

四种小哺乳动物四肢长骨重量配置分析

林恭华^{1, 2}, 谢久祥^{1, 2}, 苏建平¹, 张同作^{*}

(1. 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, 西宁 810008

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 统计分析了甘肃鼯鼠 *Myospalax cansus*、SD 大鼠 *Rattus norvegicus*、高原鼠兔 *Ochotona curzoniae* 及根田鼠 *Microtus oeconomus* 四种小哺乳动物四肢长骨(肱骨、桡尺骨、股骨和胫腓骨)重量分布和相互关联性。结果表明: 1) 与其他三种动物不同, 甘肃鼯鼠前肢长骨重量大于后肢, 且桡尺骨重量大于肱骨, 体现了地下啮齿类对大量挖掘活动的适应性进化; 2) SD 大鼠和高原鼠兔虽然隶属不同的科, 生活史特征迥异, 其四肢长骨重量的分布却具有趋同性; 3) 四种动物不同骨骼重量之间都呈现出极显著相关性, 然而其相关系数大小却表现为甘肃鼯鼠 > SD 大鼠 > 根田鼠 > 高原鼠兔, 反映了不同挖掘强度的物种对四肢长骨之间协调性有不同要求; 4) 在重量百分比相互关系上, 近端长骨(肱骨或股骨)和远端长骨(桡尺骨或胫腓骨)之间呈现出负相关关系, 而近端或远端长骨之内仅有甘肃鼯鼠的肱骨和股骨呈现出显著正相关关系, 显示近端骨骼和远端骨骼分属两类相互竞争的资源投资模块。

关键词: 小哺乳动物; 四肢长骨; 重量配置; 资源竞争

中图分类号: Q959 & Q954.54 文献标识码: A 文章编号: 1000-7083(2010)05-0622-04

Weight Allocation of Limb Long Bones of Four Small Mammal Species

LIN Gong-hua^{1, 2}, XIE Jiu-xiang^{1, 2}, SU Jian-ping¹, ZHANG Tong-zuo^{*}

(1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Weight distribution and relationships among of limb long bones (humerus, radius-ulna, femur and tibia-fibula) of four small mammal species, *Myospalax cansus*, *Rattus norvegicus*, *Ochotona curzoniae* and *Microtus oeconomus*, were analyzed. The results showed that: i) *M. cansus* had heavier forelimb long bones than hind limb and its radius-ulna was also heavier than the humerus, indicating its adaptation to digging as a typical subterranean rodent species; ii) although *R. norvegicus* and *O. curzoniae* belong to different families and have very different life styles from each other, the weight distributions of their limb long bones were very similar; iii) significant correlations among limb long bones in each species were detected, moreover, the correlation coefficients ranked as follows: *M. cansus* > *R. norvegicus* > *M. oeconomus* > *O. curzoniae*, reflecting the species with different limb long bones have different requires for the harmony of digging activities; iv) at the weight percentage level, the proximal long bones (humerus or femur) were usually negatively correlated with the distal long bones (radius-ulna or tibia-fibula), while the relationships with proximal or distal long bones were weak (except for a positive correlation between humerus or femur in *M. cansus*), and we suggested that the proximal and distal long bones belonged to two competitive resource allocation groups.

Key words small mammal; limb long bone; weight allocation; resource competition

最优资源配置假说 (Optimal resource allocation hypothesis) 认为, 个体总是将有限的资源在身体生长与繁殖 (Heino & Kaitala, 1999)、身体不同器官 (Emlen, 2001; Rauiw, 2008) 之间进行优化配置。哺乳动物四肢长骨是最重要的运动器官之一, 占据身体资源的较大份额, 且不同物种由于不同的生活史

对策, 其四肢长骨也具有丰富的变异、特化 (Hall 2007)。小哺乳动物单位体重能量消耗远高于大型哺乳动物 (Rottenberg, 2007), 导致其面临更大的能量压力, 对小哺乳动物四肢长骨进行资源配置分析, 将有助于了解哺乳动物运动器官的最优资源配置规律, 进而揭示其内在机制。

收稿日期: 2009-12-21 接受日期: 2010-02-02

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目 (0954021211); 国家自然科学基金面上项目 (30970366)

* 通讯作者 Corresponding author E-mail: nwipb@hotmail.com

1 材料和方法

1.1 样品采集与处理

实验材料: 甘肃鼯鼠 *Myosorex cansus*, SD大鼠 *Rattus norvegicus*, 高原鼠兔 *Ochotona curzoniae* 和根田鼠 *Microtus oecomanu* 各 15 只, 均为成体, 雌雄不限。其中甘肃鼯鼠捕自青海民和地区, 高原鼠兔和根田鼠捕自青海门源地区, SD大鼠购自青海省湟中县地方病研究所。

样本应用水煮法处理: 取 4 种动物样本, 用剪刀剪取完整的四肢部分 (不伤及四肢骨骼), 并除去大块皮肉。水中煮 1.5~2 h 后, 用镊子剔除残肉。然后将骨骼浸在洗涤剂中泡 10 min, 用毛刷刷去残余肉屑, 尔后用水清洗, 在 80°C 烘箱放置 24 h 以上。用分析天平 (精度为 0.0001 g Metter Toledo 公司) 称取四肢的各部分骨骼 (肱骨、桡尺骨、股骨、胫腓骨) 重量。由于桡骨与尺骨通常靠两端骨骺粘连在一起, 测量时把它作为一块骨骼对待, 统称桡尺骨 [两者并没有真正愈合, 杨安峰, 程红 (1999)]。另外, 在样品抓捕及骨骼制备过程中, 有一些骨骼难免出现损坏, 测量时选取完整的一侧骨骼进行测量, 对于两侧都完整的取其平均值。

1.2 数据分析

数据用 SPSS15.0 统计软件进行分析; 各种动物不同骨骼重量的均值和方差、重量百分比组成及其均值和方差用 Case Summaries 模块进行统计; 同一物种内不同骨骼重量之间的大小关系用 Paired-Samples *T* Test 模块进行比较; 同一物种内不同骨骼重量及重量百分比之间的相关性用 Bivariate Correlations (Pearson) 模块进行分析。

2 结果及讨论

2.1 重量与重量百分比分布

表 1 四种小哺乳动物四肢长骨重量及重量百分比分布 (N = 15)
Table 1 Weight and weight percentage of limb long bones of four small mammals
(H, Humerus; RU, Radius-ulna; F, Femur; TF, Tibia-fibula; N = 15)

物种 Species	重量 weight/g				重量百分比 weight percentage/%			
	肱骨 H	桡尺骨 RU	股骨 F	胫腓骨 TF	肱骨 H	桡尺骨 RU	股骨 F	胫腓骨 TF
甘肃鼯鼠 <i>M. cansus</i>	0.6777 ±0.2345	0.7184 ±0.2608	0.6259 ±0.2163	0.4898 ±0.1834	27.09 ±0.88	28.54 ±0.86	25.00 ±0.47	19.37 ±1.27
SD大鼠 <i>R. norvegicus</i>	0.2755 ±0.0348	0.1953 ±0.0218	0.5824 ±0.0848	0.4968 ±0.0730	17.80 ±0.42	12.64 ±0.48	37.54 ±0.82	32.02 ±0.87
高原鼠兔 <i>O. curzoniae</i>	0.1645 ±0.0156	0.1394 ±0.0138	0.2337 ±0.0196	0.2160 ±0.0245	21.83 ±0.82	18.49 ±0.6	31.04 ±0.99	28.63 ±1.30
根田鼠 <i>M. oecomanu</i>	0.0258 ±0.0035	0.0247 ±0.0038	0.0357 ±0.0061	0.0369 ±0.0059	21.06 ±0.75	20.08 ±0.65	28.92 ±1.12	29.95 ±0.98

四种动物四肢长骨重量及百分比在表 1 中列出。结果显示, 四种动物在四肢长骨重量分布上呈现差异: 甘肃鼯鼠为桡尺骨 > 肱骨 > 股骨 > 胫腓骨, SD大鼠和高原鼠兔都为股骨 > 胫腓骨 > 肱骨 > 桡尺骨, 根田鼠为胫腓骨 > 股骨 > 肱骨 > 桡尺骨。Paired-Samples *T* Test 表明, 除根田鼠股骨和胫腓骨之间为接近显著外 ($P = 0.055$), 各物种不同骨骼重量之间差异极显著 ($P < 0.01$)。

SD大鼠、高原鼠兔和根田鼠后肢长骨重于前肢长骨, 而甘肃鼯鼠却正好相反。甘肃鼯鼠是典型的地下啮齿类, 它的觅食、迁徙和择偶等行为, 都常伴随着大量的挖掘活动。典型的地下啮齿类挖掘过程包括 4 个阶段 (Gambaryan & Casq, 1993): 1) 用前肢或门齿把新土挖松; 2) 把松土耙到身下或体侧堆积; 3) 用后肢把松土扒到身后; 4) 用头把土拱出洞外。Lacey 等 (2000) 主要根据第一阶段的不同挖掘策略将地下啮齿类分为 Scratch Digging 型 (用前爪松土)、Chisel tooth Digging 型 (用门齿凿挖硬土) 和 Head-lift Digging 型 (用门齿挤钻、铲挖硬土)。无论哪种挖掘类型, 前肢骨骼在进行凿挖、耙土或支撑身体等方面都体现出比地上动物更高的依赖度 (Lacey et al., 2000), 导致这类动物在四肢骨资源分配时获得更大的投资。需要指出的是, 在前肢骨内部, 甘肃鼯鼠同样表现出与其他三种动物相反的特化, 即桡尺骨重量高于肱骨。鼯鼠掘土方式属于 Scratch Digging 型 (Lacey et al., 2000), 为了提高凿挖效率, 其桡尺骨鹰嘴部分大大加长以增加动力臂长度 (储昭灿等, 2007; 林恭华等, 2007), 最终导致桡尺骨重量大大增加。SD大鼠和高原鼠兔虽然分别隶属啮齿目和兔形目, 生活方式迥异, 其四肢长骨重量分布却相近, 体现出资源分配中的趋同性。与其他三种动物不同, 根田鼠胫腓骨略重于股骨, 原因有待进一步研究。

2.2 重量与重量百分比相关性

四种动物不同长骨重量之间都呈现极显著相关性,反映出不同骨骼之间的协调性;然而其相关系数大小却有所不同,表现为甘肃鼯鼠 > SD大鼠 > 根田鼠 > 高原鼠兔(表 2)。甘肃鼯鼠作为典型的地下啮齿类,其挖掘量最大;SD大鼠的野生型祖先褐家鼠和根田鼠均为掘土型地上啮齿类,然而根田鼠洞道较为简单且为群居性物种(侯建军, 1996),因此每个

个体所承受的挖掘量少于褐家鼠;高原鼠兔也营群居生活,选择松软的土质构筑洞穴(王洧等, 2004),个体面临挖掘的压力相对较小。由此推测,由于挖掘活动是高强度行为,需要不同部位之间的协调配合以提高效率,所以认为四种动物不同长骨重量之间相关性大小反映了不同挖掘强度的物种对四肢长骨之间协调性的不同要求。

表 2 四种小哺乳动物(N= 15)四肢长骨重量(下三角)及重量百分比相关性(上三角)

Table 2 Pearson Bivariate Correlation among weights (lower triangle) and among weight percentages (upper triangle) of limb long bones of four small mammals(H, Humerus; RU, Radius; Ulna; F, Femur; TF, Tibia; Fibula; N= 15)

物种 species	骨骼	肱骨 H	桡尺骨 RU	股骨 F	胫腓骨 TF
甘肃鼯鼠 <i>M. ansus</i>	肱骨 H	—	- 0.106	0.525*	- 0.815**
	桡尺骨 RU	0.991**	—	- 0.488#	- 0.423
	股骨 F	0.995**	0.992**	—	- 0.403
	胫腓骨 TF	0.962**	0.975**	0.980**	—
SD大鼠 <i>R. norvegicus</i>	肱骨 H	—	0.196	- 0.118	- 0.48#
	桡尺骨 RU	0.944**	—	- 0.415	- 0.255
	股骨 F	0.980**	0.951**	—	- 0.661**
	胫腓骨 TF	0.957**	0.960**	0.954**	—
高原鼠兔 <i>O. arizonae</i>	肱骨 H	—	- 0.263	0.345	- 0.774**
	桡尺骨 RU	0.829**	—	- 0.52#	0.109
	股骨 F	0.909**	0.817**	—	- 0.736**
	胫腓骨 TF	0.718**	0.876**	0.759**	—
根田鼠 <i>M. oeconomus</i>	肱骨 H	—	0.187	- 0.298	- 0.54#
	桡尺骨 RU	0.957**	—	- 0.658**	- 0.052
	股骨 F	0.947**	0.919**	—	- 0.48#
	胫腓骨 TF	0.922**	0.948**	0.932**	—

#, 0.05 < P < 0.1; *, 0.01 < P < 0.05; **, P < 0.01

重量百分比参数排除了个体大小带来的影响,基于这一参数的相关性分析反映出了不同长骨之间的资源配置关系。研究表明,四种动物中显著相关的情况绝大部分发生在近端骨骼(肱骨或股骨)和远端骨骼(桡尺骨或胫腓骨)之间(表 2)。有趣的是,近端骨骼和远端骨骼之间呈现出负相关关系,而近端骨骼或远端骨骼之内却仅有甘肃鼯鼠的肱骨和股骨呈现出显著正相关关系,可见近端骨骼和远端骨骼分属两类相互竞争的资源投资模块。四足动物的四肢发育是个活跃的研究领域,然而四肢不同部分(从近端到远端分别为 stylopod, zeugopod 和 autopod)的发育关联性至今仍存在诸多争议。比较经典的观点包括两类模型,即 Progress Zone Model 和 Early Specification Model,前者认为四肢从近端到远端不同步分化,而后者认为四肢不同部分在其发育早期就已经确定(Tabin & Wolpert 2007)。本研究结

果显示,不同骨骼之间兼有协同性(正相关)和竞争性(负相关)两类关系,意味着不同部分不是同时发育,因此倾向于支持 Progress Zone Model。

3 参考文献

储昭灿, 李金刚, 李月明. 2007. 三种啮齿类动物前肢挖掘效率分析 [J]. 动物学杂志, 42(2): 17~ 20
 侯建军. 1996. 根田鼠的生物能学研究 [J]. 四川动物, 15(2): 65~ 68
 林恭华, 曹伊凡, 苏建平. 2007. 高原鼠兔四肢骨的进化适应性分析 [J]. 动物学杂志, 42(5): 8~ 13
 王洧, 王小明, 王正寰, 等. 2004. 高原鼠兔生境选择的初步研究 [J]. 四川大学学报(自然科学版), 41(4): 1041~ 1045.
 杨安峰, 程红. 1999. 脊椎动物比较解剖学 [M]. 北京: 北京大学出版社: 137~ 157.
 Emlen D.J. 2001. Costs and the diversification of exaggerated animal structures [J]. Science 291: 1534~ 1536
 Hall BK. 2007. Fins into Limbs: Evolution, Development, and Transformation [M]. Chicago: University of Chicago Press

喜马拉雅旱獭血液生理指标测定

陶元清¹, 范微¹, 王忠东¹, 王宝菊²

(1 青海省地方病预防控制所, 西宁 811602; 2 同济医学院附属医院, 武汉 430030)

摘要:首次测定了 45 只人工饲养条件下喜马拉雅旱獭的血液生理值。结果显示人工饲养条件下除淋巴细胞和中性粒细胞百分率因动物年龄不同而有显著性差异外 ($P < 0.05$), 不同性别、不同饲养时间喜马拉雅旱獭的白细胞数、白细胞分类计数百分率、红细胞、血小板、血红蛋白和平均血红蛋白浓度等 7 项指标都没有显著性差异, 说明建立的旱獭人工饲养管理方法可保证动物的血液生理指标的稳定性, 所测血液生理指标也可作为喜马拉雅旱獭饲养管理和疫病检测判断的参考依据。

关键词:喜马拉雅旱獭; 血液; 生理指标

中图分类号: Q95-33 Q461 文献标识码: A 文章编号: 1000-7083(2010)05-0625-02

Determination of Physiological Indices of Blood from *Mamota himalayana*

TAO Yuan-qing¹, FAN Wei¹, WANG Zhong-dong¹, WANG Bao-ju²

(1. Qinghai Institute for Endemic Disease Prevention and Control Xining 811602, China

2 Tongji Hospital, Tongji Medical College, Wuhan 430030, China)

Abstract Blood physiological values of the Himalayan marmot (*Mamota himalayana*) fed under captive conditions were measured for the first time. The results showed that there were significant differences in the percentage of lymphocytes and neutrophils between different age groups ($P < 0.05$), but there were no significant differences in the white cell count, differential leukocyte count, the percentage of red blood cells, platelets, hemoglobin, and average hemoglobin concentration of 7 indicators between the different genders and different feeding times. Management can ensure the stability of blood physiological parameters. The blood physiological values are also useful for Himalayan marmot breeding management and disease detection.

Key words *Mamota himalayana*; blood physiological index

喜马拉雅旱獭 *Mamota himalayana* 属啮齿目 Rodentia 松鼠科 Sciuridae 旱獭属 *Mamota* 的大型地栖性啮齿动物, 为青藏高原特有种。近年来该动物在生物医学研究中应用制作人类疾病动物模型的研究越来越深入 (陶元清, 王忠东, 2006)。2006 年 6 月 45 只喜马拉雅旱獭经卫生检疫证明为健康动物后运至西宁进行人工饲养已 2 年以上。期间首次测定了不同性别、年龄、不同饲养时间旱獭的血液生理

指标, 为旱獭临床疾病的诊断与治疗、新药开发和新药安全性评价以及动物实验设计等提供重要依据, 现将结果报告如下。

1 材料和方法

1.1 实验动物

捕捉于青海省海南同德县的 45 只喜马拉雅旱獭 (14 雌, 31 雄), 2 岁动物 13 只, 2 岁以下动物 32

收稿日期: 2010-01-07 接受日期: 2010-02-02 基金项目: 国家传染病防治科技重大专项课题“乙型病毒性肝炎病毒感染模型”(2008ZX10002-011); 青海省科技厅研发条件与产业化环境建设项目“喜马拉雅旱獭人工感染嗜肝病毒模型的建立研究”(2006-JY14)
作者简介: 陶元清 (1971~), 男, 学士, 副研究员, 研究方向: 实验动物管理和动物质量控制及野生动物实验动物化研究, E-mail: tyq001@126.com

Heino M, Kaitala V. 1999. Evolution of resource allocation between growth and reproduction in animals with indeterminate growth [J]. *J Evol Biol* 12: 423~429.

Lacey EA, Patton J, Cameron G. 2000. Life Underground: The Biology of Subterranean Rodents [M]. Chicago: University of Chicago Press.

Rauw WM. 2008. Resource Allocation Theory Applied to Farm Animal

Production [M]. Oxfordshire, UK: CABI Publishing.

Rottenberg H. 2007. Coevolution of exceptional longevity, exceptionally high metabolic rates, and mitochondrial DNA-coded proteins in mammals [J]. *Exp Gerontol* 42: 364~373.

Tabin C, Wolpert L. 2007. Rethinking the proximal axis of the vertebrate limb in the molecular era [J]. *Gene Develop* 21: 1433~1442.