

中国东南沿海港口外轮压舱水生物的调查

杨清良¹, 蔡良候², 高亚辉³, 苏展², 陈长平³, 林更铭¹, 黄美珍²,
李炳乾^{3,1}, 项鹏¹, 许翠娅², 郑惠东², 梁君荣³, 邢小丽⁴, 方民杰²

(1. 国家海洋局 第三海洋研究所, 福建 厦门 361005; 2. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361012; 3. 厦门大学 生命科学院, 福建 厦门 361005; 4. 上海海事大学, 上海 200135)

摘要: 随机选取东南沿海港口的 17 艘外来船舶(含 8 条集装箱船和 9 条散货船)作为监测对象, 进行压舱水浮游植物及动物的物种鉴定和丰度测定, 并对监测数据进行统计学分析。检出分属于 7 个浮游植物门类和 5 个动物门类的 309 种外来压舱水生物(包括 60 种赤潮生物)。外轮压舱水生物的分布及生存状态与水样的水龄和盐度相关。船舶压舱水排放是大家熟知的外来水生生物入侵的主要媒介。本调查结果表明, 中国东南沿海外来散货船的压舱水排放所具的潜在生物入侵风险比集装箱船更应受关注。

关键词: 压舱水; 浮游生物; 外来物种; 赤潮; 东南沿海

中图分类号: X171 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2011)01-0022-07

外轮压舱水排放是外来水生生物入侵的主要媒介, 在过去的 30 多年已对锚地海洋生态安全造成威胁, 甚至导致灾难性后果, 现已被世界环保基金(GEF)认定为海洋面临的四大威胁之一^[1-4]。我国海岸线长达 18 000km, 随着全球经济一体化发展, 船舶运输越来越发达。就东南沿海港口群而言, 目前已列入国家五大港口群建设布局, 面临着较大外来压舱水生物入侵的潜在威胁。我国有关外来压舱水生物的研究已有一些成果, 但在总体上至今仍然薄弱。多数港口仅侧重于藻类的调查研究, 通常都以集装箱船为采样对象, 船舶类型较为单一, 且采水量大多偏少^[4-11]。

本文报道 2006 至 2008 年间采自东南沿海有关港口 17 艘外轮压舱水的各类生物的物种组成、丰度分布以及部分生物门类的存活状况, 并初步讨论外轮压舱水排放造成的潜在生态威胁, 为海洋生态学风险评估和防灾减灾对策的制定提供科学依据。

1 材料与方法

2006 年 12 月~2008 年 8 月先后随机采集停泊于福建省厦门港、福州港和江阴港, 广东省湛江港, 广西壮族自治区防城港和海南省洋浦港等口岸的 17 艘外来船舶(含 8 条集装箱船和 9 条散货船)压舱水的生物样品。直接打开人孔或压载舱导门人工采集水舱上部水样, 采水量为 100~200 L, 水样经 3 种孔径规格(160、77 和 20 μ m)的筛绢网从大到小依次过滤, 分别

收集滤样, 最后加入终浓度为 5% 的中性甲醛固定液固定。镜检分别采用体视显微镜、光学显微镜和透射电镜。数据分析用 SPSS14.0 软件。

2 结果与分析

2.1 压舱水生物的物种组成和丰度(表 1)

共检出压舱水生物 309 种。其中从 77 μ m 和 20 μ m 两种孔径网收集的滤样里鉴定藻类 7 门 87 属 257 种(含变种、变型和 60 种赤潮生物)。硅藻类物种最多(50 属 187 种, 占植物总种数 72.8%), 其次是绿藻门(20 属 38 种), 较多的还有甲藻门(9 属 22 种)和蓝藻门(5 属 6 种), 金藻、裸藻和黄藻等门类较少(1~2 种)。福建口岸还从来自东南亚港口的船舶压舱水中检出 12 种锚地及邻近海域从未记录的 12 种淡水和半咸淡藻类(表 2); 从 160 μ m 和 77 μ m 两种孔径网收集的滤样里记录浮游动物 5 门 30 属 52 种(包括 16 种通常无法鉴定到种的不同门类浮游动物幼体和无脊椎动物卵)。其中桡足类物种最多(含 10 种幼体, 共 21 属 37 种, 占动物总种数 71.2%), 主要包括哲水蚤目(Calanoida)、剑水蚤目(Cyclopoida)和猛水蚤目(Harpacticoida)种类。

收稿日期: 2009-07-12; 修回日期: 2009-11-16

基金项目: 国家 908 专项资助项目(908-01-ZH3; 908-02-01-02; 908-ZC-1-13); 福建省 908 专项资助项目(FJ908-01-01-ZH)

作者简介: 杨清良(1948-), 男, 福建惠安人, 研究员, 从事海洋生物学研究, 电话: 0592-2195261; 13003903388, E-mail: qly1888@163.com; qlyang2525@sina.com

表 1 17 艘外轮压舱水检出的压舱水生物物种丰富度、丰度和出现率(2006 ~ 2008 年)

Tab. 1 Species diversity, abundance and occurrence frequency of ballast water biota found from 17 foreign ships(2006~2008a)

种类	种类数	平均丰度	出现率
蓝藻门 Cyanophyta	5 属 6 种	34.9 cells/L	0.353
色球藻目 Chroococcales	2		+
颤藻目 Oscillatoriales	4		++
硅藻门 Bacillariophyta	50 属 187 种	1 282.8 cells/L	1.000
圆筛藻目 Coscinodiscales	73		+++
盒形藻目 Biddulphiales	37		+++
根管藻目 Rhizosoleniales	13		++
舟形目 Naviculales	25		++
等片藻目 Diatomales	13		+++
双菱藻目 Surirellales	23		+++
曲壳藻目 Achnanthes	3		+
甲藻门 Pyrrophyta	9 属 22 种	33.1 cells/L	0.647
原甲藻目 Prorocentrales	1		+
裸甲藻目 Gymnodiniales	2		+
鳍藻目 Dinophysiales	1		+
膝沟藻目 Gonyaulacales	3		+
多甲藻目 Peridinales	15		++
金藻门 Chrysophyta	1 属 1 种	2.3 cells/L	0.353
硅鞭藻目 Silicoflagellatales	1		++
裸藻门 Euglenophyta	1 属 1 种		0.118
裸藻目 Euglenales	1		+
黄藻门 Xanthophyta	1 属 2 种	96.2 cells/L	0.118
黄藻目 Heterotrichales	1		+
异球藻目 Heterococcales	1		+
绿藻门 Chlorophyta	20 属 38 种	1 372.6 cells/L	0.294
四孢藻目 Tetrasporales	1		+
绿球藻目 Chlorococcales	31		+
双星藻目 Zygnematales	1		+
鼓藻目 Desmidiatales	5		+
肉足鞭毛虫门 Sarcomastigophora	1 属 1 种	0.3 个/m ³	0.059
有孔虫目 Foraminiferida	1		+
软体动物门 Mollusca	2 属 2 种	61.2 个/m ³	0.118
腹足纲 Gastropoda	2		+
节肢动物门 Arthropoda	26 属 42 种	3 011.5 个/m ³	0.529
枝角目 Cladocera	1		+
哲水蚤目 Calanoida	24		+++
剑水蚤目 Cyclopoida	11		++
猛水蚤目 Harpacticoida	2		+
糠虾目 Mysidacea	1		+
十足目 Decapoda	1		+
蔓足亚纲 Cirripedia	1		+
短尾次目 Brachyura	1		+
环节动物门 Annelida	2 种	120.0 个/m ³	0.059
叶须虫目 Phyllodocida	2		+
尾索动物门 Urochorda	1 属 1 种	0.6 个/m ³	0.059
有尾纲 Appendiculariae = Copelata	1		+
其他浮游幼体 Other pelagic larva	4 种	25 440.0 个/m ³	0.294

注: 1. +++、++ 和 + 分别表示出现率 >70%、30%~70%和<30%; 2. 表中各类生物密度由各不同孔径网滤样的相应密度值累加

表 2 东南沿海口岸外来船舶压舱水某些生物的种类名录

Tab. 2 List of some organisms found in ballast waters from foreign ships harboring in ports of Southeast China

序号	种名	拉丁文学名	序号	种名	拉丁文学名
	蓝藻门	Cyanophyta	40	*翼根管藻印度变型	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>indica</i>
1	*红海束毛藻	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	41	*钝棘根管藻半刺变种	<i>Rhizosolenia hebetata</i> var. <i>semispina</i>
2	*铁氏束毛藻	<i>Trichodesmium thiebautii</i>	42	*刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i>
	硅藻门	Bacillariophyta	43	*笔尖根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i>
3	*冰河拟星杆藻	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	44	*优美施罗藻	<i>Schroederella delicatula</i>
4	*派格棍形藻	<i>Bacillaria paxillifera</i>	45	*中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>
5	*锤状中鼓藻	<i>Bellerochea malleus</i>	46	*掌状冠盖藻	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>
6	*钟形中鼓藻	<i>Bellerochea horologicales</i>	47	*菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
7	*中华盒形藻(中华齿状藻)	<i>Biddulphia sinensis</i> (= <i>Odontella sinensis</i>)	48	*细弱海链藻	<i>Thalassiosira subtilis</i>
8	*扁面角毛藻	<i>Chaetoceros compressus</i>		金藻门	Chrysophyta
9	*旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	49	*小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i>
10	*柔弱角毛藻	<i>Chaetoceros debilis</i>		黄藻门	Xanthophyta
11	*细齿角毛藻	<i>Chaetoceros denticulatus</i>	50	# 头状黄管藻	<i>Ophiocytium capitatum</i>
12	*双突角毛藻	<i>Chaetoceros didymus</i>		裸藻门	Euglenophyta
13	*垂缘角毛藻	<i>Chaetoceros laciniatus</i>	51	# 长尾扁裸藻	<i>Phacus longicauda</i>
14	*洛氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>		绿藻门	Chlorophyta
15	*秘鲁角毛藻	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	52	# 锥刺四棘鼓藻	<i>Arthrodesmus subulatus</i>
16	*拟旋链角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	53	# 长拟新月藻	<i>Closteriopsis longissima</i>
17	*皇冠角毛藻	<i>Chaetoceros diadema</i>	54	# 华美十字藻	<i>Crucigenia lauterbornei</i>
18	*星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	55	# 比韦盘星藻	<i>Pediastrum biwae</i>
19	*中心圆筛藻	<i>Coscinodiscus centralis</i>	56	◎斜生栅藻	<i>Scenedesmus obliquus</i>
20	*格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i>	57	◎四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
21	*琼氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus jonesianus</i>	58	# 刚毛弓形藻	<i>Schroederia setigera</i>
22	*辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	59	# 二叉四角藻	<i>Tetraedron bifureatum</i>
23	*威氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus wailesii</i>	60	# 单棘四星藻	<i>Tetrastrum hastiferum</i>
24	*条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i>	61	# 韦氏藻	<i>Westella botryoides</i>
25	*新月筒柱藻	<i>Cylindrotheca closterium</i>	62	# 粗刺微茫藻	<i>Micractinium crassisetum</i>
26	*布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>	63	# 香味网绿藻	<i>Dictyochloris fragrans</i>
27	*短角弯角藻	<i>Eucampia zoodiacus</i>		甲藻门	Pyrrophyta
28	*柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i>	64	*△链状亚历山大藻	<i>Alexandrium catenella</i>
29	*萎软几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i>	65	*叉状角藻	<i>Ceratium furca</i>
30	*斯氏几内亚藻	<i>Guinardia striata</i>	66	*纺锤角藻	<i>Ceratium fusus</i>
31	*北方劳德藻	<i>Lauderia borealis</i>	67	*马西里亚角藻	<i>Ceratium massiliense</i>
32	*丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i>	68	*三角角藻	<i>Ceratium trichoceros</i>
33	*地中海细柱藻	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	69	*三角角藻	<i>Ceratium tripos</i>
34	*念珠直链藻	<i>Melosira moniliformis</i>	70	*△具尾鳍藻	<i>Dinophysis caudata</i>
35	*具槽直链藻(具槽帕拉藻)	<i>Melosira sulcata</i> (= <i>Paralia sulcata</i>)	71	*△米氏凯伦藻(米金裸甲藻)	<i>Karenia mikimotoi</i> (= <i>Gymnodinium mikimotoi</i>)
36	*成列拟菱形藻	<i>Pseudonitzschia seriata</i>	72	*夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i>
37	*○柔弱拟菱形藻	<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	73	*△海洋原甲藻	<i>Prorocentrum micans</i>
38	*○尖刺拟菱形藻	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	74	*叉分原多甲藻	<i>Protoperidinium divergens</i>
39	*翼根管藻(翼鼻状藻)	<i>Rhizosolenia alata</i> (= <i>Proboscia alata</i>)			

注: # 锚地及邻近海域未曾记录的生物; * 赤潮生物; △产毒生物; ○疑似产毒生物; ◎污水生物

所收集的浮游植物和浮游动物的平均丰度分别为 2 934.7 cells/L 和 32 451.4 个/m³。浮游植物以硅藻、绿藻和甲藻为主; 浮游动物以节肢动物, 尤其是小型桡足类(包括幼体)为主。本次调查与以往调查结果相比物种丰富度和丰度都明显较高(表 3)。

2.2 压舱水生物分布与环境的关系

对物种丰富度和个体丰度与船舶(加载或更换的)

压舱水的存留时间(水龄)及温、盐度等环境要素进行相关分析发现, 动、植物总种类数与水龄, 植物丰度与压舱水盐度有较密切的负相关关系(图 1~2)。海上航行时间较短, 且加载或更换近岸水作为压舱水的船舶所携带的生物往往比较多, 换言之, 散货船携带的生物往往比航行时间较长, 有时还在大洋换水的集装箱船丰富, 尤其是浮游植物。随着海上时间的延长, 处在黑暗而且营养条件受限制的压舱水中

表 3 中国有关港口间检出的压舱水生物物种丰富度和丰度比较

Tab. 3 Comparison of species diversity and abundance of organisms found from ballast water among several Chinese ports

调查时间/ 口岸	船数(始发港)/采样方法	外来压舱水生物物种丰富度	外来压舱水生物平均丰度	压舱水理化特点 (水龄, 水温, 盐溶 解氧, pH)	材料 来源
2006-12 ~ 2008-08/东 南沿海港 口	17 艘(东南亚、阿拉伯 海等)/采水 100~200L; 依次经 160、77 和 10μm 三种不同孔径的网过 滤	植物: 7 门 87 属 257 种(含赤 潮种 60 种); 动物: 5 门 30 属 52 种; 福建 沿海和金门一带尚无记录的 12 种	植物: 2 934.7 cells/L; 动物: 32 451.4 个/m ³	2~210d, 16~24.6℃, 盐度 5~38	本调 查
1994-06 ~ 1995-10/香 港	5 艘(亚洲和北美沿岸)/ 定量样品用 80μm 孔径 网自舱底到表拖网; 定 性样品多次拖网(侧重 于动物)	植物: 2 门 6 种; 动物: 11 门至少 62 种(未列 种名录); 实验室幼体培养出 7 种动物(含 3 种为定种, 1 种 外来入侵种)	哲水蚤目: 0~850 个/m ³ ; 剑水蚤目: 0~1 500 个/m ³ ; 猛水蚤目: 0~350 个/m ³	1 天~1 年/24~ 31℃/盐度 29~39/ 4.8~10.7mg/L (DO)	文献 [4]
1996-06 ~ 1997-04/香 港	34 艘(美国奥克兰港)/ 采水 100dm ³ 经 10μm 孔 径网过滤(侧重于植物)	植物: 2 门 107 种(仅列出 15 种有害藻种名录)	植物: 550 cells/L(中途换大洋 水)与 4 235 cells/L(未换水)	20 艘: 16d; 14 艘: 9~17d	文献 [5]
1996-06 ~ 1998-02/香 港	9 艘(墨西哥曼萨尼约 港)/采水 100dm ³ , 取 20dm ³ 水经 10μm 孔径 网过滤(侧重于植物)	植物: 2 门 59 种(中途换水的 53 种; 未换的 34 种)。其时 国内尚无记录的仅 3 种	植物: 436 cells/L (中途换大 洋水)与 838 cells/L(未换水)	21d 左右 / 盐度 32.7~35.6(没换水) 与 34.4~35.8(换 水)	文献 [5]
2002-03 ~ 2003-07 / 宁波港	52 艘(未在公海换水的 国际航行船舶, 不详)/ 采水样(采水量不详) (侧重于植物)	植物: 5 门 48 种; 动物 6 类 18 种(仅列出 14“赤 潮相关种”和 4 种“外洋种”)	植物: 3 500 cells/L; 动物: 1 640 个/m ³ ; “赤潮相关藻种”: 115 个/m ³	—	文献 [7]
2004-03 ~ 2004-05/烟 台港	17 艘(东南亚)/采水 0.5dm ³ (侧重于植物)	植物: 2 门 22 属 31 种, 列出 18 种同期在锚地未出现物种	—	—	文献 [9]
2003-10 ~ 2004-03 / 日照港	23 艘(东南亚)/采水 0.5dm ³	植物: 3 门 41 种, 列出 21 种 同期未在锚地出现的物种	—	—	文献 [10]
2005-04/ 厦门港	4 艘(欧洲, 日本, 中国 台湾两艘)/压舱水及 沉积物(样品量不详, 侧重于植物)	植物: 12 种甲藻及包囊(3 种有毒种)	甲藻及孢囊种类: ≥13 粒 /L(最大密度 5 761 粒/L)	8~18d/16.5~ 23.8℃/盐度 7.5~36/ 0.32~7.75 mg/L ³ / pH7.44~8.46	文献 [8]
2003-09 ~ 2005-10 / 厦门港	23 艘(东南亚、中国国 内和印度洋)/13 艘作 定量分析: /采水 0.1~ 15dm ³ ; 8 艘外轮压舱 水沉积物定性分析(侧 重于植物)	植物: 165 种(其中含 48 种 赤潮藻和 1 种待定新物种; 从沉积物培养出 61 种(含 18 种赤潮藻)	植物: 2 370 cells/L(84.6 ~ 12 548 cells/L)	2~36d/14~34℃/ 盐度 26~40	文献 [11]

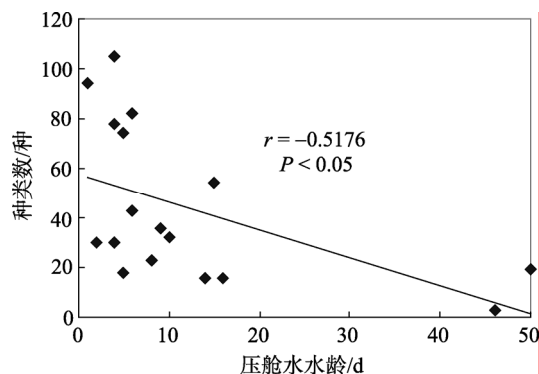


图1 生物物种丰富度与压舱水水龄的关系

Fig. 1 Species diversity of organisms against the age of ballast water

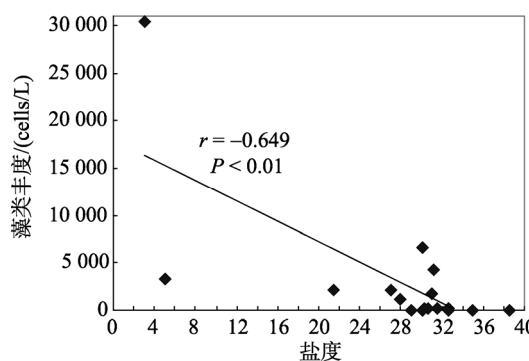


图2 浮游植物丰度与压舱水盐度的关系

Fig. 2 Abundance of the phytoplankton against the salinity of ballast water

的光自养生物无法获得足够的能量和营养补充会逐渐凋亡。以福建口岸为例,经测定 12 艘外轮压舱水植物的存活状况发现,活细胞所占的平均比例为 61%。75%的船舶都可超过 50%。从表 4 可以看到在

活细胞比例小于 50%的 3 艘外轮中,压舱水水龄都较长(15~211 天)。集装箱船压舱水中活细胞所占的比例(平均 51.7%)明显小于散货船压舱水内活细胞所占的比例(平均 78.3%)。

表 4 压舱水 20 μ m 孔径网滤样中活细胞与死亡细胞的组成

Tab. 4 Composition of live and dead cells from ballast water samples filtered with a 20 μ m mesh plankton net

船舶名称	船型	盐度	压舱水水龄(d)	活细胞密度($\times 10^2$ cells/L)	死细胞密度($\times 10^2$ cells/L)	总细胞密度($\times 10^2$ cells/L)	活细胞比例
晋祥	散货船	3.00	5	252.81	42.88	295.69	0.85
金星银海	集装箱船	5.00	10	2.26	0.93	3.19	0.71
南极星	散货船	35.00	8	0.29	0.21	0.50	0.58
芳妮	散货船	28.00	2	9.97	1.42	11.39	0.88
海神	散货船	27.00	5	14.69	3.30	17.99	0.82
地中海露德维卡	集装箱船	31.00	4	12.12	5.87	17.99	0.67
中外运青岛	集装箱船	38.60	14	0.03	0.01	0.05	0.77
达飞马尔斯	集装箱船	32.70	9	1.29	0.95	2.24	0.58
海洋摩尔多瓦	集装箱船	31.60	210	0.30	0.73	1.03	0.29
达飞阿谷拉	集装箱船	32.70	6	0.01	0.01	0.02	0.50
飞达多哥	集装箱船	30.10	6	20.41	43.21	63.62	0.32
远见	集装箱船	21.50	15	6.32	14.96	21.28	0.30

注:活细胞:细胞内叶绿体的体积占细胞总体积的 1/3 以上

3 小结与讨论

(1) 本次调查共检出中国东南沿海口岸 17 艘外轮携带的压舱水生物 309 种,分别隶属于 10 个门类 32 目 117 属的浮游动物、植物。压舱水所含的浮游植物和浮游动物的平均丰度分别为 2 934.7 cells/L(20~160 μ m)和 32 451.4 个/ m^3 (>77 μ m)。东南沿海港口检出的外来压舱水生物多样性之所以高于国内其他相关港口的检出结果主要原因有多方面,采样方法的不同是其中之一。由于目前我国对压舱水生物采样

方法没有统一的操作规程可循,就以往有关调查的采样量而言看来普遍偏少,加上对大量无脊椎动物幼体因种种原因通常没能开展实验室培养和鉴定工作(包括本次调查),因此可以认为外来压舱水生物的物种丰富度和丰度目前被严重低估。

(2) 本调查结果表明,外来散货船由于压舱水通常水龄较短,盐度较低等原因,所携带的生物丰度一般都比集装箱船高,生物(特别是藻类)的存活状况也相对较好,与国外的调查结果^[12]一致。据研究,集装箱船不排放或少排压舱水,有时还在公海换水,

航行时间较长,存活在压舱水及其沉积物中的生物大多为适应能力较强的藻类及其休眠孢子(或包裹);而散杂货轮一般不在公海换水,且排放大量的压舱水进入目的地,海上航行时间短,多为3~10 d,压舱水中含有大量海洋生物,80%物种仍可在目的地存活,因此这些船舶对引入外来物种存在更大风险。但目前国内的多数调查结果是基于集装箱船,忽略了散货船,今后的工作应加强。

(3)从东南沿海相关港口本次调查检出的外来压舱水生物物种的生态属性来看,多数属广布性生物。长期以来,由于种种历史原因,各地海洋生物调查的系统性和连续性都不同程度存在问题,缺少足够的生物学和生物地理学资料,以致中国海域纪录的物种绝大多数无法考证其原产地,目前鉴别外来物种的入侵趋势较为困难^[11, 13]。在外来压舱水动物方面,国内仅香港通过培养幼体发现一种入侵种,这是中国迄今唯一在压舱水里记录到的较为明确的外来入侵动物,即沙筛贝(*Mytilopsis sallei*),其成体与幼体不同,一般是通过附生船底入侵,我国内地在福建最早发现,现已在该省沿海一些半封闭海湾蔓延并造成严重危害^[4, 14],但本次调查没发现;在外来压舱水植物方面,尽管同样也缺乏直接的物种入侵证据,但普遍认为海域有毒有害新藻类的出现以及赤潮的频发现象等与外轮压舱水排放有密切关系^[2, 11, 15~18]。在本次调查的相关港口中仅福建锚地及其邻近海域(包括金门岛一带)历史资料相对丰富^[19~22],经比较研究发现了12种这些海域至今从未被报道过的物种,但其入侵性尚待今后的跟踪观察。此外,本次还检出赤潮生物60种(含产毒种4种,疑似产毒种2种),多数是危害东南沿海海洋生态健康与安全,甚至已造成重大损失的赤潮常见种^[19]。Ruiz^[16]指出,随着赤潮污染在全球范围的加剧,由压舱水携带的外来生物已经成为有毒、有害藻华全球传播的一个最重要途径。笔者认为外来压舱水生物对赤潮频发所起的作用可能有两方面,一是“播种”作用,给锚地带来新的赤潮物种;二是干预和强化作用,缩短了锚地已有物种赤潮的自然形成过程,包括环境胁迫下的物种自然演替过程。

致谢:参加此项工作的还有广西防城渔牧兽医局渔业推广站工程师裴琨、檀宁和梁越等;采样过程得到福建省厦门、

^① 黄宗国等. 中国海洋外来物种和入侵种(手稿),中国海洋局第三海洋研究所,2002.

江阴、福州检验检疫局,广东省湛江海事局监管二处(原危管防污处),广西壮族自治区防城港海事局危管防污科,海南省洋浦出入境检验检疫局和中国检验认证集团海南有限公司等单位的大力支持和帮助。

参考文献:

- [1] Roberts L. Zebra mussel invasion threatens U.S waters[J]. Science, 1990, 249: 1370-1372.
- [2] Hallegraeff G M, Bolch C J. Transport of dinoflagellate cysts in ship's ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture [J]. Journal of Plankton Research, 1992, 14: 1067-1084.
- [3] 全球压舱水管理项目中国国家项目实施小组. 全球更换压舱水管理项目[J]. 交通环保, 2001, 1: 1-4.
- [4] Chu K H, Tam P F, Fung C H, et al. A biological survey of ballast water in container ships entering Hong Kong [J]. Hydrobiologia, 1997, 352: 201-206.
- [5] Zhang Fangzhu, Dickman M. Mid-ocean exchange of container vessel ballast water. 1: Seasonal factors affecting the transport of harmful diatoms and dinoflagellates; 2: effects of vessel type in the transport of diatoms and dinoflagellates from Manzanillo, Mexico, to Hong Kong, China [J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 176: 243-262.
- [6] 朱晓, 邹频, 陈金龙, 等. 远洋船舶水舱藻类污染调查[J]. 预防医学文献信息, 1999, 5(4): 304-306.
- [7] 郑剑宁, 裘炯良, 薛新春. 宁波港入境船舶压舱水中携带浮游生物的调查与分析[J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2006, 6: 358-360.
- [8] 孙美琴. 厦门近岸海域外来甲藻的入侵研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2005: 114.
- [9] 李伟才, 孙军, 宋书群, 等. 烟台港和邻近锚地及其入境船舶压舱水中的浮游植物[J]. 海洋湖沼通报, 2006, 4: 70-77.
- [10] 李伟才, 孙军, 王丹, 等. 日照港和邻近锚地及其入境船舶压舱水中浮游植物群集结构的特征 [J]. 海洋科学, 2006, 30(12): 52-57.
- [11] 邢小丽. 船舶压舱水与沉积物中的微藻类及对厦门港浮游植物群落动态的潜在影响 [D]. 厦门: 厦门大学, 2007: 164.
- [12] Carver C E, Mallet A L. A Preliminary assessment of the risks of ballast water-mediated introduction of non-indigenous phytoplankton and zooplankton species into Nova Scotian waters [R]. [s.l.]: Mallet Research

- Services Ltd, 2000: 51.
- [13] 黄建辉, 韩兴国, 杨亲二, 等. 外来种入侵的生物学与生态学基础的若干问题[J]. 生物多样性, 2003, 11(3): 240-247.
- [14] 黄宗国. 厦门湾物种多样性[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 587.
- [15] Hallegraeff G M, Bolch C J. Transport of dinoflagellate cysts in ship's ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture [J]. Journal of Plankton Research, 1992, 14: 1067-1084.
- [16] Ruiz G M, Carlton J T, Grosholz E D, et al. Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences[J]. American Zoology, 1997, 37: 621-632.
- [17] 齐雨藻. 中国沿海赤潮[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 348.
- [18] 杨清双, 熊焕昌, 陈帆, 等. 赤潮藻经船舶压舱水输入厦门港的风险分析[J]. 检验检疫科学, 2004, 14: 96-99.
- [19] 林更铭, 杨清良. 台湾海峡小型浮游植物的物种多样性和分布特征[J]. 生物多样性, 2007, 15(1): 31-45.
- [20] 钦娜, 王全喜. 福建金门岛的藻类植物[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2006, 35(1): 83-90.
- [21] 张壮丽, 叶孙忠. 福建海区浮游动物种类组成及数量分布特点[J]. 南方水产, 2005, 6: 34-38.
- [22] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布[M]. 增订版. 北京: 海洋出版社, 2008.

Plankton found in ballast waters of foreign ships harboring in ports of Southeast China

YANG Qing-liang¹, CAI Liang-hou², GAO Ya-hui³, SU Zhan², CHEN Chang-ping³, LIN Geng-ming¹, HUANG Mei-zhen², LI Bing-qian^{3, 1}, XIANG Peng¹, XU Cui-ya², ZHENG Hui-dong², LIANG Jun-rong³, XING Xiao-li⁴, FANG Min-jie²

(1. The Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China; 2. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361012, China; 3. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 4. Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China)

Received: Jul., 12, 2009

Key words: ballast water; plankton; alien species; red tide; coast of Southeast China

Abstract: Seventeen foreign ships (including 8 container ships and 9 bulks) entering ports in coast of southeast of China were randomly selected as the monitoring objects. Temperature, salinity, and plankton species diversity and abundance in the ballast waters were measured. At least 309 taxa from seven plant phyla and five animal phyla were found. The distribution characteristics and survival states of organisms were correlated with the age and salinity of ballast waters. Release of ballast water from ships is a major vector for the introduction of exotic aquatic species. Results of this study indicate that the potential risk for organisms invasion from ballast waters discharged from foreign bulk Carriers harboring in coasts of Southeast China should receive greater attention than those from foreign container vessels.

(本文编辑: 张培新)