

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O₃来源识别 李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)

厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势 徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)

近10年海南岛大气NO₂的时空变化及污染物来源解析 符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)

稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成 洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)

气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H₂)浓度 栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)

小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO₂特征及扩散通量 张永领, 杨小林, 张东(40)

夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究 李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)

基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度 张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)

温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别 马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)

人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例 于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)

太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究 汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)

鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应 沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)

影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析 李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)

水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响 刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)

蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响 吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)

汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化 程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)

三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征 王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)

三峡库区农林畜复合小流域水体汞的时空变化特征 赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)

环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响 宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)

三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征 高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)

舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析 周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)

太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律 李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)

厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估 程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)

两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例 王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)

大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价 张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)

铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验 陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)

铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究 陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)

一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究 吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)

磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为 张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)

腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附 朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)

降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响 赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)

FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究 陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)

微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响 邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)

微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化 曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)

舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征 张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)

四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究 周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静(274)

铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用 徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)

外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响 熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)

厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征 洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)

洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素 商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)

不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究 吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)

畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化 商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)

华南某市生活垃圾组成特征分析 张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)

生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥 刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)

基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究 徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)

一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测 刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)

典型黄土区油松树干液流变化特征分析 张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)

利用巨藻发酵联产氢气与挥发性有机酸的研究 赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)

人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响 李曼璐, 姜玥璐(365)

《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236,243,273,300)

夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究

李江萍, 张洪海, 杨桂朋*

(中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266100)

摘要: 二甲基硫(DMS)、二甲巯基丙酸内盐(DMSP)和二甲亚砜(DMSO)是海洋中最重要的3种生源有机硫化物. 本文系统研究了2013年6月中国东海表层海水中3种硫化物的水平分布规律及其影响因素, 并估算了DMS海-气通量. 结果表明, 表层海水DMS、溶解态DMSPd、颗粒态DMSPp、溶解态DMSOd和颗粒态DMSOp浓度平均值分别为4.70、7.00、27.83、13.66和10.78 $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$. DMS、DMSP和DMSO与叶绿素a(Chl-a)水平分布规律相似, 均呈现近岸高、远海低的趋势. 相关性分析结果表明, DMS、DMSPd和DMSOp浓度与Chl-a浓度均有显著的相关性, 说明浮游植物生物量是影响东海有机硫化物生产分布的重要因素. 此外, 研究发现DMS与DMSPd、DMSOd与DMS间分别存在一定的相关性, 表明表层海水中DMS主要来源于DMSPd的微生物降解, 而DMSOd的主要来源是DMS的氧化过程. 此外, 夏季东海DMS海-气通量在0.62~33.98 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$ 之间, 平均值为9.71 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$.

关键词: 二甲基硫; 二甲巯基丙酸; 二甲亚砜; 分布; 东海

中图分类号: X145 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0049-07 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2015.01.007

Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer

LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng*

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

Abstract: Dimethylsulfide (DMS), dimethylsulfoniopropionate (DMSP) and dimethylsulfoxide (DMSO) are the most important biogenic organic dimethylated sulfur compounds in the ocean. The spatial distributions of these three sulfur compounds and their influencing factors were investigated in the East China Sea in June 2013. The mean concentrations of DMS, DMSPd, DMSPp, DMSOd and DMSOp in the surface seawater were 4.70, 7.00, 27.83, 13.66 and 10.78 $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. The horizontal distributions of DMS, DMSP and DMSO exhibited the similar patterns to that of chlorophyll a (Chl-a), with high values in coastal regions and low values in the open sea. DMS, DMSPd and DMSOp concentrations were significantly correlated with the levels of Chl-a, indicating that phytoplankton biomass might play an important role in controlling the concentrations of these sulfur compounds in the East China Sea. Moreover, positive relationships were observed between DMS and DMSPd and between DMSOd and DMS in the study area, which implied that the microbial degradation of DMSPd was the main source of DMS and DMSOd came mostly from the oxidation of DMS. The sea-to-air flux of DMS from the East China Sea in summer ranged from 0.62 to 33.98 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$, with an average of 9.71 $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$.

Key words: dimethylsulfide; dimethylsulfoniopropionate; dimethylsulfoxide; distribution; East China Sea

二甲基硫(DMS)是海洋中最主要的挥发性生源硫化物,其在表层海水中处于高度过饱和状态,因此能以较大的通量穿越海-气界面进入到大气中,成为参与全球硫循环的重要物质. DMS一旦进入大气,会立即被OH、NO₃、IO等自由基氧化生成二氧化硫(SO₂)和甲磺酸(MSA),再通过同相或异相反反应生成非海盐硫酸盐(nss-SO_4^{2-}),它们能对区域或全球气候以及酸雨的形成产生重要影响^[1,2].

海洋中的 β -二甲巯基丙酸内盐(DMSP)是DMS的主要前体物质,为藻类的一种硫代谢产物. 在藻类细胞中,DMSP可以在裂解酶作用下分解为DMS^[3]. 此外,DMSP裂解酶也存在于细菌内,DMSP的微生物转化是海水中DMS产生的重要途径^[4].

DMS一旦产生进入海水,可通过海-气扩散、微生物消耗和光化学氧化3种途径去除. 微生物消耗和光化学氧化是表层海水中DMS去除的重要途径^[5],而二甲亚砜(DMSO)是DMS发生光化学氧化的一个重要产物^[6]以及微生物消耗的主要产物^[7]. 除此之外,DMSO还可以在某些厌氧细菌的作用下降解还原为DMS^[8]. 因此,海水中DMSP和DMSO通过参与DMS生成与转化过程,在DMS的生物地球化学循环中发挥着重要的作用.

收稿日期: 2014-06-13; 修订日期: 2014-07-21

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”建设工程专项

作者简介: 李江萍(1990~),女,硕士研究生,主要研究方向为生源硫的生物地球化学, E-mail: lijianping199037@126.com

* 通讯联系人, E-mail: gpyang@ouc.edu.cn

关于 DMS 和 DMSP 的研究,国内学者已经取得了一系列的成果^[9~16],对海水中 DMS 和 DMSP 的浓度分布、时空变化、海-气通量、影响因素以及海区内生物特征、生态环境的关系进行了较为系统的研究^[17~19]. 然而由于受分析方法限制,对于中国海域 DMSO 的研究数据在空间和时间尺度上仍十分有限. 文献^[20,21]对中国夏季黄渤海海域、冬季东海海域 DMSO 的分布特征进行了研究. 此外,系统研究中国海域 3 种有机硫化物 DMS、DMSP 和 DMSO 分布及相互关系的文献报道甚少. 因此,本研究选取典型的陆架海区-中国东海作为目标海域,分析了该海域 3 种相关硫化物 DMS、DMSP 和 DMSO 的浓度分布规律,估算了 DMS 海-气通量,并重点探讨了 3 种硫化物之间的内在联系及其它们与环境因子之间的关系. 本工作将有助于深入了解海洋中 3 种有机硫化物的生物地球化学循环过程,从而丰富我国在海洋生源硫循环研究方面的内容.

1 材料与方法

1.1 样品采集和保存

于 2013 年 6 月 22 日~7 月 21 日(夏季)随“科学三号”调查船对中国东海海域进行了取样调查(如图 1),共包括 7 个断面 50 个站位. 表层海水样品使用 12 L Niskin Rosette 采水器进行采集,现场表层海水温度、盐度和水深由直读式温盐深仪 CTD 装置获得.

由于 DMS 易挥发且易受生物活动的影响,为减少误差 DMS 样品在现场进行测定. DMSP 和 DMSO 样品在现场进行处理后 0~4℃ 避光保存,带回陆上实验室进行测定. 采集的水样经 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜(直径 47 mm)过滤后取 4 mL 滤液转移至盛有 40 μL 50% 浓硫酸的样品瓶中,即为 DMSPd 样品,其中 DMS 在浓硫酸作用下被氧化,从而排除了原有 DMS 的干扰. 另外,取 10 mL 未经过滤的海水装入盛有 100 μL 50% 浓硫酸的样品瓶中,即得到 DMSPt 样品. 对于 DMSO 样品,取 40 mL 海水样品用内置 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜(直径 47 mm)的 Nalgene 过滤器重力过滤,滤液和滤膜分别装入盛有 0.2 mL 25% HCl 的 42 mL 玻璃样品瓶中,装有滤膜的样品瓶加入 40 mL 高纯水,拧盖密封,分别用来测定 DMSOd 及 DMSOp. 然而, Kiene 等^[22]的研究表明大体积海水样品(5~50 mL)进行重力过滤时会导致颗粒物释放 DMSPd,因此,本研究使用大体积海水样品进行重力过滤可能会过高估计

DMSOd 的浓度.

此外,对于海水中叶绿素 a (Chl-a) 含量的测定,取 300 mL 海水样品用 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜过滤(压力低于 15 kPa),滤膜包裹于锡纸内,冷冻保存. 分析时将滤膜置于 90% (体积分数) 丙酮水溶液中暗处萃取 24 h,离心,取上清液采用荧光分光光度法^[23]进行测定.

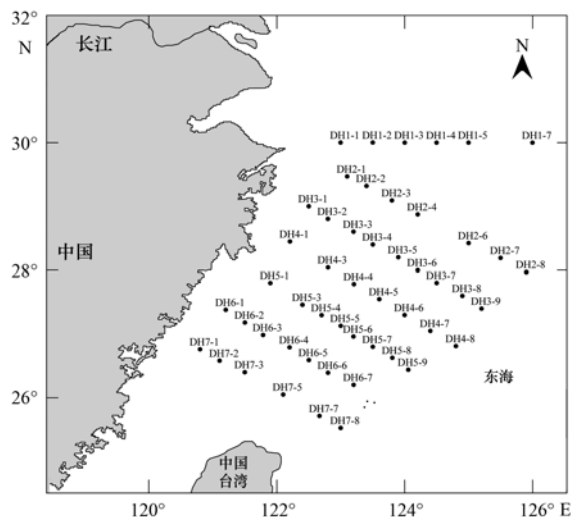


图 1 2013 年夏季中国东海调查站位

Fig. 1 Location of sampling stations in the East China Sea in June 2013

1.2 样品分析

对于 DMS 样品,采用冷阱吹扫-捕集气相色谱法进行现场测定^[24]. 即用注射器量取 2 mL 海水样品注入密封好的小样品瓶内,在高纯氮气的吹扫下将其中的 DMS 吹出,流经 Nafion 干燥管(美国,Perma Pure)干燥后,富集于浸在液氮中的聚四氟乙烯捕集管内,然后将捕集管浸入热水内加热解析,用高纯氮气将富集的 DMS 送入 GC-14B 气相色谱仪(日本,Shimadzu)火焰光度检测器(FPD)进行检测. 该测定方法的相对标准偏差 < 5%,最低检出限为 0.2 $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ DMS^[19].

DMSP 在强碱作用下($\text{pH} \geq 13$)完全转化为 DMS 和丙烯酸,通过测定 DMS 的含量可以间接得到 DMSP 含量. 取 2 mL 海水样品注入样品瓶内,加入 200 μL 10 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KOH 溶液,密封后避光冷藏保存 24 h,DMSP 则完全碱解为 DMS,分析其中的 DMS,按 1:1 比例计算出 DMSP 的含量. 分别获得 DMSPt 和 DMSPd 含量后,两者相减即得 DMSPp 的含量.

采用 NaBH_4 还原法测定海水中 DMSO 含量^[25],即将 DMSO 还原为 DMS 进行测定. 由于海

水中固有的 DMS 会对测定产生干扰,此外 DMSP 也可被 NaBH_4 还原为 DMS 从而影响测定,因此在测定 DMSO 之前先加入 2 mL $10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 溶液将样品中的 DMSP 碱解为 DMS,然后用高纯氮气吹扫 30 min 排除干扰. 将处理后的样品调 pH 至 4 左右,加入 0.12 g NaBH_4 反应 15 min,然后加入 1 mL 5% HCl 静置 4 min,最后测定其中的 DMS 含量,以此获得 DMSO 含量.

2 结果与讨论

2.1 DMS、DMSP 和 DMSO 的水平分布特征

夏季东海表层海水中 Chl-a 的平均浓度为 $0.49 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($0.032 \sim 2.50 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). DH4-1 站位出现 Chl-a 浓度最大值,可能是由于此处的上升流将深层的营养盐带至表层使得浮游植物生长旺盛^[26]. Chl-a 浓度最小值出现在 DH5-9 站位,总体分布上呈现由近岸到远海逐渐降低的趋势.

在所调查海域, DMS 的浓度在 $0.98 \sim 11.61 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均浓度为 $4.70 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$,这与 Yang 等^[27] 对夏季东海和黄海的调查结果相近 ($5.64 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$). 与 DMS 相比, DMSP 浓度变化范围更大, DMSPd 和 DMSPp 浓度平均值分别为 7.00 ($1.95 \sim 24.86$) $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 27.83 ($3.24 \sim 78.88$) $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

由图 2 可以看出, DMS、DMSPd 和 DMSPp 呈现出相似分布趋势,在生产力较高的近岸海域三者的浓度比较高,而在远海海域浓度相对较低. 此外, DMS 和 DMSP 浓度最高值都出现在浙江省中南部近岸海域附近,这可能与此处海域位于上升流区有关^[26]. 总体上, DMS、DMSP 浓度的分布趋势与 Chl-a 大致相似,浓度的变化显示出近岸人为活动对 DMS、DMSP 生物生产的影响. 例如, DMS 的最小值出现在 DH5-1 站位,此处 Chl-a 浓度最低 ($0.032 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), 并且 DMSPd 浓度最大值出现在 Chl-a 极大值 ($2.50 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) 站位 DH4-1. 同样 DMSPp 和 Chl-a 在 DH3-1 站位的浓度也比较高,分别为 $75.77 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $2.38 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

调查海域内 DMSOd 浓度变化范围较 DMSOp 要大,其浓度分别为 13.66 ($1.15 \sim 81.94$) $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 10.78 ($0.71 \sim 43.96$) $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$,均低于 2009 年冬季该海域的调查结果^[21],这可能是由于夏季较冬季而言微生物活动比较旺盛,更多的 DMSO 被利用或还原,从而导致海水中 DMSO 浓度降低.

水平分布上, DMSOd 与 DMSOp 整体呈现近岸

高、远海低的趋势,表现出人为活动对其分布的重要影响. 此外,从图 2 可以看出, DMSOp 在 29°N 、 122°E 附近海域出现的高值区与 Chl-a 高值区相吻合,同时 DMSOp 浓度最大值出现在 Chl-a 浓度值也最大的 DH4-1 站位,而在 DMSOp 浓度最小的 DH5-7 站位 Chl-a 浓度也较低 ($0.19 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$),这表现出浮游植物的直接生产对该海域表层海水中 DMSOp 浓度有重要贡献.

2.2 海水中 3 种有机硫化物间的相互关系

从调查结果可以看出,3 种溶解态有机硫化物中 DMSOd 浓度最高, DMSPd 浓度次之,而 DMS 浓度最低,这可能是由 DMS 复杂快速的去除途径如微生物降解、光化学氧化和海-气扩散等所致. DMSOp 与 DMSPp 具有类似的生理功能,它们都可以由浮游植物体内直接合成,然而 DMSPp 浓度明显高于 DMSOp 浓度, DMSPp/DMSOp 的比值范围介于 1.24 ~ 44.56 之间,平均值为 11.14,该结果表明夏季东海浮游植物产生的 DMSP 要高于 DMSO,这与 Simó 等^[28] 研究结果一致,他们发现 DMSPp 浓度值是 DMSOp 浓度值的约 5 倍. 此外,室内培养实验也表明多种浮游植物产生的 DMSP 量都高于 DMSO 的量^[29]. 然而, Yang 等^[21] 在冬季东海海域得到的 DMSPp/DMSOp 比值仅为 0.270. 这种比值的差异性可能是由复杂的环境因素(如营养盐、温度)或特定的藻种引起的.

浮游植物细胞可以自然分泌产生 DMSP, DMSP 进入海水中后被细菌等分解可产生 DMS,此外, DMSP 也可以在藻类细胞内被裂解酶分解为 DMS^[3]. 在所调查海域, DMSPd 和 DMS 在海水表层中的浓度分布规律相似,线性回归结果也表明二者之间存在一定的相关性(见表 1),这表明调查海域 DMS 主要来源于 DMSPd 的微生物分解.

此外,研究表明海水中的 DMSOd 主要有 3 种来源: DMS 的光化学氧化、微生物氧化以及浮游植物生产^[30]. 将本航次测得的 DMSOd 浓度分别与 DMS 和 DMSOp 浓度进行线性拟合(见表 1),发现 DMSOd 和 DMS 浓度间有一定相关性,而 DMSOd 和 DMSOp 浓度之间不存在相关性,说明了夏季中国东海表层海水中 DMS 的主要来源不是藻类细胞的生产释放,而是来自于 DMS 的光化学氧化和微生物氧化.

2.3 DMS、DMSP 和 DMSO 与 Chl-a 相关性分析

DMS、DMSP 和 DMSO 都可来源于浮游植物的直接生产,而 Chl-a 可以在一定程度上反映浮游植物

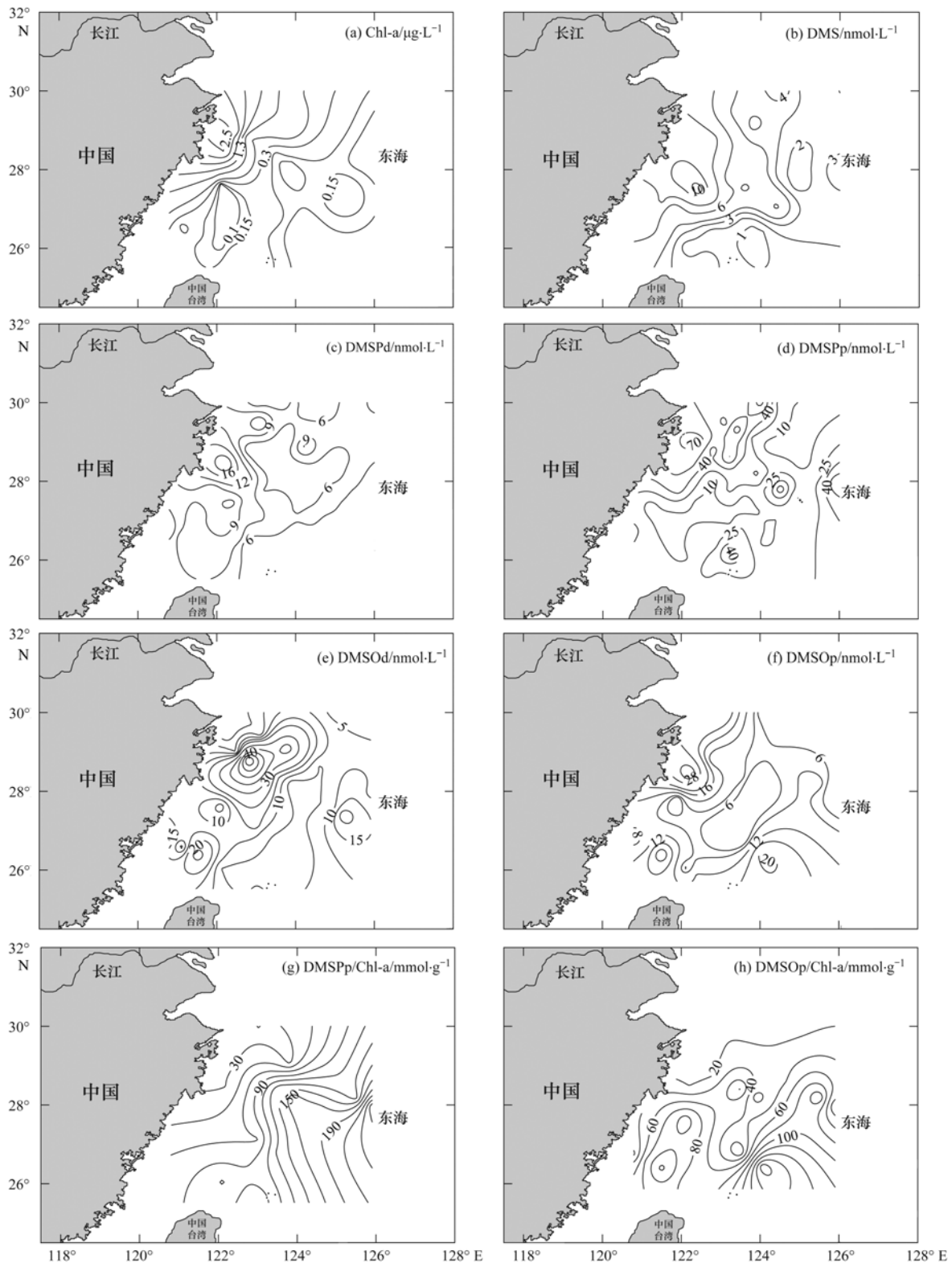


图2 中国东海表层海水中Chl-a、DMS、DMSPd、DMSPp、DMSOd、DMSOp、DMSPp/Chl-a和DMSOp/Chl-a的水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of Chl-a, DMS, DMSPd, DMSPp, DMSOd, DMSOp, DMSPp/Chl-a and DMSOp/Chl-a in the surface seawater of the East China Sea

的生物量. 因此, 将调查海域的 DMS、DMSP 和 DMSO 浓度与 Chl-a 值分别进行相关性分析, 发现 DMS、DMSPd 和 DMSOp 与 Chl-a 间均存在显著的相

关性. 然而 Yang 等^[21]对冬季东海海域的调查结果表明 DMSOp 和 Chl-a 间并不存在明显的相关性, 这种结果的差异性主要是由于不同季节浮游植物种群

组成不同,而不同种类的浮游植物对Chl-a的贡献不同,并且生产DMS、DMSP和DMSO的能力也存在很大差异。DMS、DMSPd和DMSOp与Chl-a之间的

相关性表明浮游植物生物量在控制夏季中国东海海水中DMS、DMSP和DMSO浓度分布方面发挥着重要作用。

表1 东海表层海水中DMS、DMSPd、DMSPp、DMSOd、DMSOp和Chl-a间的相关关系¹⁾

Table 1 Relationships between DMS, DMSPd, DMSPp, DMSOd, DMSOp and Chl-a in the surface water of the East China Sea

	DMS	DMSPd	DMSPp	DMSOd	DMSOp	Chl-a
DMS	1					
DMSPd	0.302 *	1				
DMSPp	0.149	-0.030	1			
DMSOd	0.437 *	0.016	-0.047	1		
DMSOp	0.313	0.580 **	0.219	0.273	1	
Chl-a	0.602 **	0.569 **	0.527 *	0.185	0.664 **	1

1) * 为 $P < 0.05$, ** 为 $P < 0.01$

DMS、DMSP和DMSO与Chl-a的浓度比值用来估算不同海区浮游植物现存量生产DMS、DMSP和DMSO的能力。不同海区的浮游植物优势藻种存在很大差别,高DMS/Chl-a、DMSP/Chl-a和DMSO/Chl-a比值通常出现在甲藻、金藻等占优势地位的海域,而低DMS/Chl-a、DMSP/Chl-a和DMSO/Chl-a比值出现在硅藻为优势种的海区。本航次所调查的DMS/Chl-a比值为 $19.57 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$,此结果与夏季马尾藻海区研究结果相近($20 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$)^[31],但明显低于夏季欧洲陆架边缘海区^[32]和地中海西部海区^[33]。据报道^[27,34],夏季东海海域浮游植物中硅藻占到70%~80%以上,为海区内的优势藻种。由于硅藻为DMS低产藻种,导致调查海域内DMS/Chl-a值较低。

夏季东海表层海水中DMS/Chl-a比值高于2007年冬季调查结果($5.82 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$)^[18]; DMSPp/Chl-a比值为 $95.51 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$,高于2009年冬季调查结果($35.79 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$)^[27]; DMSOp/Chl-a比值为 $54.56 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$,高于2010年秋季调查结果($23.3 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$)^[35],这表明夏季东海海域浮游植物生产DMS、DMSP和DMSO的能力高于秋、冬季。这主要与海区内浮游植物丰度和群落结构的季节变化有关,一方面随着温度升高甲藻比例不断增加,另一方面夏季优势藻种细胞丰度相比秋、冬季而言较高。此外,DMSPp/Chl-a与DMSOp/Chl-a比值均呈现近岸低、远海高的水平分布趋势(如图2)。这可能是因为由近岸向外海随着温度和盐度的升高,适于低盐条件生长的硅藻比例下降,而耐高盐、暖水性的甲藻比例不断升高,从而导致DMSPp/Chl-a和DMSOp/Chl-a比值不断增加。

2.4 DMS海-气交换通量

为了评价海洋中DMS在全球硫循环中所起的

重要作用,需要在区域和全球范围内定量估算DMS的海-气通量。目前一般采用Liss等^[36]建立的滞膜模型进行计算,其公式为:

$$F = k(c_1 - c_g/H) = kc_1$$

式中, F 为海-气通量; k 为海-气传输速率; c_1 、 c_g 分别为DMS在水体中和大气中的浓度; H 为亨利常数。由于 c_1 总是远远大于 c_g/H ,因此可忽略 c_g/H 的影响。

海-气传输速率 k 有多种计算方法^[36-38],本研究采用目前国际上普遍使用的N2000公式计算 k 值^[39],其公式为:

$$k = (0.222\mu_{10}^2 + 0.333\mu_{10})(Sc/Sc_0)^{-1/2}$$

式中, μ_{10} 为距离海面10 m高度的风速; Sc_0 为 CO_2 在 20°C 时的Schmidt数,一般等于600;而海水中DMS的 Sc 根据Saltzman等^[40]建立的与海水温度有关的方程式得到:

$$Sc(t) = 2674.0 - 147.12t + 3.726t^2 - 0.038t^3$$

根据上述公式计算出的夏季东海海域DMS海-气通量为 $0.62 \sim 33.98 \text{ } \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$,平均值为 $9.71 \text{ } \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。DMS海-气通量最大值出现在DH3-3站位,此处风速($9.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)最大,DMS浓度($6.63 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$)也相对较高;最小值出现在DH7-8站位,该处风速($1.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)和DMS浓度($1.90 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$)都相对较低,海水中DMS浓度与风速共同影响DMS海-气通量。

为了便于与往年数据进行比较,使用LM86公式重新计算了夏季东海海域DMS海-气通量,结果为 $6.79 \text{ } \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$,这与Yang等^[27]对夏季东海和黄河的调查结果相接近($7.45 \text{ } \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$),但明显高于冬季调查结果[$3.19 \text{ } \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$]。尽管冬季风速($7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)高于夏季风速($5.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),但冬季海水中DMS浓度

($1.79 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$)明显低于夏季 DMS 浓度 ($4.70 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$),从而导致冬季 DMS 海-气通量较低. 此外,与 2000 年 Yang 等^[41]对相同季节相同海域的调查结果 [$3.4 \text{ }\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$]相比,DMS 海-气通量有一定程度的增加. 由于两次调查期间平均风速都在 $5.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,相差不大,因此通量的差异主要是由本次调查期间海水中较高的 DMS 浓度所致. 海水中 DMS 浓度的增加可以直接导致 DMS 海-气通量的增加,从而对全球环境和气候产生影响,而陆架海区由于其较高生产力水平可以贡献较高的 DMS 浓度,因此它们可能是全球 DMS 排放的重要来源.

3 结论

(1)夏季中国东海表层海水中 3 种生源有机硫化物的浓度大小顺序依次为 $\text{DMSPp} > \text{DMSOd} > \text{DMSOp} > \text{DMSPd} > \text{DMS}$,其中 DMSOd 为海水中含量最高的溶解态生源有机硫化物.

(2)东海海域 DMS、DMSP 和 DMSO 均呈现出与 Chl-a 相似的水平分布趋势,即浓度由近岸到远海逐渐降低. 此外,DMS、DMSPd 和 DMSOp 浓度与 Chl-a 浓度都存在显著的相关性,表明浮游植物生物量是影响海区内有机硫化物生产分布的重要因素.

(3)夏季东海表层海水中 DMS 和 DMSPd 间存在一定相关性,DMSOd 与 DMS 间存在一定相关关系,表明 DMSPd 降解是海水中 DMS 的主要来源,而 DMSOd 主要来源于 DMS 的光氧化和微生物氧化.

(4)夏季东海表层海水中 DMS 含量较高,从而贡献出较大的 DMS 海-气通量,进一步说明陆架海区是全球大气 DMS 的重要来源.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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*, 1987, **92** (C3): 2930-2938.
- [3] Stefels J, van Boekel W H M. Production of DMS from dissolved DMSP in anoxic cultures of the marine phytoplankton species *Phaeocystis* sp. [J]. *Marine Ecological Progress Series*, 1993, **97**: 11-18.
- [4] Kiene R P. Dynamics of dimethyl sulfide and dimethylsulfoniopropionate in oceanic water samples [J]. *Marine Chemistry*, 1992, **37**(1-2): 29-52.
- [5] Kiene R P, Bates T S. Biological removal of dimethyl sulphide from sea water [J]. *Nature*, 1990, **345**(6277): 702-705.
- [6] Kieber D J, Jiao J F, Kiene R P, *et al.* Impact of dimethylsulfide photochemistry on methyl sulfur cycling in the equatorial Pacific Ocean [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(C2): 3715-3722.
- [7] Del Valle D A, Kieber D J, Kiene R P. Depth-dependent fate of biologically-consumed dimethylsulfide in the Sargasso Sea [J]. *Marine Chemistry*, 2007, **103**(1-2): 197-208.
- [8] Hatton A D, Darroch L, Malin G. The role of dimethylsulphoxide in the marine biogeochemical cycle of dimethylsulphide [J]. *Oceanography Marine Biology Annual Review*, 2004, **42**: 29-56.
- [9] Yang G P, Zhang H H, Su L P, *et al.* Biogenic emission of dimethylsulfide (DMS) from the North Yellow Sea, China and its contribution to sulfate in aerosol during summer [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(13): 2169-2203.
- [10] Yang G P, Watanabe S, Tsunogai S. Distribution and cycling of dimethylsulfide in surface microlayer and subsurface seawater [J]. *Marine Chemistry*, 2001, **76**(3): 137-153.
- [11] Yang G P, Levasseur M, Michaud S, *et al.* Biogeochemistry of dimethylsulfide (DMS) and dimethylsulfoniopropionate (DMSP) in the surface microlayer and subsurface water of the western North Atlantic during spring [J]. *Marine Chemistry*, 2005, **96** (3-4): 315-329.
- [12] Yang G P, Tsunogai S. Biogeochemistry of dimethylsulfide (DMS) and dimethylsulfoniopropionate (DMSP) in the surface microlayer of the western North Pacific [J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2005, **52**(4): 553-567.
- [13] Yang G P, Tsunogai S, Watanabe S. Biogenic sulfur distribution and cycling in the surface microlayer and subsurface water of Funka Bay and its adjacent area [J]. *Continental Shelf Research*, 2005, **25**(4): 557-570.
- [14] Hu M, Tang X Y, Li J L, *et al.* Distributions of dimethylsulfide in the Bohai Sea and Yellow Sea of China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2003, **15**(6): 762-767.
- [15] 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.
- [16] Ma Q J, Hu M, Zhu T, *et al.* Seawater, atmospheric dimethylsulfide and aerosol ions in the Pearl River Estuary and the adjacent northern South China Sea [J]. *Journal of Sea Research*, 2005, **53**(3): 131-145.
- [17] 景伟文. 海水微表层和次表层中 DMS 和 DMSP 的生物地球化学研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [18] 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.
- [19] 厉丞焯. 海水中 DMS 和 DMSP 的生物生产与消费的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [20] 王敏, 张洪海, 杨桂朋. 夏季黄渤海表层海水中二甲亚砷

- (DMSO)的浓度分布[J]. 环境科学, 2013, **34**(1): 45-50.
- [21] Yang J, Yang G P. Distribution of dissolved and particulate dimethylsulfoxide in the East China Sea in winter[J]. Marine Chemistry, 2011, **127**(1-4): 199-209.
- [22] Kiene R P, Slezak D. Low dissolved DMSP concentrations in seawater revealed by small volume gravity filtration and dialysis sampling[J]. Limnology and Oceanography: Methods, 2006, **4**: 80-95.
- [23] Parsons T R, Maita Y, Lalli C M. A manual for chemical and biological methods for seawater analysis[M]. Oxford: Pergamon Press, 1984. 23-58.
- [24] Zhang H H, Yang G P, Zhu T. Distribution and cycling of dimethylsulfide(DMS) and dimethylsulfoniopropionate (DMSP) in the sea-surface microlayer of the Yellow Sea, China, in spring [J]. Continental Shelf Research, 2008, **28**(17): 2417-2427.
- [25] Simó R, Malin G, Liss P S. Refinement of the borohydride reduction method for trace analysis of dissolved and particulate dimethyl sulfoxide in marine water samples [J]. Analytical Chemistry, 1998, **70**(22): 4864-4867.
- [26] 曹欣中. 浙江近海上升流季过程的初步研究[J]. 水产学报, 1986, **10**(1): 51-69.
- [27] 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.
- [28] Simó R, Vila-Costa M. Ubiquity of algal dimethylsulfoxide in the surface ocean: Geographic and temporal distribution patterns[J]. Marine Chemistry, 2006, **100**(1-2): 136-146.
- [29] Hatton A D, Wilson S T. Particulate dimethylsulphoxide and dimethylsulphoniopropionate in phytoplankton cultures and Scottish coastal waters[J]. Aquatic Sciences, 2007, **69**(3): 330-340.
- [30] Del Valle D A, Kieber D J, Bisgrove J, *et al.* Light-stimulated production of dissolved DMSO by a particle-associated process in the Ross Sea, Antarctica [J]. Limnology and Oceanography, 2007, **52**(6): 2456-2466.
- [31] Dacey J W H, Howse F A, Michaels A F, *et al.* Temporal variability of dimethylsulfide and dimethylsulfoniopropionate in the Sargasso Sea[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 1998, **45**(12): 2085-2104.
- [32] Uher G, Schebeske G, Barlow R G, *et al.* Distribution and air-sea gas exchange of dimethyl sulfide at the European western continental margin [J]. Marine Chemistry, 2000, **69**(3-4): 277-300.
- [33] Simó R, Grimalt J O, Albaiglés J. Dissolved dimethylsulphide, dimethylsulphoniopropionate and dimethylsulphoxide in western Mediterranean waters[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 1997, **44**(3-4): 929-950.
- [34] 郭术津, 田伟, 戴民汉, 等. 2009年夏季东海浮游植物群集 [J]. 海洋科学进展, 2011, **29**(4): 474-486.
- [35] 高楠, 张洪海, 杨桂朋. 秋季东海二甲基亚砷的分布与影响因素研究[J]. 海洋学报, 2014, **36**(4): 110-117.
- [36] 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[C]. Reidel, Dordrecht: Academic Press, 1986. 113-127.
- [37] 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.
- [38] Erickson III D J. A stability dependent theory for air-sea gas exchange[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans(1978-2012), 1993, **98**(C5): 8471-8488.
- [39] 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.
- [40] Saltzman E S, King D B, Holmen K, *et al.* Experimental determination of the diffusion coefficient of dimethylsulfide in water[J]. Journal of Geophysical Research, 1993, **98**(C9): 16481-16486.
- [41] 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.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i>	(1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i>	(11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i>	(18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i>	(25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i>	(34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong	(40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng	(49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenritang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling	(64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i>	(72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i>	(80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i>	(87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue	(94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang	(107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i>	(114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i>	(121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i>	(151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i>	(163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i>	(172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i>	(179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i>	(186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i>	(194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i>	(202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i>	(209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i>	(215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i>	(221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui	(227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i>	(237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i>	(244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i>	(252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i>	(259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i>	(266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i>	(274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i>	(280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i>	(295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i>	(301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i>	(309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i>	(314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i>	(325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i>	(333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i>	(338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i>	(343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i>	(349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i>	(357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu	(365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人