

国际远洋船舶压舱水中的硅藻研究

张金鹏^{1,2}, 李超¹, 祝跃¹, 罗时龙¹

(1. 厦门大学海洋系, 亚热带海洋研究所, 福建厦门 361005 2 国土资源部广州海洋地质调查局, 广东广州 510760)

摘要: 应用新型压舱水采样器采集了 5 艘进入厦门港的国际远洋船舶 14 个压舱水水样, 通过对样品中硅藻的分析、鉴定, 共发现硅藻 37 属 111 种 (包括变种和休止孢子), 其中赤潮种 28 种, 潜在有毒种 1 种, 非本海域种 6 种: *Stepharopyx is turris* *Chaetoceros convolutus* *C. crinitus* *C. aurivillius* *C. neocompactum*; *C. subsalsum*。各样品中硅藻丰度值在 0.08×10^3 /L ~ 5.96×10^3 /L 之间, 种类数 (已定种) 在 6~36 之间。结合硅藻组成和丰度可以推断压舱水的可能交换地。与前人的研究结果对比反映出压舱水可能导致新的外来有害生物入侵的潜在危害性, 相关职能部门应加强压舱水的监管工作。

关键词: 压舱水; 硅藻; 有害生物; 生物入侵; 厦门港

中图分类号: X832 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2010)04-0464-05

Study on diatom in ballast water of pelagic vessels

ZHANG Jin-peng^{1,2}, LI Chao¹, ZHU Yue¹, LUO Shi-long¹

(1. Department of Oceanography, Institute of Subtropical Oceanography Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Land and Resources Guangzhou 510760, China)

Abstract 14 ballast water samples were collected by a new sampling instrument from five pelagic vessels which have been and clean frequently in Xiamen Harbor. According to analyzing and identifying the species and the abundances of diatom in the samples, 37 genus 111 species diatoms (containing varieties and hypnospor) were discovered, which included 28 kinds of red tidal species, one kind of latent toxic species and 6 kinds of non-native species such as *Stepharopyx is turris* *Chaetoceros convolutus* *C. crinitus* *C. aurivillius* *C. neocompactum*; *C. subsalsum*. The abundances of diatom in each sample ranged from 0.08×10^3 /L to 5.96×10^3 /L, and species numbers (identified species) of them were amongst 6 to 36. Based on the diatoms assembly with abundance, the possible position of ballast water's change can be deduced. The discharge of ballast water may cause the potential hazards of new exotic harmful organism's invasion. The results of comparisons between this investigation and previous studies on ballast water can provide scientific base for the related government departments, so that it should strengthen the management on the ballast water.

Key words ballast water; diatom; harmful organism; biological invasion; Xiamen Harbor

随着与世界经贸联系的增强, 厦门港海运贸易量剧增, 已跻身世界大港行列^[1]。自压舱水排放申报制度实施以来每年登记排放的压舱水量在 20 万吨左右, 此外还有大量的压舱水在港排放而没有申报和记录^[2]。近年厦门赤潮越来越频繁, 1986~2007 年间共发生赤潮 46 次^[3,4], 其中在厦门港货物吞吐量和集装箱吞吐量剧增的 2002 到 2007 年发生了 30 次赤潮, 而且于 2007 年 1 月也发生了持续 10 d 的冬季赤潮^[5]。厦门海域赤潮的发生是

否与压舱水的排放有关? 压舱水的排放是否能引起海洋生物体的入侵危害? 相关职能部门如何有效的加强压舱水的管理? 这些问题都需要更为深入的研究。

本文选取停泊在厦门港的国际远洋船舶的压舱水为研究目标, 进行藻类分析鉴定, 并与厦门海域水体中的藻类及前人的研究结果加以对比, 探讨远洋船舶压舱水所携带的藻类引起有害生物的传播和形成生物入侵的可能性以及对厦门海域生态环境的潜在危害, 并为国家相关

收稿日期: 2008-10-07 修订日期: 2008-12-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40306018); 国家科技支撑项目 (2006BAC11B04)

作者简介: 张金鹏 (1983-), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 从事微体古生物和海洋环境变化的学习与研究, E-mail: jinpengabc123@yahua.com.cn

通讯作者: 李超 (1970-), 男, 安徽人, 副教授, 从事微体古生物和海洋环境变迁的科研与教学, E-mail: lichaoxm@sina.com

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

职能部分加强对船舶压舱水的监管工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

2007年 10~12月,在厦门海天码头对经常进出本港口、并在港排水的国际货轮中的 5 艘(A 船“Santanki”为日本—澳洲航线、B 船“东方曼谷”、C 船“宏程”为东亚—东南亚航线、D 船“Petrohue”为欧洲—东亚航线、E 船“SARA”为亚洲航线)经进登轮采样。采用已获专利的压舱水采样器^[15]采集了 14 个水舱的水样(A 船 4 个水舱, B 船 1 个水舱, C 船 2 个水舱, D 船 4 个水舱, E 船 3 个水舱),样品采集量 5~20 L 不等。

现场用孔径 15 μL 的绢筛过滤,将其中一半的滤液转入聚乙烯瓶中用鲁哥氏液固定,带回实验室再做洗涤、浓缩处理用以分析鉴定,另一半不固定直接带回实验室用以培养实验(注:另发文)。

1.2 鉴定分析方法

将最终处理而获得的固定藻样在尼康 E400 生物显微镜下进行硅藻形态分类鉴定和定量统计工作,每个样品至少观察 200 粒硅藻细胞,不足者则统计 6 张 18 mm × 18 mm 标准片。

2 结果与讨论

2.1 样品中硅藻属种组成

从样品中分析鉴定出硅藻 37 属 111 种(包括变种和一种休止孢子)和未定种 42 种。硅藻分类鉴定参照文献^[7-12]。其中,中心纲种类占绝对优势,为 25 属,95 种和 38 不定种。中心纲的圆筛藻属(*Coscinodiscus*)和角毛藻属(*Chaetoceros*)种类最多分别有 26 种和 21 种。各样品中硅藻丰度值在 80~5964/L 之间,种类数(已定种)在 6~36 之间。

样品中硅藻多为海水种和半咸水种,如:蛇目圆筛藻(*Coscinodiscus argus*)、弓束圆筛藻(*C. curvatus*)、辐射列圆筛藻(*C. radiatus*)、线性圆筛藻(*C. lineatus*)、细弱圆筛藻(*C. subtilis*)、中心圆筛藻(*C. centralis*)、星脐圆筛藻(*C. asteromhalus*)、离心列海链藻(*Thalassira excentric*)、角毛藻等。同时,温带种和暖水种居多占 99% 以上,冷水种较少。而且近岸种远多于大洋种。浮游性种所占的比例较大,浮游种 83 种(包括生态习性为底栖但能浮游生活的种)与底栖种 28 种的比例约为 3:1。各个水舱中主要硅藻种类(比例大于 8%)丰度状况见图(1)。从船方收集到的资料显示所调查的压舱水水龄时间在 1 d 到 50 d 左右,其中多个样品,如 A2 A4 B1 D1 D2 D3 D4 E1、E2、E3 在鉴定分析时仍然可见大量的硅藻细胞含有色素体。

2.2 样品中赤潮藻属种

样品中硅藻门赤潮生物 17 属 28 种,其中中国近海赤潮生物 26 种^[13],中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、尖刺拟菱形藻、菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)、洛

氏角毛藻(*C. lorenzianus*)、柔弱角毛藻(*C. affinis*)、窄隙角毛藻等是厦门海域近 30 年 40 多次赤潮事件中的重要种类;钟形中鼓藻、大洋新具槽藻(*Neodephneis pelagica Taliano*)则是日本赤潮生物^[12]。这些赤潮藻在 14 个水样中出现的总次数及丰度状况见表 1。

表 1 压舱水中硅藻门赤潮藻及其丰度

Tah 1 Red-tide organism of diatoms and their abundances in ballast water

赤潮生物	总出现次数	丰度(粒/L)
<i>Bacillaria paxillifer</i>	2	40~50
<i>Bellerophon horologialis</i>	2	62~79
<i>Biddulphia sinensis</i>	3	18~30
<i>Cerataulina bergonii</i>	2	20~25
<i>Chaetoceros affinis</i>	4	10~91
<i>C. debilis</i>	2	10~21
<i>C. dilymus</i>	1	30
<i>C. lorenzianus</i>	4	7~90
<i>C. peruvianus</i>	3	10~109
<i>C. pseudoaurisetus</i>	3	10~120
<i>Coscinodiscus asteromhalus</i>	4	4.2~42.3
<i>C. centralis</i>	4	29~229
<i>C. jonestanus</i>	6	4~81
<i>C. perforatus</i>	1	30
<i>C. radiatus</i>	12	5~254
<i>Cyclotella striata</i>	4	10~50
<i>Ditylum brightwellii</i>	8	8~73
<i>Lepocylindrus danicus</i>	3	20~29
<i>Neodephneis pelagica</i>	1	10
<i>Pseudo-nitzschia pungens*</i>	1	53
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	1	10
<i>R. delicatula</i>	2	20~62
<i>R. stouterforthii</i>	2	3~4
<i>S. costatum</i>	2	27~30
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	2	7~90
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	2	36~71
<i>Thalassira pacific</i>	1	40
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	2	55~71

注:* 示潜在有毒种

2.3 样品中非本土种种类

在已鉴定命名的硅藻中,发现有非厦门海域的硅藻 6 种,分别是:塔形盖冠藻 *S. turris*,在 A1 A2 E1 中出现,丰度在 29~90/L 之间;扭角毛藻 *C. convolutus* 为低温高盐外洋北方北极种,在 A2 中出现,丰度为 42/L;发状角毛藻 *C. crinitus* 为温带近岸性种,在 D1 E2 中,丰度为 7/L 和 30/L;金色角毛藻 *C. aurivillius* 热带外海浮游种性种,在 A2 中被检测到,为 41/L;新紧密角毛藻 *C. neocompactum* 为热带外洋种,在 E3 A4 中为 18~49/L;亚盐角毛藻 *Ch. subsalsum* 为热带近岸浮游种,出现在三个样品中,丰度在 11~129/L 之间。塔形盖冠藻,据中国海藻志记载它从未在长江口以南的海域见到^[16],在较新的相关文献资料和 20 世纪 90 年代福建海岛调查及 1953 年金德祥厦门硅藻调查^[14-18]中都没有出现,而在 2004 邢小丽厦门港浮游植物调查中却有记录^[19]。鉴于其个体大容易识辨,

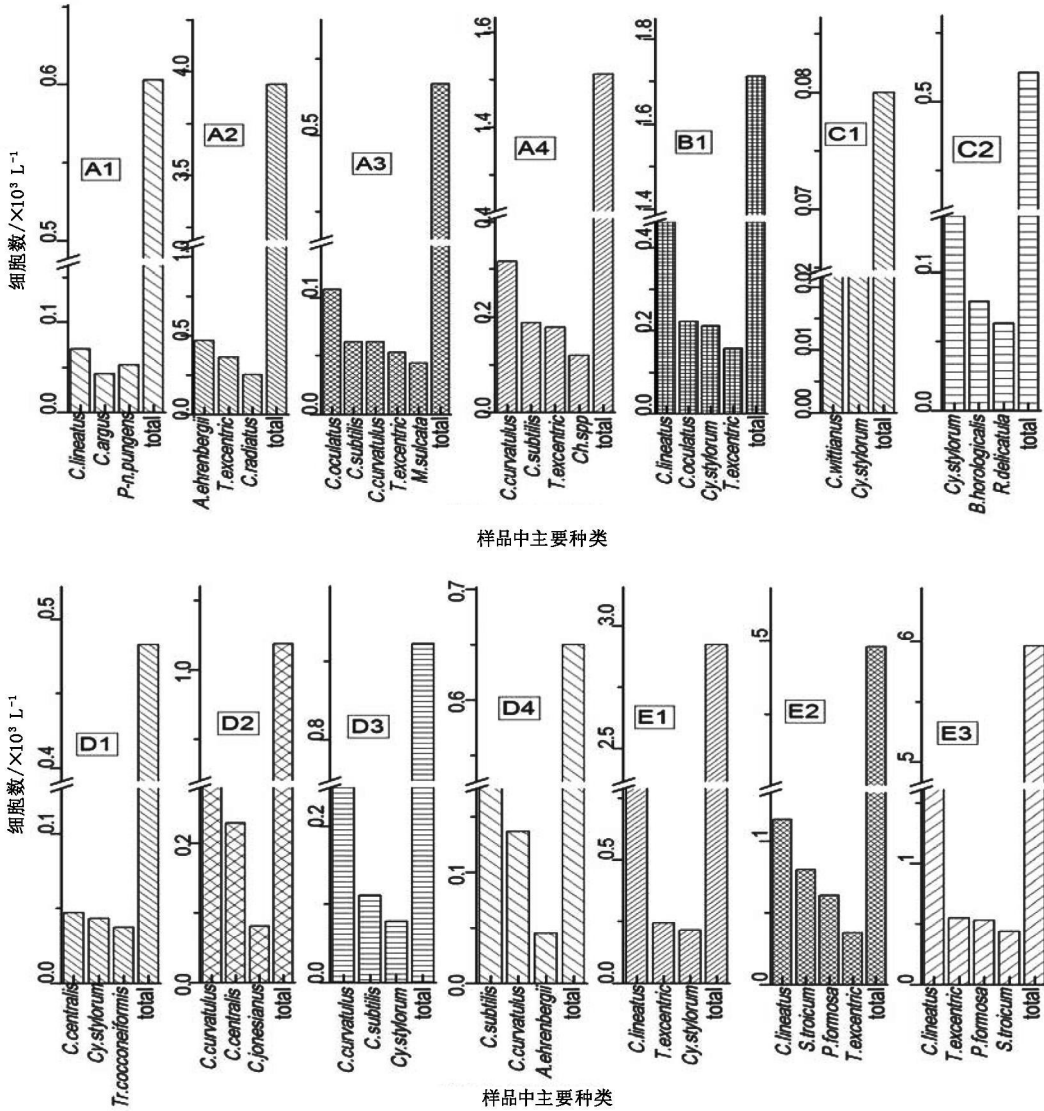


图 1 样品总硅藻丰度及其主要硅藻种类的丰度

Fig 2 Abundances of each sample's diatoms and main diatom species

注: *Actinocyclus ehrenbergii* 爱氏辐环藻, *Bellerophoea horologicalis* 钟形中鼓藻, *Chaetoceros* sp. 角毛藻, *Coscinodiscus jonesianus* 琼氏圆筛藻, *C. oculatus* 小眼圆筛藻, *C. wittianus* 维底圆筛藻, *Cyclotella stylonum* 柱状小环藻, *Melosira sukata* 具槽直链藻, *P. lanktoniella formosa* 美丽漂流藻, *Pseudo-nitzschia pungens* 尖刺拟菱形藻, *Rhizosolenia delicatula* 柔弱根管藻, *Skeletonema troicum* 热带骨条藻, *Tryblionella cocconeiformis* 卵形褶盘藻; total 为样品的总硅藻种类; A1~E3 为水舱及样品编号。

如果在海域中长期存在那么在多次调查时是不会被漏掉的, 因此认为它是为厦门本土种。后 5 种硅藻在最近的相关文献资料、20 世纪 90 年代福建海岛调查及 1953 年金德祥厦门硅藻调查中都没有记录^[14-18]。

此外, 在未定名的 42 种硅藻中除一部分因在镜下难以分辨外, 另有一部分因资料不全而难以定名。不定种中有 14 种是角毛藻属, 6 种为圆筛藻属, 4 种为盒形藻属, 4 种为根管藻属, 5 种为菱形藻属, 3 种为海链藻属, 2 种为三角藻属, 还有斜纹藻属等。

2.4 样品中硅藻种类、丰度与水龄、水源地关系的探讨

样品中硅藻平均丰度为 1.85×10^3 /L, 平均种类 23 种。在已知水龄的样品中, 平均水龄 27 d 左右, 硅藻平均

丰度为 1.78×10^3 /L; E3 水龄短仅为 1.5 d 取自汕头, 硅藻 33 种, 丰度 5.96×10^3 /L; C2 水龄长, 为 56 d 采样时发现水体较清澈而底泥多为铁锈、漆皮, 含硅藻 6 种, 丰度 0.08×10^3 /L。其它未知水龄的样品硅藻种类在 15~35 之间, 丰度介于 $(0.58 \sim 3.94) \times 10^3$ /L 之间。硅藻属种含量及其丰度随水龄增加而减少的趋势与美国军事海运指挥部 (Military Sealift Command, MSC) 和海运管理局 (Maritime Administration, MARAD) 利用军舰做的压舱水试验结果基本相符^[20]。

但是 D2 水舱水记录为取自比利时安特卫普中途在印度洋换水, 到达厦门港时水龄为 15 d (按印度洋换水时间计), 水体中硅藻种类虽只有 16 种但是丰度为 $1.04 \times$

10^3 /L, 大于同船另外三个水舱样品的硅藻丰度 0.92×10^3 /L (水龄 2 d)、 0.65×10^3 /L (水龄 3 d)、 0.483×10^3 /L (水龄 3 d), 其原因还需进一步探讨。D2 水样中藻体细胞中色素体的大量存在, 表明这些藻类进入黑暗的水舱环境后可以存活一段时间。研究表明, 许多硅藻包括无休眠行为的硅藻可以在持续的黑暗条件下存活较长的时间^[20-24], 而且压舱水水龄小于 30 d 时藻类属种分异度和丰度变化较大^[20]。因此, D2 样品中硅藻种类和丰度值异常也属正常范围。

E 船 2 个样品 (E2、E3) 水龄短含硅藻种类和数量都较多, 分别达 36 和 33 种 (已定种), 丰度为 4.10×10^3 /L 和 5.96×10^3 /L, 记录水源地为深圳赤湾和汕头。其丰度远大于其它样品的硅藻丰度。其中热带、亚热带暖海性硅藻较多, 丰度值大, 如美丽漂流藻、掌形盖冠藻、热带骨条藻、拟旋链角毛藻 (*C. pseudocum isetus*)、布氏双尾藻等。水源地与硅藻组成有很好的对应关系, 说明在水龄较短的水舱中, 可以依据水舱中硅藻组成及丰度反推压舱水可能的交换地, 即, 硅藻组成和丰度可作为压舱水交换地离岸远近的判别指标。

2.5 与厦门海域水体中的硅藻属种、丰度对比

鉴于近年来国际远洋船舶在厦门港口进行压舱水排放, 这对厦门海域水体中藻类组成会产生影响, 故选取历史调查资料为对比依据。

检测到的硅藻种类繁多, 厦门海域常见的种类在压舱水中基本上都有出现, 只是丰度和所占比重存在差异。样品中羽纹纲硅藻种类和数量少, 中心纲的圆筛藻属种类和数量多。发现样品中具槽直链藻 (除在 6 个样中未发现本种之外) 含量较小从 4 ~ 70/L 不等, 所占比重均在 0.01% 以下; 仅在 2 个样品中见到中肋骨条藻, 其丰度和所占比重也不大分别为 27/L、30/L, 0.055%、0.049%; E 船三个样品 (E2、E3、E4) 中热带骨条藻较多, 其丰度和所占比重分别为 436.4/L、0.073%、800/L、0.161%、114.3/L、0.044%; 9 个样品中有角毛藻出现, 其中 4 个样品 (A4、E1、E2、E3) 的角毛藻数量超过其样品中硅藻数量的 10%。

参照相关新近文献资料和 1990~1996 年海岛调查数据^[14-19], 发现压舱水硅藻属种组成和丰度状况与厦门港秋冬时节 (9~12 月) 硅藻丰度约在 $4 \times 10^3 \sim 70 \times 10^3$ /L 之间, 中肋骨条藻、尖刺拟菱形藻, 具槽直链藻、条纹小环藻、角毛藻数量较多的情况差异较大。

2.6 与本港和国内其它港口压舱水硅藻研究结果对比

本次调查的压舱水样均含有硅藻, 个别水舱硅藻含量颇高, 赤潮种多。这与厦门港检验检疫局 2003 年所获得的压舱水样品大不相同, 后者 18 个水样中仅 5 个含藻类和两种硅藻赤潮种——中肋骨条藻与尖刺拟菱形藻^[2]。随后 2003~2005 年邢小丽对本港 13 艘外来船舶 31 份压舱水样进行研究, 共鉴定出 45 属 146 种硅藻 (含变种), 其中角毛藻属 16 种, 圆筛藻属 13 种, 洛氏角毛藻

(3.75×10^3 /L)、扁面角毛藻 *C. compressus* (1.21×10^3 /L)、中肋骨条藻 (1.13×10^3 /L) 出现几率大、丰度值大, 硅藻门赤潮种 35 种^[19]。

本调查所发现的圆筛藻属和角毛藻属数量大 (21 种和 16 种), 弓束圆筛藻、蛇目圆筛藻、辐射列圆筛藻、线性圆筛藻等是丰度、出现几率大的种类, 分别在总样品中出现 7 次、10 次、12 次、7 次, 最大丰度 0.45×10^3 /L、 0.15×10^3 /L、 0.25×10^3 /L、 2.09×10^3 /L; 而洛氏角毛藻 (出现 4 次)、中肋骨条藻 (出现 2 次) 并不是优势种, 也未检测到扁面角毛藻; 赤潮种数量小于邢小丽调查数据, 大部分在其调查中有记录, 而钟形中鼓藻、大洋新具槽藻则是本次发现的赤潮种。

湛江港、宁波港、日照港、烟台港等在 2001~2004 年间报道有压舱水藻类研究工作。这些港口所采集的压舱水样品多, 具有较好的代表性。分析出的硅藻属种数差异较大, 在湛江港分析出 19 种, 宁波港分析出 38 种, 日照港 36 种, 烟台 20 种^[24-27], 数量明显低于本调查结果。上述四个港口所发现的硅藻门赤潮生物, 依次为: 7 种、14 种、17 种、7 种^[24-27]。在种类数上都小于本次调查所发现的硅藻门赤潮种。在这些被检测到的赤潮生物中, 中肋骨条藻、菱形海线藻、窄隙角毛藻、洛氏角毛藻、佛氏海毛藻等都是厦门、湛江、日照、烟台、宁波港船舶压舱水中出现几率较大的赤潮生物。

在一定程度上, 本调查应用优良的采样方式使得虽然压舱水样品少, 但被检测到的硅藻种类要接近或多于以前的研究结果。如果排开取样方式、季节上的差异, 可以发现进入厦门港的远洋船舶携带的硅藻种类多、数量大, 赤潮生物丰富。某种程度上说明随着时间的推移, 贸易量的增加, 未经处理的压舱水所携带的生物种类及数量可能在增加; 也说明在评价压舱水时需要重新审视其中所携带的藻类种类及数量, 尤其是在厦门港的压舱水检测及管理上需要提高警惕。

2.7 赤潮藻与非本地种的危害探讨

本次检测到的赤潮藻较多, 某些种类丰度较大, 如辐射列圆筛藻达 0.25×10^3 /L。在厦门港富营养化的背景下^[4], 一些活体和能以孢子形态而存活的赤潮生物随水排放到厦门海域, 对厦门海域赤潮的引发存在极大的潜在危害。尤其是要对广温广盐性及温带暖海性硅藻门赤潮生物加以密切关注。

发现非厦门海域的硅藻 6 种, 这些外来种是温带、热带近岸或外洋性种, 理论上在南亚热带气候的厦门海域应该不会大量繁殖存活下来。但是, 需进一步的调查观察以明确其生存、繁衍和入侵的可能性。

3 结论

(1) 应用新型压舱水采样器采样并检测出硅藻 37 属 111 种 (包括变种和一个休止孢子) 和未定种 42 种, 其中为赤潮种多达 17 属 28 种, 并发现潜在产毒素的赤潮藻

尖刺拟菱形藻。

(2)发现非厦门海域的硅藻 6 种,分别是 *S. turris*, 丰度在 29~ 90 /L 之间; *C. convolutus*, 达 42 /L; *C. crinitus* 丰度在 7~ 30 /L 之间; *C. aurivillius*, 达 41 /L; *C. neocompactum*, 丰度在 18 ~ 49 /L 之间; *C. subsalsum*, 丰度在 11~ 129 /L 之间。

(3)样品中硅藻以圆筛藻属的辐射列圆筛藻、蛇目圆筛藻、弓束圆筛藻、线性圆筛藻、细弱圆筛藻、中心圆筛藻和角毛藻属种为主要成分,不同于厦门港历史同时段的主要硅藻组成。在水龄较短的压舱水体中,硅藻组成和丰度与压舱水交换地对应关系较好。因此硅藻组成和丰度可以作为判别压舱水交换地离岸远近的指标。

(4)通过与厦门港和国内其它港口压舱水研究结果对比,发现较少的样品即检测出较多的硅藻种类,并发现了出有毒有害种,反映出压舱水排放可引发较为严重的海洋环境问题。因此,需要加强对国际远洋船舶压舱水排放的监管工作,以减少外来海洋生物入侵造成的危害。

致谢:感谢厦门市出入境边防检查站、厦门海关、海天码头等单位对本项目科研人员过境及采样上的支持;感谢王蒙光、郑强、陈闯协同登轮采集样品;感谢孙美琴博士在硅藻鉴定上的帮助。

参考文献:

[1] 厦门经济特区年鉴编委会. 厦门经济特区年鉴 2006 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2007. 3-11.

[2] 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 (增刊): 96-99.

[3] 高亚辉, 邢小丽, 梁君荣, 等. 福建沿海赤潮生物研究综述 [A]. 南中国海红潮预防和管理 [C]. 香港: 南海中国海赤潮学会出版, 2003. 21-31.

[4] 厦门市海洋与渔业局. 2001~ 2007 年厦门市海洋环境质量公报 [R]. 厦门: 厦门市海洋与渔业局, 2002-2008.

[5] 厦门市海洋与渔业局. 厦门海域冬季赤潮发生情况通报 [J]. 厦门海洋与渔业信息, 2007, 94 (4): 2-3.

[6] 李超. 船舶压舱水和沉积物采集器 [P]. 中国专利, ZL200510075601 X, 2008. 2. 27.

[7] 郭玉洁, 钱树本. 中国海藻志 (第五卷) 硅藻门 (第一册) 中心纲 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[8] 金德祥, 陈金环, 黄凯歌. 中国海洋浮游硅藻类 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1965.

[9] 金德祥, 程兆第, 林均民, 等. 中国海洋底栖硅藻类 (上卷) [M]. 北京: 海洋出版社, 1982. 17-236.

[10] 金德祥, 程兆第, 刘师成, 等. 中国海洋底栖硅藻类 (下卷) [M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 5-246.

[11] 程兆第, 高亚辉, 刘师成. 福建沿岸微型硅藻 [M]. 北京: 海洋出版社, 1993. 1-55.

[12] 福代康夫, 高野秀昭, 千原光雄, 等. 日本の赤潮生物一写真と解説 [M]. 东京: 内田老鹤圃. 1990. 162-331.

[13] 郭皓. 中国近海赤潮生物图谱 [M]. 北京: 海洋出版社, 2004. 33-62.

[14] 金德祥. 厦门港 1954 年浮游生物的定量调查 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 1955, 5: 17-30.

[15] 李雅琴, 程兆第, 金德祥. 浮游硅藻生态的研究 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 1990, 29 (3): 358-360.

[16] 林金美. 厦门西海域浮游植物的生态 [J]. 台湾海峡, 1991, 10 (4): 345-350.

[17] 张水浸. 厦门港赤潮发生区浮游植物的生态特征 [A]. 厦门港赤潮调查论文集 [C]. 北京: 海洋出版社, 1993. 29-37.

[18] 福建省海岛资源综合调委会. 福建省海岛资源综合调查报告 [R]. 北京: 海洋出版社, 1996. 638-645.

[19] 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. 33-39.

[20] BURKHOLDER J A M, HALLEGRAEFF G M, MELIA G, et al. Phytoplankton and bacterial assemblages in ballast water of U. S military ships as a function of port of origin, voyage time and ocean exchange practices [J]. Harmful Algae, 2007, 6: 486-518.

[21] SMAYDA T J M, MITCHELL-NNES B. Dark survival of species transported in ships ballast waters: the risk to Canada's marine resources [J]. Marine Ecology Progress Series, 1998. 168. 297-309.

[22] LEWIS J HARRIS S D, JONES K J et al. Long-term survival of marine plankton diatoms and dinoflagellates in stored sediment samples [J]. Journal of Plankton Research, 1999. 21 (2): 343-354.

[23] MENGELT, C, BB PRÉZELIN. Dark Survival and Subsequent Light Recovery for Pseudo-nitzschia multiseriata [A]. Harmful Algae 2002 [C]. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, 2004. 388-391.

[24] 王爱民, 许炳芬, 陈宗辉, 等. 国际航行船舶压舱水外来有害生物研究 [J]. 检验检疫科学, 2007, 17 (03): 9-11.

[25] 郑剑宁, 袁炯良, 尤明传, 等. 宁波口岸国际航行船舶压舱水携带浮游水生物的调查 [J]. 中华流行病学杂志, 2005. 26 (12): 942-943.

[26] 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落结构的特征 [J]. 海洋科学, 2006. 30 (12): 52-57.

[27] 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. 70-76.