

连云港海域螺类软体部分重金属和微量元素分析

孟学平¹, 申欣¹, 王妍¹, 梁猛¹, 郝瑀¹, 赵娜娜^{1,2}, 田美¹

(1. 淮海工学院海洋学院, 江苏省海洋生物技术重点实验室, 江苏 连云港 222005;

2. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏省海洋生物重点实验室, 江苏 南京 210095)

摘要: 分析评价连云港海产螺类可食部分微量元素及重金属含量的安全性。用硝酸-高氯酸消化法消解组织, 用电感耦合等离子体原子发射光谱法测定元素含量。结果显示: 9种螺类及同种螺不同组织中Pb、Cd、Sn、As、Mn、Fe、Ni、Ag、Se、Cr、Co、Zn和Cu 13种元素含量存在差异。被测试螺中含有Fe、Cu、Zn、Co、Mn、Cr、Se和Sn等人体必需微量元素; 重金属元素As、Cd和Pb的残留量指数(*I*)较高, 且在不同螺的不同组织中的含量存在显著差异。As在9种螺类中均超标。管角螺足肌As、内脏团Cd的含量最高; Pb在托氏虫昌螺(*I*=6.5)和2(*I*=5.5)、扁玉螺足肌(*I*=2.1)和管角螺内脏团(*I*=1.22)含量超标, 其余样品低于国家食品卫生标准或*I*值小于1。除扁玉螺足肌组织外(*I*=1.21), 扁玉螺内脏团和其余8种螺Cr的*I*值均小于1。

关键词: 螺类; 微量元素; 重金属; 连云港; 分析

Analysis of Heavy Metal and Trace Elements in Edible Parts of Snails from Lianyungang Sea Area

MENG Xue-ping¹, SHEN Xin¹, WANG Yan¹, LIANG Meng¹, HAO Jue¹, ZHAO Na-na^{1,2}, TIAN Mei¹

(1. Key Laboratory of Marine Biotechnology, College of Marine Science, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China; 2. Key Laboratory of Marine Biology of Jiangsu Province, College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The edible parts of 9 marine snails from Lianyungang sea area were analyzed for the contents of trace elements and the safety of heavy metal contents was evaluated. Different marine snails and different tissues of the same species showed variations in the contents of Pb, Cd, Sn, As, Mn, Fe, Ni, Ag, Se, Cr, Co, Zn and Cu. Essential trace elements for humans such as Fe, Cu, Zn, Co, Mn, Cr, Se and Sn were found in all the tested snails, but the heavy metals As, Cd and Pb revealed a high residual index (*I*) and showed variations among different marine snails and among different tissues. All the snails had As contents exceeding the national food hygiene standard. As and Cd revealed the highest content in the foot muscle and visceral mass of *Hemifusus tuba*, respectively. Although Pb contents exceeding the national food hygiene standard were found in two samples of *Umbonium thomasi* (*I* = 6.5 and 5.5, respectively), the foot muscle of *Glossaulax didyma* (*I* = 2.1) and the visceral mass of *H. tuba* (*I* = 1.22), the foot muscle and visceral mass of other snails had safe Pb contents and *I* values smaller than 1. In addition, the foot muscle of *H. tuba* had a Cr *I* value of 1.21, while the Cr *I* values of the visceral mass of *Glossaulax didyma* and both tissues of eight other snails were less than 1.

Key words: snail; trace element; heavy metal; Lianyungang; analysis

中图分类号: S922.92

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)22-0250-05

随着生活水平的不断提高, 食品营养及安全问题已越来越受到国家和民众的重视。螺、贝类可食部分微量元素及有害元素含量与人们的健康直接相关, 目前有关海洋贝类的微量元素和重金属元素的测定与分析报道较多^[1-8], 而海洋螺类相关的研究报道较少^[9-14]。海产螺类富含蛋白质、多种微量元素, 脂肪含量低, 是人类的优质

营养肉类食品。随着人们健康理念的增强, 海洋食品类微量元素的分布及可能富集的重金属含量及其安全性都越来越引起广大消费者的兴趣和关注。

连云港沿海常见的可食性螺类有脉红螺*Rapana venosa*、扁玉螺*Glossaulax didyma*、管角螺*Hemifusus tuba*、微黄镰玉螺*Lunatia gilva*、强肋锥螺等*Turritella*

收稿日期: 2011-08-24

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2007066); 江苏省海洋生物技术重点实验室开放课题(2011HS009; 2009HS13; 2005HS009); 江苏省教育厅自然科学基金项目(05SJD240028)

作者简介: 孟学平(1955—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为水生生物生化及分子生物学。E-mail: mxp2002@hotmail.com

fortilirata, 这些螺类螺肉丰腴细腻、营养丰富、味道鲜美, 具有重要的食用价值。有关河北省近岸海域(脉红螺、扁玉螺)^[11]、辽东湾(脉红螺)^[12]、盐城海域(扁玉螺、微黄镰玉螺)^[13]、湛江海域(扁玉螺、管角螺)^[9,14]螺类金属元素分析已有报道, 连云港海域大部分螺类金属元素的分析未见报道。本研究旨在评价连云港海域螺类可食部分重金属微量元素和对人体有益的必需微量元素富集水平, 分析不同种类的螺和不同组织各元素含量的差异, 对安全食用海洋螺类具有指导意义, 也为控制海洋生物的重金属元素污染及海水污染监控提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本实验所用螺类采自新浦直销市场、墟沟海鲜批发市场和赣榆海头海鲜批发市场。通过查阅《中国海洋贝类图鉴》对实验螺类进行鉴定。形态学方法难以鉴定的样本结合16S rRNA基因进行鉴定。

硝酸(优级纯) 国药集团化学试剂有限公司; 高氯酸(优级纯) 上海金鹿化工有限公司; 国家标准物质贻贝标样(GBW08571) 中国科学院生态环境研究中心和国家海洋局第二海洋研究所; 金属标准储备液: Ag、As、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、Mn、Pb、Se、Sn、Zn标准液(质量浓度均为1000 μ g/L) 济南众标科技有限公司。实验中根据需要稀释。

1.2 仪器与设备

BS124S电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司; DHG-9240A电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; FW100高速万能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司; iCAP 6300等离子体发射光谱仪 美国赛默飞世尔科技公司。

1.3 样品处理及微量元素测定

螺类可食部分被分割为足肌和内脏团(指除肌肉外的所有软体部分)2部分(个体小的螺类不分割), 称量, 100 $^{\circ}$ C烘干。用高速万能粉碎机和研钵将样本研磨至粉末状备用。称取组织粉末0.5000g, 加入硝酸-高氯酸混合液加热消解成无色透明或淡黄色透明液体后, 用超纯水定容至25mL, 分装入10mL离心管中保存待用。用相同方法消化贻贝标准物质样品(GBW08571)。用iCAP 6300型等离子体发射光谱仪测定元素含量。将Ag、As、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Se、Sn和Zn标准储备液用质量分数为2%的硝酸逐级稀释, 测定发射强度, 建立工作曲线, 然后测定标准物质及样品的元素含量。

1.4 数据处理和评价方法

根据贻贝标准物样品各元素的含量及其测定所得元素含量计算回收率, 根据回收率对样本各元素测定进

行校正。用SPSS软件进行单因素方差分析。用残留量指数(I)评价螺类可食部分重金属的污染程度。计算公式如下:

$$I = C_i / C_{Si}$$

式中: C_i 为螺类组织某重金属含量($\times 10^{-6}$); C_{Si} 为某重金属允许残留量($\times 10^{-6}$)。当 $I \leq 1$ 时, 表明未受污染; 大于1时, 表明存在污染, 并可按 I 值大小, 划分污染程度。

2 结果与分析

2.1 螺类13种元素含量比较

通过查阅《中国海洋贝类图鉴》、16S rRNA基因鉴定与专家鉴定相结合, 对样本进行鉴定, 确认本实验所用的9种螺类样本分别为玉螺科的扁玉螺、微黄镰玉螺、拟紫口玉螺*Cryptonatica andoi*、骨螺科的脉红螺、盔螺科的管角螺、织纹螺科的纵肋织纹螺*Nassarius variciferus*、锥螺科的强肋锥螺、塔螺科的细肋蕾螺*Gemmula deshayesii*。未知螺1和2的16S rRNA基因比对结果显示其与马蹄螺科的托氏虫昌螺的相似性为99%, 被认定为托氏虫昌螺*Umbonium thomasi*(表1)。

对9种螺类进行加标回收实验, 其中, 扁玉螺、微黄镰玉螺、拟紫口玉螺、脉红螺和管角螺5种螺分割为足肌和内脏团2部分, 分别测试, 其余螺类不分割。结果表明, 除Pb的回收率(20.86%)偏低外, 其余各元素回收率在68.60%~125.43%之间, 相对标准偏差在0.39%~4.54%之间。不同螺类不同组织13种元素含量测定结果见表1。经测定获得连云港沿海9种螺13种元素(Pb、Cd、Sn、As、Mn、Fe、Ni、Ag、Se、Cr、Co、Zn和Cu)的含量。结果显示除Ag、Pb、Sn 3种元素在个别螺类中均低于方法检出限外, 其余元素在9种螺类中均检出。Zn、Fe、Mn、Cu在不同螺体内的含量相对其他元素高。本实验提供的Pb的含量可能低于实际含量, 故测定结果仅供参考。

一种螺体内不同部位同种元素含量(本实验提及的元素含量除特殊标注外, 均以鲜质量计算)不尽相同。如扁玉螺足肌Co的含量为内脏团的14.2倍, 差异极显著($P < 0.01$), 而内脏团As的含量是足肌的3.7倍; 微黄镰玉螺内脏团的Mn是足肌的13.4倍; 拟紫口玉螺足肌的Cr的含量是内脏团的4.2倍; 脉红螺足肌Ag的含量是内脏团的5.8倍, 内脏团的Cu是足肌的3.7倍; 微黄镰玉螺、管角螺内脏团Cd的含量分别是足肌的10.8和172.6倍($P < 0.01$)。在所分析的样本中, 微黄镰玉螺、拟紫口玉螺、脉红螺和管角螺4种螺的Fe在内脏团中的含量均不同程度地高于足肌中的含量。微黄镰玉螺、管角螺内脏团Fe含量分别为其足肌的4.7、4.5倍($P < 0.01$)。

表1 9种螺类的不同组织13种元素含量
Table 1 Contents of 13 trace elements in different tissues of 9 snails

| 元素 | 样品微量元素含量($\mu\text{g/g}$) | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 扁玉螺(F) | 扁玉螺(V) | 微黄镰玉螺(F) | 微黄镰玉螺(V) | 拟紫口玉螺(F) | 拟紫口玉螺(V) | 脉红螺(F) | 脉红螺(V) | 管角螺(F) | 管角螺(V) | 纵肋织纹螺 | 托氏虫昌螺1 | 托氏虫昌螺2 | 强肋锥螺 | 细肋蕾螺 |
| Ag | 0.36 | 0.81 | 0.03 | 0.14 | 0.16 | 0.42 | 0.29 | 0.05 | 0.10 | 0.74 | — | — | — | 0.09 | 0.32 |
| | 1.53 | 2.18 | 0.09 | 0.34 | 0.68 | 1.78 | 1.34 | 0.21 | 0.38 | 2.73 | — | — | — | 0.47 | 1.32 |
| As | 1.67 | 6.23 | 4.25 | 4.84 | 10.65 | 13.24 | 11.68 | 3.72 | 18.05 | 12.02 | 3.61 | 2.06 | 2.09 | 6.04 | 13.02 |
| | 7.02 | 16.82 | 14.88 | 11.62 | 44.74 | 55.6 | 53.75 | 15.64 | 68.60 | 44.46 | 24.91 | 10.5 | 9.21 | 31.43 | 53.4 |
| Cd | 0.79 | 0.53 | 0.09 | 0.98 | 0.37 | 4.75 | 0.35 | 0.04 | 0.09 | 15.53 | 0.10 | 0.40 | 0.38 | 3.92 | 2.27 |
| | 3.32 | 1.42 | 0.33 | 2.34 | 1.55 | 19.95 | 1.59 | 0.18 | 0.34 | 57.45 | 0.7 | 2.06 | 1.65 | 20.36 | 9.31 |
| Co | 1.85 | 0.13 | 0.02 | 0.18 | 0.02 | 0.15 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.42 | 0.35 | 0.03 | 0.03 |
| | 7.78 | 0.36 | 0.06 | 0.44 | 0.07 | 0.65 | 0.01 | 0.06 | 0.06 | 0.32 | 0.12 | 2.15 | 1.56 | 0.15 | 0.12 |
| Cr | 2.42 | 1.01 | 0.30 | 0.47 | 1.14 | 0.27 | 0.82 | 0.36 | 0.46 | 0.46 | 0.10 | 1.26 | 0.87 | 0.03 | 0.53 |
| | 10.15 | 2.72 | 1.06 | 1.12 | 4.79 | 1.13 | 3.75 | 1.51 | 1.75 | 1.71 | 0.71 | 6.43 | 3.83 | 0.13 | 2.16 |
| Cu | 15.24 | 12.88 | 3.74 | 12.41 | 5.17 | 23.68 | 0.88 | 3.23 | 1.93 | 3.88 | 1.47 | 5.07 | 3.69 | 2.64 | 3.29 |
| | 64.02 | 34.78 | 13.09 | 29.79 | 21.7 | 99.45 | 4.06 | 13.57 | 7.33 | 14.36 | 10.16 | 25.87 | 16.25 | 13.75 | 13.48 |
| Fe | 85.66 | 132.28 | 30.96 | 176.80 | 50.58 | 97.99 | 21.01 | 24.06 | 21.02 | 89.20 | 11.03 | 979.18 | 909.07 | 5.86 | 32.35 |
| | 359.77 | 357.15 | 108.36 | 424.33 | 212.44 | 411.57 | 96.63 | 101.05 | 79.87 | 330.05 | 76.08 | 4993.8 | 3999.9 | 30.49 | 132.64 |
| Mn | 36.75 | 18.31 | 2.35 | 31.45 | 1.88 | 14.35 | 2.84 | 1.98 | 2.37 | 3.42 | 0.78 | 26.78 | 22.59 | 0.40 | 1.36 |
| | 154.37 | 49.45 | 8.23 | 75.47 | 7.91 | 60.29 | 13.05 | 8.33 | 9.01 | 12.65 | 5.4 | 136.58 | 99.39 | 2.06 | 5.59 |
| Pb | 1.04 | — | — | 0.20 | — | 0.33 | — | — | 0.18 | 0.61 | — | 3.25 | 2.75 | — | 0.33 |
| | 4.36 | — | — | 0.48 | — | 1.39 | — | — | 0.67 | 2.25 | — | 16.59 | 12.08 | — | 1.34 |
| Se | 1.08 | 1.77 | 0.87 | 2.48 | 0.27 | 1.42 | 0.37 | 0.76 | 0.24 | 1.29 | 0.33 | 0.61 | 0.63 | 0.54 | 0.47 |
| | 4.54 | 4.77 | 3.05 | 5.94 | 1.12 | 5.96 | 1.68 | 3.18 | 0.9 | 4.77 | 2.3 | 3.09 | 2.79 | 2.83 | 1.91 |
| Ni | 0.58 | 0.61 | 0.25 | 1.07 | 0.95 | 0.65 | 0.33 | 0.76 | 0.30 | 0.21 | 0.07 | 0.58 | 0.56 | 0.50 | 0.21 |
| | 2.42 | 1.66 | 0.87 | 2.56 | 3.99 | 2.73 | 1.53 | 3.18 | 1.14 | 0.78 | 0.49 | 2.98 | 2.46 | 2.62 | 0.88 |
| Sn | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.08 | 0.01 | — | — | 0.02 | 0.01 |
| | 0.09 | 0.09 | 0.17 | 0.08 | 0.10 | 0.04 | 0.12 | 0.14 | 0.07 | 0.29 | 0.10 | — | — | 0.10 | 0.05 |
| Zn | 159.46 | 47.95 | 30.93 | 26.83 | 9.06 | 16.02 | 9.37 | 16.83 | 18.51 | 19.50 | 6.17 | 15.27 | 16.83 | 132.08 | 11.47 |
| | 669.73 | 129.47 | 108.24 | 64.38 | 38.07 | 67.27 | 43.11 | 70.69 | 70.33 | 72.16 | 42.59 | 77.88 | 74.05 | 686.8 | 47.02 |

注：螺类名称后的字母“V”代表内脏团组织，“F”代表足肌组织，下同；“—”低于方法检出限；每个元素栏内的上行为以鲜质量计算含量，下行为以干质量计算含量。表3同。

不同元素在同一螺体内的含量不同。将含量较高的Zn、Fe、Mn、Cu、As 5种元素按其在样本内含量从高到低(扁玉螺等分割为足肌和内脏团两部分螺类按含量高的部分排序)次序进行排序，结果如下：扁玉螺、微黄镰玉螺：Zn>Fe>Mn>Cu>As；拟紫口玉螺Fe>Cu>Zn>Mn>As；脉红螺足肌、管角螺、纵肋织纹螺：Fe>Zn>As>Cu>Mn；托氏虫昌螺1、2：Fe>Zn>Cu>As>Mn；强肋锥螺：Zn>As>Fe>Cu>Mn；细肋蕾螺：Fe>As>Zn>Cu>Mn。

2.2 样品微量元素含量

本实验共测定的13种元素中，Fe、Cu、Zn、Co、Mn、Cr、Se和Sn 8种元素是人体必需微量元素，在所有的实验样本中测定结果见表1。不同螺类及同种螺类不同组织含量存在差异，元素含量($\mu\text{g/g}$)范围如下：Fe：5.86~979.18；Cu：1.47~23.68；Zn：6.17~159.46；Co：0.01~1.85；Mn：0.40~36.75；Cr：0.03~2.42；Se：0.27~2.48；Sn：0.01~0.08。托氏虫昌螺1和2 Fe元素含量最高，分别为979.18 $\mu\text{g/g}$ 和909.07 $\mu\text{g/g}$ ，强肋锥螺的最低，为5.86 $\mu\text{g/g}$ ；扁玉螺足肌和强肋锥螺Zn的含量极显著高于其他螺类($P<0.01$)(表1)，分别为159.46 $\mu\text{g/g}$ 和132.08 $\mu\text{g/g}$ ，纵肋织纹螺的最低，为6.17 $\mu\text{g/g}$ 。扁玉螺足肌、微黄镰玉螺内脏团Mn的含量相对高，分别为22.59 $\mu\text{g/g}$ 和26.78 $\mu\text{g/g}$ 。Sn的含量较低，且在托氏虫昌螺中低于方法检出限。被检样品中的Se的

含量较低，在0.24~2.48 $\mu\text{g/g}$ 之间，微黄镰玉螺内脏团Se的含量最高，是限量标准(表2)的2.5倍，其余螺类Se的含量分布在0.24~1.77 $\mu\text{g/g}$ 之间，接近限量标准。Cu在拟紫口玉螺内脏团、微黄镰玉螺内脏团的含量较高，在12.41~23.68 $\mu\text{g/g}$ 之间，其余样本含量较低，在0.13~5.17 $\mu\text{g/g}$ 之间。由上可见，螺类食源是食物补充微量元素的良好食品。

表2 螺类重金属的评价标准
Table 2 Assessment standards of heavy metals in snails

| 元素 | 参考动物 | 限量($\mu\text{g/g}$) (鲜质量计) | 评价标准 |
|----|--------|---------------------------------|---|
| Cd | 鱼类 | ≤ 0.1 | GB2762—2005《食品中污染物限量》 |
| Zn | 鱼类 | ≤ 50 | GB13106—91《食品中锌限量卫生标准》 |
| As | 贝类及虾蟹类 | ≤ 0.5 | GB2762—2005《食品中污染物限量》 |
| Cu | 水产类 | ≤ 5.0 | GB18406.4—2001《农产品安全质量：农产品安全质量无公害水产品安全要求》 |
| Pb | 鱼类 | ≤ 0.5 | GB2762—2005《食品中污染物限量》 |
| Cr | 鱼贝类 | ≤ 2.0 | GB2762—2005《食品中污染物限量》 |
| Se | 鱼类 | ≤ 1.0 | GB2762—2005《食品中污染物限量》 |

2.3 螺类重金属含量分析及安全性评价

13种元素中的Fe、Cu、Zn、Co、Sn、Mn、Cr和Se为人体必需微量元素。As(对人体的毒性较大，常被划为重金属元素进行分析)、Cd、Pb、Cr是对人体有害的常见的重金属元素。不同种类螺及同种不同组织对上述4种元素的富集能力具有极显著差异($P<0.01$)(图1)。

As、Cd、Pb和Cr的含量范围分别为1.67~18.05μg/g、0.04~15.53μg/g、0.00~3.25μg/g、0.03~1.26μg/g；管角螺、拟紫口玉螺、纵肋蕾螺对As的富集能力较强，含量在12.0~18.05μg/g之间，富集能力从大到小依次为管角螺足肌>拟紫口玉螺内脏团>脉红螺足肌>纵肋蕾螺>拟紫口玉螺足肌>管角螺内脏团。管角螺内脏团Cd的含量最高，为15.53μg/g，拟紫口玉螺内脏团Cu的含量最高，为23.7μg/g。螺类Pb含量较低，且在脉红螺、纵肋组织纹螺、强肋锥螺中低于方法检出限。Ag在托氏虫昌螺、纵肋组织纹螺中低于方法检出限。

($I=6.5$)，其次为扁玉螺足肌($I=2.1$)，脉红螺、纵肋组织纹螺、强肋锥螺低于方法检出限。Zn的 I 值在0.12~3.19之间，其中强肋锥螺及扁玉螺足肌 I 值大于1，分别为2.64、3.19，其余螺类 I 值均小于1，说明该海域所测样品Zn的含量大多数都低于限量标准，未受到Zn的污染。只有强肋锥螺和扁玉螺足肌受到Zn的污染。Cu的 I 值在0.02~0.30之间，均小于1，低于国家限量标准。除扁玉螺足肌外，各种螺Cr的 I 值均小于1，说明未受到Cr污染。

3 讨论

本研究结果显示As在供试螺类中含量均较高，这与李玉等^[15]的研究结果基本一致。河北省11种海洋螺、贝类体内As的含量在0.59~1.84μg/g(鲜质量计)之间，其中扁玉螺与脉红螺的最高，分别为1.71μg/g和1.84μg/g，其余9种贝类的在1.1μg/g以下^[5]；泉州湾4种贝类As的含量在5.3~8.9μg/g之间(以干质量计)^[16]，浙江省东部沿海地区11种贝类As的含量在0.05~0.74μg/g之间^[10]，本实验样品As的含量在1.7~18.1μg/g(鲜质量计)或7.0~68.6μg/g(干质量计)之间，接近或高于上述资料的含量。

脉红螺和扁玉螺是中国沿海的重要经济腹足类，也是连云港海域常见经济螺类。连云港扁玉螺As含量(1.67~6.23μg/g)与河北扁玉螺的接近^[5]，但是远低于湛江硇洲岛(20.0~24.34μg/g，鲜质量计)扁玉螺As的含量^[9]，连云港和硇洲岛扁玉螺内脏团对As的富集均高于肌肉，其在内脏团的含量分别为肌肉的3.7倍和3.6倍^[9]。连云港脉红螺As含量是辽东湾北部脉红螺的2.8倍^[12](表4)。本实验样品As含量均超出国家限量标准($I=3.4\sim36.1$)。连云港脉红螺的Cd含量低于辽东湾北部脉红螺的含量，连云港扁玉螺Cd的含量高于湛江硇洲岛扁玉螺的含量。软体动物体内重金属的富集与环境相应重金属含量相关，供试螺类软体部高Cd、As含量与连云港海域Cd、As污染^[17]有关。所测样品中除微黄镰玉螺足肌、脉红螺内脏团和管角螺足肌、纵肋组织纹螺Cd的含量等于或低于国家标准外，其余螺类Cd的含量均超出国家限量标准，建议参考本研究结果，对Cd含量高的螺类适量食用，一次进食不宜过多。

硒是人体必需微量元素之一，主要作为酶的辅助因子发挥作用，具有抗氧化作用，调节甲状腺激素功能和解毒作用，适量的硒可以防病治病、延缓衰老、增强机体免疫能力，可以抵抗多种重金属对机体造成的损害^[18]。专家指出，硒的安全生理需要量为50μg/d，适宜的摄入范围为50~250μg/d^[19-20]。本实验所测样本中Se的含量在0.24~2.48μg/g之间，因此，每天进食20~100g螺肉(指本实验供试螺类)，可补充人体必需的微量元素硒，且是安全的。Zn是人体必需的微量金属元素，有160多

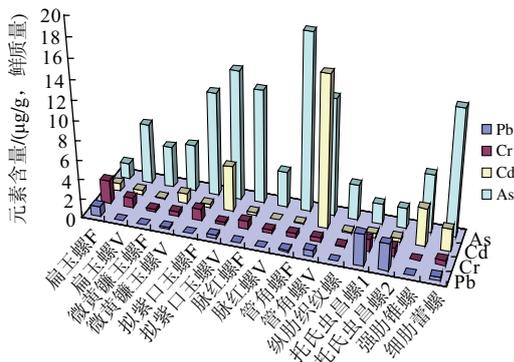


图1 不同螺类不同组织As、Cd、Cr和Pb含量

Fig.1 The contents of As, Cd, Cr and Pb in different tissues of different snails

表3 元素残留量指数(I)

Table 3 Residual index (I) of trace elements in different tissues of different snails

| 样品 | 元素 | | | | | | |
|-----------|-------|--------|------|------|------|------|------|
| | As | Cd | Cr | Pb | Cu | Zn | Se |
| 扁玉螺(F) | 3.34 | 7.90 | 1.21 | 2.08 | 0.30 | 3.19 | 1.08 |
| 扁玉螺(V) | 12.46 | 5.30 | 0.51 | — | 0.26 | 0.96 | 1.77 |
| 微黄镰玉螺(F) | 8.50 | 0.90 | 0.15 | — | 0.07 | 0.63 | 0.87 |
| 微黄镰玉螺(V) | 9.68 | 9.80 | 0.24 | 0.40 | 0.25 | 0.54 | 2.48 |
| 拟紫口玉螺(F) | 21.3 | 3.70 | 0.57 | — | 0.10 | 0.18 | 0.27 |
| 拟紫口玉螺(V) | 26.48 | 47.50 | 0.14 | 0.66 | 0.47 | 0.32 | 1.42 |
| 脉红螺(F) | 23.36 | 3.50 | 0.41 | — | 0.02 | 0.19 | 0.37 |
| 脉红螺(V) | 7.44 | 0.40 | 0.18 | — | 0.06 | 0.33 | 0.76 |
| 管角螺(F) | 36.10 | 0.90 | 0.23 | 0.36 | 0.03 | 0.37 | 0.24 |
| 管角螺(V) | 24.04 | 155.30 | 0.23 | 1.22 | 0.08 | 0.39 | 1.29 |
| 纵肋组织纹螺(F) | 7.22 | 1.00 | 0.05 | — | 0.03 | 0.12 | 0.33 |
| 托氏虫昌螺1(K) | 4.12 | 4.00 | 0.63 | 6.5 | 0.10 | 0.31 | 0.61 |
| 托氏虫昌螺2(K) | 4.18 | 3.80 | 0.44 | 5.5 | 0.07 | 0.34 | 0.63 |
| 强肋锥螺(K) | 12.08 | 39.20 | 0.02 | — | 0.05 | 2.64 | 0.54 |
| 纵肋蕾螺(K) | 26.04 | 22.70 | 0.26 | 0.66 | 0.06 | 0.22 | 0.47 |

根据重金属限量相关的国家卫生标准(表2)，计算出各重金属在样品中的残留量指数(I)，部分元素I值见表3。结果表明微黄镰玉螺、管角螺的足肌、脉红螺内脏团及纵肋组织纹螺Cd的I值小于或等于1，其余均大于1，最高为管角螺内脏团($I=155.3$)；As的I值在3.3~36.1之间，最高为管角螺足肌，由表3可见，螺体的As均超出限量标准；螺类Pb的污染程度相差很大，托氏虫昌螺污染程度最高

种酶含有Zn的成分^[21], Zn参与机体的几乎所有的代谢, 本实验9种螺类除强肋锥螺($I=2.64$)和扁玉螺足肌Zn的 I 值($I=3.19$)大于1外, 其余螺类Zn含量均低于允许残留量标准。适量进食螺肉, 可补充机体所需Zn, 维持机体正常代谢。微量元素对人体生理功能不可或缺, 从营养学角度讲, 供试螺是一种很好的本实验所测8种人体必需微量元素天然补充食源。

表4 脉红螺、扁玉螺3种元素含量比较

Table 4 Comparison of three trace elements in *Rapana venosa* and *Glossaulax didyma*

| 元素 | 脉红螺/($\mu\text{g/g}$)(以干质量计) | | 扁玉螺/($\mu\text{g/g}$)(以鲜质量计) | |
|----|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------|
| | 文献[12] | 本实验 | 文献[9] | 本实验 |
| Cd | 15.09 | 1.59/0.18 | 0.08~0.14 | 0.66 |
| As | 12.36 | 59.75/15.64 | 20.0~24.34 | 1.67 |
| Pb | 0.57 | — | 0.63 | 0.52 |

注: “—” 低于方法检出限。足部肌肉元素含量 / 内脏团元素含量。

参考文献:

- [1] 马元庆, 秦华伟, 李磊, 等. 海湾扇贝体内重金属含量研究[J]. 海洋湖沼通报, 2010 (1): 47-51.
- [2] 纪焕红, 徐韧, 程祥圣, 等. 上海市售海产贝类食用安全质量评价及分级[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(2): 193-197.
- [3] 阮金山. 厦门海域养殖贝类体内重金属的初步研究[J]. 海洋科学, 2009, 33(2): 32-37.
- [4] 王许诺, 王增焕, 林钦, 等. 广东沿海贝类4种重金属含量分析和评价[J]. 南方水产, 2008, 4(6): 83-87.
- [5] 崔力拓. 河北省近岸海洋贝类体内污染物残留及评价[J]. 河北渔业, 2009(7): 1-3.
- [6] 王红同, 许强, 杨红生. 中国北方海域扇贝重金属含量的比较与质量评价[J]. 海洋科学, 2007, 31(9): 11-18.
- [7] 燕小梅, 尹计秋, 牛奔. 大连地区12种常见海产贝类微量元素的测定与分析[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(7): 116-118.
- [8] 李晓英, 董志国, 阎斌伦, 等. 青蛤与文蛤的营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2010, 31(23): 336-370.
- [9] 陈道海, 宋绍珠. 3种经济螺体内4种重金属元素含量及评价[J]. 台湾海峡, 2009, 28(1): 65-70.
- [10] 何晋浙, 赵培城, 杨开, 等. 11种贝螺肉类27种微量元素的分析测试[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(9): 1720-1723.
- [11] 诸永志, 王道营, 徐为民, 等. 青螺肉中汞及重金属残留分析[J]. 江西农业学报, 2007, 19(4): 104-105.
- [12] 刘明华, 李林川, 祖峰, 等. 辽东湾北部脉红螺中重金属元素分布特征[J]. 地质与资源, 2009, 18(1): 55-58.
- [13] 赵卫红, 陈献稿, 费正皓, 等. 盐城滩涂贝类及其不同组织器官对重金属富集能力的初步研究[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2009, 27(1): 76-78; 85.
- [14] 迟淑艳, 周歧存, 周健斌, 等. 华南沿海5种养殖贝类营养成分的比较分析[J]. 水产科学, 2007, 26(2): 79-83.
- [15] 李玉, 冯志华, 李谷祺. 连云港近岸海域底栖动物中重金属含量及评价[J]. 淮海工学院学报: 自然科学版, 2009, 18(4): 65-68.
- [16] 张英武, 戴聪杰, 徐田野, 等. 泉州湾虾、贝类重金属含量的检测与评价[J]. 化学工程与装备, 2009(12): 151-153.
- [17] 陈斌林, 贺心然, 王童远, 等. 连云港近岸海域表层沉积物中重金属污染及其潜在生态危害[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 246-249.
- [18] 路慧哲, 杜凤冲, 李向东. 氟、碘、硒与人体健康[J]. 大学化学, 2010, 25(4): 90-93.
- [19] FALLAH A A, SAEI-DEHKORDI S S, NEMATOLLAHI A, et al. Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using ICP-OES technique[J]. Microchemical Journal, 2011, 98(2): 275-279.
- [20] 陈明涛, 陈一资. 微量元素硒对机体健康的影响[J]. 肉类研究, 2008, 22(8): 12-16.
- [21] 王志武, 毛海霞, 孙建钢. 微量元素锌的生物学功能及其应用进展[J]. 山西饲料, 2010(3): 19-22.