

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2014.08.001

青岛市售贝类中总汞含量分布及人群健康风险*

张 磊 张 磊**

(青岛农业大学资源与环境学院, 青岛, 266109)

摘 要 为了解青岛市售不同种贝类的汞污染情况及居民通过食用贝类引起的汞健康风险, 于 2012 年 10 月至 2013 年 4 月, 在青岛 8 个行政区采集菲律宾蛤仔、鲍鱼、海螺、香螺、牡蛎、缢蛏、文蛤、扇贝, 共 8 种贝类, 181 份样品. 采用 F732-V 型冷原子吸收测汞仪对贝类中的总汞含量进行测定. 所测 8 种贝类的汞含量范围为 0.001—0.098 mg·kg⁻¹, 菲律宾蛤仔、扇贝、文蛤、缢蛏、鲍鱼、海螺、牡蛎和香螺的平均汞含量分别为 0.020、0.039、0.012、0.013、0.031、0.030、0.021、0.020 mg·kg⁻¹. 在青岛市售贝类的各产地中, 红岛所产贝类的汞含量最高, 为 0.046 mg·kg⁻¹, 其次是龙口, 为 0.027 mg·kg⁻¹, 产于乳山和日照的贝类汞含量最低, 分别为 0.002 mg·kg⁻¹ 和 0.003 mg·kg⁻¹. 所采集全部贝类样品中的总汞含量均低于我国国家标准. 汞摄入量计算结果显示, 青岛居民食用贝类导致的汞摄入量远远低于 FAO/WHO 推荐 Hg 的日摄入量. 采用美国环保署新制定参考剂量计算的目标危险系数 (THQ) 结果显示, 青岛市儿童通过食用贝类产品有非常高的汞暴露健康风险.

关键词 青岛, 贝类, 汞, 健康风险.

Mercury contents in shellfish sold in Qingdao City and their health risk: Distribution and health risk assessment

ZHANG Lei ZHANG Lei**

(College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao, 266109, China)

Abstract: In order to understand the status of mercury pollution in the shellfish of Qingdao City, and mercury health risk for the population via consumption of shellfish production, a total of 181 samples for 8 types of shellfish including *Ruditapes philippinarum*, *Argopectens irradians*, *Meretrix meretrix* L, *Sinonovacula*, *Haliotis asinina*, *Busycon canaliculatu*, *Ostrea riularis* Gould, *Neptunea arthritica cumingii* Crosse, were collected from the markets of 8 administrative regions in Qingdao from October in 2012 to April in 2013. The mercury contents in the shellfish samples were determined by the cold vapor atomic absorption spectrophotometry. The range of mercury contents in all the kinds of shellfish was from 0.001 mg·kg⁻¹ to 0.098 mg·kg⁻¹. The average mercury content in *Ruditapes philippinarum*, *Argopectens irradians*, *Meretrix meretrix* L, *Sinonovacula*, *Haliotis asinina*, *Busycon canaliculatu*, *Ostrea riularis* Gould, *Neptunea arthritica cumingii* Crosse was 0.02, 0.039, 0.012, 0.013, 0.031, 0.030, 0.021, 0.020 mg·kg⁻¹, respectively. Among the production areas of shellfish in Qingdao, the samples from Hong Island had the highest average mercury content of 0.046 mg·kg⁻¹, followed by that from Longkou of 0.027 mg·kg⁻¹. Shellfish samples from Rushan and Rizhao had the lowest mercury contents, which were 0.002 mg·kg⁻¹ and 0.003 mg·kg⁻¹, respectively. The mercury concentrations were under the limit of national permitted levels in foods (GB 2762—2012, 0.5 mg·kg⁻¹). The results of the assessments of mercury intake indicated that the amount of mercury intake through consumption of shellfish was far below the acceptable daily intake

2013 年 11 月 12 日收稿.

* 国家自然科学基金项目 (41101094) 资助.

** 通讯联系人, Tel: 13475836419; E-mail: zhanglei200402@sina.com

recommended by FAO/WHO. However, the calculation results of the target hazard quotient (THQ) based on the new reference dose set by US Environmental Protection Agency showed that there was high mercury health risk for children living in the target areas through the exposure path of the consumption of shellfish products.

Keywords: Qingdao City, mercury, shellfish, health risk.

近十几年,汞及甲基汞毒理学研究取得突破性进展.甲基汞不但损害人的神经系统,并且侵害儿童循环系统和免疫系统.这种侵害甚至超过对神经系统的侵害^[1],普通人群长期受到低剂量汞暴露,会对靶器官产生损害^[2].汞及甲基汞对人类的侵害比以前预想的要严重和广泛得多.许多过去认为安全的人群,实际上可能已经处于汞中毒状态,这就需要人们更加关注各种汞暴露途径导致的人群健康风险.食用被汞污染的水产品是人群汞和甲基汞暴露的主要途径,以往的研究更多关注于食用鱼类对人群汞暴露的影响^[3-4].各种贝类由于其肉嫩味鲜,价格低廉,含有丰富的蛋白质、氨基酸及钙质等营养物质而成为沿海居民餐桌每日必备的佳肴.研究证明,进入到水生生态系统中的溶解态重金属和颗粒态重金属,能够通过贝类直接吸附在体表或通过贝类对食物的摄取和消化等过程进入到贝类体内^[5].迁移到水环境和底泥中的重金属可以通过以上过程富集在贝类体内,成为人群汞暴露的途径之一.

青岛市是山东省的副省级城市,为海滨丘陵城市,紧邻黄海.所属的胶州湾是我国北方重要的贝类养殖基地,湾内贝类养殖已有 30 多年的历史,湾内底播增殖主要为菲律宾蛤仔.2006 年湾内菲律宾蛤仔的养殖面积达 15 万亩,占全湾养殖面积的 70% 以上,年产量达 30 万吨,占全湾养殖产量的 95%^[6].胶州湾潮间带汞的危害程度高于其它重金属,并且胶州湾东岸潮间带生态污染程度大于西岸潮间带,以沧口水道为界,东岸明显高于西岸,而且生态污染程度总体上呈东北向西南逐渐降低的趋势^[7].贝类是青岛当地居民餐桌常见的食品种类,食用频率及食用量都很大,因此调查青岛市售各种贝类的总汞含量、评价青岛市居民的汞暴露风险十分必要.

本文采集并测定青岛市 8 个行政区 8 种不同种类共计 181 份贝类样品中的总汞含量,分析不同产地、不同行政区贝类总汞含量分布,并比较贝类不同部位总汞含量差异及贝类总汞含量与其总重和肉重的相关关系,进而用汞摄入量和危险指数法分析青岛市不同年龄组人群通过食用不同种类贝类导致的汞暴露健康风险,为评价北方沿海居民通过食用贝类等海产品造成的汞暴露风险提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集

2012 年 10 月至 2013 年 4 月在青岛即墨、城阳、李沧、市南、市北、崂山、黄岛、胶南等 8 个行政区,随意购买市场常见的 8 种贝类,样品包括菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)、鲍鱼 (*Haliotis asinina*)、海螺 (*Busycon canaliculatu*)、香螺 (*Neptunea arthritica cumingii* Crosse)、牡蛎 (*Ostrea riuularis* Gould)、缢蛏 (*Sinonovacula*)、文蛤 (*Meretrix meretrix* L)、扇贝 (*Argopectens irradias*),181 份样品.采集样品的同时,搜集样品原产地的信息.菲律宾蛤仔的产地为红岛,鲍鱼的产地包括崂山仰口、莱州,海螺、香螺产地为红岛,海蛎子的产地包括大连、乳山、红岛,缢蛏的产地为红岛、大连、日照,扇贝的产地包括红岛、琅琊,文蛤全部来自红岛.样品采集后放置于自封袋内,做好标记,保存在实验室冰箱的冷冻室内,留待测定.

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理与分析

测定时,将样品解冻,并用大量自来水冲洗,再用蒸馏水少量多次把待测样品冲洗干净,用滤纸吸净样品表面水分,记录贝类产品的种类、总重、及肉重(湿重)、产地,并准确称取湿重 0.5—1 g 的产品(精确至 0.001).

贝类中总汞的测定采用国家标准方法——冷原子吸收分光光度法(GB/T 17136—1997)测定.采用 V₂O₅-HNO₃-H₂SO₄法消化.用 F732-V 型测汞仪测定.同时做空白试验.

1.2.2 质量保证

使用的 F732-V 型测汞仪的测量范围为 0—10.0 μg·L⁻¹,灵敏度不小于 0.05 μg·L⁻¹;所使用药剂均

为国药集团生产的优级纯药品,使用的玻璃器皿均在 1:3 的稀硝酸中浸泡过夜以消除背景汞离子的干扰;每组数据至少做 3 个空白试验,测定每批样品时随机抽取两个样品做双平行测定,误差范围小于 5%;采用生物成分标准物质(GBW10050(GSB-28))进行质量控制,本实验回收率范围在 96.3%—103.7%.

1.3 数据处理

本实验所得的数据采用 Excel2003 进行处理和作图,采用 spss17.0 软件进行数理统计分析.

2 结果与讨论

2.1 市售不同种类贝类汞含量分布

表 1 可以看出,本实验所测定 8 种贝类的汞含量范围为 0.001—0.098 mg·kg⁻¹,菲律宾蛤仔、扇贝、缢蛭、鲍鱼、海螺、牡蛎和香螺的平均汞含量分别为 0.020、0.039、0.012、0.013、0.031、0.030、0.021、0.020 mg·kg⁻¹.总汞含量的最大值出现在海螺和牡蛎两种贝类中,分别为 0.098 mg·kg⁻¹和 0.092 mg·kg⁻¹,菲律宾蛤仔的总汞含量最大值为 0.081 mg·kg⁻¹.牡蛎和菲律宾蛤仔的汞含量最小值分别为 0.001 mg·kg⁻¹和 0.003 mg·kg⁻¹,最大值分别是最小值的 92 倍和 27 倍.显著性差异分析的结果显示,菲律宾蛤仔的平均汞含量显著低于鲍鱼和海螺的汞含量(P 值均 <0.05);扇贝的平均汞含量极显著地高于鲍鱼的汞含量($P<0.01$),显著高于海螺和牡蛎的汞含量($P<0.05$);文蛤的平均汞含量极显著地低于鲍鱼和海螺中的汞含量($P<0.01$),显著低于牡蛎中的汞含量($P<0.05$);缢蛭的平均汞含量极显著低于鲍鱼和海螺中的汞含量($P<0.01$),显著低于牡蛎中的汞含量($P<0.05$).牡蛎和菲律宾蛤仔汞含量范围广可能与两种贝类的产地不同有关.扇贝汞含量的最大值虽然不是 8 种贝类中最高的,但是平均汞含量却是所采集贝类中最高的,这与扇贝的大小及生活习性有着密不可分的关系.与菲律宾蛤仔、文蛤等双壳类贝类相比,扇贝是双壳类贝类中个体较大的种类,扇贝为滤食性动物,对食物的大小有选择能力,但对种类无选择能力.本实验所搜集的 8 种贝类的总汞含量范围在 0.001—0.098 mg·kg⁻¹,最低值与李剑等^[8]所测厦门 4 种贝类(牡蛎、菲律宾蛤仔、缢蛭和蚬)总汞含量的最低值相当,但最高值是厦门贝类样品的 3.5 倍.与福建中北部的贝类总汞含量相比^[9],本实验贝类的汞最高值是其 8.2 倍,平均汞含量是其 1.97—6.39 倍.与福建中东部的贝类汞含量相比^[10-11],本实验贝类的汞最高值是其 1.5 倍,只有文蛤和缢蛭的平均汞含量和其平均值相当,其他种类贝类的汞平均含量是其 1.67—3.25 倍.本实验所测贝类汞含量的最高值和平均值均远远低于我国无公害水产品^[12]中总汞含量 0.3 mg·kg⁻¹的要求,但是高于南方福建省沿海养殖贝类的汞含量.

表 1 不同种类贝类汞含量分布(mg·kg⁻¹)
Table 1 Mercury contents in different types of shellfish samples (mg·kg⁻¹)

种类	份数	浓度范围	算数均值	几何均值	标准差
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	54	0.003—0.081	0.020	0.018	0.013
扇贝 <i>Argopectens irradians</i>	24	0.001—0.057	0.039	0.031	0.029
文蛤 <i>Meretrix meretrix</i> L	18	0.007—0.015	0.012	0.010	0.006
缢蛭 <i>Sinonovacula</i>	30	0.004—0.026	0.013	0.011	0.007
鲍鱼 <i>Haliotis asinina</i>	16	0.002—0.067	0.031	0.029	0.019
海螺 <i>Busycon canaliculatu</i>	14	0.002—0.098	0.030	0.027	0.018
牡蛎 <i>Ostrea riularis</i> Gould	10	0.001—0.092	0.021	0.018	0.006
香螺 <i>Neptunea arthritica cumingii</i> Crosse	15	0.002—0.071	0.020	0.012	0.017

2.2 不同产地贝类汞含量比较分析

图 1 比较了不同产地贝类总汞平均含量.由图 1 可以看出,不同产地贝类汞含量的大小为红岛>龙口>莱州>崂山>琅琊>大连>日照>乳山.产于红岛地区贝类的平均汞含量为 0.046 mg·kg⁻¹,龙口贝类总汞含量的平均值为 0.027 mg·kg⁻¹,相对较低的乳山、日照贝类的平均汞含量为分别 0.002 mg·kg⁻¹和 0.003 mg·kg⁻¹.红岛地区贝类的平均汞含量为龙口贝类的 1.7 倍,为乳山和日照的 23 倍和 15 倍.红岛位

于青岛胶州湾的北部,浅海滩涂 7 万余亩,具有 30 年养殖菲律宾蛤仔的历史.红岛所属的胶州湾潮间带汞的危害程度高于其它重金属,并且胶州湾东岸潮间带生态污染程度大于西岸潮间带,以沧口水道为界,东岸明显高于西岸,而且生态污染程度总体上呈东北向西南逐渐降低的趋势^[7].海湾内沉积物中重金属具有陆源和海源的双重来源,而随着经济的飞速发展导致陆源污染增多,使胶州湾海水重金属浓度不断提高,海水中的重金属进入到沉积物中,在适当的条件下又重新释放到海水中,造成二次污染^[13].生活在沉积物中的贝类通过滤食食物摄入重金属、吸收海水及体表直接接触底泥吸收重金属,因此产于红岛的贝类汞含量较其他地区高.

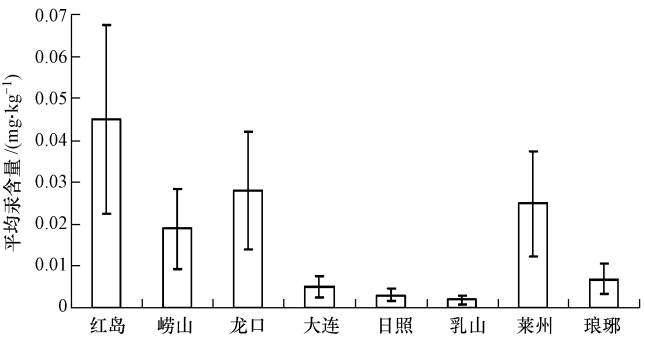


图 1 不同地区贝类汞含量比较

Fig.1 Mercury contents in the shellfish samples from different regions

2.3 不同行政区不同种类贝类总汞含量比较

由图 2 可以看出,在李沧地区采集的菲律宾蛤仔、香螺平均汞含量最低,含量为 0.004 mg·kg⁻¹和 0.005 mg·kg⁻¹,崂山、胶南的牡蛎平均汞含量最低,含量均为 0.002 mg·kg⁻¹,海螺、鲍鱼、牡蛎最低的地区为胶南,含量为 0.001、0.011、0.002 mg·kg⁻¹,市北的扇贝平均汞含量最低,含量为 0.008 mg·kg⁻¹,市北的缢蛏平均汞含量最低,含量为 0.004 mg·kg⁻¹,即墨的文蛤的平均汞含量最低,含量为 0.011 mg·kg⁻¹.在市南和即墨采集的贝类具有较高的汞含量,这两处的贝类样品 90%以上的产地为青岛当地的红岛,表明红岛的贝类体内汞水平较高.即墨地区的牡蛎平均汞含量为所有样品最高,达到了 0.055 mg·kg⁻¹,产地为龙口,可能由于龙口地区重工业发达,水面风浪少,相对平静,造成汞容易在水和底泥中积累.产地为胶南地区的贝类汞平均含量最低,这与当地的地理位置,气候有关.胶南地处青岛最南处,经济发展相对市南、崂山、市北有所欠缺,海水和底泥中汞的污染源较少,所以在此处生长的贝类体内汞含量较少.

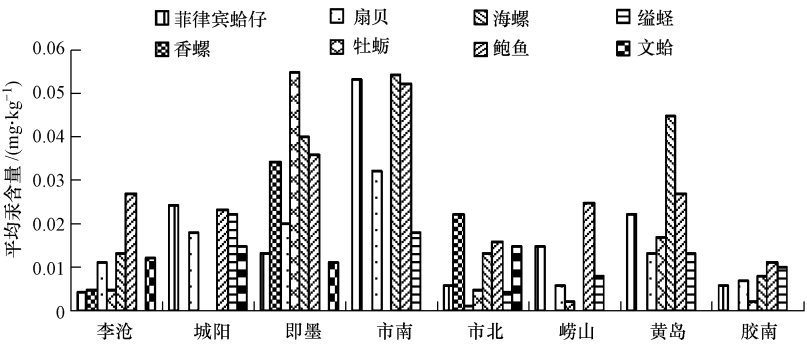


图 2 行政区域不同种类贝类体内汞含量的比较

Fig.2 Mercury contents in different types of shellfish samples from different administrative regions

2.4 汞在贝类不同部位的分布

在所采集的 8 种贝类样品中,扇贝 (*Argopectens irradians*)、牡蛎 (*Ostrea riularis Gould*)、海螺 (*Busycon canaliculatu*)、鲍鱼 (*Haliotis asinina*) 等 4 种贝类个体较大,因此测定了这 4 种贝类产品不同部位中的总汞含量,具体数据见表 2.数理统计分析的结果显示,鲍鱼内脏总汞含量极显著高于鲍鱼肉中的总汞含量 ($P<0.01$),其他种类贝类不同部位中的总汞含量没有显著差异.扇贝和海螺内脏中总汞含量虽然没有显

著高于肉中的总汞含量,但是在数值上是高于肉中汞含量的.贝类内脏中的总汞含量高于肉中总汞含量是因为贝类吸收的毒素主要分布于内脏,半消化的物质和泥沙混合物也分布于内脏,导致饵料中和泥沙中的汞蓄积于内脏部位,因此在食用贝类产品时,要剔除内脏部位,以减少汞的摄入量.

表 2 汞在贝类不同部位中的分布 (mg·kg⁻¹)

Table 2 Distribution of total mercury in different parts of the shellfish samples (mg·kg ⁻¹)					
种类	部位名称	算术均值	范围	标准差	样本数
扇贝 (<i>Argopectens irradians</i>)	裙边	0.010	0.002—0.038	0.011	24
	内脏	0.019	0.002—0.057	0.015	24
	肉	0.012	0.001—0.056	0.012	24
牡蛎 (<i>Ostrea riuularis Gould</i>)	裙边	0.010	0.02—0.022	0.008	10
	肉	0.021	0.001—0.092	0.033	10
海螺 (<i>Busycon canaliculatu</i>)	内脏	0.031	0.012—0.098	0.023	10
	肉	0.023	0.002—0.092	0.024	14
鲍鱼 (<i>Haliotis asinina</i>)	内脏	0.038	0.015—0.067	0.012	14
	肉	0.015	0.002—0.050	0.012	16

2.5 汞含量与贝类重量的相关性分析

表 3 列出了不同种类贝类总汞含量与肉重、总重之间的相关关系.其中,扇贝总汞含量与其总重和肉重呈现极显著负相关关系;缢蛏总汞含量与其总重呈现显著的负相关关系,其他种类贝类和其总汞含量均没有显著的相关关系.

表 3 不同种类贝类汞含量与其总重和肉重的相关关系

Table 3 Correlation between mercury concentrations in the different types of shellfish samples and their total weight and meat weight				
贝类种类	相关系数(<i>r</i>)	相关方程	显著性(<i>P</i>)	样本数(<i>n</i>)
菲律宾蛤仔总重	-0.191	$y = -0.0012x + 0.0269$	0.166	54
菲律宾蛤仔肉重	-0.016	$y = -0.0003x + 0.0191$	0.907	54
扇贝总重	-0.312 * *	$y = -0.001x + 0.0346$	0.008	24
扇贝肉重	-0.399 * *	$y = -0.0033x + 0.0235$	0.001	24
文蛤总重	0.177	$y = 0.0002x + 0.0114$	0.483	18
文蛤肉重	0.188	$y = 0.0006x + 0.0119$	0.455	18
缢蛏总重	-0.427 *	$y = -0.0011x + 0.0239$	0.018	30
缢蛏肉重	-0.354	$y = -0.0013x + 0.0211$	0.055	30
鲍鱼总重	0.267	$y = 0.0008x + 0.0053$	0.115	16
鲍鱼肉重	-0.161	$y = -0.0007x + 0.0317$	0.347	16
海螺总重	0.364	$y = 0.0006x - 0.0064$	0.165	14
海螺肉重	0.032	$y = 0.0002x + 0.0274$	0.907	14
牡蛎总重	0.679	$y = 0.0015x - 0.0349$	0.064	10
牡蛎肉重	-0.253	$y = -0.0029x + 0.0424$	0.546	10
香螺总重	-0.268	$y = -0.0027x + 0.0306$	0.334	15
香螺肉重	0.388	$y = 0.0065x + 0.0049$	0.153	15

注: * * 为极显著相关; * 为显著相关.

这可能是由以下原因造成的:(1)贝类的养殖年限短:菲律宾蛤仔和文蛤等贝类养殖 1—2 年时间捕捞上市,较短的养殖时间导致随着贝类重量的增长,其体内汞含量增加不显著;(2)贝类的外壳所占重量较多.海螺、牡蛎等贝类外壳重量很大,可食用部分重量较少,致使汞在贝壳和肉中的分布不均匀.扇贝的养殖年限一般是 6 个月,在温度高时生长较快,在温度较低时,生长较慢或停止生长.本次实验所采集的扇贝是在冬季采集,扇贝生长缓慢和其较短的养殖时间可能是扇贝总汞和其重量呈现极显著负相关关系的原因.

2.6 健康风险评价

2.6.1 食用贝类中汞的摄入量

居住在青岛地区市民因食用市售贝类摄入的汞含量通过下式计算:

DI = FIR · C (1)

式中,DI 为重金属的摄入量($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$);FIR 为食物摄取率($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$),C 为食物中汞含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).我国居民对不同种类食物的日均摄入量,成年人(18—70 岁)鱼贝类摄入率为 $30.1\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$,青少年(13—17 岁)鱼贝类摄入率为 $13.9\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$,儿童(2—12 岁)鱼贝类摄入率为 $15.4\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ [14];

青岛市居民喜食贝类等海产品,结合本课题组在青岛市所做问卷调查,本文确定菲律宾蛤仔(*Venerupis variegata*)、扇贝(*Chlamys farreri*)、文蛤(*Meretrix meretrix* L)、缢蛏(*Sinonovacula constrzcta*)、牡蛎(*Ostrea talienwhanensis* Grosse)等经常食用并经济便宜的贝类产品的摄入率为成年人(18—70 岁)为 $50\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$,青少年(13—17 岁)贝类摄入率为 $23.09\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$,儿童(2—12 岁)贝类摄入率为 $25.1\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$;鲍鱼(*Abalone*)、海螺(*Litto-rina*)、香螺(*Neptunea arthritica cumingii* Crosse)这 3 类贝类产品由于价格较贵,食用量较少,按照上述我国普通居民的鱼贝类摄入率进行计算.青岛市民不同年龄段摄入贝类中汞的含量见表 4.

表 4 青岛市不同年龄段居民摄入贝类中汞的含量($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)

Table 4 Mercury intake of the different age groups from Qingdao by the consumption of shellfish ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)

种类	成年人		青少年		儿童	
	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围
菲律宾蛤仔 <i>Venerupis variegata</i>	1	0.15—4.05	0.462	0.069—1.870	0.502	0.075—2.033
扇贝 <i>Chlamys farreri</i>	1.95	0.05—2.85	0.901	0.023—1.316	0.979	0.025—1.431
文蛤 <i>Meretrix meretrix</i> L	0.6	0.35—0.75	0.277	0.162—0.346	0.301	0.176—0.377
缢蛏 <i>Sinonovacula constrzcta</i>	0.65	0.2—1.3	0.300	0.092—0.600	0.326	0.100—0.653
鲍鱼 <i>Abalone</i>	0.933	0.120—2.017	0.431	0.056—0.931	0.477	0.062—1.032
海螺 <i>Litto-rina</i>	0.903	0.181—2.950	0.417	0.083—1.362	0.462	0.092—1.509
牡蛎 <i>Ostrea talienwhanensis</i> Grosse	1.05	0.05—4.6	0.485	0.023—2.124	0.527	0.025—2.309
香螺 <i>Neptunea arthritica cumingii</i> Crosse	0.602	0.060—2.137	0.278	0.028—0.987	0.308	0.031—1.093

由表 4 可知,对于青岛市不同年龄段居民而言,平均最大汞摄入量都是通过食用扇贝导致的,其次是牡蛎和菲律宾蛤仔,是青岛市居民经常食用且食用量较大的贝类.文蛤和缢蛏也是市场上常见的贝类产品,通过食用这两种贝类导致居民的汞摄入量是这次调查的 8 种贝类产品中最低的,通过食用鲍鱼和海螺导致居民的汞摄入量居中,但是这两种贝类的食用频率很低.由于成年人对汞的摄入率大于青少年和儿童,所以通过食用不同种类贝类导致的汞摄入量均是成年人>儿童>青少年.FAO/WHO 推荐 Hg 的日摄入量为 $40\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ [15],从表 3 中可知,不论是成年人还是青少年和儿童,食用青岛市售的常见几种贝类导致的汞摄入量均远远小于 FAO/WHO 推荐的汞日摄入量.虽然鲍鱼、海螺和香螺具有较高的汞摄入量,但由于这 3 种贝类食用频率较低,因此在正常食用情况下,不会对人群健康产生汞暴露风险.文蛤和缢蛏的食用量虽然较大,但其汞摄入量上限较低,也不会使居民具有汞暴露风险.菲律宾蛤仔、扇贝和牡蛎的食用频率高、食用量大,基于安全考虑,用这 3 种贝类的汞摄入量上限值来推算青岛居民对这 3 种贝类的建议食用量.对于青岛市成年居民建议食用量,菲律宾蛤仔的日摄入量应低于 493.83 g ,扇贝的日摄入量应低于 701.75 g ,牡蛎的日摄入量应低于 434.78 g .青少年和儿童,由于其汞摄入率低于成年人的近两倍,因此,青少年和儿童通过食用贝类导致的汞健康风险很低.本课题组在问卷调查过程中得知,世代居住于青岛市的居民每天都要食用大量的菲律宾蛤仔,有可能导致居民通过食用菲律宾蛤仔引起汞暴露健康风险.张磊等[16]研究的青岛市居民发汞含量结果显示,超过 10% 的受检样品汞含量超过美国环保署的标准,发汞含量与食鱼没有关系,与年龄呈正相关,说明青岛地区居民食用贝类(主要是菲律宾蛤仔)是导致人群汞暴露的主要途径,大量食用贝类产品会导致人群的汞暴露健康风险.

2.6.2 危险指数法

危险指数法可以指示因暴露于污染物而对人体健康产生的风险水平.目标危险系数(The target

hazard quotient, THQ)是假定吸收剂量等于摄入剂量,以测定的人体摄入剂量与参考剂量的比值为评价标准,如果该值小于 1,则说明暴露人群没有明显的健康风险,反之,则存在健康风险,计算公式如下:

$$THQ = \frac{EF \times ED \times FIR \times C \times 10^{-3}}{RFD \times WAB \times TA}$$

(2)

式中,EF 代表暴露频率(365 d·a⁻¹);ED 为暴露区间(70 年),等同于人类平均寿命年龄;FIR 为食物摄取率(g·d⁻¹,按照上段讨论的不同种类贝类和不同年龄段的摄入率计算);C 为贝类中汞的浓度(mg·kg⁻¹);RFD 为参考剂量,美国环保局新制定汞的参考剂量为 0.10 μg·kg⁻¹体重·d⁻¹^[17];WAB 表示人类的平均体重(成年人和青少年取平均体重 60 kg^[18],儿童取平均体重 32.7 kg^[19]),TA 为非致癌性的平均暴露时间(365 d·a⁻¹×暴露年数)^[20],成年人组取平均暴露年数 45 a,青少年组取 15 a,儿童组取 7 a.

从表 5 中可以看出,成年人组和青少年组食用不同种类贝类汞 THQ 的均值均小于 1,表现为没有汞暴露的健康风险.但对于上述两组人群而言,如果经常食用汞含量较高的菲律宾蛤仔(*Venerupis variegata*)、扇贝(*Chlamys farreri*)、牡蛎(*Ostrea talienwhanensis* Grosse)这 3 种常见贝类,会导致人群的汞暴露风险,建议人群在食用这 3 种贝类时,要购买不同产地的贝类产品,以避免贝类产地的单一性造成的汞暴露风险.儿童组人群食用贝类产品,除香螺外,其他种类贝类汞的 THQ 均大于或接近 1.在 THQ 的计算中,采用了较为严格的美国环保署新制定的参考剂量,以确保包括儿童和育龄妇女在内的敏感人群,每日所接受有毒物质的暴露剂量不会对人体健康产生危害.本文研究结果表明,居住于沿海地区的儿童确实存在通过食用贝类导致的汞暴露健康风险,因此对于儿童这一敏感人群而言,要减少各种贝类的食用量和食用频率,以减少汞在其体内蓄积对其身体产生的危害.

表 5 青岛市售不同种类贝类汞的 THQ
Table 5 THQ of mercury in the different kinds of shellfish from the markets in Qingdao City

种类	成年人		青少年		儿童	
	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围
菲律宾蛤仔 <i>Venerupis variegata</i>	0.259	0.039—1.050	0.372	0.056—1.506	1.535	0.230—6.217
扇贝 <i>Chlamys farreri</i>	0.506	0.013—0.739	0.725	0.019—1.060	2.994	0.077—4.375
文蛤 <i>Meretrix meretrix</i> L	0.156	0.091—0.194	0.233	0.130—0.279	0.921	0.537—1.151
缢蛏 <i>Sinonovacula constrzcta</i>	0.169	0.052—0.337	0.242	0.074—0.483	0.998	0.307—1.996
鲍鱼 <i>Abalone</i>	0.242	0.031—0.523	0.335	0.043—0.281	1.460	0.188—3.155
海螺 <i>Litto—rina</i>	0.234	0.047—0.765	0.324	0.065—1.059	1.413	0.283—4.615
牡蛎 <i>Ostrea talienwhanensis</i> Grosse	0.272	0.013—1.193	0.390	0.019—1.710	1.612	0.077—7.062
香螺 <i>Neptunea arthritica cumingii</i> Crosse	0.156	0.016—0.554	0.216	0.022—0.768	0.308	0.094—3.344

3 结论

- (1) 青岛市 8 个地区贝类体内汞含量的范围为 0.001—0.098 mg·kg⁻¹,不同种类贝类的总汞平均含量的范围为 0.012—0.039 mg·kg⁻¹;扇贝的平均浓度最高,为 0.039 mg·kg⁻¹,文蛤和缢蛏的平均浓度最低,分别为 0.012 mg·kg⁻¹和 0.013 mg·kg⁻¹.所测各类贝类总汞含量均远低于我国相关的标准.
- (2) 不同产地的贝类汞含量中,红岛的贝类具有最高的总汞含量,平均汞含量为 0.046 mg·kg⁻¹,其次为产于龙口地区的,总汞含量的平均值为 0.027 mg·kg⁻¹,乳山和日照的贝类具有最低的总汞含量,平均汞含量为分别 0.002 mg·kg⁻¹和 0.003 mg·kg⁻¹.
- (3) 在市南和即墨采集的贝类具有较高的汞含量,李沧地区采集的菲律宾蛤仔、香螺平均汞含量最低,崂山、胶南的牡蛎平均汞含量最低,海螺、鲍鱼、牡蛎最低的地区为胶南,市北的扇贝、缢蛏平均汞含量最低.
- (4) 鲍鱼内脏总汞含量显著高于肉中总汞含量,扇贝、牡蛎和海螺不同部位中总汞含量没有显著差异.

(5)除扇贝总重、肉重和缢蛏总重和其总汞含量呈显著负相关关系外,其他种类贝类重量和其总汞含量之间均没有显著的相关关系。

(6)青岛市不同年龄段居民通过食用贝类产品导致的汞摄入量远低于 FAO/WHO 推荐的汞日摄入量;利用美国环保署新制定的参考剂量计算的 THQ 结果显示,通过食用贝类,青岛市儿童有很大的汞暴露风险。

参 考 文 献

[1] Mahaffey K. Mercury as an environmental problem: Perspectives on health effects and strategies for risk management[C]. 6th International Conference on Mercury as a global pollutant. Minamata, Japan, 2001, Abstract, KN- VI

[2] Holmes P, James K A F, Levy L S. Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? [J]. Science of the Total Environment, 2009, 408 (2): 171-182

[3] Burger J, Gochfeld M. Mercury and selenium levels in 19 species of saltwater fish from New Jersey as a function of species, size, and season[J]. Science of the Total Environment, 2011, 409 (8): 1418-1429

[4] Morgano M A, Rabonato L C, Milani R F, et al. As, Cd, Pb and Hg in seafood species used for sashimi and evaluation of dietary exposure [J]. Food Control, 2014, 36 (1): 24-29

[5] Wang W X, Fisher N S. Assimilation of trace elements by the mussel *Mytilus edulis*: Effects of food composition[J]. Limnol Oceanogr, 1996, 41: 197-207

[6] 张明亮. 胶州湾贝类养殖容量研究与分析[D]. 青岛:国家海洋局第一海洋研究所硕士学位论文, 2008

[7] 刘义峰, 吴桑云, 孙书贤, 等. 胶州湾、莱州湾潮间带沉积物污染比较[J]. 海岸工程, 2009, 28: 61-68

[8] 李剑, 曾祥程, 黄志勇. 贝类水产品汞含量及其健康风险评估[J]. 中国食品学报, 2012, 12 (12): 143-147

[9] 王臻. 福建沿海中北部主要贝类养殖区沉积物、贝类质量的初步分析和评价[J]. 福建水产, 2010, 126 (3): 39-45

[10] 祝立, 林建杰. 福建省中东部海域贝类养殖区部分养殖贝类体内重金属含量分析[J]. 福建畜牧兽医, 2004, 26 (5): 4-5

[11] 翁新. 福建中、东部养殖贝类质量状况调查[J]. 福建畜牧兽医, 2006, 28 (3): 3-5

[12] GB 18406.4—2001.《农产品安全质量 无公害水产品安全要求》[S]

[13] 魏璟弢, 张焕玲, 李铁, 等. 胶州湾及青岛近海表层沉积物重金属赋存形态研究[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42 (6): 157-164

[14] 段小丽. 暴露参数的研究方法及其在环境健康风险评估中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012

[15] Ostapczuk P, Valenta P, Rutzel H, et al. Application of differential pulse anodic stripping voltammetry to the determination of heavy metals in environment samples[J]. Science of the Total Environment, 1987, 60: 1-16

[16] 张磊. 青岛不同功能区居民发汞含量及影响因素分析[J]. 安全与环境学报, 2009, 9 (4): 95-97

[17] Borum D R, Manibusan M K, Schoeny R S et al. U.S. EPA Water quality criterion for the protection of human health: Methylmercury[C]. 6th International Conference on Mercury as a global pollutant, Minamata Japan, 2001, Abstract. KN- IV

[18] 王增焕, 林钦, 王许诺, 等. 华南沿海贝类产品重金属元素含量特征及其安全性评价[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20 (6): 923-929

[19] 郑娜, 王起超, 郑冬梅. 基于 THQ 的锌冶炼厂周围人群食用蔬菜的健康风险分析[J]. 环境科学学报, 2007, 27 (4): 672-678

[20] USEPA. 2000. Risk-based concentration table[EB/OL], [2004-06]. <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm>