

doi: 10.3969/j. issn. 1673 - 2227. 2010. 01. 010

大亚湾海洋生物体内铅的含量与风险评估

王增焕，林钦，王许诺

(中国水产科学研究院南海水产研究所，广东 广州 510300)

摘要：文章分析讨论了大亚湾海洋生物体铅(Pb)的含量与变化特征。统计分析结果显示，大亚湾海域生物体Pb的含量服从正态分布，其平均值为 $(0.33 \pm 0.10) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。甲壳类Pb的含量明显高于头足类和鱼类。根据风险评估的4个步骤，确定Pb的毒性，描述了Pb对人体健康的不良影响，采用粗略的点评估方法计算了Pb的膳食暴露量，并简述了Pb的风险。结果表明，大亚湾海洋生物体Pb的膳食暴露量处于安全范围。

关键词：大亚湾；海洋生物体；铅(Pb)；风险评估

中图分类号：X 835

文献标志码：A

文章编号：1673 - 2227 - (2010) 01 - 0054 - 05

Analysis of lead content in marine organisms and risk assessment in Daya Bay

WANG Zenghuan, LIN Qin, WANG Xunuo

(South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: The content and variation features of lead in marine organisms in Daya Bay were discussed in the paper. The results of the statistical analysis indicated that the lead content in the marine organisms in that sea area presented itself as a normal distribution, and the average value was $(0.33 \pm 0.10) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The lead content in the crustacean samples were obviously higher than that in cephalopod and fish samples. The research was conducted by following the four procedures of risk assessment. Therefore, the toxicity of lead was identified; its adverse effects on human health were described; the dietary exposure of lead in aquatic product intake was calculated using the Crude Point Estimate method, and finally the risk of lead was described. The results showed that the dietary exposure of the intake of the marine organisms captured from Daya Bay was within the reference dose.

Key words: Daya Bay; marine organisms; lead; risk assessment

铅(Pb)是地壳中发现的含量最丰富的重金属元素，也是对人体毒性最强的重金属之一。Pb中毒引发人类最早食物中毒事件，服用Pb为主要成分的“丹丸”是古代中国许多帝王暴病死亡的主要原因之一。由于Pb是现代社会生产中的重要工业原料，其应用广泛不仅使地球环境受到污染，水产品也受到污染，大量水产品被检测到含Pb，部分水产品Pb的含量更是甚高。对于某些地区的特定人群，水产品可能成为人体摄入Pb的重要途

径之一。文章对大亚湾海洋生物体中Pb的含量和分布特征进行了分析，并就生物体Pb的含量进行风险评估。

1 材料与方法

样品的采集与预处理方法参见文献[1]，生物体经预处理后成为待测样品。准确称取适量待测样品于坩埚中，小火蒸干、低温碳化后，高温灰化完全，用稀硝酸溶解，转移至比色管中定容、待测。

收稿日期：2009-10-09；修回日期：2009-11-16

资助项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金（中国水产科学研究院南海水产研究所）资助项目（2009TS20）

作者简介：王增焕（1969-），男，副研究员，从事海洋生态环境与水产品质量安全。E-mail: zh-wang@people.com.cn

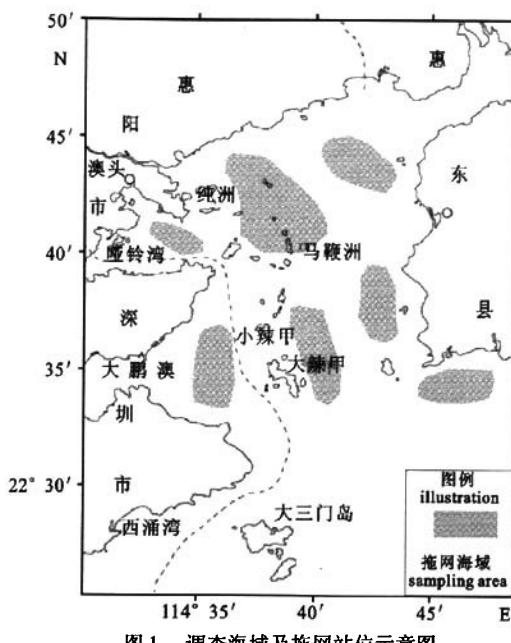


图1 调查海域及拖网站位示意图

Fig. 1 The survey and sampling sites in Daya Bay

Pb 的含量采用原子吸收光谱法测定, 仪器为日立 Z-8000/Z-2000 型塞曼效应原子吸收分光光度计。测定结果以湿体质量表示, 数据的统计分析应用 SPSS 软件。

Pb 的风险评估参照国际食品法典委员会所描述的 4 个分析步骤^[2], 危害识别和危害描述确定 Pb 对健康的影响、危害, 对由此产生的不良健康影响进行定性分析、描述。根据水产品的膳食摄入量估算 Pb 的暴露量, 描述其安全性。采样站位图见图 1。

2 结果与讨论

2.1 生物体 Pb 的含量

此次调查选取生物样品共 63 个, 包括鱼类样

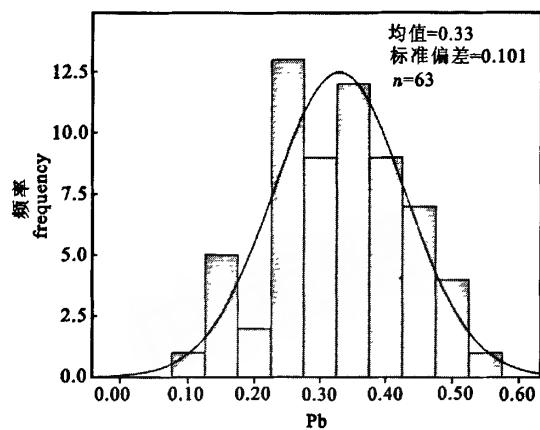


图2 大亚湾海域生物体 Pb 含量频率分布图

Fig. 2 The frequency distribution of lead content in the marine organisms in Daya Bay

品 30 个、甲壳类样品 18 个、头足类样品 15 个。统计分析的结果显示, 大亚湾海域生物体 Pb 的含量服从正态分布(图 2), 其含量范围和平均值分别为 $0.10 \sim 0.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(0.33 \pm 0.10) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。其中鱼类、甲壳类和头足类生物样品 Pb 的含量均值分别为 0.28 、 0.43 和 $0.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变化范围分别为 $0.10 \sim 0.51$ 、 $0.32 \sim 0.54$ 和 $0.17 \sim 0.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。头足类样品 Pb 的含量均低于食品中污染物质限量^[3]标准和无公害水产品有毒有害物质限量^[4]标准中 Pb 的限量值 [$w(\text{Pb}) \leq 0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$], 带鱼、赤虾和梭子蟹各有 1 个样品 Pb 的含量超过标准的限量值。与国内其他海域生物体 Pb 的含量相比(表 1), 大亚湾海域生物体 Pb 的含量处于较低水平。

对此次调查的生物体按所属目别分别统计, 不同类群生物体 Pb 的含量统计结果列于表 2。

表1 不同海域生物体 Pb 的含量比较

Tab. 1 The comparison of lead content among marine organisms in different sea areas

 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

海域 sea area	鱼类 fish	甲壳类 crustacean	头足类 cephalopod	参考文献 references
胶州湾 Jiaozhou Bay	0.63	0.65	1.27	[5]
黄骅沿海 Huanghua coast	1.10	0.86	-	[6]
珠江口 Pearl River estuary	0.16	2.10	0.13	[6-7]
湛江海域 Zhanjiang coast	0.27	0.27	0.21	[8]
大亚湾 Daya Bay	1.3	12.2	4.0	[9]
大亚湾 Daya Bay	0.28	0.43	0.30	此文

表 2 大亚湾海域不同类群生物体 Pb 含量的统计结果

Tab. 2 The statistics of lead content in different species groups of organisms in Daya Bay

生物体 organism	样品名称 (数量/ind) sample name (numbers)	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ average	变化范围/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ variation range	标准偏差 standard error
鱼类 (30) fish	鲻形目 Mugiliformes (6)	0.24	0.17 ~ 0.31	0.05
	鲱形目 Clupeiformes (6)	0.24	0.10 ~ 0.40	0.12
	鲈形目 Perciformes (18)	0.31	0.17 ~ 0.51	0.09
	平均值 average	0.28	-	0.09
甲壳类 (18) crustacean	对虾科 shrimp (7)	0.42	0.32 ~ 0.54	0.08
	梭子蟹科 crab (11)	0.44	0.36 ~ 0.51	0.04
	平均值 average	0.43	-	0.06
头足类 (15) cephalopod	杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i> (7)	0.32	0.26 ~ 0.39	0.05
	剑尖枪乌贼 <i>L. edulis</i> (8)	0.24	0.17 ~ 0.34	0.07
	平均值 average	0.30	-	0.07
	合计 total	0.33	0.10 ~ 0.54	0.10

从表 2 的数据可以看出, 大亚湾海域生物体 Pb 的含量以鱼类最低、头足类次之、甲壳类最高。统计分析结果表明, 甲壳类生物体 Pb 的含量明显高于鱼类和头足类样品。在同一类群的样品中, 不同目别的生物体 Pb 的含量没有显著差异。

鱼类与头足类生物活动于海洋的水层中, 甲壳类生物栖息于沉积物的表层, 海洋沉积物 Pb 的含量远远高于海水中 Pb 的含量。Pb 不是生命过程中所需要的元素, 生物体内的 Pb 源于外界环境的污染, 是生物体被动吸收的结果。生物体暴露于受污染的海洋环境中, 通过摄食等生命活动, 肌体组织中的 Pb 不断积累。甲壳类生物栖息环境中 Pb 的含量高, 鱼类与头足类生物栖息环境中 Pb 的含量低。甲壳类生物与鱼类、头足类生物样品中 Pb 含量差异, 反映了生物栖息环境对其组织中 Pb 含量的影响。

2.2 生物体 Pb 含量的风险评估

风险评估由国际食品法典委员会所描述的 4 个分析步骤组成^[2], 即危害识别、危害特征描述、暴露评估和风险特征描述。危害识别确定某种或某一组食品中可能产生不良健康影响的生物、化学和物理因素。危害描述对食品中生物、化学和物理因素产生的不良健康影响的特性进行定性和/或定量分析。暴露评估对可能经食品摄入的及其他相关途径暴露的生物、化学和物理因素进行定性和/或定

量评估。风险描述是在前述 3 个过程的基础上, 对特定人群中产生已知或潜在不良健康影响的可能性及严重性进行定性和/或定量估计。

2.2.1 危害识别与描述 现代医学证实, Pb 及其化合物都具有一定的毒性, 主要抑制细胞内含巯基的酶而使人体的生理和生化功能发生障碍, 引起小动脉痉挛, 损伤毛细血管内皮细胞, 影响能量代谢, 导致卟啉代谢紊乱, 阻碍高铁血红蛋白的合成, 改变红细胞及其膜的正常性能, 阻抑肌肉内磷酸肌酸的再合成等, 从而出现一系列病理变化, 其中以神经系统、肾脏、造血系统和血管等方面的变化更为显著^[10-13]。Pb 通过消化道, 被吸收到血液循环, 很快分布于全身组织和器官。随后 95% 以上以不溶性磷酸盐形式沉积于骨骼组织中^[14]。当由于感染、创伤、劳累、饮用含酒类的饮料或服酸性药物等破坏体内酸碱平衡时, 骨内不溶解的三盐基磷酸铅便转化为可溶的二盐基磷酸铅移至血液; 而血液中 Pb 浓度大量增加, 可发生 Pb 中毒症状。调查结果表明, 血 Pb 含量与儿童身高、脾气暴躁程度的评价呈负相关, 儿童思维判断和表达自我能力的发育因血 Pb 升高而延缓^[15]。国内外大量研究表明, 婴幼儿和儿童的血 Pb 水平与智商 (IQ) 值显著相关, 当血 Pb 水平每增加 100 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 智商降低 1 ~ 3 分^[16]。

2.2.2 暴露评估 暴露评估描述 Pb 的暴露途

径，并估计其总暴露量。根据对健康的不良影响是急性还是慢性，暴露评估也分为急性暴露评估和慢性暴露评估。急性暴露评估是一顿饭或 24 h 内的暴露情形，以及以最高残留水平计算的高暴露值。慢性暴露评估是 6 个月以上至终身暴露的情形，根据平均残留水平计算的平均暴露值。文章根据大亚湾生态环境调查的实际数据，进行慢性暴露评估。对于水产品中的 Pb，其暴露途径只有膳食摄入。其他环境污染的暴露途径的摄入量该文将不作评估。儿童对 Pb 比较敏感，对 Pb 的吸收率较成年人高 5~10 倍。而且 Pb 对儿童的危害较成年人严重，评估过程中的易感性差异主要考虑人群的年龄差异，即成年人与儿童的差异。

暴露量的计算公式如下：

$$E = \frac{C \times I \times k}{Bw}$$

式中 E 为暴露量； C 为 Pb 含量； I 为膳食量；

k 为吸收率； Bw 为体质量。

文章采用粗略的点评估方法，评估大亚湾海洋生物体 Pb 的膳食暴露量，计算结果见表 3。对于上式中参数的取值，做如下说明。 C 以大亚湾海洋生物体 Pb 含量的“平均值 ± 标准偏差”表示；膳食量 I 是暴露量计算公式中不确定性最大的变量，此处设为 4 个等级，分别以 $I_1 \sim I_4$ 表示。根据广东地区的水产品消费量^[17] 和中国居民膳食营养状况调查，分别取值为 60、45 和 30 g，代表广东省、全国城市与农村的水产品每日消费量。沿海地区水产品消费量高于其他地区，并参照沿海地区水产品消费量的有关报道，假定水产品每日膳食量的上限为 200 g； k 取值 1，表示通过膳食摄入的 Pb 吸收率为 100%； Bw 分成年人和儿童，分别取值为 60 和 30 kg。

表 3 Pb 暴露量的计算结果

Tab. 3 The results of lead exposure from aquatic products intake

$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

水产品膳食量水平/g intake level		$I_1 = 60$	$I_2 = 45$	$I_3 = 30$	$I_4 = 200$
成年组 adult	暴露量 exposure	0.33 ± 0.1	0.25 ± 0.08	0.16 ± 0.05	1.1 ± 0.3
	暂定每周耐受摄入量 PTWI	2.3 ± 0.7	1.8 ± 0.6	1.1 ± 0.4	7.7 ± 2.1
儿童组 children	暴露量 exposure	0.66 ± 0.2	0.50 ± 0.15	0.33 ± 0.1	2.2 ± 0.7
	暂定每周耐受摄入量 PTWI	4.6 ± 1.4	3.5 ± 1.0	2.3 ± 0.7	15.4 ± 4.9

2.2.3 风险描述 Pb 的安全摄入量值是以暂定每周耐受摄入量（PTWI）表示。PTWI 的计算公式为： $PTWI = TDI \times 7$ 。其中 TDI 为每日耐受摄入量。根据大亚湾海域水产品中 Pb 的含量，以每日膳食暴露量代替 TDI 计算出的 PTWI 值见表 3。世界卫生组织/世界粮农组织的食品添加剂联合专家委员会（JECFA）推荐的 Pb 的 PTWI 值是 $25 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} - Bw^{[18-21]}$ 。与该数值相比，在假定的每日最大水产品膳食量情况下，Pb 在体内的暴露量低于 JECFA 的推荐值，通过水产品膳食摄入的 Pb 的量处于安全范围。

3 小结

大亚湾海域生物体 Pb 的含量服从正态分布，平均值为 $(0.33 \pm 0.10) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。受生物的生活环境影响，甲壳类生物样品中 Pb 的含量明显高于

鱼类和头足类样品。与无公害水产品质量限量标准相比，大亚湾海洋生物体 Pb 的含量低于限量标准值。

大亚湾海洋生物体中的 Pb 通过膳食进入体内，其暴露量主要与水产品的膳食量有关，膳食量高则 Pb 的暴露量高。成年人 Pb 的暴露量高于儿童。与 JECFA 推荐的 Pb 暂定每周耐受摄入量相比，在假定的每日最高水产品膳食量水平下，Pb 的暴露量处于安全范围。

参考文献：

- [1] 王增焕, 林钦, 王许诺, 等. 大亚湾经济类海洋生物体的重金属含量分析 [J]. 南方水产, 2009, 5 (1): 23~28.
- [2] 世界卫生组织/联合国粮食及农业组织. 食品安全风险分析 – 国家食品安全管理机构应用指南 [M] //樊永祥. 北京: 人民卫生出版社, 2006: 30~33.
- [3] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB

- 2762-2005 食品中污染物质限量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 1 - 2.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局. 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: 1 - 3.
- [5] 崔毅, 陈碧鹃, 宋云利. 胶州湾海水海洋生物体中重金属含量的研究 [J]. 应用生态学报, 1997, 8 (6): 650 - 654.
- [6] 崔毅, 宋云利, 陈碧鹃. 河北黄骅沿海海洋生物体中重金属残留量及评价 [J]. 海洋水产研究, 2000, 21 (2): 55 - 60.
- [7] 王增焕, 李纯厚, 林钦, 等. 珠江口经济动物体内铜铅锌镉的含量 [J]. 湛江海洋大学学报, 2003, 23 (3): 33 - 38.
- [8] 黄长江, 赵珍. 湛江港海域海产品中重金属残留及评价 [J]. 汕头大学学报, 2007, 22 (1): 30 - 36.
- [9] 广东省海岛资源综合调查大队, 广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 大亚湾海岛资源综合调查报告 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1993: 150 - 169.
- [10] 王红梅, 于云江, 赵秀阁, 等. 铅神经毒性的分子生物学研究回顾与展望 [J]. 现代预防医学, 2007, 34 (20): 3856 - 3857.
- [11] 刘慧, 李英娥, 隋桂英, 等. 儿童铅中毒的研究进展 [J]. 济宁医学院学报, 2003, 26 (1): 70 - 72.
- [12] 杜林, 黄鸿志, 王雅茜. 铅中毒及其防治研究进展 [J]. 广东微量元素科学, 2001, 8 (5): 9 - 18.
- [13] 段晓玲, 李玉珍, 魏青杨. 儿童铅中毒研究进展 [J]. 中国热带医学, 2005, 5 (3): 645 - 646.
- [14] 王丽. 儿童铅中毒 [J]. 中国当代儿科杂志, 2007, 9 (5): 514 - 516.
- [15] 戚其平, 杨艳伟, 姚孝元, 等. 中国城市儿童血铅水平调查 [J]. 中华流行病学杂志, 2002, 23 (2): 162 - 166.
- [16] 阮迪云. 铅对儿童学习记忆的影响及其细胞和分子机理 [J]. 中国药理学与毒理学杂志, 1997, 11 (2): 97 - 98.
- [17] 孟祥周, 余莉萍, 郭英, 等. 滴滴涕类农药在广东省鱼类中的残留及人体暴露水平初步评价 [J]. 生态毒理学报, 2006, 1 (2): 116 - 122.
- [18] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. Geneva: WHO, 1993: 32 - 35.
- [19] 刘潇威, 何英, 赵玉杰, 等. 农产品中重金属风险评估的研究与进展 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (1): 15 - 18.
- [20] 陈同斌, 宋波, 郑袁明, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜铅含量及其健康风险评估 [J]. 中国农业科学, 2006, 39 (8): 1589 - 1597.
- [21] 王远征, 朱永官, 黄益宗. 灵芝中重金属的检测及其健康风险初步评价 [J]. 生态毒理学报, 2006, 1 (4): 316 - 322.