

# 杭州湾和海州湾彩虹明樱蛤体内重金属的富集状况及聚类分析

董志国<sup>1</sup>, 李晓英<sup>1</sup>, 王美珍<sup>2</sup>, 陈汉春<sup>2</sup>, 程汉良<sup>1</sup>, 孟学平<sup>1</sup>, 阎斌伦<sup>1</sup>

(1. 淮海工学院 江苏省海洋生物技术重点实验室, 江苏 连云港 222005; 2. 慈溪市水产研究所, 浙江 慈溪 315300);

**摘 要:** 采用原子吸收法对杭州湾和海州湾内慈溪、乍浦、连云港 3 个彩虹明樱蛤地理群体的 Cd、Cr、Pb、Ni、Cu 和 Zn 这 6 种重金属的含量进行测定, 并与相关标准进行比较评价。结果表明: Cd、Ni、Zn、Cu、Pb 五种重金属在杭州湾的慈溪和乍浦彩虹明樱蛤体内的富积量要显著高于海州湾连云港群( $P < 0.05$ ), 而 Cr 则相反。这 6 种重金属中, 海州湾与杭州湾彩虹明樱蛤体内主要的重金属污染物为 Zn, 为 548.589~732.201  $\mu\text{g/g}$ ; 综合来看, 3 个群体中以连云港的污染最轻, 而乍浦的污染较重; 对这 6 种重金属的聚类分析结果表明杭州湾南北两岸彩虹明樱蛤重金属污染特性相近, 欧氏距离最小 89.79, 而与海州湾连云港彩虹明樱蛤重金属污染特性区别较大, 欧氏距离分别高达 139.19 和 204.56, 这一结果与地理距离一致。

**关键词:** 彩虹明樱蛤; 地理群体; 重金属; 污染评价; 聚类分析

## Accumulation and Cluster Analysis of Heavy Metals in *Moerella iridescens* from Hangzhou Bay and Haizhou Bay

DONG Zhi-guo<sup>1</sup>, LI Xiao-ying<sup>1</sup>, WANG Mei-zhen<sup>2</sup>, CHEN Han-chun<sup>2</sup>, CHENG Han-liang<sup>1</sup>,

MENG Xue-ping<sup>1</sup>, YAN Bin-lun<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Biotechnology of Jiangsu Province, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;

2. Cixi Fisheries Institute, Cixi 315300, China)

**Abstract:** In this paper, the concentrations of Cd, Cr, Pb, Ni, Cu and Zn in the full dry soft part of the adult clam *Moerella iridescens* from three geographical populations, Lianyungang population from Hangzhou bay, Zhapu and Cixi population from Haizhou bay were determined by atomic absorption spectrometer. The results indicated that the concentrations of Cd, Cr, Pb, Ni and Cu in the clam from Cixi and Zhapu were significant higher than that in Lianyungang, but a reversed trend was found for Cr. The major contaminant for the three populations *M. iridescens* was Zn among the six heavy metals and the concentration amounted to 548.589 — 732.201  $\mu\text{g/g}$ . Overall the heavy metal contamination for *M. iridescens* was better in Lianyungang population while it was worse in Zhapu population. The results of cluster analysis based on the six heavy metals indicated that the contamination character was similar between Cixi and Zhapu (Euclidean distance 89.79), but that was quite different from Lianyungang (Euclidean distance 139.19 and 204.56 respectively). Therefore, the cluster results based heavy metals was consistent with geographical distance among the three populations of *M. iridescens*.

**Key words:** *Moerella iridescens*; geographical population; heavy metal; contamination assessment; cluster analysis

中图分类号: X131; Q956

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)10-0161-04

彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens* Benson.)隶属瓣鳃纲、樱蛤科(Tellinidae), 俗称海瓜子、梅蛤、扁蛤等, 因其个体大小和形状与食用瓜子相仿, 故而得名。彩虹明樱蛤是一种重要的小型经济贝类, 是酒宴上的上等佳肴, 因营养丰富, 味道鲜美而深受消费者喜爱。目

前江浙市场上彩虹明樱蛤的售价已达 100 多元/kg, 且供不应求。彩虹明樱蛤产地狭窄, 全球主要商品产地在浙江沿海, 且主要集中长江口以南浙江沿岸的东海沿岸, 其中在杭州湾南岸慈溪市近 70 公里的海岸线, 年产量达 830 吨<sup>[1]</sup>。董志国等<sup>[2]</sup>对连云港海州湾的调查中发现

收稿日期: 2011-04-27

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31101900); 宁波市农业与社会发展科技攻关项目(2005C100035);

农业部水产种质资源与利用重点开放实验室开放课题(KFT2008-4); 连云港市科技发展计划项目(CN0906)

作者简介: 董志国(1977—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为水产生物资源与养殖生态学。E-mail: dzg7712@yahoo.com.cn

现了有少量彩虹明樱蛤群体分布,并对来自杭州湾和海州湾彩虹明樱蛤的群体从形态、分子水平上<sup>[3]</sup>进行比较研究,发现群体间差异明显,具有分化现象。作为重要的海产经济贝类,有关彩虹明樱蛤的食品安全研究较少,特别是对来自主产地杭州湾和海州湾彩虹明樱蛤的重金属富集与安全评价还未见报道,而对彩虹明樱蛤的基础生物学研究较多<sup>[4-7]</sup>,因此,本实验对分布于我国杭州湾和海州湾3个地理群体的彩虹明樱蛤6种重金属含量进行测定,并进行群体聚类分析,以期对彩虹明樱蛤的食用安全提供科学指导,同时也对彩虹明樱蛤重金属毒理学、生物地理学及其环境污染与监测研究提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

彩虹明樱蛤样本系2005年11月采集于乍浦镇、慈溪市、连云港市沿海。采集的样本在实验室循环水产养殖系统内充气暂养48h以达到吐沙和排除肠道中的内容物,从而减少实验误差,之后在超低温冰箱-70℃保存备用。各群体的生物学数据见表1。

表1 彩虹明樱蛤样本生物学( $\bar{x} \pm s$ ,  $n = 30$ )

Table 1 Biology information of *Moerella iridescens* ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n = 30$ )

重金属	壳长/mm	壳宽/mm	壳高/mm	体质量/g
连云港	21.98 ± 1.08	14.43 ± 1.64	6.25 ± 0.60	0.941 ± 0.159
慈溪	16.05 ± 1.12	10.05 ± 0.74	5.45 ± 0.48	0.348 ± 0.065
乍浦	16.25 ± 1.53	10.38 ± 0.87	4.70 ± 0.57	0.354 ± 0.112

硝酸、高氯酸(均为优级纯) 国药集团化学试剂有限公司;各种重金属标准品(干粉) 国家环保总局标准样品研究所。

PGENERAL TAS-990 原子吸收分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品准备

将每个群体的样本从超低温冰箱取出后解冻,每个群体约100枚个体,解剖取整个软件部组织,蒸馏水清洗后将上述每个群体的全部个体作为一个样品用滤纸吸水后称质量,并在105℃烘箱中烘干12h,干样在研钵中研成粉状后装入塑料密封袋中并置于干燥器中备用。

#### 1.2.2 酸解与消化

将彩虹明樱蛤3个群体的干粉样品各精确称取约0.5000 g,每组织设3个重复,共9个样在干燥的经硝酸浸泡清洗的50mL烧杯中加入硝酸7mL,高氯酸0.5mL,室温加盖培养皿过夜,在控温电炉上加热消煮

至样品充分溶解,有白色晶体析出后移开,冷却后加3mL硝酸溶解结晶,稍加热溶解后定容到25mL。另取两只烧杯加入7mL硝酸和0.5mL高氯酸,定容到25mL作为空白样。

#### 1.2.3 重金属测定

采用原子吸收分光光度计测定6种重金属,其中Cu和Zn测定采用火焰原子吸收法,Cd、Pb、Cr和Ni采用石墨炉原子吸收法。待测样品稀释成适合的浓度梯度,每种样品重复测定3次。

### 1.3 数据处理

利用STATISTICA 5.5软件对实验数据进行统计分析,采用邓肯氏法进行单因子多重比较,采用欧氏最短距离法对6种重金属的平均值进行聚类分析,从而利用重金属含量建立彩虹明樱蛤3群体的聚类关系图。

重金属污染指数评价参照多个标准进行,其中对Cd、Cr、Cu、Pb污染指数评价标准参考GB 18406.4—2001《农产品安全质量:无公害水产品安全要求》<sup>[8]</sup>;对Ni评价标准参考1994年全国食品卫生标准分委会评审通过作为内控标准见文献<sup>[9]</sup>;Zn元素在中国2011年被排除在食品污染物之外,作为研究参考需要,本实验仍参考GB 13106—1991《食品中锌限量卫生标准》<sup>[10]</sup>。

通过测定彩虹明樱蛤软体部水分含量,将干样中重金属含量转换成鲜样中含量,与标准进行比较。

采用单因子污染指数法对彩虹明樱蛤不同组织重金属污染进行评价,计算公式如下<sup>[11]</sup>:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中: $P_i$ 为某种重金属的污染指数; $C_i$ 为该重金属在样品中的平均含量; $S_i$ 为该重金属在样品评价标准中最高允许含量; $P_i > 1$ 时为样品中该重金属存在污染。

## 2 结果与分析

### 2.1 6种重金属在3群体彩虹明樱蛤的富集水平

对采自乍浦、慈溪和连云港海区的彩虹明樱蛤Cd、Cr、Cu、Ni、Pb和Zn这6种重金属的测定结果见表2。6种重金属中Zn含量在乍浦、慈溪和连云港这3个群体中均最高,分别高达686.389、732.201 μg/g和548.589 μg/g,且连云港与慈溪、乍浦差异显著( $P < 0.05$ ),而同属杭州湾南北岸的慈溪、乍浦彩虹明樱蛤Zn含量差异不显著( $P > 0.05$ )。Cu含量仅次于Zn,在3群体间均存在显著差异( $P < 0.05$ ),其中在连云港群体含量最低为30.172 μg/g,而在慈溪群体为119.691 μg/g,乍浦群体居中为43.089 μg/g。3群体中Cd的含量均较低,但群体间均差异显著( $P < 0.05$ ),含量间于0.176~4.805 μg/g。

g/g 之间,以连云港的含量最低,乍浦最高,慈溪群体居中。Cr 在 3 群体中的含量显示连云港最高 21.288  $\mu\text{g/g}$ ,慈溪次之,为 17.193  $\mu\text{g/g}$ ,而乍浦最低 (9.180  $\mu\text{g/g}$ ),3 群体相互间均存在显著差异( $P < 0.05$ )。3 群体中 Ni 的含量以连云港最低 1.829  $\mu\text{g/g}$ ,乍浦次之,为 8.478  $\mu\text{g/g}$ ,而慈溪最高(11.580  $\mu\text{g/g}$ ),3 群体相互间均存在显著差异( $P < 0.05$ )。Pb 含量在慈溪和乍浦间差异不显著,而与连云港均存在显著差异( $P < 0.05$ ),在乍浦含量最高达 4.288  $\mu\text{g/g}$ ,其次为慈溪 1.804  $\mu\text{g/g}$ ,连云港最低 1.925  $\mu\text{g/g}$ 。

综合来看 Cd、Ni、Zn、Cu、Pb 五种重金属在杭州湾的彩虹明樱蛤体内的富集量要显著高于海州湾连云港群体,而 Cr 则相反。这种差异与彩虹明樱蛤的水环境有着直接相关性,一般认为双壳类积累重金属的量随水体中重金属浓度的增加而增加<sup>[12]</sup>。在对泥蚶(*Tegillarca granosa*)<sup>[13]</sup>、牡蛎(*Crassostrea belcheri*)<sup>[14]</sup>和贻贝(*Mytilus edulis*)<sup>[15]</sup>的研究表明这几种双壳类对 Cu、Pb 和 Cd 的富集系数可达 100~8100 之间。本研究中,彩虹明樱蛤的 3 个采样地,慈溪位于杭州湾南岸,乍浦位于杭州湾北岸,地理位置相对较近,而连云港群体来自海州湾属于黄海,这种环境差异应该是导致其重金属含量差异的主要原因。张弛等<sup>[16]</sup>对杭州湾河口地区南北岸及钱塘江杭州河段 15 个采样点的表层沉积物中重金属含量测定结果表明,Cu、Pb、Zn 及 Cd 含量范围分别为 17.0~48.6、23.0~55.8、186.8~324.4、0.070~0.6mg/kg;韩玲玲等<sup>[17]</sup>在对海州湾水体重金属调查表明 2006 年 4 批样品中,所有点位均检测出 Cu、Pb、Zn 及 Cd 四种重金属,其质量浓度范围分别为 0.74~6.30、0.45~7.60、12.0~79.5、0.020~0.247  $\mu\text{g/L}$ ;通过杭州湾沉积物重金属的高含量可以推测其海水重金属含量也应该比较高,这可能是海州湾彩虹明樱蛤重金属含量低于杭州湾的主要原因。

## 2.2 3 群体彩虹明樱蛤的重金属污染评价

利用单因子污染指数法对 6 种重金属在 3 个地理群体彩虹明樱蛤软体部的污染状况进行了评价,评价结果见表 3。连云港、慈溪和乍浦这 3 个海区的彩虹明樱蛤群体污染指数  $P$  介于 0.01~5.43 之间,大部分指标未超标,除极个别的如 Ni 在慈溪和乍浦的污染指数  $P$  分别为

3.19 和 4.36,以及乍浦的 Cd。这 6 种重金属中,海州湾与杭州湾彩虹明樱蛤体内主要的重金属污染物为 Zn;而对全部 6 种重金属来讲,3 个群体中以连云港的污染最轻,而乍浦的污染较重,但与其他一些养殖蛤类相比,仍处于正常水平。

一般认为,Zn 对人体是一种有益微量元素,具有促进大脑智力发育的作用。适当增加 Zn 含量对于婴儿和成人都十分必要。在中国沿海贝类重金属检测发现 Zn 含量超标是一个普遍的现象,对岱山县海水养殖花蛤、蛏子、贻贝检测结果表明均为 Zn 含量超标<sup>[18]</sup>,杨丽华等对毛蚶、近江牡蛎、长竹蛏、翡翠贻贝这几种贝类检测也发现 Zn 含量超标<sup>[19]</sup>,这种现象可能是由于贝类对 Zn 的富集能力要高于其他重金属<sup>[20-21]</sup>,也可能是由于生存环境中 Zn 含量要高于其他几种重金属,或者二都兼有。而通过对水环境监测也发现沿海近岸区由于受到污染一般 Zn 含量都远高于其他重金属,存在超标现象<sup>[22-23]</sup>。而上述结果都是基于 GB 13106—1991 标准得出的结果,考虑到中国实际并参照国际食品法典,中国于 2011 年废止了该标准,将 Zn、Cu 和 Fe 排除在食品污染物的名单之外,因此,食用彩虹明樱蛤还是安全的。

表 3 3 个地理群体彩虹明樱蛤重金属污染指数(Pi)

Table 3 Contaminative indices of heavy metal in three geographical populations of *Moerella iridescens* (Pi)

重金属	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
标准限量/( $\mu\text{g/g}$ )	0.10	2.00	50.00	0.30	0.50	50.00
连云港	0.20	1.20	0.07	0.69	0.44	1.24
慈溪	0.26	0.97	0.27	4.36	0.89	1.65
乍浦	5.43	0.52	0.10	3.19	0.97	1.43

注:标准限量以湿质量计算。

## 2.3 基于 6 种重金属的彩虹明樱蛤群体聚类分析

利用 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb 和 Zn 这 6 种重金属含量对乍浦、慈溪和连云港海区的彩虹明樱蛤进行了聚类分析,结果见图 1。由图 1 可见,同属杭州湾南北岸的慈溪、乍浦彩虹明樱蛤之间的欧氏距离最小,仅为 89.79,这两个群体聚为一支,而与海州湾连云港群

表 2 3 个地理群体彩虹明樱蛤重金属含量( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 The contents of heavy metals in three geographical populations of *Moerella iridescens* ( $\bar{x} \pm s$ )

重金属	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb
乍浦	4.805 $\pm$ 0.032 <sup>a</sup>	9.180 $\pm$ 0.019 <sup>c</sup>	43.089 $\pm$ 0.382 <sup>b</sup>	8.478 $\pm$ 0.907 <sup>b</sup>	686.389 $\pm$ 16.688 <sup>a</sup>	4.288 $\pm$ 0.520 <sup>a</sup>
慈溪	0.232 $\pm$ 0.031 <sup>b</sup>	17.193 $\pm$ 0.108 <sup>b</sup>	119.691 $\pm$ 1.343 <sup>a</sup>	11.580 $\pm$ 0.737 <sup>a</sup>	732.201 $\pm$ 32.000 <sup>a</sup>	3.924 $\pm$ 0.556 <sup>a</sup>
连云港	0.176 $\pm$ 0.003 <sup>c</sup>	21.288 $\pm$ 0.402 <sup>a</sup>	30.172 $\pm$ 0.719 <sup>c</sup>	1.829 $\pm$ 0.085 <sup>c</sup>	548.589 $\pm$ 17.838 <sup>b</sup>	1.925 $\pm$ 0.265 <sup>b</sup>

注:同列字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。数据均以干质量计算。

体相对距离最大,分别高达139.19和204.56。这一聚类分析结果说明杭州湾南北两岸彩虹明樱蛤重金属污染特性相近,而与海州湾连云港彩虹明樱蛤重金属污染特性区别较大。通过聚类分析结果进一步印证了彩虹明樱蛤重金属污染的地理距离与彩虹明樱蛤物种分布的一致性,Dong等<sup>[2]</sup>通过对这3个群体应用形态学性状进行聚类与本研究应用重金属特征揭示的系统关系一致。本研究将贝类体内重金属差异水平应用于聚类分析中,对于环境和生物的相互关系以及动物地理学研究是一种新的尝试。

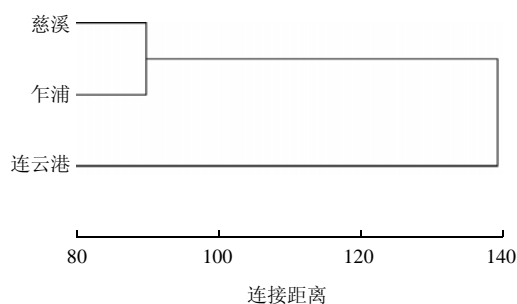


图1 3个地理群体彩虹明樱蛤聚类分析图

Fig.1 Diagram of cluster analysis of three populations of *M. iridescent*

### 3 结 论

Cd、Ni、Zn、Cu、Pb 五种重金属在杭州湾的彩虹明樱蛤体内的富积量要显著高于海州湾连云港群体,而对Cr则相反。海州湾与杭州湾彩虹明樱蛤体内主要的重金属污染物为Zn;以重金属作为指示的聚类分析结果表明彩虹明樱蛤群体分布迁移规律与地理距离具有一致性,这表明用重金属作为指示元素探索贝类物种的迁移发生规律具有一定的可行性。

### 参考文献:

- [1] 周科勤, 杨和福. 宁波水产志[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 194-195.
- [2] DONG Zhiguo, LI Xiaoying, WANG Meizhen, et al. Morphological variation analysis on geographical populations of *Moerella iridescence* from Hangzhou bay and Haizhou bay[C]// LI Guobin, JIA Zongpu, FU Ziyi. Proceedings of information technology and environmental system sciences.

Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008: 906-910.

- [3] 董志国, 李晓英, 王美珍, 等. 杭州湾与海州湾彩虹明樱蛤群体遗传差异的 ISSR 分析[J]. 水产科学, 2010, 29(8): 460-464.
- [4] 尤仲杰, 王一农, 张家良. 彩虹明樱蛤 *Moerella iridescens* 生活史的初步研究[J]. 海洋通报, 1991(3): 55-61.
- [5] 王一农, 尤仲杰. 彩虹明樱蛤人工育苗过程中催产技术的初步研究[J]. 东海海洋, 1996, 14(3): 21-26.
- [6] 董志国, 李晓英, 孟学平, 等. 彩虹明樱蛤的耗氧率与排氨率研究[J]. 台湾海峡, 2006, 25(4): 503-508.
- [7] 李晓英, 董志国, 王美珍, 等. 彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens*)同工酶组织特异性研究[J]. 海洋科学, 2009, 33(1): 43-47.
- [8] GB 18406.4—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.
- [9] 胡小玲, 张瑰, 陈剑刚, 等. 珠海市蔬菜重金属污染的调查研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(8): 980-981.
- [10] GB 18406.1—2001 农产品安全质量: 无公害蔬菜安全要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [11] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 4.
- [12] AMIARD-TRIQUET C, BERTHET B, METAYER C, et al. Contribution to the ecotoxicological study of cadmium, copper and zinc in the mussel *Mytilus edulis*. II. Experimental study[J]. Mar Biol, 1986, 92(1): 7-13.
- [13] 李学鹏, 励建荣, 段青源, 等. 泥蚶对重金属铜、铅、镉的生物富集动力学[J]. 水产学报, 2008, 34(4): 592-600.
- [14] LIM P E, LEE C K, DIN Z. The kinetics of bioaccumulation of zinc, copper, lead and cadmium by oysters (*Crassostrea iridalei* and *C. belcheri*) under tropical field conditions[J]. Sci Total Environ, 1998, 216(1/2): 147-157.
- [15] BORCHARDT T. Influence of food quantity on the kinetics of cadmium uptake and loss via food and seawater in *Mytilus edulis*[J]. Mar Boil, 1983, 76(1): 67-76.
- [16] 张弛, 高效江, 宋祖光, 等. 杭州湾河口地区表层沉积物中重金属的分布特征及污染评价[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2008, 47(4): 535-540.
- [17] 韩玲玲, 刘吉堂, 钱焕, 等. 海州湾水体重金属污染现状分析[J]. 淮海工学院学报, 2009, 18(3): 90-92.
- [18] 虞吉寅. 岱山县海水养殖贝类重金属含量检测[J]. 浙江预防医学, 2005, 17(10): 38.
- [19] 杨丽华, 郑文彪, 伍育源, 等. 广州市场食用鱼和贝类重金属含量及评价[J]. 环境科学与技术, 2002, 25(6): 15-16; 34.
- [20] 李玉, 俞志明, 宋秀贤, 等. 点源污染对胶州湾海水体系中不同形态重金属富集的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5592-5599.
- [21] ABDULLAH M H, SIDI J, ARIS A Z. Heavy metals (Cd, Cu, Cr, Pb and Zn) in *Meretrix meretrix* roding, water and sediments from estuaries in Sabah, North Borneo[J]. International Journal of Environmental and Science Education, 2007, 2(3): 69-74.
- [22] 秦延文, 孟伟, 郑丙辉, 等. 渤海湾天津段潮间带沉积物柱状样重金属污染特征[J]. 环境科学, 2006, 27(2): 268-273.
- [23] 黎小正, 吴祥庆, 庞燕飞, 等. 广西主要海水贝类养殖区环境质量状况评价[J]. 广西科学院学报, 2009(2): 111-115.