

# 甘肃鼯鼠骨骼 5 种常量无机元素测定

王 栋 何建平\* 李金钢 申小蕾

( 陕西师范大学生命科学院 西安 710062 )

**摘要** :用原子吸收分光光度计、可见光分光光度计对甘肃鼯鼠( *Myospalax cansus* )骨骼中 Ca、K、Na、Mg、P 5 种常量无机元素作了测定。结果表明,甘肃鼯鼠骨骼中 5 种元素含量依次为  $Ca > P > K > Na > Mg$ , Ca 含量维持较高水平,同一元素在不同部位骨骼的含量存在差异,部分含量差异显著,5 种元素总量在不同部位骨骼的分布顺序为:后肢骨 > 前肢骨 > 脊柱,根据甘肃鼯鼠骨骼 Ca 与 P 比值推断二者主要以羟基磷灰石形式存在。

**关键词** :甘肃鼯鼠;骨骼;常量无机元素

中图分类号:Q956 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2006)03-110-04

## Determination of Inorganic Macroelements in Skeletons of Gansu Zokor

WANG Dong HE Jian-Ping LI Jin-Gang SHEN Xiao-Lei

( College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China )

**Abstract** :The contents and distributions of the inorganic macroelements—Ca, K, Na, Mg and P in skeletons of Gansu Zokor ( *Myospalax cansus* ) were determined by AAS ( Atomic Absorption Spectrometry ) and SP ( Spectrophotometry ). The results are as follow :The contents of these five elements in Gansu Zokor 's skeletons are in the turn of  $Ca > P > K > Na > Mg$ , which is mainly due to the food habit of the animal. The contents of these five elements differ in different parts of skeletons, some of which differences are significant by *t*-test (  $P < 0.05$  ). The total amount of these elements also differs in different parts of skeletons :skeletons of forelimb > skeletons of backlimb > backbone, and this may relate to the important roles these skeletons play when moving. Gansu Zokor has a normal content of Ca in skeletons, according to the ratio of Ca to P, these two elements may exist as a form of  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  in skeletons of Gansu Zokor.

**Key words** :Gansu Zokor ( *Myospalax cansus* ); Skeleton ; Inorganic macroelement

常量无机元素是动物生长发育所必需的基本物质,不仅是骨骼与其他组织的重要组成成分,而且参与多种代谢活动,具有重要的生化活性、营养作用及生理调节功能,是维持机体矿物质平衡的基础<sup>[1]</sup>。大多数哺乳动物的常量无机元素代谢与维生素 D<sub>3</sub> 密切相关,但长期适应地下生活的啮齿类动物,体内维生素 D<sub>3</sub> 含量较低,矿质代谢对维生素 D<sub>3</sub> 不敏感<sup>[2,3]</sup>,与地面生活的啮齿类不同<sup>[4]</sup>。为进一步研究特殊生境条件下小型哺乳动物体内矿质元素的稳态调节,我们对甘肃鼯鼠( *Myospalax cansus* )整体及不同

部位骨骼中常量无机元素 Ca、K、Na、Mg、P 等进行测定,对骨骼主要成分 Ca 与 P 的比值及可能存在的形式进行了分析。

基金项目 陕西省科技攻关项目( No.2002K10-G3(13) ), 陕西师范大学研究生培养创新基金;

\* 通讯作者, E-mail: hejianping@snnu.edu.cn;

第一作者介绍 王栋,男,硕士研究生,研究方向:比较动物生理学。

收稿日期 2005-11-07, 修回日期 2006-03-10

## 1 材料与方法

**1.1 实验动物** 实验用成年甘肃鼯鼠 14 只(7 ♀, 7 ♂, 体重 280~300 g), 于 2004 年 10~11 月捕自陕西省延安市。该地区海拔高度为 970~1150 m, 年平均气温 7.7~11.6℃, 年均降水量约 500 mm, 黄土土层厚, 土质松软, 为典型的黄土高原丘陵、沟壑农区。农作物以小麦 (*Triticum aestivum*)、玉米 (*Zea mays*)、谷子 (*Setaria italica*)、马铃薯 (*Solanum tuberosum*)、豆类 (*Leguminosae* sp.) 等为主, 田间杂草有苜蓿 (*Medicago hispida*)、凤毛菊 (*Saussurea* sp.)、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、野豌豆 (*Pongamia pinnata*) 等。可塑性地貌及丰富的食物环境为甘肃鼯鼠提供了生殖繁衍的栖息地。

**1.2 样品预处理** 甘肃鼯鼠心脏放血处死, 去除内脏, 剥皮剔肉, 取骨骼用去离子水冲洗干净, 于 60℃ 恒温箱中烘干, 按前肢骨、后肢骨、脊柱 ( $n=7$ ) 和整体骨骼 ( $n=7$ ) 分开, 经粉碎后充分混匀, 装袋备用。

**1.3 分析液制备** 取烘干样品 2.000 0 g 于瓷坩埚中, 放入马弗炉, 从低温缓慢升至 550℃, 灰化 3~4 h, 取出冷却后, 转入 100 ml 蒸馏烧瓶中, 加 5 ml 浓 HNO<sub>3</sub>, 低温加热溶解灰化, 体积控制为 1~2 ml, 稍冷后, 转入 100 ml 容量瓶中, 用去离子水定容, 摇匀, 备用。

表 2 甘肃鼯鼠整体及不同部位骨骼常量无机元素含量 ( $\bar{X} \pm SD$ )

元素	样本数 ( $n$ )	全骨 (mg/g)	前肢骨 (mg/g)	后肢骨 (mg/g)	脊柱 (mg/g)
Ca	7	162.922 ± 5.253	162.966 ± 6.331 <sup>a</sup>	168.333 ± 3.371 <sup>a</sup>	156.933 ± 5.879 <sup>b</sup>
K	7	4.796 ± 0.318	5.017 ± 0.234 <sup>a</sup>	4.400 ± 0.266 <sup>b</sup>	4.970 ± 0.220 <sup>a</sup>
Na	7	4.501 ± 1.134	5.790 ± 0.405 <sup>a</sup>	3.812 ± 0.690 <sup>b</sup>	5.295 ± 0.667 <sup>a</sup>
Mg	7	3.446 ± 0.028	3.617 ± 0.052 <sup>a</sup>	3.537 ± 0.084 <sup>b</sup>	3.183 ± 0.033 <sup>c</sup>
P	7	73.279 ± 0.559	72.300 ± 0.740 <sup>a</sup>	76.786 ± 0.922 <sup>b</sup>	70.754 ± 0.445 <sup>c</sup>
总量		248.944	249.69	256.868	241.135

每行中具有不同上标的数字间存在显著性差异,  $t$ -检验,  $P < 0.05$ ; 总量为同一列中 5 种元素平均含量的和。

甘肃鼯鼠 5 种常量无机元素含量顺序为: Ca > P > K > Na > Mg, 除前肢骨与脊柱骨 K、Na 含量顺序略有不同外, 不同部位骨骼元素含量顺序与全骨一致。每种常量无机元素在不同部位骨骼含量顺序为 Ca、P: 后肢骨 > 前肢骨 > 脊

**1.4 测定方法** AA-320 型原子吸收分光光度计 (上海精密科学仪器有限公司) 火焰原子吸收法测定 Ca、K、Na、Mg, 测 Mg 时加 10% SrCl<sub>2</sub> 溶液消除磷对 Mg 的抑制作用, 仪器的操作条件见表 1。721 型分光光度计 (上海精密科学仪器有限公司) 磷-钒钼酸黄光分光光度法测定 P, 波长为 425 nm。各元素加标回收率为 92.7%~101.3% 3 次重复的相对标准偏差为 3.97%~4.06%。

**1.5 数据统计** 测定数据用 SPSS 11.5 统计软件处理, 以平均值 ± 标准差 ( $\bar{X} \pm SD$ ) 表示, 并对不同部位骨骼元素含量之间差异进行显著性检验。

表 1 测定甘肃鼯鼠骨骼无机元素原子吸收分光光度计的操作条件

元素	波长 (nm)	带宽 (nm)	灯电流 (mA)	空气流量 (L/min)	乙炔流量 (L/min)	高压 (V)
Ca	422.67	0.7	5~10	5	0.9~1.1	-193
K	766.49	1.4	4~8	5	0.8~1.0	-233
Na	589.59	0.2	4~8	5	0.9~1.1	-266
Mg	285.21	0.7	4~8	5	0.9~1.1	-195

## 2 结果与讨论

**2.1 元素含量与生活习性** 甘肃鼯鼠整体及不同部位骨骼 5 种常量无机元素平均含量、标准差、元素总量及同种元素在不同部位骨骼含量的差异显著性检验结果如表 2 所示。

柱 K、Na: 前肢骨 > 脊柱 > 后肢骨; Mg: 前肢骨 > 后肢骨 > 脊柱。其中, Mg、P 在三部分骨骼之间的含量, K、Na 在前肢骨与后肢骨, 后肢骨与脊柱的含量, Ca 在前肢骨与脊柱、后肢骨与脊柱的含量均差异显著。元素总量的分布顺序

为：后肢骨 > 前肢骨 > 全骨 > 脊柱。

骨骼常量元素含量在一定程度上反映出鼠类种群内矿物质营养水平和食物矿物质的丰欠状况<sup>[5]</sup>。甘肃鼯鼠全骨中 5 种常量无机元素含量顺序与其他小型啮齿类一致<sup>[5,6]</sup>。这些元素在动物生命过程中起重要作用,但只能从食物中摄取,因而易造成缺乏或过量,引起相应生理疾病。Ca、P 缺乏时,动物摄食减少,繁殖力下降,生长停滞,易使幼年个体患佝偻症及软骨症,摄入 Ca 过量会降低脂肪代谢率,P 过量则会刺激甲状旁腺分泌增多引起甲状旁腺机能亢进<sup>[7]</sup>。Na 不足与 Ca、P 缺乏表现相似,过量会增加肾的排泄负担,重则造成机体钠盐中毒,甚至死亡,Mg 有抑制神经和肌肉兴奋性的功能,缺乏易造成动物神经过敏、肌肉痉挛,摄入过量会使动物体昏睡及运动失调<sup>[8]</sup>。植物可利用的矿物质元素多储存于种子、果实,根茎部含量较少,但块根、块茎营养丰富。甘肃鼯鼠喜食马铃薯、萝卜(*Raphanus sativus*)、野胡萝卜(*Saposhnikovia divaricata*)、苜蓿的肥大多汁组织及小麦等;其次为含粗纤维、粗脂肪较多的落叶松、油松等林木的根部<sup>[9]</sup>。土壤矿物质成分可直接或间接通过植被影响动物在一个地区的分布,该地区地处黄土高原丘陵地带,土壤常量矿物质元素含量均不同程度高于全国平均水平<sup>[10]</sup>,甘肃鼯鼠喜食植物在该地区较丰富。优越的环境条件使该地区甘肃鼯鼠获取营养正常,不缺乏某种常量无机元素。

样品代表性和均匀性对于骨骼矿物质常量元素和微量元素的测定至关重要,不同部位骨骼矿物质元素含量可能存在差异,即使同一块骨骼若取样部位不同,元素含量亦可能有较大差异<sup>[11,12]</sup>。实验过程中需剥制完整的前肢骨、后肢骨、脊柱并各自充分粉碎、混匀以减小误差。对测定数据分析显示,同一常量无机元素在甘肃鼯鼠不同部位骨骼含量有差异,部分数据差异显著。外界物理功能的改变可影响不同部位骨骼对同一元素的吸收能力<sup>[13]</sup>。甘肃鼯鼠行动缓慢,后肢主要用来行走及匍匐刨土,前肢挖掘洞穴并辅助行走,脊柱支撑身体、保护内

脏。上述元素分布的差异可能由不同部位骨骼在运动中所起作用不同造成。

小型哺乳动物由于食性不同引起体内某些矿物质元素含量不同,对繁殖能力有影响,与种群特征明显相关<sup>[14]</sup>。甘肃鼯鼠为小型穴居啮齿类,终生营地下生活,很少接受紫外线照射,缺少合成维生素 D<sub>3</sub> 的条件,维生素 D<sub>3</sub> 是动物吸收 Ca 的前提和基础,是影响动物体内矿质代谢平衡的重要物质,但测定数据显示甘肃鼯鼠骨骼内都含有较高水平的 Ca。有研究表明,某些营地下穴居生活的啮齿类,其矿物质元素代谢对体内含量较低的维生素 D<sub>3</sub> 不敏感<sup>[2,3]</sup>。甘肃鼯鼠体内维生素 D<sub>3</sub> 含量水平及其 Ca 代谢调节是否遵循维生素 D<sub>3</sub> 依赖型途径有待于进一步研究。

**2.2 Ca/P 值及存在形式** 动物体骨骼中 Ca 与 P 含量最高,是构成骨骼的主要组分。2 种元素在大部分哺乳动物骨骼中主要以成熟度不同的结晶状羟基磷灰石[Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>]形式存在;此外还有无定形磷酸钙,如磷酸八钙[Ca<sub>8</sub>H<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>·5H<sub>2</sub>O]、磷酸三钙[Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]、二水磷酸氢钙(CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)等<sup>[15]</sup>,Ca/P 值分别为:羟基磷灰石 2.156;磷酸八钙 1.721;磷酸三钙 1.941;二水磷酸氢钙 1.291。

甘肃鼯鼠骨骼 Ca 与 P 含量比值范围为 2.218 ~ 2.254,与羟基磷灰石的 Ca/P 值最接近,因此,推测甘肃鼯鼠骨骼中 Ca 与 P 主要以羟基磷灰石形式存在。但甘肃鼯鼠 Ca/P 值偏大,亦大于高原鼯鼠<sup>[5]</sup>,可能由下列因素引起:(1)P 含量随植物生长逐渐降低,死亡时含量最低,而 Ca 含量则随植物发育逐渐升高。甘肃鼯鼠春夏季喜食植物幼嫩多汁的肥大组织,秋冬季取食树木及杂草根茎<sup>[16]</sup>。本实验标本采于 10 ~ 11 月,其食物中 Ca 含量趋于升高而 P 含量正在逐步降低,这种食性结构的改变可能是 Ca/P 值增大的原因。(2)骨骼是动物机体 Ca、P 的储存库,同血液及其他组织中的 Ca、P 处于动态平衡状态<sup>[17]</sup>。9、10 月份是甘肃鼯鼠秋季活动高峰期。甘肃鼯鼠进入 9 月份便开始挖掘新洞

穴,储备越冬粮食,活动趋于频繁<sup>[18]</sup>。据报道,阶段性跑步训练的大鼠血钙含量明显降低,骨钙、血磷的含量显著增加<sup>[19,20]</sup>。活动量增加促进血液循环,可能有利于破坏骨细胞向成骨细胞转变,使血钙向骨内输送,骨磷向血液转运,从而造成 Ca/P 值增大。有关甘肃鼯鼠骨骼内 Ca 与 P 的具体存在形式及比例是否存在季节性变化有待进一步证实。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Lacey E A , Patton J L , Cameron G N. Life Underground : The Biology of Subterranean Rodents. Chicago : University of Chicago Press , 2000 , 91 ~ 97 .
- [ 2 ] Buffenstein R , Pitcher T. Calcium homeostasis in mole-rats by manipulation of teeth and bone calcium reservoirs. In : Dacke C , Danks J , Caple I , et al . The Comparative Endocrinology of Calcium Regulation. Bristol : The Society for Endocrinology , 1996 , 177 ~ 182 .
- [ 3 ] Buffenstein R , Laundry M T , Pitcher T , et al . Vitamin D<sub>3</sub> intoxication in naked mole-rats ( *Heterocephalus galber* ) leads to hypercalcaemia and increased calcium deposition in teeth with evidence of abnormal skin calcification. *General and Comparative Endocrinology* , 1995 , 99( 1 ) : 35 ~ 49 .
- [ 4 ] Reichel H , Koeffler H P , Norman A W. The role of the Vitamin D endocrine system in health and disease. *New England Journal of Medicine* , 1989 , 320( 15 ) : 980 ~ 991 .
- [ 5 ] 索有瑞,伊甫申,张宝琛.高原鼯鼠和高原鼠兔骨无机化学成分的研究 I :常量元素.兽类学报,1997,17( 2 ) : 146 ~ 150 .
- [ 6 ] 李明德,马锦秋,吴月英等.根田鼠 *Microtu soeconomus* 的无机元素.南开大学学报,1996,29( 2 ) : 110 ~ 112 .
- [ 7 ] 姚军虎,周庆安,李秉荣等.动物营养与饲料.北京:中国农业出版社,2002,42 ~ 55 .
- [ 8 ] 邹兴怀,王宗焕,王爱民等.野生动物营养学.哈尔滨:东北林业大学出版社,2000,90 ~ 133,149 ~ 151 .
- [ 9 ] 陈孝达,胡忠朗,王明春等.陕北林区甘肃鼯鼠的食性及食量研究.陕西林业科技,1994,( 1 ) : 40 ~ 45 .
- [ 10 ] 王云,魏复盛,杨国治等.土壤环境元素化学.北京:中国环境科学出版社,1995,362 ~ 379 .
- [ 11 ] 尹端沚,汪勇先.生物材料微量元素分析问题:1.影响生物微量元素水平的因素.中国环境科学,1986,6( 2 ) : 72 ~ 76 .
- [ 12 ] 尹端沚,汪勇先.生物材料微量元素分析问题:2.微量元素分析中的分析误差来源.中国环境科学,1987,7( 2 ) : 67 ~ 71 .
- [ 13 ] Turner C H. Functional determinants of bone structure : beyond Wolff 's law of bone transformation. *Bone* , 1992 , 13( 6 ) : 403 ~ 409 .
- [ 14 ] 刘季科,王溪,刘伟.北美田鼠亚科啮齿动物营养生态学进展.兽类学报,1991,11( 3 ) : 226 ~ 235 .
- [ 15 ] 戴永定,王家珍,吴浩若等.生物矿物学.北京:石油工业出版社,1994,28 ~ 35,282 ~ 302 .
- [ 16 ] 郝积才,张三亮,郭文辉等.中华鼯鼠、甘肃鼯鼠发生规律研究.甘肃林业科技,2001,26( 2 ) : 12 ~ 15 .
- [ 17 ] 朱宪彝,朱德民,郭世绂等.代谢性骨病学.天津:天津科学技术出版社,1989,48 ~ 104 .
- [ 18 ] 李金钢,王廷正,李金铭等.甘肃鼯鼠种群动态及其影响因素的初步分析.兽类学报,1999,19( 2 ) : 129 ~ 131 .
- [ 19 ] Peng Z , Tuukkanen J , Vaananen H K. Exercise can provide protection against bone loss and prevent the decrease in mechanical strength of femoral neck in ovariectomized rats. *Journal of Bone and Mineral Research* , 1994 , 9( 10 ) : 1559 ~ 1564 .
- [ 20 ] 章明放,张乃鑫,谭郁彬.运动对大鼠去势后骨质疏松症的研究——骨组织形态计量学观察.中华骨科杂志,1994,14( 6 ) : 365 ~ 369 .