

厦门中华白海豚体内微量元素的初步分析

陈炳耀 顾舒荣 翟飞飞 徐信荣 杨光*

(南京师范大学生命科学学院 江苏省生物多样性与生物技术重点实验室 南京 210097)

摘要: 对 5 头中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 9 种器官组织中的 Cu、Zn、Cd、Pb、Hg、Ni、Se、As、Mg、Mn、Al 等微量元素的含量进行了测定。结果表明, 在少年个体中, Cu ($P < 0.05$) 和 Mn ($P < 0.01$) 在肝中的含量及 Zn 在肝 ($P < 0.01$)、肠 ($P < 0.05$)、胃 ($P < 0.05$) 和心 ($P < 0.05$) 中的含量明显高于肌肉中相应微量元素的含量, 其余微量元素在各种组织中变化不大; 在成年个体中, Pb 在肺中的含量明显高于肝 ($P < 0.001$)、肌肉 ($P < 0.01$)、胃 ($P < 0.01$) 和心 ($P < 0.05$) 中的含量, Hg 在肝中的含量明显高于胰 ($P < 0.05$)。整体上来说, 大多数微量元素在成体中的含量高于少年个体, 表明微量元素是随年龄的增长而逐渐累积的。有毒重金属如 Hg、Cd 和 Pb 在肾、肝以及卵巢中累积较多, 提示这些器官承受了较大的毒性压力。

关键词: 中华白海豚 微量元素 保护

中图分类号: Q953 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2007)03-102-04

A Preliminary Analysis on Heavy Metal Concentrations in the Chinese White Dolphins in Xiamen

CHEN Bing-Yao GU Shu-Rong ZHAI Fei-Fei XU Xin-Rong YANG Guang*

(*Jiangsu Key Laboratory for Biodiversity and Biotechnology, College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China*)

Abstract: The concentrations of some trace elements, such as Cu, Zn, Cd, Pb, Hg, Ni, Se, As, Mg, Mn and Al, in nine tissues from five Chinese White Dolphins (*Sousa chinensis*) collected from Xiamen waters were measured. The results showed the concentrations of Cu ($P < 0.05$) and Mn ($P < 0.01$) in liver, and Zn in liver ($P < 0.01$), intestine ($P < 0.05$), stomach ($P < 0.05$) and heart ($P < 0.05$) in juvenile individuals were significantly higher than those in muscle, while no significant variation of other trace elements was observed in different tissues. In adult individuals, concentration of Pb in lung was significantly higher than that in liver ($P < 0.001$), muscle ($P < 0.01$), stomach ($P < 0.01$) and heart ($P < 0.05$), and concentration of Hg in liver was higher than that in pancreas ($P < 0.05$); however, no significant variation of other trace elements was found. Overall, concentrations of most trace elements in adults were higher than those in juvenile, suggesting that the trace elements were accumulated with age increase. The concentrations of some toxic heavy metals such as Hg, Pb and Cd, were mainly accumulated in liver, kidney and ovary.

Key words: Chinese White Dolphin; Trace element; Conservation

中华白海豚 (*Sousa chinensis*), 又名印太驼海豚 (英文名: Indo-Pacific Humpback Dolphin 或 Chinese White Dolphin), 属鲸目 (Cetacea) 齿鲸亚目 (Odontoceti) 海豚科 (Delphinidae) 白海豚属 (*Sousa*)。在 1988 年颁布的《中华人民共和国野生动物保护法》中, 该物种被列为国家一级保护动物。被濒危野生动植物国际贸易公约

基金项目 国家自然科学基金 (No. 30470254), 国家“211”工程“十五”建设项目, 江苏省“青蓝工程”新世纪学科带头人科研基金, 厦门海洋与渔业局及广西合浦儒艮国家级自然保护区委托项目资助;

* 通讯作者, E-mail: jyang@njnu.edu.cn;

第一作者介绍 陈炳耀, 男, 博士研究生; 主要从事脊椎动物生态学和保护生物学研究, E-mail: chby2632@163.com.

收稿日期: 2006-09-30, 修回日期: 2007-03-22

(the Conservation on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES)列入 2006 版的附录 I 中,严格禁止有关该物种的贸易活动。该物种在 2006 版的世界自然保护联盟(the World Conservation Union, IUCN)濒危物种红色名录中被列为数据缺乏(Data Deficient)物种。

近年来,在中华白海豚的分布区,环境污染已经成为野生种群的主要威胁之一^[1],部分微量元素已经被认为是影响中华白海豚健康的潜在因素^[1-3],目前在香港和北海已经开展了一些研究^[1-4]。Parsons 对香港海域搁浅的 11 头中华白海豚进行测定,发现微量元素含量稍低于世界其他地区豚类,并推断 As、Cd、Pb、Mo 和 Ni 被白海豚排出,而汞对白海豚构成了潜在的威胁^[2]。Jefferson 对香港搁浅的 13 头中华白海豚体内微量元素进行了测定,认为 Hg、Cd 和其他有毒重金属在白海豚体内的累积较高,综合其他因素足以对白海豚的健康造成威胁^[3]。Hung 等通过对风险商(risk quotient)的计算认为,大多数微量元素通过鱼类被摄入不会对白海豚的健康构成威胁,但是 Cd、As 和 Hg 的摄入对白海豚健康的影响风险比较高^[1]。邓超冰等测定了一头捕自北海海域的中华白海豚体内微量元素含量,各组织中 Ca、Pb、Cd、Zn 和 Hg 含量水平相差悬殊,Zn 的含量较高^[4]。

在厦门,随着沿岸经济的发展,大量微量元

素被排放到该海域,据中国海洋局发布的信息,2003 年九龙江入海污染物总量约为 1.77×10^5 t,其中重金属达 283.2 t,陆源排污总量 1.41×10^9 m³,其中 Hg、Cd、Cr、Pb、As 分别为 0.12、1.07、2.71、7.56 和 11.2 t。2003 年 7 月对厦门珍稀海洋动物国家级自然保护区的水质、浮游动物、浮游植物、底栖生物及沉积物质量的监测结果表明,溶解氧、无机氮、活性磷酸盐和微量元素(Pb、Hg、Cu、Zn)均有不同程度的超标。目前,对食物链顶端的中华白海豚体内微量元素含量的研究不多,仅仅黄宗国等测定了 1997 ~ 1998 年间 3 头成体和 5 头幼体 19 个样品中 Cu、Pb、Zn、Cd 和 Hg 的含量^[5]。显然,上述研究是远远不够的,还不能充分说明目前厦门地区中华白海豚种群的微量元素压力状况,非常有必要开展更多更深入的研究。

本文测定了 5 头近几年在厦门水域死亡的中华白海豚个体不同组织、器官中 Cu、Zn、Cd、Pb、Hg、Ni、Se、As、Mg、Mn、Al 的含量,提供了该种群个体组织中微量元素含量的最新资料,分析了微量元素随年龄累积的规律。

1 材料与方法

共分析了 5 头中华白海豚死亡个体(2 头少年个体,3 头成年个体)9 种组织器官的 25 个样品(表 1)。这些样品均来自于厦门水域,采集时间为 2002 ~ 2004 年。

表 1 用于微量元素含量测定的中华白海豚样品

Table 1 Samples of Chinese White Dolphins used for analysis of trace elements

样品编号 Sample No.	年龄段 Age	性别 Sex	肾 Kidney	肌肉 Muscle	肝 Liver	胃 Stomach	肺 Lung	心 Heart	肠 Intestines	胰 Pancreas	卵巢 Ovary
0472	少年 Juvenile	♀	✓	✓							
0474	成年 Adult	—	✓	✓	✓	✓		✓		✓	
0503	成年 Adult	♀		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
0504	少年 Juvenile	♂	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
0505	成年 Adult	—		✓	✓			✓			

“—”表示无法辨认性别 Unidentifiable

1.1 样品处理 应用微波高压消解法(内置聚四氟乙烯高压罐)消解样品。取各种器官组织样品 1.01 ~ 1.81 g 不等,烘干、称量。将烘干的

样品及贻贝对照样品放入聚四氟乙烯高压罐中,加入 7 ml 工艺超纯硝酸和 3 ml 高氯酸。放置到微波炉中高压消解,直到溶液澄清透明为

止。冷却后 加去离子水定容至 25 ml 待测。

1.2 微量元素含量测量 As、Se 和 Hg 用 AF-610A 原子荧光光度计测定。Cu、Zn、Pb、Al、Ni、Mg 和 Mn 用 IRIS Intrepid II 型全谱直读等离子发射光谱仪测定(ICP)。Cd 用石墨炉原子吸收分光光度计 AVANTA GBC GF 3000(附自动取样器 GBC 932AA)测定。

2 结 果

中华白海豚各种组织的含水百分率分别为 肾 :77% ± 5% ;肌肉 :71% ± 5% ;胃 81% ± 2% ;肝 :75% ± 7% ;胰 :78% ;心 :81% ± 6% ;肠 81% ± 1% ;肺 :77% ± 0% ;卵巢 :70%。体内各种微量元素的含量如表 2 所示。在少年个体中 ,Hg、Cu、Mn 和 Zn 在肝中的含量最高 ,Se、Cd 和 Pb 在肾中的含量最高 ,Mg 和 Ni 在肺中的含量最高 ,Al 在胃中的含量最高 ,As 在心中的含量最高。其中 ,Cu($P < 0.05$)和 Mn($P <$

0.01)在肝中的含量明显高于肌肉。Zn 在肝($P < 0.01$)、豚($P < 0.05$)、胃($P < 0.05$)和心($P < 0.05$)中的含量显著高于肌肉。Se、Cd、As、Hg、Al、Mg、Pb、Ni 在各种组织中的含量均相差不大 没有达到显著差异水平(t -检验 , P 值均大于 0.05)。

在成年个体中 ,Se、Hg、Mg 和 Mn 在肝中最高 ,Cd 在肾中最高 ,As 在肠中最高 ,Al 和 Pb 在肺中最高 ,Cu、Ni 和 Zn 在心中最高。其中 ,Pb 在肺中的含量与肝($P < 0.001$)、肌肉($P < 0.01$)、胃($P < 0.01$)和心($P < 0.05$)中的含量有显著性差异。Hg 在肝中的含量明显高于胰($P < 0.05$)。Ni 和 Cu 分别在肝和心中含量最高 ,虽然没有达到统计分析上的显著性水平 ,但明显高于其他组织。Zn、Cd、Se、As、Mg、Mn、Al 在各种组织中的含量没有显著性变化(t -检验 , P 值均大于 0.05)。

表 2 厦门中华白海豚少年和成年个体微量元素的平均含量($\mu\text{g/g}$ 干样)

Table 2 The mean heavy metal concentrations in different tissues of juvenile and adult Chinese White Dolphins from Xiamen($\mu\text{g/g}$ dry wt)

年龄段 Age	组织 Tissue	Se	Cd	As	Hg	Al	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
少年 Juveniles	肝 Liver	4.44	0.18	0.25	6.24	3.42	40.85	1 000.69	10.26	0.01	1.41	373.59
	肾 Kidney	7.125	0.64	0.33	3.65	1.66	23.795	984.015	3.685	0.085	1.995	144.43
	肌肉 Muscle	1.905	0.33	0.54	2.23	0.55	3.955	1 010.84	0.37	0.32	1.055	53.465
	肠 Intestines	3.72	0.55	0.51	3.05	0.75	6.04	773.95	1.42	0.16	0.8	138.87
	肺 Lung	4.06	0.1	0.58	2.13	2.92	4.61	1 232.23	2.05	0.34	1.26	92.02
	胃 Stomach	4.62	0.22	0.59	1.85	4.73	21.88	1 496.64	3.2	0.06	1.51	149.12
心 Heart	3.41	0.16	0.76	0.94	2.31	10.81	635.03	1	0.09	1.23	115.6	
成年 Adults	肝 Liver	11.83	2.08	0.55	93.55	5.04	11.28	1 023.08	4.973	0.033	2.26	135.13
	肾 Kidney	9.73	5.84	0.32	38.73	8.71	14.63	654.56	3.01	0.33	1.52	91.76
	肌肉 Muscle	1.987	0.11	0.85	14.177	5.793	4.477	860.253	0.55	0.563	1.027	68.91
	肠 Intestines	6.38	0.55	0.99	20.19	2.33	5.94	783.47	1.32	0.3	1.07	121.46
	肺 Lung	10.31	0.3	0.17	10.91	14.18	3.71	312.02	1.46	0.23	16.85	125.42
	胃 Stomach	6.375	2.45	0.64	12.235	6.405	8.78	658.605	2.53	0.65	1.51	93.77
	心 Heart	5.72	0.83	0.78	12.38	7.743	52.723	802.103	1.437	5.183	4.113	144.00
	胰 Pancreas	5.77	1.27	0.63	3.67	5.44	7.18	858.22	4.51	0.19	0.79	152.8
卵巢 Ovary	5.89	1.37	0.12	27.34	9.14	4.78	597.83	1.85	0.24	8.99	109.96	

整体上来说 ,大多数微量元素在成体中的含量高于少年个体 ,部分微量元素达到显著水平 ,如肾中的 Cd($P < 0.05$)、Hg($P < 0.05$)、肝中的 Cu($P < 0.01$)、Zn($P < 0.01$)、Cd($P =$

0.05)、Mn($P < 0.05$)和 Hg($P < 0.05$)。虽然由于样本少的原因没有进行 t -检验 ,但是成年个体肺中的 Pb、Al 含量和心中的 Ni 含量明显高于少年个体。

3 讨 论

3.1 组织中微量元素含量的变动范围 在本研究中,不同个体同种组织内的微量元素含量变动较大,如 Hg 在肝中含量为 6.24 ~ 135.1 $\mu\text{g/g}$ 相差超过 20 倍。这种情况在以往中华白海豚的研究中也得到了证实。如黄宗国等^[5]对厦门中华白海豚肝中 Hg 含量的测定结果发现,最低含量为 1.65 $\mu\text{g/g}$,最高达 272 $\mu\text{g/g}$ 。香港水域中华白海豚肝中的 Hg 含量最低为未检测出来,最高达 906 $\mu\text{g/g}$ ^[2]。Jefferson 也对香港中华白海豚体内微量元素进行了测量,结果表明肝中 Hg 含量范围为 0.01 ~ 630 $\mu\text{g/g}$ ^[3]。另外,其他水生哺乳动物体内 Hg 含量的变动范围也较大,如张淮城等测定江豚肝中 Hg 含量,变动范围为 0.23 ~ 345.93 $\mu\text{g/g}$ ^[6]。

3.2 微量元素在不同组织的分布及潜在威胁 无论是少年个体还是成年个体,均有部分种类微量元素分布不均衡,如少年和成年肝中的 Cu。这种不均衡性可能与组织本身的功能有关,功能的不同对金属离子的要求可能会有所不同。

然而,无论少年还是成年个体,有毒重金属(Hg、Cd 和 Pb)在肾和肝中累积均较多,如 Hg 和 Cd 在肾及肝中均最多,Pb 在少年个体的肾中最高,表明这些有毒重金属对肾和肝的威胁可能更大。值得一提的是,卵巢中 Hg 和 Pb 的含量较高,是否会对后代产生影响,需要进一步研究。

3.3 累积规律 如结果中所述,大多数微量元素在成体中高于少年个体,部分微量元素达到了显著水平。另外,经过对比黄宗国等^[5]测定的幼仔体内微量元素含量,本文少年个体肌肉中的 Cu、Cd、Hg 和 Pb,肝中 Cu、Zn 和 Hg,肠中的 Cd 和 Hg,肾中的 Cu、Zn、Cd 和 Hg 均高于幼仔相应组织中的含量,肝中的 Zn ($P < 0.05$) 和肠中的 Cd ($P < 0.01$) 达到了显著水平。以上表明,大多数微量元素,特别是 Hg 和 Cd 在不同年龄段个体中的含量呈如下规律:成体 > 少年

> 幼仔,即随年龄的增长逐步累积。

3.4 与以往研究比较 经比较,本文成体肝中 Cd 的含量明显高于黄宗国等^[5]的结果 ($P < 0.05$),同时,肌肉中的 Cd 和 Hg 含量也有所上升。但是,肝中的 Cu、Zn 和 Hg 含量显著低于黄宗国等的研究结果^[5](均为 $P < 0.05$)。以上结果一方面可能是取样较少造成的,另一方面,微量元素在组织中的含量非常微弱,不同的测定方法会造成结果的偏差。

3.5 与其他海域比较 由于在香港的研究中没有说明取样个体的年龄^[2,3],所以本文未与其进行比较。在北海海域,邓超冰等^[4]测定的个体体长 1.925 m,体重 45 kg,与本文测量的 0472 和 0504 号个体相差不大,同时,根据以往记录及 Jefferson 建立的体长与年龄关系模型^[3],我们认为该个体应属少年个体,但体重似乎偏轻。北海个体肝、肺、肾和胃中的 Hg 及 Cd 的含量均高于本研究中的少年个体,尤其是肝中的 Hg 含量达到 239 $\mu\text{g/g}$,而厦门个体仅为 6.24 $\mu\text{g/g}$ 和 0.95 $\mu\text{g/g}$ ^[5],差异的原因还有待于进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] Hung C L H, So M K, Connell D W, et al. A preliminary risk assessment of trace elements accumulated in fish to the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in the Northwestern waters of Hong Kong. *Chemosphere*, 2004, **56**: 643 ~ 651.
- [2] Parsons E C M. Trace metal pollution in Hong Kong: Implications for the health of Hong Kong's Indo-Pacific humpbacked dolphins (*Sousa chinensis*). *Sci Total Environ*, 1998, **214**: 175 ~ 184.
- [3] Jefferson T A. Population biology of the Indo-Pacific humpbacked dolphin in Hong Kong waters. *Wildlife Monogr*, 2000, **144**: 1 ~ 65.
- [4] 邓超冰, 廉雪琼. 北海海域中华白海豚体内重金属含量. *海洋环境科学*, 2003, **22**(2): 53 ~ 55.
- [5] 黄宗国, 刘文华, 廖文卓. 厦门中华白海豚的重金属含量. *海洋环境科学*, 1999, **18**(2): 9 ~ 12.
- [6] 张淮城, 周开亚, 周荣等. 渤海江豚体内汞的初步研究. *海洋环境科学*, 1995, **14**(2): 33 ~ 38.