

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第11期

Vol.36 No.11

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

北京市大气气溶胶中糖类化合物的组成及来源	梁林林, Guenter Engling, 段凤魁, 马永亮, 程远, 杜祯宇, 贺克斌 (3935)
北京大气 PM _{2.5} 与惰性 SiO ₂ 的生物毒性比较	刘梦娇, 黄艺, 文航, 邱国玉 (3943)
APEC 期间北京及周边城市 AQI 区域特征及天气背景分析	高庆先, 刘俊蓉, 王宁, 李文涛, 高文康, 苏布达 (3952)
2000 ~ 2014 年北京市 SO ₂ 时空分布及一次污染过程分析	程念亮, 张大伟, 李云婷, 陈添, 李金香, 董欣, 孙瑞雯, 孟凡 (3961)
利用 SPAMS 研究石家庄市冬季连续灰霾天气的污染特征及成因	周静博, 任毅斌, 洪纲, 路娜, 李治国, 李雷, 李会来, 靳伟 (3972)
长江三角洲夏季一次典型臭氧污染过程的模拟	张亮, 朱彬, 高晋徽, 康汉青, 杨鹏, 王红磊, 李月娥, 邵平 (3981)
珠江三角洲区域污染分布及其垂直风场特征	刘建, 吴兑, 范绍佳 (3989)
春季黄渤海海水中尿素分布特征及溶解态氮的组成	李志林, 石晓勇, 张传松 (3999)
洱海流域农业用地与入湖河流水质的关系研究	庞燕, 项颂, 储昭升, 薛力强, 叶碧碧 (4005)
大辽河主要污染源营养盐输入特征	马迎群, 张雷, 赵艳民, 秦延文, 潘晓雪, 曹伟, 刘志超, 杨晨晨 (4013)
三峡库区大宁河沉积物营养盐时空分布及其与叶绿素的相关性分析	张永生, 李海英, 任家盈, 卢佳 (4021)
不同地质背景水库区夏季水-气界面温室气体交换通量研究	李建鸿, 蒲俊兵, 孙平安, 袁道先, 刘文, 张陶, 莫雪 (4032)
周丛生物存在下不同水层氧化还原带的分布及其与微生物的关联	王逢武, 刘玮, 万娟娟, 杨嘉利, 刘雪梅, 向速林, 吴永红 (4043)
华北低平原区地下水中氟分布特征及形成原因: 以南皮县为例	孔晓乐, 王仕琴, 赵焕, 袁瑞强 (4051)
某市典型地段地表水及地下水中氟喹诺酮类抗生素分布特征	崔亚丰, 何江涛, 苏思慧, 杨蕾, 乔肖刚 (4060)
乳山湾邻近海域沉积物中好氧氨氧化微生物分布特征	贺惠, 甄毓, 米铁柱, 张玉, 付璐璐, 于志刚 (4068)
青木关地下河中溶解态甾醇来源及迁移、转化特征	梁作兵, 沈立成, 孙玉川, 王尊波, 江泽利, 张媚, 廖昱, 谢正兰, 张远瞩 (4074)
多环芳烃在岩溶地下表层沉积物-水相的分配	蓝家程, 孙玉川, 肖时珍 (4081)
降雨期间岩溶地下河溶解态多环芳烃变化特征及来源解析	江泽利, 孙玉川, 王尊波, 梁作兵, 任坤, 谢正兰, 张媚, 廖昱 (4088)
重庆南山老龙洞地下河系统重金属分布、迁移及自净能力	任坤, 梁作兵, 于正良, 张宇, 王蓉, 袁道先 (4095)
三峡水库消落带植物汞的分布特征	梁丽, 王永敏, 李先源, 唐振亚, 张翔, 张成, 王定勇 (4103)
物理和生物组合扰动对底泥微界面过程的影响	王忍, 李大鹏, 黄勇, 刘焱见, 陈俊 (4112)
超声、过硫酸钾协同去除水中诺氟沙星的效果	魏红, 史京转, 李佳霖, 李克斌, 赵琳, 韩凯 (4121)
载银活性炭活化过硫酸钠降解酸性橙 7	王忠明, 黄天寅, 陈家斌, 李文卫, 张黎明 (4127)
TiO ₂ 降解迪美唑的动力学及活性物质分析	陈冬梅, 喻泽斌, 孙蕾, 黄俊, 高丽红, 李明洁 (4135)
单宁酸铁吸附去除水中无机氮的性能与机制研究	张瑞娜, 李琳, 刘俊新 (4141)
间歇曝气式膜生物反应器对养猪沼液中兽用抗生素的去除特性	丁佳丽, 刘锐, 郑炜, 宋小燕, 余卫娟, 叶朝霞, 陈吕军, 张永明 (4148)
单级和两级串联臭氧-生物活性炭深度处理垃圾渗滤液比较研究	杜安静, 范举红, 刘锐, 邱松凯, 文晓刚, 陈吕军 (4154)
水力停留时间和溶解氧对陶粒 CANON 反应器的影响	王会芳, 付昆明, 左早荣, 仇付国 (4161)
氨氮对 AOB 抑制的形态及规律	崔剑虹, 李祥, 黄勇, 朱亮, 杨朋兵 (4168)
厌氧氨氧化与反硝化协同脱氮处理城市污水	张诗颖, 吴鹏, 宋吟玲, 沈耀良, 张婷 (4174)
同步硝化反硝化耦合除磷工艺的快速启动及其运行特征	冷璐, 信欣, 鲁航, 唐雅男, 万利华, 郭俊元, 程庆峰 (4180)
HCO ₃ ⁻ 对部分亚硝化-厌氧氨氧化联合工艺脱氮效能的影响	李祥, 陈宗姮, 黄勇, 袁怡, 刘忻, 张大林 (4189)
ABR 耦合 CSTR 一体化工艺好氧颗粒污泥亚硝化性能调控及稳态研究	巫恺澄, 吴鹏, 沈耀良, 李月寒, 王建芳, 徐乐中 (4195)
活化过硫酸盐对市政污泥调理效果的影响	徐鑫, 濮文虹, 时亚飞, 虞文波, 张诗楠, 宋健, 张昊, 何姝, 杨昌柱, 杨家宽 (4202)
温度分化对 APBR 反应器性能及产甲烷菌群落的影响	谢海迎, 汪鑫, 李牧原, 阎叙西, 五十岚泰夫, 罗锋 (4208)
污染场地修复技术筛选方法及应用	白利平, 罗云, 刘俐, 周友亚, 颜增光, 李发生 (4218)
基于 Monte Carlo 模拟的土壤重金属综合风险评价与案例分析	杨阳, 代丹, 蔡怡敏, 陈卫平, 侯瑜, 杨锋 (4225)
大港工业区土壤重金属污染及生态风险评价	张倩, 陈宗娟, 彭昌盛, 李发生, 谷庆宝 (4232)
缙云山不同土地利用方式对土壤团聚体微生物量碳氮的影响	李增全, 江长胜, 郝庆菊 (4241)
不同秸秆翻埋还田对旱地和水田土壤微生物群落结构的影响	兰木岭, 高明 (4252)
生草果园土壤微生物群落的碳源利用特征	杜毅飞, 方凯凯, 王志康, 李会科, 毛鹏娟, 张向旭, 王婧 (4260)
不同有机物料对东南景天修复重金属污染土壤效率的影响	姚桂华, 徐海舟, 朱林刚, 马嘉伟, 柳丹, 叶正钱 (4268)
组配改良剂对土壤-蔬菜系统铅镉转运调控的场地研究	朱维, 刘丽, 吴燕明, 周航, 邓贵友, 杨文骏, 彭佩钦, 曾敏, 廖柏寒 (4277)
水稻品种及典型土壤改良措施对稻米吸收镉的影响	王美娥, 彭驰, 陈卫平 (4283)
大庆湖泊群水体和淡水鱼中多环芳烃污染特征及生态风险评估	王晓迪, 臧淑英, 张玉红, 王凡, 杨兴, 左一龙 (4291)
覆盖层甲烷氧化动力学和甲烷氧化菌群落结构	邢志林, 赵天涛, 高艳辉, 何芝, 杨旭, 彭绪亚 (4302)
阳极内添加阳离子交换树脂提升铝压“三合一”膜电极 MFC 性能	梅卓, 张哲, 王鑫 (4311)
应用基于单克隆抗体的免疫传感器检测环境中的茚和苯并茚	李鑫, 乔琰, 钟国祯 (4319)
《环境科学》征订启事 (4224) 《环境科学》征稿简则 (4318) 信息 (4080, 4173, 4290, 4301)	

春季黄渤海海水中尿素分布特征及溶解态氮的组成

李志林^{1,2}, 石晓勇^{1,2,3}, 张传松^{1,2*}

(1. 中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266100; 2. 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; 3. 国家海洋局海洋减灾中心, 北京 100194)

摘要: 2014年4~5月对黄渤海海域进行了一次大面现场调查, 分别采用二乙酰-肟-盐酸氨基脲法和分光光度法测定了调查水样中尿素及各形态氮的浓度, 分析了该海域尿素的浓度状况、分布特征以及溶解态氮的基本组成, 并分析了该海域尿素的主要影响因素。结果表明, 春季黄渤海海域尿素的浓度范围是 $0.21 \sim 2.17 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均浓度为 $(0.84 \pm 0.20) \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。各调查海区中, 北黄海海域尿素平均浓度最高, 南黄海浓度最低。同时结果表明尿素是调查海域中溶解有机氮(DON)的重要组成部分, 占DON的7.90%。在黄海海域尿素浓度由近岸到远海逐渐降低, 高值区主要位于大连、青岛等人口密度较高且离岸较近城市的外海海域。渤海海域尿素浓度呈现由近岸到远海依次增加的趋势, 说明河流输入不是渤海尿素的主要来源, 同时也可能存在着河口附近泥沙对有机氮的吸附作用。

关键词: 氮; 尿素; 分布; 渤海; 黄海

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)11-3999-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.11.008

Distribution Characteristics of Urea and Constitution of Dissolved Nitrogen in the Bohai Sea and the Huanghai Sea in Spring

LI Zhi-lin^{1,2}, SHI Xiao-yong^{1,2,3}, ZHANG Chuang-song^{1,2*}

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. National Marine Hazard Mitigation Service, Beijing 100194, China)

Abstract: Based on the investigation of the Huanghai Sea and the Bohai Sea in Spring (April to May) of 2014, the concentrations of urea and inorganic nitrogen were determined respectively by diacetyl monoxime-Semicarbazide Hydrochloride method and Spectrophotometric method. The distribution of urea and the component of dissolved nitrogen were analyzed. The influencing factors of urea were also discussed. The results showed that the concentration of urea in the Bohai sea and the Huanghai sea ranged from $0.21 \sim 2.17 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, and the average concentration was $(0.84 \pm 0.20) \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Urea was an important component of the dissolved organic nitrogen (DON) and accounted for 7.90% of DON. In the investigated area, the average concentration of urea in the north Huanghai sea was the highest, and that in the south Huanghai sea was the lowest. The concentration of urea in the Huanghai sea gradually reduced from inshore to offshore. The areas with high concentrations of urea were near the coastal cities like Qingdao and Dalian where have high population density. The concentration of urea in Bohai sea gradually increased from inshore to offshore, this result indicated that the river input was not the primary source and this might be caused by adsorption of colloid flocculation.

Key words: nitrogen; urea; distribution; Bohai Sea; Huanghai Sea

氮是构成海洋生态系统的重要元素之一, 是海洋生物维持生命活动不可缺少的元素。海洋中的含氮物质种类繁多, 目前对无机氮在海洋中作用的认识已经比较充分。溶解有机氮作为氮元素在海洋中的另一种重要的存在形式, 在控制海洋生态系统结构功能、物种组成等方面表现出的作用近年来也逐渐被发现, 全球海洋学者们开始加强了对海洋中溶解有机氮的研究。

海洋中溶解有机氮的来源非常复杂, 而尿素作为海洋中溶解有机氮的重要组成部分, 其来源主要可以分为外源输入和海洋自身的生物化学过程。人类活动产生的工业废水废物、生活污水向海洋输入越来越多的尿素, 同时随着对粮食需

求的增加, 尿素作为农业化肥的使用量剧增^[1], 这也成为海洋中尿素的重要来源。进入海洋的尿素一部分直接溶解在海洋中或者被藻类等浮游植物吸收利用储存在生物体内, 还有一部分以含氮有机物的形式沉积在海洋底部。沉积在海洋底部的含氮有机物会通过再悬浮作用重新进入海水, 从而释放尿素^[2]。

近年来, 随着我国尿素使用量的增加, 近海富营养化程度加深, 海水中的有机氮浓度明显增加。例

收稿日期: 2015-04-24; 修订日期: 2015-06-23

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB428701)

作者简介: 李志林(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为海洋污染生态化学与海水分析化学, E-mail: lzloveh@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zcsong@ouc.edu.cn

如大亚湾^[3]溶解有机氮占总氮的比例为 62%, 在胶州湾^[4]其比例为 66%, 在珠江口^[5]这个比例甚至超过了 80%。目前一些研究结果表明, 进入海洋的尿素可以促进浮游植物包括一些容易发生水华的微藻的生长^[6~13], 对赤潮的发生有着重要影响^[14,15]。一些赤潮藻更偏好于吸收尿素作为其营养来源, 如球形棕囊藻、角毛藻^[16~18]以及甲藻等^[19]。随着近海水体中尿素浓度的不断增加, 尿素对近岸海域浮游生物群落的影响已不容忽视^[20]。目前对海洋中溶解无机氮的时空分布及其与生态效应的研究已经非常广泛和深入, 但对溶解有机氮尤其是尿素的研究很少, 到目前为止, 有关黄渤海海域尿素的浓度及分布状况尚未见报道。

本研究就 2014 年春季对黄渤海海域大范围的调查, 分析了该海域尿素的浓度状况及分布特征, 并对尿素的来源进行了初步探讨, 以期为深入研究我国近海的氮循环提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 站位及取样

2014 年 4 月 28 日至 5 月 18 日, 通过“东方红 2”在黄海、渤海海域进行了大面积调查(如图 1)。调查区域为 31°~40°N, 118°~125°E。使用 Niskin 采水器分别采集表、中、底层水样, 水样经 GF/F (Whatman, 450℃ 烧灼 4 h) 滤膜过滤。过滤的水样一部分用于现场测定无机氮等数据, 部分置于 -20℃ 的冰柜冷冻保存, 用于陆地实验室测定尿素和溶解有机氮等数据。

1.2 样品的测定

尿素的测定采用二乙酰一肟-盐酸氨基脲法^[21]。溶解无机氮的测定依据海洋调查规范之海水化学要素调查(GB / T 12763.4-2007)分光光度法现场测定, 其中氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)的测定采用次溴酸钠氧化法, 检出限为 $0.03 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 硝酸盐

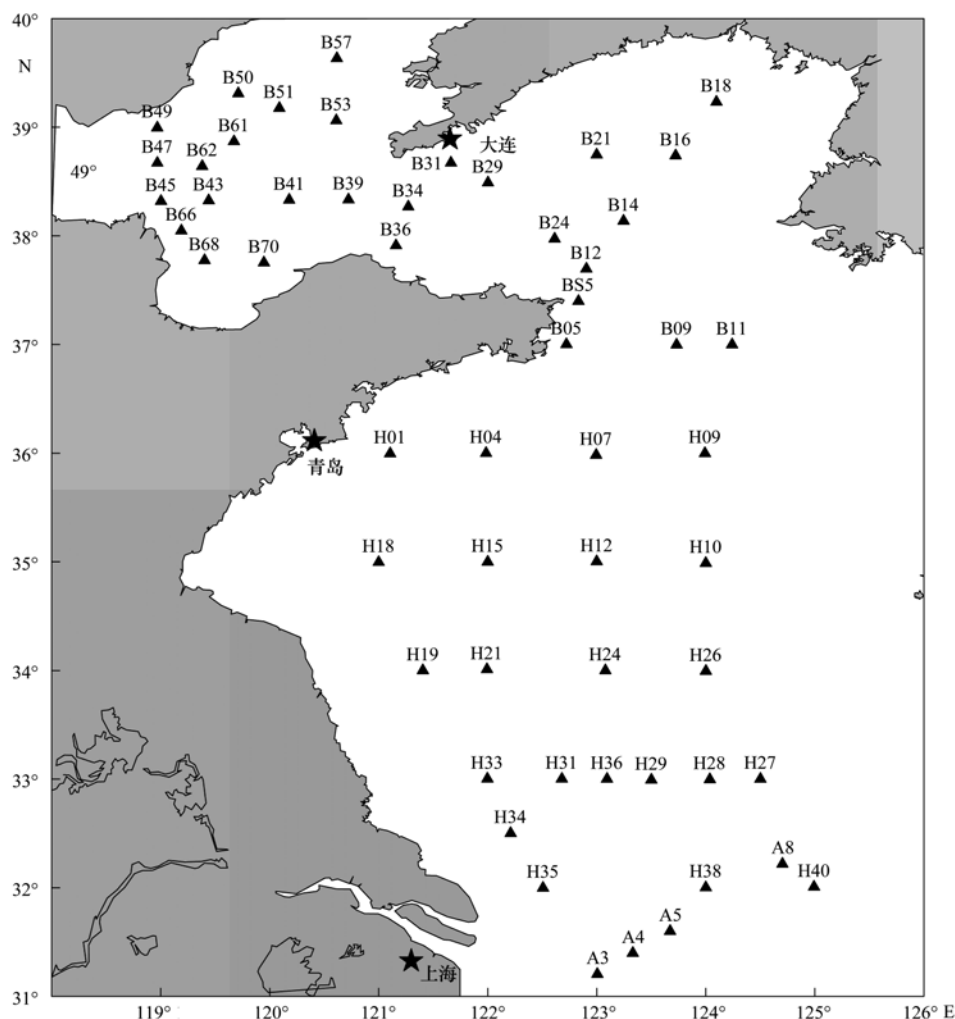


图 1 调查海域及站位布设示意

Fig. 1 Surveyed sea area and sampling stations

(NO_3^- -N)的测定使用镉铜还原法,检出限为 $0.04 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,亚硝酸盐(NO_2^- -N)的测定使用重氮偶氮比色法,检出限为 $0.02 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. 总溶解氮(DTN)采用碱性过硫酸钾消化,TechniconAA III 营养盐自动分析仪测定,测量精度为 92%. 消化过程中以 $\text{EDTA}^{[22]}$ 作为有机氮标准,回收率为 90%. 根据上述测量结果,按下式计算溶解有机氮的浓度, $\text{DON} = \text{DTN} - \text{DIN}$,其中 $\text{DIN} = \text{NH}_4^+ - \text{N} + \text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NO}_2^- - \text{N}$.

2 结果与讨论

2.1 调查海域尿素浓度状况

表 1 为 2014 年春季黄渤海各海域中不同形态氮的平均浓度及变化范围.

整体上来看,本次调查海域尿素的浓度范围为 $0.21 \sim 2.17 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,平均浓度为 $(0.84 \pm 0.20) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. 该调查结果低于 2010 年春季杭州湾邻近海域尿素浓度 $(1.14 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})^{[23]}$,低于 2011 年春季海南岛近岸海湾尿素浓度 $2.07 \sim 3.30 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}[24]$,同时也明显低于 2008 年大亚湾海域尿素浓度 $(2.01 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})^{[25]}$. 该平均浓度低于其它海域的调查结果主要是由于本次调查海域范围较大、离陆地较远、受陆源输入的影响较小. 同时浮游植物的摄取、浮游动物的排泄以及死亡后的腐解释放等复杂的生物因素也会导致不同海域尿素的浓度产生差异^[6~12].

为了更好地分析研究海域的尿素状况,将研究海域划分为渤海、北黄海和南黄海这 3 个研究海域. 表 1 数据表明,3 个调查海域尿素的平均浓度存在明显差异: 其中北黄海尿素浓度最大,渤海次之,南黄海尿素浓度最小. 大连、威海、烟台等北黄海沿岸城市工业及水产养殖业都比较发达,生活污水、工农业废水以及海水养殖向河流海洋中排放了大量的尿素等营养盐,这可能是造成北黄海尿素浓度偏高的重要原因.

在垂直方向上,调查海域总体上尿素浓度垂直变化不大,其中中层尿素浓度为 $(0.86 \pm 0.21) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,略高于表层 $(0.81 \pm 0.21) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和底层 $(0.81 \pm 0.17) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. 此外,三海域尿素浓度在垂直方向上的情况存在差异. 其中北黄海和南黄海海域尿素浓度在垂直方向上表现为中层浓度高于表层和底层. 具体而言,北黄海中层尿素浓度为 $(1.25 \pm 0.15) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,表层和底层浓度分别为 $(1.23 \pm 0.25) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $(1.05 \pm 0.10) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,南黄海中层尿素浓度为 $(0.65 \pm 0.18) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,表层和底层浓度分别为 $(0.58 \pm 0.11) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $(0.62 \pm 0.14) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. 渤海海域尿素浓度在垂直方向上的表现与黄海不同,表现为从表层到底层依次增加的趋势. 导致这种变化趋势的因素可能是表层浮游植物的摄取^[6,7],以及底层沉积物的释放^[26,27].

表 1 黄渤海调查海域各种形态氮的浓度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 1 Concentrations of different forms of nitrogen in the Bohai Sea and the Huanghai Sea/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$									
海区	项目	表层		中层		底层		整个海域	
		平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围
渤海	尿素	0.91 ± 0.17	$0.51 \sim 1.89$	0.96 ± 0.20	$0.43 \sim 1.93$	0.97 ± 0.15	$0.54 \sim 1.53$	0.96 ± 0.18	$0.43 \sim 1.93$
	NO_3^-	8.78 ± 8.44	$0.75 \sim 25.50$	8.59 ± 8.45	$0.73 \sim 23.53$	8.28 ± 8.31	$0.96 \sim 22.78$	8.38 ± 8.12	$0.73 \sim 25.50$
	NO_2^-	0.19 ± 0.17	$0.03 \sim 0.60$	0.18 ± 0.16	$0.02 \sim 0.51$	0.18 ± 0.15	$0.02 \sim 0.54$	0.18 ± 0.16	$0.02 \sim 0.60$
	NH_4^+	1.01 ± 0.85	$0.09 \sim 3.50$	1.12 ± 0.85	$0.04 \sim 3.33$	1.68 ± 1.98	$0.14 \sim 8.75$	1.40 ± 1.48	$0.04 \sim 8.75$
	DON	14.47 ± 2.61	$11.49 \sim 19.79$	14.71 ± 3.86	$9.23 \sim 23.37$	14.20 ± 3.94	$4.29 \sim 20.58$	14.34 ± 3.49	$4.29 \sim 23.37$
北黄海	尿素	1.23 ± 0.25	$0.59 \sim 2.17$	1.25 ± 0.15	$0.76 \sim 1.87$	1.05 ± 0.10	$0.72 \sim 1.32$	1.17 ± 0.17	$0.59 \sim 2.17$
	NO_3^-	0.33 ± 0.67	$0.05 \sim 2.16$	2.38 ± 2.05	$0.05 \sim 6.37$	2.87 ± 2.21	$0.05 \sim 6.68$	2.75 ± 1.98	$0.05 \sim 6.68$
	NO_2^-	0.06 ± 0.03	$0.02 \sim 0.09$	0.07 ± 0.05	$0.02 \sim 0.20$	0.03 ± 0.02	$0.02 \sim 0.07$	0.05 ± 0.04	$0.02 \sim 0.20$
	NH_4^+	1.52 ± 0.71	$0.21 \sim 2.34$	1.44 ± 1.06	$0.05 \sim 3.72$	1.44 ± 0.58	$0.56 \sim 2.30$	1.47 ± 0.79	$0.05 \sim 3.72$
	DON	10.98 ± 2.21	$8.49 \sim 16.45$	11.99 ± 1.81	$9.86 \sim 15.56$	13.93 ± 4.41	$9.53 \sim 20.26$	12.04 ± 3.31	$6.93 \sim 20.26$
南黄海	尿素	0.58 ± 0.11	$0.33 \sim 1.37$	0.65 ± 0.180	$0.29 \sim 1.77$	0.62 ± 0.14	$0.21 \sim 1.34$	0.63 ± 0.16	$0.21 \sim 1.77$
	NO_3^-	4.01 ± 0.14	$0.05 \sim 16.64$	1.45 ± 2.16	$0.05 \sim 16.11$	6.01 ± 3.35	$0.05 \sim 14.37$	4.68 ± 3.86	$0.05 \sim 16.64$
	NO_2^-	0.16 ± 0.13	$0.02 \sim 0.46$	1.38 ± 1.99	$0.08 \sim 0.41$	2.91 ± 4.04	$0.02 \sim 0.47$	0.16 ± 0.12	$0.02 \sim 0.47$
	NH_4^+	0.19 ± 0.10	$0.02 \sim 8.33$	1.35 ± 1.82	$0.05 \sim 7.47$	5.02 ± 3.63	$0.05 \sim 8.88$	1.38 ± 1.97	$0.05 \sim 8.88$
	DON	8.81 ± 2.80	$3.84 \sim 18.75$	8.71 ± 2.69	$4.31 \sim 16.69$	9.10 ± 1.84	$6.60 \sim 14.69$	8.42 ± 2.64	$0.35 \sim 18.75$
全部	尿素	0.81 ± 0.21	$0.33 \sim 2.17$	0.89 ± 0.21	$0.36 \sim 1.93$	0.81 ± 0.17	$0.21 \sim 1.53$	0.84 ± 0.20	$0.21 \sim 2.17$
	NO_3^-	4.28 ± 6.32	$0.02 \sim 25.50$	5.70 ± 5.78	$0.05 \sim 23.53$	6.19 ± 5.44	$0.05 \sim 22.78$	4.82 ± 5.00	$0.05 \sim 25.50$
	NO_2^-	0.15 ± 0.14	$0.02 \sim 0.60$	0.16 ± 0.13	$0.02 \sim 0.51$	0.13 ± 0.14	$0.02 \sim 0.54$	0.14 ± 0.16	$0.02 \sim 0.60$
	NH_4^+	1.30 ± 1.56	$0.02 \sim 8.33$	1.32 ± 1.47	$0.04 \sim 7.47$	1.50 ± 1.89	$0.05 \sim 8.88$	1.40 ± 1.23	$0.02 \sim 9.62$
	DON	11.08 ± 3.01	$3.84 \sim 19.79$	11.33 ± 3.98	$4.31 \sim 23.37$	11.79 ± 4.07	$4.29 \sim 20.58$	10.86 ± 3.90	$0.35 \sim 23.37$

2.2 调查海域氮的组成

从图2可以看出, DON 是海水中氮的一种主要组成部分. 在本次调查海域中, DON 的浓度占 DTN 的 63% (摩尔分数, 下同), 高于 DIN 所占比例, 在北黄海海域这个比例甚至达到了 74%, 即使在 DON 浓度最小的南黄海海域, 其比例也达到了 57%, 都超过了 DIN 的比例. 该调查结果与我国其它海域的调查结果相比, 高于长江口海域的 DON/DTN (长江口 3 月 DON/DTN 为 32.3%, 5 月 DON/DTN 为 52.8%)^[3], 低于大亚湾海域的 DON/DTN (83%)^[2].

同时, 由图3可知, 尿素是 DON 的重要组成部分

分. 在本次调查海域中尿素占 DON 的 7.90%, 其中北黄海尿素比例最高, 占 DON 的 9.50%, 渤海海域尿素比例最低, 占 DON 的 6.80%, 由于溶解有机氮的组成非常复杂, 种类繁多, 而且浓度均较低, 其中生物可利用的小分子有机氮更低, 尿素作为一种可以被生物利用的氮源, 在有机氮中占了很高的比重.

此外, 对于溶解无机氮, 硝酸盐所占比例最高, 占 DIN 的 75.70%, 亚硝酸盐比例最少, 和我国其他研究海区类似^[2~5]. 不同海域无机氮组成存在差异, 但都表现为硝酸盐比例最大, 亚硝酸盐比例最小.

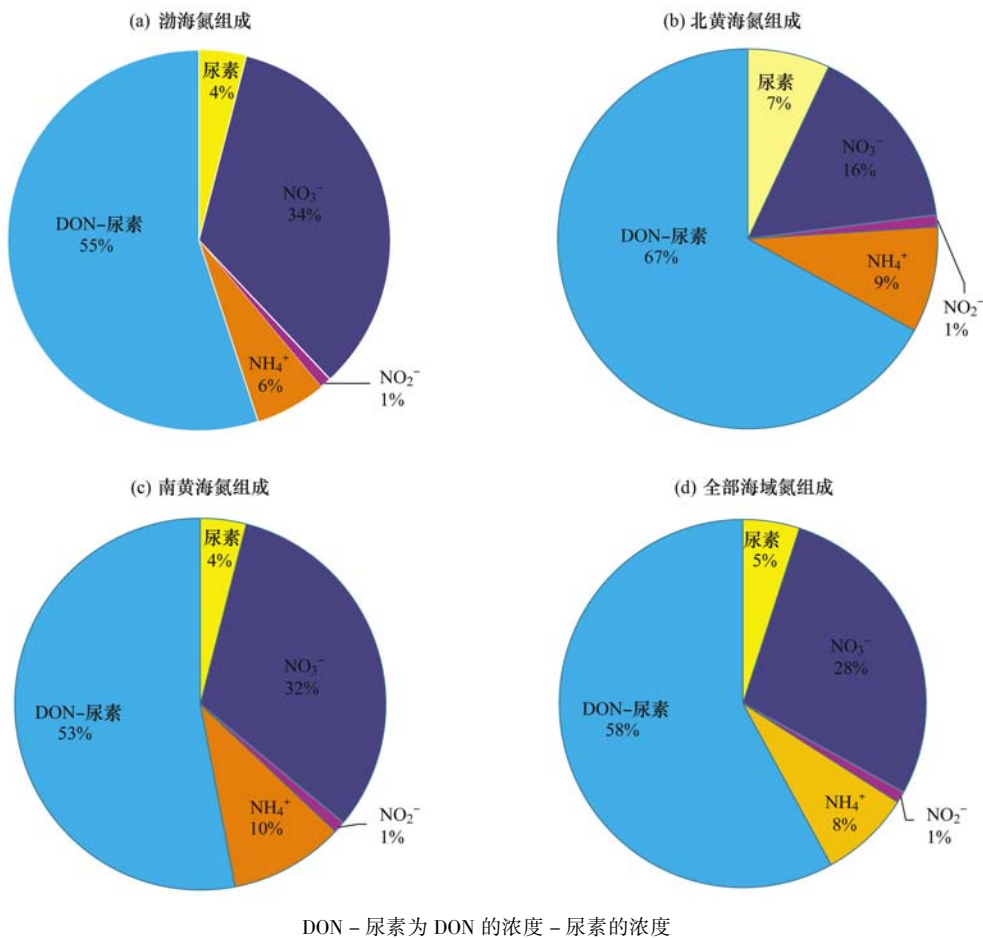


图2 调查海域氮的组成

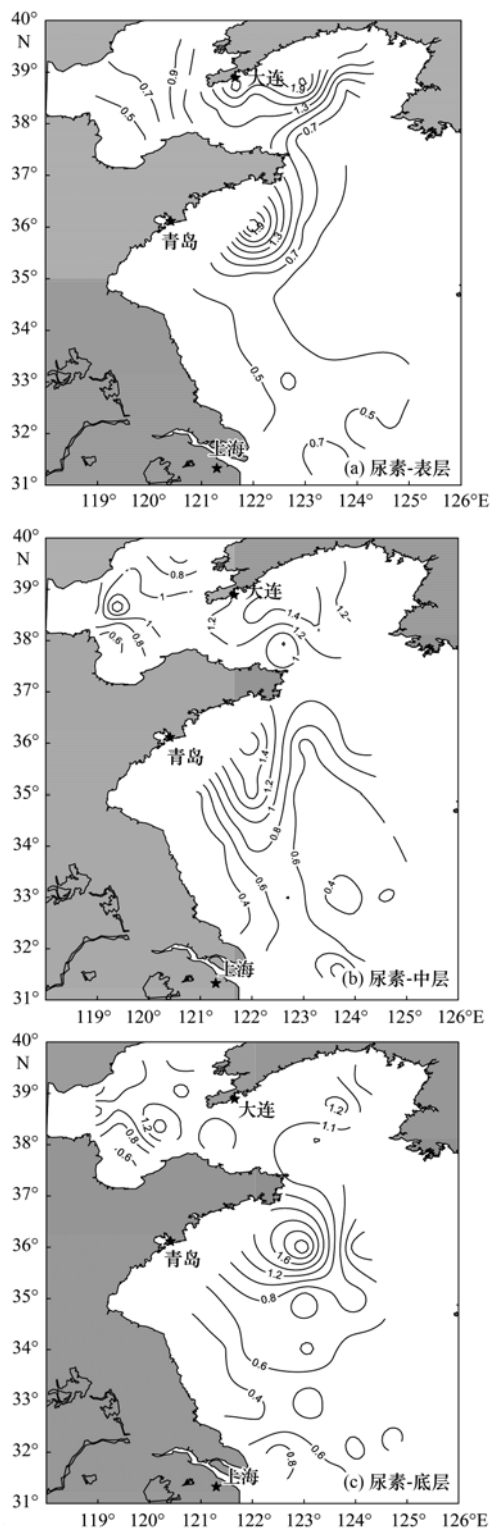
Fig. 2 Constitution of nitrogen in the surveyed sea area

2.3 尿素的平面分布特征

调查海域尿素表、中、底层的平面分布图如图3所示. 从中可以看出, 调查海域表、中、底三层尿素的平面分布非常相似, 在渤海海域尿素浓度在整体上由近岸到远海逐渐升高, 说明河流输入不是渤海尿素的主要来源, 同时可能也存在着黄河泥沙对尿素等有机氮的吸附^[28]. 而在黄海海域, 尿素浓度在整体上由近岸到远海逐渐降低, 可能是由于人类

的活动以及河流的输入.

具体来说, 调查海域表层水体中尿素浓度在近岸区有两个显著的高值区, 其一位于辽宁半岛南部, 高值中心位于大连海域的东南侧, 中心尿素浓度高达 $2.17 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. 高值中心附近等值线较为密集, 尿素浓度由高值中心向南和东南部外海海域扩散并逐渐降低, 至南北黄海分界线时尿素浓度降低至 $0.50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下. 第二个尿素高值区位于山东



单位: $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

图3 调查海域尿素的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of urea in the surveyed sea area

半岛南部,高值中心位于青岛海域的东侧,高值中心的尿素浓度为 $2.10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,等值线数值由高值中心向远离陆地的东南外海方向迅速降低,至南黄

海中央海区时尿素浓度降低至 $0.50 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

中层尿素浓度的分布与表层非常相似,高值区位置基本不变,只是其高值中心尿素浓度数值有所下降,但高浓度的等值线扩展范围有所加大.譬如,辽宁半岛南部海域的尿素高值区,高值中心浓度降为 $1.60 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,尿素浓度等值线同样由辽宁半岛近岸向南到远离陆地的海域逐渐降低,至南北黄海分界线时尿素浓度仅仅降低至 $1.00 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.同时,青岛外海海域的尿素高值区,高值中心点的尿素浓度是 $1.70 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,其等值线向东南中心海区方向逐渐降低,到南黄海中央海区时,尿素浓度降至 $0.60 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,中心海区浓度降低至 $0.40 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下.此外,渤海海域尿素浓度等值线的数值也有了一定程度的上升.

底层水域在南黄海出现尿素浓度高值区,高值点浓度为 $2.20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,高值点附近变化趋势与表层中层相似,到南黄海中部海域时,浓度降至 $0.40 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.在辽宁半岛南部附近海域没有呈现出明显的浓度梯度.底层尿素分布特征较表层和中层存在明显差异,可能是由于底层尿素难于受到外源输入的直接影响,但是会受到海洋生物自身对营养物质的吸收释放以及其它复杂的营养盐形态转化等化学过程的影响.

3 结论

(1)春季黄海渤海海域尿素的浓度范围是 $0.21 \sim 2.17 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,平均浓度为 $(0.84 \pm 0.20) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,占溶解有机氮的 7.90% .

(2)垂直方向上调查海域尿素浓度整体变化不大,黄海海域中层尿素浓度大于表层和底层,渤海海域尿素浓度从表层到底层依次降低.

(3)黄海海域尿素浓度在整体上由近岸到远海逐渐降低,高值区主要位于人口密度较高而且近岸的大连和青岛外海海域,主要是受人类活动及河流输入的影响.黄河口附近海域尿素浓度由近岸到远海依次增加,可能是由于海水的胶体絮凝过程的吸附作用.

参考文献:

- [1] 韩晓霞,朱广伟,许海,等.太湖夏季水体中尿素的来源探析[J].环境科学,2014,35(7):2547-2556.
- [2] 陈朱虹,陈能汪,吴殷琪,等.河流库区沉积物-水界面营养盐及气态氮的释放过程和通量[J].环境科学,2014,35(9):3325-3335.
- [3] 郑爱榕,沈海维,刘景欣,等.大亚湾海域低营养盐维持高生产力的机制探讨 I [J].海洋科学,2001,25(11):48-52.

- [4] 赵夕旦, 祝陈坚, 举鹏, 等. 胶州湾东部海水中氮的含量和分布[J]. 海洋科学, 1998, **12**(1): 40-44.
- [5] 王先伟, 温伟英, 刘翠梅. 珠江口及附近海域夏季氮的化学形式分布研究[J]. 海洋科学, 2003, **27**(4): 49-53.
- [6] Furnas M J. Nitrogen dynamics in lower Narragansett Bay, Rhode Island. I. Uptake by size-fractionated phytoplankton populations [J]. Journal Plankton Research, 1983, **5**(5): 657-676.
- [7] Harrison W G, Head E J H, Conover R J, *et al.* The distribution and metabolism of urea in the eastern Canadian Arctic[J]. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 1985, **32**(1): 23-42.
- [8] 黄凯旋, 张云, 欧林坚, 等. 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性[J]. 生态学报, 2013, **33**(15): 4575-4582.
- [9] Varela D E, Harrison P J. Seasonal variability in nitrogenous nutrition of phytoplankton assemblages in the northeastern subarctic Pacific Ocean[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 1999, **46**(11-12): 2505-2538.
- [10] Chang F H, Bradford-Grieve J M, Vincent W F, *et al.* Nitrogen uptake by summer size-fractionated phytoplankton assemblages in the Westland, New Zealand, upwelling system[J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1995, **29**(2): 147-161.
- [11] Hansell D A, Carlson C A. Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter [M]. Amsterdam Boston: Academic Press, 2002. 153-247.
- [12] Solomon C M, Collier J L, Berg G M, *et al.* Role of urea in microbial metabolism in aquatic systems: a biochemical and molecular review[J]. Aquatic Microbial Ecology, 2010, **59**(1): 67-88.
- [13] 张青田, 胡桂坤, 董双林. 尿素对三种海洋微藻生长影响的初步研究[J]. 海洋通报, 2004, **23**(5): 92-96.
- [14] 徐立, 吴瑜端. 有机氮化合物对海洋浮游植物生长的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1995, **34**(5): 824-828.
- [15] 隋健, 韦桂峰, 范春雷, 等. 海水养殖区溶解有机氮对有害藻水华的作用[J]. 海洋环境科学, 2007, **26**(4): 321-324.
- [16] 胡章喜, 徐宁, 段舜山. 不同氮源对4种海洋微藻生长的影响[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(10): 2452-2457.
- [17] 江兴龙, 宋立荣. 泉州湾赤潮藻类优势种演替影响因子探讨[J]. 海洋与湖沼, 2009, **40**(6): 761-767.
- [18] 陈炳章, 朱明远, 王宗灵, 等. 赤潮藻类的适应与竞争策略[J]. 海洋环境科学, 2005, **24**(1): 70-75.
- [19] Berg G M, Glibert P M, Lomas M A, *et al.* Organic nitrogen uptake and growth by the chrysophyte *Aureococcus anophagefferens* during a brown tide event [J]. Marine Biology, 1997, **129**(2): 377-387.
- [20] 张云, 欧林坚. 长江口近岸海域尿素的分布及其可利用性研究[A]. 见: 中国藻类学会第八次会员代表大会暨第十六次学术讨论会论文摘要集[C]. 青岛: 中国海洋湖沼学会, 2011. 249.
- [21] 侯继灵. 不同氮源和铁对浮游植物生长影响的围隔实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [22] Grasshoff K, Kremling K, Ehrhardt M. Methods of seawater analysis (3rd ed.) [M]. New York: Wiley Press, 1999. 203-223.
- [23] 黄爽, 石晓勇, 张传松, 等. 2010年春季杭州湾邻近海域尿素含量及平面分布[J]. 海洋环境科学, 2012, **31**(1): 58-61.
- [24] 张云. 不同类群代表性浮游植物对尿素的生理生态响应[D]. 广州: 暨南大学, 2013.
- [25] 赖海燕, 徐宁, 段舜山. 大亚湾裸甲藻种群动态及其关键调控因子[J]. 生态环境学报, 2011, **20**(3): 505-510.
- [26] 马红波, 宋金明, 吕晓霞, 等. 渤海沉积物中氮的形态及其在循环中的作用[J]. 地球化学, 2003, **32**(1): 48-54.
- [27] 孙娇, 袁德奎, 冯恒, 等. 沉积物-水界面营养盐交换通量的研究进展[J]. 海洋环境科学, 2012, **31**(6): 933-938.
- [28] 任素梅, 孙林枫. 黄河口海域有机氮的分布特征[J]. 海洋湖沼通报, 1988, (2): 87-91.

CONTENTS

Composition and Source Apportionments of Saccharides in Atmospheric Particulate Matter in Beijing	LIANG Lin-lin, Guenter Engling, DUAN Feng-kui, <i>et al.</i> (3935)
Comparing Cell Toxicity of <i>Schizosaccharomyces pombe</i> Exposure to Airborne PM _{2.5} from Beijing and Inert Particle SiO ₂	LIU Meng-jiao, HUANG Yi, WEN Hang, <i>et al.</i> (3943)
Analysis on Regional Characteristics of Air Quality Index and Weather Situation in Beijing and Its Surrounding Cities During the APEC ...	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, WANG Ning, <i>et al.</i> (3952)
Analysis About Spatial and Temporal Distribution of SO ₂ and An Ambient SO ₂ Pollution Process in Beijing During 2000-2014	CHENG Nian-liang, ZHANG Da-wei, LI Yun-ting, <i>et al.</i> (3961)
Characteristics and Formation Mechanism of a Multi-Day Haze in the Winter of Shijiazhuang Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer(SPAMS)	 ZHOU Jing-bo, REN Yi-bin, HONG Gang, <i>et al.</i> (3972)
Modeling Study of A Typical Summer Ozone Pollution Event over Yangtze River Delta	ZHANG Liang, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (3981)
Distribution of Regional Pollution and the Characteristics of Vertical Wind Field in the Pearl River Delta	LIU Jian, WU Dui, FAN Shao-jia (3989)
Distribution Characteristics of Urea and Constitution of Dissolved Nitrogen in the Bohai Sea and the Huanghai Sea in Spring	LI Zhi-lin, SHI Xiao-yong, ZHANG Chuang-song (3999)
Relationship Between Agricultural Land and Water Quality of Inflow River in Erhai Lake Basin	PANG Yan, XIANG Song, CHU Zhao-sheng, <i>et al.</i> (4005)
Input Characteristics and Pollution Assessment of Nutrients Pollution in the Primary Pollution Source of the Daliao River	MA Ying-qun, ZHANG Lei, ZHAO Yan-min, <i>et al.</i> (4013)
Temporal and Spatial Distribution of Nutrients in Daning River Sediments and Their Correlations with Chlorophyll in the Three Gorges Reservoir Area	 ZHANG Yong-sheng, LI Hai-ying, REN Jia-ying, <i>et al.</i> (4021)
Summer Greenhouse Gases Exchange Flux across Water-air Interface in Three Water Reservoirs Located in Different Geologic Setting in Guangxi, China	 LI Jian-hong, PU Jun-bing, SUN Ping-an, <i>et al.</i> (4032)
Distribution of Redox Zone at Different Water Layers in the Presence of Periphyton and the Responsible Microorganisms	WANG Feng-wu, LIU Wei, WAN Juan-juan, <i>et al.</i> (4043)
Distribution Characteristics and Source of Fluoride in Groundwater in Lower Plain Area of North China Plain: A Case Study in Nanpi County	 KONG Xiao-le, WANG Shi-qin, ZHAO Huan, <i>et al.</i> (4051)
Distribution Characteristics of Fluoroquinolones Antibiotics in Surface Water and Groundwater from Typical Areas in A City	CUI Ya-feng, HE Jiang-tao, SU Shi-hui, <i>et al.</i> (4060)
Distribution of Aerobic Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Sediments from Adjacent Waters of Rushan Bay	HE Hui, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (4068)
Sources, Migration and Conversion of Dissolved Sterols in Qingmuguan Underground River	LIANG Zuo-bing, SHEN Li-cheng, SUN Yu-chuan, <i>et al.</i> (4074)
Water-Sediment Partition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Karst Underground River	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, XIAO Shi-zhen (4081)
Variation Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Karst Subterranean River During Rainfall Events	JIANG Ze-li, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (4088)
Distribution and Transportation Characteristics of Heavy Metals in Nanshan Laolongdong Subterranean River System and Its Capacity of Self-Purification in Chongqing	 REN Kun, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i> (4095)
Distribution of Mercury in Plants at Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	LIANG Li, WANG Yong-min, LI Xian-yuan, <i>et al.</i> (4103)
Development of Sediment Micro-Interface Under Physical and <i>Chironomus plumosus</i> Combination Disturbance	WANG Ren, LI Da-peng, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4112)
Norfloxacin Solution Degradation Under Ultrasound, Potassium Persulfate Collaborative System	WEI Hong, SHI Jing-zhuan, LI Jia-lin, <i>et al.</i> (4121)
Degradation of Acid Orange 7 with Persulfate Activated by Silver Loaded Granular Activated Carbon	WANG Zhong-ming, HUANG Tian-yin, CHEN Jia-bin, <i>et al.</i> (4127)
Kinetics and Reactive Species Analysis of Dimetridazole Degradation by TiO ₂	CHEN Dong-mei, YU Ze-bin, SUN Lei, <i>et al.</i> (4135)
Performance and Mechanism of Ferric Tannate in the Removal of Inorganic Nitrogen from Wastewater	ZHANG Rui-na, LI Lin, LIU Jun-xin (4141)
Performance of an Intermittent Aeration Membrane Bioreactor for Removal of Veterinary Antibiotics from Piggery Wastewater	DING Jia-li, LIU Rui, ZHENG Wei, <i>et al.</i> (4148)
Advanced Treatment of Incineration Leachate with O ₃ -BAC and Double O ₃ -BAC	DU An-jing, FAN Ju-hong, LIU Rui, <i>et al.</i> (4154)
Effects of Hydraulic Retention Time and Dissolved Oxygen on a CANON Reactor with Haydite as Carrier	WANG Hui-fang, FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i> (4161)
Inhibiting Form of Ammonium to AOB and Inhibiting Rule	CUI Jian-hong, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4168)
Nitrogen Removal Using ANAMMOX and Denitrification for Treatment of Municipal Sewage	ZHANG Shi-ying, WU Peng, SONG Yin-ling, <i>et al.</i> (4174)
Rapid Start-up of Simultaneous Nitrification and Denitrification Coupled Phosphorus Removal Process and Its Performing Characteristics	LENG Lu, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (4180)
Effect of HCO ₃ ⁻ on Nitrogen Removal Efficiency in Partial Nitritation-ANAMMOX Process	LI Xiang, CHENG Zong-heng, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4189)
Research on Cultivation and Stability of Nitritation Granular Sludge in Integrated ABR-CSTR Reactor	WU Kai-cheng, WU Peng, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (4195)
Influence of the Application of Activated Persulfate on Municipal Sludge Conditioning	XU Xin, PU Wen-hong, SHI Ya-fei, <i>et al.</i> (4202)
Influence of Temperature on the Anaerobic Packed Bed Reactor Performance and Methanogenic Community	XIE Hai-ying, WANG Xin, LI Mu-yuan, <i>et al.</i> (4208)
Research on the Screening Method of Soil Remediation Technology at Contaminated Sites and Its Application	BAI Li-ping, LUO Yun, LIU Li, <i>et al.</i> (4218)
Comprehensive Risk Assessment of Soil Heavy Metals Based on Monte Carlo Simulation and Case Study	YANG Yang, DAI Dan, CAI Yi-min, <i>et al.</i> (4225)
Heavy Metals Pollution in Topsoil from Dagang Industry Area and Its Ecological Risk Assessment	ZHANG Qian, CHEN Zong-juan, PENG Chang-sheng, <i>et al.</i> (4232)
Effects of Land Use Type on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen in Water-Stable Aggregates in Jinyun Mountain	LI Zeng-quan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (4241)
Influence of Different Straws Returning with Landfill on Soil Microbial Community Structure Under Dry and Water Farming	LAN Mu-ling, GAO Ming (4252)
Carbon Source Utilization Characteristics of Soil Microbial Community for Apple Orchard with Interplanting Herbage	DU Yi-fei, FANG Kai-kai, WANG Zhi-kang, <i>et al.</i> (4260)
Effects of Different Kinds of Organic Materials on Soil Heavy Metal Phytoremediation Efficiency by <i>Sedum alfredii</i> Hance	YAO Gui-hua, XU Hai-zhou, ZHU Lin-gang, <i>et al.</i> (4268)
<i>In-situ</i> Study on Effects of Combined Amendment on Translocation Control of Pb and Cd in Soil-Vegetable System	ZHU Wei, LIU Li, WU Yan-ming, <i>et al.</i> (4277)
Effects of Rice Cultivar and Typical Soil Improvement Measures on the Uptake of Cd in Rice Grains	WANG Mei-e, PENG Chi, CHEN Wei-ping (4283)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of PAHs in Water and Fishes from Daqing Lakes	WANG Xiao-di, ZANG Shu-ying, ZHANG Yu-hong, <i>et al.</i> (4291)
Depth Profiles of Methane Oxidation Kinetics and the Related Methanotrophic Community in a Simulated Landfill Cover	XING Zhi-lin, ZHAO Tian-tao, GAO Yan-hui, <i>et al.</i> (4302)
Enhanced Performance of Rolled Membrane Electrode Assembly by Adding Cation Exchange Resin to Anode in Microbial Fuel Cells	MEI Zhuo, ZHANG Zhe, WANG Xin (4311)
Development of a Monoclonal Antibody-Based Sensor for Environmental Pyrene and Benzo(a)pyrene Detection	LI Xin, QIAO Yan, ZHONG Guo-zhen (4319)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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11月15日 第36卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 11 Nov. 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