
- [ 15 ] Gross J E, Wang Z, Wunder B A. Effects of food quality and energy needs: Changes in gut morphology and capacities of *Microtus chrogaster*. *Journal of Mammalogy*, 1985, **66**: 661 ~ 667.
- [ 16 ] Bozinovic F, Sova F F, Claudio V. Seasonal changes in energy expenditure and digestive tract of *Abrothrix andinus* (Cricetidae) in the Andes Range. *Physiol Zool*, 1990, **63**: 216 ~ 231.
- [ 17 ] Hammond K A, Wunder B A. The role of diet quality and energy need in the nutritional ecology of a small herbivore, *Microtus ochrogaster*. *Physiol Zool*, 1991, **64**: 541 ~ 657.
- [ 18 ] Bozinovic F, Carlos E B, Paolal S. Spatial and seasonal plasticity in digestive morphology of cavies (*Microcavia australis*) in habiting habitats with different plant qualities. *Journal of Mammalogy*, 2007, **88**(1): 165 ~ 172.
- [ 19 ] 王德华,王祖望,孙儒泳. 根田鼠消化道长度和重量的变化极其适应意义. *兽类学报*, 1995, **15**: 53 ~ 59.
- [ 20 ] 杜卫国,鲍毅新. 社鼠和褐家鼠消化道长度和重量的季节变化. *动物学报*, 2000, **46**(3): 271 ~ 277.
- [ 21 ] 杜卫国,鲍毅新,刘季科. 七种鼠科啮齿类动物消化道长度和重量的比较. *兽类学报*, 2001, **21**(4): 264 ~ 270.
- [ 22 ] 李俊生,宋延龄,曾治高. 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*, 2003, **49**(2): 171 ~ 178.
- [ 23 ] 李吉瑞. 石龙大绒鼠繁殖生态观察. *中国地方病防治杂志*, 2001, **16**(4): 240 ~ 241.
- [ 24 ] 王德华,王祖望. 高寒地区高原鼠兔消化道形态的季节动态. *动物学报*, 2001, **47**(5): 495 ~ 501.

- [25] Stain R W, Place A R, Lacourse T, *et al.* Digestive organ sizes and enzyme activities of refueling western sandpipers (*Calidris mauri*): contrasting effects of season and age. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2005, **78**: 434 ~ 446.
- [26] McWilliams S R, Karasov W H. Phenotypic flexibility in digestive system structure and function in migratory birds and its ecological significance. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 2001, **128**: 579 ~ 593.
- [27] Hammond K A. Seasonal changes in gut size of the wild prairie vole (*Microtus ochrogaster*). *Can J Zool*, 1993, **71**: 820 ~ 827.
- [28] 朱万龙, 贾婷, 李宗翰等. 冷驯化条件下大绒鼠的产热和能量代谢特征. *动物学报*, 2008, **54**(4): 590 ~ 601.
- [29] Bozinovic F, Galland P. The water economy of South American desert rodents: from integrative to molecular physiological ecology. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 2006, **142**: 163 ~ 172.
- [30] Liu Q S, Wang D H. Effects of diet quality on phenotypic flexibility of organ size and digestive function in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). *J Comp Physiol B*, 2007, **177**: 149 ~ 424.

## 兽类标本皮张的柠檬酸制革法

一百多年来国内兽类标本制作一直使用三氧化二砷(即砒霜,  $As_2O_3$ )作为防腐剂。众所周知,砒霜是剧毒物,在标本制作和保存中会对人体造成伤害。所以,近十几年来,同行们在制作工艺和用药方面试验过各种配方,如硼酸等,力求替代砒霜,但效果多不理想。近期,我们与美国杨百翰大学标本制作专家 W. R. Skidmore 先生有过两次合作,他提供了一种他在国外已经使用多年的兽类标本皮张的柠檬酸制革方法,经实际使用效果很好,现将这种方法介绍如下。

柠檬酸( $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ )具有良好的渗透性,并可以将 pH 维持到 2.0。因此可用它配制成兽类标本皮张的浸泡液。把兽类标本皮张浸入皮张回软液中,直至皮张完全柔软。把回软的皮张浸入浸泡液中,使其膨胀。一般鲜皮张浸泡 3 ~ 5 d,干皮张浸泡 5 ~ 7 d。在浸泡过程中每隔 1 ~ 2 h 搅动一次,当皮张完全膨胀后,取出刮薄。羊皮只需刮一次,马鹿皮则需要刮 2 ~ 3 次。皮张经浸酸处理后浸入鞣制液使其延展。然后再浸酸、再鞣制。同样处理 2 ~ 3 次。如果是岩羊皮大小的皮张,一般一次需要浸酸 30 min,鞣制 30 min。从鞣制液中取出皮张,置于阴凉干燥处使其自然排出大部分水分后,在皮张里涂上一层皮革护理油(LIQUA-SOFT,美国俄勒冈),它可渗透皮张内部使皮张柔顺并减缓老化。涂好护理油制革工作即完成。

皮张回软液:1 L 水中加入 44 g 盐(NaCl)与 22 g 氯化铝( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ),再添加 22 g 硫酸铵 [ $(NH_4)_2SO_4$ ];

浸泡液:1 L 水中加入 22 g 柠檬酸( $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ )与 120 g 盐(NaCl);

鞣制液:1 L 水中加入 120 g 碳酸钠( $Na_2CO_3$ )。

兽类标本皮张经以上方法制革后,可以直接把皮张披到动物的内模上,无须再用其他防腐药品,所用试剂对人体和环境无大影响和伤害,防虫效果亦很好,盼与同行共同探讨。

李大建 SKIDMORE W R 江智华

( 北京大学生命科学学院 北京 100871;

杨百翰大学 M.L. Bean 博物馆 犹他州 美国 84602;

中国科学院动物研究所 北京 100101)