

红条毛肤石鳖齿舌形态及矿物成分含量

刘传琳 赵见高 崔龙波 刘兴杰

(烟台大学生化系, 山东烟台 264005)

(中国科学院物理研究所磁学国家重点实验室, 北京 100080)

(福山成人中专, 山东烟台 255000)

摘要 在光镜和扫描电镜下对红条毛肤石鳖齿舌的组成及各种齿片形态进行了较详细的观察, 齿舌的每一排由 17 个齿片组成, 形态各异。采用原子吸收法对齿舌中的钾、钙、钠、镁、铬、铁、钴和锰 8 种元素含量进行了测定, 其中铁元素含量最高, 达齿舌干重的 14.6%, 其次为镁, 其它元素含量依次为钠、钙、钾、锰、铬和钴; 并且齿舌在生长过程中通过不断的积累矿物元素而使齿舌的不同部位矿化程度有所差异, 矿化程度由重至轻依次为齿舌前段、中段、后段和末段; 在研究中发现齿舌中含有磁性物质 Fe_3O_4 , 并且磁性物质主要存在于第 1 侧齿的齿尖上。

关键词 红条毛肤石鳖 齿舌 扫描电镜 原子吸收 矿物含量 磁性

齿舌是除瓣鳃纲以外所有软体动物的取食器官, 一般呈带状结构, 由许多排齿片组成(蔡英亚等, 1979; 刘传琳等, 2000)。具齿舌的动物一般以齿舌刮食如石鳖, 或与腭片配合咬食, 如头足纲短蛸。人们对齿舌形态的研究较多, 对齿舌的矿物元素组成及其在齿舌中的作用研究的很少。Kim Kyung-suk 等 (1986) 曾采用质子诱导 α -射线散射 (PIXE) 和 α -射线散射 (PIGME) 法对石鳖 (*Clavaizone hirtosa*) 齿舌的铁、钙、钾、钠、氟等 9 种元素含量进行了分析, Pierre 等 (1986) 对帽贝 (*Patella vulgata*) 齿舌中磁性物质的晶体结构进行了研究, 迄今为止没有人对石鳖齿舌中磁性物质进行研究。我国对齿舌的研究主要着重于形态学方面, 并且研究对象多为淡水种类(潘宝平, 1991), 对齿舌中矿物质含量及磁性研究还未曾见过报道。作者以红条毛肤石鳖 (*Acanthochiton rubrolineatus* Lischke) 为材料, 对齿舌的形态、矿物元素含量及齿舌中的磁性物质 Fe_3O_4 进行研究。

1 材料和方法

红条毛肤石鳖均采自烟台市区月亮湾附近海岸石礁, 体长为 2.0~2.5 cm 左右。解剖取出齿舌并用蒸馏水洗涤数遍, 然后振荡除去齿舌上粘着的有机碎屑, 体视镜下检查无粘着物后放入蒸馏水中保备用。用于电镜观察的样品 60 烘干 2 h, 离子

镀膜, SV-570 扫描 15 kV 下观察(刘传琳等, 1996)。用于原子吸收分析的样品在体视镜下由齿舌末段至前段按矿化程度依次分为 4 部分, 第 1 部分为齿舌的 1~10 排; 第 2 部分 11~25 排; 第 3 部分为 26~35 排; 第 4 部分为 36~50 排, 在 105℃ 下烘干, 室温冷却称重后分别用 0.1 ml 光谱纯硝酸和分析纯高氯酸将齿舌溶解, 最后加亚沸水定容于 20 ml 容量瓶中, 空白对照, 测定钾、钙、钠、铁等 8 种元素的含量。用于磁性物质测定的齿舌可从备用品中取出自然晾干, 双面胶粘在测定的金属托上, 样品表面镀一层 5 nm 的金铂合金膜, 分别在扫描电镜、磁力显微镜及超导量子干涉器式磁强计上测试 (Pierre *et al.*, 1986)。

2 结果

2.1 光镜及电镜下的齿舌形态

红条毛肤石鳖的齿舌位于其口腔内, 靠齿舌伸缩肌连接于齿舌软骨上, 长约 0.8~1.0 cm、宽约 1 mm 左右, 呈细条状, 齿列数 40~50 排。个体大的其齿列数也随之增加, 整个齿舌呈棕红色, 齿舌末段颜色较浅, 略显白色。齿式为 4-3-3-3-4, 即 3 个中央齿, 3 个侧齿, 4 个缘齿, 也就是说每一排由 17 个齿片组成, 每个齿舌大约由八百多个至上千个齿片构成, 所有齿片都着生于齿舌基膜上, 每一种齿片的形状及大小不同, 在空间排列上高度

不一，其中第 1 侧齿及第 1 缘齿明显高于其它齿片，并且形态上也明显与其它齿片不同。3 个中央齿共同构成衣领状结构，正中央的中央齿形如脖颈从两侧的中央齿中伸出，齿端微凹呈勺状。第 1 侧齿具长柄，齿端呈山状较尖，在光镜下颜色为深棕色，愈是位于齿舌前端的颜色愈深，齿端极易脱落，脱落后断面呈灰白色，齿舌末端初始形成的这种齿片不具此颜色。从整个齿舌来看，第 1 侧齿的颜色从前到后呈现递减趋势。另外的两个侧齿较小，与位于其外侧的另外 3 个缘齿形状相似，呈瓦片状。第 1 缘齿形如象牙，齿端与第 1 侧齿相比略尖，第 1 侧齿与第 1 缘齿深嵌于其它齿片之中，同时两者的齿端都向齿舌的中央方向倾斜，并且所有

的齿片都有序地镶嵌在一起 (图 1)。

2.2 齿舌的生物矿化成分

齿舌囊末端的上皮细胞具有分泌矿物质成分的功能，齿片在初始形成时较软。每个齿舌平均重约 1.5 mg，灰化后约 0.4 mg，即矿物质约占齿舌干重的 26.7% (0.4/1.5)。在石鳖的生长过程中，齿舌进行不断的生长、矿化，在齿片完全形成后矿物质含量也随之稳定下来，所以齿舌的各部分自齿舌末段开始向前段依次表现出矿化顺序，齿舌的前段矿化较后段及末段为重 (表 1)。齿舌中的钾、钙、钠、镁、铬、铁、钴和锰 8 种元素含量达到齿舌干重的 17.95% (14.6 + 0.36 + 1.938 + 0.938 + 0.068 + 0.004 + 0.003 + 0.036)%，其中铁、镁、钠、钾

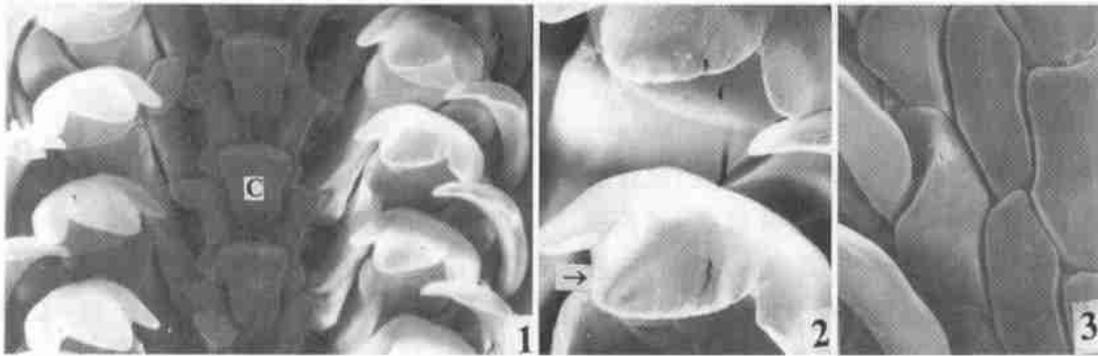


图 1 扫描电镜下红条肤石鳖的齿舌形态

Fig.1 The SEM morphology of the radula of Chiton

- 1. 齿舌的形态示中央齿 (c) [The SEM morphology of the radula which shows central teeth (c)] ×83
- 2. 第 1 侧齿的形态示山形齿尖 (箭头) [The SEM morphology of the first lateral tooth which shows the tricuspid cusp (arrowhead)] ×300
- 3. 缘齿形态 (The SEM morphology of marginal teeth) ×225

表 1 红条肤石鳖齿舌不同部位的矿化及分段情况

Table 1 Mineralization development and divided segment along the radula of Chiton

部位 Segment	齿列数 Number of rows	颜色 Colour	矿化情况 Mineralization
	0 ~ 10 排 (Row)	灰白色 (Grey-white)	未矿化 (No mineralization)
	11 ~ 25 排 (Row)	浅红棕色 (Light reddish brown)	初步矿化 (Preliminary mineralization)
	26 ~ 35 排 (Row)	红棕色 (Reddish brown)	浅度矿化 (Lightly mineralization)
	36 ~ 50 排 (Row)	深红棕色 (Heavy reddish brown)	深度矿化 (Heavily mineralization)

表 2 8 种金属元素在红条肤石鳖齿舌及天然海水中的含量 (µg/g)

Table 2 The concentration of eight metal elements in the radula of Chiton and sea water

部位 Part	Fe	Ca	Mg	Na	K	Cr	Co	Mn
整个齿舌 (Whole radula)	146 000	3 600	19 380	9 380	680	40	30	360
段 (segment)	159 000	8 660	8 500	12 030	923	140	28	550
段 (segment)	163 000	6 690	23 190	21 050	760	18	22	484
段 (segment)	89 420	4 220	8 630	11 970	250	31	8	63
段 (segment)	4 940	788	97	180	12	N.D	N.D	N.D
海水 (Sea water)	0.02	408	1 297	10 769	38	0.00005	0.0001	0.01

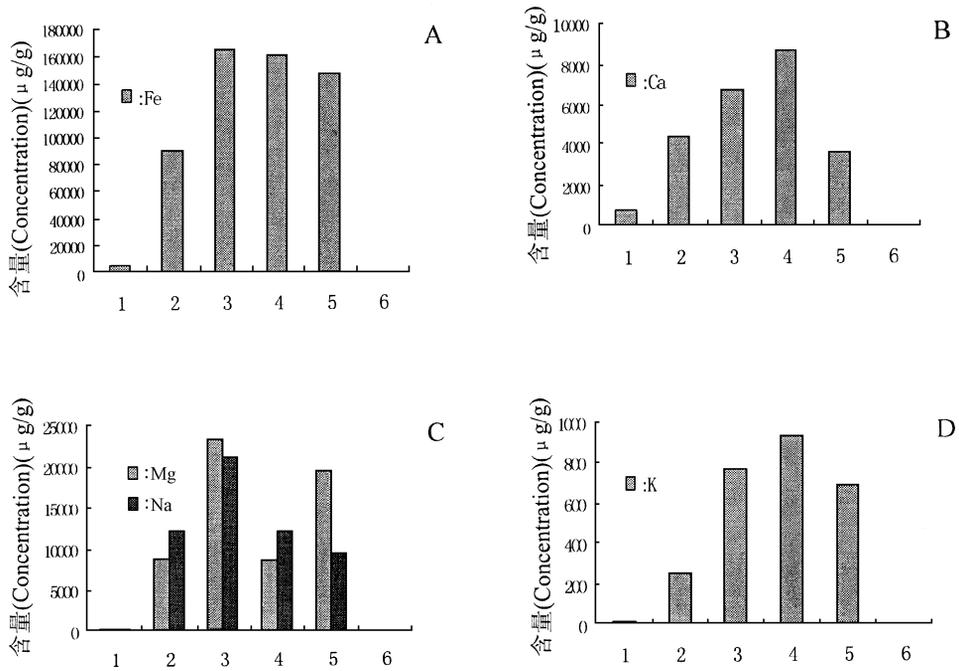


图 2 5 种金属元素 (铁、钙、镁、钠、钾) 在红条肤石鳖齿舌各段中的含量变化

Fig. 2 Concentration of five elements in the different segments of radula of Chiton

- A. 铁元素含量变化 (Concentration of Fe)
- B. 钙元素含量变化 (Concentration of Ca)
- C. 镁和钠元素含量变化 (Concentration of Mg and Na)
- D. 钾元素含量变化 (Concentration of K)

1: 齿舌段 (segment) 2: 齿舌段 (segment) 3: 齿舌段 (segment) 4: 齿舌段 (segment) 5: 整个齿舌 (Whole radula)

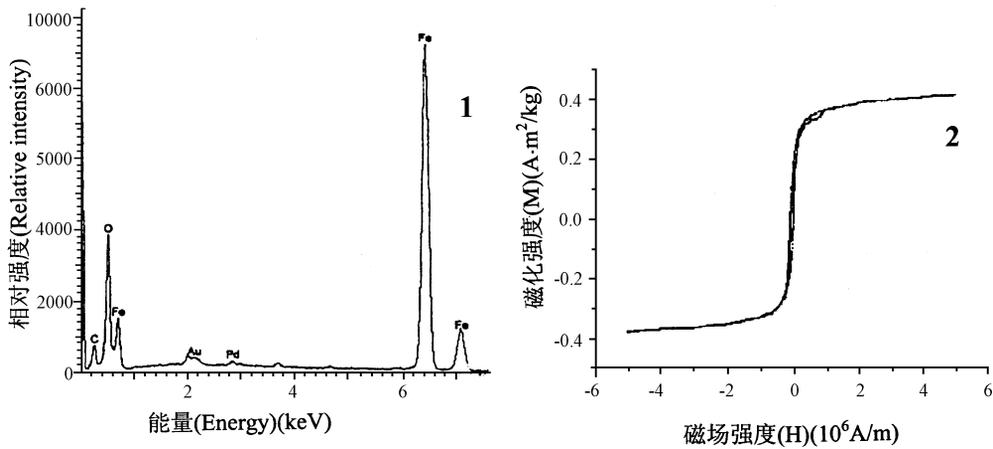


图 3 元素能谱分析及磁性物质的磁滞回线

Fig. 3 The energy spectrum analysis of elemental components and magnetic hysteresis loop of magnetite

- 1. 第 1 侧齿中元素的能谱分析 (The energy spectrum analysis of elemental components for the first lateral tooth)
- 2. 17 个齿舌中的磁性物质的磁滞回线 (The magnetic hysteresis loop of magnetite for 17 radula)

和钙 5 种主要金属元素约占齿舌干重的 17.90 % (表 2), 矿物质重量的 67 % (17.90/ 26.7), 并且 5 种元素在各段中的含量变化非常大 (图 2)。

2.3 齿舌的磁性

齿舌中矿化程度最重的齿片是第 1 侧齿, 此齿

的扫描电镜能谱分析结果表明齿片中主要元素为铁、氧两种元素, 原子数 Fe O 为 32.02/ 42.10, 约 3/4 (图 3: 1)。由 17 个齿舌的超导量子干涉器式磁强计测量的磁滞回线 (图 3: 2) 计算可得每个齿舌的磁化强度约为 $0.02 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^2$, 若每个

齿舌平均干重约 1.5 mg, 则齿舌中磁性物质 Fe_3O_4 的磁化强度约 $14 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$, 依 Fe_3O_4 饱和磁化强度 $92 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$ 来计算, 即每个齿舌中 Fe_3O_4 的量为 0.2 mg, 占矿物质重量的 57% ($14/92/0.267$), 齿舌重量的 13% ($0.2/1.5$), 相当于每个齿舌约含 0.04 mm^3 的 Fe_3O_4 。

3 讨论

红条毛肤石鳖是一种比较低等的软体动物, 栖息于岩礁表面或岩缝内, 活动区域为潮间带。由于属于草食性动物, 齿片较多, 且多为小型齿, 达几百至上千个, 呈低平的瓦片状结构。齿舌中矿物元素含量分析结果表明齿舌中矿物元素含量较高, 可能是红条毛肤石鳖的齿舌较硬的一个原因, 以防磨损严重造成取食的困难。在 8 种矿物元素中铁的含量最高, 达齿舌总量的 14.6%, 由图 2 可以看出在钾、钙、钠、镁和铁 5 种主要元素中只有钾、钙两种元素在齿舌各段中的含量与齿舌的矿化顺序完全一致, 齿舌的矿化顺序为由齿舌末段向齿舌前段依次矿化, 齿舌前段矿化最重。铁元素在最前一段中的含量略低于 段, 与齿舌的矿化顺序略有出入, 可能与第 1 侧齿的山形齿尖磨损较后者稍严重造成的, 在齿舌的 段、 段中铁元素的含量与 段相比, 前者约为后者的两倍。钠、镁两元素在齿舌各段中的含量与齿舌的矿化顺序不一致, 在齿舌 段中的含量远远超过 段。铬、钴和锰 3 种元素除了在齿舌 段没有检测到以外, 在其它 3 段中的含量变化不大。由于铁元素在齿舌各段中的含量远

远超过其它 7 种元素, 因此齿舌的矿化在外观上表现为铁矿物的颜色, 颜色由末段的灰白色变为中段的浅红棕色至前段的深红棕色 (表 1)。8 种元素的含量占到齿舌矿质元素总量的 67%, 其中钾、钙、钠、镁和铁 5 种金属元素的含量较高, 占 8 种元素含量的 99.7% ($17.90/17.95$), 铬、钴和锰 3 种元素的含量微乎其微。与海水中的主要矿物元素比较, 发现齿舌吸收铁元素的能力特强, 是海水中铁元素浓度的 730 万倍。对钾、钙、钠和镁的富积能力较弱, 为海水对应元素的几倍至几十倍, 对微量元素钴、铬、锰的富积程度是海水的几十万倍。齿舌中矿物元素虽由齿舌囊上皮细胞分泌而来, 但最终来源是食物。齿舌中铁、镁等元素含量如此之高, 不知在生物学上有何意义。在红条毛肤石鳖齿舌第 1 侧齿的山状齿尖中发现有磁性物质, 且这一结构的颜色明显不同于其它部分, 矿化程度的变化也主要表现在这一结构上, 磁性物质 Fe_3O_4 在齿舌中含量达齿舌干重的 13%, 在其它动物中是很少见到的。齿舌中的磁性物质的生物作用又是如何, 是否是动物将多摄入的矿物元素通过齿舌囊上皮细胞分泌, 积累到齿舌上, 从而达到排出细胞这样的一条途径, 关于这方面的研究还有待于进一步的探索。

致谢 本研究中的原子吸收测定工作得到了烟台大学化学分析中心刘雪梅老师的大力支持; 能谱分析和磁力显微镜观察由中国科学院物理所磁学国家重点实验室王超英高级工程师和韩宝善研究员完成, 在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献 (References)

- Cai, Y. Y. and Y. Zhang 1979 An Introduction to Shellfish. Shanghai: Science and Technology Press. [蔡英亚, 张英 1979 贝类学概论. 上海: 科技出版社.]
- Liu, C. L., C. H. Guo, L. B. Cui and Y. H. Lu 1996 Observation on the radula of *Haliotis discus hannai* Ino. with SEM. *Journal of Yantai University* 4: 22~27. [刘传琳, 郭承华, 崔龙波, 陆瑶华 1996 皱纹盘鲍齿舌扫描电镜下的形态观察. 烟台大学学报 4: 22~27.]
- Liu, C. L., L. B. Cui and Y. H. Lu 2000 Radula formation of *Haliotis discus hannai*. *Acta Zool. Sin.* 46 (2): 235~237. [刘传琳, 崔龙波, 陆瑶华 2000 皱纹盘鲍齿舌形成的研究. 动物学报 46 (2): 235~237.]
- Kim, Kyung-Suk, J. Webb, D. J. Macey and D. D. Cohen 1986 Compositional changes during biomineralization of the Chiton, *Clavarizone histosa*. *Journal of Inorganic Biochemistry* 28: 337~345.
- Pan, B. P. and Y. H. Zhou 1991 Study on the radula of commonly seen Gastropoda in the freshwater *Journal of Tianjin Educational College* 3: 15~21. [潘宝平, 周友华 1991 淡水习见腹足类齿舌的研究. 天津教育学院学报 3: 15~21.]
- Pierre, T. G., S. T. Mann, J. Webb, D. P. Dickson and R. J. Williams 1986 Iron oxide biomineralization in the radula teeth of the limpet *Patella vulgata* Mossbauer spectroscopy and high resolution electron microscopy studies. *Proc. R. Soc.* 228: 31~42.

外 文 摘 要 (Abstract)

MORPHOLOGY AND MINERAL CONTENTS OF THE RADULA OF CHITON (ACANTHOCHITON RUBROLINEATUS LISCHKE)

LIU Chuan-Lin ZHAO Jian-Gao CUI Long-Bo LIU Xing-Jie

(Department of Biochemistry of Yantai University, Yantai 264005, Shandong, China)

(State Key Laboratory for Magnetism, Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

(Fushan Professional School, Yantai 255000, Shandong, China)

The Chiton (*Acanthochiton rubrolineatus* Lischke) is a herbivorous mollusk, living in the intertidal environments, and it belongs to the class Polyplacophora. The Chiton has a long tongue-like radula, which is an important organ for feeding. Morphology of the radula was observed in detail with light and electron microscopes. For a mature Chiton, it has 40~50 rows of teeth, and those teeth are all reverse. Each row was consisted of 17 teeth, and the morphology of the teeth was diverse. Among the 17 teeth, three teeth were central ones, three teeth were lateral ones, and four teeth were marginal ones. Those teeth were heavily biomineralized, with some inorganic minerals, such as silicon, phosphorus, sulphur and some metal elements, potassium, calcium, iron etc, deposits in these radula teeth. As the quantity of the minerals in the different segments of radula changes, degree of the biomineralization increased continuously from posterior to anterior end of the radula. Thus, the anterior of the radula was mineralized heavily more than the posterior. The concentration of eight elements: potassium, calcium, sodium, magnesium, iron, cobalt, chromium and manganese were analyzed with atomic absorptive spectrum. The results showed that concentration of iron, a major element, was about 14.6% weight of the dried radula. It ranked first among these elements, and magnesium ranked the second, and sodium, calcium, and potassium, cobalt chromium; and manganese was the lowest in quantity in turn. Concentration of eight elements changes in the different segments, but in quantity, the element magnesium varies greatest among the eight elements. The quantities of five main elements (iron, magnesium, sodium, potassium and calcium) were 67% weight of total minerals in the radula, and the concentration of eight metal elements in the radula was much larger than their concentration in seawater. Obviously, the eight elements are greatly richened in the Chiton radula. During the studies, it was found that the radula contained amounts of magnetite Fe_3O_4 , which made the radula show magnetism. The magnetite mainly deposits upon the cusp of the first lateral teeth. The magnetite was measured with Atomic Force and Magnetic Force Microscope and Super-conducting Quantum Interference Device Magnetometer (SQUID). The results showed that each radula contained 0.2 mg Fe_3O_4 , which was 13% weight of a dried radula, equivalent to 0.04 mm^3 volume magnetite Fe_3O_4 , and the magnetization of each radula reached about $0.02 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^2$.

Key words Chiton (*Acanthochiton rubrolineatus* Lischke), Radula, SEM, Atomic absorptive spectrum, Mineral quantity, Magnetism