

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

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

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究 吴起鑫, 韩贵琳 (2145)

成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建 岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)

太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析 饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)

环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征 徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)

南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布 张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)

青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征 刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)

城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性 邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)

基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算 陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)

浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究 高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)

福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析 李雪丁 (2210)

HSPF 水文水质模型应用研究综述 李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)

城市降雨径流模拟的参数不确定性分析 黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)

利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度 姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)

嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定 谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)

重庆市盘溪河水质不同季节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, 张烨 (2251)

南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究 郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)

宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)

影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析 丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)

大型底栖动物生物评价指数比较与应用 耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)

青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征 王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郑伟 (2288)

青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征 郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)

用物理-生态集成技术局部控制富营养化 李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)

太湖氮素出入湖通量与自净能力研究 陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)

富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应 袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)

巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究 温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)

南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究 方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)

东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究 林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)

嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征 蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)

电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源 王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)

基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究 李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)

渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响 秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)

崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价 李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)

白洋淀底泥重金属形态及竖向分布 李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)

西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究 刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)

氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制 刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)

Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性 张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)

声电氧化处理扑热息痛的研究 戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)

粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究 白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)

利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究 张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)

Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究 王小蓉, 吴平霄 (2432)

核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究 武国正, 徐宗学 (2438)

A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究 翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)

系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究 蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)

氧化还原介体催化强化 *Paracoccus versutus* 菌株 GW1 反硝化特性研究 李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)

1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析 刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)

蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化 秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)

双季稻田 CH₄ 和 N₂O 排放特征及品种筛选研究 傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄璜 (2475)

闽江河口短叶茳芰湿地 CH₄ 和 N₂O 排放对氮输入的短期响应 牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)

青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征 彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)

不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律 吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)

土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响 吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)

多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应 潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)

不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究 梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)

废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究 伊元荣, 韩敏芳 (2522)

中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析 卢愿清, 史军 (2528)

《环境科学》征稿简则(2431) 《环境科学》征订启事(2532) 信息(2157, 2271, 2367, 2418)

浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究

高嵩^{1,2}, 石晓勇^{1,2*}, 王婷^{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)

摘要: 根据2010年3~6月5个航次对苏北近岸浒苔绿潮暴发区海域进行的调查数据,研究了该海域营养盐的浓度变化和分布特征. 结果表明,受陆地径流和苏北沿岸流的影响,调查海区为营养盐高值区,为绿潮暴发提供了一定基础. 溶解性无机氮(DIN)、磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)和硅酸盐($\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$)最高浓度分别为23.04、0.55和15.85 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,春季浮游植物生命活动旺盛和浒苔绿潮对营养盐的吸收导致从第一至第五航次硝酸盐($\text{NO}_3^-\text{-N}$)、磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)、硅酸盐($\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$)和溶解性无机氮(DIN)整体呈下降趋势. 此外,水体中N/P与浮游生物体中N/P越接近越有利于浮游生物生长. 第四和第五航次的N/P比值比较有利于浒苔的生长. 各航次营养盐的分布特征均表现为近岸高,远岸低的趋势.

关键词: 浒苔; 绿潮; 营养盐; 分布特征; 溶解性无机氮

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2204-06

Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by *Enteromorpha prolifera*

GAO Song^{1,2}, SHI Xiao-yong^{1,2}, WANG Ting^{1,2}

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

Abstract: Based on the investigation of the inshore coastal area of northern Jiangsu province with occurrence of green tide caused by *Enteromorpha prolifera*, which was performed in five voyages during March to June 2010, the variation of nutrient concentrations and its distribution characteristics were studied in this paper. The results showed that the concentrations of nutrients were relatively high in this region due to the terrestrial runoff and northern Jiangsu coastal current, which contributed to the outbreak of green tide. The highest concentrations of dissolved inorganic N (DIN), $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ and $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ were 23.04, 0.55 and 15.85 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. In spring, due to the strong life activities of plankton and the intake of nutrients by green tide, the concentrations of $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ and DIN all showed a tendency of decreasing from the first to the fifth voyage. Besides, the closer the N/P ratios in water and in the body of plankton, the faster the plankton grows. The N/P ratios measured in the fourth and fifth voyages were relatively favorable for the growth of *Enteromorpha prolifera*. The distribution characteristics of nutrients had a tendency of decreasing from inshore to offshore in all voyages.

Key words: *Enteromorpha prolifera*; green tide; nutrients; distribution characteristic; dissolved inorganic N (DIN)

大型海洋绿藻大量增殖的现象,被称为“绿潮”(green tide). 绿潮是世界沿海各国普遍发生的海洋生态异常现象,多数以石莼属和浒苔属大型绿藻脱离固着基形成漂浮增殖群体所致^[1]. 绿潮一般发生在春夏两季,大多数在夏季高温期结束,有时可延续到秋季. 主要发生在河口、内湾、泻湖和城市密集、富营养化程度相对严重的海域,经常是多年连续暴发^[2]. 近年来绿潮发生频率和生物量总体呈明显上升趋势^[3~5],绿潮暴发会引发一系列次生灾害,对底栖生态系统产生严重影响^[6~9].

2007年以前,我国沿海曾出现零星的大型绿藻聚集现象,2007年首次暴发较大范围的浒苔绿潮,主要影响范围为黄海沿岸,2008~2011年的4a时间里黄海海域又接连发生了大规模的浒苔绿潮,对

海洋环境、景观、生态服务功能以及沿海地区社会经济产生严重影响.

江苏近岸海域受陆地径流和苏北沿岸流以及大气沉降的影响^[10~12],营养盐浓度相对较高. 近些年观察分析,黄海浒苔暴发首先在这里出现. 本研究通过2010年3~6月(浒苔的前期至浒苔的暴发期)5个航次对江苏沿岸紫菜养殖筏架区及其附近海域进行的调查数据,分析该海域营养盐的浓度变化和分布特征,以期对浒苔绿潮生消动态和危害效应的研

收稿日期: 2011-09-01; 修订日期: 2011-12-02

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB428701); 我国主要河口及邻近海域环境质量评价项目(908-02-02-02)

作者简介: 高嵩(1989~),男,硕士研究生,主要研究方向为海洋污染与海水分析, E-mail: song9999@yahoo.cn

* 通讯联系人, E-mail: shixy@ouc.edu.cn

究提供必要的科学基础与理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

利用藻华 973 项目 SC2010-绿潮航次, 于 2010

年 3~6 月分 5 个航次对江苏沿岸紫菜养殖筏架区及其附近海域进行调查, 具体的采样时间、采样范围及采样站位见表 1。第四和第五航次根据浒苔漂浮面积的扩大在前 3 个航次的基础上又增加了一些站位, 站位示意如图 1 所示。

表 1 相关航次信息

Table 1 Information on voyages in this study

项目	第一航次	第二航次	第三航次	第四航次	第五航次
采样时间	3. 31~4. 11	4. 17~4. 26	4. 30~5. 11	5. 19~5. 31	6. 13~6. 23
采样范围	32. 3~33. 7°N 120. 7~122°E	32. 3~33. 7°N 120. 7~122°E	32. 3~33. 7°N 120. 7~122°E	32. 3~34°N 120. 5~122. 2°E	32. 3~35°N 120. 3~122. 2°E
采样站位	5 个断面, 17 个站位	5 个断面, 18 个站位	5 个断面, 18 个站位	6 个断面, 27 个站位	9 个断面, 31 个站位

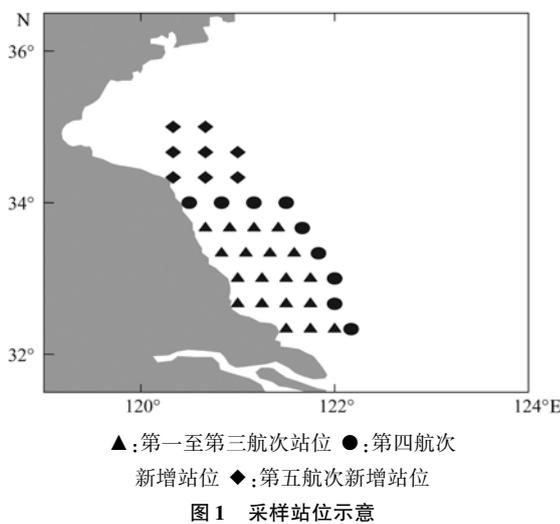


Fig. 1 Locations of the sampling stations

1.2 水样的采集与分析

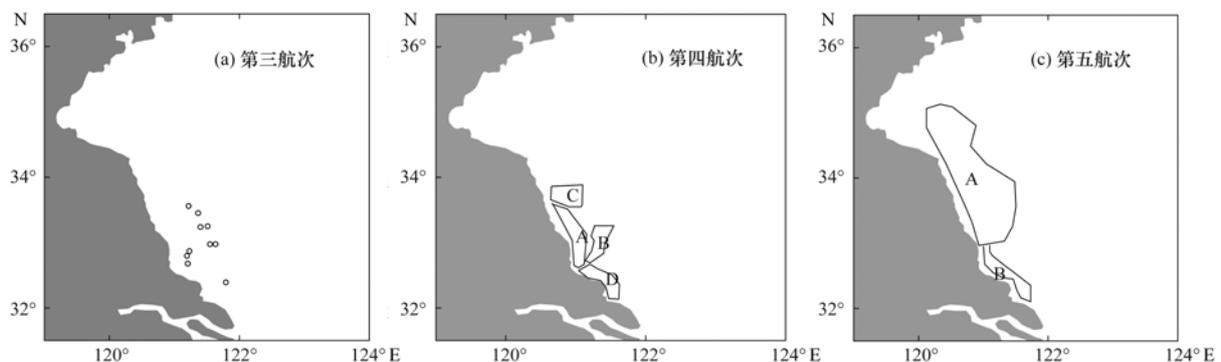
由于本调查区域水深较浅, 故只对表层进行采样分析。水样经 GF/F(0.7 μ m) 滤膜过滤后, 样品于 -20 $^{\circ}$ C 冷冻保存用于测定硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐、硅酸盐。

在陆地实验室以 QuAatro 营养盐自动分析仪分

别测定各项溶解无机态营养盐。亚硝酸盐、硝酸盐采用重氮-偶氮分光光度法(硝酸盐在重氮化反应之前先用镉铜还原柱还原), 标准偏差为 $\pm 0.03 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 检测限为 $0.03 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。氨氮采用靛酚蓝分光光度法, 标准偏差为 $\pm 0.03 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 检测限为 $0.02 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。磷酸盐采用磷钼蓝分光光度法, 标准偏差为 $\pm 0.012 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 检测限为 $0.024 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。硅酸盐采用硅钼蓝分光光度法, 其标准偏差为 $\pm 0.18 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 检测限为 $0.043 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

此次调查从第三航次(4月30日~5月11日)开始出现零星漂浮绿藻(浒苔), 形状各异, 有团状(平均直径约 20 cm)、斑块状(面积约 1 m^2)和条带状(长度约 500 m)等不同形状。第四航次漂浮绿藻影响面积扩大, 有零星分布、小斑块、条带(连续或间断)、大斑块等, 漂浮绿藻最多的海域在 34 $^{\circ}$ N 附近, 东西距离 55.56 km 均有绿藻分布, 在此海域发现最大绿藻斑块面积约 400 m^2 , 第五航次漂浮绿藻开始大规模集聚, 各航次漂浮浒苔分布见图 2。



A、D 以零散分布为主, B、C 以条带状、斑块状为主

图 2 各航次浒苔分布示意

Fig. 2 *Enteromorpha prolifera* distribution in the voyages

2.1 营养盐浓度的变化特征及与浒苔面积的关系

从营养盐浓度与浒苔面积的变化图 3 中来看,各项营养盐随着浒苔面积的扩大,呈下降趋势。 NO_3^- -N、DIN 均一致呈下降趋势,且表现出较好的一致性; PO_4^{3-} -P除第四航次表现出异常的现象,其余也呈下降趋势; SiO_3^{2-} -Si在浒苔产生初期迅速下降,其他时期较平稳;N/P 则波动较大.这说明了浒苔能快速的吸收营养盐,并快速生长,与文献[13~15]得到一致的结论.

2.1.1 NO_3^- -N、DIN 浓度的变化特征

调查海区各航次 NO_3^- -N、DIN 数值及变化特征如表 2 和图 3 所示.从平均值来看,随着浒苔生物量的增加, NO_3^- -N 浓度逐渐降低;第三至第四航次 NO_3^- -N数值变化较小,说明第三至第四航次调查期间可能有 NO_3^- -N输入补偿了浮游植物对其消耗,第

四至第五航次随着浒苔生物量的迅速增加, NO_3^- -N 浓度值降低幅度较大,可能与浒苔对 NO_3^- -N具有极强的吸收能力有关^[16,17].

此次调查数据中 DIN 主要由 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N组成,其中 NO_3^- -N占主要比例. DIN 的浓度变化及分布特征与 NO_3^- -N相似.从平均值来说,第一至第五航次浓度逐渐降低,从 $23.06 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 降到 $10.06 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,第三和第四航次数值相近,可能是由于第三和第四航次调查之间营养盐输入补偿了浮游植物对其吸收,第四至第五航次浒苔覆盖面积逐渐增加,大量增殖的浒苔对 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N也具有极强的吸收能力,导致水体中 DIN 下降幅度明显.

2.1.2 PO_4^{3-} -P、 SiO_3^{2-} -Si浓度的变化特征

调查海区各航次 PO_4^{3-} -P、 SiO_3^{2-} -Si数值及变化特征如表 2 和图 3 所示.第一航次与第四航次

表 2 调查海区各航次营养盐浓度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

航次	NO_3^- -N		DIN		PO_4^{3-} -P		SiO_3^{2-} -Si		N/P	
	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围
一	21.61 ± 9.23	11.46 ~ 42.62	23.04 ± 9.63	12.51 ~ 43.20	0.55 ± 0.08	0.47 ~ 0.73	15.85 ± 4.37	10.14 ~ 24.30	43 ± 14	25 ~ 74
二	17.87 ± 8.32	5.92 ~ 34.10	20.47 ± 7.75	9.76 ~ 34.49	0.22 ± 0.11	0.14 ~ 0.61	15.75 ± 5.72	6.85 ~ 25.11	108 ± 32	53 ~ 172
三	15.25 ± 8.71	4.49 ~ 31.28	16.91 ± 8.57	5.78 ~ 32.38	0.17 ± 0.04	0.12 ~ 0.26	12.41 ± 4.35	5.98 ~ 20.10	94 ± 32	36 ~ 148
四	14.57 ± 10.34	4.52 ~ 37.13	16.34 ± 9.16	7.41 ~ 39.46	0.56 ± 0.29	0.21 ~ 1.29	10.65 ± 5.71	1.83 ~ 21.06	34 ± 14	17 ~ 57
五	9.36 ± 3.30	4.39 ~ 13.99	10.06 ± 3.22	4.89 ~ 14.82	0.16 ± 0.04	0.10 ~ 0.22	10.62 ± 7.33	4.24 ~ 26.90	64 ± 17	33 ~ 90

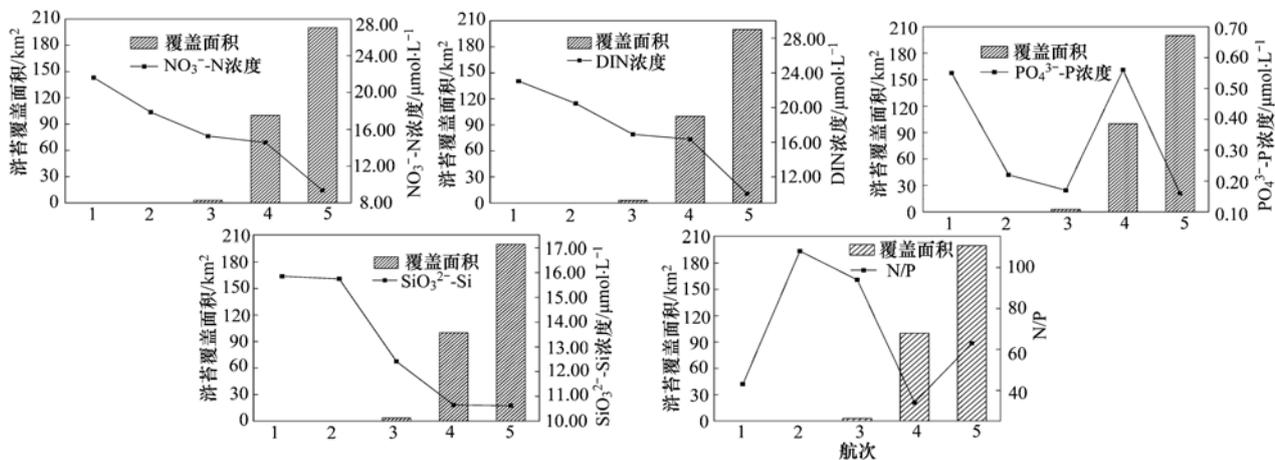


图 3 浒苔覆盖面积与营养盐的关系

Fig. 3 Relationship between the coverage area of *Enteromorpha prolifera* and the nutrients

PO_4^{3-} -P数值相近,其浓度为 $0.55 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,第二、三、五航次数值相近,第一至第三航次数值逐渐变小;从浒苔覆盖面积与 PO_4^{3-} -P浓度值的关系图看出,第三至第四航次浒苔覆盖面积增加, PO_4^{3-} -P浓度没有降低反而升高,第四至第五航次浒苔覆盖面积继续增加, PO_4^{3-} -P浓度值降低较明显,结合 DIN 和 NO_3^- -N的第三航次和第四航次之间浓度值变化不

大,说明第三航次和第四航次之间可能调查海区有大量 PO_4^{3-} -P的输入,而且浒苔对 N 的营养需求大于对 P 的营养需求^[18].

从平均值来说,第一至第五航次调查海区 SiO_3^{2-} -Si数值逐渐变小,从 $16.78 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 降到 $11.57 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,第三至第五航次 SiO_3^{2-} -Si降低幅度不如 NO_3^- -N明显.

2.1.3 N/P 的变化特征

N/P 比值影响着浮游植物生长和繁殖^[19-23]. 调查海区各航次 N/P 数值及变化特征如表 2 和图 3 所示, 从平均值来说, 第二航次 N/P 最高为 108, 第四航次 N/P 最低为 34, 各航次 N/P 值波动性较大.

2.2 营养盐的平面分布特征

从平面分布来看, 各航次这 4 种营养盐均表现

为近岸高、远岸低的特点(图 4). 其中 NO_3^- -N 近岸区基本都大于 $30 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 沿岸水将入海径流中的大量营养物质带至海中, 导致该海区 NO_3^- -N 含量过高, 为绿潮暴发提供营养物质基础. PO_4^{3-} -P 第四航次在长江口以北有一高值区, PO_4^{3-} -P 浓度 $> 0.55 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

另外, 从平面分布来看, DIN 的分布也与 NO_3^- -N 表现出较强的一致性. 为更好地证明其一致性, 选出



图 4 调查海区各航次营养盐分布示意

Fig. 4 Horizontal distribution of nutrients in the investigated areas

了各个航次相同的站位,选取部分航次(第一、第三、第五航次)如图5对比分析DIN与 NO_3^- -N的关系.整体上,各站位DIN的浓度变化也与 NO_3^- -N表现出较强的一致性.从 NO_3^- -N/DIN的比值上来看,绝大部分在0.8~1之间,且线性较好,这更好地说明了,水体中DIN的组分大部分是 NO_3^- -N.其中第一航次DIN中 NO_3^- -N的比例更高,第三、第五航次中有所下降,可能是由于 NH_4^+ -N的生成有关.

从N/P平面分布来看,各航次整体趋势也都表现为近岸高、远岸低的特点.其中第四和第五航次靠近陆地区域呈现出北高南低的分布特征.海洋浮游生物体、大洋水中的氮磷比值一般接近于16/1,即

Redfield 比值,近岸海域由于受到陆源、浮游植物生长等其它因素影响,N/P会有一定偏离,Villaresa等^[24]测定浒苔藻体中N/P为76.2:1,温珊珊等^[25]测得浒苔藻体中N/P为45.8:1,不同地区、不同水体生长的浒苔对氮、磷的吸收比例会存在一定差异,水体中N/P与浮游生物体中N/P越接近越有利于浮游生物生长,第四和第五航次的N/P比值比较有利于浒苔的生长.

春季浮游植物生命活动旺盛和浒苔绿藻对营养盐的吸收导致从第一至第五航次 NO_3^- -N、 PO_4^{3-} -P、 SiO_3^{2-} -Si和DIN整体呈下降趋势,这与Fong等^[26]在室内培养实验中,浒苔培养水体中营养盐表现的趋

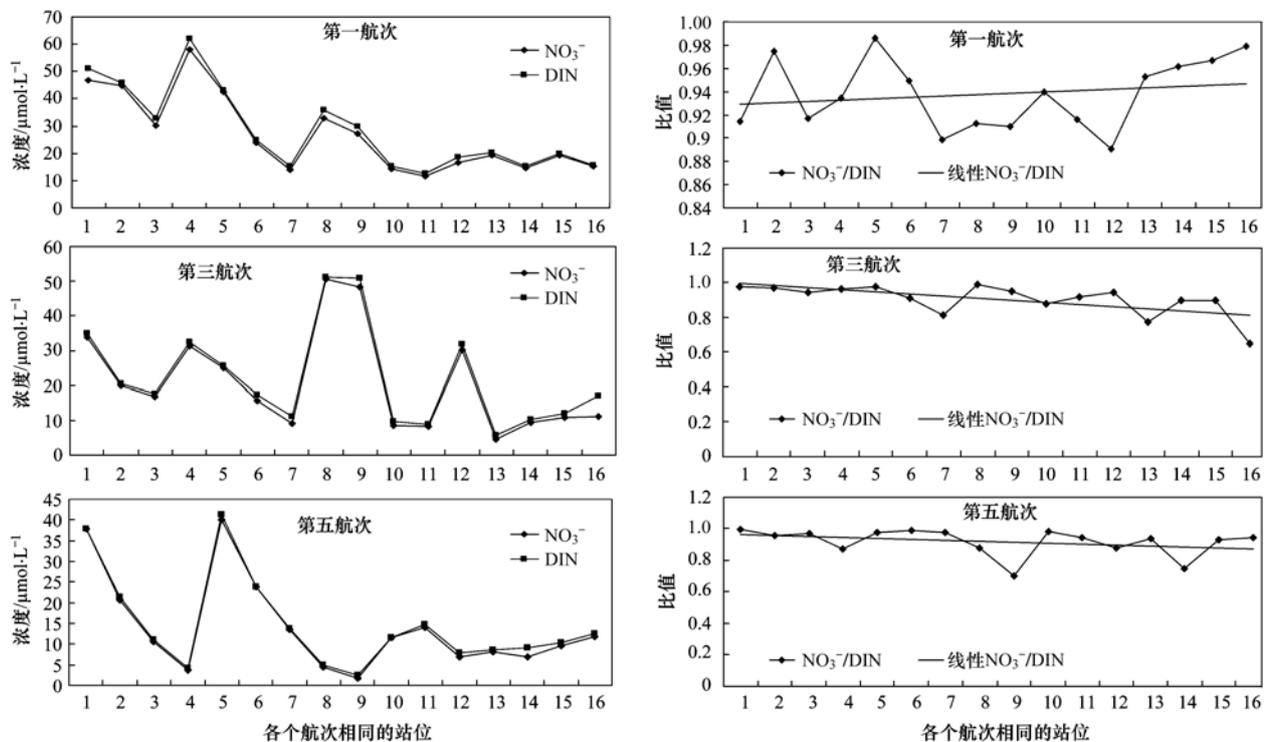


图5 各个航次相同站位DIN与 NO_3^- -N的关系

Fig. 5 Relationship between DIN and NO_3^- -N at the same sampling station in different voyages

势一致.

3 结论

(1)对苏北近岸及周边海区2010年3~6月这5个航次的调查数据分析显示,调查海区处于苏北养殖区,陆地径流向该区域输入大量营养物质,导致该海区营养盐浓度较高,DIN、 PO_4^{3-} -P和 SiO_3^{2-} -Si最高浓度分别为23.04、0.55和15.85 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,为绿潮暴发提供营养物质基础.

(2)各航次营养盐的分布特征均表现为近岸高,远岸低的趋势.

参考文献:

- [1] Fletcher R L. The occurrence of "green tides" [A]. In: Schramm W, Nienhuis P H (Eds.). Ecological Studies, Vol. 123. Marine benthic vegetation. Recent changes and the effects of Eutrophication [M]. Berlin: Springer, 1996. 7-43.
- [2] Hodgkiss I J, Lu S H. The effects of nutrients and their ratios on phytoplankton abundance in Junk Bay, Hong Kong [J]. Hydrobiologia, 2004, 512(1-3): 215-229.
- [3] Maguer J F, Wafar M, Madec C, et al. Nitrogen and phosphorus requirements of an *Alexandrium minutum* bloom in the Penzé estuary, France [J]. Limnology and Oceanography, 2004, 49(4): 1108-1114.
- [4] Yutaka H, Miyahara K, Nagai S, et al. Relationships between

- the dominant phytoplankton and DIN: DIP ratios in Osaka Bay and Harima-Nada[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1998, **64**(2): 243-248.
- [5] Valiela I, McClelland J, Hauxwell J, *et al.* Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences[J]. *Limnology and Oceanography*, 1997, **42**(5): 1105-1118.
- [6] 王晓坤, 马家海, 陈道才, 等. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生活史的初步研究[J]. *海洋通报*, 2007, **26**(5): 1212-1216.
- [7] 王悠, 俞志明, 宋秀贤, 等. 大型海藻与赤潮微藻以及赤潮微藻之间的相互作用研究[J]. *环境科学*, 2006, **27**(2): 274-280.
- [8] 唐启升, 张晓雯, 叶乃好, 等. 绿潮研究现状与问题[J]. *中国科学基金*, 2010, **1**(1): 5-9.
- [9] Hiraoka M, Ohno M, Kawaguchi S, *et al.* Crossing test among floating *Ulva* thalli forming "green tide" in Japan [J]. *Hydrobiologia*, 2004, **51**(1-3): 239-245.
- [10] 王婷, 石晓勇, 张传松, 等. 2008 年黄海浒苔绿潮爆发区营养盐浓度变化及分布特征[J]. *海洋通报*, 2011, **30**(5): 578-582.
- [11] 付敏, 赵卫红, 王江涛, 等. 大气湿沉降对长江口水域营养盐的贡献[J]. *环境科学*, 2008, **29**(10): 2703-2709.
- [12] 朱玉梅, 刘素美. 东海大气湿沉降中营养盐的研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(9): 2724-2731.
- [13] Fujita R M. The role of nitrogen status in regulating transient ammonium uptake and nitrogen storage by macroalgae [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1985, **92**(2-3): 283-301.
- [14] Aisha K A, Shabana E F, El-Abyad M S, *et al.* Pulse feeding with nitrate and phosphate in relation to tissue composition and nutrient uptake by some macroalgae from the Red Sea at Ghardaqa (Egypt)[J]. *Journal of Basic Microbiology*, 1995, **35**(3): 135-145.
- [15] Fong P, Donohoe R M, Zedler J B. Nutrient concentration in tissue of the macroalga *Enteromorpha* as a function of nutrient history: an experimental evaluation using field microcosms[J]. *Marine Ecology-Progress Series*, 1994, **106**(3): 273-273.
- [16] 吴婷, 田小亭, 刘召辉, 等. 浒苔对不同氮源吸收特性的初步研究[J]. *海洋科学*, 2011, **35**(4): 51-54.
- [17] 李俭平, 赵卫红, 付敏, 等. 氮磷营养盐对浒苔生长影响的初步探讨[J]. *海洋科学*, 2010, **34**(4): 45-48.
- [18] 王阳阳, 霍元子, 田千桃, 等. 浒苔对 NO_3^- -N和 PO_4^{3-} -P吸收动力学特征[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, **20**(1): 121-125.
- [19] 史华明. 浒苔对氮磷吸收和释放及与中肋骨条藻竞争关系的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [20] 吴晓文, 李瑞香, 徐宗军, 等. 营养盐对浒苔生长影响的围隔生态实验[J]. *海洋科学进展*, 2010, **28**(4): 538-544.
- [21] 张寒野, 吴望星, 宋丽珍, 等. 条浒苔海区试栽培及外界因子对藻体生长的影响[J]. *中国水产科学*, 2006, **13**(5): 781-786.
- [22] 李瑞香, 吴晓文, 韦钦胜, 等. 不同营养盐条件下浒苔的生长[J]. *海洋科学进展*, 2009, **27**(2): 211-216.
- [23] 朱明, 刘兆普, 徐军田, 等. 不同氮磷水平对缘管浒苔生长及光合作用的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 2011, (3): 57-61.
- [24] Villaresa R, Carballeira A. Seasonal variation in the concentrations of nutrients in two green macroalgae and nutrient levels in sediments in the Rías Baixas (NW Spain) [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, **58**(4): 887-900.
- [25] 温珊珊, 张寒野, 何文辉, 等. 真江蒿对氨氮去除效率与吸收动力学研究[J]. *水产学报*, 2008, **32**(5): 794-803.
- [26] Fong P, Fong J J, Fong C R. Growth, nutrient storage, and release of dissolved organic nitrogen by *Enteromorpha* intestinalis in response to pulses of nitrogen and phosphorus [J]. *Aquatic Botany*, 2004, **78**(1): 83-95.

CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jiashan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《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7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 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