

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明 (1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平 (8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思 (15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳 (21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远 (27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋 (34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨 (39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋 (45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇 (51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙 (61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁 (69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍 (77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣阳,贾颖娜,陈佳勃,吕军 (84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元 (91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山 (98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男 (108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟 (116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强 (121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军 (129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新 (137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦 (145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民 (150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳 (156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐 (163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直 (169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺 (177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴 (182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓 (188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇 (194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根 (198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文 (204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢 (209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏 (217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳 (226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南 (231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛 (237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福 (244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏 (251)
多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾 (257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远 (263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文 (271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林 (277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国 (283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博 (288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇 (293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,贾玉娟 (302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永锋 (308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲 (315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎 (321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志 (328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易 (336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强 (347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛 (357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正 (364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强 (373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维 (379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新 (385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌 (395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌 (401)
《环境科学》征订启事 (26)	《环境科学》征稿简则 (68)
信息 (76,144,301,400)	专辑征稿通知 (394)

夏季黄渤海表层海水中二甲亚砷(DMSO)的浓度分布

王敏, 张洪海, 杨桂朋*

(中国海洋大学化学化工学院, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要: 根据2011年6月对黄渤海进行的大面调查, 分析研究了夏季表层海水中颗粒态和溶解态二甲亚砷(DMSOp、DMSOd)的水平分布及其周日变化特征。海水中DMSO首先采用 NaBH_4 将其还原为二甲基硫(DMS), 再利用冷阱吹扫-捕集气相色谱法进行间接测定。结果表明, 表层海水中DMSOp浓度的变化范围是 $5.43 \sim 18.35 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $(11.47 \pm 0.25) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$; DMSOd浓度的变化范围是 $4.75 \sim 43.80 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $(13.42 \pm 0.58) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。相关性分析显示: DMSOp与叶绿素a(Chl-a)、温度、盐度等不存在相关性, 而DMSOp/Chl-a比值与盐度存在一定的正相关, 表明DMSO在藻细胞内具有渗透压调节功能; DMSOd与细菌、DMSOp浓度不存在相关性, 而与DMS浓度存在一定的正相关, 表明表层海水中DMSOd的主要来源是DMS的光化学氧化。另外, DMSOp与DMSOd均呈现出明显的周日变化规律, 白天时段浓度明显高于夜间时段。

关键词: 二甲亚砷; 浓度分布; 周日变化; 黄海; 渤海

中图分类号: X145 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0045-06

Distribution of Dimethylsulfoxide (DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea

WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng

(Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The horizontal distributions and diurnal variations of particulate and dissolved dimethylsulfoxide (DMSOp, DMSOd) were studied in the surface water of the Yellow Sea and the Bohai Sea in June, 2011. The determination of DMSO was based on the DMS produced by NaBH_4 reduction, which was analyzed using the purge-and-trap technique coupled with gas chromatographic separation and flame photometric detection. The concentrations of DMSOp and DMSOd ranged from 5.43 to $18.35 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ and from 4.75 to $43.80 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively, with average values of $(11.47 \pm 0.25) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ and $(13.42 \pm 0.58) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$. The results showed that no relationship was found between DMSOp and environmental factors such as chlorophyll a (Chl-a), temperature and salinity, whereas a positive correlation was observed between DMSOp/Chl-a and salinity, indicating that intracellular DMSO could act as a cryo-osmoregulator. A significant relationship was also found between DMSOd and dimethylsulfide (DMS), whereas there was no relationship between DMSOd and DMSOp or DMSOd and bacteria, implying that DMSOd in the surface water was produced mainly through the photochemical oxidation of DMS. In addition, both the DMSOp and DMSOd concentrations exhibited obvious diurnal variations with the higher values in the day time.

Key words: dimethylsulfoxide; concentration distribution; diurnal variation; Yellow Sea; Bohai Sea

二甲亚砷(dimethylsulfoxide, DMSO)是亚砷分子中最具有代表性的化合物,不具有挥发性,它在自然水体中的含量较低,一般仅为 nmol 级。DMSO之所以受到越来越多的海洋工作者的关注,主要是由于它在海洋活性气体二甲基硫(dimethylsulfide, DMS)的生物地球化学循环中起着重要的作用。DMS是大气硫化物最主要的天然来源之一,是海水中最重要挥发性生源有机硫化物^[1~5]。通过海-气交换进入大气中的DMS除参与全球硫循环外,还对区域或全球的气候变化和酸雨的形成产生重要的影响^[6,7]。海水中的DMS通过光化学氧化^[8]和细菌氧化^[9]可以生成DMSO,而DMSO又能被一些细菌^[10]和真核藻类生物^[11]降解还原为DMS,虽然DMSO不能直接影响气候变化,但通过与DMS的相

互转化,也能对全球气候造成间接的影响。

海洋中DMSO的研究与其相关硫化物DMS和 β -二甲基巯基丙酸内盐(dimethylsulfoniopropionate, DMSP)相比起步较晚。海洋中DMSO循环是个极为复杂的生态学、生物学和化学过程,其来源与转化的复杂程度也大大地增加了研究的难度。目前国际上已对海水中DMSO的浓度分布、迁移转化及其与各种生物因素和非生物因素的关系等方面进行了研究,并取得了一定的研究成果^[12~14]。然而国内对于

收稿日期: 2012-03-30; 修订日期: 2012-05-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41030858); 教育部博士点新教师基金项目(20110132120010); 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: 王敏(1988~),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: wangmin9320@163.com

* 通讯联系人, E-mail: gpyang@mail.ouc.edu.cn

DMSO 的研究较少,尚处于起步阶段. Li 等^[15]对 DMSO 的测定方法、DMSO 在围隔实验中藻类水华演替过程中的变化等进行了初步研究^[16]; Yang 等^[17]对中国冬季东海海域 DMSO 的分布特征进行了研究. 然而目前关于中国黄渤海海域中 DMSO 的浓度分布尚未见文献报道. 本实验选择生态环境受人为干扰较为严重的黄渤海为研究海域,对夏季 DMSO 在表层海水中的分布特征及其主要影响因素进行了分析,以丰富我国在海洋生源硫循环方面的研究内容,以期为更加清楚地认识我国近海 DMSO 在 DMS 生物地球化学循环中的作用提供一定的科学依据.

1 水样采集及分析方法

1.1 样品采集

于 2011 年 6 月 13 日到 28 日随“东方红 2 号”科学考察船对黄渤海海域进行调查取样(如图 1),共包括 78 个大面站和 1 个 25 h 连续站(B65). 水样用 12 L Niskin Rosette 采水器采集后,立即取 40 mL 海水样品用内置 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜(直径 47 mm)的 Nalgene 过滤器低压过滤[不大于 666.6 Pa(5 mm Hg)],滤液装入盛有 0.2 mL 25% HCl 的 42 mL 样品瓶中,在 4℃ 下避光保存,滤膜折叠用锡纸包裹后于 -20℃ 冷冻保存.

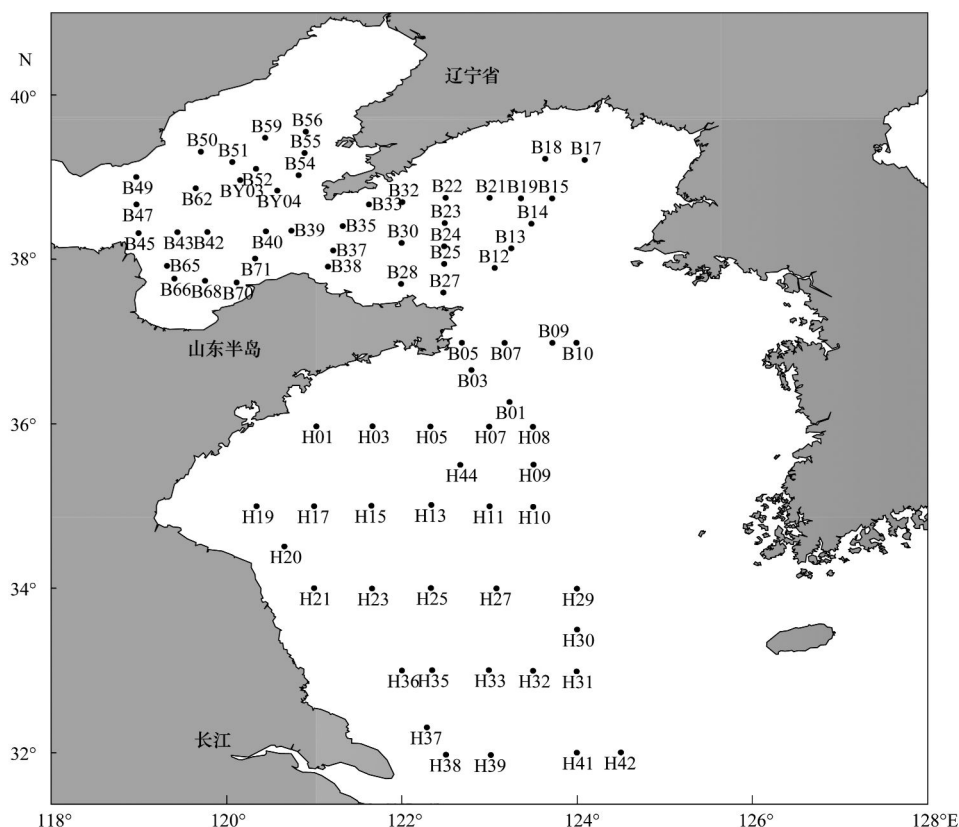


图 1 2011 年 6 月黄海和渤海调查站位示意

Fig. 1 Locations of sampling stations in the Yellow Sea and the Bohai Sea in June 2011

1.2 分析方法

1.2.1 DMSO 的分析

本实验中采用 NaBH_4 还原法测定海水中的 DMSO^[18],即用 NaBH_4 将 DMSO 还原为 DMS 后再进行测定. 此种方法的缺点是海水中自身存在的 DMS 会对 DMSO 的测定产生干扰,另外海水样品中的 DMSP 也能被 NaBH_4 还原为 DMS. 因此在测定 DMSO 之前先将海水样品调至 $\text{pH} \approx 13$,DMSP 在室温下放置 24 h 能完全定量转化为 DMS^[19];然后取

出样品用高纯氮气吹扫 30 min,去除海水里固有的 DMS 及由 DMSP 碱化生成的 DMS,再进行 DMSO 的还原测定. 首先是将海水样品 pH 调节为 4,加入 0.12 g NaBH_4 ,静置 10 min; 然后加入 5% HCl 1 mL,静置 4 min,再按照海水 DMS 的冷阱吹扫-捕集气相色谱法进行测定^[20].

1.2.2 叶绿素 a (chlorophyll a, Chl-a) 的分析

取 250 mL 海水样品用 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜低压(< 15 kPa)过滤,滤膜用锡纸包裹后于

-20℃ 冷冻保存. 分析时采用荧光光度法, 先将滤膜用 10 mL 90% (体积分数) 的丙酮水溶液避光浸取 24 h, 后用 F-4500 分子荧光仪 (日本日立) 进行测定^[21].

2 结果与讨论

2.1 DMSOp 和 DMSOd 的水平分布

夏季表层海水中 DMSOp、DMSOd、盐度和 Chl-a 的水平分布如图 2 所示. DMSOp 的浓度范围介于 5.43 ~ 18.35 nmol·L⁻¹ 之间, 平均值为 (11.47

±0.25) nmol·L⁻¹. 浓度的最高值出现在烟台北部近岸海域 B39 站位. 另外, 在南黄海南部海域 H25、H30 和 H33 站位也有 DMSOp 浓度的高值出现. 总体来说, DMSOp 在北黄海中心及南海海的近岸海域出现低值区, 而在渤海及南海海南部海域出现高值区, 且渤海海域中的 DMSOp 浓度 [(13.37 ± 0.20) nmol·L⁻¹] 高于黄海海域 [(10.69 ± 0.25) nmol·L⁻¹]. 从盐度分布上可以看出 (图 2), 夏季长江冲淡水北流, 造成长江口北部近岸海域中的盐度较低, 而随着近岸向外海的方向盐度逐渐增加.

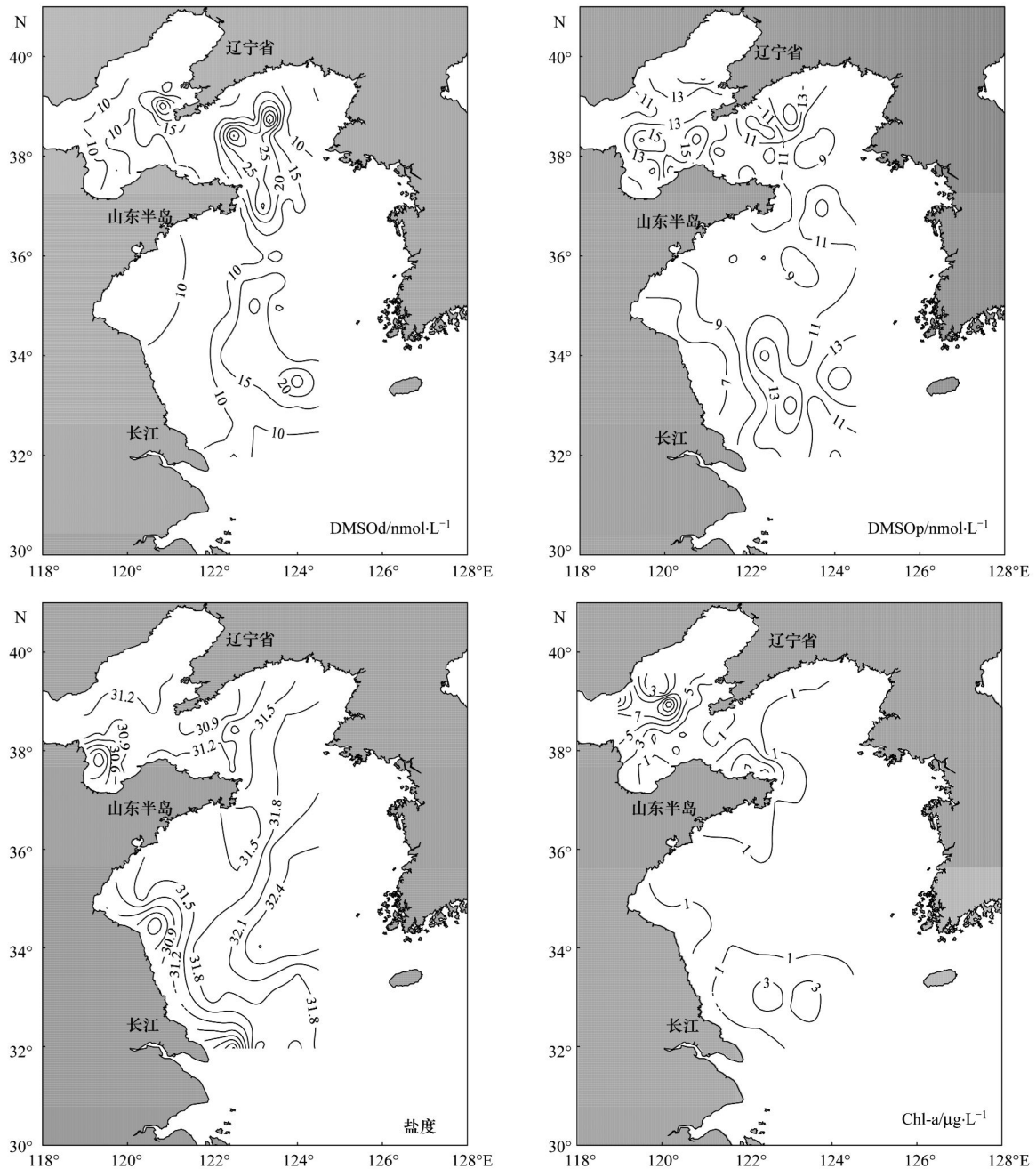


图 2 黄渤海表层海水中 DMSOd、DMSOp、盐度和 Chl-a 的水平分布

Fig. 2 Horizontal distributions of DMSOd, DMSOp, Chl-a and salinity in the surface water of the Yellow Sea and the Bohai Sea

DMSOp 在南黄海南部海域出现高值区的原因可能是由于该海域的盐度较高,藻体细胞需要合成更多的 DMSO 来维持渗透压。

与 DMSOp 相比,DMSOd 在表层海水中的浓度变化范围较大,介于 $4.75 \sim 43.80 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,平均值为 $(13.42 \pm 0.58) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。DMSOd 浓度的最高值和最低值分别出现在北黄海中心海域 B19 站位和南黄海西部海域 H23 站位。水平分布上,低值区出现在山东半岛近岸海域,高值区出现在北黄海的中心海域及南黄海的东部海域,没有呈现出由近岸向远海逐渐递减的趋势,表明调查区域内 DMSOd 的浓度受人为活动及河流输入影响较小。

2.2 DMSO 的周日变化

黄海、渤海调查中,在连续站 B65 对表层海水中 DMSO 浓度进行了 25 h 的连续观测,每隔 3 h 取海水样品进行分析,并同步测定了 Chl-a、温度、盐度等相关参数。DMSOd、DMSOp 及 Chl-a 的周日变化特征如图 3 所示。

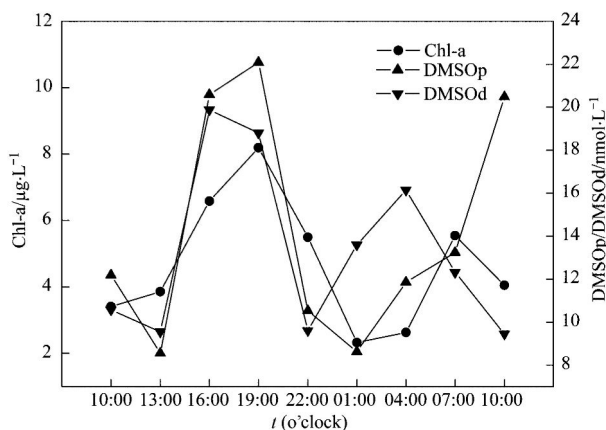


图3 表层海水中 DMSOd、DMSOp 和 Chl-a 的周日变化

Fig. 3 Diurnal variations of DMSOd, DMSOp and Chl-a in the surface water

调查结果表明, DMSOp 的浓度从 $8.56 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 变化到 $22.08 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 呈现出明显的周日变化。白天时段 (10:00 ~ 19:00) 的平均浓度为 $(16.78 \pm 0.32) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 夜间时段 (22:00 ~ 次日 07:00) 的平均浓度为 $(11.06 \pm 0.18) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。从图 3 可以看出, DMSOp 与 Chl-a 的变化趋势相同, 均在 19:00 达到了浓度的最高值, 在凌晨 1:00 出现浓度的较低值。Sunda 等^[22]指出, 在过度的紫外光照射下, 细胞内的 DMSP 会裂解成丙烯酸和 DMS, 而后者能跟活性氧自由基反应生成 DMSO, 进而来抵抗细胞内氧化, 这可能是导致白天 DMSOp 较高的一个重要原因。

DMSOd 的浓度变化范围为 $9.45 \sim 19.88 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 最高值出现在 16:00, 较低值出现在 22:00 和 10:00。白天 DMSOd 的产生过程主要有 DMS 的光化学氧化、细菌氧化以及细胞内 DMSOp 的外渗透, 而在夜晚 DMSO 常被细菌作为碳源或终端电子受体被消耗还原为 $\text{DMS}^{[23]}$ 。虽然白天 DMSO 的消耗同样存在, 但生产量远远大于转化量, 使得 DMSOd 浓度在白天达到了最高值。另外, 从图 3 可以看出, DMSOd 的浓度在 22:00 ~ 次日 01:00 时段急剧升高, 同时伴随着 DMSOp 的浓度下降, 可能是由于细胞内的 DMSOp 外渗透到海水中所引起的。

2.3 DMSO 与环境因素的相关性研究

2.3.1 DMSOp 与环境因素之间的相关性

DMSOp 主要来源于浮游植物的自身合成^[24,25], 而 Chl-a 常被用来作为浮游生物量的指标, 因此两者之间的相互关系是人们的研究热点。从 Chl-a 的水平分布 (图 2) 可看出, Chl-a 的高值区与 DMSOp 类似, 同样分布在渤海及南黄海南部海域。然而将整个研究海域内的 DMSOp 与 Chl-a 进行线性拟合, 发现二者并不存在相关性 (表 1)。Bouillon 等^[12]在北极巴芬湾北部海域中发现 DMSOp 与 Chl-a 之间存在着明显的正相关, 而 Lee 等^[26]在冰藻中却发现 DMSOp 与 Chl-a 之间没有明显的相关性。造成这种不一致的原因可能在于不同海域中浮游植物的组成和生物量存在很大不同, 而不同浮游植物对 DMSOp 生产能力差异较大^[27], 从而使 DMSOp 与 Chl-a 之间的相关性也存在着较大的差别。

DMSOp/Chl-a 比值常被用来估算不同海区浮游植物生产 DMSO 的能力或反映浮游植物组成中 DMSO 生产者所占比例的高低, 它主要消除了海区生物量的影响, 其比值的大小往往取决于该海区优势藻种的种类。渤海海域中 DMSOp/Chl-a 比值的平均值为 $(8.16 \pm 1.13) \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$, 而黄海海域中该值为 $(21.19 \pm 0.94) \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$, 表明黄海海域优势藻种生产 DMSO 的能力明显高于渤海。同一水平面上, 盐度随着近岸向外海的方向逐渐升高 (图 2), 适于在低盐条件下生长的硅藻 (DMSO 低产藻种) 的种类和所占比例逐渐减少, 而耐高盐的甲藻类 (DMSO 高产藻种) 的比例却逐渐增加^[21], 因此导致黄海 DMSOp/Chl-a 比值较高, 尽管渤海海域的生物量 $[(4.42 \pm 0.93) \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}]$ 明显大于黄海海域 $[(1.25 \pm 1.27) \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}]$ 。

藻细胞内的 DMSO 具有调节渗透压和抗氧化

功能,在较高的盐度和温度下,细胞会合成更多的 DMSO 来抵抗外界压力的改变^[28,29],因此温度、盐度等环境因素对 DMSOp 的产生也有一定的影响. 将 DMSOp 分别与温度和盐度进行线性拟合,发现 DMSOp 与温度、盐度之间并不存在相关关系(表 1); 然而将 DMSOp/Chl-a 与温度和盐度进行线性

拟合时,却发现存在一定的线性相关性,而且 DMSOp/Chl-a 与盐度的相关性($r = 0.436, n = 70, P < 0.001$)好于与温度的相关性($r = 0.326, n = 70, P = 0.006$),表明研究海域内藻类细胞内合成的 DMSO 主要作用可能更倾向于作为渗透压调节剂,而非活性氧自由基的清除者.

表 1 表层海水中 DMSOp、DMSOp/Chl-a 与 Chl-a、温度及盐度之间的相互关系

Table 1 Relationships between DMSOp, DMSOp/Chl-a and Chl-a, temperature (T), salinity (S) in the surface water

参数	研究海域			渤海			黄海		
	r	n	P	r	n	P	r	n	P
DMSOp vs Chl-a	0.064	76	0.579	-0.418	22	0.053	0.040	54	0.776
DMSOp vs T	-0.044	70	0.717	-0.110	20	0.466	0.646	50	0.922
DMSOp vs S	-0.102	70	0.400	0.037	20	0.876	0.064	50	0.661
DMSOp/Chl-a vs T	0.326	70	0.006	0.376	20	0.102	0.382	50	0.006
DMSOp/Chl-a vs S	0.436	70	<0.001	-0.345	20	0.136	0.434	50	0.002

2.3.2 DMSOd 与环境因素之间的相关性

研究资料表明,马尾藻海域表层海水中 DMSOd 主要来源于 DMS 光化学氧化(占 40.1%),其次是颗粒态的 DMSOp(占 31.4%),最后是微生物氧化(占 28.5%)^[9]. 将本航次中将测得的 DMSOd 浓度分别与 DMSOp、细菌和 DMS 进行线性拟合,发现 DMSOd 与 DMSOp、细菌之间不存在相关性(表 2),而与 DMS 之间存在一定的正相关($r = 0.458, n = 65, P < 0.001$). 此结果也表明调查海域内表层海水中 DMSOd 的主要来源不是藻类释放的颗粒态 DMSOp 和细菌氧化,而是来自于 DMS 的光化学氧化.

DMS 的光化学氧化受到诸多因素的影响,将 DMSOd 分别与溶解有机碳(dissolved organic

carbon, DOC)、 NO_3^- 和温度分别进行线性拟合,发现 DMSOd 与 DOC、 NO_3^- 之间不存在显著的相关性(表 2),但与温度呈现出一定的正相关($r = 0.374, n = 68, P = 0.002$). 这主要是因为 DMS 的光化学反应速率随温度的升高呈指数增加^[30],另外, DMSOp 的细胞膜渗透过程也受温度的影响,温度越高, DMSO 的渗透能力越强^[28]. 尽管研究表明 DOC 和 NO_3^- 也能促进 DMS 的光化学反应速率^[31,32],但本航次调查中较高的 DOC [$(154.11 \pm 1.13) \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 和 NO_3^- [$(0.34 \pm 1.13) \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 浓度在促进 DMS 光化学反应的同时,也可能通过增加光的衰减抑制了 DMS 光化学反应的进行,因此导致二者之间无相关性存在.

表 2 表层海水中 DMSOd 与 DMS、DMSOp、细菌、温度、DOC 及 NO_3^- 之间的相互关系

Table 2 Relationships between DMSOd and DMS, DMSOp, bacteria, temperature (T), DOC, NO_3^- in the surface water

参数	研究海域			渤海			黄海		
	r	n	P	r	n	P	r	n	P
DMSOd vs DMS	0.458	65	<0.001	0.563	18	0.015	0.421	47	0.003
DMSOd vs DMSOp	-0.111	75	0.341	-0.151	22	0.503	-0.019	53	0.890
DMSOd vs bacteria	-0.132	72	0.267	0.038	21	0.869	-0.136	51	0.340
DMSOd vs T	0.374	68	0.002	0.289	18	0.244	0.423	50	0.002
DMSOd vs DOC	-0.039	77	0.733	-0.075	22	0.741	0.177	55	0.196
DMSOd vs NO_3^-	-0.234	74	0.044	-0.222	22	0.320	-0.230	52	0.100

3 结论

(1) 黄渤海表层海水中 DMSOd 的浓度大于 DMSOp,二者的水平分布也不尽相同, DMSOp 浓度的高值区出现在渤海及南黄海东南部海域, DMSOd 浓度的高值区出现在北黄海中心海域.

(2) DMSOp 与 DMSOd 均呈现出明显的周日变化,由于受到光照强度的影响,白天时段浓度明显高

于夜间时段,二者浓度的最高值分别出现在 19:00 和 16:00.

(3) 黄海海域中 DMSOp/Chl-a 比值明显高于渤海,表明黄海海域中浮游植物生产 DMSO 的能力要大于渤海. DMSOp/Chl-a 比值与盐度存在一定的正相关,进一步说明 DMSO 在藻细胞内具有渗透压调节功能.

(4) DMSOd 与细菌、DMSOp 不存在相关性,但

与 DMS 存在一定的正相关,表明夏季黄渤海表层海水中 DMSOd 的主要来源是 DMS 的光化学氧化。

参考文献:

- [1] Lovelock J E, Maggs R J, Rasmussen R A. Atmospheric dimethyl sulphide and the natural sulphur cycle [J]. *Nature*, 1972, **237**(5356): 452-453.
- [2] Yang G P. Dimethylsulfide enrichment in the surface microlayer of the South China Sea [J]. *Marine Chemistry*, 1999, **66**(3-4): 215-224.
- [3] Yang G P. Spatial distributions of dimethylsulfide in the South China Sea [J]. *Deep-Sea Research I: Oceanographic Research Papers*, 2000, **47**: 177-192.
- [4] Yang G P, Zhang Z B, Liu L S, *et al.* Study on the analysis and distribution of dimethyl sulfide in the East China Sea [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1996, **14**(2): 141-147.
- [5] Andreae M O, Barnard W R. The marine chemistry of dimethylsulfide [J]. *Marine Chemistry*, 1984, **14**(3): 267-279.
- [6] 马奇菊, 胡敏, 田旭东, 等. 青岛近岸海域二甲基硫排放和大气中二甲基硫浓度变化 [J]. *环境科学*, 2004, **25**(1): 20-24.
- [7] 杨桂朋, 景伟文, 陆小兰. 海洋中 DMSP 的研究进展 [J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 2004, **34**(5): 854-860.
- [8] Brimblecombe P, Shooter D. Photo-oxidation of dimethylsulphide in aqueous solution [J]. *Marine Chemistry*, 1986, **19**(4): 343-353.
- [9] 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.
- [10] Hatton A D, Darroch L, Malin G. The role of dimethylsulphoxide in the marine biogeochemical cycle of dimethylsulphide [J]. *Oceanography and Marine Biology*, 2004, **42**: 29-56.
- [11] Spiess C E, Kieber D J, Nomura C T. Reduction of dimethylsulfoxide to dimethylsulfide by marine phytoplankton [J]. *Limnology and Oceanography*, 2009, **54**(2): 560-570.
- [12] Bouillon R C, Lee P A, De Mora S J, *et al.* Vernal distribution of dimethylsulphide, dimethylsulphoniopropionate, and dimethylsulphoxide in the North Water in 1998 [J]. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 2002, **49**(22-23): 5171-5189.
- [13] Simó R, Grimalt J O, Albaigés J. Dissolved dimethylsulphide, dimethylsulphoniopropionate and dimethylsulphoxide in western Mediterranean waters [J]. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 1997, **44**(3-4): 929-950.
- [14] Galf M, Simó R. Occurrence and cycling of dimethylated sulfur compounds in the Arctic during summer receding of the ice edge [J]. *Marine Chemistry*, 2010, **122**(1-4): 105-117.
- [15] Li M, Yuan D X, Li Q L, *et al.* Sequential analysis of dimethyl sulfur compounds in seawater [J]. *Chinese Chemical Letters*, 2007, **18**(1): 99-102.
- [16] 李猛, 袁东星, 汤坤贤. 围隔藻类水华演替过程中二甲基硫化物的含量动态 [J]. *生态学报*, 2007, **27**(12): 5308-5317.
- [17] 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.
- [18] Yang J, Yang G P, Yang J. Study on the analysis and distribution of dimethylsulfoxide in the Jiaozhou Bay [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2011, **30**(6): 36-45.
- [19] Dacey J W H, Blough N V. Hydroxide decomposition of dimethylsulphoniopropionate to form dimethylsulfide [J]. *Geophysical Research Letters*, 1987, **14**(12): 1246-1249.
- [20] 杨桂朋, 康志强, 景伟文, 等. 海水中痕量 DMS 和 DMSP 的分析方法研究 [J]. *海洋与湖沼*, 2007, **38**(4): 322-328.
- [21] 张洪海. 中国东海、黄海 DMS 和 DMSP 的生物地球化学研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009. 54-56.
- [22] Sunda W, Kieber D J, Kiene R P, *et al.* An antioxidant function for DMSP and DMS in marine algae [J]. *Nature*, 2002, **418**(6895): 317-320.
- [23] Zinder S H, Brock T D. Dimethyl sulphoxide reduction by microorganisms [J]. *Journal of General Microbiology*, 1978, **105**(2): 335-342.
- [24] Simó R, Hatton A D, Malin G, *et al.* Particulate dimethyl sulphoxide in seawater: production by microplankton [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, **167**: 291-295.
- [25] Andreae M O. Dimethylsulfoxide in marine and freshwaters [J]. *Limnology and Oceanography*, 1980, **25**(6): 1054-1063.
- [26] Lee P A, De Mora S J, Gosselin M, *et al.* Particulate dimethylsulfoxide in Arctic sea-ice algal communities: the cryoprotectant hypothesis revisited [J]. *Journal of Phycology*, 2001, **37**(4): 488-499.
- [27] Hatton A D, Wilson S T. Particulate dimethylsulphoxide and dimethylsulphoniopropionate in phytoplankton cultures and Scottish coastal waters [J]. *Aquatic Science*, 2007, **69**(3): 330-340.
- [28] Lee P A, De Mora S J. Intracellular dimethylsulfoxide (DMSO) in unicellular marine algae: speculations on its origin and possible biological role [J]. *Journal of Phycology*, 1999, **35**(1): 8-18.
- [29] 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.
- [30] Toole D A, Kieber D J, Kiene R P, *et al.* Photolysis and the dimethylsulfide (DMS) summer paradox in the Sargasso Sea [J]. *Limnology and Oceanography*, 2003, **48**(3): 1088-1100.
- [31] Brugger A, Slezak D, Obernosterer I, *et al.* Photolysis of dimethylsulfide in the northern Adriatic Sea: Dependence on substrate concentration, irradiance and DOC concentration [J]. *Marine Chemistry*, 1998, **59**(3-4): 321-331.
- [32] Deal C D, Kieber D J, Toole D A, *et al.* Dimethylsulfide photolysis rates and apparent quantum yields in Bering Sea seawater [J]. *Continental Shelf Research*, 2005, **25**(15): 1825-1835.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

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