

文章编号: 1674-5566(2018)03-0420-05

DOI:10.12024/jsou.20171210011

船舶压载水浮游植物采样技术的比较

张 驰^{1,2}, 薛俊增^{1,2}, 邵于豪^{1,2}, 沈 辰^{1,2}, 吴惠仙^{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: 通过模拟实验, 比较了夏季和冬季 2 个季节条件下 4 种采样方法(采水器法、隔膜泵法、潜水泵法和管道法)和 4 种采样体积(1 L、10 L、100 L 和 1 000 L)对船舶压载水浮游植物采样效果的影响。夏季 4 种采样方法采集到的浮游植物密度分别为 $1\ 180.00 \pm 20$ 、 971.00 ± 20 、 964.00 ± 20 和 676.00 ± 20 cells/L, 冬季为 152.00 ± 20 、 120.00 ± 20 、 80.00 ± 20 和 200.00 ± 20 cells/L。夏季 4 种采样体积下采集到的浮游植物密度为 $1\ 000.00 \pm 50$ 、 288.40 ± 20 、 45.24 ± 10 和 0.05 ± 0.01 cells/L, 冬季为 168.00 ± 20 、 25.20 ± 10 、 3.32 ± 1 和 0.05 ± 0.01 cells/L。结果显示不论夏季还是冬季, 不同的采样方法和采样体积下采集到的船舶压载水浮游植物数量差异显著, 因而采样方法和采样体积影响着船舶压载水浮游植物的采样效果, 亟需在国际层面推动通过系统的科学研究, 建立起统一准确的船舶压载水采样方法, 为压载水港口国检测提供技术支撑, 保护港口和海洋生态环境。

关键词: 船舶压载水; 采样方法; 采样体积; 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]。同时船舶压载水也是世界上外来物种转移的最大载体之一^[2]。压载水会导致有害生物的转移, 甚至有些会对排放当地海域和生态环境造成巨大的损失^[3-4]。

因此, 制定相关的压载水管理措施, 对跨水域船舶压载水进行有序管理是非常必要的^[5]。2004 年国际海事组织(IMO)通过了《船舶压载水和沉积物控制与管理公约》^[6], 为有效控制管理船舶压载水和沉积物, 以及防止、减少和消除有害水生物和病原体的转移, 制定了相关的排放准则^[7], 公约已于 2017 年 9 月正式生效。

根据规定, 公约正式实施后, 港口国有权对到港船舶压载水进行取样和分析。由于船舶结构的特殊性, 科学合理的取样方法, 是压载水检测的基础, 对于生物入侵风险管理非常重要^[8-10], 但目前公约中未规定压载水检测采样的标准化

方法。目前的船舶没有专用的压载水采样口, 可利用的采样途径有测深管、消防管道开口、人孔、通气孔和压载水排放口, 根据这些管、孔的大小, 可归类为大孔采样和小孔采样, 但每种采样途径都有一定的局限, 如在对消防系统取样时, 管路内产生的高压(约为 7×10^5 Pa)对一些微生物以及取样结果产生不利影响, 这也就容易导致所取的样品缺乏代表性, 不能正确反映压载水的实际性能^[11]。通气口并不都是直线通往压载舱, 可能存在弯曲, 这对放管至压载水舱带来了困难。压载水排放口取样在船舶装载的情况下, 排放口位于水面以下, 无法进行正常的采样工作^[12]。目前大部分船舶的人孔都是锈死或处于无法打开的状况, 人孔取样的方法实际上很难进行^[13]。我们使用 4 种不同的压载水采样, 分别进行水样中的浮游动物和浮游植物的采样效果分析, 探讨适宜的采样方法, 能够合理地进行压载水取样, 从而为压载水检测技术体系的构建和压载水港口

收稿日期: 2017-12-10 修回日期: 2018-03-12

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: 张 驰(1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为生态学。E-mail: 1667877125@qq.com

通信作者: 吴惠仙, E-mail: hxwu@shou.edu.cn

检测标准的建立提供数据支持^[14-15]。

1 材料与方法

2016 年夏季和冬季在上海海洋大学船舶压载水检测实验室岸基实验基地开展模拟压载实验。模拟舱舱容 600 m³,为全封闭钢筋混凝土结构,舱体内壁刷有船舱专用防腐漆,完全模拟真实舱体,仅在舱体上部开有直径 100 cm 的人孔供样本采集,同时配有管道取样口。舱体壁不透光且隔热性较好,不易受外界气温变化的影响,因此可作为模拟压载实验舱。实验前对舱体进行彻底清洗。通过模拟压载水加载操作过程,由潜水泵引洋山港海域海水,经管道输送注满舱体。加载完成后分别于不同压载时间进行实验。分别用采水器、潜水泵、隔膜泵和管道对个体大小 10~50 μm 的粒径生物及个体大小大于等于 50 μm 的活体生物进行采样,筛网斜径为 10 μm 和 50 μm,采样体积分别为 1、10、100 和 1 000 L,样品过滤后定容到 50 mL,采集 3 个平行样品。样品采集后,在岸基地实验室进行浮游植物数目统计。浮游植物的计数中采用 FDA/CMFDA 双荧光染色,然后在荧光显微镜(OLYMPUS BX53)下计数。以各采样方法生物密度为原始矩阵,为降低数据间极差将原始矩阵进行 $\log(x+1)$ 转换,应用 SPSS 19.0 的单因素方差分析(one-way ANOVA)方法,并结合 Tukey HSD 算法的多重比较,进行生物密度在不同取样方法之间的显著性差异分析。作图软件采用 GraphPad Prism 5.0。

2 结果

2.1 采样方法对压载水浮游植物采样结果的影响

用不同采样方法取 1L 水样,不同采样方式对采样结果有显著影响。夏季采水器采样的浮游植物密度最高,平均值为 1 180.00 ± 20 cells/L,隔膜泵平均值为 971.00 ± 20 cells/L,潜水泵平均值为 964.00 ± 20 cells/L,管道平均值是 676.00 ± 20 cells/L。综合比较不同采样方法之间存在显著差异($F = 22.33, P = 0.01 < 0.05$)(图 1)。两两比较,隔膜泵与潜水泵采样方式之间不存在显著差异($P = 0.99 > 0.05$),隔膜泵与采水器采样方式之间存在显著差异($P = 0.04 < 0.05$),隔膜泵与管道采样方式之间存在显著差异($P =$

$0.01 < 0.05$);潜水泵与采水器采样方式之间存在显著差异($P = 0.03 < 0.05$),潜水泵与管道采样方式之间也存在显著差异($P = 0.01 < 0.05$);采水器和管道取样方式之间存在着显著差异($P = 0.01 < 0.05$)。冬季,管道采样方法统计得到的浮游植物密度最高,平均值为 200.00 ± 20 cells/L,采水器平均值为 152.00 ± 20 cells/L,潜水泵平均值为 120.00 ± 20 cells/L,隔膜泵平均值是 80.00 ± 20 cells/L。综合比较不同采样方法之间存在显著差异($F = 36.90, P = 0.01 < 0.05$)(图 1)。两两比较:隔膜泵与潜水泵采样方式之间存在显著差异($P = 0.04 < 0.05$),隔膜泵与采水器采样方式之间存在显著差异($P = 0.01 < 0.05$),隔膜泵与管道采样方式之间也存在显著差异($P = 0.01 < 0.05$);潜水泵与采水器采样方式之间不存在显著差异($P = 0.96 > 0.05$),潜水泵与管道采样方式之间存在显著差异($P = 0.01 < 0.05$);采水器和管道采样方式之间也存在显著差异($P = 0.02 < 0.05$)。

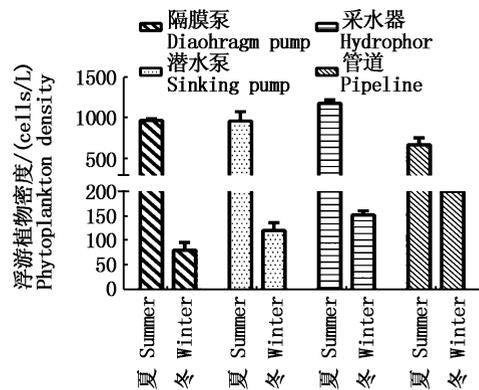


图 1 不同采样方法的结果比较

Fig.1 Comparison of the results of different approaches

2.2 采样体积对压载水浮游植物采样结果的影响

通过管道采样压载水浮游植物,采集不同体积的压载水,结果显示采样体积对结果有显著影响。夏季,用管道采样方法取体积为 1 L 时统计得到的浮游植物密度最高,平均值为 1 000.00 ± 50 cells/L,其次是采样体积为 10 L 时,平均值为 288.40 ± 20 cells/L,然后是 100 L 采样体积下,平均值是 45.24 ± 10 cells/L,最后是采样体积为 1 000 L 时,平均值为 8.92 ± 3 cells/L。综合分析

不同采样体积之间存在显著差异 ($F = 275.20$, $P = 0.01 < 0.05$) (图 2), 两两比较分析显示采样体积 1 L 与 10 L, 100 L, 1 000 L 之间都存在显著差异 ($P = 0.01 < 0.05$); 10 L 与 100 L 之间也存在显著差异 ($P = 0.01 < 0.05$), 与 1 000 L 之间存在显著差异 ($P = 0.01 < 0.05$); 100 L 与 1 000 L 之间不存在显著差异 ($P = 0.83 > 0.05$)。冬季, 用管道相同采样方法取体积为 1 L 时统计得到的浮游植物密度最高, 平均值为 168.00 ± 20 cells/L, 其次是采样体积为 10 L 时, 平均值为 25.20 ± 10 cells/L, 然后是 100 L 采样体积下, 平均值是 3.32 ± 1 cells/L, 最后是采样体积为 1 000 L 时, 平均值为 0.05 ± 0.01 cells/L。综合分析显示不同采样体积之间存在显著差异 ($F = 131.94$, $P = 0.01 < 0.05$) (图 2), 两两比较显示采样体积 1 L 与 10 L, 100 L, 1 000 L 之间都存在显著差异 ($P = 0.01 < 0.05$); 10 L 与 100 L 之间存在显著差异 ($P = 0.02 < 0.05$), 与 1 000 L 之间也存在显著差异 ($P = 0.10 < 0.05$); 100 L 与 1 000 L 之间不存在显著差异 ($P = 0.99 > 0.05$)。

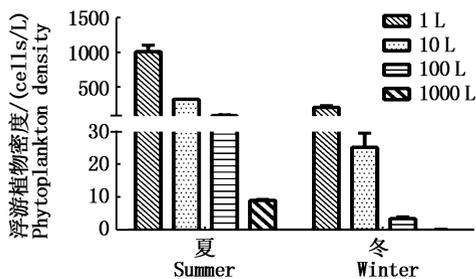


图 2 不同采样体积的结果比较

Fig. 2 Comparison of the results of different sampling volumes

2.3 50 μm 筛网处理对压载水浮游植物采样结果的影响

用管道采样方法取体积为 1 L 压载水水样。夏季, 不经过 50 μm 筛网处理时, 浮游植物丰度平均值为 $1\,000.00 \pm 50$ cells/L, 经过 50 μm 筛网处理后, 平均值是 676.00 ± 50 cells/L。两种不同采样方法之间存在显著差异 ($F = 19.35$, $P = 0.01 < 0.05$) (图 3)。冬季, 不经过 50 μm 筛网处理时, 平均值为 200.00 ± 20 cells/L, 经过 50 μm 筛网, 平均值是 168.00 ± 20 cells/L。两种不同采样方法之间存在显著差异 ($F = 3.54$, $P = 0.13 < 0.05$) (图 3)。

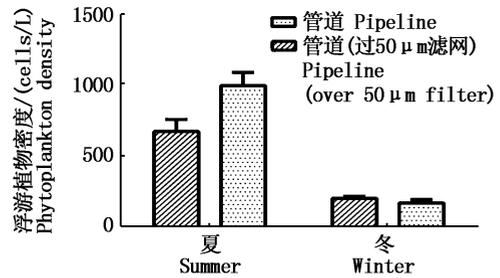


图 3 过 50 μm 筛网处理的比较

Fig. 3 Comparison of whether or not a 50 μm filter is treated

3 讨论

《国际船舶压载水和沉积物控制与管理公约》已于 2017 年 9 月生效, 公约赋予了港口国对到港船舶压载水检查的权力, 但没有规定统一的采样方法, 根据国内外研究报道, 目前涉及到的压载水采样方法主要包括采水器法、潜水泵法、隔膜泵和管道采样法^[16], 不同的采样方法可能影响压载水检测结果^[17], 进而影响到压载水排放许可的客观性与公正性。我们通过模拟实验, 对这四种压载水采样方法进行了验证比较, 应用这四种采样方法的浮游植物采样结果差异显著, 显示不同的采样方法影响着浮游植物的采样结果。为完善和建立港口国压载水检测技术体系, 应开展标准化的船舶压载水采样技术研究, 并针对不同的船型和不同的采水途径, 分类指导, 建立相应的采样技术。

根据《国际船舶压载水和沉积物控制与管理公约》的规定, 所有的船舶最终都将安装压载水管理系统 (BWTS)。所有的压载水管理系统都必须经过生物有效性测试及其它相关试验后, 经过型式认可才可生产和安装^[18], 在船舶压载水管理系统型式认可的生物有效性测试试验中, 需要测试压载水中的微生物、浮游植物和浮游动物等经过处理后是否达到《国际船舶压载水和沉积物控制与管理公约》或其它国家规定的压载水排放标准^[19]。船舶压载水管理系统型式认可的生物有效性测试多是通过岸基试验完成的, 岸基试验的压载水浮游植物采样是通过管道采样进行的, 根据《国际船舶压载水和沉积物控制与管理公约》的要求, 浮游植物每个样品的采样水量为 100 L^[20], 美国海岸警卫队制定的船压载水管理系统型式认可的生物有效性岸基试验浮游植物样品

的采样量为 1 000 L,本文试验显示不同的采样体积(1 L、10 L、100 L 和 1 000 L)条件下,浮游植物的采集结果差异显著,采样体积影响着浮游植物的采样结果。

参考文献:

- [1] IMO. International convention for the control and management of ships' ballast water and sediments [R]. London: International Maritime Organization, 2004.
- [2] PIMENTEL D, LACH L, ZUNIGA R, et al. Environmental and economic COSTS of nonindigenous species in the United States[J]. *BioScience*, 2000, 50(1): 53-65.
- [3] 王侃, 金晓红, 王昶远. 现代物流与外来有害生物入侵的思考[J]. *林业科技*, 2007, 32(1): 36, 55.
WANG Q, JIN X H, WANG C Y. Thinking of modern logistics and invasion of alien pests[J]. *Forestry Science & Technology*, 2007, 32(1): 36, 55.
- [4] 张荣忠. 日本造船研究所船舶无压舱水革新设计[J]. *世界海运*, 2007, 30(2): 31-33.
ZHANG R Z. Japan shipbuilding research center's innovative non ballast water ship design[J]. *World Shipping*, 2007, 30(2): 31-33.
- [5] 梅雄, 刘艳晶. 浅谈船舶压载水的危害和管理[C]//海浪海啸与实用航海技术. 广州: 中国航海学会, 2006: 5.
MEI X, LIU Y J. On the harm and management of ship ballast water[C]//Wave Tsunami and Practical Navigation Technology. Guangzhou: China Institute of Navigation, 2006: 5.
- [6] 党坤, 宋家慧, 赵殿荣, 等. 船舶压载水问题综述[J]. *航海技术*, 2001(4): 60-63.
DANG K, SONG J H, ZHAO D R, et al. Ship ballast water overview[J]. *Marine Technology*, 2001(4): 60-63.
- [7] 白佳玉. 船舶压载水法律规制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
BAI J Y. Research on legal regulation of ship's ballast water preface[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [8] Macdonald E, Davidson R. Ballast water project-final report [R]. Aberdeen: FRS Marine Laboratory 1997: 83.
- [9] Williams 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(4): 409-420.
- [10] 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. Invasion ecology of exotic species in the ocean[J]. *Acta Biosafety Sinica*, 2013, 22(1): 8-16.
- [11] 徐加伟, 付立东, 吴桂涛. 船舶压载水取样探究[J]. *中国水运*, 2016, 16(6): 12-14, 17.
XU J W, FU L D, WU G T. Exploration of ship ballast water sampling[J]. *China Water Transport*, 2016, 16(6): 12-14, 17.
- [12] 李晓涛, 李华. 船舶压载水取样方法探讨[J]. *船海工程*, 2007, 36(3): 80-82.
LI X T, LI H. Discussion on sampling methods of ship ballast water[J]. *Ship & Ocean Engineering*, 2007, 36(3): 80-82.
- [13] DAVID M, PERKOVIĆ M. Ballast water sampling as a critical component of biological invasions risk management [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(4): 313-318.
- [14] 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.
- [15] 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. Correlation of phytoplankton composition and ecological factors of ballast water in Shanghai Port [J]. *Bulletin of Oceanology and Limnology*, 2015(4): 161-167.
- [16] 冯道伦, 许乐平. 船舶压载水中生物取样和检测的几个问题[J]. *环境科学与技术*, 2009, 32(3): 87-89.
FENG D L, XU L P. Several problems concerning sampling and monitoring of organisms in ballast water [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 32(3): 87-89.
- [17] 徐少华. 水样的采集与保存的技术方法探析[J]. *科技传播*, 2010(18): 61-62.
XU S H. The techniques for water sample collection and preservation [J]. *Public Communication of Science & Technology*, 2010(18): 61-62.
- [18] 蔡建邦. 船舶压载水及沉积物国际公约的动向和对策[J]. *广州航海学院学报*, 2016, 24(4): 8-10, 37.
CAI J B. Research on the development tendency and countermeasure to ballast water management convention[J]. *Journal of Guangzhou Maritime Institute*, 2016, 24(4): 8-10, 37.
- [19] 冯道伦, 苏晓峰, 詹世杰. 船舶压载水中活体生物计数方法的研究——真空抽滤浓缩固定预处理[J]. *环境科学与技术*, 2011, 34(4): 44-47.
FENG D L, SU X F, ZHAN S J. Numeration of viable organism in ship's ballast water —— concentration and fixation pretreatment by vacuum filtration[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 34(4): 44-47.
- [20] IMO. MEPC. 174(58) Guidelines for approval of ballast water management systems (G8) [S]. London: IMO, 2008.

Effects of different sampling methods on the assessment of biomass quantity in ballast water

ZHANG Chi^{1,2}, XUE Junzeng^{1,2}, SHAO Yuhao^{1,2}, SHEN Chen^{1,2}, WU Huixian^{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: Through simulation experiments, four sampling methods (water collector method, diaphragm pump method, submersible pump method, and pipeline method) and four sampling volumes (1 L, 10 L, 100 L, and 1 000 L) were compared under summer and winter conditions. The results showed that the method of sampling impacts the analysis of phytoplankton. The density of phytoplankton collected by the four sampling methods in the summer was $1\ 180.00 \pm 20$ cells/L, 971.00 ± 20 cells/L, 964.00 ± 20 cells/L, and 676.00 ± 20 cells/L respectively, and 152.00 ± 20 cells/L and 120.00 ± 20 cells/L, 80.00 ± 20 cells/L, 200.00 ± 20 cells/L in winter. The phytoplankton density collected in the four sampling volumes in summer was $1\ 000.00 \pm 50$ cells/L, 288.40 ± 20 cells/L, 45.24 ± 10 cells/L, 0.05 ± 0.01 cells/L and 168.00 ± 20 cells/L, 25.20 ± 10 cells/L, 3.32 ± 1 cells/L and 0.05 ± 0.01 cells/L in winter. The results show that regardless of summer or winter, different sample methods and sampling volumes have significant differences in the number of phytoplankton in the ballast water. Therefore, the sampling method and sampling volume affect the analysis of phytoplankton in the ship's ballast water. The systematic research is conducted to establish a unified and accurate sampling method for ship ballast water so as to provide technical support for ballast water port state inspection and to protect the port and marine ecological environment.

Key words: ballast water; sampling method; sample volume; plankton