

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第10期

Vol.35 No.10

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

基于虚拟撞击原理的固定源 PM₁₀/PM_{2.5} 采样器的研制 蒋靖坤, 邓建国, 段雷, 张强, 李振, 陈小彤, 李兴华, 郝吉明 (3639)

1992~2012年福州市和厦门市酸雨变化特征及影响因素 郑秋萍, 王宏, 陈彬彬, 隋平, 林文 (3644)

青岛近海不同天气状况下大气气溶胶中金属元素浓度分布特征研究 陈晓静, 祁建华, 刘宁, 张翔宇, 申恒青, 刘明旭 (3651)

化学合成类制药行业工艺废气 VOCs 排放特征与危害评估分析 李嫣, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 许明珠, 徐威力 (3663)

烧结过程 NO_x 和 SO₂ 形成规律及烧结料组成对 NO_x 排放的影响 任重培, 朱天乐, 朱廷钰, 吕栋 (3669)

废茶活性炭脱硫脱硝性能的应用研究 宋磊, 张彬, 邓文 (3674)

黑河中游边缘荒漠-绿洲非饱和带土壤质地对土壤氮积累与地下水氮污染的影响 苏永中, 杨晓, 杨荣 (3683)

海河流域河流生态系统健康评价 郝利霞, 孙然好, 陈利顶 (3692)

台州长潭水库铁锰质量浓度变化特征及其成因分析 刘树元, 郑晨, 袁琪, 王先兵, 王稀炎 (3702)

山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究 包静玥, 鲍建国, 李立青 (3709)

岩溶地下水水文地球化学对降雨的响应: 以重庆雪玉洞地下河系统为例 王凤康, 梁作兵, 于正良, 江泽丽 (3716)

岩溶地下河流域水中多环芳烃污染特征及生态风险评价 蓝家程, 孙玉川, 田萍, 卢丙清, 师阳, 徐昕, 梁作兵, 杨平恒 (3722)

废旧电器拆解区河流沉积物中多溴联苯醚 (PBDEs) 的污染特征与生态风险 陈宣宇, 薛南冬, 张石磊, 李发生, 龚道新, 刘博, 孟磊 (3731)

海河流域中南部河流沉积物的重金属生态风险评价 王瑞霖, 程先, 孙然好 (3740)

大辽河口 COD 与 DO 的分布特征及其影响因素 杨福霞, 简慧敏, 田琳, 姚庆祯 (3748)

辽河下游 CDOM 吸收与荧光特性的季节变化研究 邵田田, 赵莹, 宋开山, 杜嘉, 丁智 (3755)

伊乐藻和氮循环菌技术对太湖氮素吸收和反硝化的影响 刘丹丹, 李正魁, 叶忠香, 张万广 (3764)

地表水体放线菌分离鉴定与致嗅能力研究 陈娇, 白晓慧, 卢宁, 王先云, 章永辉, 吴潘成, 郭心驰 (3769)

地下水循环井技术修复硝基苯污染含水层效果模拟 白静, 赵勇胜, 孙超, 秦传玉, 于凌 (3775)

茶叶基水合氧化铁吸附水体中 Pb(II) 的性能 万顺利, 薛瑶, 马钊钊, 刘国斌, 余艳霞, 马明海 (3782)

紫外辐射对小分子有机酸化学凝聚性作用途径探讨 王文东, 王亚博, 范庆海, 丁真真, 王文, 宋珊, 张银婷 (3789)

水中普萘洛尔的紫外光降解机制及其产物毒性 彭娜, 王开峰, 刘国光, 曾令泽, 姚锟, 吕文英 (3794)

二氧化钛 (P25) 光催化降解二苯甲酸的研究 王阿楠, 滕应, 骆永明 (3800)

碳氮比对聚氨基酯生物膜反应器短程硝化反硝化的影响 谭冲, 刘颖杰, 王薇, 邱珊, 马放 (3807)

城市污泥中温厌氧消化过程中厌氧耐药菌的分布与去除研究 佟娟, 王元月, 魏源送 (3814)

快速城市化区域表层土壤中杀虫剂的空间分布及风险评估 韦燕莉, 鲍志君, 巫承洲, 曾永平 (3821)

重庆铁山坪马尾松林土壤汞排放特征的现场测试 杜宝玉, 王琼, 罗遥, 段雷 (3830)

应用 X 射线吸收近边结构谱研究东北农耕地土壤中的氯种态及含量 李晶, 郎春燕, 马玲玲, 徐殿斗, 郑雷, 路雨楠, 崔丽瑞, 张晓萌 (3836)

植被重建下煤矿排土场土壤熟化过程中碳储量变化 李俊超, 党廷辉, 郭胜利, 薛江, 唐骏 (3842)

硫素对氧化还原条件下水稻土氧化铁和砷形态影响 唐冰培, 杨世杰, 王代长, 饶伟, 张亚楠, 王丹, 朱云集 (3851)

外生菌根真菌对 Al³⁺ 胁迫和低钾土壤的响应 张薇, 黄建国, 袁玲, 李阳波, 何林卫 (3862)

长期施用猪粪水稻土抗生素抗性基因污染研究 黄福义, 李虎, 韦蓓, 欧阳纬莹, 苏建强 (3869)

外源添加磷和有机酸模拟铅污染土壤钝化效果及产物的稳定性研究 左继超, 高婷婷, 苏小娟, 万田英, 胡红青 (3874)

污染场地六价铬的还原和微生物稳定化研究 郑家传, 张建荣, 刘希雯, 许倩, 施维林 (3882)

热强化气相抽提对不同质地土壤中苯去除的影响 李鹏, 廖晓勇, 阎秀兰, 崔晓勇, 马栋 (3888)

O₃ 浓度升高对南方城市绿化树种氮素的影响 杨田田, 张巍巍, 胡恩柱, 王效科, 田媛, 冯兆忠 (3896)

施氮强度对不同土壤有机碳水平按树林温室气体通量的影响 李睿达, 张凯, 苏丹, 逯非, 万五星, 王效科, 郑华 (3903)

¹³C₂O 示踪臭氧胁迫对水稻土壤微生物的影响 陈展, 王效科, 尚鹤 (3911)

表面活性剂 *Burkholderia xenovorans* LB400 体系对低氯代 PCBs 的好氧强化降解 陈少毅, 张静, 汪涵, 任源 (3918)

耐高氨氮异养硝化-好氧反硝化菌 TN-14 的鉴定及其脱氮性能 信欣, 姚力, 鲁磊, 冷璐, 周迎芹, 郭俊元 (3926)

微氧环境中电化学活性微生物的分离与鉴定 吴松, 肖勇, 郑志勇, 郑越, 杨朝晖, 赵峰 (3933)

电极活性菌分离过程中微生物群落结构动态特征解析 王敏, 赵阳国, 卢珊珊 (3940)

铜对草鱼及花鲢的毒性预测: 基于生物配体模型 王万宾, 陈莎, 吴敏, 赵婧 (3947)

天鹅洲故道底栖动物群落特征及水质生物学评价 马秀娟, 沈建忠, 王腾, 王海生, 黄丹, 孙广文, 龚成 (3952)

水生生物基准推导中物种选择方法研究 张铃松, 王业耀, 孟凡生, 周岳溪, 于海斌 (3959)

生产源区人血清中六溴环十二烷水平与甲状腺激素相关性研究 李鹏, 杨从巧, 金军, 王英, 刘伟志, 丁问微 (3970)

金属氧化物-Laponite 黏土复合材料负载氧化钴催化剂的制备及对苯的催化消除性能 牟真, 麻春艳, 程杰, 李进军 (3977)

CuO(-CeO₂)/Al₂O₃ 催化剂对苯催化氧化性能研究 查键, 周宏仓, 何都良, 单龙, 张露, 谢婕 (3984)

生物毒性检测在水质安全评价中的应用 徐建英, 赵春桃, 魏东斌 (3991)

某城市城镇污水处理厂 COD 排放现状评价分析 周羽化, 卢延娜, 张虞, 朱静, 雷晶, 申晨, 武雪芳 (3998)

北京市再生水利用生态环境效益评估 范育鹏, 陈卫平 (4003)

我国持久性有机污染物污染事故预警指标体系构建 王琳, 吕永龙, 贺桂珍, 王铁宇 (4009)

环境损害评估: 构建中国制度框架 张红振, 王金南, 牛坤玉, 董璟琦, 曹东, 张天柱, 骆永明 (4015)

《环境科学》征稿简则 (3887) 《环境科学》征订启事 (4008) 信息 (3730, 3739, 3774, 3895)

大辽河口 COD 与 DO 的分布特征及其影响因素

杨福霞¹, 简慧敏¹, 田琳², 姚庆祯^{1*}

(1. 中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100; 2. 中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要: 分别于 2010 年 4 月、7 月和 11 月采集大辽河口表层水样, 测定水体中 COD 与 DO 的含量并探讨其分布特征及影响因素. 结果表明, 4 月、7 月和 11 月 COD 含量平均值分别为 12.10、4.42 和 4.38 mg·L⁻¹, COD 的季节分布主要受降雨量、径流量及工业和城市污水排放的影响. 空间分布上, COD 从河口内向其邻近海域逐渐递减, 而 DO 的变化趋势相反; COD 的分布主要受河口两岸工农业及城市污水的排放和潮汐的影响. 4 月、7 月和 11 月 DO 含量平均值分别为 8.46、4.23 和 10.30 mg·L⁻¹, DO 的季节分布主要受温度和耗氧有机物的影响. 夏季在低盐度区出现了缺氧现象, 这主要与营口有机物和营养盐的过度排放、潮汐作用和河口内水体停留时间长等因素有关.

关键词: 大辽河口; COD; DO; 分布特征; 影响因素

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)10-3748-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.10.015

Distribution Characteristics of COD and DO and Its Influencing Factors in the Daliaohe Estuary

YANG Fu-xia¹, JIAN Hui-min¹, TIAN Lin², YAO Qing-zhen¹

(1. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The concentrations of COD and DO were measured in the Daliaohe Estuary in April, July and November of 2010, and their distribution characteristics and influencing factors were discussed. The results showed that the concentrations of COD were 12.10, 4.42 and 4.38 mg·L⁻¹ in April, July and November of 2010, respectively. They were mainly influenced by rainfall, runoff and municipal sewage. COD values decreased with the increasing DO from the inner of Daliaohe Estuary to adjacent waters. Spatial distribution of COD was mainly controlled by agriculture and urban sewage and tides. The concentrations of DO were 8.46, 4.23 and 10.30 mg·L⁻¹ in April, July and November of 2010, respectively, and were mainly influenced by temperature and oxygen consumption of organic matter. Hypoxic zone was found in the low-salinity area in summer, which was mainly controlled by excessive emission of organic matter and nutrients in Yingkou, tidal effects and long residence time of water in the estuary.

Key words: Daliaohe Estuary; COD; DO; distribution characteristics; influencing factors

大辽河口位于辽东湾北部, 流域面积约 2×10^5 km², 全长 1 430 km, 多年平均径流量 7.715×10^9 m³, 占辽东湾入海径流量的 55.32%. 大辽河流经沈阳、抚顺、辽阳、营口等众多工业城镇, 沿途接收了大量来源于工农业和生活的污染物. 据不完全统计, 辽宁省年均排放工业废水 8.3 亿 t、城镇居民生活污水 12.9 亿 t^[1]. 农业耕地平均施肥量为 181 kg·hm⁻², 辽河流域总氮年均排放量为 4 318 t, 总磷年均排放量为 6 908 t^[2], 致使辽东湾海域营养盐含量超标^[3], 赤潮经常发生^[4], 海洋资源与环境受到损害^[5]. 主要入河污染物有化学需氧量(COD)、氨氮、悬浮物、生化需氧量(BOD₅)等^[6]. 本文系统研究了大辽河口 COD 和 DO 的分布特征及其影响因素, 该结果对今后预防、控制和解决大辽河口水体低氧及富营养化具有重要意义.

1 材料与方法

分别于 2010 年 4 月(春季)、7 月(夏季)和 11 月(秋季)在大辽河水域进行了现场调查, 调查区域及具体采样站位如图 1 所示, 在各站位采集表层水样. 水样采集于 500 mL 玻璃瓶中, 现场用硫酸固定水样, 水样带回岸上实验室后采用碱性高锰酸钾法测定 COD^[7], 该方法检出限为 0.15 mg·L⁻¹, 分析精度为 96.0%.

温度(*T*)、盐度(*S*)、溶解氧(DO)现场采用奥

收稿日期: 2014-03-18; 修订日期: 2014-05-09

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501-003); 国家自然科学基金项目(41276070)

作者简介: 杨福霞(1988~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为海洋生物地球研究化学, E-mail: yfxsmile@163.com

* 通讯联系人, E-mail: qzhyao@ouc.edu.cn

利龙便携式多参数仪现场测定。

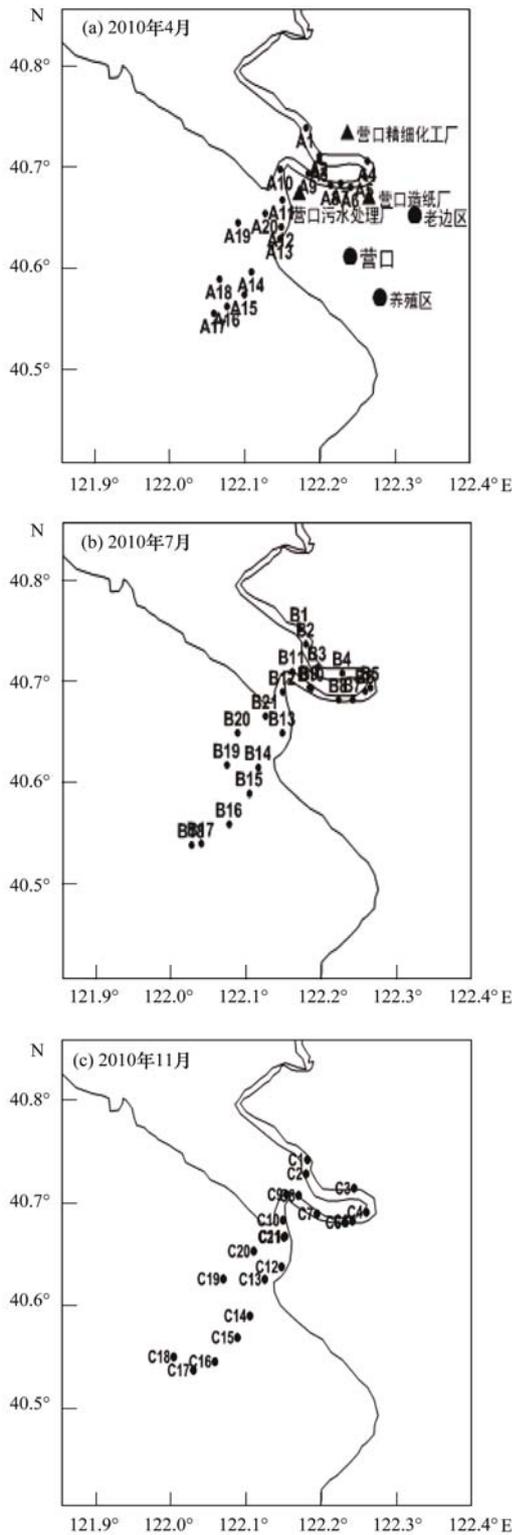


图1 2010年4月、7月和11月大辽河口采样站位示意
Fig. 1 Sampling stations in the Daliaohe Estuary in April, July and November of 2010

2 结果与讨论

2.1 T 和 S 的分布特征

2010年4月、7月、11月大辽河口 T 的变化范

围分别为 9.8 ~ 10.4、25.1 ~ 27.6 和 8.4 ~ 10.5℃, 平均值分别为 10.0、26.3 和 8.9℃ (表 1). T 的季节分布: 夏季 > 春季 > 秋季, 春季和秋季的温度仅相差 1.1℃. 同一季节, 温度的沿程变化很小, 大辽河口内温度高于邻近海域温度, 这与河水温度比海水温度高的理论相一致 (图 2).

2010年4月、7月、11月大辽河口盐度的分布特征为从口门内向口门外逐渐增加, 表现为淡水端的盐度较低, 口门内盐度变化不大, 出口门后盐度逐渐增加. 这是因为大辽河属于不规则的半日潮, 盐度受潮汐作用影响明显, 渤海高盐度的海水向河道内扩展, 径流的淡水和海水混合 (图 2).

2.2 COD 的分布特征及其影响因素

COD 是表示水中还原性物质含量的指标, 由于水中主要的还原性物质是有机物, COD 也可作为衡量水中有机物质含量的指标. 化学需氧量越大, 说明水体受有机物质污染越严重^[8]. 2010年4月 (枯水期)、7月 (丰水期) 和 11月 (平水期) 大辽河口 COD 含量的变化范围分别为 7.47 ~ 15.60、2.51 ~ 5.26 和 1.79 ~ 5.58 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均值分别为 12.10、4.42 和 4.38 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (表 1), 丰水期 COD 含量小于 2005 年的 11.90 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[10] 而大于 2009 年的 3.45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[9], 平水期 COD 含量小于 2002 年的 207.67 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[11] 而大于 2009 年的 3.99 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[9]. 其中, 4月 COD 含量最高, 且全部站位均超过 IV 类海水水质标准 (5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 站位 A4、A5 和 A7 的 COD 含量分别为 15.20、15.60 和 15.10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 超过 V 类地表水环境质量标准 (15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)^[12], COD 含量严重超标; A6 站位 COD 含量 (13.60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 也很高. 这是由于 A4 和 A5 靠近营口精细化工厂, 大量的工业废水排入大辽河口; A6 和 A7 在营口造纸厂附近, 造纸处理后的大量废水直接排入, 流入劳动河的工农业废水和生活污水也在此汇入大辽河^[13]; 4月处于枯水期, 农业灌溉用水退水. 7月和 11月 COD 含量相差很小, 这是由于大辽河口 COD 含量主要受降雨量和径流量的影响, 大辽河流域年降水量为 300 ~ 1000 mm, 其中 65% 集中于夏季, 物理稀释作用降低了有机污染物的含量, 致使夏季 COD 含量相对较小. 与国内其他河口相比, 春季和夏季大辽河口 COD 含量明显大于长江口^[14]、黄河口^[15] 和珠江口^[16] (表 2).

如图 3 所示, 大辽河口 4 月和 7 月 COD 含量在盐度 < 5 时随盐度的增加而增加, 由于咸淡水基本未发生混合, 主要受河流两岸工农业污水等陆源排

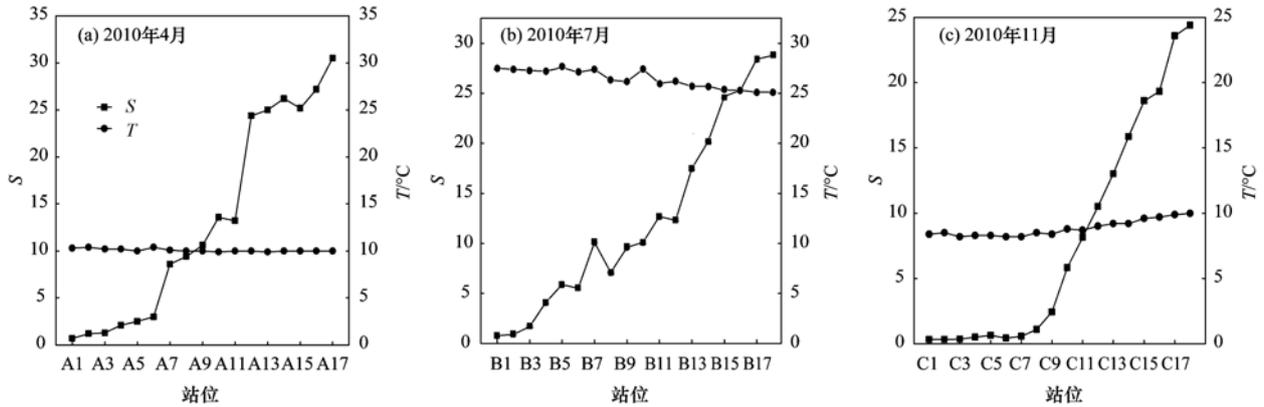


图 2 2010 年 4 月、7 月和 11 月大辽河口 T 和 S 的分布

Fig. 2 Distributions of T and S in the Daliaohe Estuary in April, July and November of 2010

表 1 大辽河口 COD、DO、S 和 T 的值

Table 1 Values of COD, DO, S and T in the Daliaohe Estuary

项目	4 月(春季)		7 月(夏季)		11 月(秋季)	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
COD/mg·L ⁻¹	7.47 ~ 15.60	12.10	2.51 ~ 5.26	4.42	1.79 ~ 5.58	4.38
DO/mg·L ⁻¹	5.58 ~ 11.00	8.46	1.16 ~ 12.20	4.23	9.67 ~ 11.40	10.30
S	0.7 ~ 30.5	14.9	0.8 ~ 28.8	13.9	0.33 ~ 24.4	8.65
T/°C	9.8 ~ 10.4	10.0	25.1 ~ 27.6	26.3	8.4 ~ 10.5	8.9

表 2 中国主要河口春季和夏季表层 COD 的质量含量/mg·L⁻¹

Table 2 Concentrations of COD in spring and summer in the surface water of main estuaries in China/mg·L⁻¹

项目	大辽河口		长江口		黄河口		珠江口	
	春季	夏季	春季	夏季	春季	夏季	春季	夏季
范围	7.47 ~ 15.6	2.50 ~ 5.26	0.32 ~ 2.17	1.44 ~ 2.88	1.14 ~ 3.02	0.99 ~ 2.17	0.411 ~ 1.65	0.78 ~ 2.72
均值	12.10	4.42	1.32 ± 0.64	2.08 ± 0.45	1.71	1.47	0.94	1.49
文献	本研究		[14]		[15]		[16]	

放和陆地径流的影响;在盐度 >5 时 COD 随盐度增大而降低,COD 含量主要受海水和河水混合后物理稀释作用的影响. 11 月 COD 含量随盐度的增大而降低,主要受海水对河水稀释作用的影响,受人为活动、化学作用和水体中浮游生物活动的影响很小,其行为是保守的. 值得注意的是,4、7 和 11 月趋势线的交值点(COD 含量最大值)都在 122.22° ~ 122.27°E,40.68° ~ 40.70°N 范围内(营口段),此处靠近营口造纸厂、化工厂和养殖场,大量的工业废水和养殖废水排入大辽河口,加上营口东部老边区城市污水的排入等造成此处有机物污染严重^[13]. 2005 年后 COD 排放量有所增加,营口市年排放量超过 3 × 10⁴ t^[17]. 2010 年营口工业废水和生活污水中 COD 含量为 8440 t,农业废水中 COD 含量为 662 t^[18].

空间分布上,大辽河口 COD 含量从大辽河口内向邻近海域逐渐递减(图 4),这与国内河口及邻近

海区污染物的分布规律一致^[19~21]. 由于大辽河沿岸工农业发达,大量的工农业和生活污水汇入大辽河口内,并且大辽河口内水体比较封闭,因此大辽河口内 COD 含量严重超标. 而邻近海域受人类活动的影响比较小,并且与海水的交换条件好,COD 含量较小. 站位 A11、B12 和 C11 位于大辽河入海口处,咸淡水交换最明显,然而 COD 含量反而很高,这是由于在这些站位上游存在营口污水处理厂,排放大量的有机污染物和营养物质.

2.3 DO 的分布特征及其影响因素

DO 是水生态环境的重要参数,用来表征水体自净能力,是衡量水体环境质量的重要指标之一,它可以直接反映生物的生长状况和水体的污染程度. 国内外的海洋环境科学家把海水中 DO 低于 2 ~ 3 mg·L⁻¹ 的现象定义为缺氧现象^[22~24],具有导致整个海洋生态系统崩溃的潜在威胁. DO 的季节分布为:秋季(均值 10.30 mg·L⁻¹) > 春季(均值 8.46

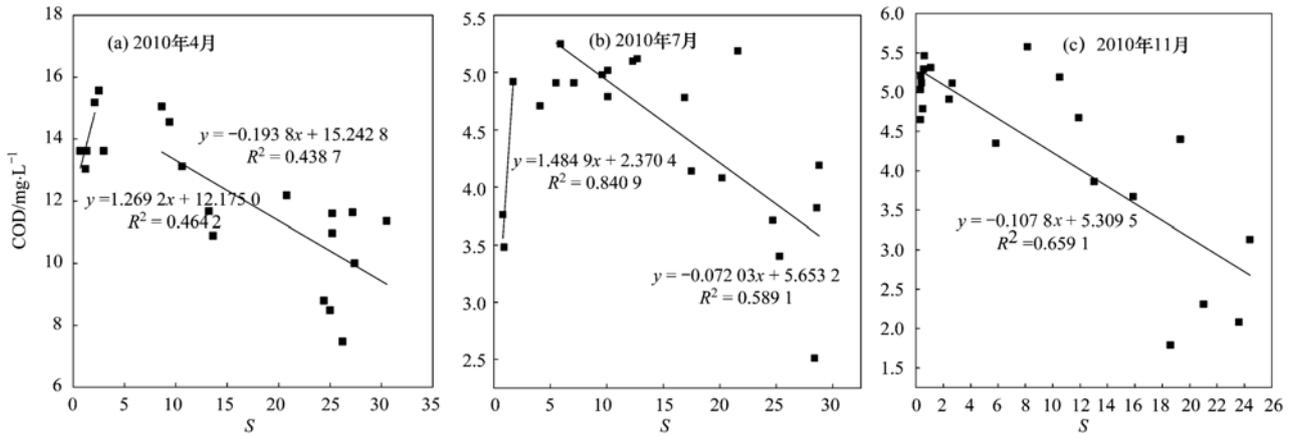


图3 2010年4月、7月和11月大辽河口COD和S的关系

Fig. 3 Relationships of COD and S in the Daliaohe Estuary in April, July and November of 2010

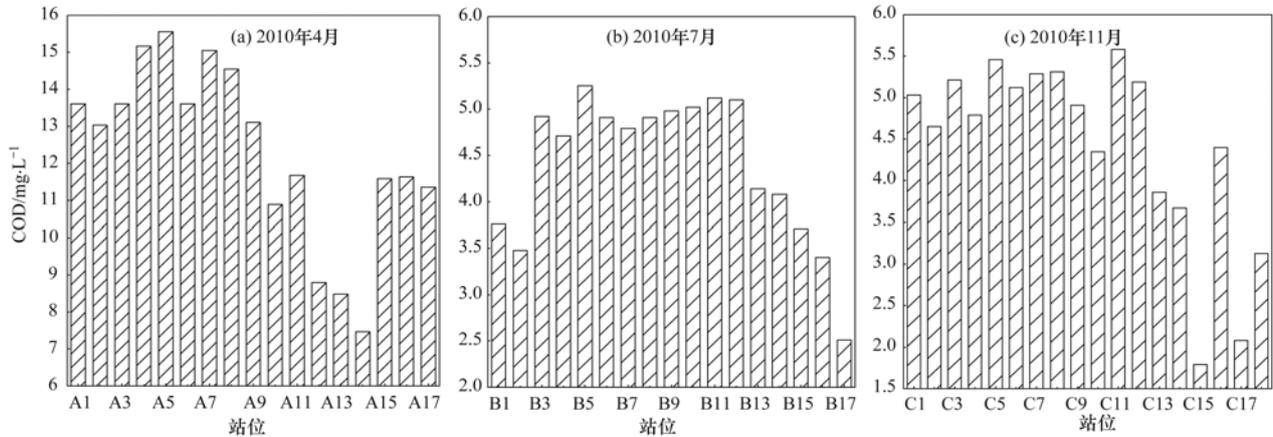


图4 2010年4月、7月和11月大辽河口COD的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of COD in the water of Daliaohe Estuary in April, July and November of 2010

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > 夏季(均值 $4.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) (表 1), 与温度的季节分布相反, 这表明大辽河口 DO 含量季节分布受温度影响显著. 温度越低, DO 在水体中的溶解度就越高, 其含量就越高, 因此秋季 DO 含量最高, 而夏季 DO 的含量最低, 春季则介于二者之间. 此外, DO 含量还和浊度、气候、淡水径流量、水体滞留时间、营养物质的量、水体中的氧化还原反应(如硫化物、亚铁盐的氧化反应和硝化反应)以及生物作用等因素有关^[25, 26].

由图 5 可知, DO 和盐度的关系为: 当盐度 < 5 时, DO 含量随盐度的增大而减小; 当盐度 > 5 时, DO 含量随盐度的增大而增大. 大辽河口溶解氧含量和盐度关系是分段的, 这和影响 DO 的分布因素有关. 由盐度的沿程变化(图 2)可知, 春季、夏季和秋季盐度小于 5 的站点分别为 A1 ~ A6、B1 ~ B4 和 C1 ~ C7, 这些站点受海洋潮汐的影响小, 污染物的含量高, 耗氧污染物分解要消耗大量的氧. 盐度

大于 5 的站点, 距离口门越近, 水体受潮汐的影响越大, 海水对河水的稀释作用越强, 污染物的含量降低, 海水补充的溶解氧大于耗氧物质消耗的氧, 故随着盐度的增大 DO 含量增加. 因此, 在大辽河口上游, 耗氧污染物是影响 DO 含量的主要因素, 而在中下游及邻近海域 DO 含量主要受潮汐作用影响.

空间分布上, 大辽河口 DO 含量分布整体上呈河口内低、出口门后向邻近海域逐渐增加的趋势(图 6), 这与长江口^[27]、珠江口^[28]和小清河口^[29]的分布一致. 大辽河流经很多工业城镇, 沿途接收了大量工农业和生活污水, 有机污染物和营养物质的分解等生物化学作用消耗大量的氧, 并且河口内水体和海水的交换能力差, 致使大辽河口内的氧很低. 夏季大辽河口内站点 B3 ~ B12 (除 B10 外) DO 小于 $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 出现了缺氧现象, 而 COD 在这些站点的含量都很高(大于 $4.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 图 4), 表明有机物分解耗氧导致 DO 含量降低. 2010 年大辽河

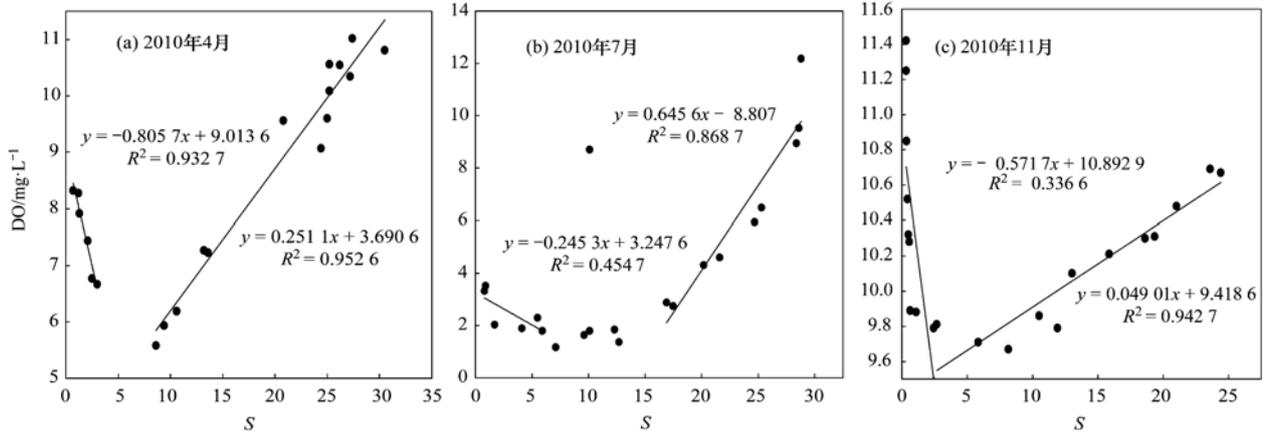


图5 2010年4月、7月和11月大辽河 DO 和 S 的关系

Fig. 5 Relationships of DO and S in the Daliaohe Estuary in April, July and November of 2010

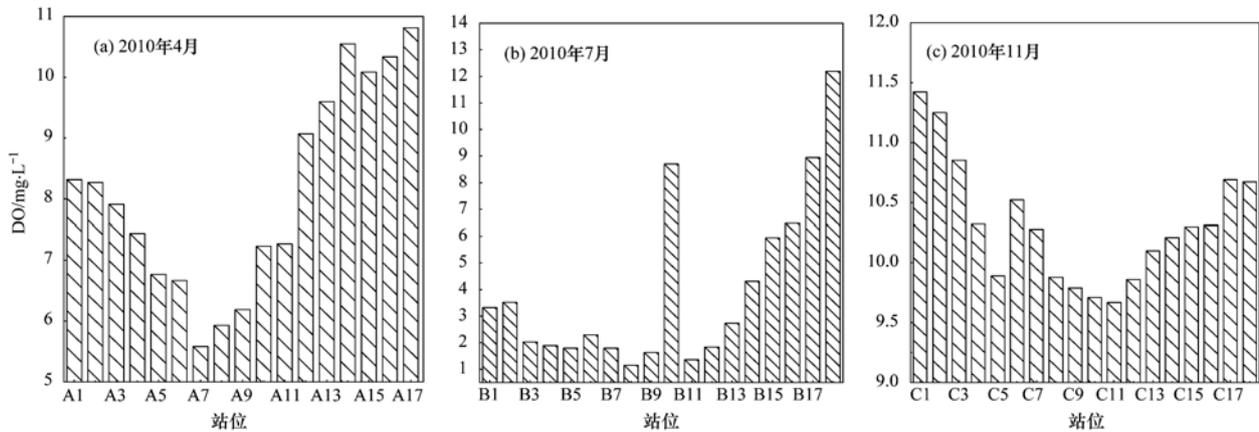


图6 2010年4月、7月和11月大辽河口 DO 的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of DO in the water of Daliaohe Estuary in April, July and November of 2010

(营口段)水质处于重度污染水平,为劣V类水质,氨氮和高锰酸盐指数为主要污染指标^[13];2010年全国水环境质量状况也表明,大辽河及其支流总体为重度污染,大辽河营口段污染严重,主要污染指标为氨氮、石油类和高锰酸盐指数,这都证实了有机物和营养物质耗氧是造成大辽河口夏季缺氧的主要原因.此外,还和大辽河口内水体停留时间长有关.河口水体停留时间淡水段主要和径流量有关,口门内受潮汐和径流的相互影响,海水段主要受潮汐作用影响,该河段属于口门内.2010年7月1日至8月31日辽宁省总降水量为564 mm,比常年偏多70%^[30],大辽河夏季径流量明显增大,上游淡水段流速比较快,水体在河道内的停留时间短.张学庆等^[31]研究表明丰水期示踪物只需要7 d左右的时间就能到达河口,水体中大量的污染物汇入口门内;潮汐作用会使沉积物发生再悬浮,并且随着涨潮和落潮,污染物会发生往复迁移产生重复污染,该河段

的回复系数最高可达0.94^[31];当盐度为0~14时,大辽河口水体停留时间随着盐度的增大而增大,最大值出现在盐度为14左右的海域^[32].张磊^[33]的研究结果也表明在中盐度区,长江口水体停留时间明显变长(16~25 d),停留时间和盐度梯度呈良好的线性正相关,由图2可知B3~B12各站位的盐度小于14,水体在该区域内的停留时间长,有利于污染物的分解耗氧.出口门后,受海水潮汐作用的影响,大量的海水涌入,物理稀释作用增强,河水和海水进行氧交换,因此大辽河口邻近海域的溶解氧升高.

2.4 各理化因子间的关系

由图7可知,2010年4月、7月和11月大辽河口COD和DO的相关系数分别为0.4791、0.8188和0.3716,呈现负相关,表明有机污染物是影响DO的重要因素. COD和DO在夏季显著负相关,再次证实了有机物污染物分解耗氧是引起夏季低氧的主要原因.2010年辽宁省东部连降暴雨,陆地径流量

大,抚顺、本溪、丹东三市 7 座污水处理厂遭遇洪灾受到不同程度的损坏,被迫停运^[34],未经处理的生活污水和工农业废水汇入大辽河,有机污染物和营养盐的降解要消耗大量的氧,水体混浊度增大,透明

度降低,制约浮游植物光合作用,生成的氧减少;夏季温度高,大气中氧的溶解量少,而夏季温度较高,还原性物质氧化速率快,耗氧速率快;浮游植物死亡腐烂降解也要消耗氧。

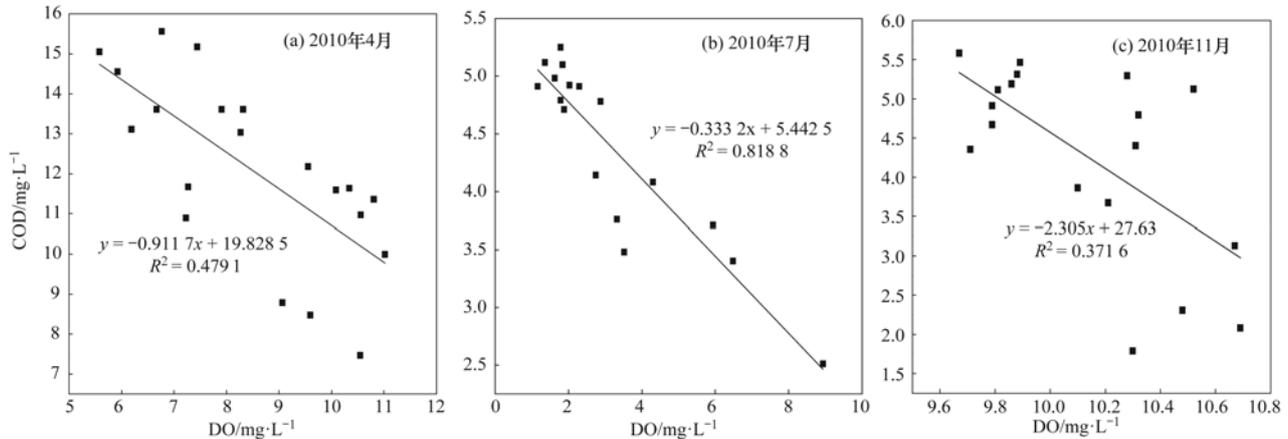


图7 2010年4月、7月和11月大辽河口 COD 和 DO 的关系

Fig. 7 Relationships of COD and DO in the Daliaohe Estuary in April, July and November of 2010

春、夏和秋季大辽河口 COD 和 5 项营养盐、石油烃及 SPM 都存在相关性(表 3)。其中,COD 和 5 项营养盐显著正相关,表明它们的同源性,都主要来自大辽河口两岸的工农业废水和生活污水的排放及陆地径流输入;COD 和石油烃显著正相关,表明石油制品和有机化合物通过污水

排放或船舶的泄漏也是导致 COD 含量超标的重要因素;COD 和 SPM 正相关,由于 COD 是陆源排海的主要污染物之一,主要是来自排量大、处理率低的生活污水和工农业废水,含有大量的胶体物、纤维素、悬浮物、沉淀物和溶解的有机质,混浊度大。

表 3 大辽河口及邻近海域 COD 与其它环境因子的 Pearson 相关系数¹⁾

Table 3 Pearson correlations between COD and other environmental factors in the Daliaohe Estuary

月份	项目	S	DO	石油烃	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₃ ²⁻ -Si	SPM
4	COD	-0.785 **	-0.712 **	0.779 **	0.728 **	0.579 **	0.607 **	0.760 **	0.747 **	0.154
7	COD	-0.466 *	-0.610 **	0.0188	0.416	0.647 **	0.153	0.0487 *	0.0474 *	0.036
11	COD	-0.822 **	-0.235	0.586 **	0.742 **	0.765 **	0.830 **	-0.348	0.770 **	0.222

1) **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关;4月、7月和11月的样本容量分别为 20、20 和 21

3 结论

(1) 2010 年 4 月、7 月、11 月大辽河口 COD 含量的变化范围分别为 7.47 ~ 15.60、2.51 ~ 5.26 和 1.79 ~ 5.58 mg·L⁻¹,平均值分别为 12.10、4.42 和 4.38 mg·L⁻¹,4 月 COD 含量严重超标。COD 含量的季节分布为春季 > 夏季 > 秋季,主要与径流量、降雨量和生活污水及工农业废水的排放有关。

(2) 2010 年 4 月、7 月、11 月大辽河口 DO 含量变化范围分别为 5.58 ~ 11.00、1.16 ~ 12.20 和 9.67 ~ 11.40 mg·L⁻¹,平均值分别为 8.46、4.23 和 10.30 mg·L⁻¹,DO 含量季节分布为秋季 > 春季 > 夏季,主要受温度和耗氧有机物的影响。

(3) 当盐度 < 5 时,DO 含量随盐度的增大而减小,而 COD 含量随盐度的增大而增大,DO 含量主要受耗氧污染物的影响;当盐度 > 5 时,DO 含量随盐度的增大而增大,而 COD 含量随盐度的增大而减小,DO 含量主要受潮汐作用的影响。

(4) 空间分布上,COD 从大辽河口内向邻近海域逐渐递减,DO 的分布趋势与 COD 相反,主要受河口两岸工农业及城市污水的排放和潮汐的影响。COD 与 5 项营养盐及石油烃显著相关,表明其同源性,主要来自陆地径流输入和陆源排放。

参考文献:

- [1] 辽宁省环境保护厅. 2008 年辽宁省环境状况公报[R]. 2009. 1-14.
- [2] 杨育红, 阎百兴. 中国东北地区非点源污染研究进展[J].

- 应用生态学报, 2010, **21**(3): 777-784.
- [3] 王毅, 张天相, 徐学仁, 等. 辽东湾北部至辽西沿岸海域营养盐分布及水质评价[J]. 海洋环境科学, 2001, **20**(2): 63-65, 70.
- [4] 周遵春, 马志强, 薛克, 等. 对辽东湾夜光藻赤潮和叉状角藻赤潮成因的初步研究[J]. 水产科学, 2002, **21**(2): 9-12.
- [5] 李宗品, 孙克诚. 辽东湾近岸养殖区环境研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2004. 1-242.
- [6] 辽宁省水利厅. 2006年辽宁省水资源公报[N]. 辽宁日报, 2007.
- [7] GB 17378. 5-2007, 海洋监测规范[S].
- [8] Kawabe M, Kawabe M. Factors determining chemical oxygen demand in Tokyo Bay[J]. Journal of Oceanography, 1997, **53**: 443-453.
- [9] 杨丽娜. 大辽河口生态系统健康评价指标体系与技术方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011. 37-49.
- [10] 沙厚平, 张天相, 单红云, 等. 大辽河口及邻近海域 BOD₅ 与 COD 分布现状和特征[J]. 海洋环境科学, 2007, **26**(1): 74-76.
- [11] 王继龙. 辽河口水质调查及低氧区形成机理研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2004. 42-48.
- [12] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [13] 韩凌. 近五年大辽河(营口段)水质状况分析与评价[J]. 黑龙江环境通报, 2012, **36**(2): 83-85.
- [14] 李磊, 王云龙, 蒋玫, 等. 春、夏季长江口邻近海域 COD 分布特征、影响因素及对富营养化的贡献[J]. 海洋通报, 2012, **31**(3): 329-335.
- [15] 孙栋, 段登选, 刘红彩, 等. 黄口水域渔业生态水环境调查与研究[J]. 海洋科学进展, 2010, **28**(2): 229-236.
- [16] 杨美兰, 林钦, 黄洪辉, 等. 珠江口水域化学耗氧量(COD)的分布特征[J]. 海洋通报, 2005, **24**(4): 22-26.
- [17] 苏丹, 王彤, 刘兰岚, 等. 辽河流域工业废水污染物排放的时空变化规律研究[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(12): 2953-2959.
- [18] 关于印发营口开发区2012年度主要污染物总量减排工作计划的通知[Z]. 营口经济技术开发区管理委员会办公室, 2012.
- [19] 韩彬, 曹磊, 李培昌, 等. 胶州湾大沽河河口及邻近海域海水水质状况与评价[J]. 海洋科学, 2010, **34**(8): 46-49, 64.
- [20] 孟伟, 秦延文, 郑丙辉, 等. 长江口水体中氮、磷含量及其化学耗氧量的分析[J]. 环境科学, 2004, **25**(6): 65-68.
- [21] 魏鹏, 黄良民, 冯佳和, 等. 珠江口广州海域 COD 与 DO 的分布特征及影响因素[J]. 生态环境学报, 2009, **18**(5): 1631-1637.
- [22] Diaz R J. Overview of hypoxia around the world[J]. Journal of Environmental Quality, 2001, **30**(2): 275-281.
- [23] Vaquer-Sunyer R, Duarte C M. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, **105**(40): 15452-15457.
- [24] Li D J, Zhang J, Huang D J, *et al.* Oxygen depletion off the Changjiang (Yangtze River) estuary [J]. Science in China (Series D; Earth Sciences), 2002, **45**(12): 1137-1146.
- [25] 彭云辉, 陈玲娣. 珠江河口水域溶解氧与硝酸盐、Chla 及硝酸盐与磷酸盐的关系[J]. 海洋学报, 1994, **16**(1): 136-141.
- [26] Peña M A, Katsev S, Oguz T, *et al.* Modeling dissolved oxygen dynamics and hypoxia[J]. Biogeosciences, 2010, **7**: 933-957.
- [27] Gao X L, Song J M. Dissolved oxygen and O₂ flux across the water-air interface of the Changjiang Estuary in May 2003 [J]. Journal of Marine Systems, 2008, **74**(1-2): 343-350.
- [28] 叶丰, 黄小平, 刘庆霞. 2010年夏季珠江口海域溶解氧的分布特征和海气交换通量[J]. 海洋环境科学, 2012, **31**(3): 346-351.
- [29] 孟春霞, 邓春梅, 姚鹏, 等. 小清河口及邻近海域的溶解氧[J]. 海洋环境科学, 2005, **24**(3): 25-28.
- [30] 周恩泽. 2010年辽宁主汛期刷新历史最长纪录[R]. 沈阳: 辽宁省气象局, 2010.
- [31] 张学庆, 王鹏程, 石明珠, 等. 大辽河口存留时间和暴露时间数值模拟[J]. 水科学进展, 2012, **23**(5): 709-714.
- [32] 许博超, 姚庆祯, 江雪艳, 等. 辽河口水体中²²³Ra、²²⁴Ra 的 RaDeCC 法测定及应用[J]. 海洋环境科学, 2012, **31**(2): 153-158.
- [33] 张磊. 长江口、东海的镭同位素及其在水团混合分析中的应用[D]. 上海: 华东师范大学, 2007. 32-43.
- [34] 辽宁省环境保护厅. 辽宁省污染减排工作简报[R]. 2010. 1-6.

CONTENTS

Development of a Two Stage Virtual Impactor for Stationary Source PM ₁₀ and PM _{2.5} Sampling	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, DUAN Lei, <i>et al.</i> (3639)
Characteristics and the Impact Factors of Acid Rain in Fuzhou and Xiamen 1992-2012	ZHENG Qiu-ping, WANG Hong, CHEN Bin-bin, <i>et al.</i> (3644)
Concentration Distribution of Metal Elements in Atmospheric Aerosol Under Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region	CHEN Xiao-jing, QI Jian-hua, LIU Ning, <i>et al.</i> (3651)
Emission Characteristics and Hazard Assessment Analysis of Volatile Organic Compounds from Chemical Synthesis Pharmaceutical Industry	LI Yan, WANG Zhe-ming, SONG Shuang, <i>et al.</i> (3663)
NO _x and SO ₂ Formation in the Sintering Process and Influence of Sintering Material Composition on NO _x Emissions	REN Zhong-pei, ZHU Tian-le, ZHU Ting-yu, <i>et al.</i> (3669)
Application of Activated Carbon from Waste Tea in Desulfurization and Denitrification	SONG Lei, ZHANG Bin, DENG Wen (3674)
Effect of Soil Texture in Unsaturated Zone on Soil Nitrate Accumulation and Groundwater Nitrate Contamination in a Marginal Oasis in the Middle of Heihe River Basin	SU Yong-zhong, YANG Xiao, YANG Rong (3683)
Health Assessment of River Ecosystem in Haihe River Basin, China	HAO Li-xia, SUN Ran-hao, CHEN Li-ding (3692)
Analysis on the Variation Characteristics of Iron and Manganese Concentration and Its Genesis in Changtan Reservoir in Taizhou, Zhejiang Province	LIU Shu-yuan, ZHENG Chen, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3702)
Spatiotemporal Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Mountainous Urban Lake	BAO Jing-yue, BAO Jian-guo, LI Li-qing (3709)
Formation of Geochemistry in Underground River Under Rainfall Conditions: An Example for Underground River at Xueyu Cave, Chongqing	WANG Feng-kang, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i> (3716)
Contamination and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and in Karst Underground River Catchment	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, TIAN Ping, <i>et al.</i> (3722)
Pollution Characteristics and Ecological Risk of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediments from an Electrical Equipment Dismantling Area	CHEN Xuan-yu, XUE Nan-dong, ZHANG Shi-lei, <i>et al.</i> (3731)
Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments in the Southern and Central Haihe River Basin	WANG Rui-lin, CHENG Xian, SUN Ran-hao (3740)
Distribution Characteristics of COD and DO and Its Influencing Factors in the Daliaohe Estuary	YANG Fu-xia, JIAN Hui-min, TIAN Lin, <i>et al.</i> (3748)
Seasonal Variation in the Absorption and Fluorescence Characteristics of CDOM in Downstream of Liaohe River	SHAO Tian-tian, ZHAO Ying, SONG Kai-shan, <i>et al.</i> (3755)
Nitrogen Uptake and Denitrification Study on the Joint Treatment of Aquatic Vegetation and Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria in Taihu Lake	LIU Dan-dan, LI Zheng-kui, YE Zhong-xiang, <i>et al.</i> (3764)
Actinobacteria and Their Odor-producing Capacities in a Surface Water in Shanghai	CHEN Jiao, BAI Xiao-hui, LU Ning, <i>et al.</i> (3769)
Laboratory Evaluation of Remediation of Nitrobenzene Contaminated Aquifer by Using Groundwater Circulation Well	BAI Jing, ZHAO Yong-sheng, SUN Chao, <i>et al.</i> (3775)
Sorption Characteristics of Tea Waste Modified by Hydrated Ferric Oxide Toward Pb(II) in Water	WAN Shun-li, XUE Yao, MA Zhao-zhao, <i>et al.</i> (3782)
Effects of UV Radiation on the Aggregation Performance of Small Molecular Organic Acids	WANG Wen-dong, WANG Ya-bo, FAN Qing-hai, <i>et al.</i> (3789)
UV Photolysis of Propranolol in Aqueous Solution: Mechanism and Toxicity of Photoproducts	PENG Na, WANG Kai-feng, LIU Guo-guang, <i>et al.</i> (3794)
Photo-catalytic Degradation of Diphenylarsinic Acid by TiO ₂ (P25)	WANG A-nan, TENG Ying, LUO Yong-ming (3800)
Effect of Carbon/Nitrogen Ratio on Short-Cut Nitrification and Denitrification of Polyurethane Biofilm Reactor	TAN Chong, LIU Ying-jie, WANG Wei, <i>et al.</i> (3807)
Distribution and Removal of Anaerobic Antibiotic Resistant Bacteria During Mesophilic Anaerobic Digestion of Sewage Sludge	TONG Juan, WANG Yuan-yue, WEI Yuan-song (3814)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Insecticides in Surface Soil from a Rapidly Urbanizing Region	WEI Yan-li, BAO Lian-jun, WU Cheng-zhou, <i>et al.</i> (3821)
Field Measurement of Soil Mercury Emission in a Masson Pine Forest in Tieshanping, Chongqing in Southwestern China	DU Bao-yu, WANG Qiong, LUO Yao, <i>et al.</i> (3830)
Chlorine Speciation and Concentration in Cultivated Soil in the Northeastern China Studied by X-Ray Absorption Near Edge Structure	LI Jing, LANG Chun-yan, MA Ling-ling, <i>et al.</i> (3836)
Soil Organic Carbon Storage Changes with Land Reclamation Under Vegetation Reconstruction on Opencast Coal Mine Dump	LI Jun-chao, DANG Ting-hui, GUO Sheng-li, <i>et al.</i> (3842)
Effect of Sulfur on the Species of Fe and As Under Redox Condition in Paddy Soil	TANG Bing-pei, YANG Shi-jie, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (3851)
Response of Ectomycorrhizal Fungi to Aluminum Stress and Low Potassium Soil	ZHANG Wei, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3862)
Long-Term Manure Application Induced Shift of Diversity and Abundance of Antibiotic Resistance Genes in Paddy Soil	HUANG Fu-yi, LI Hu, WEI Bei, <i>et al.</i> (3869)
Effect of Phosphate and Organic Acid Addition on Passivation of Simulated Pb Contaminated Soil and the Stability of the Product	ZUO Ji-chao, GAO Ting-ting, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3874)
Bioremediation of Chromium(VI) Contaminated Site by Reduction and Microbial Stabilization of Chromium	ZHENG Jia-chuan, ZHANG Jian-rong, LIU Xi-wen, <i>et al.</i> (3882)
Effect of Thermal Enhanced Soil Vapor Extraction on Benzene Removal in Different Soil Textures	LI Peng, LIAO Xiao-yong, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (3888)
Effects of Elevated O ₃ Concentration on Nitrogen in Greening Tree Species in Southern China	YANG Tian-tian, ZHANG Wei-wei, HU En-zhu, <i>et al.</i> (3896)
Effects of Nitrogen Application on Soil Greenhouse Gas Fluxes in <i>Eucalyptus</i> Plantations with Different Soil Organic Carbon Content	LI Rui-da, ZHANG Kai, SU Dan, <i>et al.</i> (3903)
Ozone Effects on Soil Microbial Community of Rice Investigated by ¹³ C Isotope Labeling	CHEN Zhan, WANG Xiao-ke, SHANG He (3911)
Enhanced Aerobic Degradation of Low Chlorinated Biphenyls by Constructing Surfactants <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 Based System	CHEN Shao-yi, ZHANG Jing, WANG Han, <i>et al.</i> (3918)
Identification of a High Ammonia Nitrogen Tolerant and Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacterial Strain TN-14 and Its Nitrogen Removal Capabilities	XIN Xin, YAO Li, LU Lei, <i>et al.</i> (3926)
Isolation and Identification of Electrochemically Active Microorganism from Micro-Aerobic Environment	WU Song, XIAO Yong, ZHENG Zhi-yong, <i>et al.</i> (3933)
Characteristics of Microbial Community Structure During Isolation of Electrical Active Bacteria	WANG Min, ZHAO Yang-guo, LU Shan-shan (3940)
Predicting Copper Toxicity to <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> and <i>Ctenopharyngodon idellus</i> Based on Biotic Ligand Model	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (3947)
Macrozoobenthos Community Structure and Water Quality Evaluation of Tian'e Zhou Oxbows	MA Xiu-juan, SHEN Jian-zhong, WANG Teng, <i>et al.</i> (3952)
Species Selection Methods in Deriving Water Quality Criteria for Aquatic Life	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3959)
Correlations Between HBCD and Thyroid Hormone Concentrations in Human Serum from Production Source Area	LI Peng, YANG Cong-qiao, JIN Jun, <i>et al.</i> (3970)
Preparation of Cobalt Oxide Mesoporous Metallic Oxide-Clay Composites and Their Catalytic Performance in the Oxidation of Benzene	MU Zhen, MA Chun-yan, CHENG Jie, <i>et al.</i> (3977)
Catalytic Degradation of Naphthalene by CuO(-CeO ₂)/Al ₂ O ₃	ZHA Jian, ZHOU Hong-cang, HE Du-liang, <i>et al.</i> (3984)
Toxicity Tests and Their Application in Safety Assessment of Water Quality	XU Jian-ying, ZHAO Chun-tao, WEI Dong-bin (3991)
Assessment on the COD Discharge Status of Municipal Wastewater Treatment Plant in a City of China	ZHOU Yu-hua, LU Yan-na, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (3998)
Assessment of Ecological Environment Benefits of Reclaimed Water Reuse in Beijing	FAN Yu-peng, CHEN Wei-ping (4003)
Construction of Index System for Early Warning of Persistent Organic Pollutants (POPs) Pollution Incidents in China	WANG Lin, LU Yong-long, HE Gui-zhen, <i>et al.</i> (4009)
Environmental Damages Assessment: Establishment of System Framework in China	ZHANG Hong-zhen, WANG Jin-nan, NIU Kun-yu, <i>et al.</i> (4015)

《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10月15日 第35卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 10 Oct. 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