

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第10期

Vol.33 No.10

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

淀山湖百年营养演化历史及营养物基准的建立	李小平, 陈小华, 董旭辉, 董志, 孙敦平 (3301)
矿化度作为蒙新高原湖泊营养物基准影响指标的可行性	席北斗, 张亚丽, 许秋瑾 (3308)
小波分析在湖泊常见浮游藻类荧光识别测定中的应用	张翠, 苏荣国, 宋志杰, 张珊珊, 王修林 (3314)
湖面亮温对巢湖水华影响的遥感监测分析	张红, 黄勇, 李堃 (3323)
基于地下水暴露途径的健康风险评价及修复案例研究	姜林, 钟茂生, 贾晓洋, 夏天翔, 姚珏君, 樊艳玲, 张丽娜, 唐振强 (3329)
基于多生物标志物污染指数法的北部湾潮间带污染程度评价	杜秀萍, 孟范平, 王志峰, 李祥蕾, 杨菲菲, 程凤莲, 杨跃志, 李正炎 (3336)
东海无机氮排海通量年际变化估算	吴家林, 方倩, 石晓勇, 李克强, 张传松, 王修林 (3344)
海洋酸化对大型海藻生长以及磷酸盐、硝酸盐吸收利用的影响	于娟, 张瑜, 杨桂朋, 田延旺 (3352)
北黄海表层沉积物中颗粒态磷的形态分布	孟佳, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (3361)
湖泊疏浚对沉积物再悬浮及磷迁移影响的模拟研究	余居华, 钟继承, 张银龙, 范成新, 何伟, 张雷, 唐阵武 (3368)
降雨条件下岩溶泉水中悬浮颗粒物的运移特征及来源分析	杨平恒, 刘子琦, 贺秋芳 (3376)
三峡水库试验性蓄水前后大宁河富营养化状态比较	张佳磊, 郑丙辉, 刘录三, 王丽婧, 吴光应 (3382)
三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应	曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 田耀武 (3390)
山地城市地表径流源区水质特征监测研究	李立青, 单保庆, 赵建伟, 郭树刚, 高勇 (3397)
唐山开滦煤矿区土壤及地表水中 Se 元素赋存状态及其生态效应研究	张秀芝, 马忠社, 王荫楠, 王志军, 谢伟民 (3404)
西藏地表水中砷的分布	王明国, 李社红, 王慧, 肖唐付, 郑宝山 (3411)
锡林河流域地表水痕量元素的时空分布	薛丽洋, 吴锦奎, 张明泉, 丁永建, 叶柏生 (3417)
天津滨海地区表层沉积物中持久性有机污染物的含量特征与生态风险	卢晓霞, 张姝, 陈超琪, 侯珍, 杨君君 (3426)
松花江流域河流沉积物中多氯联苯的分布、来源及风险评价	聂海峰, 赵传冬, 刘应汉, 彭敏, 李括, 杨柯, 刘飞 (3434)
长江口近岸表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征	李涛, 侯立军, 刘敏, 赵迪, 尹国宇, 郑艳玲, 赵慧 (3443)
烟台四十里湾柱状沉积物氮形态地球化学特征	杨玉玮, 高学鲁, 李培苗 (3449)
黄河口湿地土壤中正构烷烃分子指标及物源指示意义	姚鹏, 尹红珍, 姚庆祯, 陈洪涛, 刘月良 (3457)
含藻水中壬基酚的光降解转化研究	彭章娥, 冯劲梅, 何淑英, 吴峰 (3466)
硝酸铁-过硫酸盐改性 GAC 催化 H ₂ O ₂ 氧化橙黄 IV	张瑛洁, 徐淑芬, 廖霞, 曹天静, 杨榕, 李大鹏 (3473)
Pd/CMK-3 的合成、表征及对甲酸的电催化氧化性能研究	还中科, 宗恩敏, 魏丹, 万海勤, 郑寿荣, 许昭怡 (3479)
曝气稳定塘处理农村生活污水曝气控制条件研究	李怀正, 姚淑君, 徐祖信, 陈卫兵 (3484)
以亲水改性聚氨酯为多孔载体的生物膜移动床反应器处理污水中试研究	王玉晓, 孔秀琴, 冯权, 卢海涛, 王德源, 唐黎明, 邢新会 (3489)
光催化降解渗滤液 DOM 不同组分的相对分子量变化特征	贾陈忠, 王焰新, 张彩香 (3495)
短程硝化-反硝化生物滤池脱氮机制研究	孙迎雪, 徐栋, 田媛, 李燕飞 (3501)
CANON 反应器运行稳定性及温度冲击的影响	付昆明, 张杰, 曹相生, 李冬, 孟雪征 (3507)
MUCT 工艺全程硝化和短程硝化模式下反硝化除磷研究	曾薇, 王向东, 张立东, 李博晓, 彭永臻 (3513)
活性污泥胞外聚合物 (EPS) 的分层组分及其理化性质的变化特征研究	袁冬琴, 王毅力 (3522)
有机负荷条件对间歇式气提内循环反应器中好氧颗粒污泥形成的影响	刘孟媛, 周丹丹, 高琳琳, 马德方, 张予萌, 李克宇 (3529)
厌氧污泥降解蔡动力学与生物多样性研究	曹新垲, 杨琦, 郝春博 (3535)
雌二醇在土壤/沉积物中的吸附特征及猪粪 DOM 对吸附的影响	张丰松, 李艳霞, 黄泽春, 杨明 (3542)
近海沉积物对粪固醇的等温吸附和热力学研究	张晓蕾, 薛文平, 徐恒振, 马新东 (3547)
甲苯在北京褐潮土中的运移分布及其 STOMP 模拟研究	韩春媚, 冉娟, 张慧, 李发生, 李雁, 谷庆宝 (3554)
聚丙烯酸钠为结合相的梯度扩散薄膜技术预测甘蔗田土壤中镉的生物有效性	王芳丽, 宋宁宁, 赵玉杰, 张长波, 沈跃, 刘仲齐 (3562)
土壤改良剂及其组合原位钝化果园土壤中的 Pb、Cd	汤民, 张进忠, 张丹, 陈舜, 张训, 刘万平, 余建 (3569)
基于不同通车时间的路旁土壤重金属健康风险:以连霍高速郑州—商丘段为例	谷蕾, 全致琦, 宋博, 马建华 (3577)
生活污水污泥制备的生物质炭对红壤酸度的改良效果及其环境风险	卢再亮, 李九玉, 姜军, 徐仁扣 (3585)
沉积物中多环芳烃对反硝化功能基因垂直分布的影响	吴艳阳, 黄珊, 叶嘉欣, 张恒军, 张仁铎 (3592)
阴离子黏土(层状双氢氧化物)对鲱鱼精 DNA 在重金属作用下的保护作用研究	唐旖旎, 吴平霄, 朱能武 (3598)
预处理后生物成因施氏矿物的矿物学特征及对 As(III) 吸附的影响	梁剑茹, 李浙英, 刘奋武, 周立祥 (3606)
铜绿假单胞菌 ZGKD2 的重金属耐性机制研究	张玉秀, 王姣, 柴团耀, 张倩, 刘金光, 李霞, 白志强, 苏增健 (3613)
1 株 1,2-二氯乙烷降解菌的分离及降解特性研究	王小春, 陈东之, 金小君, 陈建孟 (3620)
PCBs 降解菌的筛选及其降解特性研究	史舜燕, 冯流, 龚吉 (3627)
青草沙水库蓄水期间细菌群落结构变化的初步研究	彭青, 谢冰, 袁琦, 黄智婷, 崔璐璐, 王文婷 (3634)
华北平原玉米-小麦轮作农田 N ₂ O 交换通量的研究	裴淑玮, 张圆圆, 刘俊锋, 伦小秀, 牟玉静 (3641)
影响南京地区的两次典型空气污染过程分析	王飞, 朱彬, 康汉清, 高晋徽, 王瑛, 江琪 (3647)
济南市夏季环境空气 VOCs 污染特征研究	刘泽常, 张帆, 侯鲁健, 刘玉堂, 吕波 (3656)
活性炭分解臭氧机制研究	刘海龙, 张智辉, 张忠明, 焦媛媛, 王瑞军 (3662)
大气 O ₃ 浓度升高对 2 种基因型矮菜豆丛枝菌根 (AM) 结构及球囊霉素蛋白产生的影响	王鹏腾, 刁晓君, 王曙光 (3667)
铝胁迫下外源钙对外生菌根真菌抗氧化保护酶活性的影响	王明霞, 黄建国, 袁玲, 周志峰 (3675)
锌冶炼不同群落生境蟋蟀汞污染	郑冬梅, 李昕馨, 罗庆 (3680)
《环境科学》征订启事 (3313) 《环境科学》征稿简则 (3322) 信息 (3328, 3512, 3561, 3640)	

东海无机氮排海通量年际变化估算

吴家林^{1,2}, 方倩³, 石晓勇^{1,2*}, 李国强^{1,2}, 张传松^{1,2}, 王修林^{1,2}

(1. 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; 2. 中国海洋大学海洋污染生态化学实验室, 青岛 266100; 3. 海洋化工研究院, 青岛 266071)

摘要: 通过系统收集和推算 1980~2005 年东海几种入海污染源的无机氮数据(河流、排污口、陆源面源、大气沉降和海水养殖)基础上, 研究估算了东海无机氮的入海年际通量变化情况。结果表明, 自 20 世纪 80 年代初至 21 世纪初, 东海无机氮入海通量总体呈现上升趋势; 由 20 世纪 80 年代初的 $8.8 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右逐渐增加到本世纪初的 $2.6 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右, 年平均增长率为 4.3%。长江作为东海最大入海河流, 其无机氮排海通量占河流排海通量的 76.5%, 排放量由 80 年代初的 $4.0 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 上升到 80 年代中期的 $6.2 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 后保持在此值上下浮动, 然后从 90 年代开始快速上升到本世纪初的 $1.8 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。东海无机氮主要来源是以入海河流为主的陆源排放, 大约为总量的 79%, 其中河流、排污口和陆源面源分别为 73%、4% 和 2%。除陆源外, 大气沉降约为 18%, 海水养殖约为 3%。

关键词: 东海; 污染源; 无机氮; 估算通量; 年际变化

中图分类号: X145 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)10-3344-08

Estimation of the Flux of Inorganic Nitrogen Flowing into the East China Sea

WU Jia-lin^{1,2}, FANG Qian³, SHI Xiao-yong^{1,2}, LI Ke-qiang^{1,2}, ZHANG Chuan-song^{1,2}, WANG Xiu-lin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Marine Pollution Eco-Chemistry Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. Marine Chemistry Research Institute, Qingdao 266071, China)

Abstract: The flux of inorganic nitrogen flowing into the East China Sea was estimated based on the systematic analysis of all the pollution sources from 1980-2005. The result showed that the flux of inorganic nitrogen had been increasing from the early 1980s to the early 21st century. In detail, the flux was about $8.8 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ in the early 1980s, and increased to about $2.6 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ in the early of 21st century. The annual increasing rate was about 4.3%, and the mean flux was $1.8 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. The flux of inorganic nitrogen of Yangtze River had also been increasing from early 1980s to the early 21st century. In detail, the flux was $4.0 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ in the early 1980s, and increased to about $6.2 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ in the middle 1980s, and was then kept at this value to the end of 1980s. After that, the flux value increased quickly from the early 1990s to $1.8 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ in the early 21st century. Of all the sources, the proportion of land-source inorganic nitrogen was the largest, which was about 79%, among which, the river-source, the sewage-source and the non-point source accounted for 73%, 4% and 2%, respectively. Besides the land-source, the air-source and the mariculture-source accounted for 18% and 3%. The proportion of flux of Yangtze River in the river source was 76.5%.

Key words: the East China Sea; pollution sources; inorganic nitrogen; estimated flux; interannual variations

氮是海洋生物需要摄入的重要营养元素之一, 同时也是参与海洋生物地球化学循环的主要元素之一。由于人类活动的影响, 排入海洋的化学污染物总量不断增加, 河流向近岸海域的氮、磷营养盐输入量增加了 2~3 倍, 破坏了海水中营养元素在生态过程中的正常循环过程^[1,2]。Seitzinger 等^[3]认为世界范围内, 排入近岸海域的 DIN 有 65% 是和人类活动有关。据 Meybeck^[4] 估算, 每年由陆地进入海洋的物质约为 $2.5 \times 10^{10} \text{ t}$, 其中约有 85% 是经河流搬运入海的。海岸带陆海相互作用(LOICZ)项目利用模型计算了主要地区的氮磷等物质通量^[5~10]。据统计, 上世纪末通过不同途径进入我国近海的各种污染物质每年约 1 500 万 t, 4 个海区中, 输入东海的最多, 约占 50%^[11]。从 20 世纪 60~90 年代, 长江大

通断面氮污染负荷通量翻了 7 倍^[12]。据海洋环境公报显示, 20 世纪末海水中主要污染物仍为无机氮、无机磷等, 近海 95% 的无机氮、无机磷来源于陆源, 东海近岸区的无机氮超标率高达 78%^[13]。大量营养盐输入是海洋赤潮频发的物质基础。据报道, 1978 年仅有 1 次赤潮发生^[14]。到了 2009 年, 长江口及其临近海域发生赤潮 174 次, 暴发面积 > 1 000 km² 的有 25 次^[15]。现在陆地、大气和海洋之间的相互作用已成为海洋环境变化研究的重点问

收稿日期: 2011-05-13; 修订日期: 2012-05-02

基金项目: 海洋公益性行业科研专项(200805065); 近海海洋综合调查与评价专项(908-02-02-03); 山东省环境保护科技项目([2006]050)

作者简介: 吴家林(1984~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为海洋污染生态化学, E-mail: wjalsj@163.com

* 通讯联系人, E-mail: shixy@ouc.edu.cn

题,且物质输送通量对海洋生态环境的影响也日益受到关注^[16~18]。在收集了 20 世纪 80 年代到本世纪初入东海径流量、废水总量、工业废水中无机氮排放量等数据的基础上系统分析入东海无机氮排海通量年际变化情况,这有助于从历史角度全面认识东海无机氮污染状况及其特点,以期为近岸海域总量控制和生态环境恢复提供科学支持。

1 研究海域与主要污染源

1.1 研究海域

东海是位于中国大陆与九州岛、琉球群岛和台湾岛之间的西太平洋边缘海,其大陆海岸线大约 5 700 km,总面积 $77 \times 10^4 \text{ km}^2$,平均水深 370 m。长江等入东海河流夹带着大量陆源污染物源源不断流入东海,这些陆源物质在东海潮流和余流的影响下向外海输运。一般认为径流输入对东海有显著影响的海域为 31 盐度线以内^[19,20],因此本研究以东海多年月平均 31 盐度线内的海域作为研究区域。

1.2 主要污染源

东海化学污染物主要来源于陆源、海洋污染源、大气污染源和 offshore 污染源四大途径。陆源和海

洋污染源又可分为点源和面源,大气污染源包括大气干沉降和湿沉降,外海源主要包括黑潮、台湾暖流、苏北沿岸流、闽浙沿岸水和黄海冷水团^[21]。陆源包括陆源点源和面源两大类,前者又可分为排海河流和排污口,污染物主要包括无机氮等^[22],后者主要是指村镇、农田地表径流,是营养盐和 COD 等污染物的重要来源。

1.2.1 入海河流

东海地区拥有长江、钱塘江、闽江三大水系共 22 条河流^[23]汇入东海,其中径流量大于 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的河流有 17 条^[24]。东海区域入海年径流量为 11 699 亿 m^3 ,约占全国的 70%,年径流量 $>100 \text{ 亿 m}^3$ 的河流有长江、闽江、钱塘江、甬江和九龙江等^[25~43]。其中长江是我国流入东海的最大河流,80 年代以来平均年入海径流量为 $9 177 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占流入东海总径流量的 78%^[24~26,44,45]。浙江全省平均年入海径流量为 $799 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[46~49]。从福建省海岸线入海的多年同步期平均年入海总水量 $1 076 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[50,51]。福建全省各流域中,闽江水系污染物纳量最大,约占全省水体纳污量的 53.4%,九龙江约占 14.8%,木兰溪约占 5.7%,晋江约占 4.0%^[52]。

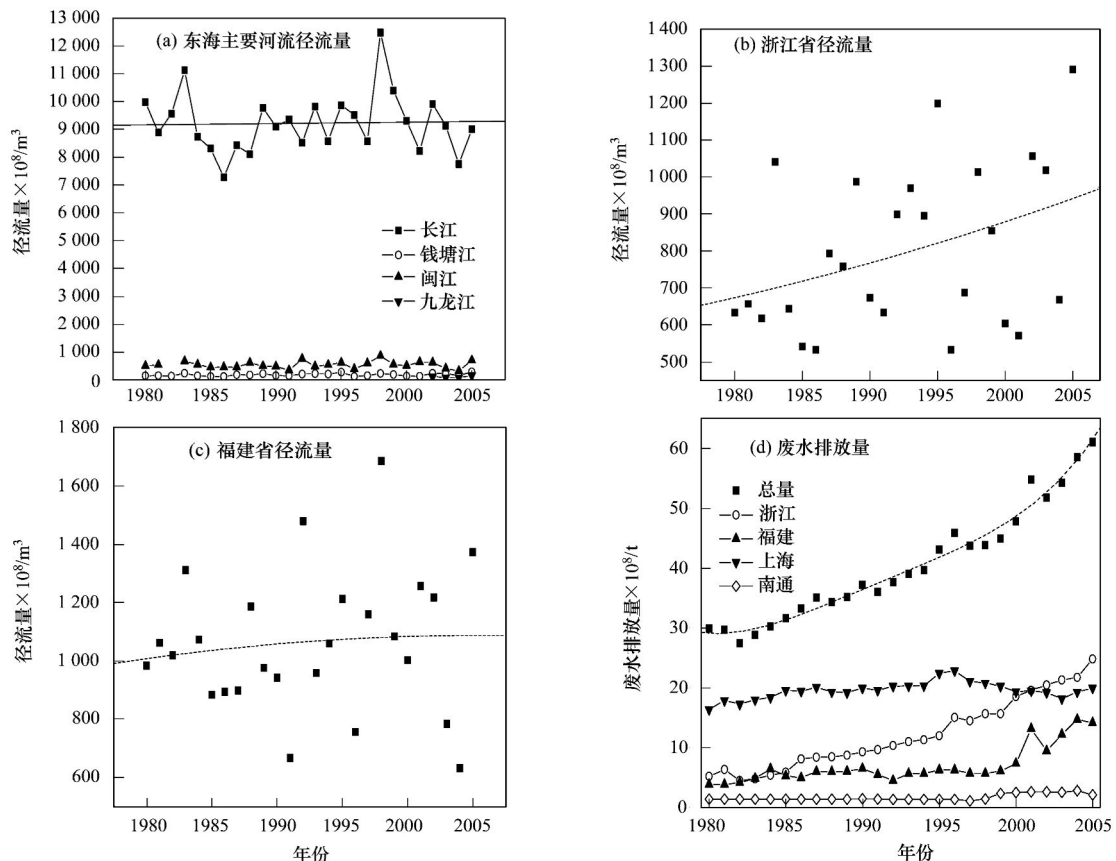


图1 东海沿岸省份及主要河流径流量与废水排放量

Fig. 1 Coastal provinces and major river runoff and wastewater emissions

图 1 中列出了东海主要河流径流量年变化情况,其中还列出了东海沿海 15 个城市的废水排放总量年变化情况.

1.2.2 陆源面源

由于人类活动强度的增加,农业非点源污染的程度也在不断地加强^[53~55]. 施肥流失量可根据农田面积(A_{farm})、施肥量(Q_{farm})和化肥流失率(P_{farm})估算农田:

$$F_{\text{farm}} = A_{\text{farm}} \cdot Q_{\text{farm}} \cdot P_{\text{farm}}$$

农田面积(A_{farm})和施肥量(Q_{farm})采用农业部统计数据^[56]. 上海地区氮肥流失率为 11%; 浙江、福建按杭州 17.2% 的氮肥流失率估算^[57~60]. 非点源负荷计算结果多年平均为总氮流失量为 $2.83 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 图 2 是长江沿岸省份耕地、氮肥使用和流失情况. 从图 2(b)和 2(c)看出,从 20 世纪 80 年代到 21 世纪初氮肥使用总量呈现出倒 U 型,即先增加后减少. 氮肥流失量也呈现出先增加后减少的趋势. 由此可知氮肥的使用不当而造成的流失是东海氮污染的来源之一.

1.2.3 海水养殖源

东海港湾众多,水文要素稳定,营养盐丰富,是理想的养殖基地. 东海区 1991 年养殖面积 1335 km^2 ,产量 48.0 万 t,分别比 1980 年增加 2.3 和 1.9 倍^[61]. 统计得到东海沿岸三省一市海水养殖面积^[62~67],图 3 表示东海沿岸三省一市的养殖面积随年份增长的变化情况. 从中可以看出东海海水养殖面积逐年增加,由 80 年代的 $4.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右大幅增加到目前的 $3.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 左右,年增长率平均约为 8.2%. 其中,福建附近水域海水养殖面积所占比例最高,平均占 48% 左右,浙江稍小,平均占 33%,而南通和上海分别只有 17% 和 2% 左右.

对于营养盐海洋污染源,可根据东海有关水域海水养殖面积(A_{Aqua})和单位养殖面积污染物排放量(M_{Aqua})计算海水养殖污染物排海总量^[68~70].

$$F_{\text{Aqua}} = A_{\text{Aqua}} \cdot M_{\text{Aqua}}$$

M_{Aqua} 在假定各种海水养殖与海水对虾养殖相同前提下,按如下公式^[71]计算:

$$M_{\text{Aqua}} = \Delta c_i \cdot H \cdot P \cdot T$$

式中, H 为平均水深, P 为换水率, T 为养殖周期,而 Δc_i 为养殖废水与海水交换后的污染物含量增量. 结合对虾养殖废水中主要污染物浓度估算表明,我国南方海域对虾养殖排放废水,无机氮的含量增量(Δc_{DIN})约为 $61.9 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,与文献^[72~75]结果基本吻合,单位对虾养殖面积无机氮年排放数量大约

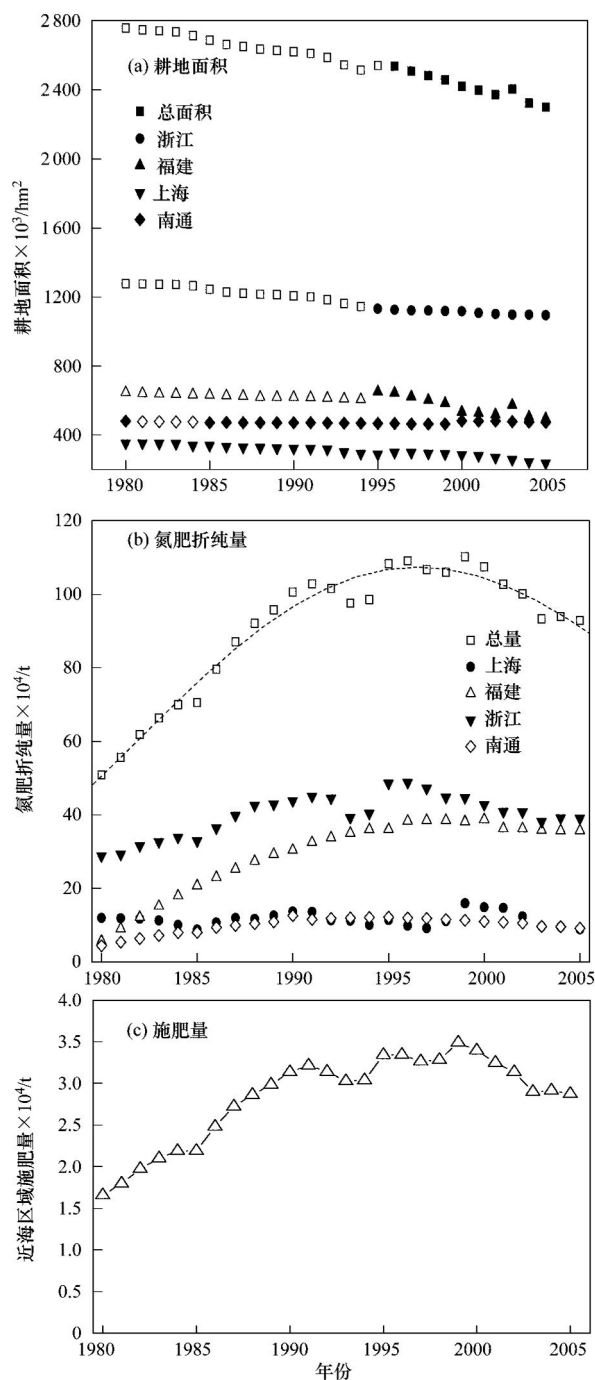


图 2 东海沿岸省市氮肥使用量(折纯量)和流失量

Fig. 2 Usage and loss amount of nitrogen fertilizer in the coastal provinces of the East China Sea from 1980 to 2005

为 $0.32 \text{ t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. 在这里,仅考虑养殖面积,而不考虑养殖品种对无机氮排放的影响.

1.2.4 大气污染源

对于排海污染物来源而言,可将通过雨、雪等各种形式降水作用而使气溶胶从大气中迁移到海面的过程称为大气湿沉降过程,而与此无关的过程称为大气干沉降^[71]. 一般而言,可根据东海降水量

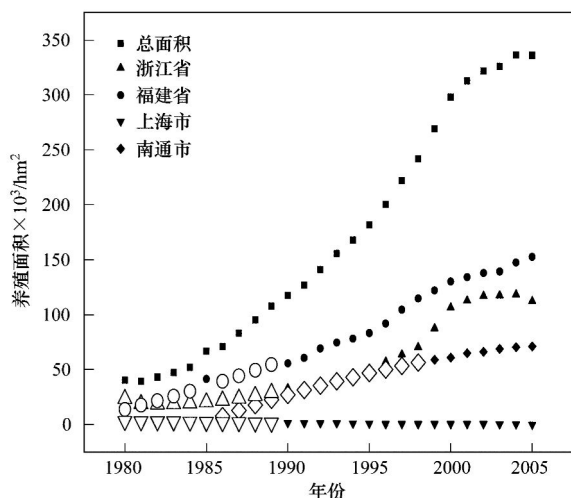


图3 自20世纪80年代至21世纪初东海三省一市海水养殖面积

Fig. 3 Area of sea farming in the coastal provinces of the East China Sea from 1980 to 2005

(Q_{WD})、雨水中污染物浓度(c_{WD})和东海水域面积(A_S)计算大气湿沉降污染物排海总量:

$$F_{WD} = Q_{WD} \cdot c_{WD} \cdot A_S = G_{WD} \cdot A_S$$

G_{WD} 可称作污染物大气湿沉降通量,在实际计算中,由于大气沉降化学污染物入海通量一般不表现出明显的年际变化特征^[54],故将各参数采用平均数,看做是时间的常数来处理.

初步观测表明,东海及周边地区雨水中 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N和 NO_2^- -N含量分别平均为53.5、74.7和 $1.09 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右^[74~79].东海海区年降雨量采用 1017.2 mm ^[76].这样估计出东海DIN大气湿沉降通量平均为 $5.42 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$.

一般可根据东海海区干沉降速率(V_{DD})、空气中气溶胶浓度(c_{Aero})、气溶胶中污染物浓度(c_{DD})和东海水域面积(A_S)计算大气干沉降污染物排海通量:

$$F_{DD} = V_{DD} \cdot c_{Aero} \cdot c_{DD} \cdot A_S = G_{DD} \cdot A_S$$

G_{DD} 可称作污染物大气干沉降通量,在实际计算中,根据 V_{DD} 、 c_{Aero} 和 c_{DD} 多个文献平均结果估算 G_{DD} 的平均值.

初步观测表明,东海及周边地区气溶胶含量为 $31.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,气溶胶中 NO_3^- -N + NO_2^- -N和 NH_4^+ -N含量平均分别为 $0.99 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1}$ 和 $1.84 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1}$ 左右^[77~80],这样,根据海洋平均气溶胶干沉降速率 $2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[81~83]结合上述气溶胶中污染物平均含量,估计东海DIN大气干沉降通量约为 $782 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$.在实际估算中,因为参数是用多个文献的平均值,故可以将大气干沉降排海通量作

为时间的常数来处理.

2 估算方法与原则

东海无机氮污染物主要来源于陆源和海水养殖及大气沉降,其中陆源主要包括河流、排污口和陆源面源.污染源污染物排海通量的估算方法采用 $F_T = F_{TS} + F_{MS} + F_{GS}$ 计算,(式中, F_T :排海总量; F_{TS} :陆源排海总量; F_{MS} :海源排海总量; F_{GS} :气源排海总量)^[84,85].在估算过程中,遵循以下准则:文献值是进行污染物入海通量估算的基础与依据,优先采用文献值;对于个别年份缺乏的数据资料,根据年度变化趋势进行内插或外推;有些数据规律性不是很好而跟同类数据的变化趋势一致,这种情况下可以使用比例值法;但由于趋势线法及比例值法对数据量要求较高,因此在数据量较少或变化规律不明显时采取多年平均值;在数据比较少或根本没有数据的情况下借鉴同类中相近的数据.

3 结果与讨论

3.1 东海无机氮入海通量年际变化趋势

通过汇总分析20世纪80年代初来东海海域无机氮的各种调查、监测数据,估算了东海海域无机氮排海通量.图4表示自20世纪80年代到21世纪初东海无机氮入海通量的年际变化情况,从图4中可以看出:随着年份增加,东海无机氮排海总量整体上表现出上升趋势.但在21世纪初出现下降的趋势.这说明从20世纪80年代至21世纪初,东海无机氮污染先恶化后得到控制.具体讲,无机氮排海总量从20世纪80年代 $8.8 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右逐渐增加到80年代中后期的 $1.2 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右,年均增

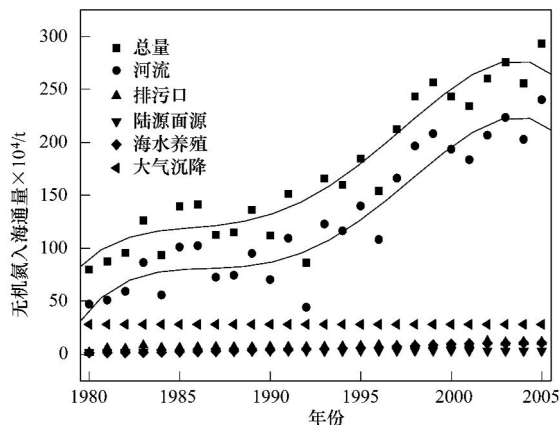
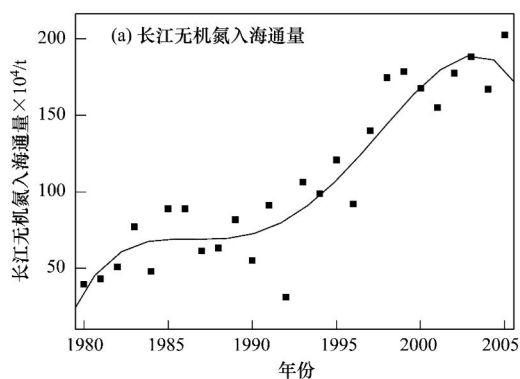


图4 自20世纪80年代到21世纪初东海无机氮各源入海通量

Fig. 4 Inorganic nitrogen flux of every source into the East China Sea from 1980 to 2005

长率 4.5%, 然后以 5.3% 的年均增长率快速上升到本世纪初的 $2.6 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 从图 4 中可以看出, 排入东海的无机氮总量大小主要受到河流源的影响. 无机氮的大气沉降量是按 $28 \times 10^4 \text{ t}$ 作为平均值来用的, 并无年代变化. 这里的误差, 可主要归结为估算方法上的误差, 因为对降水中无机氮浓度的研究较少, 因此用近几年城市雨水中的含量下限来代替海区降水中的含量, 此外东海海区面积较大是导致入海通量较大的另一个主要原因. 从 20 世纪 80 年代到 21 世纪初, 东海沿岸省份的耕地面积逐年减少 [图 2(a)], 而由于氮肥使用不当, 无机氮流失量逐年上升, 这说明氮肥使用不当是比土地利用变化更大的面源氮流失来源, 控制氮肥使用或提高氮肥利用率是减少氮流失的有效方式. 排污口与海水养殖均呈上升趋势, 其中海水养殖上升较快, 平均年增长率约 8.8%. 陆源面源自 1980 年起呈上升趋势, 90 年代后进入平台期, 进入 21 世纪后呈下降趋势. 本研究估算数据总体上与文献 [86] 的数据误差较大,



这是因为本研究估算是系统考虑陆源、海源和气源各种污染源, 而文献数据只是考虑少数主要入海河流, 同时缺少对陆源面源和气源入海无机氮的估算.

3.2 长江无机氮排海通量年变化规律

图 5 是 20 世纪 80 年代到 21 世纪初长江无机氮排海总量和含量年变化图. 20 世纪 80 年代到 21 世纪初, 长江无机氮含量和排海总量都呈现增加趋势. 排海总量整体上表现出台阶式上升趋势——由 80 年代初的 $4.0 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 上升到 80 年代中期的 $6.2 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 后保持在此值上下浮动, 然后从 90 年代开始快速上升到 21 世纪初的 $1.8 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 王佳宁等 [87] 通过模型得出 2003 年长江流域点源氮排放量为 $9.6 \times 10^5 \text{ t}$. Liu 等 [9] 模拟了长江和珠江无机氮排海量年均均为 $1.7 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 考虑到非点源和其他河流的输入影响, 本研究结果与模型结果较为接近, 说明估算方法合理可行. 长江无机氮含量从 80 年代初的 $1.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 上升到本世纪初 $4.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 年均增长率为 3.9%.

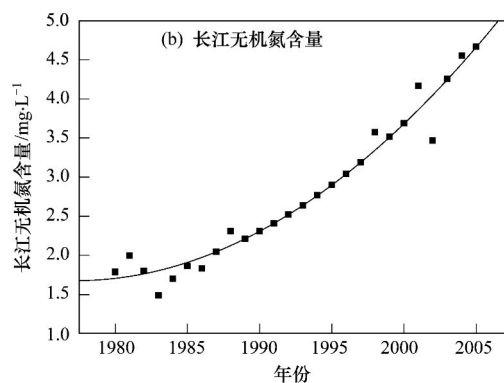


图 5 长江 20 世纪 80 年代到 21 世纪初长江无机氮排海总量和含量年变化

Fig. 5 Flux and inorganic nitrogen concentration of Yangtze River from 1980 to 2005

3.3 东海 DIN 来源分析

自 20 世纪 80 年代至 21 世纪初, 各污染源の入海通量比例如图 6 示, 从中可以看出: 在 20 世纪 80 年代至 21 世纪初期间, 陆源排放占东海无机氮排海通量的比例最大, 高达 79% 左右, 气源次之, 为 18% 左右, 而海水养殖最小, 只有 3% 左右. 进一步讲, 对于陆源排放, 河流所占比例最大, 高达 73% 左右, 排污口次之, 达 4% 左右, 而农田面源最小, 只有 2% 左右. 这说明, 改善东海生态环境, 缓解赤潮频发的趋势, 控制无机氮的陆源排海是当务之急. 气源无机氮虽然没做年代变化考虑, 但其在总量所占比例达 18%, 说明气源也不应忽视. 在海源的估算时, 只考虑了面积的影响, 而忽视了养殖方式与品种对无机氮排放的贡献, 而这可能是造成本研究海源无机氮

排放量所占比例小的原因之一.

4 结论

(1) 从 20 世纪 80 年代到 21 世纪初, 排入东海的无机氮总量呈现出逐年增加的趋势, 从 20 世纪 80 年代 $8.8 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右逐渐增加到 80 年代中后期的 $1.2 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右, 年均增长率 4.5%, 然后以 5.3% 的年均增长率快速上升到本世纪初的 $2.6 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 研究表明东海无机氮排放增量从 20 世纪 80 年代到 21 世纪初有增速的趋势.

(2) 从来源上看, 排入东海的无机氮主要来源于以长江为主的陆源性排放, 约占总来源量的 79%, 其中河流、排污口和陆源面源分别为 73%、4% 和 2%. 除陆源外, 大气沉降约为 18%, 海水养

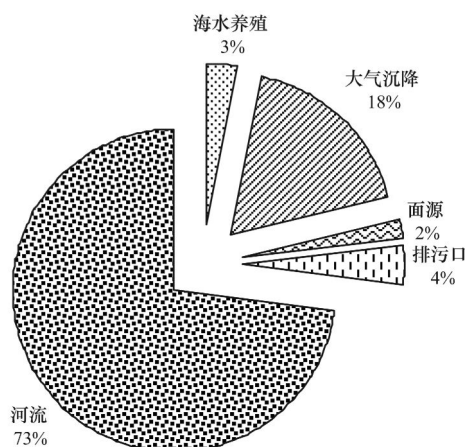


图6 东海无机氮主要来源

Fig. 6 Main sources of inorganic nitrogen in the East China Sea

殖约为3%。

(3)作为东海最大的入海河流长江,无机氮入海通量占河流源平均为76.5%。其通量从20世纪80年代的 $4.0 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 上升到80年代中期的 $6.2 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,后保持在此值上下浮动,然后从90年代开始快速上升到21世纪初的 $1.8 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] Jickells T D. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone[J]. Science, 1998, **281**(5374): 217-222.
- [2] Shi Q, Gao Z H, Yang J Q. Analysis of interannual variations of inorganic nitrogen in the Bohai Sea[J]. Marine Science Bulletin, 2002, **21**(2): 22-29.
- [3] Seitzinger S P, Harrison J A, Dumont E, et al. Sources and delivery of carbon, nitrogen, and phosphorus to the coastal zone: an overview of global nutrient export from watersheds (NEWS) models and their application[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2005, **19**: 2606-2617.
- [4] Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers[J]. American Journal of Science, 1982, **282**(4): 401-450.
- [5] Smith S V, Ibarra-Obando S, Boudreau P R, et al. Comparison of carbon, nitrogen and phosphorus fluxes in Mexican coastal lagoons[R]. LOICZ Reports and Studies No. 10. 1996, 88.
- [6] Thom P V. The preliminary study on behaviors of nutrients and heavy metals in estuarine and coastal zone of NhaTrang Bay[R]. Report of Institute of Oceanography, 1996.
- [7] Radach G, Lenhart H J. Nutrient dynamics in the North Sea: fluxes and budgets in the water column derived from ERSEM[J]. Netherlands Journal of Sea Research, 1995, **33**(3-4): 301-335.
- [8] Zhang J. Nutrient elements in large Chinese estuaries [J]. Continental Shelf Research, 1996, **16**(8): 1023-1045.
- [9] Liu S M, Hong G H, Zhang J, et al. Nutrient budgets for large Chinese estuaries [J]. Biogeosciences, 2009, **6**(10): 2245-2263.
- [10] LOICZ data online. LOICZ[EB/OL]. [2012-04-27]. <http://kopc01.gkss.de:7777/loiczdb/faces/app/Welcome.jspx>.
- [11] 国家海洋局. 20世纪末中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2001.
- [12] 国家环境保护总局. 长江口及毗邻海域环境状况调查分析[R]. 北京: 国家环境保护总局, 2006.
- [13] 国家海洋局. 中国海洋环境质量年报(1998)[R]. 北京: 国家海洋局, 1998.
- [14] 梁松, 钱宏林, 齐雨藻. 中国沿海的赤潮问题[J]. 生态科学, 2000, **19**(4): 44-50.
- [15] 刘录三, 李子成, 周娟, 等. 长江口及其邻近海域赤潮时空分布研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(9): 2947-2504.
- [16] Zhou J L, Fileman T W, House W A, et al. Fluxes of organic contaminants from the river catchment into, through and out of the Humber Estuary, UK[J]. Marine Pollution Bulletin, 1999, **37**(3-7): 330-342.
- [17] Duce R A, Liss P S, Merrill J T, et al. The atmospheric input of trace species to the world ocean [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1991, **5**(3): 193-259.
- [18] 李茂田, 程和琴. 近50年来长江入海溶解硅通量变化及其影响[J]. 中国环境科学, 2001, **21**(3): 193-197.
- [19] 谷国传, 胡方西, 胡辉, 等. 长江口外高盐水入侵分析[J]. 东海海洋, 1994, **12**(3): 1-11.
- [20] 潘玉球, 黄树生. 长江冲淡水输运和扩散途径的分析[J]. 东海海洋, 1997, **15**(2): 25-34.
- [21] 周名江, 颜天, 邹景忠. 长江口邻近海域赤潮发生区基本特征初探[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(7): 1031-1038.
- [22] 练兴常. 整治陆源污染 净化海洋环境[J]. 海洋开发与管理, 2006, (1): 86-88.
- [23] 国家环境保护总局. 全国近岸海域环境功能区划[R]. 北京: 国家环境保护总局, 2000.
- [24] 环境质量调查报告编写组. 中国海岸带和海涂资源综合调查专业报告集——第十集环境质量调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1989.
- [25] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007, **18**(2): 230-234.
- [26] 张建云, 王金星, 李岩, 等. 近50年我国主要江河径流变化[J]. 中国水利, 2008, (2): 31-34.
- [27] 应铭, 李九发, 万新宁, 等. 长江大通站输沙量时间序列分析研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, **14**(1): 83-87.
- [28] 中华人民共和国国家统计局. 1996年统计公报[R]. 北京: 中华人民共和国国家统计局, 1997.
- [29] 国家海洋局2000年海洋污染预测编写组. 中国2000年海洋污染预测及防治对策的研究[R]. 北京: 国家海洋局, 1986.
- [30] 徐高田, 韦鹤平. 上海市水污染综合防治战略探讨[J]. 环境保护, 1997, (8): 2-4.
- [31] 王颖, 王腊春, 王栋, 等. 长江三角洲水资源水环境承载力、发展变化规律与永续利用之对策研究[J]. 水资源保护, 2003, (6): 34-40, 49.
- [32] 林显钰, 褚永安. 入海径流的初步分析[J]. 东海海洋, 1984, **2**(4): 1-10.
- [33] 黄忆芝. 浙江省近海海域油污染问题初析[J]. 环境污染与

- 防治, 1986, (6): 27-29.
- [34] 王植尧. 浙江省地表水水质调查和水质评价初步成果[J]. 浙江水利科技, 1982, (S1): 327-339.
- [35] 邵恒方. 福建三大河流沙量及其变化分析[J]. 福建水土保持, 1991, (1): 42-46.
- [36] 赵卫红. 福建近岸海域水质现状及污染防治对策[J]. 福建地理, 2006, 21(2): 107-109.
- [37] 林光衡. 对闽江水资源的几点认识和思考[J]. 发展研究, 2001, (5): 33-34.
- [38] 洪华生, 曹文志, 岳世平, 等. 九龙江河口生物地球化学元素通量的初步模拟[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(4): 1-4.
- [39] 邢文刚, 张国华, 俞双恩, 等. 鳌江平阳段纳污能力分析及总量控制预测[J]. 水资源保护, 2007, 23(1): 73-76.
- [40] 黄明聪, 陈能志. 福建晋江流域水资源承载力研究[J]. 水利水电技术, 2004, 35(4): 104-106.
- [41] 吴传明, 郭宣福. 晋江流域水资源现状分析评价[J]. 水利科技, 2003, (3): 6-7.
- [42] 陈小菁. 漳州市河口污染物输入对近岸海域水体富营养化的影响[J]. 漳州师范学院学报(自然科学版), 2006, (2): 116-120.
- [43] 金元欢. 我国入海河口的基本特点[J]. 东海海洋, 1988, 6(3): 1-11.
- [44] 陈冠贤. 中国海洋渔业环境《中国渔业资源调查和区划》之五[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 1988.
- [45] 程天文, 赵楚年. 我国主要河流入海径流量、输沙量及对沿岸的影响[J]. 海洋学报, 1985, 7(4): 460-471.
- [46] 马国瑞, 何念祖, 石伟勇. 浙江省主要水系流水中的硫、钾、硅含量及酸碱度的调查研究[J]. 浙江农业科学, 1987, (1): 14-17.
- [47] 董祖德, 王植尧. 浙江省河流水质污染特点及其发展趋势的展望[J]. 水资源保护, 1989, 9(2): 59-67.
- [48] 中国海岸带和海底资源综合调查专业报告集. 海水化学调查报告[R]. 北京: 海洋出版社, 1990. 200.
- [49] 浙江水利厅. 浙江省水资源公报(1998-2006)[R]. 杭州: 浙江水利厅.
- [50] 福建省水利厅. 福建省水资源公报(2004-2006)[R]. 福州: 福建水利厅.
- [51] 杨家坦. 福建省水资源分析评价[J]. 自然资源, 1989, (3): 13-21.
- [52] 黄祖亚. 福建省主要河流水质现状及其水污染特点分析评价[J]. 水文, 1993, (S1): 46-49.
- [53] Arheimer B, Brandt M. Watershed modelling of nonpoint nitrogen losses from arable land to the Swedish coast in 1985 and 1994[J]. Ecological Engineering, 2000, 14(4): 389-404.
- [54] Zhang J, Zhang Z F, Liu S M, et al. Human impacts on the large world rivers: would the Changjiang (Yangtze River) be an illustration? [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13(4): 1099-1105.
- [55] 陈利顶, 傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制[J]. 环境科学, 2000, 21(2): 98-100.
- [56] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[R]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [57] 周根娣, 章家骥, 卢善玲. 上海市郊氮肥流失及去向研究[J]. 上海环境科学, 1996, 15(4): 37-39.
- [58] 朱莉·斯托弗. 水危机: 寻找解决淡水污染的解决方案[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [59] 田平, 陈英旭, 田光明, 等. 杭嘉湖地区淹水稻田氮素径流流失负荷估算[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1911-1917.
- [60] 农业部. 中国农业统计年鉴(1999-2005)[R]. 北京: 中国农业出版社.
- [61] 赵传纲, 倪正泉, 朱德林, 等. 东海区发展水产资源增殖的设想[J]. 海洋水产研究, 1994, (15): 131-139.
- [62] 中国农业部渔业局. 中国渔业年鉴(2000-2005)[R]. 北京: 中国农业出版社.
- [63] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴(1999-2005)[R]. 北京: 中国农业出版社.
- [64] 国家海洋局. 中国海洋统计年鉴(2000-2003)[R]. 北京: 海洋出版社.
- [65] 南通市统计局. 南通市统计年鉴(2000-2006)[R]. 南通: 南通统计局.
- [66] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴(1997-2005)[R]. 北京: 中国统计出版社.
- [67] 浙江省统计局. 浙江统计年鉴(1998-2005)[R]. 北京: 中国统计出版社.
- [68] 林钦, 林燕棠, 李纯厚, 等. 我国海水网箱养殖环境氮磷负荷量的评估[A]. 见: 贾晓平. 海洋水产科学研究文集[C]. 广州: 广东科技出版社, 1999. 217-225.
- [69] 李纯厚, 黄洪辉, 林钦, 等. 海水对虾池塘养殖污染物环境负荷量的研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 545-550.
- [70] 崔毅, 陈碧鹃, 陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评估[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 180-185.
- [71] 刘毅, 周明煜. 中国东部海域大气气溶胶入海通量的研究[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 38-45.
- [72] 林荣根. 海水富营养化水平评价方法浅析[J]. 海洋环境科学, 1996, 15(2): 28-31.
- [73] 贾晓平, 杜飞雁, 林钦, 等. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 160-163.
- [74] 张国森. 大气的干、湿沉降以及对东、黄海海洋生态系统的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [75] 刘昌岭, 任宏波, 陈洪涛, 等. 黄海及东海海域大气降水中的重金属[J]. 海洋科学, 2003, 27(9): 64-68.
- [76] 蒋海燕, 刘敏, 顾琦, 等. 上海城市降水径流营养盐氮负荷及空间分布[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(1): 15-17.
- [77] 万小芳, 吴增茂, 常志清, 等. 南黄海和东海海域营养盐等物质入海通量的再分析[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(4): 14-18.
- [78] 张修峰. 上海地区大气氮湿沉降及其对湿地水环境的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1009-1102.
- [79] 涂俊. 南京市降水化学成分特征及变化趋势[J]. 上海环境科学, 1999, 18(10): 451-453.

- [80] 陈立奇, 杨绪林, 汤荣坤, 等. 黑潮海域上空气溶胶化学特征[A]. 见: 国家海洋局科技司. 黑潮调查研究论文选[C]. 北京: 海洋出版社, 1992. 295-302.
- [81] GESAMP (Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Pollution) Working Group. The atmospheric input of trace species to the world oceans. Rep Stud 38[R]. Geneva: World Meteorological Organ, 1989. 106.
- [82] Patterson C C, Settle D M. Review of data on eolian fluxes of industrial and natural lead to the land and seas in remote regions on a global scale[J]. Marine Chemistry, 1987, **22**(2-4): 137-162.
- [83] Duce R A, Liss P S, Merrill J T, *et al.* The atmospheric input of trace species to the world ocean[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1991, **5**(3): 193-259.
- [84] 王修林, 李国强. 渤海主要化学污染物海洋环境容量[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [85] 刘娟. 渤海化学污染物入海通量研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [86] 沈志良. 长江氮的输送通量[J]. 水科学进展, 2004, **15**(6): 754-759.
- [87] 王佳宁, 晏维金, 贾晓栋. 长江流域点源氮磷营养盐的排放、模型及预测[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(4): 658-666.

CONTENTS

Nutrient Dynamics over the Past 100 Years and Its Restoration Baseline in Dianshan Lake	LI Xiao-ping, CHEN Xiao-hua, DONG Xu-hui, <i>et al.</i> (3301)
Possibility of Total Dissolved Solid as one of Nutrient Baselines in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau	XI Bei-dou, ZHANG Ya-li, XU Qiu-jin (3308)
Fluorescence Discrimination Technique for Phytoplankton Based on the Wavelet Analysis	ZHANG Cui, SU Rong-guo, SONG Zhi-jie, <i>et al.</i> (3314)
Analysis of Algae Bloom and Lake Surface Bright Temperature in Chaohu Lake Based on Remote Sensing Data	ZHANG Hong, HUANG Yong, LI Kun (3323)
Case Study on Groundwater Health Risk Assessment and Remediation Strategy Based on Exposure Pathway	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, JIA Xiao-yang, <i>et al.</i> (3329)
Pollution Assessment in the Intertidal Zone of Beibu Gulf Using Multi-biomarker Pollution Index	DU Xiu-ping, MENG Fan-ping, WANG Zhi-feng, <i>et al.</i> (3336)
Estimation of the Flux of Inorganic Nitrogen Flowing into the East China Sea	WU Jia-lin, FANG Qian, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (3344)
Effects of Ocean Acidification on Growth, Phosphate and Nitrate Uptake of Macroalgae	YU Juan, ZHANG Yu, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (3352)
Forms and Distributions of Particulate Phosphorus in the Surface Sediments of North Yellow Sea	MENG Jia, YAO Qing-zhen, CHEN Hong-tao, <i>et al.</i> (3361)
Influence of Dredging on Sediment Resuspension and Phosphorus Transfer in Lake; A Simulation Study	YU Ju-hua, ZHONG Ji-cheng, ZHANG Yin-long, <i>et al.</i> (3368)
Transportation and Sources of the Suspended Particle in a Karst Spring During a Storm Event	YANG Ping-heng, LIU Zi-qi, HE Qiu-fang (3376)
Comparison of Trophic Status Analysis of the Daning River Within the Three Gorges Reservoir Before and After Experimental Impoundment	ZHANG Jia-lei, ZHENG Bing-hui, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (3382)
Nitrogen and Phosphorus Loss in Different Land Use Types and Its Response to Environmental Factors in the Three Gorges Reservoir Area	ZENG Li-xiong, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (3390)
Research on Stormwater Runoff Quality of Mountain City by Source Area Monitoring	LI Li-qing, SHAN Bao-qing, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (3397)
Occurrence Form and Ecological Effect of Selenium in Soil and Surface Water of Kailuan Coalfield of Tangshan	ZHANG Xiu-zhi, MA Zhong-she, WANG Yin-nan, <i>et al.</i> (3404)
Distribution of Arsenic in Surface Water in Tibet	WANG Ming-guo, LI She-hong, WANG Hui, <i>et al.</i> (3411)
Spatial and Temporal Distribution of Trace Elements in Surface Water in the Xilin River Basin	XUE Li-yang, WU Jin-kui, ZHANG Ming-quan, <i>et al.</i> (3417)
Concentration Characteristics and Ecological Risk of Persistent Organic Pollutants in the Surface Sediments of Tianjin Coastal Area	LU Xiao-xia, ZHANG Shu, CHEN Chao-qi, <i>et al.</i> (3426)
Distribution, Sources and Ecological Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyl in Sediments from Songhua River Basin	NIE Hai-feng, ZHAO Chuan-dong, LIU Ying-han, <i>et al.</i> (3434)
Distributions of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of the Yangtze Estuary	LI Tao, HOU Li-jun, LIU Min, <i>et al.</i> (3443)
Geochemical Characteristics of Nitrogen in Core Sediments from Sishili Bay, China	YANG Yu-wei, GAO Xue-lu, LI Pei-miao (3449)
Composition of <i>n</i> -Alkanes in Soils of the Yellow River Estuary Wetlands and Their Potential as Organic Matter Source Indicators	YAO Peng, YIN Hong-zhen, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (3457)
Study on the Degradation and Transformation of Nonylphenol in Water Containing Algae	PENG Zhang-e, FENG Jin-mei, HE Shu-ying, <i>et al.</i> (3466)
Degradation of Orange IV Dye Solution Catalyzed by Fe(NO ₃) ₃ ·(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ Modified GAC in the Presence of H ₂ O ₂	ZHANG Ying-jie, XU Shu-fen, LIAO Xia, <i>et al.</i> (3473)
Synthesis, Characterization and Electrocatalytic Performance of Pd/CMK-3 for Formic Acid Oxidation	HUAN Zhong-ke, ZONG En-min, WEI Dan, <i>et al.</i> (3479)
Research of Controlling Condition for Aeration Stabilization Pond Dealing with Sanitary Waste of Countryside	LI Huai-zheng, YAO Shu-jun, XU Zu-xin, <i>et al.</i> (3484)
Pilot-Scale Study on Treatment of Municipal Sewage by Moving-Bed Biofilm Reactor with the Hydrophobically Modified Polyurethane Cubes as Biofilm Carriers	WANG Yu-xiao, KONG Xiu-qin, FENG Quan, <i>et al.</i> (3489)
Variation Characteristics of Relative Molecular Mass of Different Fractions of Dissolved Organic Matter from Landfill Leachate During Photocatalytic Degradation	JIA Chen-zhong, WANG Yan-xin, ZHANG Cai-xiang (3495)
Mechanism of Nitrogen Removal by Partial Nitrification-Denitrification Biological Filter	SUN Ying-xue, XU Dong, TIAN Yuan, <i>et al.</i> (3501)
Performance Stability of CANON Reactor and Temperature Impact	FU Kun-ming, ZHANG Jie, CAO Xiang-sheng, <i>et al.</i> (3507)
Denitrifying Phosphorus Removal in a Modified University of Cape Town (MUCT) Process Treating Domestic Wastewater Under Nitrification and Nitritation	ZENG Wei, WANG Xiang-dong, ZHANG Li-dong, <i>et al.</i> (3513)
Study on the Stratification Components of Extracellular Polymeric Substances (EPS) in Activated Sludge and Their Variation Characteristics in Physicochemical Properties	YUAN Dong-qin, WANG Yi-li (3522)
Influence of Organic Loading Rate on the Start-up of a Sequencing Airlift Aerobic Granular Reactor	LIU Meng-yuan, ZHOU Dan-dan, GAO Lin-lin, <i>et al.</i> (3529)
Degradation Kinetics of Naphthalene by Anaerobic Sludge and Analysis of the Bacterial Biodiversity	CAO Xin-kai, YANG Qi, HAO Chun-bo (3535)
Sorption of 17 β -estradiol to Soils and Sediment and Influence of Pig Manure DOM	ZHANG Feng-song, LI Yan-xia, HUANG Ze-chun, <i>et al.</i> (3542)
Sorption Isotherms and Sorption Thermodynamics of Faecal Sterols on Offshore Sediment	ZHANG Xiao-lei, XUE Wen-ping, XU Heng-zhen, <i>et al.</i> (3547)
Research on the Characteristic of Toluene Migration and Distribution in Fluvio-Aquic Soil and Its Simulation Using STOMP Model	HAN Chun-mei, RAN Juan, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (3554)
Predicting the Cadmium Bioavailability in the Soil of Sugarcane Field Based on the Diffusive Gradients in Thin Films with Binding Phase of Sodium Polycrylate	WANG Fang-li, SONG Ning-ning, ZHAO Yu-jie, <i>et al.</i> (3562)
<i>In Situ</i> Immobilization of Pb and Cd in Orchard Soil Using Soil Ameliorants	TANG Min, ZHANG Jin-zhong, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3569)
Health Assessment of Heavy Metals in Roadside Soils at Different Operation Time; A Case Study of Zhengzhou-Shangqiu Section Along the Lianyungang-Horgas Highway	GU Lei, TONG Zhi-qi, SONG Bo, <i>et al.</i> (3577)
Amelioration Effects of Wastewater Sludge Biochars on Red Soil Acidity and Their Environmental Risk	LU Zai-liang, LI Jiu-yu, JIANG Jun, <i>et al.</i> (3585)
Effect of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on the Vertical Distribution of Denitrifying Genes in River Sediments	WU Yan-yang, WU Qun-he, HUANG Shan, <i>et al.</i> (3592)
Role of Layered Double Hydroxide (LDH) in the Protection of Herring Testis DNA from Heavy Metals	TANG Yi-ni, WU Ping-xiao, ZHU Neng-wu (3598)
Mineralogical Characteristics of Biogenic Schwertmannite Amended with Different Pretreatment Methods and the Effects on As(Ⅲ) Absorption	LIANG Jian-ru, LI Zhe-ying, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (3606)
Mechanism of Heavy-Metal Tolerance in <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ZGKD2	ZHANG Yu-xin, WANG Jiao, CHAI Tuan-yao, <i>et al.</i> (3613)
Isolation, Degradation Characteristics of a 1,2-Dichloroethane-Degrading Strain	WANG Xiao-chun, CHEN Dong-zhi, JIN Xiao-jun, <i>et al.</i> (3620)
Isolation and Degradation Characteristics of PCB-degrading Strain	SHI Shun-yan, FENG Liu, GONG Ji (3627)
Preliminary Study on the Changes of Bacterial Community Structure in Qingcaosha Reservoir During Water Storage Period	PENG Qing, XIE Bing, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3634)
N ₂ O Exchange Fluxes from Wheat-Maize Crop Rotation System in the North China Plain	PEI Shu-wei, ZHANG Yuan-yuan, LIU Jun-feng, <i>et al.</i> (3641)
Analysis of the Impact of Two Typical Air Pollution Events on the Air Quality of Nanjing	WANG Fei, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (3647)
Pollution Characteristics of VOCs in Ambient Air of Ji'nan City in Summer	LIU Ze-chang, ZHANG Fan, HOU Lu-jian, <i>et al.</i> (3656)
Effects and Mechanism of Catalytic Decomposition of Ozone by Activated Carbon	LIU Hai-long, ZHANG Zhi-ye, ZHANG Zhong-ming, <i>et al.</i> (3662)
Effect of Elevated O ₃ on the Arbuscular Mycorrhizal (AM) Structure and Glomalin Production in Two Genotypes of Snap Bean	WANG Peng-teng, DIAO Xiao-jun, WANG Shu-guang (3667)
Effect of Exogenous Calcium on the Activities of Antioxidative Protective Enzymes in Ectomycorrhizal Fungi Under Aluminum Stress	WANG Ming-xia, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3675)
Mercury Pollution in Cricket in Different Biotopes Suffering from Pollution by Zinc Smelting	ZHENG Dong-mei, LI Xin-xin, LUO Qing (3680)

《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10月15日 33卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 10 Oct. 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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