

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO ₂ 的来源	刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)
广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映	廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)
北京雾霾天气期间气溶胶光学特性	于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)
白马泉风景区夏季大气 PM _{2.5} 中二次有机物的初步研究	代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)
机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性	乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)
法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究	王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)
胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨	薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)
基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价	郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)
流域水质时空分布特征及其影响因素初析	黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)
潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究	崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)
春季盘溪水质日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)
西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究	肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)
三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价	郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)
淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究	徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)
三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验	王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)
沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征	李振伟, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)
合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性	李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)
鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析	张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)
三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价	敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)
黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价	刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)
竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算	姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)
雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析	赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)
中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究	潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)
三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征	邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)
海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究	田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)
新生态铁的混凝作用探索	杨雪, 张景成, 关小红 (1221)
饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究	岳婵媛, 缪恒锋, 任洪艳, 阮文权 (1227)
核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究	王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)
络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究	秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯玺 (1241)
赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物	张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)
掺氮 Ta ₂ O ₅ 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究	赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)
O ₃ /H ₂ O ₂ 降解水中扑灭通效能研究	李绍峰, 孙楚 (1260)
Pr-N 共掺杂 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿动力学	沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)
铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究	张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)
聚合铝铁对 A ² /O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响	温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)
温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响	张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)
温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响	李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)
好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究	王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)
除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析	李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)
利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌	王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)
紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究	于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)
1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究	陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)
氨氮对稀有鮕鲫胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究	王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)
多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响	孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)
生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响	王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)
水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C连续标记法	聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)
油田污染土壤残油组成与特征参数分析	王坚, 张旭, 李广贺 (1352)
挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究	孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)
田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究	黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)
中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响	马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)
基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究	袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)
填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式	兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)
生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化	方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)
岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析	杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)
《环境科学》征订启事 (1062) 《环境科学》征稿简则 (1107) 信息 (1135, 1215, 1396)	

胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨

薛超, 刘春颖, 杨桂朋*, 祝陈坚, 张洪海

(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: 2011年2~3月利用化学发光法对胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮(NO)浓度进行了监测. 结合水文、化学和生物等要素的同步观测资料, 对该海域NO浓度分布及其影响因素进行了探讨. 结果表明, 胶州湾内表层海水中NO浓度为 $0.080 \sim 0.493 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $(0.292 \pm 0.146) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 胶州湾外NO浓度为未检出 $\sim 0.435 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $(0.160 \pm 0.130) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$. 总体来说, 胶州湾表层海水中NO浓度呈现出自湾内向湾外递降的分布趋势, 陆地径流和人为活动可能对NO浓度的分布造成一定程度的影响. 胶州湾及邻近海域表层海水中NO浓度比开阔大洋高1个数量级. 周日变化研究表明, NO浓度具有一定的变化特征, 最大值出现在15:00, 这可能主要受光照的影响. 影响NO浓度分布的因素比较复杂, 可能主要受亚硝酸盐、光强和pH等因素的影响. 结果表明, 2011年春季胶州湾及邻近海域表层海水是大气NO的源, 通量约为 $1.09 \times 10^{-15} \text{ mol} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$.

关键词: 一氧化氮(NO); 胶州湾; 浓度分布; 周日变化; 影响因素

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2012)04-1086-05

Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters

XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, ZHU Chen-jian, ZHANG Hong-hai

(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: Distribution of nitric oxide (NO) concentrations in surface seawater of Jiaozhou Bay and adjacent waters was studied adopting the chemiluminescence method during February and March 2011. Based on the data of NO concentrations and related environmental parameters in hydrology, chemistry and biology, the distribution and controlling factors were discussed. The results showed that the range and the mean of NO concentrations in surface seawater of Jiaozhou Bay were $0.080 \sim 0.493 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ and $(0.292 \pm 0.146) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. The concentrations of NO ranged from below detection limit to $0.435 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ in adjacent waters of Jiaozhou Bay, with the mean of $(0.160 \pm 0.130) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$. The concentrations of NO showed a gradually decreasing trend from inside to outside of Jiaozhou Bay, which was possibly due to the effect of terrestrial runoff and human activities. The NO concentration of surface seawater in Jiaozhou Bay and adjacent waters was one order of magnitude higher than that in the open sea. The concentrations of NO in the surface seawater exhibited an obvious diurnal variation. The highest concentration of NO appeared at 15:00, which was presumably due to the effect of illumination intensity. The influencing factors of NO concentration and distribution were complex, including nitrite, pH, light intensity and so on. The present study showed that Jiaozhou Bay and adjacent waters was a source of atmosphere NO in spring, and F_{NO} was about $1.09 \times 10^{-15} \text{ mol} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$.

Key words: nitric oxide (NO); Jiaozhou Bay; concentration distribution; diurnal variation; environmental factors

一氧化氮(NO)作为一种环境毒物,长期以来一直得到科学家的广泛关注. NO在大气、土壤及生物体中扮演着重要的角色,它的产生和作用机制已有一定的研究^[1~5]. NO作为海洋氮循环中一个重要的中间体,因其含量低[一般低于 $10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $10^{-12} \sim 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ($\text{NO} + \text{NO}_2^-$)]和不易测定,而被海洋学家所忽视^[6~9]. 海洋中的NO不仅会影响海水中的生物,还会影响大气,进而影响到气候环境^[8,10~14]. 然而目前NO的海洋生物地球化学研究几乎还是空白,对海洋中NO的广泛调查研究还没

有开展.

胶州湾位于山东半岛南岸($35^{\circ}55' \sim 36^{\circ}18' \text{N}$, $120^{\circ}04' \sim 120^{\circ}23' \text{E}$),是中国南黄海沿岸最大的半封闭性浅水海湾. 该海湾略呈扇形,南北长约33.3 km,东西宽约27.8 km,湾口开向东南,岸线长187

收稿日期: 2011-05-19; 修订日期: 2011-08-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40706040, 41176062); 山东省中青年科学家科研奖励基金项目(2007BS08015); 山东省自然科学基金项目(Y2008E04); 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: 薛超(1986~),女,硕士研究生,主要研究方向为环境分析化学, E-mail: xuechao0610@163.com

* 通讯联系人, E-mail: gpyang@ouc.edu.cn

km, 水域总面积约 423 km², 湾内平均水深 7 m. 湾内水面广阔, 周边有大沽河、李村河等多条季节性河流汇入; 同时又受到陆源的排污和人工养殖等多方面的影响, 既具半封闭系统的特点, 又和南黄海保持一定强度的生物和水交换^[15]. 自 1960 年以来, 胶州湾的营养盐含量不断增加, 富营养化程度逐渐加重, 2002 年湾内大部分水域已呈现为中度营养和富营养^[16].

本研究依据 2011 年 2~3 月航次的调查资料, 首次分析了胶州湾及邻近海域表层海水中 NO 的分布特征, 并结合水文、化学和生物等要素的同步观测资料, 对影响该海域 NO 分布的因素及周日变化进

行了探讨, 以期对 NO 的海洋生物地球化学研究提供基本参数.

1 材料与方法

1.1 调查时间与站位布设

2011-03-08~09 对胶州湾湾外进行了现场调查, 共设 11 个采样站, 每个站位采集表层海水, 立即采用化学发光法测定 NO 浓度, 并对水文、化学、生物参量同步现场观测. 2011-02-24 在胶州湾内布设 15 个采样站, 采集表层海水, 马上带回岸上实验室采用化学发光法进行分析, 测定工作在 24 h 内完成. 调查海区 and 站位如图 1 所示.

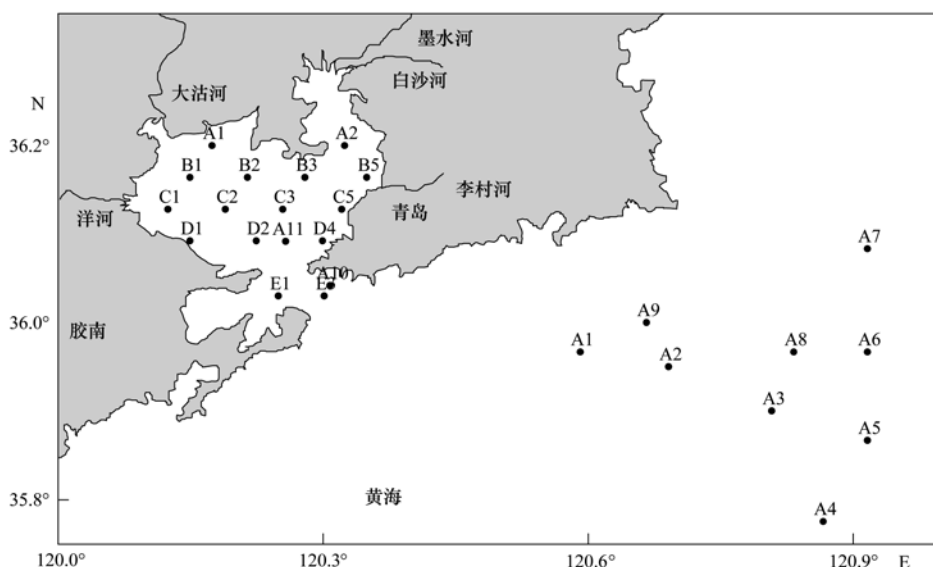


图 1 采样海域的站位设置示意

Fig. 1 Map of the sampling stations in Jiaozhou Bay

1.2 水样采集和测定方法

用 5 L Niskin 采水器采集海水样品, 现场用一根硅胶管直接分装到避光的玻璃瓶中. 首先用少量海水冲洗玻璃瓶 3 遍, 然后将海水快速注入到玻璃瓶中, 注入过程中尽量避免产生气泡和较大的涡流. 当溢出海水体积是玻璃瓶体积的 3 倍时, 用压盖器密封玻璃瓶, 避免产生顶空. 把平行样密封后立即用 BPCL 微弱发光测定仪 (中国科学院生物物理研究所) 定量分析. 化学发光液用 pH 为 9.2、浓度为 $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的碳酸盐缓冲溶液稀释鲁米诺 ($\geq 97\%$, Sigma-Aldrich 公司, 美国) 储备液至 $8.4 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 然后加入 30% 过氧化氢 (分析纯) 使其最终浓度为 $1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. 该方法的检出限为 $1.4 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 线性范围为 $1.4 \times 10^{-12} \sim 9.8$

$\times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 相关系数 $R^2 = 0.995$, $P < 0.0001$, 相对标准偏差为 13.6%, 具体测定方法参见文献 [17].

1.3 环境参数的测定方法

现场海水温度、盐度等参数由 Seabird 911 + CTD 传感器在海水采集时同步测定. 溶解氧 (DO) 采用碘量法测定; 电位法测定海水 pH; 亚硝酸盐 ($\text{NO}_2^- - \text{N}$)、硝酸盐 ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) 和氨氮 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) 采用分光光度计测定^[18]. 叶绿素 a 浓度的测定: 现场取定量海水样品经 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜过滤后, 用铝箔包裹于冰箱内冷冻保存, 待返回陆地实验室后, 将滤膜以体积分数为 90% 的丙酮水溶液在暗处萃取 24 h, 利用 F-4500 荧光仪 (日本 Hitach 公司) 测定其浓度^[19]. 光照强度用 TES-1322A 数位式

照度计(台湾泰仕公司)测定。

2 结果与讨论

2.1 胶州湾及邻近海域表层海水中 NO 浓度分布

图 2 分别是胶州湾和邻近海域表层海水中 NO 浓度分布。胶州湾和邻近海域表层海水中 NO 的浓度范围分别为 $0.080 \sim 0.493 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和未检出 $\sim 0.435 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均浓度分别为 $(0.292 \pm 0.146) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $(0.160 \pm 0.130) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。此浓度比 Zafiriou 等^[12,13] 在赤道太平洋测得的数值($5 \sim 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 高 1 个数量级。刘春颖等^[20] 在 2008 年 11 月 12 日 13:00 在青岛近岸石老人 ($36^{\circ}05'46''\text{N}$; $120^{\circ}29'40''\text{E}$) 测得海水中 NO 浓度为 $0.12 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 低于本研究中胶州湾内的数值, 和胶州湾邻近海域 NO 浓度相近。由图 2(a) 可见, 在胶州湾内区域, NO 浓度最高值出现在调查区域的北部 A1 站位, 丰卫华等^[17] 在 2009 年 11 月对该区域进行调查, 最高值也出现在 A1 站位, A1 站位在红岛养殖

区, 在该区域出现高值可能与海水养殖有关。最低值出现在 C2、C3、E3 站位。C2 和 C3 站位处于湾内, 离陆地较远, 水体受人为影响较小, E3 站位处于湾口, 水体与湾外交换通畅。由图 2(b) 可以看到, 胶州湾邻近海域中, NO 浓度高值区出现在调查区域的 A8、A9、A10 和 A11 站位, 这些站位采样时间是白天 (11:45 ~ 15:00); 低值区出现在 A4 和 A5 站位, 这 2 个站位的采样时间在晚上 (22:10、00:10), 光照可能是导致 NO 出现这样分布的主要因素之一。总体来说, 胶州湾内 NO 浓度高于湾口, 而湾外站点又低于湾口浓度, 呈现出自湾内向湾外递降的分布趋势。

2.2 胶州湾表层海水 NO 浓度的周日变化

选取位于胶州湾湾口的 A10 站进行表层海水中 NO 浓度的 24 h 观测。从 06:00 开始, 每隔 3 h 测定一次, 到次日 06:00 结束, 具体结果见图 3。从图 3 可以看出, NO 浓度在 1 d 内有较大的变化, 白天高于夜晚, 其中最高值出现在 15:00 ($5.43 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), 随时间推移海水中溶解 NO 浓度大幅度的降低, 至次日 03:00 出现最小值 ($0.80 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)。丰卫华^[21] 在 2009 年 11 月对该区域进行调查, 同样最高值出现在 15:00, 最小值出现在 03:00。说明胶州湾春季和秋季表层海水中 NO 浓度的周日变化具有相同的规律。Zafiriou 等^[13] 认为海水中的 NO 主要是 NO_2^- 光解而成: $\text{NO}_2^- + \text{HOH} + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{OH} + \text{OH}$, NO 分压与海水中 NO_2^- 浓度和紫外照射强度密切相关。本研究的周日变化发现胶州湾海水中 NO 浓度与 NO_2^- 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 之间没有明显的相关性, 结果如图 3 所示。

2.3 胶州湾及邻近海域 NO 浓度与环境因素的关系

2.3.1 胶州湾及邻近海域表层海水 NO 浓度与水文、化学、生物等参数的关系

为了研究胶州湾表层海水中 NO 的生物地球化学过程, 利用 Origin 软件将 NO 的浓度与水文、化学和生物有关的参数进行处理, 讨论它们的相关性, 结果如表 1 所示。

由表 1 可以看出, 胶州湾 NO 浓度的周日变化与环境参数之间呈现出较为复杂的关系, 没有明显的相关性。说明该海域中 NO 并不是与某一参数成特定的关系, 而是受多种因素的影响。胶州湾邻近海域表层海水中 NO 浓度受各参数影响比较明显。NO 浓度与 NO_2^- 呈正相关 ($R^2 = 0.75$, $P < 0.01$), 表层海水中 NO_2^- 含量越高, NO 浓度越大。Zafiriou 等^[13]

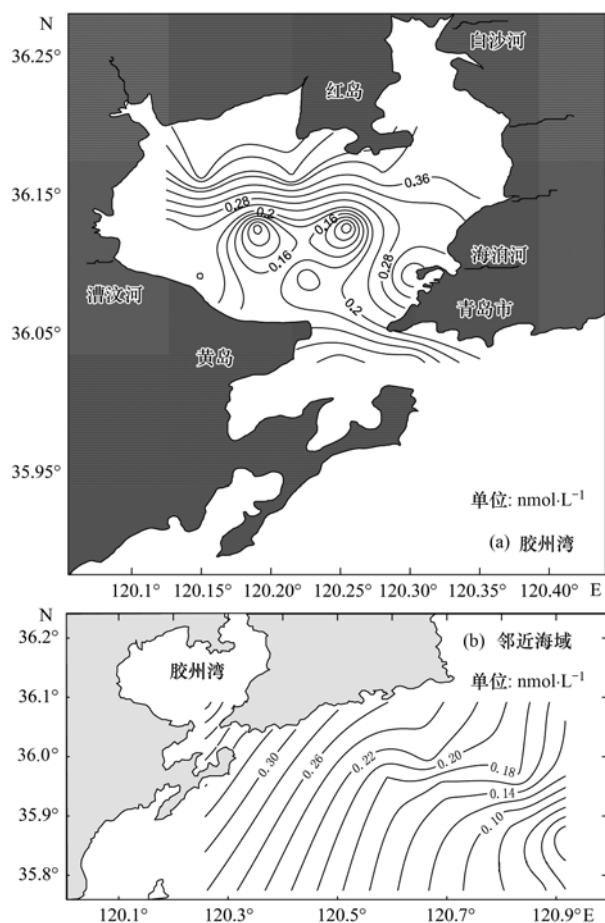


图 2 胶州湾及邻近海域表层海水 NO 浓度分布

Fig. 2 Distribution of NO concentrations in surface water of Jiaozhou Bay and adjacent waters

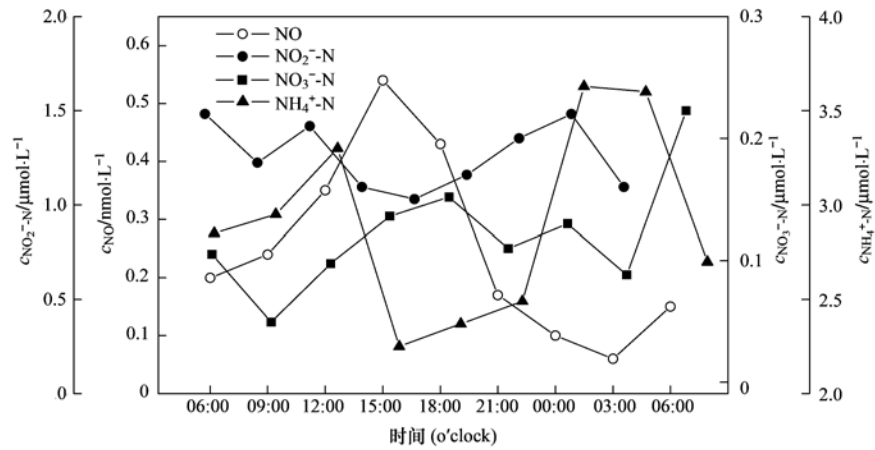


图3 A10 站位表层海水中 NO 及三氮浓度的周日变化

Fig. 3 Diurnal changes of NO concentrations and three species of nitrogen concentrations of surface sea-water at A10 station

表1 胶州湾表层水中 NO 浓度与环境参量的相关性(α=0.05)

Table 1 Relevance of NO concentration in surface sea water versus environmental parameters in Jiaozhou Bay										
项目		<i>T</i>	<i>S</i>	Chl-a	DO	COD	pH	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
A10 连续站 NO 浓度(<i>n</i> = 9)	<i>r</i>	0.21	0.12	0.1	0.14	0.14	0	0.26	0.01	0.43
	<i>P</i>	0.209	0.358	0.396	0.313	0.327	0.978	0.159	0.847	0.053
胶州湾外 NO 浓度(<i>n</i> = 11)	<i>r</i>	0.49	0.75	0.43	0.2	0.08	0.18	0.6	0.39	0.7
	<i>P</i>	0.055	<0.01	0.029	0.178	0.394	0.189	<0.01	0.042	<0.01

认为海水中 NO 主要来自 NO₂⁻ 的光降解,而本研究的结果与他们的说法基本一致. NO 浓度与 NH₄⁺ 呈明显的正相关($R^2 = 0.70, P < 0.01$), NO 是海洋氮循环的一个中间体, NH₄⁺ 是海洋中氮循环的最初形式(NH₄⁺ → N₂ → N₂O → NO → NO₂⁻ → NO₃⁻),所以 NH₄⁺ 的含量可能间接影响到 NO 的浓度. NO 浓度与盐度呈明显的负相关($R^2 = 0.75, P < 0.01$). 本实验室进行了水体中亚硝酸盐的光降解研究,结果发现,亚硝酸钠在 3 种介质中的降解率呈现 Milli-Q 水、去离子水 > 人工海水的趋势,海水中亚硝酸钠的降解率远高于河水,盐度对亚硝酸盐降解有显著的影响(另文发表). 现场的观测与实验室的模拟实验基本一致. NO₂⁻ 光降解产生 NO: NO₂⁻ + HOH + *hν* = NO + OH + OH[•]^[12],由反应关系式可以看出,海水的 pH 也影响到 NO 的产生, pH 越低越有利于反应向正方向发生,但从表 1 看两者没有表现出明显的相关性,具体原因还有待于进一步研究. 研究海区中 NO 的分布与温度、Chl-a、DO、COD 及其他营养盐之间未见有明显的相关性.

2.3.2 胶州湾及邻近海域表层海水 NO 浓度与光强的关系

图 4 是胶州湾及邻近海域表层海水 NO 浓度与光强的关系,从中可见, A10 站位表层海水 NO 浓度的周日变化很明显受光照强度的影响,白天光照强,

NO₂⁻ 的光解作用强烈导致 NO 含量升高. 光照强度在中午 12:00 达到最大,但是 NO 的最大值出现在 15:00,略滞后于光照强度. 本次观测的采样间隔时间比较长,今后需要增加采样次数,来进一步明确 NO 的周日变化规律及与光照强度的关系. 而胶州湾邻近海域 NO 浓度分布和光照强度趋势大致一样,见图 4(b),说明 NO 在表层海水中的浓度很大程度上受到光照强度的影响,这和 Zafiriou 等^[13] 的观点基本一致.

2.4 胶州湾及近海域表层海水中 NO 的“源”与“汇”讨论

从全球变化的角度考虑,测定 NO 浓度在海水中的分布的重要目的之一是为了计算 NO 的海-气通量. 从而评价海洋中 NO 对全球气候变暖和臭氧层破坏的贡献,对研究 NO 的生物地球化学循环有重要意义. Zafiriou 等^[12] 在 20 世纪 80 年代初对赤道太平洋区的 NO 做过估算,认为在赤道太平洋调查区域海洋是大气中 NO 的源,通量 $F_{NO} = -2.2 \times 10^{-16} \text{ mol} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$. 2011 年春季胶州湾及邻近海域 NO 的平均浓度为 0.236 nmol·L⁻¹,利用 Zafiriou 的半经验公式: $p_{NO(\text{sea})} = H_{NO} [NO]_{sw}$,对胶州湾邻近海域中 NO 的分压进行计算,其中 H_{NO} 是 NO 在海气分隔系数. 计算结果显示,胶州湾及邻近海域白天表层海水是大气 NO 的源,晚上由于 NO 浓度比较低,源

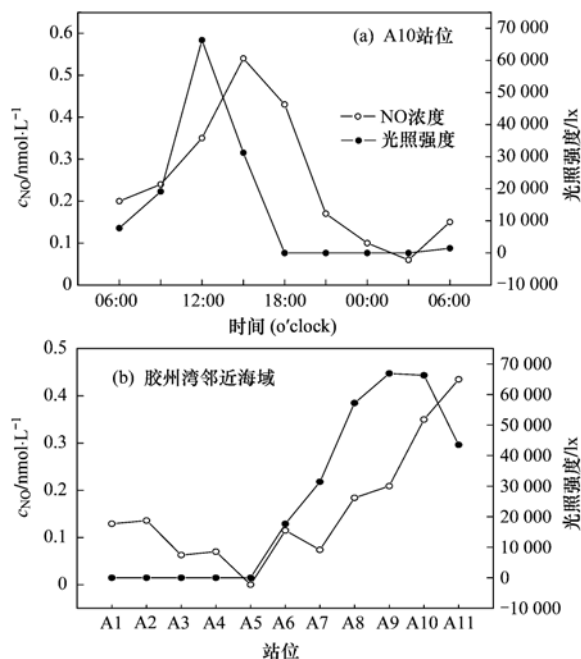


图4 A10 站位及胶州湾邻近海域表层海水 NO 浓度和光照强度的变化规律

Fig. 4 Changes of NO concentration and light intensity at A10 station and the surface water of adjacent waters in Jiaozhou Bay

汇关系尚不清楚,但总体来说,2011 年春季胶州湾及邻近海域的 $p_{\text{NO}(\text{sea})}$ 为 4.72×10^{-9} , 高于大气中 NO 浓度 0.01×10^{-9} [22], 所以调查期间胶州湾总体上来说表层海水是大气 NO 的源,海水中的 NO 是过饱和的. 丰卫华 [21] 在 2009 年秋季对胶州湾及其邻近海域的调查区域中 NO 的分压做了估算,结果表明在该区域白天海洋同样是大气中 NO 的源;海洋中 NO 与大气中 NO 的源汇关系有待于进一步深入的研究. 根据 $F_{\text{NO}} = K(c_{\text{sea}} - c_{\text{air}}/H_{\text{NO}})$, $K = 4.6 \times 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, c_{sea} (海水中的浓度) 远大于 c_{air} (大气中的浓度), 所以 c_{air} 近似为 0 [13], $H_{\text{NO}} = 20 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ [14], 估算得到胶州湾及邻近海域 NO 海-气通量平均值为 $1.09 \times 10^{-15} \text{ mol} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$.

3 结论

通过 2011 年 2~3 月对胶州湾海域的调查,结果表明,胶州湾及其邻近海域表层海水中 NO 浓度呈现一定的分布特征,胶州湾内 NO 平均浓度高于湾外平均浓度,从湾里到湾外有逐渐减少的趋势. 周日变化研究表明,总体上看,NO 浓度在白天相对较高,而夜间浓度较低,说明海水中 NO 含量受光照影响较大. NO 在表层海水中浓度分布影响因素比较复杂,光照、溶解氧、亚硝酸盐和盐度等因素都有一定的影响,但具体原因需要进一步研究.

参考文献:

- [1] 王少彬. 大气中氧化亚氮的源、汇和环境效应 [J]. 环境保护, 1994, (4): 23-27.
- [2] 徐文彬. NO_x 大气化学概论及全球 NO_x 释放源综述 [J]. 地质地球化学, 1999, 27(3): 86-91.
- [3] Lipschultz F, Zafiriou O C, Wofsy S C, et al. Production of NO and N_2O by soil nitrifying bacteria [J]. Nature, 1981, 294 (5842): 641-643.
- [4] Zumft W G. The biological role of nitric oxide in bacteria [J]. Archives of Microbiology, 1993, 160(4): 253-264.
- [5] Ye R W, Averill B A, Tiedje J M. Denitrification: production and consumption of nitric oxide [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1994, 60(4): 1053-1058.
- [6] 刘春颖, 张正斌, 邢磊, 等. 一氧化氮的海洋生物地球化学 [J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(增刊): 19-22.
- [7] Ward B B, Zafiriou O C. Nitrification and nitric oxide in the oxygen minimum of the eastern tropical North Pacific [J]. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 1988, 35 (7): 1127-1142.
- [8] Zehr J P, Ward B B. Nitrogen cycling in the ocean; new perspectives on processes and paradigms [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68(3): 1015-1024.
- [9] Kennish M J. Partical handbook of marine science [M]. Florida: CRC Press, 2001. 876.
- [10] Kim D, Yamaguchi K, Oda T. Nitric oxide synthase-like enzyme mediated nitric oxide generation by harmful red tide phytoplankton, *Chattonella marina* [J]. Journal of Plankton Research, 2006, 28(6): 613-620.
- [11] Kim D, Kang Y S, Lee Y, et al. Detection of nitric oxide (NO) in marine phytoplankters [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2008, 105(4): 414-417.
- [12] Zafiriou O C, McFarland M, Bromund R H. Nitric oxide in seawater [J]. Science, 1980, 207(4431): 637-639.
- [13] Zafiriou O C, McFarland M. Nitric oxide from nitrite photolysis in the Central Equatorial Pacific [J]. Geophysical Research, 1981, 86(C4): 3173-3182.
- [14] 张正斌, 任春艳, 刘春颖, 等. 对一氧化氮作用的新认识及其检测方法 [J]. 青岛海洋大学学报 (自然科学版), 2003, 33(3): 425-432.
- [15] 董开升, 王悠, 杨震, 等. 胶州湾夏、冬两季叶绿素 a 的分布特征研究 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2007, 37 (增刊): 127-130.
- [16] 姚云, 沈志良. 胶州湾海水富营养化水平评价 [J]. 海洋科学, 2004, 28(6): 14-17, 22.
- [17] 丰卫华, 刘春颖, 杨桂朋, 等. 海水中一氧化氮的化学发光法测定 [J]. 海洋学报, 2011, 33(6): 93-96.
- [18] 祝陈坚. 海水分析化学实验 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2006. 62.
- [19] Jeffrey S W, Mantoura R F C, Wright S W. Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods [M]. Paris: UNESCO, 1997.
- [20] 刘春颖, 赵敏, 任春艳, 等. 荧光检测海水介质中的一氧化氮 [J]. 分析化学, 2009, 37(10): 1463-1467.
- [21] 丰卫华. 海水介质中一氧化氮分析方法的建立及其应用 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011. 5-97.
- [22] Law C S. Air-sea transfer: N_2O , NO, CH_4 , CO. Encyclopedia of Ocean Sciences [M]. 2001, 1: 137-144.

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ by Carbon Isotope Composition	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM _{2.5} Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ ¹⁵ N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River	 CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period	 GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area	 WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta	 LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment	 WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ Photocatalyst	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A ² /O System	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene (<i>nosZ</i>)	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow	WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

《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)

2012年4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行