

文章编号: 1674-5566(2018)03-0380-06

DOI:10.12024/j.sou.20180210007

中国近岸海域船舶压载水浮游植物特征分析

叶海新^{1,2}, 刘 亮^{1,2}, 李金杰^{1,2}, 薛俊增^{1,2}

(1. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 港航生态安全研究中心, 上海 201306)

摘 要: 船舶压载水作为不同海域之间浮游植物传播的重要途径, 可能会引发一系列生态风险。2015 年 4 月到 2016 年 7 月选取停靠在上海洋山港且上一压载地为中国近岸海域的 6 艘船舶, 分析船舶压载水浮游植物。共采集到浮游植物 3 门 22 种, 包括硅藻门 17 种、甲藻门 4 种、金藻门 1 种, 优势种为硅藻。其中渤海海域压载水浮游植物 2 门 5 种, 包括硅藻门 4 种、甲藻门 1 种, 丰度为 9.66×10^2 cells/L; 黄海海域 3 门 10 种, 包括硅藻门 7 种、甲藻门 2 种、金藻门 1 种, 丰度为 8.955×10^2 cells/L; 东海海域 2 门 4 种包括硅藻门 3 种、金藻门 1 种, 丰度为 6.83×10^2 cells/L; 南海海域 2 门 11 种包括硅藻门 6 种、甲藻门 5 种, 丰度为 22.915×10^2 cells/L。调查发现到港船舶压载水中浮游植物与其压载地的浮游植物间存在差异, 压载水中浮游植物种类组成可能受压载地当地受气团、季节等因素影响。压载水中少量物种为传入其他海区的外来物种或其它海区的赤潮种。

关键词: 中国海域; 船舶压载水; 浮游植物

中图分类号: Q 89; S 917 **文献标志码:** A

压载水系指在船舶航行过程中, 控制船舶纵倾、横倾、吃水、稳定或应力而在船上加装的水及其悬浮物^[1]。随着现代航运的不断发展, 海运作为重要的运输方式运输了全球贸易中约 80% 的货物, 随着船舶在不同海域之间的航行, 每年有 100 亿吨压载水在全球范围内人为转移, 这些压载水中每天生存着 7 000 种海洋浮游生物^[2]。船舶压载水作为浮游生物随船传播到其他海区的媒介, 能够使不同海区生物突破空间位置限制。这些浮游生物从压载舱排放到海域后, 会影响和改变当地海域的生态系统, 国际海事组织已于 2004 年通过了《国际船舶压载水及其沉积物控制和管理公约》, 该公约于 2017 年 9 月 8 日生效。已有研究主要关注世界范围内不同国家之间跨海域航行过程中由压载水传播的浮游植物以及可能引发的生态风险^[3-6], 对同一国家、不同海域浮游植物传播的关注较少, 我国海区间压载水途径的浮游植物跨海域传播研究尚未有报道。

海洋浮游植物是海洋生态系统中初级生产者, 我国四大海区受气团、洋流、入海径流等多种因素影响^[7-10], 生态环境各异, 浮游植物区系组成各有特点。渤海入海河流较多, 盐度明显偏低, 浮游植物区系特点以适低盐的近岸种、温带种和广布种为主^[8]。黄海浮游植物种类组成的生态特点突出温带海域特点, 浮游植物群落结构以温带近岸和广布性种为主, 有少量的高盐外海性种和暖水性种^[8-9]。东海海域受台湾暖流、黑潮和沿岸水系的影响, 水团分布存在着明显的季节差异, 浮游植物生态类群以广布种、暖水种和暖温带种为主^[10]。南海浮游植物以热带暖水性类群和广布性类群为优势种, 表现为热带亚热带区系性质^[11]。

洋山港是全球第一大集装箱港口, 每年有近 9 800 艘船舶停泊, 压载水的排放给洋山港海域带来了巨大的潜在生态风险^[12-13], 其中部分船舶来源于我国其它海区港口, 携带了中国沿岸其它

收稿日期: 2018-02-15 修回日期: 2018-04-03

基金项目: 上海市科委科研项目(17DZ1202905); 上海市科委研发平台专项(16DZ2293800); 上海市自然科学基金(15ZR1420900); 海洋工程装备检测试验技术国家工程实验室建设项目[沪发改高技(2016)99号]

作者简介: 叶海新(1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为生态学。E-mail: 23737843314@qq.com

通信作者: 薛俊增, E-mail: jzxue@shou.edu.cn

海域的压载水,因而有可能随着压载水的排放,导致我国海洋浮游植物跨海区传播。本文选取压载于我国各海区的船舶,分析不同海区生态环境条件下压载水浮游植物特征,探讨压载水途径浮游植物跨海区转移的特点,为洋山港国内跨海区浮游植物的入侵防控和港口海域生态系统保护提供基础。

1 材料与方法

2015 年 4 月到 2016 年 7 月共选取停靠于上海洋山港且上一压载地为中国近岸其他地区的 6

艘船进行压载水样品采集分析,其中来自渤海和东海的船只各 1 艘(CPTJ 和 CM),来自黄海和南海各 2 艘(CPQD、OS 和 NYK、CS)。3 月到 5 月采集的样品为春季样品,共 3 份;6 月到 8 月采集的样品为夏季样品,共 1 份;9 月到 11 月采集的样品为秋季样品共 4 份。6 艘采样船舶压载水水样分别压载于渤海、黄海、东海、南海四大海域。样品的船名、航线、水龄等信息均通过各船舶压载水航行记录获得。各船舶上一压载地分布情况见图 1。采样船舶相关信息见表 1。

表 1 船舶信息

Tab. 1 Ship information

船舶名称 Name of ships	编号 No.	采样时间 Sampling time	采样舱 sampling cabin	水龄/d Water age	压载地 Ballast area
COSCO PACIFIC	CPQD	2015. 04. 14	NO. 3	27	青岛
COSCO PACIFIC	CPQD	2015. 04. 14	NO. 6	27	青岛
NYK	NYK	2015. 04. 17	NO. 1	5	香港
CSCL STAR	CS	2016. 07. 06	NO. 4	7	深圳
OOCL SEOUL	OS	2015. 09. 18	No. 6	8	青岛
OOCL SEOUL	OS	2015. 09. 18	No. 7	9	青岛
COSCO PACIFIC	CPTJ	2015. 10. 13	NO. 6	10	天津
CSCL MANZANILLO	CM	2016. 10. 21	NO. 4	11	28 - 29. 8N 122 - 32. 0E

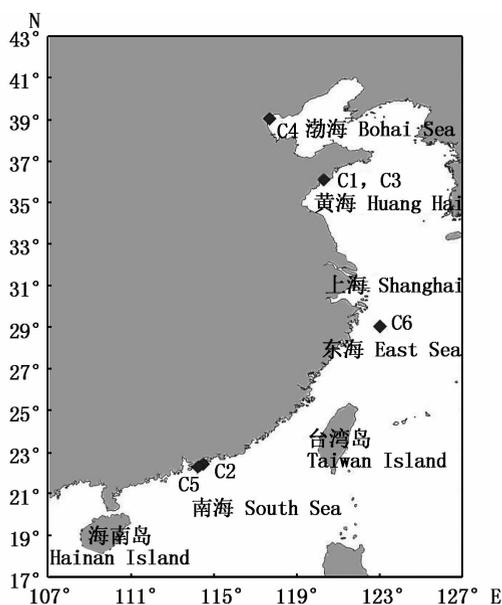


图 1 压载地示意图

Fig. 1 The loading sites of ballast water

C1. 青岛(CPQD); C2. 香港; C3. 青岛(OS); C4. 天津; C5. 深圳; C6. 28.0 - 29.8N, 122.0 - 32.0E

C1. Qingdao (CPQD); C2. Hong Kong; C3. Qingdao (OS); C4. Tianjin; C5. Shenzhen; C6. 28.0 - 29.8N, 122.0 - 132.0E

通过人孔进入压载水仓进行样品采集。使用 10 L 有机玻璃采水器进行浮游植物样品采集,经过 10 μ m 浮游生物网后收集滤样于 50 mL 采样瓶中,鲁哥氏液固定,静置沉淀,浓缩并定容至 50 mL,取 0.1 mL 通过上述处理的样品,移到浮游植物计数框内,对其进行种类鉴定及计数,每个样品重复鉴定 9 片。

种类鉴定参考《中国海洋浮游生物图谱》和《海洋浮游藻类图谱》等。

2 结果与分析

2.1 种类组成

分析 6 艘船舶压载水样品,共采集到浮游植物 22 种,其中硅藻门 17 种,甲藻门 4 种,金藻门 1 种,优势种为硅藻。

压载于不同海区的船舶压载水浮游植物种类组成差异明显(表 2)。压载于渤海海域 CPTJ 的船舶压载水中采集到浮游植物 2 门 5 种,包括硅藻门 4 种、甲藻门 1 种,优势种为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)。压载于黄海海域的船舶

压载水中采集到浮游植物 3 门 10 种,包括硅藻门 7 种、甲藻门 2 种、金藻门 1 种,优势种为条纹小环藻(*Cyclotella striata*);其中 CPQD 船采集到 7 种,包括硅藻 5 种,甲藻 1 种,金藻 1 种;OS 船采集到 5 种,其中包括硅藻 3 种,甲藻 2 种。压载于东海海域的 CM 船舶压载水中采集到浮游植物 2 门 5 种,包括硅藻门 4 种、金藻门 1 种,优势种为

等鞭金藻(*Isochrysis* sp.);压载于南海海域的船舶压载水中采集到浮游植物 2 门 11 种,包括硅藻门 6 种、甲藻门 5 种,优势种为优势种为具槽直链藻(*Paralia sulcata*),其中 NYK 采集到 5 种,包括硅藻门 3 种,甲藻门 2 种;CS 采集到 6 种,包括硅藻门 3 种,甲藻门 3 种。

表 2 船舶压载水中浮游植物种类组成

Tab. 2 The species of phytoplankton in ballast water in the ships

分类地位 Taxonomy	种类 Species	渤海		黄海		东海		南海	
		CPTJ	CPQD	OS	CM	NYK	CS		
硅藻门 Bacillariophyta	海洋角毛藻 <i>Chaetoceros pelagicus</i>	+	+	+					
	亚盐角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> var.							+	
	中肋角毛藻 <i>Chaetoceros costatus</i>	+							
	劳氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>							+	
	彩虹圆筛藻 <i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>								+
	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.		+		+				
	条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i>		+		+				
	脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.				+				
	念珠直链藻 <i>Melosira moniliformis</i>								+
	具槽直链藻 <i>Paralia sulcata</i>							+	
	舟形藻(25um) <i>Navicula</i> sp.			+	+				
	海洋曲舟藻 <i>Pleurosigma pelagicum</i>		+						
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	+							+
	针杆藻(15um) <i>Synedra</i> sp.	+		+					
菱形海线藻小形变种 <i>Thalassionema nitzschioides</i>		+							
甲藻门 <i>Dinoflagellate</i>	矮胖角藻 <i>Ceratium</i> sp.							+	
	三角角藻 <i>Ceratium tripos</i>								+
	具尾鳍藻 <i>Dinophysis caudata</i>		+	+				+	
	多甲藻 <i>Peridinium</i> sp.	+		+					
	原甲藻 <i>Prorocentrum</i> sp.								+
海洋原甲藻 <i>Prorocentrum micans</i>								+	
金藻门 Haptophyta	等鞭金藻 <i>Isochrysis</i> sp.		+		+				

2.2 丰度

压载于不同海区的压载水浮游植物丰度差异明显。渤海海域 CPTJ 压载水浮游植物丰度为 9.66×10^2 cells/L, 优势种中肋骨条藻的丰度为 6.5×10^2 cells/L。黄海压载水浮游植物丰度为 8.955×10^2 cells/L, 优势种条纹小环藻的丰度为 7.165×10^2 cells/L; 其中 CPQD 压载水浮游植物丰度为 16.83×10^2 cells/L, OS 压载水浮游植物丰度为 1.08×10^2 cells/L。东海 CM 压载水浮游植物丰度为 6.83×10^2 cells/L, 优势种等鞭金藻(*Isochrysis* sp.) 丰度最大为 4.66×10^2 cells/L。南海海域压载水浮游植物丰度为 22.915×10^2 cells/L, 优势种具槽直链藻(*Paralia sulcata*) 的丰度为 19.08×10^2 cells/L; 其中 NYK 压载水浮游

植物丰度为 39.83×10^2 cells/L, CS 压载水浮游植物丰度为 6×10^2 cells/L。

2.3 压载舱

CPQD1 与 CPQD2、OS1 与 OS2 分别是采集于 CPQD 和 OS 的不同压载舱的压载水样品,两艘船压载地均为青岛。CPQD 的两个压载舱,CPQD1 与 CPQD2 的压载水浮游植物种类分别为 7 种和 1 种,1 种为共有种(表 3);OS1 与 OS2 的压载水浮游植物种类分别为 3 种和 4 种,共有种 2 种,不同舱之间种类组成上存在明显差异。CPQD1 与 CPQD2 的压载水浮游植物的丰度分别为 1658.33 cells/L 和 83.33 cells/L;OS1 与 OS2 的压载水浮游植物丰度皆为 83.33 cells/L, CPQD 的两个压载舱压载水浮游植物丰度差异明显;OS

的两个压载舱压载水浮游植物丰度无明显差异 (表3)。

表3 不同压载舱船舶压载水浮游植物种类组成和丰度

Tab.3 The species and density of phytoplankton in different ballast tanks of same ship cells/L

种类 Kind of name	CPQD1	CPQD2	OS1	OS2
海洋角毛藻 <i>Chaetoceros pelagicus</i>	91.67	-	33.33	16.67
小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	16.67	-	-	-
条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i>	1 433.33	-	-	-
舟形藻(25um) <i>Navicula</i> sp.	-	-	-	16.67
海洋曲舟藻 <i>Pleurosigma pelagicum</i>	16.67	-	-	-
针杆藻(15um) <i>Synedra</i> sp.	-	-	16.67	33.33
菱形海线藻小形变种 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	50	-	-	-
具尾鳍藻 <i>Dinophysis caudata</i>	33.33	83.33	-	16.67
多甲藻 <i>Peridinium</i> sp.	-	-	33.33	-
等鞭金藻 <i>Isochrysts</i> sp.	16.67	-	-	-
总丰度	1 658.33	83.33	83.33	83.33

3 讨论

压载地为同一海域的不同季节的船舶浮游植物种类组成和丰度差异显著,春季(CPQD)压载于黄海青岛港的压载水浮游植物种类组成和丰度明显高于秋季(OS)。青岛港海域春季浮游植物种类群落变化主要为广布性近岸种和沿岸种,秋季主要是温带广布性种,包括近岸种和外洋种。春季浮游植物丰度明显低于秋季,硅藻一直占据主要地位^[14]。曲静等^[14]对青岛南部近海的调查中,春季共鉴定浮游植物48属98种。其中硅藻门41属83种,甲藻门6属14种,金藻门1属1种。秋季共鉴定浮游植物50属116种。其中硅藻门42属101种,甲藻门7属13种,金藻门1属2种。春季优势种主要为底栖硅藻,优势度不明显,舟形藻(*Navicula* spp.)、羽纹藻(*Pinnularia* spp.)、曲舟藻(*Pleurosigma* spp.)的分布比较广,但丰度不大,派格棍形藻(*Bacillaria paxillifera*)分布不广但丰度较大。秋季优势种主要为硅藻,笔尖根管藻(*Rhizosolenia styliformis*)分布较广,丰度也较大,优势度明显。春季浮游植物平均丰度为 12.2×10^2 cells/L,秋季为 72.9×10^2 cells/L。因而,CPDQ(春季压载)和OS(秋季压载)的压载水浮游植物季节特征与当地势种多甲藻丰;山东半岛南岸水文受渤南沿岸流的影响和黄海外海水的入侵,使得浮游植物区系的生态特点既有温带广布种,又有外海偏暖水种,以适温、盐相对高的种类控制,秋末随着黄海冷气

团出现,冷气团波及的地方出现多甲藻,冷气团消失多甲藻也随之消失^[7],OS船压载水的多甲藻的存在,显示了压载水生物与压载地环境的联系。

本次研究中各海区压载水浮游植物均在东海有报道^[10,15],在发现的22种浮游植物中,有些种为东海土著种,但也有少量种为通过其它海区传入的外来种或其它海区的赤潮种,CS船中发现海洋原甲藻,丰度为 0.16×10^2 cells/L,OS船中发现具尾鳍藻,丰度为 0.08×10^2 cells/L,因此,由本国跨海区航行导致的压载水浮游植物入侵种类虽然较少,但仍存在一定的入侵风险,尤其是外来入侵生物在海区间扩散传播方面。海洋原甲藻原产于美国太平洋沿岸,后传入我国东南沿海,刘素娟在2005年渤海调查中发现海洋原甲藻为优势种^[16],由海洋原甲藻引发的赤潮事件至今已有多次报道。具尾鳍藻为暖水种,原分布于南沙群岛、西沙群岛、海南岛等地,后通过压载水扩散到黄海东海等海区,目前东海海域已有由具尾鳍藻引发的有毒赤潮的相关报道^[17],日本曾报道具尾鳍藻赤潮发生前后鱼类大量死亡。在辽宁近海海域也有该种分布^[18],在2000年秋季渤海浮游植物调查、2011年夏季黄渤海浮游植物多样性调查中都曾发现具尾鳍藻^[19-20]。由于长期海上运输,导致我国不同海区之间浮游植物跨海区扩散,其中的一些有毒赤潮的扩散对我国渔业发展、海洋经济、海洋生态都有巨大威胁,需加强对来自我国其他海域的船舶压载水排放的监管,

预防海区间外来生物入侵风险。

参考文献:

- [1] IMO. International convention for the control and management of ships' ballast water and sediments[S]. London: International Maritime Organization, 2004.
- [2] TAMELANDER J, RIDDERING L, HAAG F, et al. Guidelines for Development of a National Ballast Water Management Strategy[R]. London, IMO, 2010.
- [3] LAVOIE D M, SMITH L D, Ruiz G M. The Potential for Intracoastal Transfer of Non-indigenous Species in the Ballast Water of Ships[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1999, 48(5):551-564.
- [4] MCCOLLIN T, SHANKS A M, DUNN J. The efficiency of regional ballast water exchange: changes in phytoplankton abundance and diversity[J]. Harmful Algae, 2007, 6(4): 531-546.
- [5] JÓZWIĄK Z, BARAŃSKA M. Ecological Risk Assessment of Ballast Water [J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2014, 151:122-126.
- [6] PENDICK D. Ballast-Water Invaders Pose Ecological Risk [J]. Science News, 1993, 144(2):20-21.
- [7] WU H, CHEN C, WANG Q, et al. The biological content of ballast water in China: A review [J]. Aquaculture & Fisheries, 2017, 2(6):241-246.
- [8] 俞建鑫, 李瑞香. 渤海、黄海浮游植物生态的研究[J]. 黄渤海海洋, 1993, (3): 52-59.
YU JL, LI RX. The study on the phytoplankton ecology in the Bohai and Yellow Seas [J]. Journal of Oceanography of Huanghai&Bohai Sea, 1993, (3): 52-59.
- [9] 刘述锡, 樊景凤, 王真良. 北黄海浮游植物群落季节变化[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1173-1181.
LIU SX, FAN JF, WANG ZL. The seasonal changes of phytoplankton community in North Yellow Sea, China [J]. Ecology and Environment Sciences, 2013, 22(7): 1173-1181.
- [10] 郭术津. 东海浮游植物群集研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
GUO S J. Study on phytoplankton assemblage in East China Sea [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [11] 朱根海, 宁修仁, 蔡昱明, 等. 南海浮游植物种类组成和丰度分布的研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(S2): 8-23.
ZHU G H, NING X R, CAI Y M, et al. Studies on species composition and abundance distribution of phytoplankton in the South China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(S2): 8-23.
- [12] 薛俊增, 刘艳, 王金辉, 等. 洋山深水港入境船舶压载水浮游动物种类组成分析[J]. 海洋学报(中文版), 2011, 33(1):138-145.
XUE J Z, LIU Y, WANG J H, et al. A biological survey of zooplankton taken from ballast water of the international navigation ships entering the Shanghai Yangshan Deep-water Port in China [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 33(1): 138-145.
- [13] 陈辰. 洋山港典型航线压载水浮游生物组成及群落规律研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
CHEN C. Study on the composition and community law of plankton in ballast water of typical routes in Yangshan Port [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [14] 曲静, 宫相忠, 邢永泽, 等. 青岛南部近海春、秋季浮游植物群落结构的初步研究[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(S1): 99-104.
QU J, GONG X Z, XING Y Z, et al. Preliminary study on phytoplankton community structure in coastal waters South of Qingdao in Spring and Autumn [J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(S1): 99-104.
- [15] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布[M]. 北京: 海洋出版社, 1994.
HUANG Z G. Marine Species and Their distributions in China's Seas [M]. Beijing: China Ocean Press, 1994.
- [16] 刘素娟, 李清雪, 陶建华. 渤海湾浮游植物的生态研究[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(11): 4-6, 9.
LIU S J, LI Q X, TAO J H. Ecological study of phytoplankton in Bohai Bay [J]. Environmental Science & Technology, 2007, 30(11): 4-6, 9.
- [17] 上海市海洋局. 2006年上海市海洋环境质量公报[R]. 2006
Shanghai maritime bureau. 2006 Shanghai Marine Environmental Quality Bulletin [R]. 2006.
- [18] 姜冰, 宋伦, 时明明, 等. 辽宁近海外来赤潮海洋微藻入侵现状[J]. 水产科学, 2015, 34(12): 795-800.
JIANG B, SONG L, SHI M M, et al. Invasion status of marine microalgae related to red tide in Liaoning inshore [J]. Fisheries Science, 2015, 34(12): 795-800.
- [19] 孙军, 刘东艳. 2000年秋季渤海的网采浮游植物群落[J]. 海洋学报, 2005, 27(3): 124-132.
SUN J, LIU D Y. Net-Phytoplankton community of the Bohai Sea in the autumn of 2000 [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(3): 124-132.
- [20] 鹿琳. 黄渤海浮游植物多样性及部分种分子鉴定[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
LU L. Species diversity of phytoplankton in Yellow Sea and Bohai Sea and molecular identification of microalgal isolates [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.

Phytoplankton study of ship ballast water based on high seas exchange

YE Haixin^{1,2}, LIU Liang^{1,2}, LI Jinjie^{1,2}, XUE Junzeng^{1,2}

(1. *College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Centre for Research on the Ecological Security of Ports and Shipping, Shanghai 201306, China*)

Abstract: April 2015 to July 2016, the samples for ballast water were collected from six vessels that were docked in the upper ocean mountain harbor and who conducted the last ballast in the coastal of China. There were totally 22 species of phytoplankton under 3 phyla, including 17 of Bacillariophyta, 4 of Pyrrophyta and 1 of Chrysophyta. The dominant species is diatoms. The phytoplankton from bohai sea covers 5 genes from two phyla with the abundance of 9.66×10^2 cells/L. 10 genes from 3 phyla were identified from the water samples from yellow sea water with the density of 17.91×10^2 cells/L. the abundance of water samples from east China sea is 6.83×10^2 cells/L, including four genes from 2 phyla. The phytoplankton abundance in south China sea is 22.915×10^2 cells/L, including 11 genes (6 for Bacillariophyta and 5 for Pyrrophyta) of 2 phyla. The survey found that there is a difference between phytoplankton and phytoplankton in the ballast water of ships arriving at the port. The composition of phytoplankton in the ballast water may be influenced by local air-bearing groups and seasonal factors. A small number of species in ballast water are exotic species introduced into other sea areas or red tide species in other sea areas.

Key words: China sea; ship ballast water; phytoplankton