

## 1989—2010年广东沿海牡蛎体内锌的时空分布特征与污染水平分析

陈海刚<sup>1,2</sup>, 贾晓平<sup>1\*</sup>, 蔡文贵<sup>1</sup>, 王增焕<sup>1</sup>, 秦洁芳<sup>1,2</sup>, 杨涛<sup>1,2</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东省渔业生态环境重点实验室,  
农业部南海渔业资源环境重点野外科学观测实验站, 广东 广州 510300;  
2 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

**摘要:** 根据历史和调查资料, 对1989—2010年广东沿海牡蛎体内锌(Zn)的时空分布特征和污染水平进行了分析与比较。结果表明, 牡蛎体内Zn的浓度总平均值为211.5 mg/kg, 从总体看其浓度出现频率呈对数正态分布。在时间上, 牡蛎体内Zn总体平均浓度的分布呈阶段性变化, 具体表现为1989—2007年Zn的浓度呈微弱降低的趋势, 基本维持在197.0 mg/kg的水平; 2007—2009年牡蛎体内Zn的浓度有明显升高的趋势, 之后Zn的浓度有所降低。在空间上, 粤东和粤西沿海牡蛎体内Zn浓度的变化均呈先降低后增加的趋势, 且基本与广东沿海牡蛎体Zn平均浓度的变化趋势相同, 而珠江口牡蛎体Zn的浓度水平相对较高并表现出趋于稳定的变化规律。单因子指数和非致癌性风险指数评价结果均表明, 牡蛎体内Zn的总体不存在明显的污染, 但从当前保护环境角度应当尽快设立我国水产品中Zn含量的限定标准。

**关键词:** 牡蛎; 锌(Zn); 时空分布; 单因子指数; 非致癌性风险指数; 广东沿海

**中图分类号:** Q 958.116; S 917.4

**文献标志码:** A

城市化、工业化、海水养殖以及沿海工程开发等人类频繁的生产活动使近岸海域承受着巨大的环境压力, 由各种化学污染物排海引起的海洋生态环境污染问题一直备受关注<sup>[1-3]</sup>。自在实践中开始应用贻贝监测重金属污染以来, 利用海洋双壳贝类对化学污染物和生物资源的可持续性进行研究, 已成为很多国家海洋环境监测和风险评价的重要手段<sup>[1]</sup>, 如美国的“贻贝观察”计划<sup>[4]</sup>。海洋贝类在生物监测技术中被广泛应用, 首先在于其是世界范围内分布的具有重要商品价值的水产品种类<sup>[5]</sup>; 其次, 在于海洋贝类大都底栖生活、生命周期长、容易辨别和采集, 而且耐受自然环境的波动和污染; 还有, 它们除了对污染物的生物富集能力较强外, 在生态学意义还具有很好的食物网富集能力<sup>[1]</sup>。由于大量污染物排海和地表径流

带来的污染面源等影响, 广东近岸海域的污染状况较为严重, 《2007年广东省海洋环境质量公报》<sup>[6]</sup>中的相关指标表明, 珠江口生态监控区的生态系统连续4年来处于不健康状态。很多研究者已经在广东省大亚湾、珠江口、粤西等海域利用海洋生物对重金属和其它化合物的浓度水平和污染程度进行了不少研究并取得较大进展<sup>[7-10]</sup>。

本研究根据1989—2010年广东沿海海域15个站点牡蛎体内Zn浓度的调查资料, 从时间和空间上分析比较了粤东海域、珠江口海域和粤西海域牡蛎体内Zn污染的长期分布和变化特征。同时, 为分析食用牡蛎软组织的人体健康风险, 分别采用单因子指数法和WONG等<sup>[11]</sup>的非致癌性风险指数法对牡蛎体内Zn浓度的污染水平进行评价。

收稿日期: 2011-01-17 修回日期: 2011-05-30

资助项目: 科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J021); 广东省科技计划项目(2009B030600001); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2009YD01, 2010YD04)

通讯作者: 贾晓平, E-mail: jxp60@tom.com

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

牡蛎采样点见图 1。在 15 个采样点中,按地理位置可划分为粤东沿岸 7 个站点(M1 ~ M7)、珠江口 2 个站点(M8 ~ M9)和粤西沿岸 6 个站点

(M10 ~ M15)3 个分布区域,1989—2010 年(其中 1990、1994、1995、1996、2000 和 2003 年未进行采样)每年 3 月在各监测站点采样牡蛎样品,分别采集 3 ~ 4 龄牡蛎 30 只,现场开壳、迅速剥离其软组织(包括体液)装于密封聚乙烯袋中,冰冻保鲜送回实验室,在 -20 °C 条件下保存至分析。

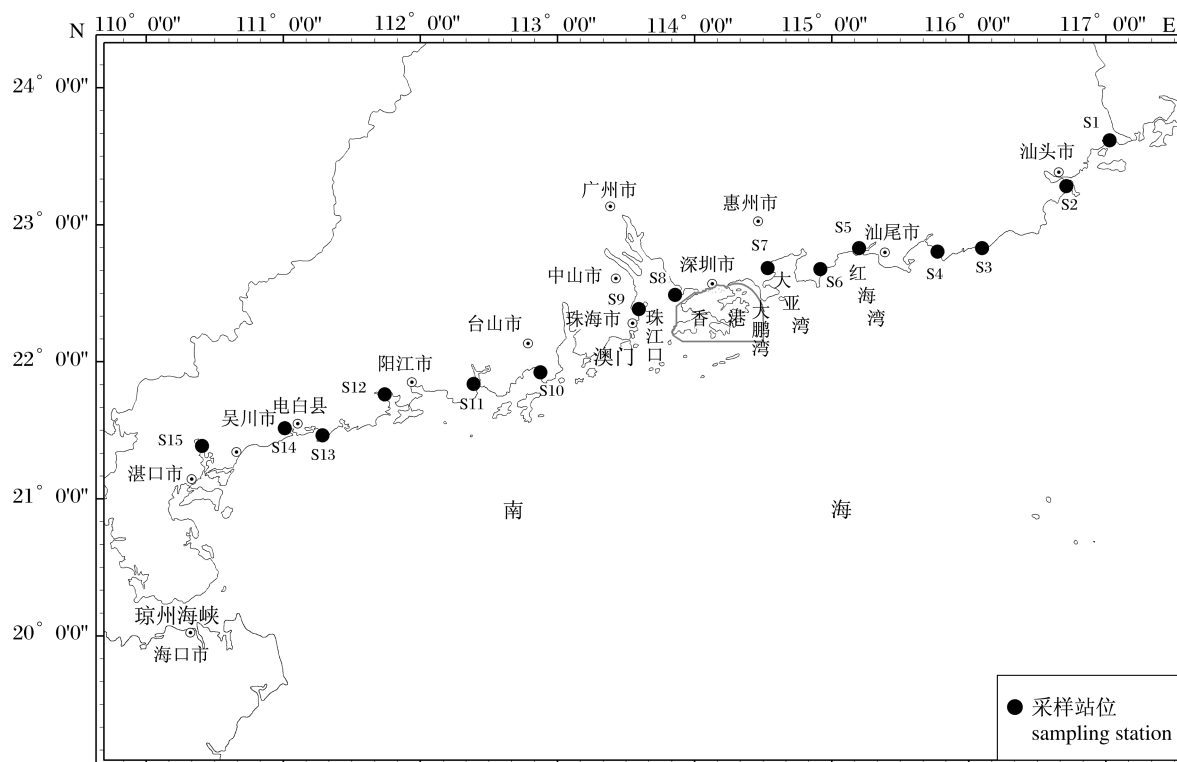


图 1 广东沿海牡蛎采样站位示意图

Fig. 1 Sampling stations of oysters from Guangdong coastal waters

### 1.2 样品处理

冷冻样品在室温条件下自然解冻后,用组织匀浆机制成匀浆。称取匀浆后的样品 5.0 g 左右于瓷坩埚中,烘箱中 70 °C 烘干至恒重。将干燥样品准确称量,计算干湿质量比。然后在电炉上炭化,之后转入马弗炉中在 450 °C 条件下灰化 6 h 左右,待灰化完全后用稀硝酸溶解,并将透明溶液用定量滤纸过滤,蒸馏水定容于 10 mL 比色管中。

### 1.3 分析方法

1989—1998 年样品采用干式消化法处理<sup>[12]</sup>,过滤定容后用日本岛津 AA-630-11 型原子吸收分光光度计进行分析;1999—2010 年样品的测定方法参照 GB 1738714 - 1998《海洋监测规范》生物

体内重金属的测定方法,其中 1999—2004 年样品采用日立 Z-8000 型原子吸收分光光度计、2005—2010 年样品采用日立 Z-2000 型原子吸收分光光度计定样品中 Zn 的含量。所有仪器使用前均经标准物质(参考物质)校准和评价,分析测试结果符合方法要求。牡蛎体 Zn 的测定结果均以湿体质量表示,历史资料数据中牡蛎体内 Zn 的干湿质量比转换系数根据实验验证结果和相关文献<sup>[13]</sup>取值为 0.17。

### 1.4 质量和风险评价

牡蛎体 Zn 的质量评价采用单因子指数评价法,计算公式如下:

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

<http://www.scxuebao.cn>

式中,  $P_i$  为  $i$  污染物的单因子指数,  $C_i$  为  $i$  污染物的实际浓度,  $S_i$  为  $i$  污染物的评价标准。

牡蛎体 Zn 的风险评价采用非致癌性风险指数法, 非致癌性风险指数是个体长期对某种污染物的暴露水平与最大可接受暴露水平的比值, 指数若大于 1 表明生物体内经由膳食摄入的化合物含量达到令人关注的潜在暴露水平, 计算公式如下:

$$NCHI = \frac{CDI}{RfD}$$

式中,  $NCHI$  为非致癌性风险指数,  $CDI$  为长期人均每日摄入量,  $RfD$  为参考剂量, 其中人均食用每只牡蛎的摄入量取 13.5 g/d。

## 2 结果与讨论

### 2.1 牡蛎体 Zn 浓度的频数分布和概率分布

图 2 为广东沿海牡蛎体内 Zn 浓度分布的频数直方图(图 2-a)和概率分布图(图 2-b)。从中可以看出, 广东沿海牡蛎体内 Zn 浓度的变化范围为未检出 ~ 1 100 mg/kg, 总平均值为 211.5

mg/kg。其中, 未检出 ~ 300 mg/kg 浓度范围内 Zn 的出现频率最高, 占全部样品的 78.9%; 其次为 300 ~ 500 mg/kg 浓度范围, 占全部样品的 14.9%; 而 Zn 浓度高于 500 mg/kg 的出现频率仅为 6.2%, 尤其浓度高于 1 000 mg/kg 的出现频率仅为 0.5%。陆超华<sup>[7]</sup> 1986—1988 年的调查结果显示, 南海北部沿岸海洋双壳贝类体内 Zn 的平均浓度约为 225.9 mg/kg, 与之比较, 近 20 年来广东沿海牡蛎体内 Zn 的浓度总体上没有明显变化。从图 2-b 中还发现, 11.1% 的样品中 Zn 浓度在 4.98 ~ 50.0 mg/kg, 18.3% 的 Zn 浓度在 50.0 ~ 100, 100 ~ 500 mg/kg 范围浓度出现的频率最高, 占 64.4%。

用 SPSS 13.0 统计分析软件对剔除个别异常值后的样本数据进行正态分布检验, Shapiro-Wilk 检验 ( $W$  检验) 表明广东沿岸牡蛎体内 Zn 浓度的出现频率呈对数正态分布(图 2-a), 以往的研究中也发现海洋生物体内重金属 Zn 和镉(Cd)浓度的出现频率也呈明显的正态分布<sup>[14-15]</sup>。

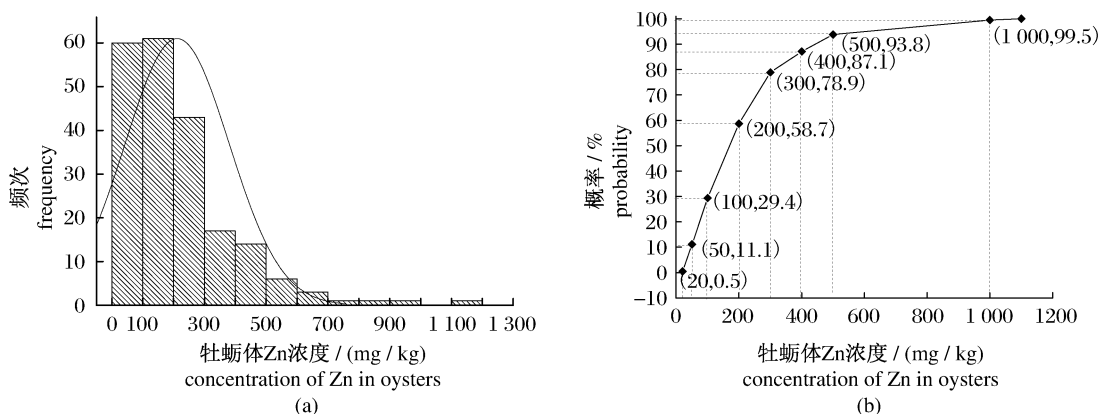


图 2 广东沿海牡蛎体内 Zn 浓度的频数分布直方图和概率分布图

Fig. 2 Frequency and probability distributions of Zn concentration in oysters from Guangdong coastal waters

### 2.2 牡蛎体 Zn 浓度的年际变化趋势

图 3 为广东沿海牡蛎体内 Zn 浓度的年际变化分布, 其中的趋势变化图分别代表广东沿海(图 3-a)、粤东海域(图 3-b)、珠江口(图 3-c)和粤西海域(图 3-d)。

从图 3-a 可以看出, 1989—2010 年 15 个采样点牡蛎体内 Zn 浓度总体平均值的年际分布呈阶段性变化, 其中 1989—2007 年 Zn 的浓度呈微弱降低的趋势, 基本维持在 197.0 mg/kg 的水平, 略低于陆超华<sup>[7]</sup> 的研究报道, 但高于东海沿岸海域

牡蛎体内 Zn 的浓度水平<sup>[15]</sup>。尽管 1994—1996 年未进行采样, 但 WONG 等<sup>[11]</sup> 和贾晓平等<sup>[16]</sup> 的研究也发现广东沿岸牡蛎体内 Zn 的浓度水平从 1994 年开始出现稳定并趋于下降的趋势。之后牡蛎体内 Zn 的浓度明显升高, 在 2009 年达到最高浓度, 其值为 309.0 mg/kg, 但从 2010 年开始 Zn 的浓度又有所降低。

图 3-b 中粤东海域牡蛎体内 Zn 浓度的年际分布 1989—1993 年呈逐年上升的趋势, 1993 年牡蛎体内 Zn 浓度达 302.5 mg/kg。之后一直到

2002年,牡蛎体内 Zn 浓度呈逐年下降趋势;从2003年开始,牡蛎体内 Zn 的浓度逐年上升,孙萍等<sup>[17]</sup>对汕头邻近海域生物体分析也发现海域内生物体重金属浓度较高,特别是牡蛎体内 Zn 的超标尤为严重。1989—2001年珠江口海域(图3-c)牡蛎 Zn 浓度逐年下降并趋于稳定,2001—

2004年又有明显的升高趋势,之后尽管波动较大,但总体呈下降趋势;粤西海域(图3-d)与广东海域牡蛎体内 Zn 的年度分布存在相似性,其中粤西海域牡蛎体 Zn 浓度1989—1998年逐年下降,在1999年出现“峰值”(291.1 mg/kg)后迅速下降,之后从2001年开始呈逐年升高的趋势。

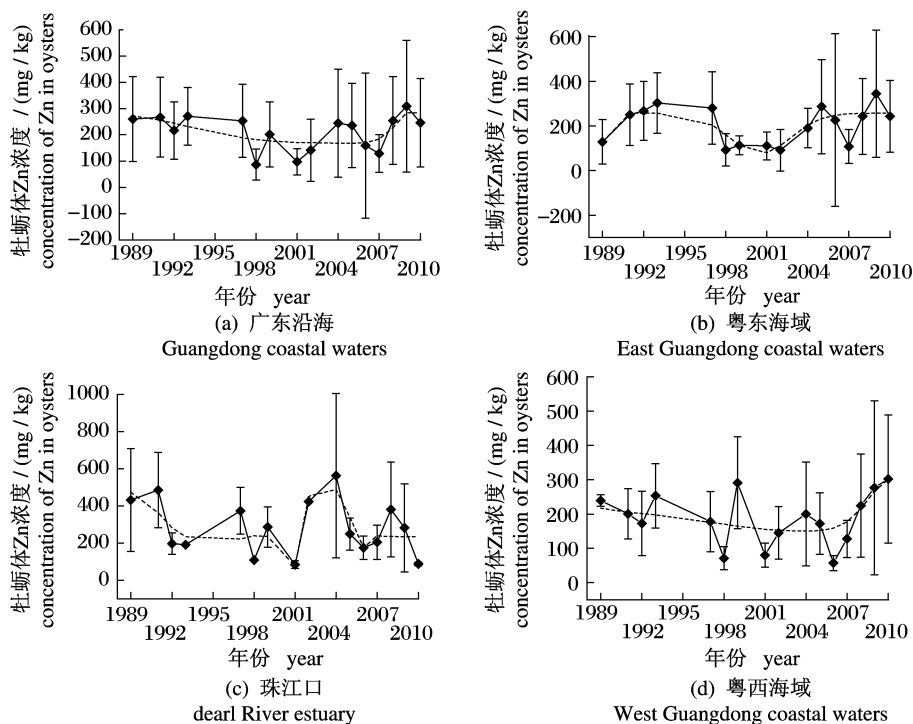


图3 1989—2010年广东沿海牡蛎体内 Zn 浓度的时间分布特征

Fig. 3 The temporal characters of Zn concentration in oysters from Guangdong coastal waters

从变化规律看,广东沿海海域牡蛎体内 Zn 浓度的年际变化规律存在一致性,总体均表现为先下降后升高的变化趋势,其差异性在于珠江口和粤东沿海牡蛎体内 Zn 的浓度分别在2001—2004年和1989—1993年出现逐年升高的趋势。谷阳光等<sup>[18]</sup>1997—2007年对广东沿岸大亚湾海域重金属研究分析后认为其输入未见明显增加,与珠江口和深圳湾沉积物中重金属含量也基本相当,因此认为近10年来沉积物中重金属含量基本稳定。沉积物与本研究分析结果的差异性表明,尽管二者均作为水体中污染物的主要“贮存库”,但由于沉积物沉淀的过程受到潮汐、波浪扰动,底栖生物活动等诸多影响因素,用沉积物中含量表征污染物的年际变化特征存在很多不确定性;生物体的生命周期相对较短,用来评价污染物的年际变化特征具有更高的准确性和实用价值。当前生物监测方法已经越来越多地应用到了污染物的分布与评价研究当

中<sup>[16,19-21]</sup>,但相对其它方法的时间特异性,还有待进一步研究。同时,近年来粤东海域和粤西海域牡蛎体内 Zn 的浓度水平有逐渐升高的趋势,尤其是粤西海域升高较为明显,这种变化也提示我们有必要与牡蛎体内其它重金属含量变化规律进行比较,分析其变化因素并跟踪监测牡蛎体内 Zn 的长期变化趋势。

### 2.3 牡蛎体 Zn 浓度的空间变化趋势

图4和图5为广东沿海牡蛎体内 Zn 浓度的空间分布特征。从图4可以看出,在15个采样点中,粤东沿海的柘林湾(NM1站,113.6 mg/kg)牡蛎体内 Zn 的平均浓度最低,其次是粤西沿海的博贺港(NM13站,129.5 mg/kg)、湛江港(NM15站,137.4 mg/kg)和水东港(NM14站,138.2 mg/kg)牡蛎体内的 Zn 浓度平均值也较低;最高值位于珠江口的唐家湾(NM9站,347.9 mg/kg)。对所有样品用SPSS统计分析软件进行快速聚类分析,结果

表明唐家湾(NM9)单独归为一类;广澳湾(NM2)单独归为一类,其它剩余各站归为一类。从牡蛎体 Zn 浓度平均值的空间分布也可以发现,唐家湾与广澳湾的浓度水平明显高于其它各站,这与聚类分析的结果相一致。但牡蛎体内 Zn 的聚类分析结果与地域分布存在一定的差异性,其原因是由于采样点牡蛎生活的地理和海洋栖息环境差异性较大导致的。根据王增焕等<sup>[22]</sup>的研究也发现,华南沿海不同海域和不同季节牡蛎产品中重金属 Cd、Cu、Zn 元素的含量有较大差异。另外,生物监测的技术特点是指示某一区域的集中某一时段污染物的综合累积指标和趋势指标<sup>[23]</sup>,而这种指标与生物栖息地环境指标(如温度、盐度等)的变化情况存在一定的相关性<sup>[24]</sup>。

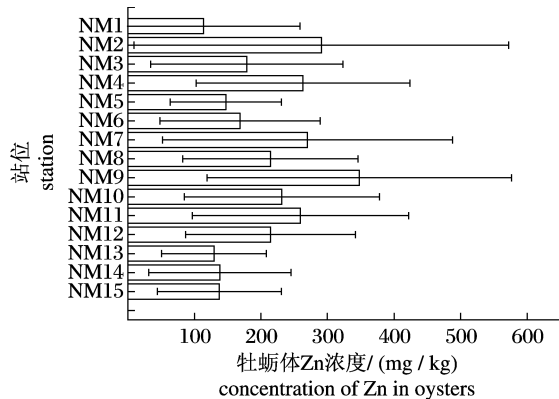


图4 广东沿海牡蛎体内 Zn 浓度平均值的空间分布特征

Fig. 4 Average spatial distribution characters of Zn concentration in oysters from Guangdong coastal waters

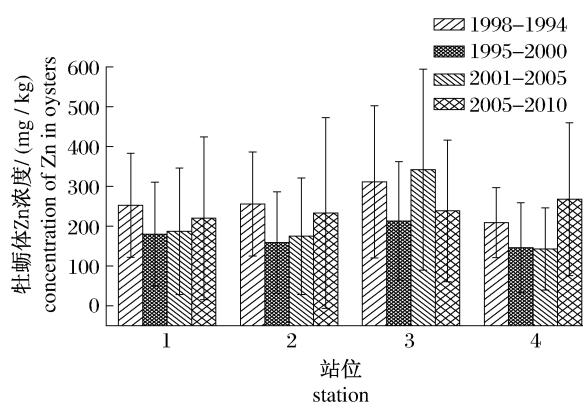


图5 广东沿海牡蛎体内 Zn 浓度的空间分布

1. 广东沿海, 2. 粤东沿海, 3. 珠江口, 4. 粤西沿海。

Fig. 5 Spatial distribution of Zn in oysters from Guangdong coastal waters every five years

1. Guangdong coastal waters, 2. East Guangdong coastal waters, 3. Pearl River estuary, 4. West Guangdong coastal waters.

从图 5 中可以看出,按照 4 个时间段 1989—1995、1996—2000、2001—2005 和 2006—2010 年进行划分,1989—1995 年牡蛎体 Zn 浓度相对均比较高,其中粤东沿海和粤西沿海较接近,且明显小于珠江口;之后 1996—2005 年粤东和粤西沿海牡蛎体内 Zn 浓度均有所下降并趋于稳定,珠江口海域牡蛎体 Zn 浓度 1996—2000 有所下降,但 2001—2005 年其平均浓度明显升高;但从 2006—2010 年粤东和粤西沿海牡蛎体内 Zn 浓度均有明显增加的趋势,珠江口 Zn 浓度则又有所降低。从牡蛎体 Zn 浓度总体的变化规律看,粤东和粤西沿海牡蛎体内 Zn 浓度的变化较为一致,且基本与广东沿海牡蛎体 Zn 平均浓度的变化趋势相同,而珠江口 Zn 浓度相对较高并与粤东海域和粤西海域表现出明显的差异性。秦春艳等<sup>[25]</sup>对珠江口伶仃洋习见海域的近江牡蛎调查也发现,生物体内 Zn 的含量水平范围是 49.79 ~ 1 033.64  $\mu\text{g/g}$ ,安全性评价结果表明近江牡蛎体内 Zn、Cu、Cd 和 Cr 等重金属含量均处于重度污染水平。结合 2007 年《广东省海洋环境质量公报》<sup>[6]</sup>中珠江口生态监控区的生态系统连续 4 年来处于不健康状态的相关资料,表明珠江口海域仍然是广东沿海重金属污染较为严重的区域。

#### 2.4 牡蛎体 Zn 的污染水平分析

生物体污染水平分析对食品安全具有重要意义,其评判的重要尺度是相关的评价标准。即使在环境背景浓度很低的情况下,重金属 Zn 在牡蛎等双壳类体内也有较高的富集水平<sup>[24]</sup>,但 Zn 作为生物体的必需元素、其生物毒性相对较低,因此很多国家未对水产品中 Zn 含量的食用风险限定值作具体规定。我国仅对牡蛎体内 Zn 的限量标准(500 mg/kg)做了限定<sup>[26]</sup>,美国和智利制定 Zn 的标准值仅适用于一般海产品而不适用于牡蛎等海洋双壳类动物,澳大利亚将 Zn 的标准值定为 1 000 mg/kg<sup>[27]</sup>,与贾晓平等<sup>[16]</sup>推荐值相同,实践表明其对评价双壳贝类内 Zn 的污染水平具有良好效果。因此,本研究中 Zn 的参考剂量同时参考第三类标准(500 mg/kg)<sup>[26]</sup>、WONG 等<sup>[11]</sup>的人均每日摄入量(10 mg)和澳大利亚的评价标准(1 000 mg/kg)<sup>[27]</sup>进行评价,其中 WONG 等<sup>[11]</sup>的人均每日摄入量(10 mg)是依据食用 13.5 g 牡蛎软组织,因此其相应的单因子评价标准计算结果为 741 mg/kg。

采用质量指数法非致癌性风险指数法对广东沿海牡蛎体内 Zn 的污染水平进行分析(表 1), 结果发现, 广东沿海牡蛎体内 Zn 的单因子指数平均值均小于 1, 表明总体上牡蛎体内 Zn 未产生明显的污染; 比较还发现, 粤东沿海、珠江口和粤西沿海牡蛎体内 Zn 的单因子指数不存在明显差异。采用《海洋生物质量》<sup>[26]</sup> 第三类标准进行评价, 牡蛎体内 Zn 浓度在个别站位或者年份有超标状况出现, 但超标率仅为 6.2%, 表明 93.7% 样品中的 Zn 浓度均符合第三类标准。其中唐家湾等部分站位牡蛎体内 Zn 浓度水平较高, 与海洋双壳贝类对 Zn 的生物富集能力较强有关<sup>[24]</sup>。以贾晓平等<sup>[16]</sup> 标准进行评价, 超标率仅为 0.5%, 表明我国《海洋生物质量》<sup>[26]</sup> 标准尽管相对较高, 但仍可以比较客观地指示广东沿岸牡蛎体内 Zn 的污染水平。另外根据唐洪磊等<sup>[28]</sup> 对广东沿海居民膳食结构的调查, 我

们选取膳食中人均每日食用 20 g 牡蛎软组织的食用量, 分别参照上述 3 种标准进行非致癌性风险评价, 可以发现广东沿海牡蛎体内 Zn 的风险指数平均值均小于 1, 未产生非致癌性风险。尽管广澳湾 (NM2) 和唐家湾 (NM9) 个别站位牡蛎体内 Zn 的风险指数有大于 1 的情况出现, 但粤东、珠江口和粤西海域牡蛎体内 Zn 的浓度水平总体上不具有潜在的危害性。与国外其它海域贝类 Zn 的风险指数<sup>[2]</sup> 进行比较, 广东沿岸牡蛎体内 Zn 的浓度也处于相对低的水平。同时考虑到水产品在我国膳食结构中并不占主要比例, 即使是水产品消耗量较多的广东省沿海各市, 牡蛎等海洋贝类在其膳食结构中人均每日食用量也平均低于 20 g。因此, 从单因子指数和非致癌性风险指数分析结果可以认为, 广东沿海牡蛎体内 Zn 的浓度水平在我国膳食构成中不构成食用风险。

表 1 2006—2010 年广东沿岸牡蛎体内 Zn 的单因子指数 (P) 和非致癌性风险指数 (NCHI)  
Tab. 1 Single factor index (P) and non-carcinogenic hazard index (NCHI) of Zn in oysters from coastal waters of Guangdong during the period of 2006–2010

站位 station	P	NCHI	P	NCHI	P	NCHI
广东沿海 Guangdong coastal waters	0.44 ± 0.41	0.65 ± 0.61	0.30 ± 0.28	0.44 ± 0.41	0.22 ± 0.20	0.33 ± 0.30
粤东沿海 East Guangdong coastal waters	0.47 ± 0.48	0.69 ± 0.71	0.31 ± 0.32	0.47 ± 0.48	0.23 ± 0.24	0.35 ± 0.35
珠江口 Pearl River estuary	0.45 ± 0.32	0.67 ± 0.48	0.31 ± 0.22	0.45 ± 0.32	0.23 ± 0.16	0.33 ± 0.24
粤西沿海 West Guangdong coastal waters	0.41 ± 0.35	0.60 ± 0.52	0.27 ± 0.24	0.41 ± 0.35	0.20 ± 0.10	0.30 ± 0.26
参考文献 references	[26]	[26]	[27]	[27]	[27]	

### 3 结论

1989—2010 年广东沿岸牡蛎体内 Zn 的平均浓度水平为 211.5 mg/kg, 其中时间上牡蛎体内 Zn 的浓度水平在 2007 年以前整体呈逐年降低的趋势, 2007 年以后有增加的趋势; 在空间上, 珠江口牡蛎体 Zn 的浓度变化波动趋于平缓, 粤东和粤西沿海呈先降低后增加的变化规律。

尽管重金属 Zn 在牡蛎体内有较高的富集能力, 但单因子指数和非致癌性风险指数评价结果均表明, 目前广东沿岸牡蛎体内 Zn 的浓度水平在我国的水产品膳食构成中不具有风险。

近 20 年的监测数据较好地指示了不同时期广东沿岸牡蛎体内 Zn 的时空分布特征, 为我国“南海贻贝观察”体系的发展和完善提供了重要

的基础数据资料, 同时也为我国水产品安全评价、贝类资源保护和近岸海洋环境管理和保护提供了重要的科学参考。

本研究中 2005 年以前历年资料的现场采样和分析工作由南海水产研究所渔业环境研究室的相关工作人员协助完成, 在此表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] YAP C K, ISMAIL A, TAN S G. Cadmium, copper, lead and zinc levels in the green-lipped mussel *Perna viridis* (L.) from the west coast of Peninsular Malaysia: safe as food [J]. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 2005, 28(1): 41–47.
- [2] 贾晓平, 蔡文贵, 林钦. 我国沿海水域的主要污染

- 问题及其对海水增殖的影响[J]. 中国水产科学, 1997, 4(4): 78-82.
- [3] 黄小平, 田磊, 彭勃, 等. 珠江口海域环境污染研究进展[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(1): 1-7.
- [4] NICHOLSON S, SZEFER P. Accumulation of metals in the soft tissues, byssus and shell of the mytilid mussel *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) from polluted and uncontaminated locations in Hong Kong coastal waters[J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 46(8): 1040-1043.
- [5] RAINBOW P S. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so what? [J]. Environmental Pollution, 2002, 120(3): 497-507.
- [6] 广东省海洋与渔业局. 广东省海洋环境质量公报[R]. 2007.
- [7] 陆超华. 南海北部海域经济水产品的重金属污染及其评价[J]. 海洋环境科学, 1995, 14(2): 12-19.
- [8] 丘耀文, 颜文, 王肇鼎, 等. 大亚湾海水、沉积物和生物体中重金属分布及其生态危害[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(5): 69-76.
- [9] 张敬怀, 欧强. 珠江口底栖生物重金属含量现状与评价[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(2): 50-52.
- [10] 甘居利, 贾晓平, 林钦, 等. 中国海洋贻贝观察: 华南沿海近江牡蛎(*Crassostrea rivularis*)体多氯联苯含量时空变化[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 726-731.
- [11] WONG C K, CHEUNG R Y, WONG M H. Heavy metal concentrations in green-lipped mussels collected from Tolo Harbour and markets in Hong Kong and Shenzhen [J]. Environmental Pollution, 2000, 109(1): 165-171.
- [12] 王化泉, 贾晓平, 赖聪洪, 等. 用沉淀分离-原子吸收法测定海产动物中的痕量重金属[J]. 环境科学丛刊, 1980, 9: 43-47.
- [13] YAP C K, ISMAIL A, TAN S G. Background concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) from Peninsular Malaysia [J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 46(8): 1044-1048.
- [14] 贾晓平, 林钦. 广东沿岸牡蛎体 Cd 含量及时空分布特点[J]. 中国水产科学, 2000, 7(4): 82-86.
- [15] 李磊, 袁骥, 平仙隐, 等. 东海沿岸海域牡蛎体内的重金属含量及其污染评价[J]. 海洋通报, 2010(6): 678-684.
- [16] 贾晓平, 林钦. “南海贻贝观察”: 广东沿海牡蛎体中 Zn 含量水平及其变化趋势[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(4): 31-35.
- [17] 孙萍, 黄长江, 乔永民, 等. 汕头港及其邻近水域潮间带海产动物体内重金属污染的调查[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(4): 56-62.
- [18] 谷阳光. 广东沿海沉积物中生源要素, 重金属分布及其潜在生态危害评价[D]. 广州: 暨南大学, 2009.
- [19] APETI D A, LAUENSTEIN G G, CHRISTENSEN J D, et al. A historical assessment of coastal contamination in Birch Harbor, Maine based on the analysis of mussels collected in the 1940s and the Mussel Watch Program [J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60(5): 732-742.
- [20] CARRO N, GARCIA I, IGNACIO M, et al. Spatial and temporal trends of PCBs (polychlorinated biphenyls) in mussel from Galician coast (1998-2008) [J]. Environment International, 2010, 36(8): 873-879.
- [21] 甘居利, 贾晓平, 林钦, 等. 应用重金属和有机污染物对人体健康的风险评价理论反推牡蛎安全消费量[J]. 南方水产, 2008(6): 17-25.
- [22] 王增焕, 林钦, 王许诺, 等. 华南沿海牡蛎重金属含量特征及其风险评估[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 291-297.
- [23] 贾晓平, 李纯厚, 林钦, 等. 广东沿海牡蛎体 Pb 含量水平及时空变化趋势[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 527-532.
- [24] 陆超华, 谢文造, 周国君. 近江牡蛎作为海洋重金属锌污染监测生物[J]. 中国环境科学, 1998, 18(6): 527-530.
- [25] 秦春艳, 方展强, 唐以杰, 等. 珠江口伶仃洋习见水生动物体内重金属含量测定与评价[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 2010(3): 104-109.
- [26] 国家海洋局. GB 18421-2001 海洋生物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [27] 贾晓平, 林钦, 李纯厚, 等. 南海渔业生态环境与生物资源的污染效应研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [28] 唐洪磊, 郭英, 孟祥周, 等. 广东省沿海城市居民膳食结构及食物污染状况的调研—对持久性卤代烃和重金属的人体暴露水平评价[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(2): 329-336.

## Spatial-temporal characters and pollution level of Zn in oysters from Guangdong coastal areas from 1989 to 2010

CHEN Hai-gang<sup>1,2</sup>, JIA Xiao-ping<sup>1\*</sup>, CAI Wen-gui<sup>1</sup>, WANG Zeng-huan<sup>1</sup>, QIN Jie-fang<sup>1,2</sup>, YANG Tao<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Guangdong Province of China, Key Field Scientific Experimental Station of South China Fishery Resource and Environment, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries

Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Concentrations of Zn were measured in oysters collected from 15 stations along Guangdong coastal areas during the period from 1989 to 2010. According to the more recent sampling data and the historical data, the spatial-temporal characters of Zn in oysters were analyzed, and then the pollution level of Zn was evaluated with single factor index and non-carcinogenic hazard index. The results showed the average concentration of Zn in oysters from the study sites was about 211.5 mg/kg with a lognormal distribution. In addition, annual variation of Zn in oysters depicted a three-phased trend pattern, the average concentration of Zn in oysters decreased slightly during the period from 1989 to 2007, and then reached a stable concentration of 197.0 mg/kg, and increased obviously during the period from 2007 to 2009, and then presented a gentle decline from 2010. Spatial variation of Zn in oysters showed the pollution level of Zn in oysters from Pearl River Estuary was higher and a different spatial trend of Zn was observed, which was different from the results from East Guangdong coastal waters and west Guangdong coastal waters. Furthermore, the results showed no obvious effect on human health according to the evaluation of single factor index and non-carcinogenic hazard index, which indicated a low pollution level of Zn in oyster, but there is no established standard of Zn level limit in consuming the oysters.

**Key words:** oyster; Zn; spatial-temporal distribution; single factor index; non-carcinogenic hazard index; Guangdong coastal waters

**Corresponding author:** JIA Xiao-ping. E-mail: jxp60@tom.com