

# 可口革囊星虫与其栖息地底泥中的重金属含量及相关性分析

高业田<sup>1,2</sup>, 潘丽素<sup>2</sup>, 吴洪喜<sup>2,3</sup>, 王召根<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江 温州 325005; 3. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护实验室, 浙江 温州 325005)

**摘要:** 用原子吸收光谱法(AAS)和原子荧光光度法(AFS)测定了采集于北海银滩镇、厦门海门岛、宁德漳湾镇、乐清西门岛、温岭坞根镇、三门花桥镇等地区自然滩涂以及温岭坞根镇养殖区的可口革囊星虫(*Phascolosoma esculentas*)及其栖息地的底泥样品中 Zn、Cu、Mn、Fe、Cd、Pb、Hg 和 As 等 8 种重金属含量, 并对检测结果进行了含量特征、生物体与栖息地底泥中重金属含量相关性分析、生物体重金属富集系数分析。结果表明: 不同栖息地可口革囊星虫间的重金属含量差异性显著( $P < 0.05$ ), 各群体中 Pb 含量均超过标准, 厦门海门岛群体中 Cd 含量超标; 厦门海门岛、乐清西门岛自然滩涂栖息地和温岭坞根镇养殖区等底泥中重金属含量相对较高, 所有采样点底泥中 Cu 含量以及乐清西门岛自然滩涂底泥中 Cd 含量达到沉积物质量标准 II 类; 可口革囊星虫对 Zn、Cu、Fe 的富集系数均小于 1, 对 Mn、Cd、Pb、Hg 和 As 的富集系数均大于 1。Zn、Cu、Fe、Pb 和 As 的富集系数在大部分群体间差异性较小; 可口革囊星虫中的 Fe 和 As 含量与底泥中的 Fe 和 As 含量高度正相关, Zn 和 Hg 含量的相关性次之, 其余重金属元素含量的相关性较差。

**关键词:** 可口革囊星虫(*Phascolosoma esculenta*); 重金属; 相关性; 富集系数

中图分类号: X826 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)10-0054-07

可口革囊星虫(*Phascolosoma esculenta*)俗称泥蒜、沙虫、泥虫等, 隶属于星虫动物门(Sipuncula)、革囊星虫纲(Phascolosomatidea)、革囊星虫目(Phascolosomatiformes)、革囊星虫科(Phascolosomatidae), 喜欢栖息于泥质或沙泥质滩涂<sup>[1]</sup>, 在中国的浙江、福建、广西、广东、台湾和海南等沿海地区均有分布<sup>[2-4]</sup>。可口革囊星虫具有丰富的营养成分和较好的保健功效<sup>[5-6]</sup>, 不仅是人类喜食的海珍产品, 在药物开发上也越来越受重视<sup>[7-8]</sup>。虽然在人工繁殖和养殖上已经初见成果<sup>[9-10]</sup>, 但近年来, 随着沿海地区工业的发展, 含有重金属的工业废水、固体残渣也随之大量排入海洋, 这些有毒有害的重金属对栖息在沿海和滩涂上生物的生存和生长产生了不良影响, 进而影响人类的食品安全<sup>[11-13]</sup>。目前, 对可口革囊星虫受重金属影响的研究主要集中在实验室模拟生态下的胁迫试验<sup>[14-16]</sup>, 而对野外实际生存情况的研究相对较少。通过调查测定自然海区 and 养殖区生长的可口革囊星虫及其栖息地底泥中重金属含量的分布特征及两者的相关性, 不仅可了解可口革囊星虫的食用安全和生存环境, 还可为探讨可口革囊星虫作为滩涂环境污染的指标生物提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品与仪器

#### 1.1.1 样品采集与处理

2010 年 8 月 ~ 12 月, 分别在北海银滩镇(BY)、厦门海门岛(XH)、宁德漳湾镇(NZ)、乐清西门岛(YX)、温岭坞根镇(WWYS)、三门花桥镇(SH)等可口革囊星虫自然栖息地和温岭坞根镇可口革囊星虫养殖区(WWYZ)(图 1)各设 2 个站点, 每个站点采集规格较为相近的可口革囊星虫(表 1)及其底泥样品, 按照《海洋检测规范》<sup>[17]</sup>进行采样。样品带回实验室后随机选取各采样点星虫 30 条, 用电子天平测量其规格(表 1), 用对应海区海水暂养 24 h, 以排除肠道中泥沙。然后用剪刀取其体壁肌肉, 混合后于 80℃ 烘箱里烘至恒质量。底泥挑去石子等杂物后自然风

收稿日期: 2011-08-10; 修回日期: 2011-09-19

基金项目: 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室人才培养基金资助项目(2010F30003)

作者简介: 高业田(1986年-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产养殖及水产品质量检测研究, E-mail: gaoyt1001@yeah.net; 吴洪喜, 通信作者, 电话: 0577-88228385, E-mail: whxchina@126.com

干。样品研磨成粉后过 80 目尼龙筛，分别装入密封袋中，干燥保存。

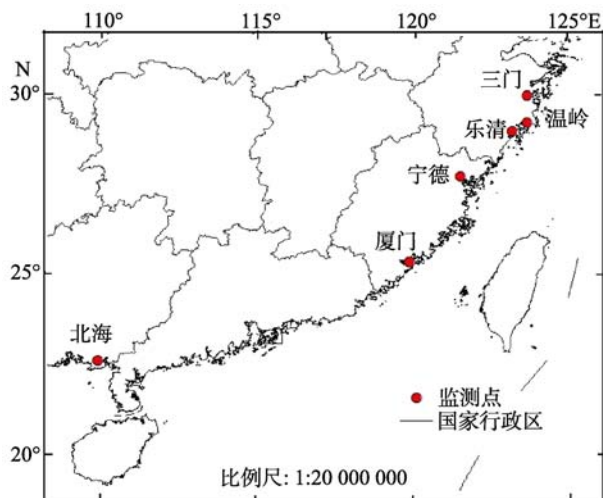


图 1 可口革囊星虫及其栖息地泥样采样点示意图

Fig. 1 Sampling locations of *Phascolosoma esculenta* and their habitat sediments

表 1 可口革囊星虫的采集时间、地点和体质量(湿质量)  
Tab. 1 Sampling time, sites and wet weight of *Phascolosoma esculenta*

采集地点	采集时间 (年-月-日)	体质量 (g, n=50, $\bar{x} \pm s$ )
BY	2010-08-05	3.73±0.50
XH	2010-09-20	2.12±0.34
NZ	2010-10-20	4.27±0.41
YX	2010-10-30	3.61±0.44
WWYS	2010-11-20	3.72±0.35
WWYZ	2010-11-20	3.13±0.68
SH	2010-12-10	3.45±0.52

### 1.1.2 实验仪器

原子吸收光谱仪：瓦里安公司生产，型号为 AA-240FS/GFA；双道原子荧光光度计：北京海光仪器公司生产，型号为 AFS9800；微波消解仪：Milestone 公司生产，型号为 ETHOS1。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 样品消化

称取 0.2 g 左右可口革囊星虫样品、扇贝标准物质(GBW10024)和底泥样，在 80℃ 烘箱中烘至恒质量，冷却后称量，采用微波消解法消解。生物样中 As 的检测采用干-湿法消解<sup>[18]</sup>。

### 1.2.2 样品测定

Cd、Pb、Zn、Cu、Mn、Fe 的含量采用原子吸

收光谱法测定，其中 Cd 和 Pb 用石墨炉法，Zn、Cu、Mn、Fe 用火焰法。As、Hg 的含量用原子荧光光度计法测定。分析过程中使用扇贝标准物质(GBW10024)做回收率的测定，测得范围在 82.82% ~ 106.72%。

### 1.2.3 评价与分析方法

生物富集系数(Biological concentration factors, BCF)计算公式：

$$BCF = \frac{\text{可口革囊星虫肌肉中重金属含量}(\mu\text{g/g})}{\text{生活区底泥中重金属含量}(\mu\text{g/g})} \times 100\%$$

生物质量指数法计算公式为：

$$P_i = C_i / S_i$$

式中为  $P_i$  重金属  $i$  的污染指数， $C_i$  为重金属  $i$  的监测数据， $S_i$  为重金属  $i$  的评价标准。

### 1.2.4 数据处理

利用 SPSS15.0 和 EXCEL2003 软件进行 Tukey 多重比较检验各采样点星虫重金属含量的差异性、Bivariate Correlations 和富集系数的分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同栖息地可口革囊星虫体壁中重金属含量

不同栖息地可口革囊星虫体壁中重金属含量见表 2。

可口革囊星虫体壁肌肉中重金属含量总体分布趋势为 Fe>Mn>Zn>Cu>Pb>As>Cd>Hg，可见，可口革囊星虫对不同重金属的累积是不同的。微量元素 Zn、Cu、Mn 和 Fe 含量较高，而 Pb、As、Cd 和 Hg 等有害微量元素<sup>[19]</sup>含量则较低(表 2)。这主要是由于在正常的自然环境中，生命必需元素的背景含量常高于非生命必需元素的背景含量<sup>[20]</sup>，本检测结果没有出现异样的特性，与一些无污染或轻度污染区的贝类等对重金属的累积具有很大相似性<sup>[19,21]</sup>。同时也反映了可口革囊星虫具有较高的营养价值。

不同栖息地的可口革囊星虫群体中重金属含量存在显著性差异( $P < 0.05$ )。Zn 在温岭坞根养殖群体中含量最高，比含量最小的北海银滩群体高 1.4 倍；Cu 在乐清西门岛和温岭坞根野生群体中含量最高，但其余群体之间含量差异性不显著( $P > 0.05$ )；Mn 在宁德漳湾群体中含量最高，厦门和温岭群体之间差异性不显著；Fe 在温岭坞根养殖群体中含量最高，但各群体间差距不大；厦门海门岛群体中 Cd 和 Pb 含量最高，且与其他群体中的 Cd 和 Pb 含量差异显

表 2 可口革囊星虫体壁重金属含量的比较(干质量)

Tab. 2 Contents of heavy metals in the muscle of *Phascolosoma esculenta*(dry weight)

采样点	重金属含量							
	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (mg/g)	Fe (mg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	Hg (µg/g)	As (µg/g)
BY	55.39 <sup>e</sup>	27.63 <sup>b</sup>	8.53 <sup>b</sup>	8.43 <sup>e</sup>	0.30 <sup>c</sup>	7.95 <sup>e</sup>	0.047 <sup>bc</sup>	7.28 <sup>cd</sup>
XH	108.37 <sup>b</sup>	31.95 <sup>b</sup>	1.04 <sup>e</sup>	10.26 <sup>c</sup>	1.62 <sup>a</sup>	25.11 <sup>a</sup>	0.028 <sup>d</sup>	7.39 <sup>cd</sup>
NZ	94.31 <sup>c</sup>	34.27 <sup>b</sup>	11.50 <sup>a</sup>	9.10 <sup>de</sup>	0.30 <sup>c</sup>	22.30 <sup>b</sup>	0.022 <sup>d</sup>	8.14 <sup>bc</sup>
YX	86.98 <sup>d</sup>	51.06 <sup>a</sup>	6.84 <sup>c</sup>	10.13 <sup>c</sup>	0.46 <sup>b</sup>	24.64 <sup>a</sup>	0.093 <sup>a</sup>	8.38 <sup>b</sup>
SH	85.77 <sup>d</sup>	27.86 <sup>b</sup>	7.43 <sup>c</sup>	9.80 <sup>cd</sup>	0.23 <sup>d</sup>	11.45 <sup>d</sup>	0.044 <sup>c</sup>	6.41 <sup>e</sup>
WWYS	106.06 <sup>b</sup>	50.82 <sup>a</sup>	1.86 <sup>de</sup>	12.64 <sup>b</sup>	0.31 <sup>c</sup>	13.66 <sup>c</sup>	0.055 <sup>b</sup>	8.13 <sup>bc</sup>
WWYZ	132.89 <sup>a</sup>	30.13 <sup>b</sup>	1.78 <sup>de</sup>	17.17 <sup>a</sup>	0.26 <sup>cd</sup>	12.87 <sup>c</sup>	0.012 <sup>e</sup>	9.84 <sup>a</sup>
均值	89.48	36.25	5.57	11.08	0.50	16.85	0.043	7.94

注: 数据右上角字母作同列比较, 字母相同为无显著差异, 不同为差异显著( $P < 0.05$ ),  $a > b > c > d > e$

著, 其中 Cd 比含量最低的三门花桥群体多 6.04 倍, Pb 比含量最低的北海银滩群体多 2.16 倍; Hg 在乐清群体中含量最高, 温岭坞根养殖群体中最低, 两者相差 6.8 倍; As 含量在各地群体间的差距相对较小。可见, 栖息环境的不同对同一生物种类中重金属含量可能产生较大的影响。

根据周化斌<sup>[21]</sup>的报道将干质量换算成湿质量时的质量分数, 并结合无公水产品中有毒物质限量标准和农产品安全质量无公害水产品要求<sup>[22-23]</sup>, 采用生物质量指数法对可口革囊星虫的重金属含量进行安全评价<sup>[24]</sup>。

结果得到所有可口革囊星虫群体中的 Pb 和厦门群体中的 Cd 含量均超过标准, 存在一定程度的污染。食用采自这些地区的可口革囊星虫时应该引起重视, 需要关注和追溯污染源。在地理位置上对不同栖息地的可口革囊星虫群体中 5 种被评价的主要重金属总量(图 2)做一综合比较, 可以看出: 从被调查的中国沿海南端北海银滩镇到北端三门花桥镇呈“中段高, 两端低”的格局分布。

## 2.2 可口革囊星虫不同栖息地底泥样中重金属含量

厦门海门岛底泥中的 Zn、Pb、Hg 和 As, 乐清西门岛底泥中的 Cu、Mn 和 As, 三门花桥底泥中的 Hg, 温岭坞根养殖区底泥中的 Zn、Fe、Cd 和 As 相对其他地区较高(表 3)。

根据海洋底泥质量标准<sup>[25]</sup>, 采用单因子污染指数法对底泥的环境质量状况进行评价。可以看出: 所有采样点底泥中的 Cu 和温岭坞根养殖区底泥中的 Zn 含量属 II 类标准, 存在轻度污染, 说明 Cu 和 Zn

在上述地区底泥中具有潜在的生物负面效应, 影响了底质环境质量, 应予以重视。而其他采样点底泥中的 Hg、Cd、Pb、Zn、Cu 和 As 含量虽存在较大差异, 但均在 I 类标准范围内, 尚未发现重金属污染情况。

底泥中重金属的含量易受人类活动的影响。主要重金属总含量较高的取样点都地处沿岸工矿企业密集、沿海经济发达地区的内湾, 可能是大量带有重金属的陆源污水入海所致。温岭可口革囊养殖区底泥中重金属含量过高, 除上述原因外, 可能还与可口革囊星虫养殖过程中施用家禽和家畜的粪便肥料有关。

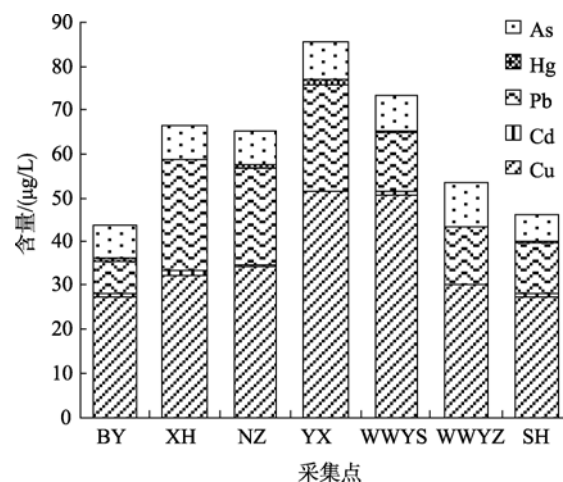


图 2 可口革囊星虫中 5 种主要重金属含量总和  
Fig. 2 The sum contents of 5 heavy metals in *Phascolosoma esculentas*

## 2.3 可口革囊星虫与其栖息地底泥中重金属含量的相关性分析

可口革囊星虫中的重金属含量与其栖息地底泥中的重金属含量的相关性分析结果表明(图 3): 可口

革囊星虫中的 Cu、Mn、Cd 和 Pb 含量与其栖息地底泥中的含量相关性不明显，而两者间的 Fe 和 As 含量

呈正相关，相关系数分别达 0.911 和 0.86，两者间的 Zn 和 Hg 呈中度相关。

表 3 可口革囊星虫栖息地底泥中重金属含量

Tab. 3 Contents of heavy metals in habitat sediments of *Phascolosoma esculentas*

采样点	重金属含量							
	Zn ( $\mu\text{g/g}$ )	Cu ( $\mu\text{g/g}$ )	Mn ( $\text{mg/g}$ )	Fe ( $\text{mg/g}$ )	Cd ( $\mu\text{g/g}$ )	Pb ( $\mu\text{g/g}$ )	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )	As ( $\mu\text{g/g}$ )
XH	144.22	51.50	0.61	40.39	0.045	22.30	0.0072	6.83
NZ	95.07	47.86	0.84	38.53	0.019	12.43	0.0028	5.65
YX	128.61	84.50	1.09	49.01	0.056	10.36	0.0057	6.82
SH	102.35	40.16	0.73	46.04	0.041	6.12	0.0076	4.45
WWYS	132.14	58.56	0.97	49.71	0.071	11.15	0.0064	6.60
WWYZ	155.40	55.90	0.79	62.68	0.078	7.24	0.0059	7.59
均值	126.30	56.41	0.84	47.73	0.051	11.60	0.0059	6.32

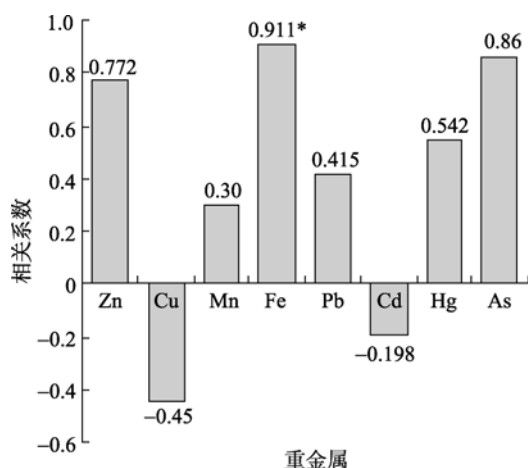


图 3 可口革囊星虫和其栖息地底泥中重金属含量间的相关系数

Fig. 3 Correlation coefficient of heavy metals between the muscle and the habitat sediments

\*. 95%置信区间显著

\*. 95% confidence interval was significant

对 Fe、As、Zn 和 Hg 来说，栖息地底泥中含量可能是可口革囊星虫中含量的最主要影响因素，它直接影响着可口革囊星虫中上述 4 种重金属元素的含量。因此，可口革囊星虫也许可作为滩涂污染的指示生物，有必要值得进一步调查和研究<sup>[16]</sup>。对于 Fe 和 Zn 两种有益元素，在食品安全浓度范围内，可口革囊星虫中含量越大，营养价值越高。结合 Fe 和 Zn 良好相关性，可口革囊星虫人工养殖过程中，在其肥料或饵料中加入适量的 Fe 和 Zn 添加剂，且严格控制环境中 Hg 和 As 的含量，有可能提高可口革囊星

虫的营养价值和品质。

在滩涂贝类中也有重金属相关性的报道：根据钟硕良<sup>[13]</sup>的研究，福建沿海的僧帽牡蛎(*Sscostrea cucullata*)和缢蛏(*Sinonovacula constricta*)体中砷含量与表层沉积物中砷含量之间总体成正相关( $P < 0.01$  和  $P < 0.05$ )；宋德宏<sup>[26]</sup>报道浅海区海水重金属含量也和海区牡蛎体内重金属含量存在相关性；徐韧<sup>[27]</sup>报道嵎泗和海州湾采样点贝类 Hg 和 Cd 含量高，而沉积物中含量却低。因此，简单地通过生物体内重金属含量来判断滩涂和浅海养殖区是否存在污染或达到养殖标准要求具有一定的片面性，因为还要考察到有机质<sup>[28]</sup>、pH、潮汐、潮流等水动力条件以及水温、盐度等因素。

## 2.4 可口革囊星虫重金属富集系数的分析

生物富集系数采用前苏联科学家 Bi lie er man A N<sup>[29]</sup>对生物富集系数的规定，当  $BCF > 1$  时，该元素在生物体内存在富集，富集系数越大，表明对该污染物的吸收能力越强。不同栖息地的可口革囊星虫群体对 8 种重金属的富集系数见表 4。

从表 4 中可以看出：所有可口革囊星虫群体中的 Zn、Cu、Fe 的富集系数均小于 1，且各栖息地间的富集系数差异性也较小。Mn、Cd、Pb、Hg、和 As 的富集系数均大于 1，Cd 的富集系数高达到 36.00，Hg 的富集系数最高为 16.32，Mn 的富集系数也高达 13.68，该 3 种元素的富集系数在地区间差异性显著 ( $P < 0.05$ )。Pb 的富集系统除厦门和乐清地区差异性较为明显外，其他地区基本无差异。而所有可口革囊星虫群体间的 As 的富集系数差异性均不显著。

表 4 可口革囊星虫对 8 种重金属元素的富集系数

Tab. 4 BCFs of the 8 heavy metals in *Phascolosoma esculentas*

采样点	富集系数							
	Zn	Cu	Mn	Fe	Cd	Pb	Hg	As
XH	0.75	0.53	1.70	0.25	36.00	3.44	3.89	1.08
NZ	0.99	0.71	13.68	0.24	15.79	1.79	7.85	1.44
YX	0.67	0.60	6.28	0.21	8.21	2.38	16.32	1.22
SH	0.83	0.69	10.18	0.22	5.61	1.87	5.79	1.45
WWYS	0.80	0.87	1.92	0.25	4.37	1.35	8.59	1.23
WWYZ	0.86	0.54	2.26	0.27	3.33	1.78	2.03	1.30

一般情况下,底泥中 Fe 和 Mn 含量丰富<sup>[30]</sup>,但 Fe 迅速沉淀,并被牢固地结合在底泥中,不易被可口革囊星虫吸收利用,而 Mn 的富集系数变化范围较大,表明 Mn 从底泥中比 Fe 更易释放,其存在形态也易被吸收,在可口革囊星虫体内的含量变化较大,但它的累积易受环境因素影响。Zn、Cu 和 Fe 的富集系数变化较小,推测其作为必需微量元素,可口革囊星虫受机体的调节能力更强<sup>[19]</sup>。Cd 和 Hg 的富集系数较大,说明 Cd 和 Hg 易富集,特别是 Hg,由于可口革囊星虫与其栖息地底泥中 Hg 含量存在一定的相关性,所以要控制养殖环境中 Hg 含量。Pb 和 As 的富集系数较小,说明可口革囊星虫在生理上对其存在一定的排斥作用。

重金属富集原因是可口革囊星虫体内蛋白质中氨基酸带有的活性基团易与重金属及其活性代谢产物集合,其中最主要的是金属硫蛋白(MT),它是一种在维持生物体内金属含量动态平衡和重金属解毒作用双重机制的物质,它与重金属离子具有极高的亲和力<sup>[31]</sup>。此外,对于 Cd,由于与 Ca 的离子半径十分接近( $Ca^{2+}$ :  $9.7 \times 10^{-8}$  cm,  $Cd^{2+}$ :  $9.8 \times 10^{-8}$  cm),导致了环境中的  $Cd^{2+}$  有机会替代机体内大量存在的  $Ca^{2+}$ ,因此产生 Cd 在机体内的积累。

### 3 结论

可口革囊星虫中重金属含量总体趋势为  $Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > As > Cd > Hg$ 。不同栖息地的可口革囊星虫群体的重金属含量存在显著性差异。所有可口革囊星虫群体的 Pb 和厦门可口革囊星虫群体的 Cd 均超过标准,食用采自上述地区的可口革囊星虫群体需要引起重视,有必要追溯污染源。

厦门海门岛可口革囊星虫自然栖息地底泥中的 Zn、Pb、Hg 和 As 含量,乐清西门岛可口革囊星虫自然栖息地底泥中的 Cu、Mn 和 As 含量,三门花桥底可口革囊星虫自然栖息地泥中的 Hg 含量,温岭坞

根可口革囊星虫养殖区底泥中的 Zn、Fe、Cd 和 As 含量相对高于其他地区。所有可口革囊星虫自然栖息地采样点底泥中 Cu 和温岭坞根养殖区底泥中的 Zn 含量为 II 类标准,存在轻度污染,说明 Cu 和 Zn 在上述地区具有潜在的生物负面效应,影响了底质环境质量。

可口革囊星虫与其栖息地底泥间的 Fe 和 As 含量高度正相关,Zn 和 Hg 含量中度相关。

可口革囊星虫中 Zn、Cu 和 Fe 的富集系数较小,变化范围也较小。可口革囊星虫对 Mn、Cd 和 Hg 元素的富集能力较强,对 Pb 和 As 的富集能力相对较差。

#### 参考文献:

- [1] Rice M E, Pirano J, Reichard H F. Observations on the ecology and reproduction of the sipunculan *Phascolion cryptus* in the Indian River Lagoon [J]. Florida Scientist, 1983, 46 (3/4): 382-396.
- [2] 周红,李凤鲁,王玮.中国动物志[M].北京:科学出版社,2007:53-77.
- [3] 李凤鲁.中国沿海革囊星虫属(星虫动物门)的研究[J].青岛海洋大学学报,1988,18(3):78-90.
- [4] 李凤鲁,周红,王玮.中国沿海星虫动物门名录[J].青岛海洋大学学报,1992,22(2):72-88.
- [5] 胡笑丛.星虫微量元素含量的测定[J].水产科学,2005,24(6):12-14.
- [6] 常敏毅.可与冬虫夏草媲美的海星虫[J].海洋世界,2002,1:46-47.
- [7] 周迎松,严小军,李广宇,等.可口革囊星虫多肽在运动中抗自由基作用的实验研究[J].中国运动医学杂志,2008,27(1):55-60.
- [8] 黄群,黄玉良,黄哲元,等.复方星虫口服液急性毒性及长期毒性试验研究[J].福建中医药,1997,28(3):18-19.
- [9] 吴洪喜,陈琛,曾国权,等.可口革囊星虫人工繁殖

- 试验[J]. 海洋科学, 2010, 34(3): 21-25 .
- [10] 丁理法, 竺俊全, 叶荣华, 等. 可口革囊星虫人工养殖试验[J]. 水产养殖, 2004, 25(5): 27-29 .
- [11] 董志国, 李晓英, 程汉良, 等. 海州湾养殖文蛤体内不同组织的重金属富集特性及其安全评价[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 387-390 .
- [12] 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 .
- [13] 钟硕良, 陈燕婷, 吴立峰. 砷在贝类养殖区底泥及贝类体中的积累和分布[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(2): 74-79 .
- [14] 陈细香, 卢昌义, 叶勇. 重金属 Zn、Pb 和 Cd 对可口革囊星虫的急性毒性作用[J]. 海洋科学环境, 2007, 26(50): 455-457 .
- [15] 曾海洋, 竺俊全, 丁理法. 重金属镉和锌对可口革囊星虫的毒性试验[J]. 水利渔业, 2006, 2: 96-98 .
- [16] 李懿, 李太武, 苏秀榕. Cd<sup>2+</sup>、Hg<sup>2+</sup>、As<sup>3+</sup>对可口革囊星虫的急性毒性试验[J]. 水产科学, 2008, 27(2): 71-74 .
- [17] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB17378-2007 海洋检测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008 .
- [18] 姜诚, 张平. 海产品中总砷的消解方法研究[J]. 微量元素与健康研究, 2010, 27(2): 47-48 .
- [19] 孙平跃, 王斌. 长江口区河蚬体内的重金属含量及其污染评价[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 10(1): 79-83 .
- [20] 许世远, 陶静, 陈振楼, 等. 上海潮滩沉积物重金属的动力学累积特征[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(5): 509-515 .
- [21] 周化斌, 张永普, 吴洪喜, 等. 可口革囊星虫的营养成分分析与评价[J]. 海洋湖沼通报, 2006, 2: 62-68 .
- [22] 国家农业部. NY5073-2006 无公害食品水产品中有毒有害物质限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001 .
- [23] 国家质量监督检验检疫总局. GB18406. 4 -2001 农产品安全质量无公害水产品安全要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001 .
- [24] 王军, 翟玉秀, 宁劲松, 等. 养殖虾夷扇贝不同组织中重金属含量的分布[J]. 海洋科学, 2009, 30(6): 801-805 .
- [25] 国家海洋局国家海洋环境监测中心. GB18668-2002 海洋底泥质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002 .
- [26] 宋德宏, 丁永生, 程远杰. 近岸海域贝壳与海水重金属含量的相关性研究[J]. 现代生物医学进展, 2007, 7(2): 192-195 .
- [27] 徐韧, 杨颖, 李志恩. 海洋环境中重金属在贝类体内的蓄积分析[J]. 海洋通报, 2007, 26(5): 117-120 .
- [28] 罗冬莲, 阮金山, 许翠娅, 等. 福建主要贝类养殖区表层沉积物重金属和有机质的含量及其相关性[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(1): 33-36 .
- [29] Bi lie er man A N. 后生地球化学[M]. 龚子同. 北京: 科学出版社, 1975. 7 .
- [30] 甘居利, 贾晓平. 中国浅海经济鱼类重金属的卫生质量状况[J]. 海洋通报, 1997, 16(4): 88-93 .
- [31] Vasak M, Riodan J F, Vallee B L. Metal removal and substitution in vertebrate and invertebrate metallothioneins[J]. Methods in Enzymology Metallo Chemistry (Part B), 1991, 205: 452-458.

## Contents and relationship of heavy metals in *Phascolosoma esculentas* and their habitat sediments

GAO Ye-tian<sup>1,2</sup>, PAN Li-su<sup>2</sup>, WU Hong-xi<sup>2,3</sup>, WANG Zhao-gen<sup>1,2</sup>

(1. College of Fishery and Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China; 3. Zhejiang Key Lab of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou 325005, China)

**Received:** Aug., 10, 2011

**Key words:** *Phascolosoma esculenta*; heavy metals; correlation; BCF

**Abstract:** Elemental contents of heavy metals Zn, Cu, Mn, Fe, Cd, Pb, Hg, and As in *Phascolosoma esculentas* and habitat sediments collected from seashore bottomlands of Beihai, Ningde, Xiamen, Yueqing, Taizhou and Wenling and culture area of Wenling were determined by AAS and AFS. Heavy metal contents, the correlativity between *Phascolosoma esculentas* and habitat sediments and the biological concentration factor (BCF) were analyzed on the basis of the above data. The results showed a significant difference of heavy metal contents in *Phascolosoma esculentas* from different sites ( $P < 0.05$ ). Lead concentrations in *Phascolosoma esculentas* from all the sampling sites and Cd from Xiamen were above the security standards. The heavy metals contents in the sediments from Xiamen, Yueqing and culture area of Wenling were relatively high. The content of Cu in sediments from all the sampling sites and Zn from culture area of Wenling were up to the second-class quality standard for marine sediments, while the others reached the first-class standard. The BCFs of Zn, Cu and Fe were less than one; whereas the BCFs of Mn, Cd, Pb, Hg and As were higher than one. The BCFs of Zn, Cu, Fe, Pb and As have no significant variation among most of sampling sites. A most positive correlation was observed for the Fe and As levels in muscle and that in the sediments, closely followed by Zn and Hg, while others elements presented faint-correlation or non-correlation.

(本文编辑:谭雪静)