

厦门海域两头中华白海豚体内微量元素的积累

边学森^{1,2} 冉春丽^{1,2} 贡小清³ 虞锐鹏³ 刘洪波¹ 杨 健¹

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心,
中国水产科学研究院内陆渔业环境与资源重点开放实验室, 无锡 214081; 3. 江南大学分析测试中心, 无锡 214036)

摘要:对 2004 年 4 月在厦门海域搁浅死亡的两头中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 进行了肝脏、胰、胃、肾、肠、肺、肌肉、心脏等多组织微量元素锌 (Zn)、铜 (Cu)、汞 (Hg)、铅 (Pb)、镉 (Cd) 和砷 (As) 浓度的测定。两豚各组织总体上必需元素 Zn、Cu 浓度高于有毒元素 Hg、Pb、Cd 和 As。XM20040430 体内特别高的 Zn、Hg、Pb、Cd 浓度分别出现于皮肤 (500 μ g/g 干重)、肝脏 (255 μ g/g 干重)、肺 (13.0 μ g/g 干重) 和肾 (2.82 μ g/g 干重) 中, 而 Cu 和 As 在各组织中的浓度较为相似。XM20040429 体内仅肝脏中 Zn (448 μ g/g 干重) 和 Cu (52.0 μ g/g 干重) 的浓度远高于其他组织。虽然两海豚微量元素的总积累多低于急性毒性水平, 但有毒元素 Hg、Pb、Cd、As 的明显检出和 XM20040429 肝脏中异常高的 Zn 浓度均显示出进一步研究微量元素慢性胁迫效应的必要性。结果还显示厦门港海域近年来 Hg、Cd、Pb 污染未见减轻, As 也明显检出, 必须引起高度重视。今后有关水生哺乳动物中 As 积累的研究也有待加强。

关键词:厦门海域; 中华白海豚; 积累; 锌; 铜; 铅; 镉; 砷; 汞

中图分类号: Q958.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2007)03-0312-07

中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 隶属于鲸目、海豚科, 主要分布于印度洋及太平洋西岸沿岸。中华白海豚是我国一级保护的水生哺乳动物, 具有很高的科学研究价值^[1]。香港及其周边的珠江口海域和厦门海域是我国中华白海豚的主要分布区。由于人类活动的伤害、生境缩小、水质恶化等威胁^[2], 中华白海豚在前者海域中的数量已仅为 1000 头^[3]; 而在厦门海域中的个体数更少至 60 头左右, 主要分布于厦门西港和同安湾口内两侧沿岸^[4]。

鲸类动物位于食物链的最顶级, 水环境中的持续性污染物 (如毒性元素等) 很容易在体内富集^[3,5-9], 并能导致免疫力下降等毒性作用^[10], 使个体更易受到人类活动的直接伤害。迄今, 中华白海豚体内的微量元素的积累已经有一些研究。邓超冰等^[11]研究发现北海海域一头约 15 岁的中华白海豚, 其体内汞 (Hg)、镉 (Cd)、铜 (Cu) 和铅 (Pb) 的累积均高于同一海域的鱼类, 富集系数前者分别为后者的 260、160、13.6、1.2 倍。黄宗国等亦发现可能死于衰老和疾病^[12]的 3 头厦门海域的中华白海豚成体, 肌肉中 Cu、锌 (Zn)、Pb、Cd 等微量元素超过鱼体

的 6.8 倍以上, 而 Hg 超过 86 倍^[5]。2004 年 4—5 月厦门港海域搁浅了 2 头死亡的中华白海豚。解剖发现其直接死因为水下爆破作业产生的冲击波。为了解其微量元素的营养状况或胁迫情况, 本研究对这两头个体体内必需元素 Cu、Zn 和有毒元素 Hg、Cd、Pb、砷 (As) 的浓度进行测定, 以期确切了解相关元素的积累特点, 并分析其对身体状况可能产生的影响。

1 材料与方法

两头中华白海豚于 2004 年 4 月 29 日 (编号 XM20040429, 雌性, 体重 86kg, 体长 1.88m, 2—3 岁) 和 30 日 (编号 XM20040430, 雌性, 体重 204kg, 体长, 2.45m, 4—5 岁) 在厦门港附近水域发现。分别收集 XM20040430 的胰、胃、肌肉、肝脏、肾、心脏、肠、脑、皮肤 10 种组织和 XM20040429 的肌肉、肝脏、心脏、胃、肠、肾、肺、胰 8 种组织取样用于本研究。所有标本在 -20℃ 冰箱中保存至元素分析。

将标本放于 80℃ 干燥箱中干燥 12h 至恒重。计算出的各组织标本中的含水量 (表 1), 可用于对本

收稿日期: 2005-05-08; 修订日期: 2006-10-28

基金项目: 中国水产科学研究院首席科学家资助金项目 (1-105011); 中国科学院水生生物研究所留学归国人员资助金项目 (020102)

作者简介: 边学森 (1981—), 男, 山东烟台人; 在读硕士生; 主要从事渔业水域环境的监测及其保护方面研究。E-mail: woshjc@163.com

通讯作者: 杨健, E-mail: jiany@ffrc.cn

研究结果的干湿重浓度换算。干样放入研钵中研磨 均一化后,置于干燥器保存。

表 1 两头海豚不同组织的含水率(%)
Tab.1 Moisture contents in various tissues of the two dolphins

	胰 Pancreas	胃 Stomach	肌肉 Muscle	肝脏 Liver	肾 Kidney	肺 Lung	心脏 Heart	肠 Intestine	脑 Brain	皮肤 Skin
XM20040430	81.4	78.9	74.4	70.8	77.1	78.1	76.2	78.5	64.7	58.9
XM20040429	74.4	79.2	71.7	74.2	81.2	81.7	74.4	83.5	/	/

精称 0.1g 各组织干样,放入酸洗过的特氟纶 (Teflon) 分解容器中 (日本 SANAI 公司) 加入 1.5mL 高纯 HNO₃ (国药集团化学试剂有限公司),并在室温下预酸解至少 6h。用微波炉低火 (120W) 消解 3 次,每次 7min,再用 Milli-Q 超纯水定容至 25mL,用于 Zn、Cu、Pb、Cd 的测定。Hg 的测定采用 HNO₃/H₂SO₄ 密闭回流法消解样本:精称 0.1g 样,加 5mL 浓 HNO₃ 和 1mL 浓 H₂SO₄ 于锥形瓶中,密闭回流加热消解 3h, Milli-Q 超纯水定容到至 25mL。As 的测定采用 HNO₃/HClO₄ 法消解样本:精称 0.1g 样,加 5mL 浓 HNO₃ 和 1mL 浓 HClO₄ 于高脚烧杯中,在可调温度电炉上加热消解完全, Milli-Q 超纯水定容至 25mL。

微量元素 Hg、As 用含有氢化物发生器 (MHS-20 型) 的 Perkin-Elmer 公司的 PE-3030 型火焰原子吸收光谱仪测定。Cu 和 Zn 用美国 Varian 公司的 SpectrAA-220 型火焰原子吸收光谱仪测定。Cd 和 Pb 用美国 Varian 公司的 SpectrAA-220Z 型石墨炉原子吸收光谱仪测定。各微量元素的回收率用国家一级贻贝样品 (GBW08571) 检测, Hg、As、Cu、Zn、Pb、Cd 的回收率均在 85 %—110 % 之间。

2 结果与讨论

2.1 两头海豚组织中各微量元素的积累

除 XM20040430 的肝脏外,两豚各组织中必需元素 Zn 处于最高浓度,必需元素 Cu 浓度也较高,可

能与生理和代谢的需要有关。必需元素 Zn 在动物体内参与维持许多酶的正常结构和功能,并广泛地参与核酸和蛋白质的代谢,葡萄糖的利用,对激素的产生、储存和分泌、摄食、保证免疫系统的完整性以及繁殖、视觉等均有重要作用;而铁 (Fe) 的吸收、运动的协调性和维持哺乳动物正常的免疫力则离不开 Cu 的参与^[10]。Law 等^[13]曾认为海洋哺乳动物对体内的 Zn、Cu 元素有一种调节机制。当其在肝脏中浓度在一定范围 (分别约为湿重浓度 20—100μg/g、3—30μg/g) 时这种调控处于激活状态,而当超出这一范围时,其调控机制可能已经受损。本研究 (表 2, 表 3) XM20040430 肝脏 Zn、Cu 浓度和 XM20040429 肝脏 Cu 浓度 (均换算为湿重浓度) 分别为 50.6、3.49、13.4μg/g,处于其范围内;但后者肝脏中 Zn 浓度 (116μg/g) 略有超出,可能显示出一种异常的积累,对肝脏的影响有待进一步确定。

XM20040429 肝脏中 Zn、Cu 浓度要高于 XM20040430。Parsons (1999) 报道过江豚 (*Neophocaena phocaenoides*) 肝脏中 Cu 浓度与体长的负相关^[7], Beck 等发现瓶鼻海豚 (*Tursiops truncatus*) 幼体肝脏 Cu 的浓度显著地高于成体^[14]。Honda 等^[15]亦发现条纹原海豚 (*Stenella coeruleoalba*) 肝脏 Cu 和 Zn 的浓度在出生时最高,在 1 岁前快速下降,其后则基本趋于稳定。因此,本研究两海豚肝脏中 Zn 和 Cu 浓度的差异可能来自于不同年龄。

表 2 XM20040430 体内微量元素含量(μg/g 干重)
Tab.2 Trace element contents in various tissues of dolphin XM20040430 (μg/g dry weight)

	肌肉 Muscle	肝脏 Liver	心脏 Heart	胃 Stomach	肠 Intestine	肾 Kidney	肺 Lung	胰 Pancreas	脑 Brain	皮肤 Skin
Zn	75.1	173	118	74.7	101	87.2	54.9	95.0	31.6	500
Cu	3.48	11.9	13.9	8.28	9.80	12.3	8.04	5.72	13.3	1.93
Pb	1.58	8.19	1.76	1.72	5.72	6.66	13.0	0.31	1.86	1.46
Hg	8.25	255	5.18	4.09	2.60	26.9	4.54	42.3	13.8	6.08
Cd	0.03	0.44	0.10	0.06	0.39	2.82	1.42	0.04	0.05	0.05
As	1.06	1.03	1.15	0.51	2.13	0.77	0.82	0.86	1.19	1.08

表 3 XM20040429 体内微量元素含量(μg/ g 干重)

Tab. 3 Trace element contents in various tissues of dolphin XM20040429 (μg/ g dry weight)

	肌肉 Muscle	肝脏 Liver	心脏 Heart	胃 Stomach	肠 Intestine	肾 Kidney	肺 Lung	胰 Pancreas
Zn	50. 0	448	68. 8	101	127	107	83. 8	126
Cu	4. 28	52. 0	6. 49	21. 8	7. 87	21. 7	12. 3	6. 76
Pb	2. 21	3. 23	1. 02	1. 42	4. 21	1. 11	4. 51	0. 66
Hg	0. 57	0. 84	0. 39	0. 57	0. 42	0. 66	0. 14	0. 20
Cd	0. 08	0. 06	0. 03	0. 05	0. 09	0. 09	0. 04	0. 03
As	1. 44	0. 52	2. 33	2. 82	3. 33	1. 34	1. 0	0. 89

XM20040430 皮肤 Zn 的水平极高。这和其他海豚的研究结果相一致,可能与鲸豚类皮肤对紫外线的防护机制有关^[16]。

迄今有关豚类动物体内有毒元素积累方面 Hg 的研究较为多见。这是由于 Hg 的剧毒性和其随食物链的累积性^[4,17],可引起神经损害^[10]。本研究(表 2,表 3)中两豚的肝脏中 Hg 的积累浓度均最高。Hg 浓度在肝脏、肌肉^[15,18,19]和肾^[15,19]中会随年龄的增加而增加,本研究年龄较小的 XM20040429 所有测定的组织,Hg 浓度均低于 XM20040430。而 XM20040430 的肝脏、肾脏等组织器官中的 Hg 浓度要高于必需元素 Cu,在肝脏中甚至还超过了 Zn。肝脏是海豚机体 Hg 的主要累积部位^[5,6,8,9,18,20,21],亦为体内 Hg 的主要解毒场所。海豚肝脏中的 Hg 以有机和无机两种形态存在,其中毒性最大的是有机态的甲基 Hg。然而,虽然成年海豚肝脏中总 Hg 的含量可以很高,但甲基 Hg 可以仅占总 Hg 含量的不到 10%,且总 Hg 越高,甲基汞所占百分数就可能越低^[9]。鲸豚类动物积累的 Hg 主要来自食物^[9],而在其主要食物鱼类体内总 Hg 却主要以有机汞的形式存在^[8]。这反映出豚类肝脏中可能存在一个脱甲基过程,甲基汞超过一阈值时该过程即被激活^[22]。该生物过程与 Se 元素有关,豚类动物肝脏中的 Se 与无机的 Hg 可以摩尔浓度 1:1 的形式积累^[8,20],进而形成一种毒性小且不可溶的化合物 HgSe。然而,鲸类动物肝脏 Hg 的耐受限在 100—400μg/ g 湿重浓度^[23]。本研究中两头海豚肝脏积累的 Hg(湿重浓度分别为 74. 54μg/ g、0. 22μg/ g) 低于该范围,急性 Hg 中毒的可能性不大。今后有必要开展中华白海豚体内 Hg 的形态及与 Se 关系的研究,以确定其积累、生物形态转化和可能的解毒机制。

Cd 是另一种强毒性元素,可能引起肺水肿、肾损伤、卵巢萎缩、高血压、癌症、骨质软化等毒性效应^[10]。在鲸豚类动物体内 Cd 浓度可随年龄增长而

增高^[7,15]。本研究中,除肌肉外年龄较小的 XM20040429 各组织 Cd 元素含量均低于 XM20040430,可能与该豚从食物中获得的 Cd 相对较少有关。XM20040430 中 Cd 的累积体现了明显的组织器官倾向,肾中的浓度要高于其他组织。而 XM20040429 体内这种趋势不明显。Fujise 等^[24]认为当肾脏 Cd 超过 20μg/ g 湿重浓度时,可能引起其机能的损害。两头海豚均远低于此标准(湿重浓度分别为 0. 13μg/ g、0. 02μg/ g),急性 Cd 中毒的可能性亦不大。Cd 可与金属硫蛋白(metallothionein,MT)结合而抑制其毒性^[10],是一种重要的保护机制。这种机制是否在中华白海豚中存在,尚有待查明。

Pb 也是一种有毒元素,能导致肾功能不良、心脏功能障碍、免疫力下降、神经系统病变等^[10]。Parsons(1999)报道了江豚肝脏等组织中 Pb 含量随年龄而增加的关系^[7]。类似的趋势也曾在条纹原海豚中发现^[15]。本研究中除肌肉、胰外,年龄较小的 XM20040429 所有组织 Pb 浓度均低于 XM20040430。这亦可能与年龄差异有关。Pb 在 XM20040429 中以肺和肠,在 XM20040430 中以肺含量最高。某些鲸类中发现 Pb 主要累积于骨骼^[17,25]。今后将尽力收集研究水域中华白海豚的骨骼标本以测定 Pb 含量。这将对研究中华白海豚 Pb 的累积特点和评价该水域的 Pb 污染水平具有重要意义。

As 的毒性很大,能引起神经错乱和惊厥等强胁迫效应^[10]。杨健等^[6]、Kubota 等^[26]分别报道过一头长江江豚和一头白胸拟鼠海豚中 As 含量最高的部位是肝脏。本研究中肠的 As 含量最高。Parsons^[7]研究了 As 在 11 头中华白海豚和 20 头江豚的肝脏、肾和膀胱三种组织中的分布情况,结果未发现明显的累积倾向。有关 As 积累的组织选择性仍有待深入。Kubota 等^[27]将包括中华白海豚在内的 16 种海洋哺乳类(226 个体)依据其食性分组,研究肝脏 As 浓度与食性的关系。结果显示,主食鱼的中华白海豚,其肝脏 As

的平均干重浓度为 1.86μg/g, 低于那些兼食头足类、甲壳类和鱼类(2.07μg/g 干重)以及兼食头足类和甲壳类的种类(3.17μg/g 干重)。本研究中 XM20040430(1.03μg/g 干重)和 XM20040429(0.52μg/g 干重)均处于较低的浓度范围, 支持上述研究结果。

2.2 与其他中华白海豚微量元素积累研究的比较

2.2.1 必需元素

表 4 所示的 19 头海豚中, HK2、HK4、HK5 肝脏 Zn 的浓度(分别为 7.17、18.6、17.5μg/g 湿重)和 HK2、HK4、HK7、HK9 肝脏的 Cu 浓度(分别为 0.28、2.32、

1.78、1.74μg/g 湿重)低于正常调节机制的范围^[13](均按 Yang 等^[28]提出的含水率标准折算为湿重浓度), 本研究中 XM20040429 肝脏 Zn 的浓度(116μg/g)则略有超出。综合迄今的研究结果(表 2—4)得到的中华白海豚各组织器官中 Zn 的浓度范围为: 肝脏, 70—275; 肾, 53—234; 心脏, 68—181; 肠, 101—276; 肺, 54—152; 皮肤, 7—500; 胃, 74—232; 肌肉, 50—198μg/g 干重。Cu 的浓度范围为: 肝脏, 9—52; 肾, 7—24; 心脏, 6.4—15.2; 肠, 6.3—31; 肺, 6—12.3; 皮肤, 0.08—2.25; 胃, 8—22; 肌肉, 1.7—20μg/g 干重。

表 4 文献中的中华白海豚组织或器官里与本研究相同微量元素的浓度(μg/g 干重)

个体 Individual	采样时间 Sampling time	采样地点 Sampling site	年龄 Age (y)	性别 Sex	体长 Body length (cm)	体重 Body weight (kg)	组织/器官 Organ/ tissue	微量元素 Trace element						文献 Reference
								Zn	Cu	Hg	Cd	Pb	As	
S2	1997	厦门海域	20	♂	237	230	肌肉	82.1	5.13	5.08	0.041	0.85	/	[5],[12]
S7	1997	厦门海域	30	♀	243	/	肌肉	80.1	19.6	8.08	0.069	1.69	/	[5],[12]
							皮肤	40.5	0.73	11.5	0.029	0.75	/	
S10	1998	厦门海域	9	♂	225	/	肌肉	107	4.94	4	0.039	1.1	/	[5],[12]
							肝脏(1)	275	30.9	272	0.11	1.72	/	
							肝脏(2)	259	27.3	257	0.1	1.72	/	
S3	1997	厦门海域	幼豚	♂	111	12.5	肌肉	198	3.68	/	0.074	0.68	/	[5],[12]
							肝脏	84.4	9.74	0.231	0.3	2.6	/	
S4	1997	厦门海域	幼豚	♀	113	17.4	肌肉	72.1	6.14	0.068	0.12	0.82	/	[5],[12]
							肝脏	96.5	/	1.65	0.13	1.07	/	
S8	1998	厦门海域	幼豚	♀	108	/	肌肉	50.7	2.46	0.295	0.02	0.55	/	[5],[12]
							皮肤	7.01	0.09	0.117	0.006	0.15	/	
							肠	110	6.36	0.242	0.042	2.3	/	
S9	1998	厦门海域	幼豚	♂	112	18	肌肉	56.7	1.72	0.54	0.013	0.82	/	[5],[12]
							肠	204	30.6	0.552	0.036	2.01	/	
							肾	92.7	19.6	0.558	0.02	2.69	/	
							心脏	111	15.2	0.558	0.04	1.09	/	
							肌肉	51.8	1.99	0.312	0.014	0.56	/	[5],[12]
BH	2001	北海海域	15	♀	192	45	心脏	181	13.6	7.01	1.1	0.72	/	[11]
							肺	152	6.02	6.12	1.65	0.85	/	
							肝脏	168	26	239	11.6	0.88	/	
							肾	178	13.4	18.2	29.1	0.93	/	
							胃	232	20.8	12.3	5.72	0.72	/	
							肠	276	8.06	1.73	4.32	2.64	/	
							肌肉	62.5	5.12	1.11	0.18	0.6	/	
							皮肤	232	2.25	4.23	0.12	0.92	/	
							肝脏	99.7	15.1	<0.89	<0.89	<0.89	<0.89	[7]
HK1	1994	香港海域	1	♂	144	/	肾	102	23.6	<0.9	0.91	<0.9	<0.9	

续表

个体 Individual	采样时间 Sampling time	采样地点 Sampling site	年龄 Age (y)	性别 Sex	体长 Body length (cm)	体重 Body weight (kg)	组织/器官 Organ/ tissue	微量元素 Trace element						文献 Reference
								Zn	Cu	Hg	Cd	Pb	As	
HK2	1995	香港海域	6	♂	205	/	肝脏	24.1	0.93	<0.9	<0.9	4.64	<0.9	[7]
							肾	234	9.55	<0.87	<0.87	<0.87	7.81	
HK3	1995	香港海域	2.5	♂	189	/	肝脏	243	23.6	<0.7	<0.7	8.59	2.15	[7]
							肾	121	14.6	<0.9	1.82	<0.9	5.47	
HK4	1993	香港海域	1	/	140	/	肝脏	62.5	7.81	<0.9	<0.9	1.74	<0.9	[7]
							肾	73.5	11.8	<0.8	2.53	4.22	5.07	
HK5	1994	香港海域	/	♂	>250	/	肝脏	58.8	30.6	906	23.2	6.62	0.83	[7]
							肾	75.4	11.6	35.8	84.1	0.97	6.77	
HK6	1994	香港海域	/	♂	211	/	肝脏	121	11.6	<0.36	<0.36	<0.36	<0.36	[7]
HK7	1995	香港海域	11	♂	247	/	肝脏	70.8	5.98	<0.9	<0.9	6.98	<0.9	[7]
							肾	53.4	7.03	<0.7	0.7	1.41	10.5	
HK8	1995	香港海域	14	♂	234	/	肝脏	78.3	14.1	<0.78	<0.78	3.13	9.39	[7]
							肾	59.8	9.85	<0.76	1.51	7.57	12.1	
HK9	1995	香港海域	<1	♂	101.5	/	肝脏	74.9	5.86	<0.65	<0.65	7.82	<0.65	[7]
HK10	1995	香港海域	17+	♀	255	/	肝脏	79.3	13.4	552	0.81	<0.8	12.9	[7]
							肾	64.6	10.1	<0.9	5.05	13.1	<0.9	

2.2.2 有毒元素

本研究结果(表2,表3)与表4所示的数据相比较,可获得一些中华白海豚有毒元素积累的时空变化特征。

Hg 从主要累积器官肝脏来看,4—5岁的XM20040430同黄宗国等^[5]从9岁个体得到的结果处于同一高度水平,而在肌肉中前者还略高于后者。这显示,近年来厦门海域的Hg污染并未比1998年的情况有所减轻。XM20040430肝脏Hg浓度亦高于北海^[11]的15岁个体。香港的10头海豚除年龄(体长)显然较大的HK5和HK10外,其余各海豚的肝脏Hg浓度均远低于4—5岁的XM20040430,而与2—3岁的XM20040429处于同一水平或比后者更低。这说明厦门海域近期Hg的污染仍需引起高度的重视。

Cd 从主要累积器官肾来看,北海海域个体远大于XM20040430,二者间浓度的差别可能源自年龄或不同环境;同香港海域相比,除HK5和HK10外,其他测定的个体均低于XM20040430,可能近期厦门海域Cd污染程度要大于20世纪90年代中期的香港海域。1997—1998年间大多数的个体缺乏肾积累的数据,其他各器官则难以比较:虽然在肝脏、肾、心脏、肠、皮肤中XM20040430要高于90年代厦门个

体,但后者测定的多为哺乳期幼仔;且S2、S3、S4、S7、S10的肌肉Cd含量还要高于前者,S3的肝脏浓度也高于XM20040429。

Pb 本研究两头海豚各组织的Pb含量均高于2001年的北海15岁个体,说明2001年北海海域Pb污染水平要低于近期厦门海域。1997—1998年间各海豚除肾脏中除S9高于XM20040429外,S7的肌肉和S9的心脏分别与XM20040430和XM20040429处于同一水平外,其他组织和器官含Pb量均低于本研究两头海豚,说明总体看来厦门海域的Pb污染亦有加重趋势。

As 迄今我国水生哺乳动物有毒元素As积累的研究资料很少,把握其动态变化特征较困难。与Parsons^[7]的研究比较可看出,除HK5的肝脏As含量低于XM20040430外,其他可检出As累积的香港海域个体,肝脏、肾中As含量均高于本研究的两头个体。另外,本研究个体中肠的As的累积也较明显,由于目前缺乏文献资料相比较,其生物学意义及与饵料生物之间的关系尚有待研究。

本研究显示出厦门海域Hg、Cd、Pb三种有毒元素的污染均未见减轻,As也明显检出,说明相关污染源仍存在。为遏制污染程度的进一步加深,保护诸如中华白海豚一样的珍稀动物和该水域的渔业资

源,今后有必要加强对该水域微量元素污染的监测和治理。

致谢:

感谢厦门海洋渔业局对本研究的支持及南京师范大学周开亚教授、杨光教授、徐信荣工程师,中国科学院水生生物研究所刘仁俊教授在海豚的解剖和标本收集方面给予的大力帮助。

参考文献:

- [1] Lin Y F. Indo-Pacific humpback dolphins are in immediate need of protection [J]. *Ocean Development and Management*, 1997, 3: 50—51 [林岳夫. 保护中华白海豚刻不容缓. 海洋开发与管理, 1997, 3: 50—51]
- [2] Chen Y L, Chen J L, He R F, et al. Advance in protection and research on Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) [J]. *Marine Environmental Science*, 2004, 23(3): 65—70 [陈裕隆, 陈加林, 何容飞, 等. 中华白海豚保护与研究进展. 海洋环境科学, 2004, 23(3): 65—70]
- [3] Huang Z G, Liu W H, Lin R C. Studies on the protection of Indo-Pacific humpback dolphins in Xiamen sea area [J]. *Xiamen Science and Technology*, 1997, 5: 9—40 [黄宗国, 刘文华, 林瑞才. 厦门中华白海豚保护研究. 厦门科技, 1997, 5: 9—40]
- [4] Liu W H. Distribution and abundance of Chinese white dolphins (*Sousa chinensis*) in Xiamen [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 22(6): 95—101 [刘文华, 黄宗国. 厦门中华白海豚的分布和数量. 海洋学报, 2000, 22(6): 95—101]
- [5] Huang Z G, Liu W H, Liao W Z. Contents of heavy metals in Chinese white dolphins from Xiamen Harbour [J]. *Marine Environmental Science*, 1999, 18(1): 9—42 [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(1): 9—42]
- [6] Yang J, Yin J, Xu H L, et al. The ingestion and accumulation of zinc, copper, lead, cadmium and arsenic in the Yangtze finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, 29(3): 557—563 [杨健, 尹君, 许海伦, 等. 长江江豚铜、锌、铅、镉和砷的摄入与累积. 水生生物学报, 2005, 29(3): 557—563]
- [7] Parsons E C M. Trace element concentrations in the tissues of cetaceans from Hong Kong's territorial waters [J]. *Environmental Conservation*, 1999, 26(1): 30—40
- [8] Capelli R, Drava G, Pellegrini R D, et al. Study of trace elements in organs and tissues of striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) found dead along the Ligurian coasts (Italy) [J]. *Advances in Environmental Research*, 2000, 4(1): 31—42
- [9] Cardellicchio N, Decataldo A, Leo A D. Accumulation and tissue distribution of mercury and selenium in striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) from the Mediterranean Sea (Southern Italy) [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116(2): 265—271
- [10] Mertz M. Trace elements in human and animal nutrition (Translated mainly by Zhu L Z) [M]. Qingdao: Qingdao Press. 1994 [Mertz M. 人和动物的微量元素营养 (朱莲珍主校译). 青岛: 青岛出版社. 1994]
- [11] Deng C B, Lian X Q. Heavy metal contents in *Sousa chinensis* in Beihai area [J]. *Marine Environmental Science*, 2003, 22(2): 53—55 [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]
- [12] Huang Z G, Liu W H. Dead and freed dolphins in Xiamen water in 6 years (1994—1999) [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2000, 19(1): 42—47 [黄宗国, 刘文华. 厦门海域 1994—1999 年死亡和放生的海豚. 台湾海峡, 2000, 19(1): 42—47]
- [13] Law R J, Fileman C F, Hopkins A D, et al. Concentrations of trace metals in the livers of marine mammals (seals, porpoises and dolphins) from waters around the British Isles [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1991, 22(4): 183—191
- [14] Beck K M, Fair P, Mcfee W, et al. Heavy metals in livers of bottlenose dolphins stranded along the South Carolina coast [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1997, 34(9): 734—739
- [15] Honda K, Tatsukawa R, Itano K, et al. Heavy metal concentrations in muscle, liver and kidney tissue of striped dolphin, *Stenella coeruleoalba* and their variations with body length, weight, age and sex [J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1983, 47(6): 1219—1228
- [16] Yang J, Kunito T, Tanabe S, et al. Trace elements in skin of Dall's porpoises (*Phocoenoides dalli*) from the northern waters of Japan: an evaluation for utilization as non-lethal tracers [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 45(1-12): 230—236
- [17] Parsons E C M. Trace metal pollution in Hong Kong: Implications for the health of Hong Kong's Indo-Pacific hump-backed dolphins (*Sousa chinensis*) [J]. *The Science of The Total Environment*, 1998, 214(1-3): 75—184
- [18] Roditi-Elasar M, Kerem D, Hornung H, et al. Heavy metal levels in bottlenose and striped dolphins off the Mediterranean coast of Israel [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46(4): 503—512
- [19] Zhou J L, Salvador S M, Liu Y P, et al. Heavy metals in the tissues of common dolphins (*Delphinus delphis*) stranded on the Portuguese coast [J]. *The Science of the Total Environment*, 2001, 273(1-3): 61—76
- [20] Cardellicchio N, Gandomenico S, Ragnone P, et al. Tissue distribution of metals in striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) from the Apulian coasts, Southern Italy [J]. *Marine Environmental Research*, 2000, 49(1): 55—66
- [21] Andre J, Boudou A, Ribeyre F, et al. Comparative study of mercury accumulation in dolphins (*Stenella coeruleoalba*) from French Atlantic and Mediterranean coasts [J]. *The Science of The Total Environment*, 1991, 104(3): 191—209
- [22] Palmisano F, Cardellicchio N, Zamboni P G. Speciation of mercury in dolphin liver: A two-stage mechanism for the demethylation accumulation process and role of selenium [J]. *Marine Environmental Research*, 1995, 40(2): 109—121
- [23] Wageman R, Muir D C G. Concentrations of heavy metals and organochlorines in marine mammals of northern waters: overview and evaluation [J]. *Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Science*, 1984, 1279: 1—97
- [24] Fujise Y, Honda K, Tatsukawa R, et al. Tissue distribution of heavy metals in Dall's porpoise in the northwestern Pacific [J]. *Marine*

- Pollution Bulletin*, 1988, **19**(5): 226—230
- [25] Zhang H C, Zhou R, Zhou K Y, *et al.* The research of heavy metals in *Neophocaena phocaenoides* from Bohai Sea [J]. *China Environmental Science*, 1996, **16**(2): 107—112 [张淮城, 周荣, 周开亚, 等. 渤海江豚体内重金属的分布特征. 中国环境科学, 1996, **16**(2): 107—112]
- [26] Kubota R, Kunito T, Fujihara J, *et al.* Placental transfer of arsenic to fetus of Dall's porpoises (*Phocoenoides dalli*) [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, **51**(8-12): 845—849
- [27] Kubota R, Kunito T, Tanabe S. Arsenic accumulation in the liver tissue of marine mammals [J]. *Environmental Pollution*, 2001, **115**(2): 303—312
- [28] Yang J, Miyazaki N. Moisture content in Dall's porpoise (*Phocoenoides dalli*) tissues: a reference base for conversion factors between dry and wet weight trace element concentrations in cetaceans [J]. *Environmental Pollution*, 2003, **121**(3): 345—347

BIOACCUMULATION OF TRACE ELEMENTS IN TWO INDO-PACIFIC HUMPBAC DOLPHINS (*SOUSA CHINENSIS*) FROM XIAMEN COASTAL WATER

BIAN Xue-Sen^{1,2}, RAN Chun-Li^{1,2}, GONG Xiao-Qing³, YU Rui-Peng³, LIU Hong-Bo¹ and YANG Jian¹

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081; 2. Key Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081;

3. Testing & Analysis Center, Southern Yangtze University, Wuxi 214036)

Abstract: The concentrations of zinc (Zn), copper (Cu), lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd) and arsenic (As) were determined by using various tissue or organs (e.g. liver, pancrea, stomach, kidney, intestine, lung, muscle, heart, skin and brain) of two Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) found dead in coastal water near Xiamen harbor in April, 2004. In general, essential elements Zn and Cu were accumulated at a higher concentration than toxic elements Pb, Hg, Cd and As in most tissues or organs of both dolphins. In animal XM20040430 particularly higher concentrations of Zn, Hg, Pb and Cd were observed in the skin (500 µg/g dry weight), liver (255 µg/g dry weight), lung (13.0 µg/g dry weight), and kidney (2.82 µg/g dry weight), respectively. In contrast, those of tissular Cu and As level were similar. In animal XM20040430 only hepatic Zn (448 µg/g dry weight) and Cu (52.0 µg/g dry weight) concentrations were much higher than those in any other tissue or organ. Although the concentrations of trace elements in two dolphins seemed not to cause acute toxicity, possibility of chronic impact cannot be eliminated as toxic Pb, Hg, Cd and As were detected evidently and hepatic Zn in the liver of animal XM20040429 showed an abnormally high level. It is notable that the contamination by Hg, Pb and Cd in Xiamen water has not been reduced in recent years based on comparison of our results with the accumulation levels in *S. chinensis* of the previous literatures. Effective toxic element pollution control strategies are necessary for future conservation of the endangered animals like *S. chinensis* and fishery species along Xiamen coastal water. In addition, As pollution in marine mammals of China requires further study.

Key words: Indo-Pacific humpback dolphins; Xiamen coastal water; Copper; Zinc; Lead; Cadmium; Arsenic; Mercury; Bioaccumulation