

文章编号: 1674-5566(2018)03-0329-07

DOI:10.12024/jsou.20171210005

## 基于公海换水的船舶压载水浮游植物研究

周 亦<sup>1,2</sup>, 边佳胤<sup>3</sup>, 王晓媛<sup>1,2</sup>, 王 琼<sup>1,2</sup>

(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; 3. 国家海洋局 东海分局舟山海洋工作站, 浙江 舟山 316000)

**摘 要:** 选取 9 艘停泊于洋山深水港、在太平洋公海海域进行压载水交换的到港船舶, 分析其压载水中浮游植物的种类组成和丰度, 共检测出浮游植物 4 门 18 属 29 种(包括变种或变型), 其中硅藻门占主要优势地位, 共计 13 属 21 种, 占总种类数 72.4%, 包括未定种 8 种; 甲藻门 3 属 6 种, 占总种类数 20.7%, 其中未定种 1 种; 绿藻门 1 属 1 种, 占总种类数 3.5%, 其中未定种 1 种; 蓝藻门 1 属 1 种, 占总种类数 3.5%。所有船舶压载水样品中均发现有赤潮藻, 存在潜在外来种入侵风险。在公海海域进行压载水交换后浮游植物丰度远小于在国内沿岸海域交换压载水的丰度, 显示公海换水可有效降低压载水内浮游植物的密度, 但仍有适应港口环境的种类存在, 未能完全消除外来藻类入侵的潜在生态风险。

**关键词:** 洋山深水港; 太平洋公海; 压载水交换; 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<sup>[1]</sup>。据统计, 每年船舶携带的压载水有 100 多亿吨, 而其中所携的水生物种达到 7 000 余种<sup>[2]</sup>。海洋生物入侵可分为自然引入、有意被引入和无意被引入三种途径, 船舶压载水是无意被引入的方式之一。目前, 压载水生物入侵是海洋生物入侵的主要途径<sup>[3]</sup>, 海洋外来生物入侵问题已被全球环境基金组织(GEF)确认为危害世界海洋生态环境的四大威胁之一<sup>[4]</sup>。为防止船舶压载生物的入侵, 国际海事组织(IMO)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》<sup>[5]</sup>。压载水公约已于 2017 年 9 月生效<sup>[1]</sup>, 公约要求船舶需安装压载水管理系统处理压载水以满足所规定的排放标准<sup>[6]</sup>, 公约生效后给予了两年的经验积累期, 公约生效前和积累期内, 未安装压载水处理设备的船只采取公海换水的方法来降低压载水生物的入侵风险<sup>[4]</sup>。按照 IMO A868(20)号决议, 凡可能, 压载水交换均应

在距最近陆地至少 200 海里、水深至少为 200 m 的地方<sup>[1]</sup>, 须在外海中深水、公海和尽可能远离海岸的地点进行<sup>[7]</sup>。由于公海海域盐度大、营养盐缺乏、温度高, 不利于沿岸海域生物生长。该方法被认为能有效防止有害生物和病原体的转移入侵<sup>[8]</sup>。

浮游植物是压载水生物重要组成之一, 由于压载舱处于密封和黑暗状态, 对需要光进行光合作用的浮游植物影响巨大<sup>[9]</sup>, 因而到港船舶压载水浮游植物问题备受关注, 相关研究主要集中在种类组成及丰度的调查<sup>[10-14]</sup>。2004 年压载水公约通过后, 有学者开始关注公海换水后压载水生物的变化<sup>[15]</sup>, 但目前仍未有学者对太平洋等其他公海海域压载水交换后对浮游植物的影响开展相关研究。

上海洋山深水港地处中国大陆海岸线中部, 是世界第一大集装箱港<sup>[16]</sup>, 每年进出大型船舶近 9 800 艘次<sup>[17]</sup>, 外来生物入侵潜在风险高。选取 9 艘在太平洋公海海域进行压载水交换的到达洋

收稿日期: 2017-12-10 修回日期: 2018-03-16

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: 周 亦(1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为生态学。E-mail: zxy91191@163.com

通信作者: 王 琼, E-mail: q-wang@shou.edu.cn

山港的远洋船舶,分析其压载水浮游植物特点,探讨到港船舶公海换水后压载水浮游植物在洋山深水港海域的潜在入侵风险。一方面为洋山深水港口海域生态环境外来生物入侵的防控<sup>[18]</sup>提供理论依据,另一方面评估公海换水的效果,为国际压载水处理和相关政策的制定及管理提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样船舶

2015年5月—2016年5月,抽取9艘上海洋山深水港到港远洋船舶,其最近一次压载地均以赤道为界的北太平洋公海海域(图1)。其中,1艘在北太平洋北部远岸海域进行压载水交换(HG样品),3艘在北太平洋东北远岸海域进行压载水交换(包括YU2, YE和YE2样品),1艘在北太平洋西北近岸海域进行压载水交换(CX样品),1艘在北太平洋中部海域进行压载水交换(MV样品),1艘在北太平洋东南近岸海域进行压载水交换(ED样品),1艘在北太平洋西南近岸海域进行压载水交换(BH样品),1艘在北太平洋南部远岸海域进行压载水交换(CC样品)。记录船舶航行信息和船舶压载水管理信息(ballast water log)(表1)。

### 1.2 浮游植物采集

通过人孔进入压载水舱进行样品采集。浮游

植物使用10 L有机玻璃采水器采集,经过10 μm浮游生物网过滤后收集滤样于50 mL采样瓶,低温保存,及时将样品带回实验室,用鲁哥试剂固定,静置沉淀后浓缩并定容至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,进行种类鉴定及细胞计数,每个样品重复鉴定3片。

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成

共检测出浮游植物4门18属29种(包括变种或变型,表2)。其中硅藻门占主要优势地位,共计13属21种,占总种类数72.4%,包括未定种8种;甲藻门3属6种,占总种类数20.7%,未定种1种;绿藻门1属1种,占总种类数3.5%,未定种1种;蓝藻门1属1种,占总种类数3.5%;优势种为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)。

本次调查的9艘船舶压载水样品中, YE、YE2、CC和MV样品中只检测到硅藻门藻类;CX、HG和YU2样品中检测到硅藻门和甲藻门藻类;BH样品中检测到硅藻门、甲藻门、蓝藻门和绿藻门4个门类的浮游植物。YE2、HG、YU2和ED样品种类数最高,均检测到6种浮游植物, YE和CC样品种类数最少,各检测到1种藻类,且均隶属于硅藻门根管藻属。

表1 船舶信息及采样信息

Tab. 1 Ship information and sampling information

编号 No.	船舶名称 Name of ships	采样日期 Sampling time	压载地海域 The sea area of ballast sites	压载地 Ballast sites	水龄/d Water age
YE	YM ETERNITY	2015.06.18	北太平洋东北部	40°11'18"N 166°34'12"W	62
CX	COSCO XIAMEN	2015.08.04	北太平洋西北部	50°06'00"N 159°57'00"E	57
BH	BEAR HONTER	2015.10.29	北太平洋西南部	17°19'00"N 132°10'00"E	12
YE2	YM ETERNITY	2015.11.05	北太平洋东北部	44°09'00"N 151°52'00"W	61
HG	HYUNDAI GOODWILL	2015.12.16	北太平洋北部	47°54'18"N 174°17'00"W	68
YU2	YM UTMOST	2016.01.13	北太平洋东北部	37°44'00"N 159°91'00"W	29
CC	CAP CLEVELAND	2016.04.06	北太平洋南部	08°03'48"N 138°28'12"W	137
MV	MSC VITA	2016.04.06	北太平洋中部	30°02'00"N 172°25'00"E	9
ED	EVER DEVELOP	2016.05.31	北太平洋东南部	25°03'00"N 123°49'00"W	25

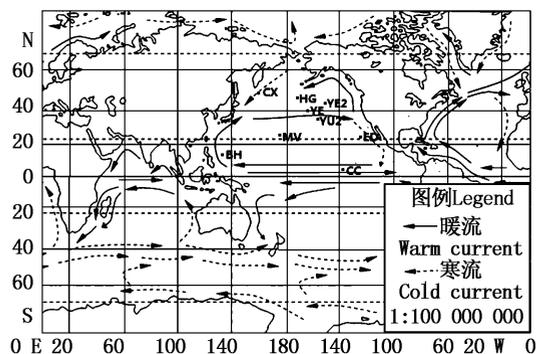


图 1 太平洋公海海域压载水交换地示意图  
Fig. 1 Ballast water exchange sites of the Pacific Ocean

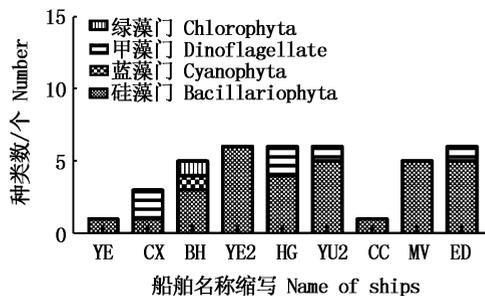


图 2 各船舶压载水浮游植物种类组成分布  
Fig. 2 The number of species of phytoplankton in ballast water

表 2 各船舶压载水中浮游植物种类组成及空间分布

Tab. 2 The species composition of phytoplankton in ballast water

分类地位 Taxonomy	种名 Species name	拉丁名 Latin name	NL	YE	CX	BH	YE2	HG	YU2	CC	MV	ED
硅藻门 Bacillariophyta	一种辐环藻	<i>Actinocyclus sp.</i>										+
	一种角毛藻*	<i>Chaetoceros sp.</i>									+	+
	一种圆筛藻*	<i>Coscinodiscus sp.</i>										
	虹彩圆筛藻*	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>							+		+	+
	辐射圆筛藻*	<i>Coscinodiscus radiatus</i>						+				
	一种小环藻*	<i>Cyclotella sp.</i>				+			+		+	
	条纹小环藻*	<i>Cyclotella striata</i>					+	+				
	隐秘小环藻*	<i>Cyclotella cryptica</i>							+			
	柱状小环藻*	<i>Cyclotella stytorum</i>					+	+	+			
	一种脆杆藻	<i>Fragilaria sp.</i>										+
	具槽直链藻*	<i>Melosira sulcata</i>					+					
	一种舟形藻	<i>Navicula sp.</i>					+				+	
	海洋菱形藻	<i>Nitzschia</i>	+			+						
	诺马斜纹藻	<i>Pleurosigma normanii</i>	+				+					
	一种曲舟藻	<i>Pleurosigma sp.</i>										
	斯氏根管藻*	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>							+			+
	一种根管藻*	<i>Rhizosolenia sp.</i>								+		
	柔弱根管藻*	<i>Rhizosolenia delicatula</i>			+							
	中肋骨条藻*	<i>Skeletonema costatum</i>							+			+
	一种针杆藻	<i>Synedra sp.</i>					+	+				
甲藻门 Dinoflagellate	网纹三角藻*	<i>Trigonium reticulum</i>			+							
	大角角藻*	<i>Ceratium macroceros</i>						+				
	长头形角藻*	<i>Ceratium praelongum</i>							+			
	具尾翅甲藻	<i>Dinophysis caudata</i>			+							
	微小原甲藻*	<i>Prorocentrum minimum</i>			+							
	一种原甲藻	<i>Prorocentrum sp.</i>						+				
海洋原甲藻*	<i>Prorocentrum micans</i>										+	
蓝藻门 Cyanophyta	类颤藻鱼腥藻	<i>Anabaena osicellarioides</i>									+	
绿藻门 Chlorophyta	一种栅藻	<i>Scenedesmus sp.</i>										+

注: \* 为赤潮种

Note: \* is red tide species

根据压载地所处海域分析得,压载于北太平洋东北远岸海域的 YU2, YE 和 YE2 样品中检测到 2 门 8 属 12 种浮游植物(包括未定种 3 种),硅藻门共计 7 属 11 种,占总种类数的 92.7%;压载于北太平洋北部远岸海域的 HG 样品检测到 2 门 5 属 6 种,甲藻门 2 属 2 种,硅藻门共计 3 属 4 种,占总种类数的 66.7%;压载于北太平洋西北近岸海域的 CX 样品中检测到 2 门 3 属 3 种,甲藻门 2 属 2 种,占总种类数的 66.7%;压载于北太平洋中部海域的 MV 样品中检测到 1 门 5 属 5 种,均为硅藻门藻类;压载于北太平洋西南近岸海域的 BH 样品共检测到 3 门 5 属 5 种,硅藻门 3 属 3 种,占总种类数的 60%;压载于北太平洋南部远岸海域的 CC 样品共检测到 1 门 1 属 1 种,隶属于硅藻门根管藻属;压载于北太平洋东南近岸海域的 ED 样品共检测到 2 门 6 属 6 种浮游植物,硅藻门 5 属 5 种,占总种类数的 83.3%。

## 2.2 丰度特征

船舶压载水浮游植物的平均丰度为  $(0.193 \pm 0.134) \times 10^3$  cells/L。其中 YE2 样品浮游植物丰度最大,为  $(0.283 \pm 0.176) \times 10^3$  cells/L, YE 样品浮游植物丰度最小,为  $(0.016 \pm 0.029) \times 10^3$  cells/L。

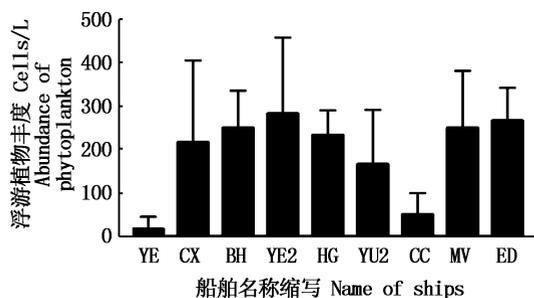


图3 各船舶压载水浮游植物丰度

Fig. 3 Abundance of phytoplankton in ballast water

根据压载地所处海域分析结果显示,压载于北太平洋东北远岸海域的 YU2, YE 和 YE2 样品的浮游植物平均丰度为  $(0.156 \pm 0.134) \times 10^3$  cells/L;压载于北太平洋北部远岸海域的 HG 样品浮游植物丰度为  $(0.233 \pm 0.058) \times 10^3$  cells/L;压载于北太平洋西北近岸海域的 CX 样品浮游植物丰度为  $(0.217 \pm 0.189) \times 10^3$  cells/L;压载于北太平洋中部海域的 MV 样品浮游植物丰度为  $(0.250 \pm 0.132) \times 10^3$  cells/L;压载于北太平洋西南近岸海域的 BH 样品浮游植物平均丰度最

小,为  $(0.250 \pm 0.087) \times 10^3$  cells/L;压载于北太平洋南部远岸海域的 CC 样品浮游植物丰度为  $(0.050 \pm 0.050) \times 10^3$  cells/L;压载于北太平洋东南近岸海域的 ED 样品浮游植物丰度为  $(0.267 \pm 0.076) \times 10^3$  cells/L,平均丰度最高。

## 3 讨论

9 艘到港船舶压载水压载于北太平洋公海不同海域,受北太平洋环流[北赤道暖流、黑潮(日本暖流)、北太平洋暖流、加利福尼亚寒流、阿拉斯加暖流、亲潮(千岛寒流)]<sup>[19-20]</sup>的影响,北太平洋公海不同海域的生态环境和海洋生物存在差异<sup>[21]</sup>,相关研究表明,近岸海域和远岸海域之间的浮游植物群落结构呈现显著性差异,远岸海域浮游植物平均密度较低,呈现远岸低于近岸海域的分布趋势,这与浮游植物多样性水平的分布趋势相反<sup>[22]</sup>。因而各船舶压载水生物可能也存在差异,经过一段时间的航行到达洋山港后,其浮游植物的组成和丰度也不完全相同。但这 9 艘公海换水的船舶,任何一艘与近岸压载的压载水相比,浮游植物的组成和丰度都低于近岸压载水<sup>[23]</sup>,仍存在一定种类和数量的浮游植物。CX、ED、BH 样品压载地相对于其他 6 艘压载水样品离岸距离较近,分析结果发现 CX 和 ED 样品浮游植物种类组成均有 2 门, BH 样品中鉴定到 3 门藻类,包括硅藻门、蓝藻门和绿藻门,其压载地位于中国南海以南海域,靠近菲律宾,离岸距离较近,且压载时间较短,浮游植物存活率较高。其他压载于北太平洋远岸海域的样品中浮游植物种类组成较为单一,多数只检测到硅藻门 1 门。公海换水可有效地降低压载水生物的种类和数量,但不能完全消除浮游植物的存在。

根据“船舶压载水和沉积物控制与管理国际公约”要求,压载水处理技术还未达到成熟情况下船舶更换压载水作为压载水管理的过渡性措施,公约规定凡可能时,均应在距最近陆地至少 200 海里、水深至少为 200 m 的水域进行更换。当不能按照上述进行更换时,应在尽可能远离陆地的水域,并在所有情况下距最近陆地至少 50 海里、水深至少为 200 m 的水域进行更换<sup>[1]</sup>。压载水更换的目的,是利用沿岸港口和公海的盐度和温度差异来控制船舶压载水生物的入侵<sup>[15]</sup>,研究发现,公海换水后仍有广温广盐的种类存在,

本次调查发现 4 种,依然存在外来生物入侵风险。洋山深水港为离岸海岛型港口,周年盐度为 14.55~23.10<sup>[24]</sup>,较沿岸港口高;温度在 5.6~27.3℃ 间变化;营养盐丰富<sup>[18]</sup>,适合广温广盐和中等盐度的浮游植物生长和生存,换水后的压载水生物入侵风险比沿岸港口要高,是外来生物入侵潜在风险高的区域。在北太平洋中低纬度海域以及近岸海域压载的样品中浮游植物的部分种类生态特征与洋山港海域具有较大的匹配性,如广温广盐种的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、外洋广温性的虹彩圆筛藻(*Coscinodiscus oculus-iridis*)等,导致藻类在港口海域大量繁殖生存的可能性较大,因而应更加重视公海换水船舶的压载水监管。

#### 4 小结

洋山深水港区四期工程已在 2017 年 12 月 10 日进行了开港试运营,首次采用自动化设备和控制系统,现吞吐量已跃为全球第一<sup>[25]</sup>。该海域每年会接受数万吨携带外来生物的压载水,其存在的潜在威胁不可小觑<sup>[26]</sup>。本文调查的 9 艘船舶样品中均有赤潮藻类的出现,其中包括角毛藻属、圆筛藻属、小环藻属、根管藻属等藻类。这些赤潮藻种类在我国大部分海域均有分布<sup>[27]</sup>,但仍不能完全避免压载水排出后引发赤潮或生物入侵。且样品中仍存在少数未能定种以及变型或变种浮游植物,这对国内港口的生态环境也存在着潜在威胁。分析可得,国际公约中压载水交换处理方法可以减少所携浮游植物的密度和种类数,但并不能彻底有效地消除外来海洋生物入侵的威胁,各船舶仍需尽快安装利用压载水处理系统来减少乃至消灭生物入侵的危害,各国港口仍存在着出入境船舶压载水携带外来生物入侵的风险。

#### 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] 郝林华, 石红旗, 王能飞, 等. 外来海洋生物的入侵现状及其生态危害[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(s1): 121-126.

- HAO L H, SHI H Q, WANG N F, et al. Present status and ecological harming of alien marine organism invasion [J]. Advances in Marine Science, 2005, 23(s1): 121-126.
- [4] 蔡尊德. 船舶压载水管理与安全评估[J]. 航海技术, 2008(5): 25-28.
- CAI Z D. Ship ballast water management and safety assessment[J]. Marine Technology, 2008(5): 25-28.
- [5] 杨帆, 李捷, 于淑亭, 等. 船舶压载水浮游生物检测方法研究进展[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(4): 45-49, 55.
- YANG F, LI J, YU S T, et al. Advances in detection of plankton in ballast water [J]. Environmental Science & Technology, 2017, 40(4): 45-49, 55.
- [6] 国际船舶压载水及其沉积物控制和管理公约[J]. 船舶标准化工程师, 2013(6): 46-48.
- International convention for the control and management of ships' ballast water and sediments[J]. Ship Standardization Engineer, 2013(6): 46-48.
- [7] 胡海峰. 船舶压载水管理方法[J]. 中国水运, 2009, 9(2): 10-11.
- HU H F. Ship ballast water management method[J]. China Water Transport, 2009, 9(2): 10-11.
- [8] 董韩扬. 船舶在海上交换压载水的安全问题[J]. 航海技术, 2000(6): 16-18.
- DONG H Y. Ships exchange safety of ballast water at sea [J]. Marine Technology, 2000(6): 16-18.
- [9] 刘艳, 吴惠仙, 薛俊增. 海洋外来物种入侵生态学研究[J]. 生物安全学报, 2013, 22(1): 8-16.
- LIU Y, WU H X, XUE J Z. The ecology of invasions by marine exotic species [J]. Journal of Biosafety. 2013, 22(1): 8-16.
- [10] 宫恩昊, 王钰婷, 刘艳, 等. 上海港船舶压载水浮游植物组成及生态因子的相关性[J]. 海洋湖沼通报, 2015(4): 161-167.
- GONG E H, WANG Y T, LIU Y, et al. Species abundance of phytoplankton in ballast water of Shanghai Port and its correlation with ecological factors [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2015(4): 161-167.
- [11] 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.
- [12] HOPPENRATH M. A revised checklist of planktonic diatoms and dinoflagellates from Helgoland (North Sea, German Bight) [J]. Helgoland Marine Research, 2004, 58(4): 243-251.
- [13] CARLTON J T. Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water [J]. Oceanography and Marine Biology, 1985, 23: 313-371.
- [14] 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.

- [15] 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.
- [16] 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. The research of phytoplankton composition and characteristic in ballast water of three typical routes at Yangshan port[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [17] 叶松亭. 洋山港主航道“单向”变“双向”有效缩短待泊时间[N]. 文汇报, 2013-10-16(002).  
YE S T. The "unidirectional" of Yangshan port's main channel changes to "two-way"[N]. *Wen Wei Po*, 2013-10-16(002).
- [18] 李晓琳, 薛俊增, 吴惠仙. 洋山港海域浮游植物群落结构特征及演变趋势[J]. *生物学杂志*, 2016, 33(6): 62-67.  
LI X L, XUE J Z, WU H X. The community succession and structure characteristics of phytoplankton in Yangshan port [J]. *Journal of Biology*, 2016, 33(6): 62-67.
- [19] 李占桥, 吴宝勤, 袁延茂, 等. 福岛核泄漏污染物漂移轨迹影响分析[J]. *海洋测绘*, 2011, 31(4): 47-49.  
LI Z Q, WU B Q, YUAN Y M, et al. Drift-path analysis of the Fukushima nuclear leakage pollutant [J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2011, 31(4): 47-49.
- [20] 刘秦玉. 北太平洋副热带海洋环流气候变化研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2004, 34(5): 689-696.  
LIU Q Y. Study on climate variability of the subtropical gyre in the north pacific [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2004, 34(5): 689-696.
- [21] MCKINNELL S M, DAGG M J. Marine ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003-2008 [M]. Sidney, Canada: PICES, 2010: 393.
- [22] SIDIK M J, RASHED-UN-NABI M, HOQUE M A. Distribution of phytoplankton community in relation to environmental parameters in cage culture area of Sepanggar Bay, Sabah, Malaysia[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 80(2): 251-260.
- [23] 王珊, 刘瑀, 李选, 等. 船舶压载水中浮游生物种类组成及丰度变化[J]. *大连海事大学学报*, 2011, 37(3): 120-124.  
WANG S, LIU Y, LI X, et al. Variation of plankton species and abundance in ballast water and sediments[J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2011, 37(3): 120-124.
- [24] 王宝强, 薛俊增, 庄骅, 等. 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性[J]. *生态学报*, 2011, 31(20): 5865-5874.  
WANG B Q, XUE J Z, ZHUANG Y, et al. Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan port [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 5865-5874.
- [25] 中国最大无人码头年底开港 吞吐能力全球最高[J]. *信息技术与信息化*, 2017(8): 8.  
China's largest unmanned terminal opened at the end of the year the highest throughput capacity in the world [J]. *Information Technology and Informatization*, 2017(8): 8.
- [26] 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*, 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.
- [27] LIU Y, WANG S, WANG Q, et al. Notice of retraction; investigation of plankton in ballast water of two Chinese domestic voyages [C]//Proceedings of the 2011 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. Wuhan, China: IEEE, 2011: 1-5.

## Research on the threat of phytoplankton in ship ballast water based on ballast water exchange in the high sea areas

ZHOU Yi<sup>1,2</sup>, BIAN Jiayin<sup>3</sup>, WANG Xiaoyuan<sup>1,2</sup>, WANG Qiong<sup>1,2</sup>

(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*; 3. *Marine Workstation of Zhoushan SOA, Zhoushan 316000, Zhejiang, China*)

**Abstract:** Analysis of abundance and biodiversity of phytoplankton in ballast water which was exchanged in the high seas of the Pacific Ocean for the vessels calling for Yangshan Deepwater Port was conducted to research the risk of phytoplankton invasion. A total of 4 phyla, 18 genera and 29 species (including variants) of phytoplankton were detected in the samples, in which Bacillariophyta dominates the sample results, 72.4% for Bacillariophyta (common with 13 genera and 21 species), 20.7% for Dinoflagellate (common with 3 genera and 6 species), 3.5% for Chlorophyta (common with 1 genus and 1 species) and 3.5% for Cyanophyta (common with 1 genus and 1 species). In all of the 9 ballast water samples surveyed, red tide algae were identified and there was a potential risk of invasive alien species. The abundance of phytoplankton after ballast water exchange in the high seas was much less than that of ballast water exchange in the domestic coastal waters in China. The current ballast water exchange method can reduce the risk of marine organisms invasion while the ballast water treatment system is required to eliminate hidden risks.

**Key words:** Yangshan Deepwater Port; high seas of Pacific Ocean; ballast water exchange; phytoplankton