

基于 PSR 模型的厦门湾中华白海豚资源评价

肖理, 胡文佳, 杨圣云, 李雯, 谢雯瑜, 杨璐, 陈明茹

(厦门大学 海洋与地球学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 中华白海豚(*Sousa chinensis* Osbeck, 1765)为国家 I 级重点野生保护动物, 厦门湾作为其在中国的主要分布区之一, 自 20 世纪 80 年代以来, 海岸带开发活动和环境污染程度均不断加大, 导致此海域中华白海豚的生存环境不断恶化, 种群数量日趋减少, 资源状况面临严重威胁。作者采用 PSR(压力-状态-响应)模型框架, 对厦门湾中华白海豚资源面临的主要环境压力、当前的资源状态以及采取的保护响应措施进行了一个较全面的评价, 评价结果认为: 围填海工程、船只交通、水下爆破作业和陆源排污等人类活动给厦门湾中华白海豚带来了生境缩小、身体伤害、环境污染和饵料短缺等严重影响, 厦门市已采取的保护政策响应包括就地保护、迁地保护和公共管理等方面, 目前种群资源数量稳定在 80 头左右并有潜力扩大。基于评价结果, 作者提出了加强保护的建议和策略, 可为厦门以外海区的中华白海豚保护工作提供参考。

关键词: 中华白海豚(*Sousa chinensis* Osbeck, 1765); 生物资源评价; PSR 模型; 厦门湾

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)01-0057-08

doi: 10.11759/hyxx20120515003

中华白海豚(*Sousa chinensis* Osbeck, 1765), 隶属鲸目(Cetacea), 海豚科(Delphinidae), 白海豚属(*Sousa* Gray)。它于 1988 年被列为国家一级野生保护动物, 亦是被濒危野生动植物国际贸易公约(CITES)所列物种之一。在中国沿海已证实有中华白海豚种群分布的水域包括厦门湾^[1-2]、珠江口^[3-5]、湛江雷州湾^[6]、北部湾北部沿岸^[1]、台湾西部沿岸^[7]等, 且它是厦门水域唯一的国家一级保护水生野生动物。自 20 世纪 80 年代以来, 由于受到港口建设、填海围垦、渔业捕捞、船只交通和水体污染等一系列因素影响, 中华白海豚已逐渐失去其原有的良好栖息环境, 面临着日益严峻的生存威胁。为保护这一海洋珍稀物种, 厦门市于 1997 年 8 月 25 日建立厦门中华白海豚省级自然保护区, 并于 2000 年 4 月获批为国家级自然保护区。

作者拟以 PSR(Pressure-State-Response)模型为基础对厦门湾中华白海豚进行资源评价, 旨在揭示自然环境和人类活动对厦门湾中华白海豚资源保护和恢复的影响, 并在此基础上探讨恢复资源的存在问题和对策, 为我国中华白海豚的保护工作提供参考。

1 基于 PSR 模型的厦门湾中华白海豚资源评价方法

1.1 PSR 概念模型

“压力-状态-响应”(Pressure-State-Response, PSR)

模型是最初由加拿大统计学家 Rapport 和 Friend (1979 年)提出, 后由经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)于 20 世纪八九十年代共同发展起来的用于研究环境问题的框架体系^[8]。由于中华白海豚这一资源与复合生态系统中的生物、人类活动、环境等所有因子相互关联、彼此影响, 基于 PSR 模型的资源评价使用“压力-状态-响应”这一逻辑思维, 体现了人类活动、环境与资源之间的相互作用关系。一方面人类活动对资源本身及其周边生态环境状态造成一定影响, 另一方面资源状态的改变又迫使人类为恢复资源而做出响应, 此评价方法反映出各因子之间的有机联系, 使得评价结果更具生态意义。

由此作者提出厦门湾中华白海豚资源评价的 PSR 模型框架(图 1), 在此评价体系中, 压力(P)表征厦门湾中华白海豚资源及其赖以生存的环境目前正在遭受的影响; 状态(S)表征特定时间阶段的中华白海豚资源状态或资源状态变化情况; 响应(R)表征人们在意识到资

收稿日期: 2012-05-15; 修回日期: 2012-10-22

基金项目: 海洋公益性行业科研经费专项项目(200905019) 海洋公益性行业科研经费专项项目(201005012)

作者简介: 肖理(1988-), 女, 湖南娄底人, 硕士研究生, 主要从事海洋生物学研究, 电话: 0592-2880192, E-mail: wingxiaoli@163.com; 陈明茹, 通信作者, 副教授, 电话: 0592-2880192, E-mail: mrchen@xmu.edu.cn

源状态及其赖以生存的生态环境已受到胁迫后所做出的回应,体现了人们对资源保护的重视情况。

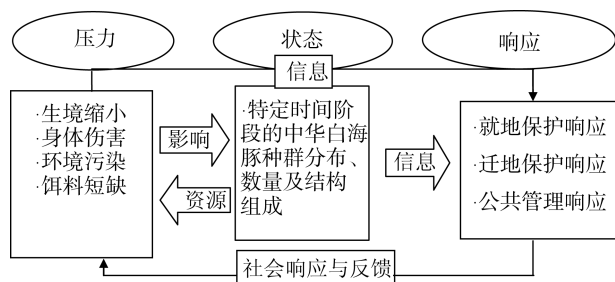


图1 厦门湾中华白海豚资源评价的PSR模型框架

Fig. 1 Framework of the PSR model for the Chinese white dolphin assessment in Xiamen waters

1.2 评价指标体系的构建

本文参照PSR概念框架,依据层次分析法原理,在资料调查和收集的基础上结合厦门湾环境和社会经济发展的实际情况,形成具有目标层、准则层和指标层共3个层次15个指标的评价指标体系(表1)。目标层为确定厦门湾中华白海豚资源状态,准则层包括压力层、状态层、响应层3项,指标层为能反映厦门湾中华白海豚资源所遭受影响的特征指标。

表1 基于PSR的厦门湾中华白海豚资源评价指标体系
Tab.1 Dolphin assessment system in Xiamen waters based on the PSR model

目标层	准则层	指标层
厦门湾中华白海豚资源状态	压力层	围填海
		海上养殖
		船只交通
		水下爆破作业
		渔业活动
		人为捕杀
	状态层	种群分布
		种群数量
		种群组成
	响应层	就地保护
		迁地保护
		公共管理

2 影响厦门湾中华白海豚的环境压力分析

2.1 主要压力指标的选取

厦门海域自1997年至2011年至少发现37头死

亡的中华白海豚个体,其中幼仔20头,占死亡总数的54%。作为生活于河口内湾的鲸豚类,中华白海豚面临着人类活动带来的巨大影响。由于表1中所列出的各项压力指标对资源的影响程度差异较大,且其影响程度会随着厦门湾周边社会、经济的发展状况及人们对其保护工作的重视程度而发生变化,因此本文在具体评价过程中将各项压力进行筛选,构建主要压力指标,如表2所示。

可见,围填海、船只交通、水下爆破作业和陆源排污等活动给资源造成了较大的生存威胁,且随着社会经济发展有增加的趋势,将会给厦门湾中华白海豚带来栖息地缩小、身体伤害、环境污染、饵料短缺等多种不利影响。因此本研究根据前文提出的PSR模型框架,选取围填海、船只交通、水下爆破作业及陆源排污等主要压力指标对厦门湾中华白海豚资源的影响进行分析、评价。

2.2 厦门湾中华白海豚资源面临的主要压力分析

2.2.1 围填海工程

厦门海域面积为390 km²,包括厦门西海域、九龙江口东北岸、厦门东海域、同安湾和大嶝三岛海域等。伴随着建设海湾型城市的快速发展步伐,厦门市已逐步向以海济陆、向海拓展空间的开发态势转变^[9]。自1955年至2001年,厦门海域面积因围填海而缩小了三分之一,西海域、同安湾等中华白海豚主要栖息地的围垦面积分别达58.96 km²与31.3 km²。马銮湾、杏林湾、筲箕湖和同安湾顶的丙洲附近等历史上中华白海豚的主要栖息地,其自然生境均随着围堤的建成已不复存在^[10]。根据厦门市港口建设的发展态势,未来的开发利用活动与中华白海豚保护的矛盾冲突将更加激烈,中华白海豚面临的生境减小压力也将日益严重。此外,由于围海造地破坏了海岸带生态环境,潮间带生物逐渐衰落,使得处于海洋生物链最高端的中华白海豚的索饵场所和摄食种类、数量均严重受到限制^[11]。

2.2.2 船只交通

厦门西海域为中华白海豚活动的核心区域,然而目前厦门港规模最大、来往船只最多的东渡港区就位于保护区范围内,渡轮、集装货轮、快艇等在此频繁往来。据统计,仅大屿、鼓浪屿、鸡屿和漳州附近水域的快艇平均每天就接近100班次^[12]。而中华白海豚喜爱在离岸距离小于500 m、水深低于20 m的近岸浅水区域活动^[11, 13],鼓浪屿、鸡屿等地船只的

表 2 厦门湾中华白海豚的主要压力指标选取

Tab. 2 Selection of the main pressure indexes of dolphin in Xiamen waters

影响	直接身体伤害	减少生存空间	传播疾病	干扰定位	生理异常	饵料短缺	压力变化趋势	总计
围填海工程	-	+	+	+	+	-	+	+++++
海上养殖	-	+	-	-	-	-	-	+
船只交通	+	+	-	+	-	-	+	++++
水下爆破作业	+	-	+	+	-	-	+	++++
渔业活动	+	-	+	-	-	+	-	+++
人为捕杀	+	-	-	-	-	-	-	+
生活垃圾	-	-	-	-	-	+	+	++
陆源排污	-	-	+	-	+	+	+	++++

注：“+”表示该项压力在此产生影响，“-”表示根据文献所载该项压力未发现显著影响

频繁活动不仅可能造成白海豚生境的割裂，螺旋桨的转动还可能直接击伤海豚。此外船只产生的机械噪音，可干扰海豚用回音定位和通信，进而增加它被船只伤害的几率。如据报道，2004年2月22日在东渡码头附近发现一头硬物撞击致死的白海豚幼仔，考虑到厦门西港一带是各种船只来往最为密集的海域，故其很可能为快艇撞击致死^[13]。

此外，厦门在五缘湾和香山建立的游艇帆船基地和国际游艇码头距离白海豚保护区的核心区不远，不仅将进一步减少白海豚的活动空间，还可能会影响到白海豚进出同安湾的洄游通道。

2.2.3 水下爆破作业

随着厦门港涉海工程持续进行，水下爆破作业频繁开展，对中华白海豚的生存造成了很大威胁。水下爆破作业对白海豚的影响主要表现在两方面：一是冲击波对它的伤害。仅2004年在厦门海域发现的8只死亡白海豚中，就有2只经相关专家进行解剖和死亡原因分析后，鉴定为水下炸礁时产生的冲击波导致死亡^[12]，可见水下爆破作业已严重威胁到中华白海豚的生命安全；二是研究发现白海豚也会患有皮肤病、肺炎等疾病^[13]，爆破过程引起的悬浮物、石油类污染物含量升高可能会增加海豚体表感染细菌的机会。另外，悬浮有机物对溶解氧有消耗作用，可能在河口水域造成相对低氧区域，使此处的鱼类产生回避反应进而影响中华白海豚的饵料资源。

2.2.4 环境污染

海域水体污染使得重金属、难降解有机污染物等在生物体内累积，对中华白海豚的健康造成了严重威胁。根据《2010年厦门市海洋环境质量公报》^[14]，厦门海域中的东部海域、同安湾、西海域和九龙江口海域水质综合污染程度升高，其中白海豚出没较多的西海域和九龙江河口区海域分别为轻度污染海

域和轻度污染海域(图 2)，海水中的无机氮和活性磷酸盐等污染物严重超标。中华白海豚处于海洋生物链的最顶端，环境污染物不仅将通过食物链的传递和长期富集作用直接影响到白海豚的种群健康，也会因鱼类对低氧区域的回避作用导致白海豚饵料资源减少，从而间接影响其种群的持续增长^[4]。

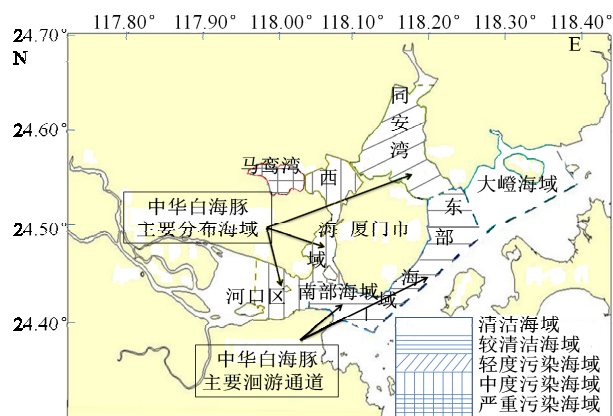


图 2 2010 年厦门海域水质综合评价示意图(摘自《2010 年厦门市海洋环境质量公报》^[14])

Fig. 2 Integrated assessment of water quality in Xiamen waters

在2007年3月的粤港中华白海豚保护研讨会上，有研究者提出珠江口中华白海豚由于受到海洋有毒污染物和人类活动影响而频繁出现流产、性激素紊乱现象，面临严重的生育危机^[15]。根据黄宗国^[16]、陈炳耀^[17]等对厦门湾中华白海豚组织中重金属的测量结果，将其与香港^[5, 18]、广东^[19]和广西^[20]的测量结果进行比较后发现，厦门白海豚肝脏中的 Cu、Zn 和 Hg 含量是香港珠江口白海豚的 2 倍左右、Pb 含量是大襟岛的 2.6 倍，肌肉中的 Pb 含量是北部湾的 2 倍。且厦门湾的 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg 等重金属含量在海水中远远小于鱼体，而在鱼体中的含量

则远远小于成年的中华白海豚^[16], 这反映出厦门海域白海豚体内因生物富集作用而累积大量的有毒污染物, 其危害程度是目前不可估量的。

3 厦门湾中华白海豚资源状态

根据前文提出的 PSR 模型框架, 厦门湾中华白海豚资源的种群数量、分布及结构组成反映了在各项压力指标影响下的资源状态。

3.1 种群数量与分布

早在 20 世纪 60 年代, 福建水产研究所就对厦门西港东渡水域的中华白海豚进行过研究记载。从 20 世纪 90 年代至今, 厦门及邻近海域已先后设立 20 多个中华白海豚监视站, 进行了多次定点观察和船只调查研究。调查中通过跟踪、拍照和记录, 对厦门湾中华白海豚进行了数量估算和个体鉴别, 历年调查结果如表 3 所示。

调查中发现, 3~6 月是中华白海豚出现最频繁的时间, 总体来说其在厦门西海域、南海域、九龙江河

口区 and 同安湾口两侧沿岸海域分布相对密集(图 3), 且在秋冬季有迁移到靠近外海水域的习性^[2]。厦门西港和鸡屿可视为中华白海豚的“关键栖息地”^[13]。结合历史数据发现, 白海豚数量和分布区域相比 20 世纪 60 年代已大为减少, 60 年代的定点观察遇见率为 3.5 群/d, 至 90 年代仅为 0.4 群/d^[2], 而目前种群数量仅为 80 头左右。虽然种群规模较小, 但在近年来的大力保护之下, 厦门湾中华白海豚数量基本保持稳定, 百公里遇见率和群大小均呈缓慢上升之势(图 4)。根据 2010 年的记录, 百公里遇见率虽稍有下降, 但平均每群的数量升高到 6.32 头^[14], 因此可推测中华白海豚总数保持稳定。

3.2 种群组成

根据 20 世纪 90 年代至今的多次调查结果分析, 厦门湾中华白海豚种群世代结构完整, 且近年来年轻个体的比例持续增长。在 2010 年的调查中幼豚出现率达 26.2%(表 4), 亚成体和成体中体表底色较淡、

表 3 厦门湾中华白海豚调查情况

Tab.3 Results of dolphin survey in Xiamen waters

时间	调查方式	调查单位	时长(月)	地点/航程	发现数量(头)	识别个体(头)	数量估算(头)	遇见率(群/km)
1994~1999 年 ^[2]	定点观察	国家海洋局第三研究所	239	厦门岛周围	12624	40	60	0.6
	船只调查		15	2836km	392			
2004 年 ^[21]	定点观察	南京师范大学	8	大屿岛	235	45	66~98	1.7
	船只调查		11	6107km	473			
2006~2007 年 ^[13]	船只调查	南京师范大学	12	4202.6km	428	52	70~100	1.8

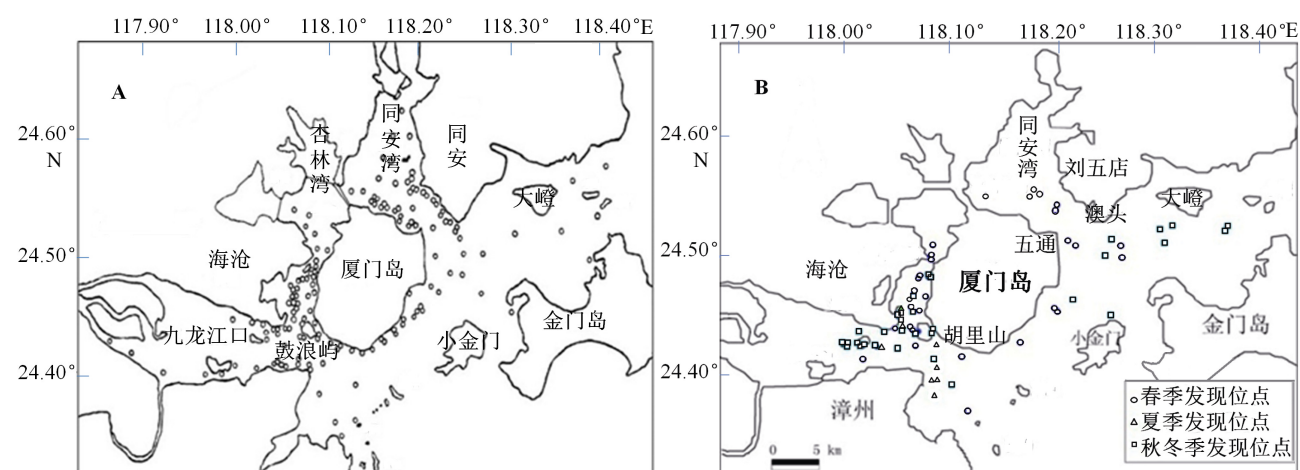


图 3 1994~1999 年及 2004 年厦门湾中华白海豚的目击点
Fig. 3 Spotting sites of dolphin from 1994 to 1999 and in 2004

A. 摘自刘文华等, 2000^[2]; B. 摘自张荔锋, 2008^[12]
A. From Liu Wenhua etc.^[2]; B. From Zhang Lifeng^[12]

表 4 厦门湾中华白海豚种群结构变化

Tab.4 The changes of generation structure of dolphin population in Xiamen waters

个体类别	比例(%)				
	1994~1999年 ^[2]	2004年 ^[21]	2006~2007年 ^[13]	2008年*	2009~2010年*
幼体	6.50	20.08	23.25	26	26.2
亚成体和成体	93.50	79.92	76.75	74	73.8

注: *数据引自 2008 年、2010 年厦门市海洋环境质量公报

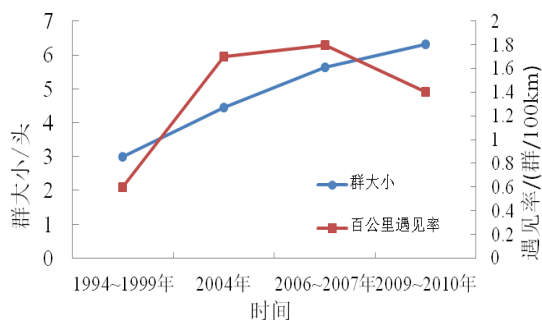


图 4 厦门湾中华白海豚遇见率及群大小(群/100km, 头/群)
Fig. 4 The encounter rate and group size of dolphin in Xiamen waters (group/100km, ind/group)

具有斑点的青年个体数量较多,老年个体比例较小^[21]。但陈炳耀等^[13]对厦门中华白海豚种群生存力分析结果表明,其数量在 100 年内呈下降趋势,死亡率、雌性繁殖率和灾害等因子对种群是否实现增长影响较大。总体来看,目前厦门湾中华白海豚在控制灾害因子、降低死亡率的前提下仍是一个具有繁殖和增长潜力的种群。

4 厦门湾中华白海豚资源保护响应

从历史资料和上述种群数量及分布的调查数据可见,厦门湾中华白海豚数量从 20 世纪 60 年代的 200~300 头减少了到目前的 80 头左右。且它的雌性成熟期为 9~10 年,妊娠期约 11 个月,1 胎 1 仔,一般雌性海豚终生只产 1~2 胎^[22]。较低的繁殖率和幼体存活率加之极近沿岸栖息的生活习性,决定它极易受到人类活动影响,且一旦遭到破坏将很难在短期内恢复。为此,厦门市已建立中华白海豚自然保护区和救护繁育基地,并制定了多项针对性的法规、政策等,如 PSR 模型框架中所述的就地保护响应、迁地保护响应和公共管理响应等。在政府部门和社会各界的大力保护之下,近年来白海豚死亡数量相比 2006 年以前大大减少,2010 年和 2011 年均只有一头死亡记录,且未发现人为伤害痕迹,可见其资源保护工作已取得较明显的效果。

4.1 就地保护响应

4.1.1 保护区选址

早在 1997 年厦门市已建立中华白海豚省级自然保护区,并于 2000 年 4 月升格为厦门海洋珍稀物种国家级自然保护区。由于厦门湾中华白海豚的分布范围较广且不均匀,保护区实施非封闭式管理,将白海豚出现率较高的第一码头和嵩屿连线以北、高集海堤以南 3500 hm²的西海域及钟宅、刘五店、澳头、五通 4 点连线 2 000 hm²的同安湾口海域界定为核心区,总面积约 5 500 hm²,厦门市管辖的其他海域均为保护区外围地带(表 5)。

表 5 厦门中华白海豚保护区的功能区划、范围和面积
Tab.5 The protected areas for the Chinese white dolphin in Xiamen

功能区	范围	面积(hm ²)
核心区	西海域 第一码头和嵩屿连线以北、高集海堤以南	3500
	同安湾口 钟宅、刘五店、澳头、五通四点连线的同安湾口	2000
外围保护地带	除核心区以外的厦门其他管辖海域	

4.1.2 保护区建设

为方便保护区管理工作,2002 年厦门市设立了专门的保护区管理委员会办公室,且将中华白海豚的日常执法管理交由厦门市海洋行政综合执法支队承担,以保证管理工作的有效实施。同时,管委会积极拓展资金渠道,拟定《厦门中华白海豚专项资金管理办法》将资金专款专用,严格落实于各项建设和科研项目。此外,保护区的基础设施建设也在不断加强,如在西海域和同安湾口的核心区临界点树立八座中华白海豚的永久性界碑;构建海上监控系统,提高保护区海域的监管效率等。

调查资料显示中华白海豚个体的习惯活动面积并不大,厦门海域种群的平均家域面积为(84.06±48.29)km²(MCP),且个体的活动空间具有很高重叠性,绝大部分个体活动区域集中于九龙江河口区及

同安湾^[23]。在中华白海豚的“关键栖息地”建立保护区为其生存起到了直接有效的保护作用,也能唤起民众和社会各界对中华白海豚的保护意识。

4.2 迁地保护响应

近年来厦门市政府愈发重视中华白海豚的保护工作,自2006年起投入大量资金在五缘湾和火烧屿水域建立中华白海豚救护繁育基地,并分别于2008年和2011年投入使用。火烧屿以救护受伤的海豚为主,五缘湾负责接受治疗恢复后的海豚,对其进行人工养护和野化训练后放归自然海域。以此确保厦门及周边受伤、搁浅的海豚得到及时有效的救护,同时为中华白海豚科学研究提供平台。

建立救护繁育基地对中华白海豚的研究和保护具有重大意义。厦门市海洋与渔业局联合国家海洋局第三研究所一方面成立研究小组进行中华白海豚人工繁育研究,另一方面在火烧屿进行白海豚全年性观测,并编印了《中华白海豚等鲸豚应急救护预案》。救护基地为白海豚的救护提供了必要的场所和手段,在2010年间至少实施有效救助4起,切实降低了中华白海豚的非正常死亡率。

4.3 公共管理响应

4.3.1 颁布法规

为保障保护区管理目标的实现,厦门市先后制定并颁布了《厦门市中华白海豚保护规定》,和《厦门海洋珍稀物种国家级自然保护区总体规划》。这些法规中明确规定了各管辖部门的职责,要求水下爆破工程、填海工程必须报经相关部门审核并实施全程跟踪监督,严格限制保护区内船只交通航速、渔业捕捞工具规格、污水排放标准等,还提出与毗邻厦门的漳州、泉州两市共担保护义务,以最大限度的减少或避免对中华白海豚的伤害。此外,2008年福建省海洋与渔业局发布了《关于在厦门市五缘湾大桥以南五缘湾内海域等特定海域设置禁渔区的通告》,保证了中华白海豚重要生境内饵料资源的充足和避免渔具对它的伤害。

4.3.2 整治生态环境

近年来厦门市积极开展海域综合整治和海洋生态修复工作,自2002年起全面清理并逐步退出西海域和环东海域的水产养殖,且在马鸾湾海堤、高集海堤和集杏海堤进行了岸线修复、增殖放流、投放人工鱼礁等一系列海洋生态修复行动。针对厦门水域的主要污染源——九龙江流域,目前厦门已联合上游的漳州、龙岩,共同推进《九龙江流域—厦门湾生

态系统管理战略行动计划》的实施,并且厦门每年拿出2000万元作为生态补偿。厦门市海洋环境质量公报显示,近几年海洋珍稀物种自然保护区海域水环境状况基本稳定。生态环境的改善使中华白海豚的栖息空间得到净化、饵料生物逐渐增多,2010年、2011年厦门海域多次出现大群白海豚长时间觅食嬉戏景象,且仅同安湾的百公里遇见率就由2004年的2.1头上升至2009年的9头^[23]。

4.3.3 加强科学研究

为尽量减少水下爆破产生的强烈冲击波对白海豚的伤害,厦门自2005年起就根据声驱法的原理,成立中华白海豚专业驱赶队伍进行培训后上岗。后又开展《厦门海域水下爆破等作业对中华白海豚的影响及水声监测系统的构建》研究,并提出厦门海域水下爆破声压、药量和作用距离之间关系的半经验公式,为在海洋工程建设过程中加强监管提供了科学依据和技术保障。这些科研成果应用于实际工作后取得了显著成效,据厦门市海洋与渔业局统计,2006年至2011年厦门海域没有发现因水下冲击波致死的中华白海豚。

此外,厦门持续多年开展中华白海豚的种群数量、分布范围及活动规律等调查,并于2008年进行了厦门中华白海豚饵料生物调查研究。调查报告系统分析了饵料生物种类组成、群体结构、数量分布与时空变化,为中华白海豚的保护工作提供了重要的基础资料。

4.3.4 扩大公共参与

保护区管委会组织开展了形式多样的宣传教育活动,包括修建中华白海豚艺术雕塑、制作宣传图片、举办以中华白海豚为主题的摄影比赛、音乐节等。还在火烧屿救护中心建立了一个海洋生态保护展示厅,全方位地向人们展示中华白海豚的家族史、生存环境、生活习性等,让群众在亲近它的同时树立保护意识。

5 厦门湾中华白海豚资源保护讨论与建议

通过建立保护区、救护繁育基地等措施,目前厦门湾中华白海豚数目保持稳定,相比20世纪90年代其遇见率、大群出现率和幼豚比例均显著增加。但鉴于白海豚种群规模仍较小,且仍面临继续减少的风险,本文认为可从以下方面加强保护。

5.1 科学确定保护区边界

据2004年及以后的调查资料,除目前保护区内的西港、同安湾口海域外,鸡屿至青屿一带水域也

是中华白海豚出现频率很高的地方, 本文认为应将其划为保护区核心区内。且由于目前厦门中华白海豚数量很少, 部分个体的丧失可能会对整个种群造成严重后果^[24], 因此不仅要对中国白海豚的“关键栖息地”进行保护, 还应把大嶝、小嶝等可作为“避难所”的地方也包括进来, 扩大保护区范围。

5.2 落实保护措施

因现有保护区的管理体制不完善, 一些保护措施并未完全落实。政府应尽快建立跨部门、跨行业的综合管理体制, 将保护区范围内船舶限速限道工作落实到位, 要求船只行驶速度在 10 海里/小时以内, 尽早禁止环鼓浪屿的快艇在保护区内营运。

5.3 控制入海污染物总量

可进行厦门海域环境容量评估, 形成一套切实可行的污染物总量控制审核标准、总量分配原则, 最终建立厦门湾海域污染物总量控制管理信息系统。在逐步改善九龙江流域—厦门湾生态环境的同时, 实现中华白海豚保护与特区经济发展相协调。

参考文献:

[1] 王丕烈, 韩家波. 中国水域中华白海豚种群分布现状与保护[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(05): 484-487.

[2] 刘文华, 黄宗国. 厦门中华白海豚的分布和数量[J]. 海洋学报, 2000, 22(6): 95-101.

[3] Jefferson T A, Leatherwood S. Distribution and abundance of Indo-Pacific hump-backed dolphins (*Sousa chinensis* Osbeck, 1765) in Hong Kong waters[J]. Asian Marine Biology, 1997, 14: 93-110.

[4] Jefferson T A, Hung S K. A review of the status of the Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in Chinese waters[J]. Aquatic Mammals, 2004, 30(1): 149-158.

[5] Parsons E C M, Jefferson T A. Post-mortem investigations on stranded dolphins and porpoises from Hong Kong waters[J]. Journal of Wildlife Diseases, 2000, 36: 342-356.

[6] Zhou K Y, Xu X R, Tian C, et al. Distribution and abundance of Indo-Pacific humpback dolphins in Leizhou Bay, China[J]. New Zealand Journal of Zoology, 2007, 34: 35-42.

[7] Wang J Y, Hung S K, Yang S C, et al. Records of Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis* (Osbeck, 1765), from the waters of western Taiwan[J].

Aquatic Mammals, 2004, 30: 189-196.

[8] 肖佳媚. 基于 PSR 模型的南麂岛生态系统评价研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2007.

[9] 余兴光, 卢昌义, 王金坑, 等. 福建近岸海洋生态系统服务面临的挑战与调控对策[J]. 台湾海峡, 2005, 24(2): 257-264.

[10] 黄宗国, 刘文华, 林瑞才. 厦门中华白海豚保护研究[J]. 厦门科技, 1997, 5: 9-10.

[11] Chen B Y, Zhai F F, Xu X R, et al. A preliminary analysis on the habitat selection of Chinese white dolphins (*Sousa chinensis*) in Xiamen waters, China[J]. Acta Theriologica Sinica, 2007, 27(01): 92-95.

[12] 张荔锋. 中华白海豚环境压力分析和保护对策研究[D]. 福建: 国家海洋局第三研究所, 2008.

[13] 陈炳耀. 厦门中华白海豚种群生物学与保护研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2007.

[14] 厦门市海洋与渔业局. 2010 年厦门市海洋环境质量公报[R]. 2010.

[15] 张婷, 祝茜, 刘莹莹, 等. 中华白海豚的研究概况[J]. 河北渔业, 2008, 9: 8-10.

[16] 黄宗国, 刘文华, 廖文卓. 厦门中华白海豚的重金属含量[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(1): 9-12.

[17] 陈炳耀, 顾舒荣, 翟飞飞, 等. 厦门中华白海豚体内微量元素的初步分析[J]. 动物学杂志, 2007, 42(3): 102-105.

[18] 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: 175-184.

[19] 鲁慧, 方展强, 周海云, 等. 大襟岛海域中华白海豚体内的重金属含量测定与评价[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(3): 380-384.

[20] 邓超冰, 廉雪琼. 北海海域中华白海豚体内重金属含量[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(2): 53-55.

[21] 翟飞飞. 厦门中华白海豚社会组织结构、行为和栖息地选择的初步研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2006.

[22] Jefferson T A, Hung S K, Robertson K M, et al. Life history of the Indo-Pacific humpback dolphin in the Pearl River Estuary, southern China[J]. Marine Mammal Science, 2012, 28(1): 84-104.

[23] Chen B Y, Zheng D M, Ju J F, et al. Range Patterns of Resident Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chin-*

- ensis* Osbeck 1765) in Xiamen, China: implications for conservation and management[J]. *Zoological Studies*, 2011, 50(6): 751-762.
- [24] Ross P S, Dungan S Z, Hung S K, et al. Averting the baiji syndrome: conserving habitat for critically endangered dolphins in Eastern Taiwan Strait[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Fresh water Ecosystems*, 2010, 20(6): 685-694.

Integrated assessment of Chinese white dolphin (*Sousa chinensis*) in Xiamen waters based on PSR model

XIAO Li, HU Wen-jia, YANG Sheng-yun, LI Wen, XIE Wen-yu, YANG Lu, CHEN Ming-ru
(Department of Ocean and Earth, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Received: May, 15, 2012

Key words: Chinese white dolphin; assessment of biological resources; PSR model; Xiamen waters

Abstract: The Chinese white dolphin (*Sousa chinensis* Osbeck, 1765) is ranked in the first class of national key protected species in China. Xiamen is one of its most important habitats. Since 1980's, the population of the Chinese white dolphin in Xiamen waters was reduced severely due to the large area coastal reclamation and environmental pollutions. This study presented an integrated assessment of the dolphins in Xiamen waters based on the PSR model to reveal the environmental pressure to the dolphins and their habitat. The results showed that there were several pressure sources, including reclamation, vessel traffic, underwater explosion and land-based pollutions. A variety of protection methods have been taken by the local government to protect the dolphins, which have been proved to be effective. Currently, Chinese white dolphin's population in Xiamen waters remains stable, and the number may increase with further efforts. This study may provide useful data for the protection and management of Chinese white dolphin in Xiamen as well as in other habitats.

(本文编辑: 谭雪静)