

# 高原鼢鼠和高原鼠兔骨骼无机化学成分的研究 I. 常量元素\*

索有瑞 伊甫申 张宝琛

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001)

## 摘 要

本文对高原鼢鼠和高原鼠兔骨骼中的无机常量元素 K、Na、Ca、Mg、P 和 Al 进行了比较分析。研究表明, 高原鼢鼠骨骼中 Ca、P、Al 的含量极显著地高于高原鼠兔 ( $P < 0.01$ ), K 含量高原鼢鼠极显著地低于高原鼠兔 ( $P < 0.001$ ), Na 和 Mg 的含量两者间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 骨骼各部位元素总量的分布顺序为: 高原鼢鼠下肢骨 > 头骨 > 脊柱; 高原鼠兔头骨 > 下肢骨 > 脊柱。15 个元素对中, 大部分元素之间线性相关非常显著, 其中高原鼢鼠 10 对呈显著的线性相关, 高原鼠兔 13 对呈显著相关。

关键词 高原鼢鼠; 高原鼠兔; 骨骼; 无机化学成分; 常量元素

动物生长发育必需的矿物质常量元素 K、Na、Ca、Mg、P 等因其重要的生化活性、营养作用和生理功能, 在动物生态学研究得到了广泛的应用。这些常量营养元素不仅影响小哺乳动物的食物质量、食物结构、食物营养丰缺状况与适应性, 而且动物体内元素含量水平在很大程度上影响其繁殖能力和种群特征 (刘季科等, 1991)。因此, 在现代营养生态学和化学生态学研究中, 对小哺乳动物体内无机化学成分的含量水平、分布特征、性别、年龄及生态环境差异等引起了足够的重视。Wlostawski 等 (1988) 对小哺乳动物微量元素 Zn、Fe、Cu、Mn 和常量元素 Ca、Mg 作了比较研究; 对于高寒草甸生态系统的高原鼢鼠和高原鼠兔血清和肝脏中 K、Na、Ca、Cu、Zn、Mn、Fe 等元素的含量水平及其物候期变化情况也相继作了研究 (张金霞等, 1986; 邵 等, 1991)。本文通过对高原鼢鼠 (*Myospalax baileyi*) 和高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 骨骼中矿物质常量元素 K、Na、Ca、Mg、P、Al 的系统分析, 探讨了矿物质元素在骨骼中的分布及种间含量差异, 各元素间的相关性及骨骼主要矿物质成分 Ca、P 的比值及可能存在的形态, 为小哺乳动物的营养生态学、化学生态学及生态系统的物质循环等的研究提供基础资料。

## 材料和方法

### 1. 样品预处理

1994年5~6月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区采集高原鼢鼠和高原鼠兔成鼠。随机取样后剥皮、除去内脏、晾干、剔去肌肉。取剔净的骨骼整体, 用去离子水冲洗3遍, 于60℃恒温烘箱中烘干。分别取整体和各部位 (头, 脊柱, 四肢), 头部用镊

\* 本文于1996年10月16日收到, 1997年1月28日收到修改稿

子除去大脑，粉碎至30~60目，并充分混匀。

## 2 分析溶液的制备

准确称取2.000 g 骨样于瓷坩锅中，在高温电炉中从低温升至500℃，灰化4 h (徐立强, 1987)，冷却后加入5 ml 1:1盐酸溶液，加热溶解灰分，在250 ml 容量瓶中用去离子水定容，摇匀后测定。

## 3 测定方法

Ca 用经典的 EDTA 容量滴定法，大量磷酸盐的干扰用淀粉溶液消除；Mg、K、Na 用火焰原子吸收光谱法测定 (GX-5型原子吸收分光光度计)，测Mg 时加10% SrCl<sub>2</sub>溶液消除磷对Mg 的抑制作用；P 用钒 黄分光光度法测定 (721分光光度计)，波长470 nm；Al 用铬天青 S 分光光度法，波长587 nm。各元素测定的标准回收率为95.63%~102.76%；方法精密度高，10次重复测定的相对标准偏差 (RSD) 为2.14%~4.10%。

# 结果与讨论

## 1 元素含量及其差异性

高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼中6种常量元素的平均含量、标准差、含量范围及骨骼元素含量的差异显著性检验结果见表1。高原鼯鼠骨骼元素Ca、P和Al的含量极显著地高于高原鼠兔，而元素K则相反；Na和Mg两者之间无显著差异。

表1 高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼常量元素含量及其差异性 ( $\bar{x} \pm SD$ , 范围, %)

Table 1 The contents and the differences of macroelements in skeletons of plateau zoker and plateau pika ( $\bar{x} \pm SD$ , Range, %)

| 元素<br>Elements | 样品数<br>No. of samples | 高原鼯鼠<br>Plateau zoker | 高原鼠兔<br>Plateau pika | t 检验<br>t test |
|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| K              | 18                    | 0.505 ± 0.013         | 0.616 ± 0.027        | t = 15.634     |
|                |                       | 0.482- 0.519          | 0.571- 0.640         | P < 0.001      |
| Na             | 18                    | 0.423 ± 0.032         | 0.444 ± 0.039        | t = 1.750      |
|                |                       | 0.392- 0.476          | 0.403- 0.506         | P > 0.05       |
| Ca             | 18                    | 15.24 ± 1.15          | 12.56 ± 1.89         | t = 5.144      |
|                |                       | 13.87- 17.01          | 9.71- 14.63          | P < 0.001      |
| Mg             | 18                    | 0.422 ± 0.052         | 0.391 ± 0.063        | t = 1.632      |
|                |                       | 0.35- 0.50            | 0.30- 0.48           | P > 0.05       |
| P              | 18                    | 7.25 ± 0.38           | 6.51 ± 0.92          | t = 3.154      |
|                |                       | 6.75- 7.77            | 5.10- 7.54           | P < 0.01       |
| Al             | 18                    | 0.060 ± 0.029         | 0.017 ± 0.003        | t = 6.259      |
|                |                       | 0.014- 0.088          | 0.014- 0.022         | P < 0.001      |

K、Na、Ca、Mg、P等元素既是动物生长发育必需的矿物质营养成分，又是动物骨骼的重要组成部分。这些矿物质元素不能在动物体内合成，只能从食物中摄取，因而易造成某些元素的缺乏与过量摄入。小动物体内营养成分及含量与食物质量和种群特征密切相关 (刘季科等, 1991)，高原鼯鼠和高原鼠兔生活在相同的自然环境下，因此造成它们骨骼部分元素含量的差异与其食物结构、生活习性和种间差异有关。当食物中缺乏Ca和Na时，影响鼠的繁殖力，种群降低 (Batzli, 1986)；缺乏P、Mg时鼠群发育不良；而过多的Al与P形成难溶性的磷酸铝，降低了肠道对磷的吸收，影响Ca、P代谢和血清甲状旁腺激素水平，同时可严重干扰骨骼的矿化程度，出现骨骼生长发育障碍、佝偻病骨变和骨骼铝水平上升 (王夔等, 1991)。骨骼中的常量元素含量在一定程度上反映出鼠群体内矿物质营养水平和食物矿物质的丰缺状况。海北高寒草甸生态定位站地区的高原鼯鼠

和高原鼠兔骨骼常量元素含量大小顺序一致, 即  $Ca > P > K > Na > Mg > Al$ 。进一步分析高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼各元素的含量与分布情况, 发现两种小动物对常量元素的摄入、吸收、积蓄及敏感程度具有高度的一致性。

## 2 元素在骨骼各部位中的分布

骨骼不同部位矿物质元素含量存在显著的差异, 即使同一块骨骼若取样部位不同, 其元素含量亦有较大的差异 (尹端 等, 1986)。因此, 在骨骼矿物质常量元素和微量元素的测定中, 样品代表性和均匀性至关重要。表2结果表明, 高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼各部位常量元素含量顺序除头骨和脊柱中  $Na$ 、 $Mg$  略有不同外, 其余各元素含量顺序完全一致。表明矿物质元素在骨骼各部位有相同的分布比例。骨骼常量元素总量高原鼯鼠下肢骨 > 头骨 > 脊柱; 高原鼠兔头骨 > 下肢骨 > 脊柱。

表 2 高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼不同部位常量元素平均含量 ( $n=5, \%$ )

Table 2 Contents of macroelements in different parts of bone of plateau zoker and plateau pika ( $n=5, \%$ )

| 元素<br>Elements | 高原鼯鼠 Plateau zoker |          |          | 高原鼠兔 Plateau pika |          |          |
|----------------|--------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|                | 头骨                 | 下肢骨      | 脊柱       | 头骨                | 下肢骨      | 脊柱       |
|                | Head bone          | Leg bone | Backbone | Head bone         | Leg bone | Backbone |
| K              | 0.516              | 0.485    | 0.513    | 0.575             | 0.633    | 0.637    |
| Na             | 0.472              | 0.396    | 0.409    | 0.500             | 0.417    | 0.408    |
| Ca             | 15.01              | 16.89    | 13.96    | 14.56             | 13.18    | 9.78     |
| Mg             | 0.492              | 0.408    | 0.360    | 0.468             | 0.388    | 0.306    |
| P              | 7.44               | 7.69     | 6.80     | 7.48              | 6.79     | 5.15     |
| Al             | 0.085              | 0.016    | 0.080    | 0.017             | 0.014    | 0.021    |
| 总量 Total       | 24.015             | 25.885   | 22.122   | 23.600            | 21.422   | 16.302   |

## 3 元素间的线性相关关系

高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼中常量元素间的线性相关分析结果见表3和表4。15个元

表 3 高原鼯鼠骨骼常量元素间的相关性 ( $n=18$ )

Table 3 Correlations among macroelements in skeleton of plateau zokers ( $n=18$ )

|    | K | Na       | Ca        | Mg       | P        | Al        |
|----|---|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| K  |   | 0.6736** | -0.8793** | 0.2155   | -0.5864* | 0.9677**  |
| Na |   |          | -0.3008   | 0.8228** | 0.1350   | 0.6863**  |
| Ca |   |          |           | 0.1964   | 0.8761** | -0.8750** |
| Mg |   |          |           |          | 0.4799*  | 0.2946    |
| P  |   |          |           |          |          | -0.6136** |
| Al |   |          |           |          |          |           |

\*  $0.05 > P > 0.01$ ; \*\*  $P < 0.01$

表 4 高原鼠兔骨骼常量元素间的相关性 ( $n=18$ )

Table 4 Correlations among macroelements in skeleton of plateau pikas ( $n=18$ )

|    | K | Na        | Ca        | Mg        | P         | Al        |
|----|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| K  |   | -0.9564** | -0.7389** | -0.8521** | -0.7417** | 0.1114    |
| Na |   |           | 0.7781**  | 0.8973**  | 0.7857**  | 0.2590    |
| Ca |   |           |           | 0.9691**  | 0.9989**  | -0.6800** |
| Mg |   |           |           |           | 0.9711**  | -0.4996*  |
| P  |   |           |           |           |           | -0.6703** |
| Al |   |           |           |           |           |           |

\*  $0.05 > P > 0.01$ ; \*\*  $P < 0.01$

素对中, 高原鼯鼠有4对呈显著负相关, 6对呈显著正相关; 高原鼠兔有7对呈显著的负相关, 6对呈显著正相关。动物体内各元素含量之间的相关性能够反映出动物体内元素间的相互协同与颉颃作用 (王夔等, 1991)。元素间其含量的正相关表明小哺乳动物体内元素间的相互协同作用, 负相关则反映出相互之间的颉颃作用。分析结果显示, K 和Al的过量摄入与吸收, 将会抑制其它元素的吸收, 高原鼠兔尤为明显。因此, 当食物链中K 的量过高时, 高原鼯鼠和高原鼠兔体内K 含量就会提高, 从而抑制它们对重要养分Ca 和P 的吸收。Ca、P、Mg 和Na 之间, 主要以协同作用为主。

#### 4 骨骼中Ca/P 比值及其可能的存在形态

Ca、P 是骨骼的主要成分。动物骨骼中Ca 和P 的存在形态主要有羟磷灰石  $Ca_{10}(PO_4)_6 \cdot (OH)_2$ 、磷酸三钙  $Ca_3(PO_4)_2$ 、磷酸八钙  $Ca_8H_2(PO_4)_6 \cdot 5H_2O$ 、二水磷酸氢钙  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  等。骨骼中主要存在哪种形态, 与在不同条件下形成的Ca/P 比值及  $PO_4^{3-}$  和  $Ca^{2+}$  的羟基化不同有关 (王夔等, 1991; 魏权凤等, 1990)。上述化学式的Ca/P 比值为:  $Ca_{10}(PO_4)_6 \cdot (OH)_2$  2.156,  $Ca_3(PO_4)_2$  1.941,  $Ca_8H_2(PO_4)_6 \cdot 5H_2O$  1.721,  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  1.921。高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼Ca/P 比值如表5。依据表中高原鼯鼠和高原鼠兔全骨及其不同部位骨骼Ca/P 比值, 可推断出在高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼中Ca、P 有不同的存在形态。高原鼯鼠骨骼中Ca/P 比值为2.017~ 2.196, 与羟磷灰石  $Ca_{10}(PO_4)_6 \cdot (OH)_2$  理论Ca/P 比值2.156的符合率为93.56%~ 101.86%, 所以高原鼯鼠骨骼中的Ca 和P 可能主要以羟磷灰石形态存在; 高原鼠兔骨骼中Ca/P 比值为1.898~ 1.946与磷酸三钙  $Ca_3(PO_4)_2$  理论Ca/P 比值1.941的接近程度较高, 其符合率为97.84%~ 100.26%, 因而高原鼠兔骨骼中的Ca 和P 大部分以磷酸三钙的形式存在。骨骼中Ca、P 的各种存在形态的确切比例尚需进一步研究。

表5 高原鼯鼠和高原鼠兔骨骼Ca、P 含量及比值

Table 5 The content of calcium and phosphorus and theirs ratio in skeletons of plateau zoker and plateau pika

| 骨骼部位<br>Parts of<br>skeleton | 高原鼯鼠<br>Plateau zoker |       |       | 高原鼠兔<br>Plateau pika |       |       |
|------------------------------|-----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|                              | Ca (%)                | P (%) | Ca/P  | Ca (%)               | P (%) | Ca/P  |
| 全骨<br>All skeleton           | 15.00                 | 6.97  | 2.152 | 12.84                | 6.68  | 1.922 |
| 头骨<br>Head bone              | 15.01                 | 7.44  | 2.017 | 14.56                | 7.48  | 1.946 |
| 下肢骨<br>Leg bone              | 16.89                 | 7.69  | 2.053 | 13.18                | 6.79  | 1.941 |
| 脊柱<br>Backbone               | 13.96                 | 6.80  | 2.196 | 9.78                 | 5.15  | 1.899 |

#### 参考文献

- 尹端, 汪勇先 1986 生物材料微量元素分析问题 中国环境科学, 6 (2): 72~ 76  
 王夔, 徐辉碧, 唐任寰, 罗贤懋 1991. 生命科学中的微量元素 (上卷). 北京: 中国计量出版社, 56~ 111.  
 刘季科, 王溪, 刘伟 1991. 北美田鼠亚科啮齿动物营养生态学研究进展 兽类学报, 11 (3): 226~ 235  
 张金鑫, 胡凤祖, 郑生武, 师治贤 1986 高原鼯鼠和高原鼠兔血清中钾、钠、钙离子含量的月变化 高原生物学报, (5): 73~ 78  
 邵, 师治贤 1991. 高原鼠兔和高原鼯鼠肝脏微量元素的研究 兽类学报, 11 (3): 220~ 225  
 徐立强 1987. 生物医学微量元素分析中的采样和样品处理 中华预防医学杂志, 21 (3): 155~ 157.

魏权凤, 孔宪春. 1990 用红外光谱研究含氟水饲养的大白鼠骨骼. 地质实验室, 6 (2): 125~ 128

Batzli G O. 1986 Nutritional ecology of the california vole: effects of food quality on reproduction. *Ecology*, 67 (2): 406~ 412

W lostowski T, Chetnicki W, Baldyga W G, Chycak B. 1988 Zinc, iron, copper, manganese, calcium and magnesium supply status of free-living bank voles. *Acta Theriologica*, 33 (4): 555~ 573

## STUDIES ON INORGANIC CHEMICAL COMPOSITION IN SKELETONS OF PLATEAU ZOKER AND PLATEAU PIKA I. MACROELEMENTS

SUO Yourui YI Fushen ZHANG Baochen

(Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001)

### Abstract

The contents and distributions of the inorganic macroelements K, Na, Ca, Mg, P and Al in skeletons of plateau zoker (*Myospalax baileyi*) and plateau pika (*Ochotona curzoniae*) were studied in the area of Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem. The results are as follows:

The contents of Ca, P and Al in skeleton of plateau zoker are very significantly higher than that in skeleton of plateau pika ( $P < 0.01$ ), the contents of K in skeleton of plateau zoker are extremely significantly lower than that in skeleton of plateau pika ( $P < 0.001$ ), and the contents of Na and Mg between plateau zoker and plateau pika are not different ( $P > 0.05$ ).

The distributions of total amount of macroelements in different parts of skeleton are: plateau zoker leg bone > head bone > backbone, plateau pika head bone > leg bone > backbone.

In total 15 element pairs, 10 pairs for plateau zoker and 13 pairs for plateau pika are significantly correlated.

**Key words** Plateau zoker (*Myospalax baileyi*); Plateau pika (*Ochotona curzoniae*); Skeleton; Inorganic chemical composition; Macroelement