

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第6期

Vol.35 No.6

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

北京地区冬夏季持续性雾-霾发生的环境气象条件对比分析..... 廖晓农, 张小玲, 王迎春, 刘伟东, 杜佳, 赵玲慧 (2031)

阜康大气气溶胶中水溶性无机离子粒径分布特征研究 苗红妍, 温天雪, 王跃思, 刘子锐, 王丽, 兰中东 (2045)

上海地铁站台大气颗粒物中过渡金属研究 包良满, 雷前涛, 谈明光, 李晓林, 张桂林, 刘卫, 李燕 (2052)

七一冰川地区苔藓中重金属元素含量研究 马娟娟, 李真 (2060)

冬季东海、南黄海中 DMS 和 DMSP 浓度分布及影响因素研究 宋以柱, 张洪海, 杨桂朋 (2067)

大亚湾石化排污海域重金属污染及生态风险评价 徐姗姗, 李纯厚, 徐娇娇, 肖雅元, 林琳, 黄小平 (2075)

深圳水库群表层水中全氟化合物的分布特征 王鑫璇, 张鸿, 何龙, 沈金灿, 柴之芳, 杨波, 王艳萍 (2085)

表层岩溶泉水中多环芳烃污染特征及来源解析 孙玉川, 沈立成, 袁道先 (2091)

桂江主要离子及溶解无机碳的生物地球化学过程 唐文魁, 陶贞, 高全洲, 毛海若, 姜光辉, 焦树林, 郑雄波, 张乾柱, 马赞文 (2099)

汾河源区不同景观带水文过程研究 杨永刚, 李彩梅, 秦作栋, 邹松兵 (2108)

北京市通州区地下水分层质量评价及水化学特征 郭高轩, 琚宜文, 翟航, 许亮, 沈媛媛, 纪轶群 (2114)

光透法定量两相流中流体饱和度的模型及其应用 章艳红, 叶淑君, 吴吉春 (2120)

紫色土坡耕地氮淋溶过程及其环境健康效应 陈维梁, 高扬, 林勇明, 朱波, 徐亚娟, 于贵瑞, 吴承祯 (2129)

基于非点源溶解态氮负荷估算的率水流域土地利用结构优化研究 陆宇超, 毕孟飞, 李泽利, 沙健, 王玉秋, 钱丽萍 (2139)

镇江老城区古运河沉积物氮及有机质垂向分布及污染评价 周晓红, 李义敏, 周艺, 卫安平, 周广顺, 肖思思 (2148)

两种沉水植物对上覆水和间隙水中可溶性无机氮的影响 杨文斌, 李阳, 孙共献 (2156)

湖泊沉积物短时间反复扰动下悬浮物上生物有效磷的动态变化 武晓飞, 李大鹏 (2164)

不同扰动强度下城市重污染河道底泥对磷吸收和固定的影响 王尚, 李大鹏 (2171)

池塘残饵对底泥氮、磷释放影响的模拟研究 吕元蛟, 李瑞娇, 张念, 赵峰, 谢从新, 张敏 (2178)

再悬浮过程中河流底泥 PAHs 的迁移与释放 王晓慧, 毕春娟, 韩景超 (2185)

低分子有机酸对汞氧化还原反应的影响 赵士波, 孙荣国, 王定勇, 王小文, 张成 (2193)

活性炭催化过氧化氢去除荧光增白剂 刘海龙, 张忠民, 赵霞, 焦茹媛 (2201)

准分子灯光照降解水中烷基酚的动力学 刘玉海, 叶招莲, 文颖频, 毕承路 (2209)

AF + BAF 用于处理树脂化工集中区废水厂尾水的研究 涂勇, 刘伟京, 张耀辉, 徐军, 唐敏, 陈勇, 白永刚 (2216)

镉(II)-8-羟基喹啉分子印迹聚合物微球的合成及吸附性能研究 杨春艳, 陈复彬, 赵慧, 常自强, 章竹君 (2223)

微气泡曝气生物膜反应器同步硝化反硝化研究 刘春, 年永嘉, 张静, 张明, 张磊, 龚鹏飞, 肖太民, 李星 (2230)

聚乳酸/淀粉固体缓释碳源生物反硝化研究 唐丹琦, 王娟, 郑天龙, 刘建国, 汪群慧 (2236)

丝状菌膨胀对无纺布生物反应器处理效果及膜污染特征的影响 侍宽, 薛罡, 高品, 吴凡 (2241)

聚合氯化铝去除污泥水中磷的工艺优化 周振, 胡大龙, 乔卫敏, 陈冠翰, 蒋玲燕, 李震, 麦穗海 (2249)

鄱阳湖持久性有机污染物 (POPs) 长距离传输潜力模拟 弓晓峰, 向洪锐, 陈春丽, 周文斌, 王佳佳, 刘春英, 曾艳 (2256)

基于不确定性分析的垃圾焚烧烟气中重金属的土壤沉积及生态风险评估 廖志恒, 孙家仁, 吴兑, 范绍佳, 任明忠, 吕家扬 (2264)

农药企业场地土壤中苯系物污染风险及管理对策 谭冰, 王铁宇, 李奇锋, 张海燕, 庞博, 朱朝云, 王道涵, 吕永龙 (2272)

渤海湾海域 10 种鱼类中二噁英类及指示性多氯联苯的污染特征研究及风险评价 王莎莎, 高丽荣, 田益玲, 朱帅, 张芹 (2281)

基于荧光传感器 F_{rex} 的特性检测水质环境中生物毒性物质 赵巍, 汪钊, 蔡强, 欧文斌, 孟凡国 (2287)

对苯二酚抑制铜绿微囊藻生长下藻毒素的产生与释放 张元春, 梁文艳, 赵远, 李飞贞, 曹敬灿, 胡绍杰 (2294)

基于沼液的培养基及产油小球藻藻种选育 赵凤敏, 梅帅, 曹有福, 丁进锋, 徐嘉杰, 李树君 (2300)

酸性矿山废水库周边土壤微生物多样性及氨氧化菌群落研究 刘莹, 王丽华, 郝春博, 李璐, 李思远, 冯传平 (2305)

河蚬 (*Corbicula fluminea*) 扰动对表层沉积物中氨氧化菌群落结构和丰度的影响 王雪, 赵大勇, 曾巾, 余多慰, 吴庆龙 (2314)

海洋油气田沉积物产甲烷活性及微生物生态 田琪, 王佳, 范晓蕾, 罗生军, 郭荣波, 邱艳玲 (2322)

DGGE 及 T-RFLP 分析光照下电位对细菌群落的影响 吴义诚, 邓欢, 肖勇, 赵峰 (2328)

重金属抗性解磷细菌的磷溶解特性研究 田江, 彭霞薇, 李霞, 孙雅君, 冯红梅, 江泽平 (2334)

1 株耐冷兼性嗜碱好氧反硝化菌的分离鉴定及反硝化特性 王兆阳, 陈国耀, 姜珂, 许培雅 (2341)

黑麦草-丛枝菌根对不同番茄品种抗氧化酶活性、镉积累及化学形态的影响 江玲, 杨芸, 徐卫红, 王崇力, 陈蓉, 熊仕娟, 谢文文, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (2349)

黄河三角洲区土壤活性氮对盐分含量的响应 李玲, 仇少君, 陈印平, 赵西梅, 刘京涛, 陆兆华 (2358)

宁南山区不同草地土壤原位矿化过程中氮素的变化特征 蒋跃利, 赵彤, 闫浩, 黄懿梅 (2365)

长期施用四环素残留猪粪对土壤中耐药菌及抗性基因形成的影响 张俊, 杨晓洪, 葛峰, 王娜, 焦少俊, 叶波平 (2374)

长期不同耕作方式对紫色水稻土重金属含量及有效性的影响 常同举, 崔孝强, 阮震, 赵秀兰 (2381)

伊犁河流域土壤重金属环境地球化学基线研究及污染评价 赵新儒, 特拉津·那斯尔, 程永毅, 詹江渝, 杨剑虹 (2392)

江苏如东互花米草盐沼湿地重金属分布及其污染评价 张龙辉, 杜永芬, 王丹丹, 高抒, 高文华 (2401)

小流域农业面源氮污染时空特征及与土壤呼吸硝化关系分析 欧阳威, 蔡冠清, 黄浩波, 耿晓君 (2411)

保护性耕作下小麦田土壤呼吸及碳平衡研究 张赛, 王龙昌, 黄召存, 贾会娟, 冉春燕 (2419)

米楮天然林和人工林土壤呼吸的比较研究 吴君君, 杨智杰, 翁发进, 刘小飞, 陈朝琪, 林伟盛, 王小红, 陈坦 (2426)

水力停留时间对复合式厌氧折流板反应器乙醇型发酵制氢系统的影响 刘晓焯, 张洪, 李永峰 (2433)

《环境科学》征订启事 (2208) 《环境科学》征稿简则 (2400) 信息 (2084, 2200, 2229, 2391)

冬季东海、南黄海中 DMS 和 DMSP 浓度分布及影响因素研究

宋以柱, 张洪海, 杨桂朋*

(中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266100)

摘要: 于 2011 年 12 月 ~ 2012 年 1 月现场测定了东海、南黄海表层海水中二甲基硫(DMS)及其前体物质二甲巯基丙酸内盐(DMSP 分为溶解态 DMSPd 和颗粒态 DMSPp)的含量,研究了它们的浓度分布规律及其影响因素,并对 DMSPp 的粒级分布和 DMS 的海-气通量进行了探讨. 结果表明,表层海水中 DMS、DMSPd 和 DMSPp 的浓度分别在 $0.58 \sim 4.14$ 、 $0.37 \sim 7.86$ 和 $4.29 \sim 25.76 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,平均值分别为 (2.20 ± 0.82) 、 (2.12 ± 1.66) 和 $(11.98 \pm 6.23) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$. DMS、DMSPp 与叶绿素 a (Chl-a) 呈现明显的正相关关系,并且它们的周日变化趋势基本一致,说明浮游植物生物量是影响研究海域内 DMS 和 DMSP 生产分布的关键因素. 另外,DMSPd 浓度和总细菌丰度表现出一定的负相关,这可能是在细菌释放的 DMSP 裂解酶的作用下 DMSPd 会发生裂解生成 DMS. 研究发现, $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 的微型浮游植物是海区内 Chl-a 和 DMSPp 的主要贡献者. 此外,冬季东海、南黄海表层海水 DMS 的海-气通量在 $0.61 \sim 25.52 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 之间,平均值为 $(8.30 \pm 5.92) \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

关键词: 二甲基硫; 二甲巯基丙酸内盐; 浓度分布; 海-气通量; 东海; 南黄海

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)06-2067-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.06.005

Distributions of Dimethylsulfide and Dimethylsulfoniopropionate and Influencing Factors in the East China Sea and the Southern Yellow Sea During the Winter

SONG Yi-zhu, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The concentrations of dimethylsulfide (DMS) and dimethylsulfoniopropionate (DMSP) were measured *in situ* in the East China Sea and the Southern Yellow Sea during December 2011 and January 2012 to study their horizontal distributions and influencing factors. Besides, the size distribution of DMSPp and the sea-to-air flux of DMS were also investigated. The concentrations of DMS, dissolved DMSP (DMSPd) and particulate DMSP (DMSPp) ranged from 0.58 to 4.14, from 0.37 to 7.86 and from 4.29 to 25.76 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively, with the average values of (2.20 ± 0.82) , (2.12 ± 1.66) and $(11.98 \pm 6.23) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$. In addition, significantly positive correlations were found between DMS, DMSPp and chlorophyll a, and their diel variations followed the same trend, implying that phytoplankton biomass might play an important role in controlling the production and distributions of DMS and DMSP. A negative correlation was found between DMSPd and total bacterial abundance, probably because DMSPd was transferred into DMS under the action of DMSP lyase released from bacteria. Moreover, the larger nanophytoplankton ($5\text{-}20 \mu\text{m}$) contributed to the vast majority of Chl-a and DMSPp in the study area. The sea-to-air fluxes of DMS during the investigation were estimated to be from 0.61 to 25.52 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, with an average of $(8.30 \pm 5.92) \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

Key words: dimethylsulfide; dimethylsulfoniopropionate; concentration distribution; sea-to-air flux; East China Sea; Southern Yellow Sea

由海洋浮游植物产生的二甲基硫(dimethylsulfide, DMS)是海洋排放的最主要的挥发性生源硫化物^[1],其向大气中的排放量约占全球海洋硫释放量的 $2/3$ ^[2],是参与全球硫循环的重要物质. 进入到大气中的 DMS 会立即被 OH、NO₃、IO 等自由基氧化生成 SO₂ 和甲基磺酸盐(MSA),继续反应生成非海盐硫酸盐(nss-SO_4^{2-}). 这些氧化产物大都具有很强的酸性,是酸雨的重要贡献者;此外,生成的 nss-SO_4^{2-} 气溶胶能增加云凝结核(CCN)数量或使原有的结核颗粒数目增大,从而影响云的形成和太阳辐射的漫散射系数,进而影响了区域或全

球气候变化^[3,4].

二甲巯基丙酸内盐(dimethylsulfoniopropionate, DMSP)是 DMS 的主要前体物质,为藻类的一种硫代谢产物. 海洋中的微型、大型藻类和盐生植物都是 DMSP 的重要来源,但不同种类的藻体细胞中 DMSP 的含量差异明显^[5]. 目前,国际上关于 DMSP 在藻细胞中的生理作用、DMSP 向 DMS 的转化以及 DMS

收稿日期: 2013-09-24; 修订日期: 2013-11-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41030858); 教育部“长江学者”奖励计划项目; 山东省“泰山学者”建设工程项目

作者简介: 宋以柱(1987~),男,硕士研究生,主要研究方向为生源硫的生物地球化学, E-mail: kumufeng123321@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: gpyang@ouc.edu.cn

的产生与迁移等方面取得了一系列的研究成果^[6-8]. DMSP可作为藻类细胞内的一种渗透压调节剂,当外界盐度升高时,藻细胞会合成较多的DMSP来维持细胞内外的渗透压平衡;而当盐度下降时,藻细胞会将体内多余的DMSP释放到水体中^[9].在细菌或某些藻类释放的DMSP裂解酶的作用下,一部分DMSP会裂解生成DMS和丙烯酸^[10].因此,DMSP的含量及转化途径直接影响DMS的生产与分布,在DMS的生物地球化学过程中具有重要的作用.

东海和黄海作为西北太平洋的边缘海,二者相连并且交换充分,是世界上最具代表性的大陆架海区之一.该海区处于长江冲淡水、黑潮、台湾暖流、黄海沿岸流、东海沿岸流的综合作用区^[11],复杂的水文条件会对生源硫的生产分布产生重要的影响.在国内,许多学者研究了中国近海中DMS、DMSP的浓度分布与海-气通量,并初步探讨了它们与叶绿素a(Chl-a)的相互关系^[12-16],然而他们的研究大都集中在春季与夏季,冬季的研究报道很少;特别是在DMSP粒径分布及与细菌丰度的关系方面,尚存在明显不足.因此,本文对冬季东海、南黄海表层海水中DMS和DMSP的浓度分布和影响因素进行了研究,计算了DMS的海-气通量,旨在了解冬季中国东部近海DMS和DMSP的分布特征,并讨论不同粒级的浮游植物对DMSPp的贡献.本研究对更加深入地认识中国海域生源硫化物(DMS和DMSP)的生物地球化学循环和气候效应具有重要的科学意义.

1 材料与方法

1.1 样品采集

于2011年12月20日~2012年1月11日期间,随中国海洋大学“东方红2号”科学考察船对东海、南黄海海域进行调查取样(如图1),共包括46个大面站和1个25 h连续站(P01).海水样品由12 L Niskin采水器采集后,现场对DMS进行测定.对于DMSP样品,取4 mL海水样品用内置Whatman GF/F玻璃纤维滤膜(直径25 mm)的Gelman过滤器进行重力过滤,滤液装入15 mL聚丙烯离心管中,后加入20 μL 50% H_2SO_4 固定(用来除去海水样品中存在的DMS^[17]),即为溶解态DMSP(DMSPd)样品;另外,取10 mL海水样品直接装入15 mL的离心管中,然后加入50 μL 50% H_2SO_4 固定,用于测定总DMSP(DMSPt)含量,所有DMSP样品均在4℃

下避光保存.现场海洋环境参数由直读式温盐深仪CTD(Seabird 911 plus)在采集海水样品时同步获得.

此外,调查中共选取10个大面站位(图1中★标记)研究海水中Chl-a和DMSPp的粒径分布特征.取40 mL表层海水依次用20、5、2和0.2 μm 的Whatman GF/F滤膜重力过滤,将所得滤膜分别装入盛有2 mL 10 mol·L⁻¹ KOH溶液的42 mL的玻璃样品瓶中,后加入40 mL高纯水,拧盖密封,4℃下避光保存.所有样品待返回实验室后尽快完成测定.

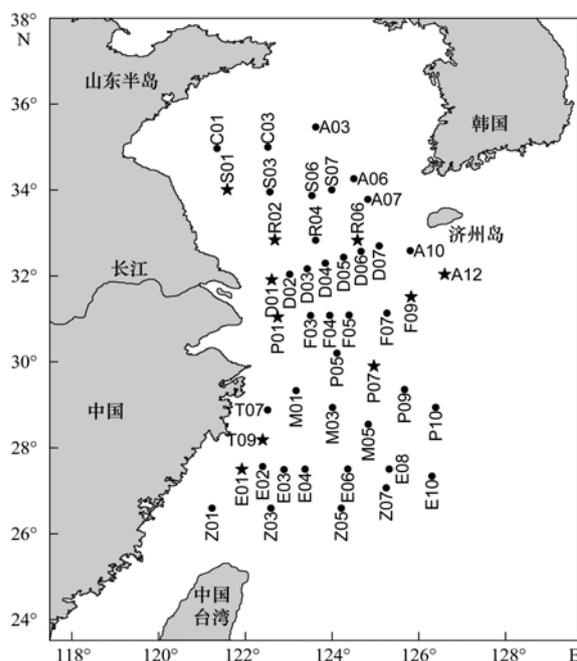


图1 2011年12月~2012年1月东海和南黄海调查站位示意

Fig. 1 Location of sampling stations in the East China Sea and the Southern Yellow Sea during December 2011- January 2012

1.2 分析方法

DMS样品采用气提-冷阱捕集气相色谱法测定^[18,19],即用玻璃注射器取2 mL水样注入到样品瓶中,通入40 mL·min⁻¹的高纯N₂进行吹扫,吹扫出的DMS气体通过Nafion干燥器(Perma Pure,美国)除去水份,并通过六通阀(Valco,美国)富集于浸在液氮中的1/16 Teflon捕集管中;吹扫3 min后将捕集管放入热水(>70℃)中进行加热解析,在载气携带下进入气相色谱(配置火焰光度检测器,Shimadzu,日本)进行测定.DMS样品采用外标法定量,即用吹扫除净DMS的空白海水配制一系列已知浓度的DMS标准溶液,根据浓度与峰面积的对应关系绘制标准曲线,从而计算样品中的DMS的浓度.该测定方法的相对标准偏差<5%,最小检出限为

0.15 ng S^[18].

对于 DMSP 样品的测定,首先在强碱(pH≥13)条件下完全降解为 DMS,再通过分析 DMS 的浓度间接获得 DMSP 的浓度,其中 DMSP_p 浓度由 DMSP_t 浓度减去 DMSP_d 浓度获得.测定时,分别向 DMSP_d 和 DMSP_t 样品中加入 200 μL 和 500 μL 的 10 mol·L⁻¹ KOH 溶液,然后避光冷藏(4℃)放置 24 h 以上,保证 DMSP 能够完全转化为 DMS.

Chl-a 样品的分析:取 300 mL 水样用 0.7 μm 的 Whatman GF/F 滤膜低压(<15 kPa)过滤,将滤膜对折用锡纸包裹后避光冷冻(-20℃)保存.另外,取 250 mL 表层海水依次用 20、5、2 和 0.2 μm 的 Whatman GF/F 滤膜过滤,以获得不同粒级的 Chl-a 样品.测定时将滤膜用 10 mL 90% (体积分数)的丙酮-水溶液低温避光萃取 24 h,在 4 000 r·min⁻¹ 的转速下离心 10 min,取上清液用分子荧光分光光度计(F-4500, Hitachi, 日本)测定^[20].

总细菌丰度的测定:取 20 mL 海水样品于洁净的一次性无菌杯中,通过内置 0.2 μm 滤膜的过滤头加入 2 mL 甲醛溶液固定,常温保存.测定时,取 0.2 mL 海水样品和 1.8 mL 灭菌高纯水用 0.2 μm 滤膜(Millipore, 美国)低压(<15 kPa)过滤,然后用 DAPI 溶液(4',6-二脒基-2-苯基吡啶)染色 7 min,将滤膜制片,在荧光显微镜(CTR-5000, Leica, 德国)下对细菌丰度进行计数.

2 结果与讨论

2.1 表层海水中 DMS 和 DMSP 的水平分布特征

冬季东海、南黄海表层海水 Chl-a、DMS、DMSP_d、DMSP_p 和总细菌丰度的水平分布如图 2 所示. Chl-a 的浓度变化范围为 0.06~0.38 μg·L⁻¹,平均值为(0.21±0.09) μg·L⁻¹.从图 2 中可以看出,Chl-a 的浓度分布相对比较均匀,这可能是由于冬季海水温度较低,不利于浮游植物的生长所致^[21].DMS 的浓度范围在 0.58~4.14 nmol·L⁻¹之间,平均值为(2.20±0.82) nmol·L⁻¹.此平均值明显低于黄海、东海海域春季(4.91 nmol·L⁻¹^[22])和夏季(5.64 nmol·L⁻¹^[23])的调查结果,呈现明显的季节变化特征,这与浮游植物的季节性消长有关.从图 2 也可以看出,DMS 的浓度分布相对均匀,最大值出现在江苏东北部海域的 C01 站位,最小值出现在长江口附近海域的 P01 站位.从同一航次的浮游植物数据来看,C01 站位的浮游植物细胞丰度(4.6×10⁷个·m⁻³)最大,而 DMS 的低产藻种硅藻

所占细胞总数的比例也只有 24%;P01 站位浮游植物细胞丰度(2.5×10⁵个·m⁻³)相对较小,而且硅藻所占的比例高达 77%,说明浮游植物的种类和生物量大小可以直接影响海域内 DMS 浓度的高低.

研究海域表层海水中 DMSP_d 和 DMSP_p 的浓度范围分别在 0.37~7.86 nmol·L⁻¹和 4.29~25.76 nmol·L⁻¹之间,平均值分别为(2.12±1.66) nmol·L⁻¹和(11.98±6.23) nmol·L⁻¹.如图 2 所示,DMSP_d 和 DMSP_p 的水平分布虽有一定的差异,但总体上呈现近岸高、外海低的趋势.其浓度高值都出现在江苏省东北部海域附近站位 C01 和 S01 站位,而 S01 站位的浮游植物细胞丰度(2.3×10⁶个·m⁻³)也较大,说明了黄海沿岸流带来的营养盐促进了该海域浮游植物的生长,从而贡献了较高浓度的 DMSP^[24].另外,在济州岛的西南部海域,DMSP_d 和 DMSP_p 的浓度也较高,这可能是由于受到高温高盐的黄海暖流的影响,藻细胞会合成更多的 DMSP 来维持渗透压平衡^[21].

2.2 DMS 和 DMSP 的周日变化

本次调查中,在连续站 P01 对表层海水中 Chl-a、DMS、DMSP_d 和 DMSP_p 浓度进行了 25 h 连续观测,每隔 3 h 进行取样分析,其周日变化特征如图 3 所示.调查结果表明,DMS 的浓度从 0.58 nmol·L⁻¹变化到 3.56 nmol·L⁻¹,表现出了明显的周日变化.白天时段(09:00~18:00)的平均浓度为(2.34±0.69) nmol·L⁻¹,夜间时段的平均浓度(21:00~次日 06:00)为(0.99±0.34) nmol·L⁻¹.从图 3 可以看出,DMS 和 Chl-a 的变化趋势基本相同,都是在 15:00 达到了浓度的最高值,在 00:00 出现了浓度的最低值.然而,DMS 的浓度在 12:00 有所下降,这可能是由于 DMS 在正午时刻较大的光化学氧化速率使 DMS 浓度降低. Yang 等^[15]在黄海对 DMS 浓度的周日变化研究发现最高值出现在下午时段,低值出现在凌晨时段,与本次研究结果相一致.

如图 3 所示,DMSP_d 和 DMSP_p 的周日变化趋势基本一致,其浓度变化范围分别为 0.79~3.96 nmol·L⁻¹和 1.15~25.27 nmol·L⁻¹.DMSP_d 浓度的最高值出现在 18:00,而 DMSP_p 浓度的最大值出现在 15:00,其浓度的最低值均出现在 00:00.总体来说,DMSP_d 和 DMSP_p 的浓度变化趋势是白天高夜间低. Simó 等^[25]发现 DMSP 的生物合成与光照紧密相关,并发现中午出现了 DMSP 的最高浓度,与本研究结果一致;同时下午时段浮游动物对浮游植物的摄食活动会加强,从而能导致海水中的 DMSP 浓

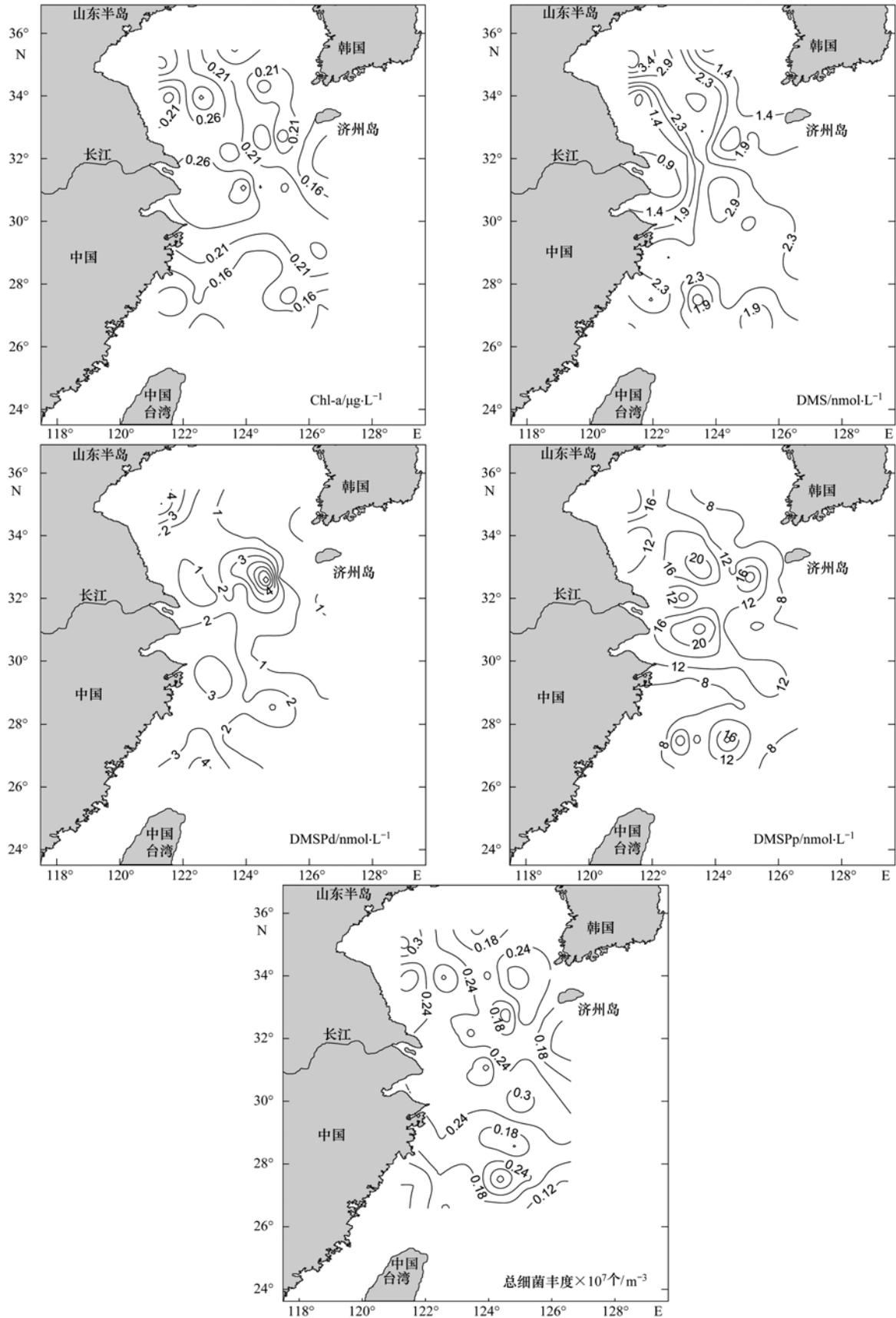


图2 冬季东海、南黄海表层海水 Chl-a、DMS、DMSPd、DMSPp 和总细菌丰度的水平分布

Fig. 2 Horizontal distributions of Chl-a, DMS, DMSPd, DMSPp and total bacterial abundance in the surface water of the East China Sea and the Southern Yellow Sea during the winter

度升高^[21]. 另外, 白天太阳的紫外辐射能有效抑制细菌的活性, 降低其对 DMSP 的分解^[20]. 以上几个过程的共同作用使得 DMSPd 和 DMSPp 的浓度白天高夜间低.

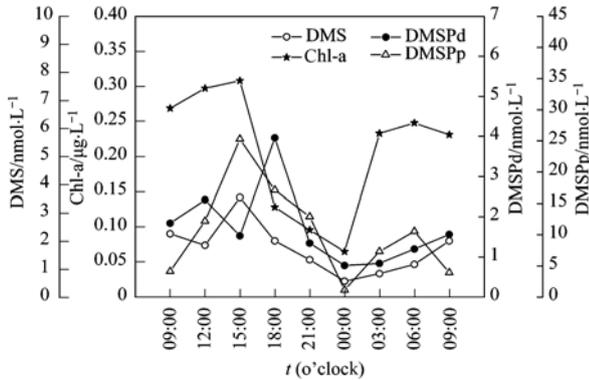


图3 冬季东海 P01 站点 Chl-a、DMS、DMSPd 和 DMSPp 的周日变化

Fig. 3 Diel variations of Chl-a, DMS, DMSPd and DMSPp at station P01 in the East China Sea during the winter

2.3 DMSPp 的粒度分布

海洋中的浮游植物是海水中 DMSp 的主要贡献者, 其按照粒度大小可分为小型浮游植物 ($>20 \mu\text{m}$)、微型浮游植物 ($2 \sim 20 \mu\text{m}$) 和微微型浮游植物 ($0.2 \sim 2 \mu\text{m}$). 本研究调查中, 又将微型浮游植物分为 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 和 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 两个粒度进行研究. 选取的 10 个站点中 Chl-a 和 DMSPp 的粒度分布如图 4 所示.

分析结果表明, $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 的微型浮游植物对 Chl-a 和 DMSPp 的贡献比例分别介于 27% ~ 89% 和 24% ~ 62% 之间, 平均值分别达到 75% 和 51%, 这表明 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 的微型浮游植物是研究海域 Chl-a 和 DMSPp 的主要贡献者. 本研究结果与黄邦钦等^[26]对东海、黄海浮游植物生物量粒度结构的研究结果相一致. 然而从贡献比例来看, 它们对 Chl-a 的贡献比例要明显大于对 DMSPp 的贡献比例, 说明了研究站位的优势藻种并非 DMSP 的高产藻种. 由图 4 还可以看出, S01 站点与其它站点有所不同, 小型浮游植物 ($>20 \mu\text{m}$) 是主要贡献者, 其对 Chl-a 和 DMSPp 的贡献比例分别为 72% 和 55%. 这些研究结果与同一航次的浮游植物数据也是相对应的, 大部分站位的优势藻种为粒度在 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 的中肋骨条藻(硅藻门)和铁氏束毛藻(蓝藻门), 而 S01 站位的优势藻种为粒度 $>20 \mu\text{m}$ 的具槽帕拉藻(硅藻门), 而且它们都是 DMSP 的低产藻种.

2.4 DMS、DMSP 和环境因子之间的关系

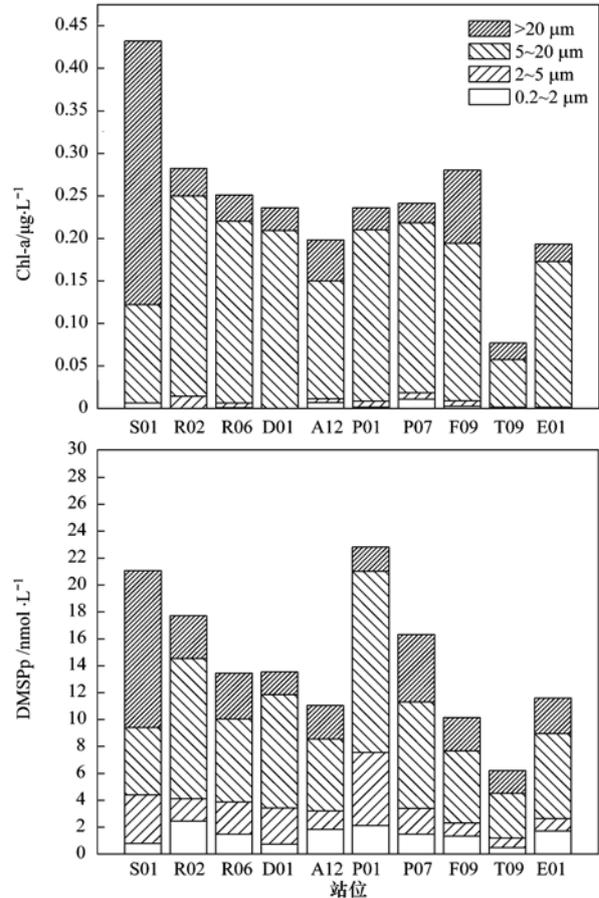


图4 冬季东海和南黄海表层海水中 Chl-a 和 DMSPp 的粒度分布
Fig. 4 Size distributions of Chl-a and DMSPp in the surface water of the East China Sea and the Southern Yellow Sea during the winter

2.4.1 DMS、DMSP 和 Chl-a 的相互关系

海水中的 DMS、DMSP 主要由浮游植物产生, 而 Chl-a 的含量能直观地反映海区内浮游植物生物量, 二者之间的相互关系一直是人们的研究热点. 如图 5 所示, 冬季东海、南黄海表层海水中 DMS 和 DMSPp 分别与 Chl-a 的浓度表现出一定的正相关性, 这与 Yang 等^[14,15]在东海、黄海的调查结果相一致. 此外, Uzuka 等^[27]发现东海海域 DMS 和 Chl-a 的浓度也有显著的正相关. 这些研究结果表明浮游植物生物量在影响东海、黄海 DMS 和 DMSP 的生产和分布方面发挥着重要作用.

此外, DMS/Chl-a 比值常用来估算单位浮游植物生物量生产 DMS 的能力, 而 DMSPp/Chl-a 比值可以用来估算海区浮游植物中 DMSP 生产者所占的比例^[28]. 本研究中 DMS/Chl-a 和 DMSPp/Chl-a 比值范围分别在 $1.8 \sim 34.3 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $22.2 \sim 155.0 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间, 平均值分别为 $(12.1 \pm 6.6) \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $(60.2 \pm 25.6) \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$. Yang 等^[15,23]报道了春季黄海和夏季东海、黄海海域 DMS/Chl-a

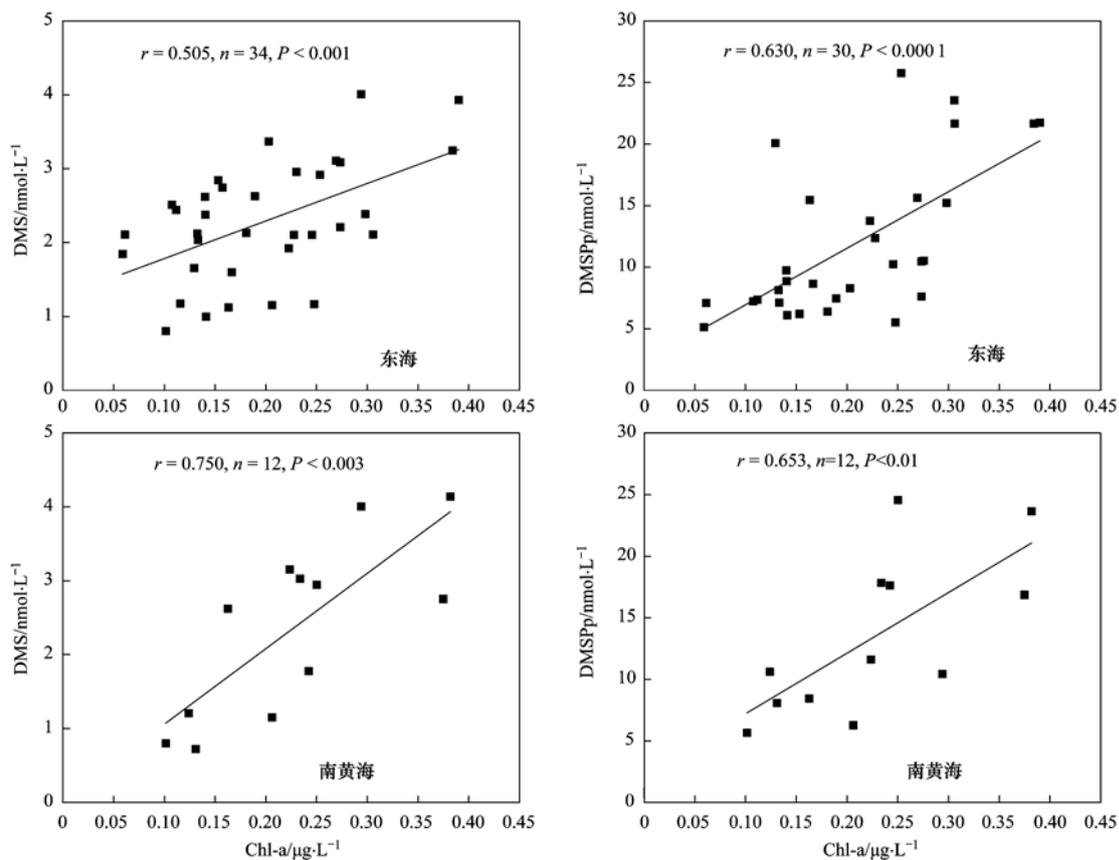


图 5 冬季东海、南黄海表层海水中 DMS、DMSPp 和 Chl-a 之间的相关性

Fig. 5 Correlations between DMS, DMSPp and Chl-a concentrations in the surface waters of the East China Sea and the Southern Yellow Sea during the winter

的比值分别为 $2.92 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ($1.47 \sim 5.72 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$) 和 $10.27 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ($2.17 \sim 25.94 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$), 此结果的差异可能在于浮游植物组成的季节性差异. 由 2011 年调查的浮游植物数据可知, 夏季、秋季和冬季硅藻在东海、黄海浮游植物组成中分别为 97.1%、90.6% 和 74.2%, 冬季 DMSP 和 DMS 低产藻种硅藻所占的比例最低. 尽管硅藻是 DMSP 的低产种, 但当它成为海域中的优势藻种时, 所产生的 DMSP 总量可能会超越非优势种的其它 DMSP 高产种的贡献, 从而成为东海和南黄海中 DMSP 的重要来源.

2.4.2 DMSPd 和总细菌丰度的关系

Kiene 等^[29]发现, DMSP 是海洋中浮游细菌所需硫的主要来源, 并且能提供 1% ~ 13% 的碳源; Del Valle 等^[30]指出, 自生型细菌在对 DMS 的消费几乎占了 DMS 生物消费的全部. 因此, 本研究中对 DMS、DMSP 与总细菌丰度的相互关系进行了探讨. 如图 6 所示, DMSPd 和总细菌丰度呈现出一定的负相关. 这可能是由于在细菌释放的 DMSP 裂解酶的

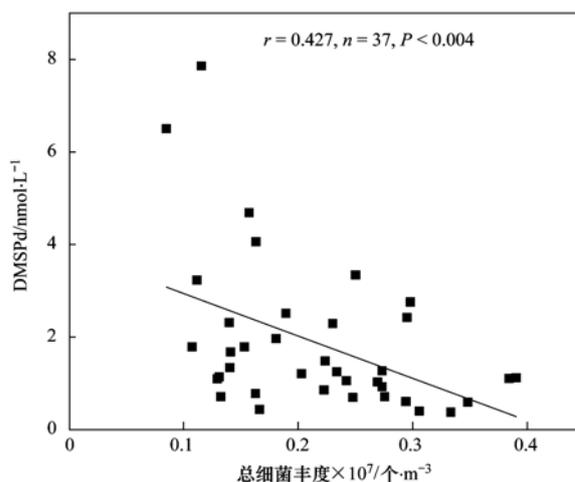


图 6 冬季东海、南黄海表层海水中 DMSPd 和总细菌丰度之间的相关性

Fig. 6 Correlation between DMSPd concentration and total bacterial abundance in the surface waters of the East China Sea and the Southern Yellow Sea in the winter

作用下, 一部分 DMSP 会裂解生成 DMS. 然而细菌不仅能把 DMSPd 还原为 DMS, 使 DMS 的浓度增加; 同时还能较快地将 DMS 继续氧化^[31], 导致 DMS 的

浓度下降. 因此细菌在 DMS 的生产与转化中复杂的作用, 本研究中并未发现 DMS 和总细菌丰度的相关性存在.

2.5 DMS 的海-气通量

DMS 的海-气通量 F 通常用下式计算^[32]:

$$F = K(c_w - c_g/H) = Kc_w$$

式中, K 是海-气传输速率; c_w 和 c_g 分别为 DMS 在水体和大气中的浓度; H 是亨利常数; 由于 c_g/H 远远小于 c_w , 可忽略.

海-气传输速率 K 有多种计算方法^[32,33], 本研究采用目前国际上最常用的 N2000 公式^[34] 来估算 K 值. 图 7 给出了各个站位 DMS 的海-气通量随水体中 DMS 的浓度和现场风速的变化趋势.

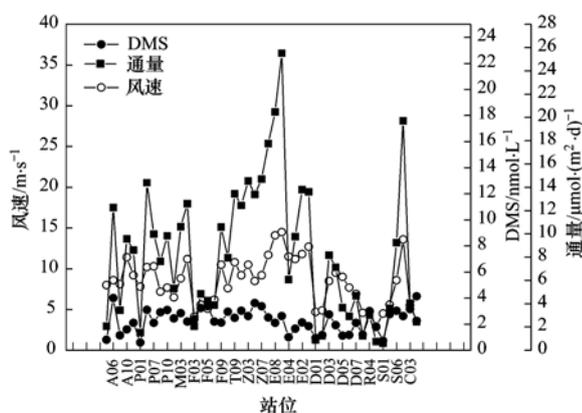


图 7 冬季东海和南黄海 DMS 海-气通量随 DMS 浓度和风速的变化

Fig. 7 Variations of DMS sea-to-air fluxes along with DMS concentrations and wind speed in the East China Sea and the Southern Yellow Sea in the winter

计算结果表明, 冬季东海、南黄海水-气通量介于 $0.61 \sim 25.52 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 之间, 平均值为 $(8.30 \pm 5.92) \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$. DMS 海-气通量的最大值出现在 E06 站位, 这是因为 E06 站位的风速 ($14.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 是所调查站位最大的, 而且 DMS 的浓度 ($2.63 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 也相对较高, 它们共同作用贡献了 DMS 海-气通量的最大值. 从图 7 可看出, 在风速变化不大的情况下, DMS 的海-气通量与水体中 DMS 浓度的变化一致; 当风速变化较大时, 会引起 K 值的急剧变化, 从而导致 DMS 的海-气通量发生大幅度的增加. 尽管冬季东、黄海 DMS 的平均浓度 [$(2.20 \pm 0.82) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$] 较小, 但 DMS 海-气通量与 Yang 等在相同海域春季 [$13.7 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$]^[22] 和夏季 [$7.45 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$]^[23] 的调查结果相近, 这主要是由于冬季调查期间较大的现场风速 [(8.5 ± 2.8)

$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] 导致的. 东海、南黄海作为典型的陆架海区之一, 占全球海洋面积的比例尽管很小, 但各季节 DMS 的海-气通量均较大, 说明陆架近海海区在全球海洋 DMS 排放通量中的作用不容忽视.

3 结论

(1) 冬季东海、南黄海表层海水中 DMS 和 DMSP 浓度较低, DMS 的浓度分布相对均匀, 而 DMSP 总体上呈现近岸高、外海低的趋势. DMS 和 DMSP 存在明显的周日变化, 白天时段浓度明显高于夜间时段.

(2) 表层海水中 DMS、DMSPp 和 Chl-a 都呈现出显著的正相关, 说明浮游植物在影响 DMS 和 DMSP 的生产和分布方面发挥着重要作用. $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 的微型浮游植物是冬季东海、南黄海 Chl-a 和 DMSPp 的主要贡献者. 此外, DMSPd 和总细菌丰度表现出一定的负相关, 这可能由于在细菌释放的 DMSP 裂解酶的作用下 DMSPd 会裂解生成 DMS.

(3) 冬季东海、南黄海较大的 DMS 海-气通量主要是由于较高的现场风速引起的, 进一步说明了陆架海区是全球 DMS 排放的重要来源.

致谢: 本研究采用的浮游植物数据由国家海洋局第二海洋研究所的江志兵老师提供, 在此表示感谢!

参考文献:

- [1] Stefels J, Steinke M, Turner S, *et al.* Environmental constraints on the production and removal of the climatically active gas dimethylsulphide (DMS) and implications for ecosystem modelling[J]. *Biogeochemistry*, 2007, **83**(1-3): 245-275.
- [2] Andreae M O. Ocean-atmosphere interactions in the global biogeochemical sulfur cycle[J]. *Marine Chemistry*, 1990, **30**(1-3): 1-29.
- [3] Charlson R J, Lovelock J E, Andreae M O, *et al.* Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate[J]. *Nature*, 1987, **326**(6114): 655-661.
- [4] Nguyen B C, Mihalopoulos N, Putaud J P, *et al.* Covariations in oceanic dimethyl sulfide, its oxidation products and rain acidity at Amsterdam Island in the southern Indian Ocean[J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1992, **15**(1): 39-53.
- [5] 李和阳, 王大志, 林益明, 等. 海洋二甲基硫的研究进展[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2001, **40**(3): 715-725.
- [6] Simó R, Predrós-Alió C, Malin G, *et al.* Biological turnover of DMS, DMSP and DMSO in contrasting open-sea waters[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, **203**: 1-11.
- [7] Simó R. Production of atmospheric sulfur by oceanic plankton: biogeochemical, ecological and evolutionary links[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, **16**(6): 287-294.
- [8] Rellinger A N, Kiene R P, del Valle D A, *et al.* Occurrence and

- turnover of DMSP and DMS in deep waters of the Ross Sea, Antarctica [J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Paper*, 2009, **56**(5): 686-702.
- [9] Stefels J, van Leeuwe M A. Effects of iron and light stress on the biochemical composition of Antarctic *Phaeocystis* sp. (Prymnesiophyceae). I: Intracellular DMSP concentrations [J]. *Journal of Phycology*, 1998, **34**(3): 486-495.
- [10] Visscher P T, Taylor B F. Demethylation of dimethylsulfoniopropionate to 3-mercaptopropionate by an aerobic marine bacterium [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1994, **60**(12): 4617-4619.
- [11] Lee H J, Jung K T, Foreman M G G, *et al.* A three-dimensional mixed finite-difference Galerkin function model for the oceanic circulation in the Yellow Sea and the East China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2000, **20**(8): 863-895.
- [12] Yang G P. Spatial distributions of dimethylsulfide in the South China Sea [J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Paper*, 2000, **47**(2): 177-192.
- [13] Yang G P, Liu X T, Li L, *et al.* Biogeochemistry of dimethylsulfide in the South China Sea [J]. *Journal of Marine Research*, 1999, **57**(1): 189-211.
- [14] Yang G P, Zhang J W, Li L, *et al.* Dimethylsulfide in the surface water of the East China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2000, **20**(1): 69-82.
- [15] Yang G P, Jing W W, Li L, *et al.* Distribution of dimethylsulfide and dimethylsulfoniopropionate in the surface microlayer and subsurface water of the Yellow Sea, China during spring [J]. *Journal of Marine Systems*, 2006, **62**(1-2): 22-34.
- [16] Jiao N Z, Liu C Z, Hong H S, *et al.* Dynamics of dimethylsulfide and dimethylsulfoniopropionate produced by phytoplankton in the Chinese Seas-Distribution patterns and affecting factors [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, **45**(7): 774-786.
- [17] Bates T S, Cline J D, Gammon R H, *et al.* Regional and seasonal variations in the flux of oceanic dimethylsulfide to the atmosphere [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 1987, **92**(C3): 2930-2938.
- [18] 杨桂朋, 康志强, 景伟文, 等. 海水中痕量 DMS 和 DMSP 分析方法的研究 [J]. *海洋与湖沼*, 2007, **38**(4): 322-328.
- [19] Kiene R P, Service S K. The influence of glycine betaine on dimethylsulfide and dimethylsulfoniopropionate concentrations in seawater [A]. In: Oremland R S (Ed.). *The Biogeochemistry of Global Change: Radiatively Important Trace Gases* [M]. New York: Chapman and Hall, 1993. 654-671.
- [20] 张洪海, 杨桂朋. 胶州湾及青岛近海微表层与次表层中二甲基硫 (DMS) 与二甲基巯基丙酸 (DMSP) 的浓度分布 [J]. *海洋与湖沼*, 2010, **41**(5): 683-691.
- [21] 张洪海. 中国东海、黄海中 DMS 和 DMSP 的生物地球化学研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009. 69-82.
- [22] Yang G P, Zhuang G C, Zhang H H, *et al.* Distribution of dimethylsulfide and dimethylsulfoniopropionate in the Yellow Sea and the East China Sea during spring: Spatio-temporal variability and controlling factors [J]. *Marine Chemistry*, 2012, **138-139**: 21-31.
- [23] Yang G P, Zhang H H, Zhou L M, *et al.* Temporal and spatial variations of dimethylsulfide (DMS) and dimethylsulfoniopropionate (DMSP) in the East China Sea and the Yellow Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2011, **31**(13): 1325-1335.
- [24] 温国义, 李广雪, 赵东波, 等. 根据 AVHRRSST 探讨中国北部海域冬季环流演变 [J]. *海洋环境科学*, 2008, **27**(22): 19-23.
- [25] Simó R, Archer S D, Pedrós-Alió C, *et al.* Coupled dynamics of dimethylsulfoniopropionate and dimethylsulfide cycling and the microbial food web in surface waters of the North Atlantic [J]. *Limnology and Oceanography*, 2002, **47**(1): 53-61.
- [26] 黄邦钦, 刘媛, 陈纪新, 等. 东海、黄海浮游植物生物量的粒级结构及时空分布 [J]. *海洋学报*, 2006, **28**(2): 156-164.
- [27] Uzuka N, Watanabe S, Tsunogai S. Dimethylsulfide in coastal zone of the East China Sea [J]. *Journal of Oceanography*, 1996, **52**(3): 313-321.
- [28] Turner S M, Nightingale P D, Broadgate W, *et al.* The distribution of dimethylsulfide and dimethylsulfoniopropionate in Antarctic waters and sea ice [J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1995, **42**(4): 1059-1080.
- [29] Kiene R P, Linn L J, Bruton J A. New and important roles for DMSP in marine microbial Communities [J]. *Journal of Sea Research*, 2000, **43**(3): 209-224.
- [30] Del Valle D A, Kieber D J, Toole D A, *et al.* Biological consumption of dimethylsulfide (DMS) and its importance in DMS dynamics in the Ross Sea, Antarctica [J]. *Limnology and Oceanography*, 2009, **54**(3): 785-798.
- [31] Kiene R P, Bates T S. Biological removal of dimethyl sulphide from sea water [J]. *Nature*, 1990, **345**(6277): 702-705.
- [32] Liss P S, Merlivat L. Air-sea gas exchange rates: introduction and synthesis [A]. In: Buat-Ménard P (Ed.). *The Role of Air-Sea Exchange in Geochemical Cycling* [M]. Reidel, Dordrecht: Academic Press, 1986. 113-127.
- [33] Wanninkhof R. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 1992, **97**(C5): 7373-7382.
- [34] Nightingale P D, Malin G, Law C S, *et al.* In situ evaluation of air-sea gas exchange parameterizations using novel conservative and volatile tracers [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2000, **14**(1): 373-387.

CONTENTS

Comparative Analysis on Meteorological Condition for Persistent Haze Cases in Summer and Winter in Beijing	LIAO Xiao-nong, ZHANG Xiao-ling, WANG Ying-chun, <i>et al.</i>	(2031)
Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Fukang	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Yue-si, <i>et al.</i>	(2045)
Study on Transition Metals in Airborne Particulate Matter in Shanghai City's Subway	BAO Liang-man, LEI Qian-tao, TAN Ming-guang, <i>et al.</i>	(2052)
Heavy Metal Concentrations in Mosses from Qiyi Glacier Region	MA Juan-juan, LI Zhen	(2060)
Distributions of Dimethylsulfide and Dimethylsulfoniopropionate and Influencing Factors in the East China Sea and the Southern Yellow Sea During the Winter	SONG Yi-zhu, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng	(2067)
Pollution by Heavy Metals in the Petrochemical Sewage Waters of the Sea Area of Daya Bay and Assessment on Potential Ecological Risks	XU Shan-nan, LI Chun-hou, XU Jiao-jiao, <i>et al.</i>	(2075)
Distribution of Perfluorinated Compounds in Surface Water of Shenzhen Reservoir Groups	WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, HE Long, <i>et al.</i>	(2085)
Contamination and Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Epikarst Spring Water	SUN Yu-chuan, SHEN Li-cheng, YUAN Dao-xian	(2091)
Biogeochemical Processes of the Major Ions and Dissolved Inorganic Carbon in the Guijiang River	TANG Wen-kui, TAO Zhen, GAO Quan-zhou, <i>et al.</i>	(2099)
Hydrologic Processes of the Different Landscape Zones in Fenhe River Headwater Catchment	YANG Yong-gang, LI Cai-mei, QIN Zuo-dong, <i>et al.</i>	(2108)
Assessment of Groundwater Quality of Different Aquifers in Tongzhou Area in Beijing Plain and Its Chemical Characteristics Analysis	GUO Gao-xuan, JU Yi-wen, ZHAI Hang, <i>et al.</i>	(2114)
Models for Quantification of Fluid Saturation in Two-Phase Flow System by Light Transmission Method and Its Application	ZHANG Yan-hong, YE Shu-jun, WU Ji-chun	(2120)
Nitrogen Leaching and Associated Environmental Health Effect in Sloping Cropland of Purple Soil	CHEN Wei-liang, GAO Yang, LIN Yong-ming, <i>et al.</i>	(2129)
Research on Land Use Structure Optimization Based on Nonpoint Source Dissolved Nitrogen Load Estimation in Shuashui Watershed	LU Yu-chao, BI Meng-fei, LI Ze-li, <i>et al.</i>	(2139)
Nitrogen and Organic Matter Vertical Distribution Characteristics and Evaluation in Ancient Canal Sediments of Zhenjiang Old Town	ZHOU Xiao-hong, LI Yi-min, ZHOU Yi, <i>et al.</i>	(2148)
Effects of Two Submerged Macrophytes on Dissolved Inorganic Nitrogen in Overlying Water and Interstitial Water	YANG Wen-bin, LI Yang, SUN Gong-xian	(2156)
Bioavailable Phosphorus on Suspended Solids of Lake Under Short-term and Repeated Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng	(2164)
Influence of Different Disturbance Intensity on the Phosphorus Adsorption and Immobilization by the Sediments from an Inner City Heavily Polluted Canal	WANG Shang, LI Da-peng	(2171)
Effect of Feed Residues on the Release of Nitrogen and Phosphorus of Pond Sediment	LÜ Yuan-jiao, LI Rui-jiao, ZHANG Nian, <i>et al.</i>	(2178)
Delivery and Release of Sediment PAHs During Resuspension	WANG Xiao-hui, BI Chun-juan, HAN Jing-chao	(2185)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Redox Reactions of Mercury	ZHAO Shi-bo, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i>	(2193)
Removal of Fluorescent Whitening Agent by Hydrogen Peroxide Oxidation Catalyzed by Activated Carbon	LIU Hai-long, ZHANG Zhong-min, ZHAO Xia, <i>et al.</i>	(2201)
Kinetics of Alkylphenols Degradation in Aqueous Phase with Excilamp Irradiation	LIU Yu-hai, YE Zhao-lian, WEN Ying-pin, <i>et al.</i>	(2209)
AF + BAF for Treating Effluent in the Sewage Plant of the Resin and Chemical Industry Park	TU Yong, LIU Wei-jing, ZHANG Yao-hui, <i>et al.</i>	(2216)
Synthesis and Adsorption Property of Cd(II)-8-hydroxyquinoline Molecularly Imprinted Polymer Microspheres	YANG Chun-yan, CHEN Fu-bin, ZHAO Hui, <i>et al.</i>	(2223)
Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Microbubble-aerated Biofilm Reactor	LIU Chun, NIAN Yong-jia, ZHANG Jing, <i>et al.</i>	(2230)
Effect of PLA/Starch Slow-Release Carbon Source on Biological Denitrification	TANG Dan-qi, WANG Juan, ZHENG Tian-long, <i>et al.</i>	(2236)
Impacts of Filamentous Bulking on Treatment Effect and Fouling Characteristics of Nonwoven Bioreactor	SHI Kuan, XUE Gang, GAO Pin, <i>et al.</i>	(2241)
Optimization for Phosphorous Removal in Thickening and Dewatering Sludge Water by Polyaluminum Chloride	ZHOU Zhen, HU Da-long, QIAO Wei-min, <i>et al.</i>	(2249)
Simulation of Long-Range Transport Potential of POPs in Poyang Lake	GONG Xiao-feng, XIANG Hong-rui, CHEN Chun-li, <i>et al.</i>	(2256)
Uncertainty Analysis of Ecological Risk Assessment Caused by Heavy-metals Deposition from MSWI Emission	LIAO Zhi-heng, SUN Jia-ren, WU Dui, <i>et al.</i>	(2264)
Risk Assessment and Countermeasures of BTEX Contamination in Soils of Typical Pesticide Factory	TAN Bing, WANG Tie-yu, LI Qi-feng, <i>et al.</i>	(2272)
Levels Distribution and Risk Assessment of the Indicator and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Ten Different Species of Marine Fish of Bohai Bay, China	WANG Sha-sha, GAO Li-rong, TIAN Yi-ling, <i>et al.</i>	(2281)
Detection of Biohazardous Materials in Water upon the Characteristics of Fluorescent Sensor Flex	ZHAO Wei, WANG Zhao, CAI Qiang, <i>et al.</i>	(2287)
Generation and Release of Microcystin-LR by <i>Microcystis aeruginosa</i> Under Hydroquinone Inhibition	ZHANG Yuan-chun, LIANG Wen-yan, ZHAO Yuan, <i>et al.</i>	(2294)
Culture Medium Based on Biogas Slurry and Breeding of Oil Chlorella	ZHAO Feng-min, MEI Shuai, CAO You-fu, <i>et al.</i>	(2300)
Microbial Diversity and Ammonia-Oxidizing Microorganism of a Soil Sample Near an Acid Mine Drainage Lake	LIU Ying, WANG Li-hua, HAO Chun-bo, <i>et al.</i>	(2305)
Effects of <i>Corbicula fluminea</i> Bioturbation on the Community Composition and Abundance of Ammonia-Oxidizing Archaea and Bacteria in Surface Sediments	WANG Xue, ZHAO Da-yong, ZENG Jin, <i>et al.</i>	(2314)
Methanogenic Activity and Methanogen Diversity in Marine Gas Field Sediments	TIAN Qi, WANG Jia, FAN Xiao-lei, <i>et al.</i>	(2322)
Effect of the Potential on Bacterial Community Under Illumination by DGGE and T-RFLP	WU Yi-cheng, DENG Huan, XIAO Yong, <i>et al.</i>	(2328)
Isolation and Characterization of Two Bacteria with Heavy Metal Resistance and Phosphate Solubilizing Capability	TIAN Jiang, PENG Xia-wei, LI Xia, <i>et al.</i>	(2334)
Identification and Denitrification Characteristics of a Psychrotolerant Facultative Basophilic Aerobic Denitrifier	WANG Zhao-yang, CHEN Guo-yao, JIANG Ke, <i>et al.</i>	(2341)
Effects of Ryegrass and Arbuscular Mycorrhiza on Activities of Antioxidant Enzymes, Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Different Varieties of Tomato	JIANG Ling, YANG Yun, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(2349)
Response of Active Nitrogen to Salinity in a Soil from the Yellow River Delta	LI Ling, QIU Shao-jun, CHEN Yin-ping, <i>et al.</i>	(2358)
Variation of Soil Nitrogen During <i>in situ</i> Mineralization Process Under Different Grasslands in the Mountainous Area of Southern Ningxia, Northwest China	JIANG Yue-li, ZHAO Tong, YAN Hao, <i>et al.</i>	(2365)
Effects of Long-Term Application of Pig Manure Containing Residual Tetracycline on the Formation of Drug-Resistant Bacteria and Resistance Genes	ZHANG Jun, YANG Xiao-hong, GE Feng, <i>et al.</i>	(2374)
Long-Term Effects of Tillage Methods on Heavy Metal Accumulation and Availability in Purple Paddy Soil	CHANG Tong-ju, CUI Xiao-qiang, RUAN Zhen, <i>et al.</i>	(2381)
Environmental Geochemical Baseline of Heavy Metals in Soils of the Ili River Basin and Pollution Evaluation	ZHAO Xin-ru, Telajin Nasier, CHENG Yong-yi, <i>et al.</i>	(2392)
Distribution Patterns and Pollution Assessments of Heavy Metals in the <i>Spartina alterniflora</i> Salt-Marsh Wetland of Rudong, Jiangsu Province	ZHANG Long-hui, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i>	(2401)
Temporal-Spatial Distribution of Agricultural Diffuse Nitrogen Pollution and Relationship with Soil Respiration and Nitrification	OUYANG Wei, CAI Guan-qing, HUANG Hao-bo, <i>et al.</i>	(2411)
Soil Respiration and Carbon Balance in Wheat Field Under Conservation Tillage	ZHANG Sai, WANG Long-chang, HUANG Zhao-cun, <i>et al.</i>	(2419)
Comparison of Soil Respiration in Natural <i>Castanopsis carlesii</i> Forest and Plantation Forest	WU Jun-jun, YANG Zhi-jie, WENG Fa-jin, <i>et al.</i>	(2426)
Influences of Hydraulic Retention Time on the Ethanol Type Fermentation Hydrogen Production System in a Hybrid Anaerobic Baffled Reactor	LIU Xiao-ye, ZHANG Hong, LI Yong-feng	(2433)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年6月15日 第35卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 6 Jun. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行