

# 福建外来船舶压舱水中浮游植物种类组成与丰度及其影响因素的初步研究

李炳乾<sup>1,2</sup>, 陈长平<sup>1</sup>, 杨清良<sup>2</sup>, 蔡良候<sup>3</sup>, 高亚辉<sup>1</sup>, 梁君荣<sup>1</sup>, 苏展<sup>3</sup>,  
邢小丽<sup>4</sup>, 许翠娅<sup>3</sup>, 郑惠东<sup>3</sup>, 林更铭<sup>2</sup>, 项鹏<sup>2</sup>, 方民杰<sup>3</sup>

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

**摘要:** 2006 ~ 2008 年间对进入福建沿海 4 个主要港口的 12 艘国际航船所携带的压舱水进行浮游植物种类组成和丰度分布的调查. 此调查共检测出浮游植物 7 个门 86 属 239 种 (含变种和变型), 77 $\mu\text{m}$  孔径网滤样和 20 $\mu\text{m}$  孔径网滤样的平均藻类丰度分别为  $1.2 \times 10^2$  cells/dm<sup>3</sup> (变动在 0 ~ 9.1  $\times 10^2$  cells/dm<sup>3</sup> 间) 和  $3.4 \times 10^3$  cells/dm<sup>3</sup> (变动在 0 ~ 3.0  $\times 10^4$  cells/dm<sup>3</sup> 间). 同时对其中 6 艘船舶的压舱水样品用 f/2 培养基培养, 共有 13 种硅藻和 1 种甲藻被成功培养. 文中还分析了压舱水中浮游植物丰度与盐度、水龄的关系, 并结合历史资料讨论了压舱水里各类浮游植物的分布.

**关键词:** 压舱水; 生物入侵; 浮游植物; 培养; 盐度; 水龄

中图分类号: Q 178.53

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160 (2009) 02-0228-10

随着世界经济和全球贸易的发展, 船舶运输成为世界贸易的重要途径. 世界货物运输量的 80% 是通过船舶这种交通工具来实现的. 船舶运输引起的压舱水的排放, 是造成地理性隔离水体间的有害入侵生物在全球传播和扩散的最主要途径<sup>[1,2]</sup>.

据估计, 每年全球船舶携带的压舱水大约有 120 亿 t, 平均每立方米压舱水的浮游动、植物等可达 1.1 亿个<sup>[1,3]</sup>, 每天全球在压舱水中携带的生物就有 4 500 种, 已被确认通过船舶压舱水传播的入侵种大约有 500 种<sup>[4]</sup>. 这些生物包括大量的微生物、浮游动植物个体及其卵、幼体或孢子 (孢囊) 等. 过去的 30 多年来, 因为压舱水产生的物种入侵问题愈演愈烈, 对海洋生态系统安全造成了巨大威胁, 甚至在一些地方导致灾难性的经济损失和传染病流行. 例如上世纪 80 年代北美的斑马贻贝 (*Dreissena polymorpha*)<sup>[5]</sup> 和南澳大利亚有毒的链状亚历山大藻 (*Alexandrium catenella*) 等<sup>[6]</sup>, 都证实是通过船舶携带的外来入侵种, 其造成的直接经济损失达数十亿美元. 这种外来生物的入侵性传播现已世界环保基金 (GEF) 认定为海洋面临的四大威胁之一<sup>[7]</sup>.

有关船舶压舱水生物的研究, 我国起步较晚. 最早的调查工作见于香港地区<sup>[8,9]</sup>, 近年来随着内地有关部门的重视, 也先后开展了一些初步的调查工作, 但系统性的调查分析工作较少<sup>[10-14]</sup>. 其中福建沿海的主要港口, 船舶压舱水浮游生物调查主要集中在厦门港. 孙美琴 (2005) 从进入厦门港的船舶压舱水及沉积物中检测到 12 种甲藻及孢囊, 其中含 3 种有毒种. 邢小丽在 2003 ~ 2007 年间对进入厦门港的船舶压舱水浮游植物开展较深入地调查, 共鉴定出浮游植物 155 种, 其中包括赤潮藻 48 种.

为进一步掌握福建沿海主要港口的的外轮船舶压舱水携带有害生物状况, 本研究对进入福建沿海主要港口的的外来船舶压舱水中携带的浮游植物进行分析研究, 探讨外来船舶压舱水中浮游植物种类组成特点及其与盐度等环境因子的关系, 以便更好地为与压舱水生物有关的生态学风险评估及其防灾对策的制定提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

收稿日期: 2008-07-22

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

作者简介: 李炳乾 (1982 ~), 男, 硕士研究生.

通讯作者: 杨清良, 研究员, E-mail: qly1888@163.com; 蔡良候, 副研究员, E-mail: rc@fjcs.ac.cn

压舱水样品采自停靠于厦门港、漳州港、江阴港和福州新港的国际航船,采样时间为 2006~2008年,先后共对 12艘外轮进行压舱水样品的采集。

样品的采集方法主要是通过人孔 (human pore)直接取水,同时也有部分船只通过压舱水泵或压舱水排放口采水。每艘船舶采水  $200\text{dm}^3$ ,分别通过两种不同孔径 ( $20\mu\text{m}$ 和  $77\mu\text{m}$ )的筛网过滤,获得 2份样品。本调查最终共得到样品 24份。

### 1.2 样品处理与计数

采集的样品用甲醛固定 (终浓度为 2%~5%),静置 48h以上,沉淀,最终浓缩至  $20\sim 50\text{cm}^3$ ,于显微镜下进行种类鉴定、计数并计算浮游植物细胞总数。

浮游植物培养:随机选取了其中 6艘外轮的压舱水样品在固定前各取出  $2\sim 5\text{cm}^3$ 于 f/2培养液中培养,培养温度为  $22\pm 1$ ,光照强度为  $2000\text{lx}$ ,光暗周期为 L D = 12 12 培养一周后于 Olympus显微镜下观察。

## 2 结果与讨论

### 2.1 压舱水浮游植物的种类组成及细胞丰度

12艘外来船舶的 24份样品,共记录浮游植物 7个门 86属 239种 (含变种和变型),其中硅藻 174种,甲藻 19种,绿藻 36种,蓝藻 6种,黄藻 2种,金藻和裸藻各 1种。各艘外来船舶中浮游植物的种类数在 0~81种间变动。

$20\mu\text{m}$ 孔径网滤样品中浮游植物的平均丰度为  $3.3\times 10^3\text{ cells}/\text{dm}^3$ ,变动在  $0\sim 3.0\times 10^4\text{ cells}/\text{dm}^3$ 间。 $77\mu\text{m}$ 孔径网滤样品中浮游植物的平均丰度为  $1.2\times 10^2\text{ cells}/\text{dm}^3$ ,变动在  $0\sim 9.1\times 10^2\text{ cells}/\text{dm}^3$ 间。

$20\mu\text{m}$ 孔径网滤样与  $77\mu\text{m}$ 孔径网滤样里浮游植物的丰度比值为 27:1,前者占绝对优势。这与海区中个体较小的浮游植物占绝对优势吻合<sup>[15,16]</sup>。这是因为个体微小的浮游生物个体生物量虽不是很高,但它们具有生长快、数量多、周转速率高的特点,所以可维持相当高的生产力。

本次调查与以往的研究相比较,浮游植物物种较多,究其原因可能有多方面。其中之一可能和调查中的采水量 ( $200\text{dm}^3$ )较大增加了物种出现的几率有关。但本调查中浮游植物的平均丰度为  $3.3\times 10^3\text{ cells}/\text{dm}^3$ ,与之前的报道结果<sup>[11,14]</sup>非常相似。

### 2.2 压舱水浮游植物的优势种及赤潮生物

在所鉴定出的 239种浮游植物中,硅藻占物种总数的绝对优势 (占 72.9%),其余的藻类仅占 27.1%。从细胞平均丰度上统计,硅藻占总细胞密度的 38.4%,绿藻占 54.8%,其余的占 6.8%。绿藻平均丰度最高,其次是硅藻。绿藻 (淡水藻)之所以占的比重最大,主要是因为淡水藻的存在方式大多以微型细胞的密集群居为主,所以丰度较高。尽管其出现率并不高,仅在个别压舱水盐度低于 5的船舶上发现。

从表 1可以看出除了淡水藻以外,主要优势种均为硅藻类。研究表明,船舶压舱水中中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、条纹小环藻 (*Cyclotella striata*)以及部分角毛藻 (*Chaetoceros*)、海链藻 (*Thalassiosira*)和圆筛藻 (*Coscinodiscus*)等硅藻的排放入海会危害海区的生态平衡<sup>[17]</sup>和养殖业,甚至有些有毒藻类会危害到人类的健康。

表 1 12艘外轮压舱水中浮游植物的优势种 (属)组成

Tab 1 Dominant phytoplankton species/genus in ballast water from 12 foreign vessels

优势种 (属)	细胞密度 / $10^3\text{ cells}\cdot\text{dm}^{-3}$	百分比 /%
二型栅藻 ( <i>Scenedesmus dimorphus</i> )	6.0	13.4
二角盘星藻纤细变种 ( <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gmicillimum</i> )	4.0	8.9
中肋骨条藻 ( <i>Skeletonema costatum</i> )	3.6	8.1
条纹小环藻 ( <i>Cyclotella striata</i> )	2.7	6.2
四尾栅藻 ( <i>Scenedesmus quadricauda</i> )	2.5	5.6
海链藻 ( <i>Thalassiosira</i> spp.)	2.0	4.4

表 1 (完)

优势种 (属)	细胞密度 /10 <sup>3</sup> cells · dm <sup>-3</sup>	百分比 /%
角毛藻属 ( <i>Chaetoceros</i> )	1.9	4.2
双射盘形藻 ( <i>Pediastrum biradiatum</i> )	1.7	3.8
黄丝藻 ( <i>Tribonema</i> sp.)	1.6	3.6
圆筛藻属 ( <i>Coscinodiscus</i> )	1.4	3.3
小星空藻 ( <i>Coelastrum microponum</i> )	1.2	2.7
颗粒直链藻 ( <i>Melosira granulata</i> )	1.2	2.7

在鉴定出的所有浮游植物中,赤潮藻共 60 种(表 2),其中硅藻 46 种,甲藻 11 种,硅鞭藻 1 种,蓝藻 2 种.其所占比例依次为 76.7%、18.3%、1.7%、3.3%,硅藻占绝对优势,其次是甲藻.有毒(潜在有毒)藻有 6 种,硅藻 2 种:尖刺拟菱形藻和柔弱拟菱形藻,甲藻 4 种:链状亚历山大藻、膝沟藻、裸甲藻和具尾鳍藻.

表 2 压舱水中浮游植物名录

Tab 2 List of phytoplankton species in ballast water

物种名称	拉丁文学名	物种名称	拉丁文学名
硅藻门	Bacillariophyta	飞马斜纹藻	<i>Pleurosigma firmarchia</i>
短柄曲壳藻	<i>Achnanthes brevipes</i>	海洋斜纹藻	<i>Pleurosigma pelagicum</i>
爱氏辐环藻	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i>	舟形斜纹藻微小变型	<i>Pleurosigma naviculaceum f. minuta</i>
洛氏辐环藻	<i>Actinocyclus roperi</i>	诺马斜纹藻	<i>Pleurosigma nomanii</i>
辐环藻	<i>Actinocyclus</i> sp.	斜纹藻 1	<i>Pleurosigma</i> sp. 1
环状辐环藻	<i>Actinocyclus annulatus</i>	斜纹藻 2	<i>Pleurosigma</i> sp. 2
波状辐环藻	<i>Actinocyclus undulatus</i>	斜纹藻	<i>Pleurosigma</i> spp.
翼茧形藻	<i>Amphipora alata</i>	拟菱形藻	<i>Pseudonitzschia</i> sp.
平滑双眉藻	<i>Amphora laevis</i>	* 成列拟菱形藻	<i>Pseudonitzschia seriata</i>
* 日本星杆藻	<i>Asterionella japonica</i>	* 柔弱拟菱形藻	<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>
克氏星脐藻	<i>Asteromphalus cleveanus</i>	* 尖刺拟菱形藻	<i>Pseudonitzschia pungens</i>
* 派格棍形藻 (奇异棍形藻)	<i>Bacillaria paxilliferu = Bacillaria paradoxa</i>	* 翼根管藻	<i>Rhizosolenia alata</i>
优美辐杆藻	<i>Bacteriastrium delicatulum</i>	* 翼根管藻印度变型	<i>Rhizosolenia alata f. indica</i>
辐杆藻	<i>Bacteriastrium</i> sp.	伯氏根管藻	<i>Rhizosolenia bergonii</i>
* 锤状中鼓藻	<i>Bellerophon malleus</i>	距端根管藻 (距端假管藻)	<i>Rhizosolenia calcaravis = Pseudosolenia calcaravis</i>
异角盒形藻	<i>Biddulphia heteroceros</i>	卡氏根管藻	<i>Rhizosolenia castracanei</i>
活动盒形藻 (活动齿状藻)	<i>Biddulphia mobilensis = Odontella mobilensis</i>	厚刺根管藻	<i>Rhizosolenia crussispina</i>
钝角盒形藻	<i>Biddulphia obtusa</i>	* 钝棘根管藻半刺变种	<i>Rhizosolenia hebetata f. senispina</i>
高盒形藻	<i>Biddulphia regia = Odontella regia</i>	透明根管藻	<i>Rhizosolenia hyalina</i>
* 中华盒形藻 (中华齿状藻)	<i>Biddulphia sinensis = Odontella sinensis</i>	覆瓦根管藻	<i>Rhizosolenia imbricata</i>
盒形藻	<i>Biddulphia</i> sp.	粗根管藻	<i>Rhizosolenia robusta</i>
柏氏角管藻	<i>Cerataulina bergonii</i>	* 刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i>
紧密角管藻	<i>Cerataulina compacta</i>	* 笔尖根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i>
均等角毛藻	<i>Chaetoceros aequatoriale</i>	宽型笔尖根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis var. latissima</i>
奥氏角毛藻	<i>Chaetoceros aurivillii</i>	钩状棒杆藻	<i>Rhopalodia uncinata</i>
		* 优美施罗藻	<i>Schroederella delicatula</i>

续表 2

物种名称	拉丁文学名	物种名称	拉丁文学名
*扁面角毛藻	<i>Chaetoceros compressus</i>	*中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>
*旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	骨条藻	<i>Skeletonema</i> sp.
*柔弱角毛藻	<i>Chaetoceros debilis</i>	*掌状冠盖藻	<i>Stephanopyxis palmiriana</i>
密连角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i>	塔形冠盖藻	<i>Stephanopyxis turris</i>
*细齿角毛藻	<i>Chaetoceros denticulatus</i> f. <i>denticulatus</i>	泰晤士扭鞘藻	<i>Streptotheca thamesis</i>
*双突角毛藻	<i>Chaetoceros didymus</i>	领形双菱藻	<i>Surirella collaris</i>
远距角毛藻	<i>Chaetoceros distans</i>	美丽双菱藻挪威变种	<i>Surirella elegans</i> var. <i>norvegica</i>
异角角毛藻	<i>Chaetoceros diversus</i>	华状双菱藻	<i>Surirella fastuosa</i>
印度角毛藻	<i>Chaetoceros indicum</i>	流水双菱藻	<i>Surirella fluminalis</i>
*垂缘角毛藻	<i>Chaetoceros laciniosus</i>	芽形双菱藻	<i>Surirella gemma</i>
罗氏角毛藻	<i>Chaetoceros lauderi</i>	库氏双菱藻	<i>Surirella kurtzii</i>
*洛氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	双菱藻	<i>Surirella</i> spp.
*秘鲁角毛藻	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>
*拟旋链角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	肘状针杆藻	<i>Synedra ulna</i>
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.	针杆藻	<i>Synedra</i> spp.
*冕孢角毛藻	<i>Chaetoceros subsecundus</i>	*菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
卵形藻	<i>Cocconeis</i> sp.	菱形海线藻小形变种	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i>
小环毛藻(豪猪棘冠藻)	<i>Corethron hystrix</i>	细长列海链藻	<i>Thalassiosira leptopus</i>
非洲圆筛藻	<i>Coscinodiscus africanus</i>	海链藻 1(偏心型组)	<i>Thalassiosira</i> sp. 1
蛇目圆筛藻(有光圆筛藻)	<i>Coscinodiscus argus</i>	海链藻 2(线型组)	<i>Thalassiosira</i> sp. 2
*星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	海链藻 3	<i>Thalassiosira</i> sp. 3
有翼圆筛藻	<i>Coscinodiscus bipartitus</i>	海链藻 4	<i>Thalassiosira</i> sp. 4
*中心圆筛藻	<i>Coscinodiscus centralis</i>	*细弱海链藻	<i>Thalassiosira subtilis</i>
弓束圆筛藻	<i>Coscinodiscus curvatus</i>	*佛氏海毛藻	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>
小型弓束圆筛藻	<i>Coscinodiscus curvatus</i> var. <i>minor</i>	长海毛藻	<i>Thalassiothrix longissima</i>
多束圆筛藻	<i>Coscinodiscus divinus</i>	地中海海毛藻	<i>Thalassiothrix mediterranea</i>
*格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i>	海毛藻	<i>Thalassiothrix</i> sp.
强氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus janischii</i>	范氏海毛藻	<i>Thalassiothrix vanhoefenii</i>
*琼氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus jonesianus</i>	蜂窝三角藻	<i>Triceratium favus</i>
光亮圆筛藻	<i>Coscinodiscus nitidus</i>	甲藻门	Pyrophyta
小眼圆筛藻	<i>Coscinodiscus ocellatus</i>	*链状亚历山大藻	<i>Alexandrium catenella</i>
虹彩圆筛藻	<i>Coscinodiscus ocellus-iridis</i>	亚历山大藻	<i>Alexandrium</i> sp.
*辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	偏转角藻	<i>Ceratium deflexum</i>
有棘圆筛藻	<i>Coscinodiscus spinosus</i>	*叉状角藻	<i>Ceratium furca</i>
维凹圆筛藻	<i>Coscinodiscus subconcauus</i>	*梭角藻(纺锤角藻)	<i>Ceratium fusus</i>
细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i>	膨角藻	<i>Ceratium inflatum</i>
*威氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus wilesii</i>	*马西亚角藻	<i>Ceratium massiliense</i>
维廷圆筛藻	<i>Coscinodiscus wittianus</i>	美丽角藻	<i>Ceratium pulchellum</i>
苏氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus thorii</i>	角藻	<i>Ceratium</i> spp.
圆筛藻 1	<i>Coscinodiscus</i> sp. 1	*三叉角藻	<i>Ceratium trichoceros</i>

续表 2

物种名称	拉丁文学名	物种名称	拉丁文学名
圆筛藻 2	<i>Coscinodiscus</i> sp. 2	*三角角藻	<i>Ceratium tripos</i>
圆筛藻 3	<i>Coscinodiscus</i> sp. 3	* 具尾鳍藻	<i>Dinophysis caudata</i>
圆筛藻 4	<i>Coscinodiscus</i> sp. 4	膝沟藻	<i>Gonyaulax</i> sp.
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> spp.	* 裸甲藻	<i>Gymnodinium</i> sp.
小环藻	<i>Cyclotella</i> spp.	*夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i>
扭曲小环藻	<i>Cyclotella stelligera</i>	多甲藻	<i>Peridinium</i> sp.
* 条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i>	*海洋原甲藻	<i>Prorocentrum micans</i>
柱状小环藻	<i>Cyclotella stytonum</i>	*叉形原多甲藻	<i>Protoperidinium divergens</i> = <i>Peridinium divergens</i>
*新月筒柱藻	<i>Cylindrotheca closterium</i>	原多甲藻	<i>Protoperidinium</i> spp.
披针桥弯藻	<i>Cymbella lanceolata</i>	绿藻门	Chlorophyta
蜂腰双壁藻	<i>Diploneis bambus</i>	韩氏集星藻	<i>Actinastrium hantzschii</i>
新西兰双壁藻	<i>Diploneis novaeseelandiae</i>	纤维藻	<i>Ankistrodesmus</i> sp.
*布氏双尾藻	<i>Ditylum brighwellii</i>	镰形纤维藻	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>
太阳双尾藻	<i>Ditylum sol</i>	锥刺四棘鼓藻	<i>Athrodesmus subulatus</i>
*短角弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i>	绿星球藻	<i>Asterococcus</i> sp.
脆杆藻	<i>Fragilaria</i> spp.	小球藻	<i>Chlorella</i> sp.
拟新月藻	<i>Closteriopsis longissima</i>	厚顶新月藻	<i>Closterium diana</i>
*柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> = <i>Rhizosolenia delicatula</i>	新月藻	<i>Closterium</i> sp.
*萎软几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i>	小星空藻	<i>Coelastrum microporum</i>
*斯氏几内亚藻	<i>Guinardia striata</i> = <i>Rhizosolenia stoltzeri</i>	华美十字藻	<i>Crucigenia lauterborni</i>
长尾布纹藻	<i>Gyrosigma macrum</i>	四角十字藻	<i>Crucigenia quadrata</i>
簇生布纹藻	<i>Gyrosigma fasciola</i>	双射盘星藻	<i>Pediastrum biradiatum</i>
簇生布纹藻弧形变种	<i>Gyrosigma fasciola</i> var. <i>arcuata</i>	比韦盘星藻	<i>Pediastrum bivae</i>
中华半管藻	<i>Hemiaulus sinensis</i>	二角盘星藻纤细变种	<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracillimum</i>
楔形半盘藻	<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	单角盘星藻	<i>Pediastrum simplex</i>
黄埔水生藻	<i>Hydrosera whampoensis</i>	盘星藻	<i>Pediastrum</i> sp.
*北方娄氏藻 (环纹劳德藻)	<i>Lauderia borealis</i>	尖细栅藻	<i>Scenedesmus acuminatus</i>
*丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i>	爪哇栅藻	<i>Scenedesmus javaensis</i>
*地中海细柱藻	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i> = <i>Datylisolen mediterraneus</i>	龙骨栅藻	<i>Scenedesmus cavinatus</i>
短楔形藻	<i>Lionophora abbreviata</i>	齿牙栅藻	<i>Scenedesmus denticulatus</i>
波状石丝藻	<i>Lithodesmium undulatum</i>	二型栅藻	<i>Scenedesmus dimorphus</i>
颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>	斜生栅藻	<i>Scenedesmus obliquus</i>
颗粒直链藻最窄变种	<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	裂孔栅藻	<i>Scenedesmus perforatus</i>
冰岛直链藻	<i>Melosira islandica</i>	四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
尤氏直链藻	<i>Melosira juergensii</i>	极大四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>maximus</i>
*念珠直链藻	<i>Melosira moniliformis</i>	弓形藻	<i>Schroederia setigera</i>
直链藻	<i>Melosira</i> sp.	螺旋弓形藻	<i>Schroederia spinalis</i>
*具槽直链藻	<i>Melosira sulcata</i>	水绵 1	<i>Spirogyra</i> sp. 1
		水绵 2	<i>Spirogyra</i> sp. 2
		角星鼓藻	<i>Staurastrum</i> sp.

表 2 (完)

物种名称	拉丁文学名	物种名称	拉丁文学名
点状舟形藻	<i>Navicula maculata</i>	二叉四角藻	<i>Tetraedron bifurcatum</i>
串珠舟形藻	<i>Navicula monilifera</i>	单棘四星藻	<i>Tetrastnum hastiferum</i>
喙头舟形藻	<i>Navicula rhyngocephala</i>	韦氏藻	<i>Westella botryoides</i>
舟形藻	<i>Navicula</i> sp. 1	粗刺微茫藻	<i>Micractinium crassisetum</i>
钝头菱形藻	<i>Nitzschia obtusa</i>	香味网绿藻	<i>Dictyochloris fragrans</i>
颗粒菱形藻	<i>Nitzschia granulata</i>	蓝藻门	Cyanophyta
长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i>	粘球藻	<i>Gloeocapsa</i> sp.
洛伦菱形藻 (洛氏菱形藻)	<i>Nitzschia lorenziana</i>	平裂藻	<i>Merismopedis</i> sp.
洛伦菱形藻密条变种	<i>Nitzschia lorenziana</i> var. <i>densestriata</i>	螺旋藻	<i>Spirulina</i> sp.
琴氏菱形藻	<i>Nitzschia panduriformis</i>	颤藻	<i>Oscillatoria</i> sp.
弯菱形藻	<i>Nitzschia signa</i>	*红海束毛藻	<i>Trichodesmium erythraeum</i>
纤细菱形藻	<i>Nitzschia subtilis</i>	*铁氏束毛藻	<i>Trichodesmium thiebautii</i>
菱形藻	<i>Nitzschia</i> spp.	金藻门	Chrysophyta
哈德半盘藻	<i>Hemidiscus harbmannianus</i> = <i>Palmeria harbmanniana</i>	*小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i>
端尖斜纹藻	<i>Pleurosigma acutum</i>	裸藻门	Euglenophyta
艾希斜纹藻	<i>Pleurosigma aestuarii</i>	长尾扁裸藻	<i>Phacus longicauda</i>
柔弱斜纹藻	<i>Pleurosigma delicatulum</i>	黄藻门	Xanthophyta
镰刀斜纹藻	<i>Pleurosigma falx</i>	黄丝藻	<i>Tribonema</i> sp.
		头状黄管藻	<i>Ophiocytium capitatum</i>

注: \* 赤潮生物, 有毒或潜在有毒种

### 2.3 样品培养结果

经 f/2 培养液培养, 压舱水植物中共有 13 种硅藻和 1 种甲藻被成功地培养 (表 3)。

表 3 培养结果

Tab 3 Result of culture

物种名称	出现频率 / %	物种名称	出现频率 / %
海链藻 ( <i>Thalassiosira</i> sp.)	66.7	翼茧形藻 ( <i>Amphiprora alata</i> )	16.7
菱形藻 ( <i>Nitzschia</i> sp.)	50.0	菱形海线藻 ( <i>Thalassionema nitzschioides</i> )	16.7
骨条藻 ( <i>Skeletonema</i> sp.)	50.0	日本星杆藻 ( <i>Asterionella japonica</i> )	16.7
新月菱形藻 ( <i>Nitzschia closterium</i> )	33.3	念珠直链藻 ( <i>Melosira moniliformis</i> )	16.7
角毛藻 ( <i>Chaetoceros</i> sp.)	33.3	长耳盒形藻 ( <i>Biddulphia aurita</i> )	16.7
洛氏菱形藻 ( <i>Nitzschia lorenziana</i> )	16.7	舟形藻 ( <i>Navicula</i> sp.)	16.7
长菱形藻 ( <i>Nitzschia longissima</i> )	16.7	裸甲藻 ( <i>Gymnodinium</i> sp.)	16.7

其中, 出现频率最高的是海链藻。此外骨条藻、菱形藻、角毛藻也是可培养出来的常见种。据研究, 浮游植物被载入压舱水舱后因为不适应黑暗、营养限制等恶劣条件, 大部分浮游生物会沉入船舱底部并迅速衰退, 5d 左右便开始由褐色向黑色转变<sup>[18]</sup>。但一些硅藻, 如角毛藻 (*Chaetoceros*)、短棘藻 (*Detonula*)、双尾藻 (*Ditylum*)、细柱藻 (*Leptocylindrus*)、骨条藻 (*Skeletonema*) 和海链藻 (*Thalassiosira*) 可以形成休眠孢子<sup>[19~21]</sup>, 甲藻则可以形成孢囊<sup>[22]</sup>以渡过不良环境。Forbes 和 Hallegraef (2002) 从压舱水中成功地培养出 31 种硅藻, 其中角毛藻、短棘藻、骨条藻和海链藻是可以培养出来的常见种, 而一些暖水种, 像优美辐杆藻、长角盒形藻和太阳漂流藻也曾被成功培养<sup>[23]</sup>。

本试验主要有海链藻、菱形藻、骨条藻和角毛藻等生物被成功培养,与 Forbes的试验结果相符. 这些培养试验的结果表明船舶压舱水在异地港口排放时,上述藻类,尤其是硅藻类可以生存下来并对当地海区产生潜在的影响. 值得一提的是在培养试验中,无任何淡水绿藻被培养出,这可能是因为淡水藻在盐度较高的环境时会因渗透压的骤变而无法生长. 可见,虽然个别船舶绿藻(淡水)在丰度上占优势,但相对于硅藻类等物种而言,其在盐度较高的港口排放时对当地物种不会造成太大影响.

### 2.4 压舱水浮游植物与环境的关系

2.4.1 压舱水中浮游植物与盐度的关系 根据船舶载水信息、实测压舱水的盐度和对应的压舱水中浮游植物密度可将压舱水分为3类:盐度小于10(淡水、半咸淡河口港湾水)、10~31(近海水)和>31(外海水). 国外学者 MacDonald和 Davidson(1997)曾报道,在进入苏格兰的120艘轮船中,外海交换压舱水不但没有减少潜在有害物种的入侵,反而有所增加. 其中硅藻和甲藻的多样性分别增加了67%和100%,它们的丰度也增加了2/3<sup>[24]</sup>. 但更多学者研究的结果与其相反,例如 Zhang和 Dickman(1999)曾报道,外海交换压舱水可将有害物种的丰度由  $4.2 \times 10^3$  cells/dm<sup>3</sup> 降低至  $5.5 \times 10^2$  cells/dm<sup>3</sup>,降低有害浮游植物的效率达87%<sup>[25]</sup>.

本次调查的结果同 Zhang和 Dickman(1999)报道的结果一致. 可从图1中看出盐度大于31(外海水)的浮游植物丰度明显低于盐度在20~31间(近海水)的丰度.

一般认为,富营养的近岸或河口港湾水域生物种类和丰度高,而寡营养的外海水域生物种类和丰度相对较低,而且,外海高盐水域的生物较难很快地适应沿岸低盐环境,其随压舱水传播、入侵的可能性较低. 因此,国际海事组织(MO)也建议将外海更换压舱水作为控制外来海洋生物传播的方法之一<sup>[26~29]</sup>.

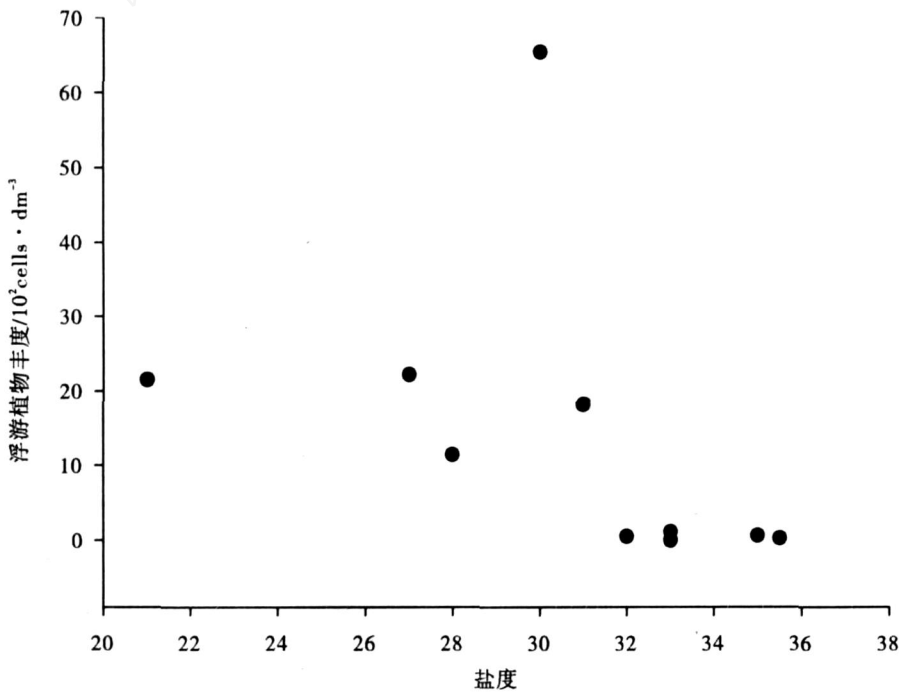


图1 压舱水盐度与浮游植物丰度的关系

Fig.1 Relationship between phytoplankton abundance and the salinity of ballast water

2.4.2 压舱水中浮游植物与水龄的关系 船舶由于安全及实际装卸的需要压舱水并非100%更换,不同的舱内压舱水的水龄是不同的. 邢小丽(2007)曾指出,压舱水水龄对浮游植物丰度影响显著( $p = 0.045 < 0.05$ )<sup>[14]</sup>. 但 John和 David(2007)报道压舱水水龄与浮游植物丰度的相关性较弱( $p = 0.2 > 0.05$ )<sup>[30]</sup>.

从压舱水水龄(x)与浮游植物丰度(y)的关系图(图2)可见,压舱水水龄与浮游植物丰度无显著相关( $p = 0.073 > 0.05$ ),但从图2仍可看出随着压舱水水龄的延长浮游植物丰度有所降低. 其原因可能是因为黑暗、营养限制的压舱水舱内,光自养生物无法获得能量和及营养而逐渐凋亡.

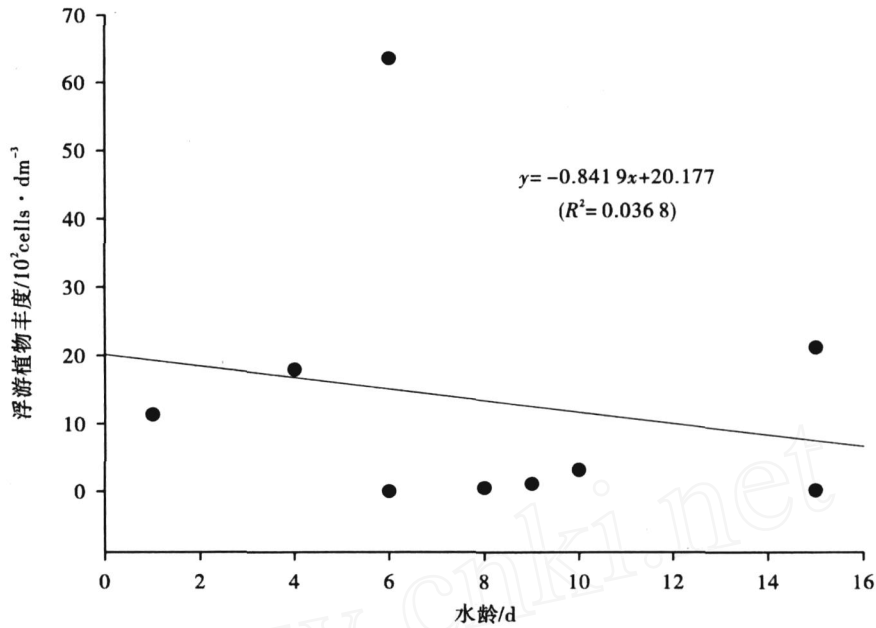


图2 压舱水水龄与浮游植物丰度的关系

Fig. 2 Relationship between abundance of the phytoplankton and ballast water age

### 3 结语

(1)本次调查共检测出浮游植物 7个门 86属 239种(含变种和变型),其中赤潮藻共 60种(主要是硅藻类),有毒或潜在有毒种 6种。

(2)经 f/2培养液培养,压舱水浮植植物中共有 13种硅藻和 1种甲藻被成功地培养出来.其中海链藻、菱形藻、骨条藻和角毛藻是可以培养出来的常见种。

(3)压舱水盐度为 10~31(近海换水)时,所含的浮游植物的丰度高于远海换水时浮游植物的丰度;随着压舱水水龄的延长浮游植物丰度逐渐降低,但无显著相关。

### 参考文献:

- [1] Ruiz GM, Rawlings T K, Dobbs F C, *et al* Global spread of microorganisms by ships[J]. Nature, 2000, 408: 49~50.
- [2] Rigby G From ballast to bouillabaisse[J]. Science, 2000, 289(5477): 241~242.
- [3] Mackenzie M. Alien invaders [J]. New Scientist, 1999, 162: 18~19.
- [4] Carlton J T The scale and ecological consequences of biological invasions in the worlds oceans[M] // Sandlund O T, Schei P J, Viken A. Invasive Species and Biodiversity Management Netherlands: Kluwer Publishers, 1999: 195~212.
- [5] Roberts L. Zebra mussel invasion threatens U S waters[J]. Science, 1990, 249: 1370~1372.
- [6] Hallegraeff GM, 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Dickman M, Zhang F Mid-ocean exchange of container vessel ballast water 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: 253~262.
- [10] 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.
- [11] 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.



- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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: 1 ~ 164.
- [15] Gao Y H, Chen C P, Li Y. Marine nanoplanktonic diatoms from coastal waters of Hong Kong [C] // Morton B. Perspective on Marine Environment Change in Hong Kong and Southern China, 1977 ~ 2001. Hong Kong: Hong Kong University Press, 2003: 93 ~ 107.
- [16] 程兆第, 高亚辉. 厦门港微型硅藻 ( ) [J]. 植物分类学报, 1993, 31 (2): 197 ~ 200.
- [17] 顾仲和. 压舱水造成海洋生态失衡 [J]. 航海, 2000, (6): 13.
- [18] Gustaaf H, Geoff R. Ballast Water Exchange Trials and Marine Plankton Distribution on the M V "Iron Whyalla" [Z]. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1993: 123.
- [19] Garrison D L. Planktonic diatoms [C] // Steidinger K A, Walker L M. Marine Plankton Life Cycle Strategies. Florida: CRC Press, 1984: 1 ~ 17.
- [20] Sicko-Goad L, Stoermer E F, Kociolek J P. Diatom resting cell rejuvenation and formation: time course, species records and distribution [J]. Journal of Plankton Research, 1989, 11: 375 ~ 389.
- [21] McQuoid M R, Hobson L A. Diatom resting stages [J]. Journal of Phycology, 1996, 32: 889 ~ 902.
- [22] Rengefors K, Anderson D M. Environmental and endogenous regulation of cyst germination in two fresh-water dinoflagellates [J]. J. Phycol, 1998, 34: 568 ~ 577.
- [23] Forbes E, Hallegraeff G M. Transport of potentially toxic Pseudo-nitzschia diatom species via ballast water [C] // John J. Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Diatom Symposium, Gantner Verlag, Ruggell, Liechtenstein: Gantner A R G, 2002: 509 ~ 520.
- [24] MacDonald E, Davidson R. Ballast Water Transport of Harmful Phytoplankton to Scottish Ports and the Effects of Mid-water Exchange in Regional Seas [Z]. Vigo Spain: VIIIth International Conference on Harmful Algae, 1997: 128.
- [25] Zhang F Z, Mike Dickman. Mid-ocean exchange of container vessel ballast water I: seasonal factors affecting the transport of harmful diatoms and dinoflagellates [J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 176: 243 ~ 251.
- [26] Carlton J T, Geller J B. Ecological roulette: the global transport of non-indigenous marine organisms [J]. Science, 1993, 261: 78 ~ 82.
- [27] Hallegraeff G M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase [J]. Phycologia, 1993, 32: 79 ~ 99.
- [28] William R J, Griffiths F B, Van der Wal E J, et al. Cargo vessel ballast water as a vector for the transport of non-indigenous marine species [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1988, 26: 409 ~ 420.
- [29] Smayda T J, Mitchell-Innes B. Dark survival of autotrophic, planktonic marine diatoms [J]. Marine Biology, 1974, 25: 195 ~ 202.
- [30] John M D, David M L. Rate of species introductions in the Great Lakes via ship ballast water and sediments [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2007, 64 (3): 530 ~ 538.

## Preliminary study on the species composition and abundance of phytoplankton and affecting factors in ballast water of ships from outside Fujian, China

LIB ing-qian<sup>1</sup>, CHEN Chang-ping<sup>1</sup>, YANG Qing-liang<sup>2</sup>, CA ILiang-hou<sup>3</sup>, GAO Ya-hui<sup>1</sup>, LIANG Jun-rong<sup>1</sup>, SU Zhan<sup>3</sup>, XING Xiao-li<sup>4</sup>, XU Cui-ya<sup>3</sup>, ZHEN Hui-dong<sup>3</sup>, LIN Geng-ming<sup>2</sup>, XIANG Peng<sup>2</sup>, FANG Min-jie<sup>3</sup>

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

**Abstract:** The species composition and abundance distribution of phytoplankton in the ballast water from 12 international vessels that entered 4 ports of Fujian during 2006 and 2008 were studied. In total, 7 phyla, 86 genera and 239 species (including varieties and forma) of phytoplankton were recorded. The average abundance of micro-phytoplankton filtered by 77 $\mu$ m and 20 $\mu$ m mesh net were  $1.2 \times 10^2$  cells/dm<sup>3</sup> with range of 0 and  $9.1 \times 10^2$  cells/dm<sup>3</sup> and  $3.4 \times 10^3$  cells/dm<sup>3</sup> with range of 0 and  $3.0 \times 10^4$  cells/dm<sup>3</sup>, respectively. Meanwhile, ballast water samples in 6 of 12 vessels were cultured with f/2 culture medium. As a result, 13 diatoms and 1 dinoflagellates were successfully cultured. This paper also analyzed the relations of phytoplankton abundance with salinity and water ages. With historical data, the phytoplankton distribution in ballast water is discussed.

**Key words:** ballast water; bioinvasion; phytoplankton; culture; salinity; water age

(责任编辑:郭水伙)