

文章编号: 1674-5566(2018)03-0358-07

DOI:10.12024/jsou.20180110003

洋山港海域海水压载后理化指标变化规律

邵于豪^{1,2}, 许自力^{1,2}, 王一丹^{1,2}, 刘亮^{1,2}, 袁林^{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: 通过模拟压载实验, 比较分析夏季和冬季洋山港海域海水压载 0、1、5、10、15 和 30 d 后水体理化因子的变化, 包括光照强度、pH、盐度(Sal)、温度(T)、溶解氧(DO)、浊度、悬浮物(TSS)、亚硝酸盐(NO₂-N)、铵盐(NH₄-N)、硝酸盐(NH₃-N)、磷酸盐(PO₄-P)、总氮(TN)和总磷(TP)。结果显示: 压载舱处于黑暗状态, 与外界差别巨大; 夏季压载第 1 天温度降低, 其后变化不大, 冬季温度稳定, 后期气温骤降时影响到舱内温度; 夏季和冬季压载过程中盐度基本保持稳定; 冬季溶解氧保持稳定, 夏季压载前期未出现波动, 第 30 天明显下降; 夏、冬两季 pH 均未发生显著变化; 自然海水进入压载舱后, 浊度以及 TSS 大幅降低, 变化极为显著; 冬季总氮含量保持稳定水平, 夏季压载后期总氮较原海水显著性上升; 夏季总磷含量波动较大, 但经过 30 d 模拟压载后依然高于原海水, 冬季总磷在第 1 天显著降低, 此后变化微弱。

关键词: 压载水; 模拟实验; 理化指标; 洋山港

中图分类号: X 824 **文献标志码:** A

船舶压载水是维持船体平衡, 保障船舶航行安全的重要压载物^[1], 现已成为海洋外来生物入侵的主要载体之一^[2-4]。为防控船舶压载水造成的生物入侵问题, 国内外学者对到港船舶携带的浮游生物、微生物等进行了相关研究^[5-11]。

海洋是开放的生态系统, 生态状况受多方面环境因素的影响, 形成了相应的海洋生物群落。天然海域海水进入压载舱后, 水体环境发生了巨大变化, 如缺乏光照、由流动性水体变为相对静止的水体、悬浮物逐渐沉降、与外界气体交换被阻隔等, 形成了特殊的新生态系统。原海水中水生生物势必随之发生了相应演变。水体由开放的海洋环境进入黑暗封闭的压载舱环境后, 其环境因子发生了哪些具体变化, 其在压载舱中如何随压载时间而演变, 又是如何影响水体生物群落的生态状况, 目前尚没有具体的研究报道。本研究通过岸基模拟压载试验, 系统分析了压载前后以及压载过程中的水体环境的变化规律, 为进一步研究船舶压载水环境的变化对压载水生物影

响, 以及船舶压载水生物入侵的防控提供理论基础。

1 材料与方法

模拟实验于 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试验基地进行。实验舱舱容 600 m³, 为全封闭钢筋混凝土结构, 仅在舱体上部设有直径为 100 cm 的封闭式人孔。舱体内壁刷有船舱专用防腐漆, 舱体壁不透光, 且隔热性较好, 受外界气温变化的影响小。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, 加载洋山港海域海水至实验舱。

加载前采集洋山港海域自然海水样本, 加载后分别于第 0、1、5、10、15 和 30 天进行样品采集, 第 0 天为加载完成当天, 作为实验起始。现场使用 WTW Multi 3430 多参数水质分析仪测定水样 pH、盐度(Sal)、温度(T)和溶解氧(DO)。亚硝酸盐(NO₂-N)、铵盐(NH₄-N)、硝酸盐(NH₃-N)和磷酸盐(PO₄-P)样品加入千分之二体积的三氯甲

收稿日期: 2018-01-20 修回日期: 2018-04-21

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: 邵于豪(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为港航生态安全。E-mail: yuhao135531@hotmail.com

通信作者: 袁林, E-mail: lyuan@shou.edu.cn

烷,总氮(TN)和总磷(TP)加入 1.0 mL 50% 硫酸溶液,样本置于冰盒内返回实验室,并采用 CleverChem Anna-G 全自动间断化学分析仪测定水体营养盐指标。

测定数据采用均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示实验数据的数字特征。压载前后各实验点水质指标的差异比较采用配对样本 t 检验,显著性水平设置为 0.05。数据处理采用统计软件 SPSS 19.0,采用 GraphPad Prism 5.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 光照强度

自然海域光照强度大,压载舱是一个密封的环境,舱体内黑暗、无光照。水体由海洋压载入模拟舱后,进入了黑暗无光照的环境,水体表面的光照度在海面和压载舱中发生了巨大变化(图 1)。

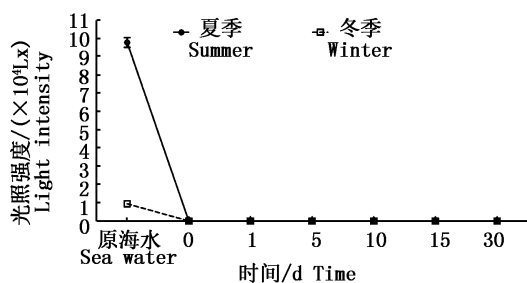


图 1 模拟压载实验过程中光照强度变化趋势
Fig. 1 Changes of light intensity during the simulation ballasting experiment

2.2 水温

夏季温度的变化范围是 22.3 ~ 28.0 $^{\circ}\text{C}$,温度的明显变化发生在第 1 天,与原海水相比下降 5.1 $^{\circ}\text{C}$,差异显著 ($t = 72.501, P = 0.000$)。此后水温随外界环境气温逐步上升,第 30 天水温较 1 d 发生显著变化 ($t = -7.633, P = 0.017$)。冬季温度变化范围是 9.9 ~ 12.8 $^{\circ}\text{C}$,压载后温度保持稳定,至第 30 天出现变化,水温较 15 d 下降 1.6 $^{\circ}\text{C}$,并未产生显著差异 ($t = 1.535, P = 0.265$,图 2)。冬季天气监测情况表明,环境温度在第 15 天至 30 天时间段骤降,夜间气温低于 0 $^{\circ}\text{C}$,可能由此引起舱内温度波动。

2.3 盐度

夏季实验中盐度的变化范围是 13.2 ~ 13.4,基本保持稳定,未有明显变化发生。冬季实验中盐度变化范围在 20.6 ~ 21.1,变化范围较小,无

显著差异(图 3)。冬季洋山港海域盐度水平明显高于夏季,是由于夏季长江和钱塘江等径流大量涌入,导致盐度明显下降,冬季各径流减少,盐度增加^[12]。

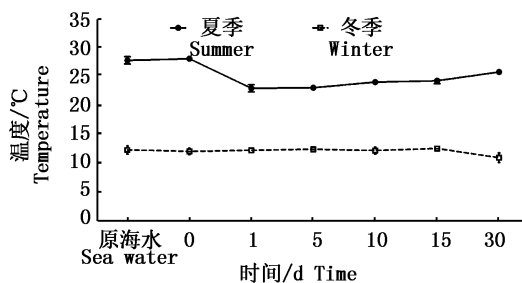


图 2 模拟压载过程中温度变化趋势
Fig. 2 Changes of temperature during the simulation ballasting experiment

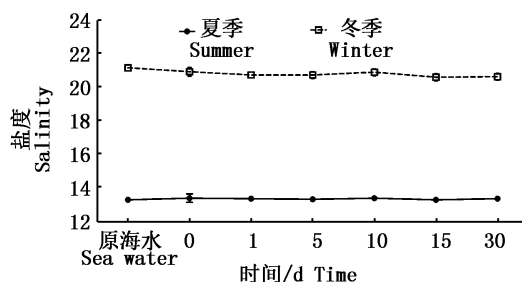


图 3 模拟压载过程中盐度变化趋势
Fig. 3 Changes of salinity during the simulation ballasting experiment

2.4 pH

pH 在夏季试验中的变化范围是 8.257 ~ 8.296,并未发生显著性变化(图 4)。冬季实验中,pH 保持平稳,变化范围在 7.816 ~ 7.871 之间,无显著差异性变化。

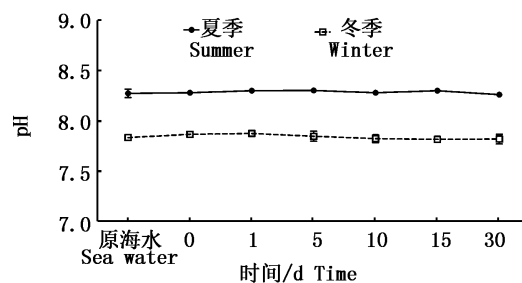


图 4 模拟压载过程中 pH 变化趋势
Fig. 4 Changes of pH during the simulation ballasting experiment

2.5 溶解氧

夏季实验期间溶解氧的变化范围为 7.68 ~ 8.21 mg/L, 压载期间溶解氧呈下降趋势, 30 d 时水体溶解氧较原海水发生显著变化 ($t = 14.552$, $P = 0.005$, 图 5), 但仍保持在较高水平。冬季压载水中溶解氧变化范围为 11.02 ~ 11.73 mg/L, 在压载过程中未发生显著变化。

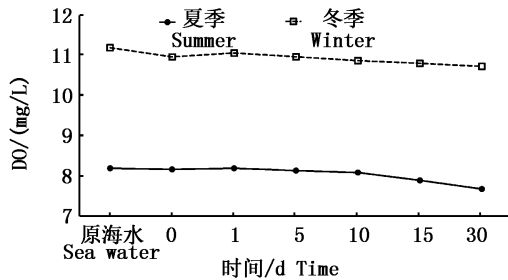


图 5 模拟压载过程中溶解氧变化趋势

Fig. 5 Changes of DO during the simulation ballasting experiment

2.6 浊度和悬浮物

夏季实验中浊度的变化范围为 1.05 ~ 51.32 NTU, 浊度变化在第 5 d 前下降趋势明显。原海水加载进入实验舱的过程中浊度已开始下降, 第 0 天时浊度较原海水降低 10.81 NTU, 此时变化差异不显著 ($t = 2.617$, $P = 0.120$); 随后, 第 1 天水体浊度较第 0 天下降 18.16 NTU, 差异显著 ($t = 5.566$, $P = 0.031$); 第 5 天水体浊度持续下降, 较第 1 天降低 13.53 NTU, 发生显著变化 ($t = 8.686$, $P = 0.013$) (图 6)。此后水体浊度保持平稳。冬季实验中水体浊度的变化范围为 0.73 ~ 290.81 NTU, 压载期间浊度呈下降趋势。海水加载完成后, 水体浊度已发生显著变化, 第 0 天压载水浊度较原海水 ($t = 26.143$, $P = 0.001$) 差异极显著; 第 1 天压载水浊度较原海水 ($t = 23.094$, $P = 0.002$) 差异极显著; 第 5 天压载水浊度较原海水 ($t = 38.598$, $P = 0.001$) 差异极显著 (图 6)。经过前 5 天的显著下降, 此后水体浊度保持稳定, 在第 5 天至 30 天的压载期间不发生显著变化。

夏季实验中悬浮物的变化范围为 0.049 ~ 0.156 g/L, 压载期间呈下降趋势。第 0 天较原海水下降 0.039 g/L, 变化显著 ($t = 8.182$, $P = 0.015$); 第 1 天再次降低 0.039 g/L, 下降显著 ($t = 5.671$, $P = 0.030$), 此后保持稳定。冬季实

验中悬浮物的变化范围为 0.019 ~ 0.412 g/L, 压载期间呈下降趋势。冬季实验中悬浮物主要变化发生在第 1 天, 此时水体悬浮物较原海水下降 0.318 g/L, 波动极其显著 ($t = 88.197$, $P = 0.000$)。随后, 在第 5 天水体悬浮物含量再次显著降低 ($t = 12.625$, $P = 0.006$), 降低至 0.029 g/L。5 d 后水体悬浮物含量保持稳定, 无显著变化 (图 7)。

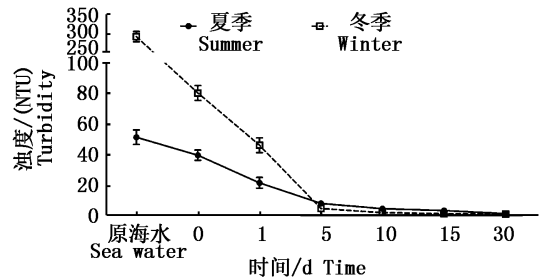


图 6 模拟压载过程中浊度变化趋势

Fig. 6 Changes of turbidity during the simulation ballasting experiment

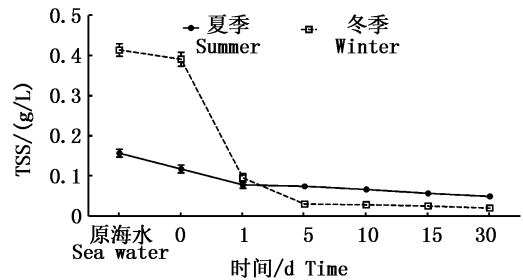


图 7 模拟压载过程中悬浮物变化趋势

Fig. 7 Changes of TSS during the simulation ballasting experiment

2.7 营养盐

夏季实验中总氮的变化范围为 0.088 ~ 2.511 mg/L, 呈先降低后上升的变化趋势。第 5 d 前总氮含量持续降低, 第 0 天较原海水降低 0.411 mg/L, 此时差异显著 ($t = 38.064$, $P = 0.003$), 第 1 天较第 0 天显著 ($t = 35.068$, $P = 0.001$) 下降 0.292 mg/L, 第 5 天与第 1 天保持平稳, 第 10 天较第 5 天显著上升 ($t = 6.514$, $P = 0.023$) 至 1.297 mg/L。第 15 天发生波动变化, 呈显著性降低 ($t = 12.250$, $P = 0.007$)。第 30 天水体总氮浓度上升达到最大值 (2.511 mg/L), 较第 15 天发生显著变化 ($t = -31.734$, $P = 0.001$)。硝酸盐含量变化范围为 0.478 ~ 1.091 mg/L, 压载期间显著变化发生在第 5 天和第 10

天。第5天前水体硝酸盐含量保持稳定,无显著变化发生,第5天时发生显著性降低($t = 16.540, P = 0.004$),第10天持续下降至 0.498 mg/L ,较第5天差异显著($t = 8.66, P = 0.013$)。此后硝酸盐含量保持稳定。氨氮浓度的变化范围为 $0.011 \sim 0.070 \text{ mg/L}$ 。海水加载进入实验舱后(第0天)氨氮浓度发生显著性下降($t = 9.948, P = 0.010$),降至 0.011 mg/L 。随后在第5天有所上升,但并无显著表现($t = -3.254, P = 0.083$),此后压载至第30天均无显著变化发生。亚硝酸盐浓度变化范围为 $0.006 \sim 0.086 \text{ mg/L}$,第0天时较原海水显著降低($t = 13.732, P = 0.005$),此后维持在较低浓度水平,无显著变化。

冬季实验中总氮的变化范围为 $0.867 \sim 1.419 \text{ mg/L}$,压载期间波动较为平稳,仅10 d时浓度有所下降(0.867 mg/L),较原海水差异极显著($t = -75.100, P = 0.000$),此后上升至与原海水保持一致水平(图8)。硝酸盐在冬季实验中的变化范围为 $0.232 \sim 0.685 \text{ mg/L}$,压载期间显著变化发生在第1天、第10天和第30天。其中,第1天较第0天显著降低($t = 34.270, P = 0.001$),随后在第5天显著升高至最大值($t = -47.096, P = 0.000$),达到 0.685 mg/L 。第10天再次显著降低($t = 54.930, P = 0.000$),较第5天下降 0.453 mg/L 。随后在第15天显著上升($t = -247.400, P = 0.000$),最后在第30天显著降低至 0.265 mg/L ($t = 145.706, P = 0.000$)。亚硝酸盐变化范围为 $0.002 \sim 0.003 \text{ mg/L}$,氨氮变化范围为 $0.243 \sim 0.314 \text{ mg/L}$,亚硝酸盐和氨氮浓度无明显起伏,压载期间未有显著变化发生。

夏季实验中总磷浓度的变化范围为 $0.083 \sim 0.205 \text{ mg/L}$,第0天、第1日均保持稳定,无显著变化,第5天时显著增加达到最高值($t = -352.000, P = 0.000$)。此后不断下降,在第10天和第15日均发生显著变化。其中第10天总磷浓度较第5天下降 0.083 mg/L ,差异极显著($t = 13.645, P = 0.005$);第15天较第10天下降 0.079 mg/L ,差异极显著($t = 20.867, P = 0.002$);实验进行到第30天时总磷浓度上升,与第15天水体总磷浓度差异显著($t = -7.591, P = 0.017$)。正磷酸盐浓度变化范围为 $0.015 \sim 0.058 \text{ mg/L}$,表现出先上升后降低的变化趋势。第0天较原海水无显著变化,第1天发生显著性

增长($t = -6.755, P = 0.021$);第5天迅速降低 0.036 mg/L ,较第1天变化极显著($t = 5.455, P = 0.000$),第5天至第15天期间无显著变化,第30天水体正磷酸盐浓度较第15天显著上升($t = -8.575, P = 0.013$)至 0.038 mg/L 。

冬季实验中总磷浓度变化范围为 $0.023 \sim 0.141 \text{ mg/L}$,压载过程中呈明显下降趋势。第0天时海水加载完成未发生显著变化,第1天时水体总磷浓度发生显著降低($t = 140.512, P = 0.000$),较第0天减少 0.093 mg/L 。第5天水体总磷浓度较第1天下降 0.035 mg/L ,变化显著($t = 26.500, P = 0.001$)。此后压载期间水体总磷浓度维持在较低水平,无显著变化(图9)。正磷酸盐浓度变化范围为 $0.002 \sim 0.022 \text{ mg/L}$,表现出先下降后上升的变化趋势。第0天保持稳定,第1天起显著下降($t = 13.000, P = 0.006$),第5天降至最低值 0.002 mg/L ,较第1天差异显著($t = 4.000, P = 0.057$)。此后的压载期间,水体正磷酸盐浓度无显著变化发生。

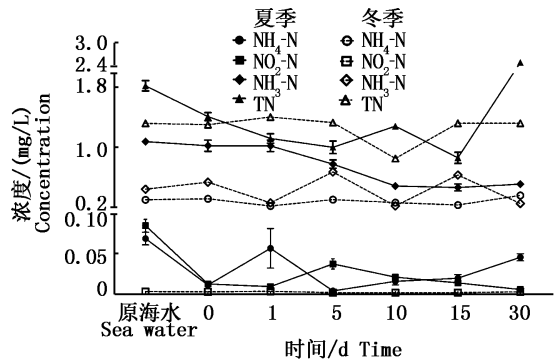


图8 模拟压载过程中氮素变化趋势

Fig. 8 Changes of nitrogen during the simulation ballasting experiment

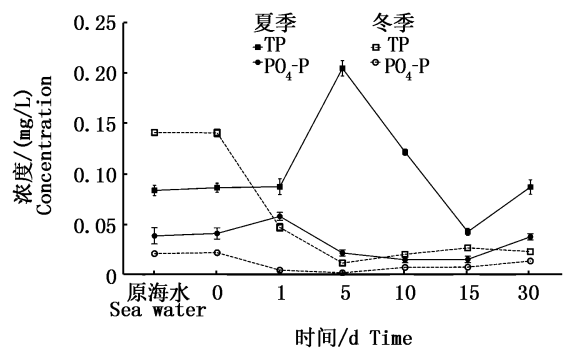


图9 模拟压载过程中磷素变化趋势

Fig. 9 Changes of phosphorus during the simulation ballasting experiment

3 讨论

与自然海域相比,压载舱内光照条件发生巨大变化,舱门关闭后处于完全黑暗状态,这是由于压载舱的密闭性结构所导致的。光是浮游植物的光合作用的关键影响因子,黑暗、密闭的压载舱影响着压载水浮游植物种类组成和存活^[13-15]。

压载舱中的水温基本稳定,但外界气温变化幅度大时,也会出现波动。夏季,由于模拟压载舱内太阳照射不到,自然海域气温高于模拟压载舱,导致海水加载到压载舱后第1天就发生显著的温度降低,其后则基本保持不变。冬季自然环境温度与压载舱温度基本一致,压载后水温变化不明显,但在后期气温急剧下降时,尽管舱体采用钢筋混凝土结构,具有一定的隔绝性,外界剧烈的温度变化仍对压载舱水体产生一定程度的影响。据相关报道,当船舶跨越不同的纬度带时,外界温度的剧烈变化会对压载水中浮游生物的存活造成极大影响^[9,16-17]。因而在海洋上航行的远洋船舶,在从低温到高温或高温到低温跨越温度变化巨大的海域时,外界的温度变化会影响到密封舱体中的压载水水温,并影响到压载水生物的生态状况^[18-19]。

压载水加载后,溶解氧虽有消耗,但仍保持在较高水平,满足生物生存的需要,尤其是受到温度的影响,冬季的溶解氧更高。由于压载对大型生物容易造成机械性损伤致死,压载水中多为小型浮游生物,所以耗氧量低,且随生物丰度的不断降低,溶解氧含量波动减弱^[20-21]。因此,溶解氧并非压载舱内生物存活的限制因子。

浊度和总悬浮物明显下降,且在较短的压载时间内完成大幅沉降,压载水处于相对静止的状态,海水加载进入舱体后大颗粒悬浮物质快速沉降,小型颗粒物随着压载时间的延长继续沉降。悬浮颗粒物中含有机碳、有机氮、碳水化合物、蛋白质等有机成分,并对无机氮、磷营养盐具有吸附作用。压载水中悬浮物含量的降低意味着作为食物的有机碎屑沉降到低水层,表、中层生活的浮游生物不断失去该部分食物来源,但可能有利于处于底层的生物。浊度和悬浮物的变化极有可能影响着压载水中浮游生物的存活情况。

水体总氮含量在经过30 d压载后较原海水未发生明显变化。夏季,压载前5天总氮含量逐渐下降,此后波动上升。冬季,水体总氮含量基本保持稳定。压载前期由于存活生物的代谢消耗,总氮含量有所下降。随着浮游生物死亡后,细胞逐渐破裂,自溶释放的溶解有机质中含有大量较高活性的碳水化合物和氨基酸^[22]。这些溶解态的有机质具有活性及生物可利用性,绝大部分被微生物利用降解。在压载舱黑暗的水体条件下,异养细菌对于溶解有机质的降解起主要作用^[23]。夏季,水体存活生物数量较多,压载前期总氮含量下降趋势更为明显;同时,由于夏季较高的温度,微生物表现出更为高效的降解能力,使得压载后期总氮含量迅速上升。

在夏季模拟压载过程中,总磷含量发生剧烈波动,经过30 d后仍高于原海水。结合压载水实船调查发现,压载水中细菌的丰度会出现不降反升的情况,并且异养细菌为主要优势类群^[24-25]。此类群细菌发挥的降解作用以及浮游植物的自溶解行为,使得水体中营养物质的含量保持在一定范围。冬季,由于温度较低,微生物降解能力受到影响,总磷含量在压载后期虽表现出逐渐上升的变化趋势,但仍然低于原海水。因此,尽管压载舱是一个完全封闭的载体,营养盐无法得到外来的补充,但是在经过长时间压载后,压载水中营养盐的含量依然能够满足浮游生物的生长需求,一旦压载水排载,浮游生物获得光照等其他条件后将大量繁殖,对目的港口造成生物入侵。

参考文献:

- [1] 李迪阳,姜仕倩,王俊英. 船舶压载水中有害生物的管理与控制[J]. 海岸工程, 2001, 20(3): 47-53.
LI D Y, JIANG S Q, WANG J Y. Management and control of harmful organisms in ship ballast water [J]. Coastal Engineering, 2001, 20 (3): 47-53.
- [2] DAVID M, GOLLASCH S. EU Shipping in the dawn of managing the ballast water issue [J]. Marine Pollution Bulletin, 2008, 56(12): 1966-1972.
- [3] GOLLASCH S, LENZ J, DAMMER M, et al. Survival of tropical ballast water organisms during a cruise from the Indian Ocean to the North Sea [J]. Journal of Plankton Research, 2000, 22(5): 923-937.
- [4] ENDRESEN Ø, LEE BEHRENS H, BRYNESTAD S, et al. Challenges in global ballast water management [J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 48(7/8): 615-623.

- [5] 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]. 检验检疫学, 2007, 17(3): 9-11.
WANG A M, XU B F, CHEN Z H, et al. External harmful living beings in ballast water on cross border vessel [J]. Inspection and quarantine science, 2007, 17(3): 9-11.
- [6] 薛俊增,刘艳,王金辉,等. 洋山深水港入境船舶压舱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.
- [7] GHABOOLI S, ZHAN A B, PAOLUCCI E, et al. Population attenuation in zooplankton communities during transoceanic transfer in ballast water[J]. Ecology and Evolution, 2016, 6(17): 6170-6177.
- [8] BAX N, WILLIAMSON A, AGUERO M, et al. Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity[J]. Marine Policy, 2003, 27(4): 313-323.
- [9] SIMARD N, PLOURDE S, GILBERT M, et al. Net efficacy of open ocean ballast water exchange on plankton communities[J]. Journal of Plankton Research, 2011, 33(9): 1378-1395.
- [10] HALLEGRAEFF G M, BOLCH C J. Transport of diatom and dinoflagellate resting spores in ship's ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture [J]. Journal of Plankton Research, 1992, 14(8): 1067-1084.
- [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] 边佳胤. 洋山港海域水质变化趋势及富营养化状况[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
BIAN J Y. Analysis on variation trend of seawater quality and assessment of eutrophication status at Yangshan port [D]. Shanghai: Ocean University, 2013.
- [13] GRAY D K, MACISAAC H J. Diapausing zooplankton eggs remain viable despite exposure to open-ocean ballast water exchange: evidence from in situ exposure experiments[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2010, 67(2): 417-426.
- [14] 李小洪,刘文正,赵爽,等. 船舶压舱水中浮游植物入侵风险分析[J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2013, 36(2): 118-123.
LI X H, LIU W Z, ZHAO S, et al. Risk assessment of phytoplankton invasion of ballast water[J]. Chinese Frontier Health Quarantine, 2013, 36(2): 118-123.
- [15] 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, 29(6): 358-360.
ZHENG J N, QIU J L, XUE X C. Study on planktons taken by ballast water of international navigation ships[J]. Chinese Frontier Health Quarantine, 2006, 29(6): 358-360.
- [16] MCCOLLIN T, SHANKS A M, DUNN J. Changes in zooplankton abundance and diversity after ballast water exchange in regional seas[J]. Marine Pollution Bulletin, 2008, 56(5): 834-844.
- [17] CHAN F T, BRISKI E, BAILEY S A, et al. Richness-abundance relationships for zooplankton in ballast water: temperate versus Arctic Comparisons [J]. ICES Journal of Marine Science, 2014, 71(7): 1876-1884.
- [18] TAYLOR M D, MACKENZIE L M, DODGSHUN T J, et al. Trans-Pacific shipboard trials on planktonic communities as indicators of open ocean ballast water exchange [J]. Inter-Research Marine Ecology Progress Series, 2007, 350: 41-54.
- [19] MURPHY K, BOEHME J, COBLE P, et al. Verification of mid-ocean ballast water exchange using naturally occurring coastal tracers[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 48(7/8): 711-730.
- [20] AMON R M W, FITZNER H P, BENNER R. Linkages among the bioreactivity, chemical composition, and diagenetic state of marine dissolved organic matter [J]. Limnology and Oceanography, 2001, 46(2): 287-297.
- [21] KLEIN G, MACLINTOSH K, KACZMARSKA I, et al. Diatom survivorship in ballast water during trans-pacific crossings [J]. Biological Invasions, 2010, 12(5): 1031-1044.
- [22] MEON B, KIRCHMAN D L. Dynamics and molecular composition of dissolved organic material during experimental phytoplankton blooms [J]. Marine Chemistry, 2001, 75(3): 185-199.
- [23] 高小丰,吴莹,朱卓毅. 长江口外浮游植物死亡释放溶解有机质的降解及其溶氧消耗[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(5): 1010-1017.
GAO X F, WU Y, ZHU Z Y. Degradation of dissolved organic matter from dead phytoplankton off the Changjiang River estuary and the resulting dissolved oxygen consumption [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2015, 46(5): 1010-1017.
- [24] ALTUG G, GURUN S, CARDAK M, et al. The occurrence of pathogenic bacteria in some ships' ballast water incoming from various marine regions to the Sea of Marmara, Turkey [J]. Marine Environmental Research, 2012, 81: 35-42.
- [25] MA Y, XIONG H J, TANG S M, et al. Comparison of the community structure of planktonic bacteria in ballast water from entry ships and local sea water in Xiamen Port [J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(8): 947-953.

Variation of physical and chemical factors in the water after loading from sea to the simulation ballast cabin at Shanghai Yangshan Port

SHAO Yuhao^{1,2}, XU Zili^{1,2}, WANG Yidan^{1,2}, LIU Liang^{1,2}, YUAN Lin^{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: In order to understand the variation of physical and chemical factors in ballast water, the simulation ballasting experiment was designed and conducted at land-based test facility. Sample data were collected immediately after pumping finished (0 d) and then on days 1, 5, 10, 15 and 30 respectively. The parameters to be analyzed include water temperature, salinity, pH, DO, turbidity, TSS, NO₂-N, NH₄-N, NH₃-N, PO₄-P, TN and TP. Salinity and temperature fluctuated in a small range, and there was no significant change during holding. Natural light was strong, especially in summer, so that was the main reason why natural sea water temperature has declined after being pumped into the dark environment. It might have a certain impact on the temperature of the ballast tank in case of strong cooling weather in winter. The depletion of oxygen of the plankton in the tank did not show significant changes to the DO. The stability of DO and pH could be maintained throughout the ballasting process. Turbidity and TSS decreased significantly within holding time. There was a large fluctuation of TN, NO₂-N and NH₄-N in summer, and of NH₃-N in winter. The initial concentration of phosphorus in winter was higher than that in summer, but it rapidly decreased. It declined notably in its initial stage during winter time.

Key words: ballast water; simulation ballasting experiment; physical and chemical factors; Yangshan Port