

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	邱小琮, 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 <i>Paracoccus versutus</i> 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 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及品种筛选研究	傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛 (2475)
闽江河口短叶荇菜湿地 CH ₄ 和 N ₂ O 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)	

福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析

李雪丁

(福建省海洋预报台,福州 350003)

摘要: 收集整理了自 2001 ~ 2010 年近 10 a 的福建沿海 161 起赤潮事件,通过统计的方法综合分析. 结果表明福建沿海赤潮在时间和空间上具有以下特征:①时间分布上,赤潮主要发生在 4 ~ 9 月,高发期为 5 ~ 6 月,大部分赤潮的持续时间为 2 ~ 4 d,且发生面积在 50 km² 以下. 近年来赤潮初发期的时间提早,且其持续时间较长;②引发赤潮的生物有 20 种,其中硅藻类 10 种,甲藻类 9 种,原生动物类 1 种. 引发赤潮最多的生物为东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense*),其次为夜光藻 (*Noctiluca scintillans*)、中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 和角毛藻 (*Chaetoceros* sp.). 引发赤潮的种类具有演替规律,不断有新的种类引发赤潮;③空间分布上,赤潮主要发生在宁德市沿海、福州市沿海和厦门市沿海海域. 福建省平潭以北沿海海域引发赤潮的藻种主要为东海原甲藻和夜光藻,而平潭以南沿海海域引发赤潮的藻种主要为中肋骨条藻和角毛藻;④引发有毒赤潮的藻种主要为米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi*),主要发生在福建平潭以北沿海海域. 通过对近 10 a 福建沿海赤潮的全面分析,为福建省赤潮的防灾减灾和赤潮预警工作提供科学合理的依据.

关键词: 赤潮; 时空分布; 特征; 福建沿海; 赤潮藻种; 统计

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2210-07

Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years

LI Xue-ding

(Fujian Marine Forecasts, Fuzhou 350003, China)

Abstract: There were 161 red tide events collected during the last 10 years from 2001 to 2010 in Fujian coastal waters. Comprehensive analysis was performed using statistical methods and the results indicated the following characteristics of the temporal and spatial distribution of red tide in Fujian coastal waters: ① Outbreaks of red tide often occurred between April and September, and the peak period was in May and June. Most red tide events lasted for 2 to 4 days, and the affected area was below 50 square kilometers. The first outbreak of red tide tended to occur earlier in recent years, and the lasting time became longer. ② There were 20 species of organisms causing the red tides in Fujian coastal waters, among which 10 species were Bacillariophyta, 9 species were Dinophyta and 1 species was Protozoa. *Prorocentrum donghaiense* was the most frequent cause of red tides, followed by *Noctiluca scintillans*, *Skeletonema costatum* and *Chaetoceros* sp.. The species caused red tides obeyed the succession law and there were always new species involved. ③ In terms of spatial distribution, outbreaks of red tides mainly occurred in the coastal waters of Ningde, Fuzhou and Xiamen. The species causing red tides were *Prorocentrum donghaiense* and *Noctiluca* in the coastal waters in the north of Pingtan, Fujian Province, *Skeletonema costatum* and *Chaetoceros* in the coastal waters in the south of Pingtan, Fujian Province. The comprehensive analysis of the characteristics of red tides during the last 10 years is expected to provide scientific and reasonable basis for the prevention, reduction and forecast of red tides in Fujian coastal waters.

Key words: red tide; temporal and spatial distribution; characteristics; Fujian coastal waters; red tide species; statistics

赤潮是我国沿海地区主要海洋生态灾害之一,也是当今世界海洋的一大灾害,它的发生对海洋水体生态环境、水产养殖及滨海旅游业等构成了危害,甚至有些赤潮生物所分泌的毒素能随着食物链进入人体,从而危及人类的健康和安全^[1]. 近十几年来,随着全球沿海地区经济的迅猛发展和城市化进程的加快,大量工农业废水和生活污水排放入海,致使近海环境污染日益加重,赤潮灾害呈现出发生频率增加,暴发规模扩大,危害程度加剧等现象,对海洋生态系统、水产养殖业及人类健康的危害日趋严重,引起了各国政府和养殖界的普遍重视^[2~4]. 赤潮的危

害方式主要有以下几个方面,一是发生赤潮的海域透明度低,导致生长在水体深层的海洋生物大量死亡,从而破坏海洋生态系统;二是赤潮生物向体外排出的粘液,会附着在海洋动物的鳃和表皮上,妨碍其呼吸,甚至使其窒息死亡;三是部分赤潮生物会产生毒素,导致其它生物中毒死亡;四是死亡的赤潮生物和被赤潮夺去生命的海洋生物腐烂分解时会

收稿日期: 2011-09-06; 修订日期: 2011-11-17

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA09A302); 福建省科技计划重点项目(2011Y0004)

作者简介: 李雪丁(1982~),男,硕士,助理研究员,主要研究方向为海洋预报, E-mail: lxd007@xmu.edu.cn

不断消耗水中的溶解氧,造成水体缺氧,恶化生态环境^[1]. 赤潮毒素具有毒性大、反应快、防治困难等特点,目前已知的对人类有害的藻毒素主要有麻痹性贝毒 (PSP)、腹泻性贝毒 (DSP)、神经性贝毒 (NSP)、记忆缺失性贝毒 (ASP) 和西加鱼毒素 (CFP) 等^[1].

福建省是我国的海洋大省,海域面积 13.6 万 km²,海岸线曲折漫长,海湾众多,沿海岛屿星罗密布,包括岛屿在内的海岸线长达3 752 km. 由于其特殊的海湾环境、气候条件及沿海海洋环境污染的加剧^[5],福建省已成为全国赤潮灾害多发省份之一,严重威胁着福建省的渔业生产、滨海旅游甚至公众健康. 面对福建沿海日益突出的这一海洋生态问题,国内学者进行了大量的分析研究^[6~10],包括赤潮发生的特征及其原因等,如杜琦^[6]和许珠华^[8]等分别利用 2000~2002 年和 2000~2004 年的赤潮数据对福建沿岸海域赤潮发生特点和防治措施进行了分析,龙华等^[7]研究了福建沿海米氏凯伦藻赤潮发生和发展的必要条件,许翠娅等^[10]研究了福建沿岸海域主要赤潮生物的生态学特征. 然而,大多数研究主要集中在对赤潮生物生态学特征的分析上,所涉及的赤潮数据时间跨度亦较小,存在局限性. 基于此,本研究通过收集福建省沿海 2001~2010 年所记录的赤潮资料,对近 10 a 赤潮发生的时空分布特征及规律进行分析研究,具体包括赤潮发生的年际和季节变化、引发赤潮的主要优势藻种及其季节变化、赤潮发生的持续时间、赤潮发生的地域变化以及有毒赤潮发生特征等,以期为福建沿海的赤潮监测、预警和管理提供科学依据.

1 基础数据

赤潮资料数据来源于福建省海洋与渔业厅,包括 2001~2010 年近 10 a 福建沿海赤潮发生的起始和消亡时间、发生海域、赤潮最大面积、赤潮优势生物、持续时间、造成损失、是否有毒等相关的基础数据.

2 结果与讨论

2.1 福建沿海赤潮的时间变化特征

2.1.1 福建沿海赤潮的年际变化特征

近 10 a 福建沿海共发生赤潮 161 起,平均每年发生 16.1 起,其历年的赤潮发生起数如图 1(a)所示,其中 2003 年发生最多为 29 起,2001、2004、2005、2008、2009 年发生起数均低于平均值. 赤潮在各年份发生起数分布不均匀有多方面的原因,一是气候差异所引起:根据研究^[11],赤潮多发生在比常年气候偏暖的月份,特别是冬春季比常年暖和的年份更可能发生较多的赤潮事件;二是年际气候具有一定的周期变化,从而引起赤潮发生频率的变化. 近 10 a 赤潮发生总面积为10 598.5 km²,其历年赤潮发生的面积如图 1(b)所示,2002、2003、2006、2010 年赤潮发生面积均超过1 500 km²,最大的发生面积为 2010 年的2 691.5 km²,而其它年份发生面积均在 500 km² 以下. 近 10 a 赤潮总的持续时间为 839 d,平均每年 83.9 d,其历年的赤潮持续时间如图 1(c)所示,2003 年赤潮持续时间最长,达到 175 d,同时 2008、2010 年赤潮持续时间也超过了 100 d,而从 2004~2010 年来看,赤潮的年累计持续天数呈递增的趋势. 近 10 a 赤潮造成的总损失为12 962 万元,其历年的损失如图 1(d)所示,主要发生在 2002、2003、2009 年间,分别为1 380 万元、4 248 万元和6 500 万元. 近 10 a 历年首次发生赤潮的时间如表 1 所示,从中可以看出,福建沿海赤潮的初发期基本以 4、5 月居多,占总数的 60%,但近几年赤潮的初发期有所提前,甚至在深冬季节 1 月和初春季节 2 月就有赤潮发生,并且首次发生的赤潮持续时间较长,如 2007 年第一次赤潮发生在 1 月 12 日的厦门同安湾海域,赤潮优势藻种为中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*),持续时间为 11 d; 2009 年第一次赤潮发生在 2 月 5 日的厦门同安湾海域,赤潮优势藻种为血红哈卡藻 (*Akashiwo sanguinea*),持续时间长达 22 d 之久.

表 1 福建沿海近 10 a 历年赤潮首次发生的日期及其持续时间

Table 1 Date and lasting time of the first red tide outbreak in each year in Fujian coastal waters during the last 10 years							
年份	首次发生赤潮日期	发生海域	持续时间/d	年份	首次发生赤潮日期	发生海域	持续时间/d
2001	5 月 15 日	霞浦四双列岛海域	3	2006	3 月 11 日	东山铜陵南部海域	3
2002	4 月 13 日	霞浦四双列岛海域	3	2007	1 月 12 日	厦门同安湾	11
2003	4 月 2 日	泉州湾	6	2008	3 月 10 日	连江黄岐海域	13
2004	4 月 27 日	霞浦四双列岛海域	2	2009	2 月 5 日	厦门同安湾	22
2005	4 月 19 日	罗源湾	8	2010	5 月 1 日	平潭海域	10

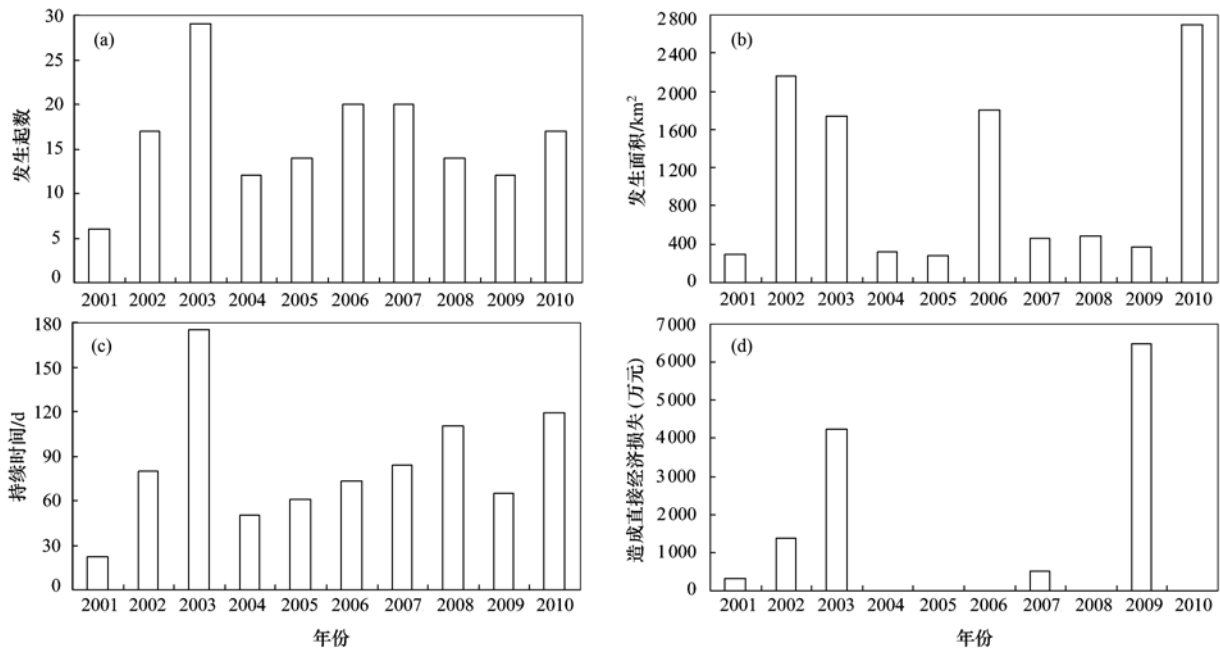


图1 福建沿海近10 a 赤潮的年际变化

Fig. 1 Yearly variations of the red tides in Fujian coastal waters during the last 10 years

2.1.2 福建沿海赤潮的季节变化特征

近10 a 福建沿海赤潮在各月份的发生起数如图2所示,除了12月没有发生赤潮外,其余月份均有发生,赤潮的主要发生时间在4~9月,共153起,占总数的95.0%,其中4月发生14起,占总数的8.7%;5月发生63起,占总数的39.1%;6月发生49起,占总数的30.4%;7月发生14起,占总数的8.7%;8月发生8起,占总数的5.0%;9月发生5起,占总数的3.1%,可见,福建沿海的赤潮高发期在5、6月,占全年的69.6%。赤潮在各月份发生起数分布不均匀的原因也是多方面的:首先是不同的赤潮生物对环境条件的适应能力不同,有的适温范围广,有的适温范围窄,从而形成各月都有可能发生赤潮,但发生频率又各有不同的状况^[12];其次福建沿海是受季风控制的亚热带海区,冬季盛行东北季

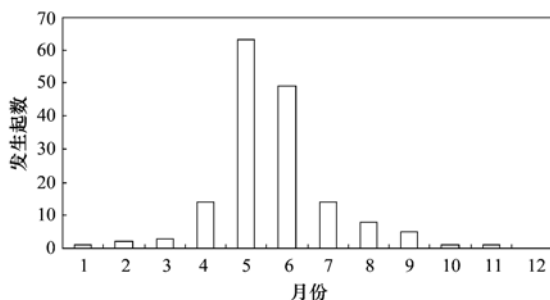


图2 福建沿海近10 a 赤潮在各月份发生的起数

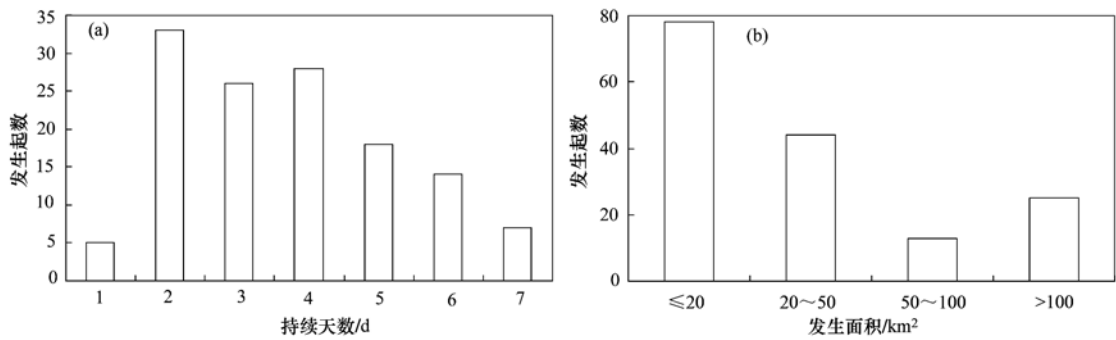
Fig. 2 Numbers of red tide outbreaks in each month in Fujian coastal waters during the last 10 years

风,夏季盛行西南季风^[13],5~6月正是东北季风衰退,西南季风逐渐强盛的转换时期,此时福建沿海风浪较小,水温快速上升,不断的有内陆气旋入海的影响,沿海湿度大^[14],同时雨季开始来临,这些因素都为5~6月发生赤潮提供了有利的条件。

近10 a 福建沿海赤潮发生的持续时间基本在7 d之内,共有131起,占总数的81.4%。最长的赤潮持续时间为35 d,为2003年5月20日发生在连江黄岐海域的裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)赤潮。赤潮持续天数分别在1~7 d 累计的赤潮起数如图3(a)所示,其中持续天数在2~4 d 的赤潮发生起数最多,分别为33起、26起和28起,共占总数的54.0%。赤潮发生面积分别在 ≤ 20 、20~50、50~100以及 >100 km² 区间内的累积发生起数如图3(b)所示,近10 a 福建沿海赤潮发生面积主要集中在50 km² 以下,共122起,占总数的75.8%,100 km² 以上面积的赤潮共25起,占总数的15.5%,最大的赤潮发生面积为925 km²,为2010年5月4日发生在宁德三沙湾海域的东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)赤潮。

2.2 福建沿海引发赤潮的种类分析

近10 a 在福建沿海由硅藻门(Bacillariophyta)藻种引发的赤潮共66起,由甲藻门(Dinophyta)引发的赤潮共98起,由原生动物门(Protozoa)引发的赤潮共1起,由于在同一起赤潮事件中可能有多种



(a) 赤潮持续天数分别在 1~7 d 的累计发生起数; (b) 赤潮发生面积分别在 ≤ 20 、20~50、50~100 及 >100 km² 区间内的累计发生起数

图 3 福建沿海近 10 a 赤潮在不同的持续天数和不同的发生面积区间内的累积发生起数

Fig. 3 Cumulative numbers of red tide outbreaks during the last 10 years based on different lasting time and different affected areas

藻种的生物密度同时达到或超过发生赤潮的基准密度,本研究在统计时分开计算,因此以上赤潮的累计起数大于实际赤潮发生的总起数. 引发赤潮的生物共有 20 种,其具体的生物名称及其引发的赤潮起数如表 2 所示,其中硅藻门引发赤潮的藻种有 10 种,分别为布氏双尾藻(*Ditylum brightwellii*)、地中海指管藻(*Dactyliosolen mediterraneus*)、尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)、日本星杆藻(*Asterionella japonica*)、新月菱形藻(*Nitzschia closterium*)、柔弱菱形藻(*Nitzschia delicatissima*)、诺氏海链藻(*Thalassiosira nordenskiöldii*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、角毛藻(*Chaetoceros* sp.)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*),甲藻门引发赤潮的藻种有 9 种,分别为短裸甲藻(*Gymnodinium brevis*)、多纹膝沟藻(*Gonyaulax polygramma*)、微小原甲藻(*Prorocentrum minimun*)、锥状斯克里普藻(*Scrippsiella trochoidea*)、血红哈卡藻(*Akashiwo sanguinea*)、裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)、米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)、夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*),原生动物门引发赤潮的生物有 1 种,为红色中缢虫(*Mesodiniu rubrum*). 其中角毛藻和裸甲藻均为光镜下未定种,分属于角毛藻属和裸甲藻属. 与许翠娅等^[10]的研究

结果在福建沿海引发赤潮的种类有 27 种相比,近 10 a 来在福建沿海没有出现以下 11 种引发赤潮的藻种,分别为硅藻门的聚生角毛藻(*Chaetoceros socialis*)、柔弱角毛藻(*Chaetoceros debilis*),短角弯角藻(*Eucampia zodiacus*)、威氏海链藻(*Thalassiosira weissflogii*),甲藻门的简单裸甲藻(*Gymnodinium simplex*)、旋沟藻(*Cochlodinium* sp.)、多甲藻(*Peridinium* sp.)、三叉角藻(*Ceratium trichoceros*)、卵甲藻(*Exuviaella* sp.),蓝藻门的红海束毛藻(*Trachodesmium erythraeum*),金藻门的球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*),而近 10a 来在福建沿海出现了 7 种新的引发赤潮的藻种,分别为硅藻门的布氏双尾藻、日本星杆藻、新月菱形藻、柔弱菱形藻、诺氏海链藻,甲藻门的微小原甲藻、锥状斯克里普藻. 表明福建沿海引发赤潮的种类具有演替规律,不断有新的生物种类引发赤潮.

由表 2 可知,福建沿海的赤潮优势藻种主要为硅藻门的中肋骨条藻、角毛藻(包括表 2 中的旋链角毛藻和角毛藻)和甲藻门的夜光藻、东海原甲藻,共引发赤潮 130 起,占总数的 80.7%,其中中肋骨条藻引发赤潮 33 起,占总数的 20.5%,角毛藻引发赤潮 21 起,占总数的 13.0%,夜光藻引发赤潮 35 起,占总数的 21.7%,东海原甲藻引发赤潮 41 起,

表 2 近 10 a 福建沿海引发赤潮的生物及引发的赤潮起数

Table 2 Species causing red tides and the corresponding numbers of outbreaks in Fujian coastal waters during the last 10 years					
赤潮生物	起数	赤潮生物	起数	赤潮生物	起数
布氏双尾藻	1	锥状斯克里普藻	1	裸甲藻	6
地中海指管藻	1	新月菱形藻	1	米氏凯伦藻	9
尖刺菱形藻	1	红色中缢虫	1	角毛藻	17
日本星杆藻	1	柔弱菱形藻	3	中肋骨条藻	33
短裸甲藻	1	血红哈卡藻	3	夜光藻	35
多纹膝沟藻	1	诺氏海链藻	4	东海原甲藻	41
微小原甲藻	1	旋链角毛藻	4		

占总数的 25.5%,以东海原甲藻引发赤潮的起数占据第一位.以上 4 种主要的赤潮藻种在福建沿海不同月份引发的赤潮起数如表 3 所示,中肋骨条藻引发赤潮的发生月份较广,从 1~9 月基本都有发生,但主要发生在 5~7 月,角毛藻引发赤潮的月份发生在 5~9 月,以 6~7 月居多,而夜光藻和东海原甲藻引发赤潮的发生月份非常集中,仅在 4~6 月,并且 5 月占据大多数.以上 4 种主要的赤潮藻种在福建沿海引发的赤潮持续时间统计如表 4 所示,中肋骨条藻赤潮持续时间从 2~11 d 都有发生,但以 3 d 和 9 d 为发生起数最多的持续天数;而角毛藻赤潮的持续时间主要为 2~4 d,以持续 4 d 的起数居多,共 11 起;夜光藻赤潮的持续时间为 5 d 左右;而东海原甲藻赤潮的持续时间为 2~3 d,时间较短,很少超过 5 d.

表 3 近 10 a 福建沿海 4 种主要赤潮藻种
引发赤潮的起数在不同月份的分布

Table 3 Distribution of red tide outbreaks caused by the 4
major red tide species in each month in Fujian coastal
waters during the last 10 years

月份	中肋骨条藻	角毛藻	夜光藻	东海原甲藻
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0	0	0
4	3	0	4	6
5	5	3	25	24
6	10	8	5	11
7	6	6	0	0
8	4	3	0	0
9	3	1	0	0
10	0	0	1	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0

表 4 近 10 a 福建沿海 4 种主要赤潮藻种引发赤潮的
持续天数及其累计发生起数

Table 4 Lasting time and the cumulative numbers of red tide
outbreaks caused by the 4 major red tide species in
Fujian coastal waters during the last 10 years

天数/d	中肋骨条藻	角毛藻	夜光藻	东海原甲藻
1	0	1	0	3
2	3	6	1	15
3	9	5	2	8
4	4	11	3	5
5	1	3	9	2
6	3	1	4	0
7	3	2	0	2
8	2	1	2	0
9	7	0	0	0
10	3	1	0	0
11	4	1	0	0
≥12 d	2	1	0	0

2.3 福建沿海赤潮的空间分布特征

近 10 a 福建省 6 个沿海地市发生的赤潮起数如图 4 所示,可以看出赤潮主要发生在宁德市、福州市和厦门市三市沿海,其赤潮的发生起数分别为 51 起、46 起和 48 起,共占福建沿海赤潮发生总数的 90.1%,而莆田市、泉州市和漳州市三市沿海赤潮的发生起数较少,分别为 4 起、8 起和 4 起.福建北部沿海(主要包括平潭以北的福州市和宁德市沿海)赤潮藻种主要为东海原甲藻和夜光藻,分别引发赤潮 40 起和 28 起,占福建北部沿海赤潮发生总数的 70.1%;福建南部沿海的赤潮藻种主要为中肋骨条藻和角毛藻,分别引发赤潮 21 起和 20 起,占福建南部沿海赤潮发生总数的 64.1%,表明不同的赤潮藻种存在明显的地域分布特征.

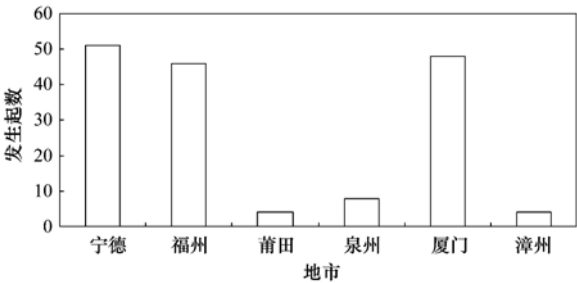


图 4 近 10 a 福建省 6 个沿海地市发生的赤潮起数

Fig. 4 Numbers of red tide outbreaks in the six coastal cities
of Fujian province during the last 10 years

如表 5 所示,宁德市沿海的赤潮主要发生在福鼎晴川湾、霞浦三沙湾、霞浦福宁湾和四礂列岛海域,这 4 个海域共发生 45 起赤潮,占宁德市沿海赤潮发生总数的 77.6%;福州市沿海的赤潮主要发生在连江黄岐海域、罗源湾和平潭海域,这 3 个海域共发生 44 起赤潮,占福州市沿海赤潮发生总数的 95.7%;厦门市沿海的赤潮主要发生在厦门同安湾和厦门西海域,这两个海域共发生 45 起赤潮,占厦门市沿海赤潮发生总数的 93.8%.此外,莆田市沿海的 4 起赤潮均发生在南日岛海域;泉州市沿海的 8 起赤潮,有 4 起发生在泉州湾,4 起发生在深沪湾;漳州市沿海的 4 起赤潮,2 起发生在东山湾,1 起发生在东山铜陵南部海域,1 起发生在台湾海峡的东碇岛海域.需要指出的是,由于同一起赤潮有时会跨越多个海域,本研究在统计时归为不同海域均发生赤潮.

从引发赤潮的藻种来看,宁德福鼎晴川湾发生的 6 起赤潮均由东海原甲藻引发,并且均发生在 4 月底到 6 月初;霞浦三沙湾发生的 8 起赤潮由包括旋链角毛藻、夜光藻、米氏凯伦藻、中肋骨条藻、尖刺菱形藻和东海原甲藻在内的 6 种藻种引发,并且发

表 5 近 10 a 宁德市沿海、福州市沿海、厦门市沿海赤潮发生的海域和起数

Table 5 Sea areas of red tide outbreaks in Ningde coastal waters, Fuzhou coastal waters and Xiamen coastal waters and the corresponding occurrence numbers during the last 10 years					
宁德市沿海		福州市沿海		厦门市沿海	
赤潮发生海域	起数	赤潮发生海域	起数	赤潮发生海域	起数
福鼎嵛山岛海域	1	福清湾	1	厦门白城海域	1
霞浦长春海域	1	连江黄岐海域	17	厦门九龙江口	2
霞浦浮鹰岛海域	1	罗源湾	7	厦门同安湾	17
霞浦西洋海域	2	闽江口	1	厦门西海域	28
霞浦闰峡海域	2	平潭海域	20		
福鼎沙垵海域	3				
福鼎台山列岛海域	3				
福鼎晴川湾	6				
霞浦三沙湾	8				
霞浦福宁湾	15				
霞浦四礐列岛海域	16				

生月份在 5 ~ 9 月;霞浦福宁湾发生的 15 起赤潮中,12 起引发赤潮的藻种为东海原甲藻,有 2 起为夜光藻,1 起为中肋骨条藻,发生的月份在 5 ~ 6 月上半月,其中 5 月共发生 11 起,6 月上半月共发生 4 起;霞浦四礐列岛海域发生的 16 起赤潮由东海原甲藻和夜光藻引发,分别发生 9 起和 7 起,均发生在 4 月下半月到 6 月上旬;福州连江黄岐海域发生的 17 起赤潮主要由东海原甲藻和中肋骨条藻引发,分别发生 6 起和 4 起,3 ~ 9 月均有发生;福州罗源湾发生的 7 起赤潮由中肋骨条藻、裸甲藻、东海原甲藻和夜光藻 4 种藻种引发,分别发生 3 起、2 起、1 起和 1 起,发生月份从 4 ~ 11 月均有发生;福州平潭海域发生的 20 起赤潮主要由夜光藻和东海原甲藻引发,分别发生 13 起和 4 起,均发生在 4 月上半月

~ 6 月中旬;厦门市同安湾发生的 17 起赤潮主要由角毛藻、中肋骨条藻和血红哈卡藻 3 种藻种引发,分别发生 6 起、5 起和 3 起,主要发生在 5 ~ 8 月,但也有发生在 1 ~ 3 月较早的时候;厦门西海域发生的 28 起赤潮主要由中肋骨条藻和夜光藻引发,分别发生 14 起、11 起,主要发生在 5 ~ 9 月。

2.4 福建沿海有毒赤潮情况分析

近 10 a 福建沿海引发有毒赤潮的藻种共有 4 种,分别为米氏凯伦藻、短裸甲藻、裸甲藻和微小原甲藻,共引发赤潮 12 起,其中米氏凯伦藻共引发赤潮 9 起,占有毒赤潮总数的 75%。如表 6 所示,有毒赤潮在 2003 年、2006 年、2007 年分别发生 3 起、2 起、4 起,2005、2009、2010 年各发生 1 起,均发生在 5、6 月,且基本发生在福建省平潭以北沿海海域。

表 6 福建沿海近 10 a 由有毒藻种引发的赤潮

Table 6 Toxic red tide outbreaks in Fujian coastal waters during the last 10 years						
序号	年份	发生日期	消亡日期	发生海域	最大面积/km ²	藻种
1	2003	5 月 30 日	6 月 3 日	霞浦浮鹰岛海域	150	短裸甲藻
2	2003	6 月 3 日	6 月 6 日	厦门九龙江口海域	40	米氏凯伦藻
3	2003	5 月 20 日	6 月 23 日	连江黄岐海域	150	裸甲藻
4	2005	6 月 4 日	6 月 15 日	霞浦三沙湾海域	40	米氏凯伦藻
5	2006	5 月 20 日	5 月 25 日	霞浦福宁湾至四礐列岛海域	30	米氏凯伦藻
6	2006	6 月 1 日	6 月 9 日	霞浦福宁湾海域	70	米氏凯伦藻
7	2007	5 月 12 日	5 月 14 日	连江黄岐海域	30	微小原甲藻
8	2007	6 月 9 日	6 月 14 日	连江黄岐海域	20	米氏凯伦藻
9	2007	6 月 11 日	6 月 12 日	平潭海域	50	米氏凯伦藻
10	2007	6 月 12 日	6 月 13 日	平潭海域	4	米氏凯伦藻
11	2009	5 月 30 日	6 月 3 日	福鼎市嵛山岛海域	25	米氏凯伦藻
12	2010	6 月 13 日	6 月 16 日	泉州深沪湾	7	米氏凯伦藻

在已发生的其它赤潮中伴随出现有毒藻种的赤潮共 7 起,该有毒藻种的最大生物密度没有达到发生赤潮的基准密度,其中米氏凯伦藻、塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*),分别伴随出现 6 次和 1

次。可见,近 10 a 福建沿海的有毒赤潮加上伴随出现有毒藻种的赤潮共计 19 起,占福建沿海赤潮发生总数的 11.8%,说明有毒赤潮在福建沿海发生的几率较高。上述几种有毒藻种的主要危害有:①米氏凯

伦藻能够分泌溶血性毒素,引起鱼类和海洋无脊椎动物的死亡,从而造成渔业经济损失;②短裸甲藻可产生神经性贝毒(NSP),刺激呼吸系统,引起海洋动物死亡;③裸甲藻可产生麻痹性贝毒(PSP);④微小原甲藻能够使软体动物(贝类)细胞出现损伤,并且可分泌出对甲壳类无节幼体产生毒害作用的物质;⑤塔玛亚历山大藻可产生麻痹性贝毒(PSP)^[15].近10 a来有毒赤潮在福建沿海造成了较大的经济损失,共计3 125万元,占总的经济损失的24.1%,其中2003年5月的裸甲藻赤潮造成连江黄岐海域水产养殖2 500万元的直接经济损失,2007年6月的米氏凯伦藻赤潮造成平潭海域水产养殖500万元的直接经济损失.

龙华等^[7]通过研究2003年5~6月由米氏凯伦藻引发的赤潮特征,表明强降雨、充足的光照、稳定的气温和良好的海况是米氏凯伦藻赤潮发生和发展的必要条件,指出米氏凯伦藻的适宜水温范围是20.5~24.0℃,最高的细胞密度出现在23.0℃附近,并且对营养盐的要求比较高,5、6月最适宜米氏凯伦藻生物的生长和繁殖.福建沿海有毒赤潮发生时一般都是复合型赤潮,伴随有其它无毒的优势藻种,如发生米氏凯伦藻赤潮时一般伴随有东海原甲藻;此外存在由无毒藻种的赤潮演替为有毒藻种的赤潮情况,如2009年5月30日发生在福鼎嵛山岛海域的赤潮就是由以新月菱形藻和夜光藻为优势藻种的无毒赤潮演替为以米氏凯伦藻为赤潮优势藻种的有毒赤潮.

3 结论

(1)近10 a福建沿海赤潮的时间分布特征,赤潮主要发生在4~9月,高发期为5~6月;大部分赤潮的持续时间为2~4 d,但最长持续时间可达35 d;赤潮规模一般相对较小,大部分赤潮发生面积集中在50 km²以下;近年来赤潮初发期的时间提早,并且其持续的时间较长;2004年以来赤潮的年累计持续天数有递增的趋势.

(2)近10 a福建沿海引发赤潮的种类特征,引发赤潮的生物有20种,其中硅藻类10种,甲藻类9种,原生动物类1种;引发赤潮最多的生物为东海原甲藻,其次为夜光藻、中肋骨条藻、角毛藻;东海原甲藻赤潮主要发生在5~6月,持续时间为2~3 d,夜光藻赤潮主要发生在5月,持续时间为5 d左

右,中肋骨条藻赤潮主要发生在5~7月,持续时间为3 d左右和9 d左右,角毛藻赤潮主要发生在6~7月,持续时间为2~4 d;引发赤潮的种类具有演替规律,不断有新的种类引发赤潮.

(3)近10 a福建沿海赤潮的空间分布特征,赤潮主要发生在宁德市沿海的福鼎晴川湾、霞浦三沙湾、霞浦福宁湾、霞浦四礐列岛海域,福州市沿海的平潭海域、连江黄岐海域、罗源湾和厦门市沿海的厦门西海域和厦门同安湾海域;福建省平潭以北沿海引发赤潮的藻种主要为东海原甲藻和夜光藻,而平潭以南沿海引发赤潮的藻种主要为中肋骨条藻和角毛藻.

(4)近10 a福建沿海有毒赤潮特征,引发有毒赤潮的藻种主要为米氏凯伦藻,均发生在5、6月,且主要发生在福建平潭以北沿海.

参考文献:

- [1] 齐雨藻. 中国沿海赤潮[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] Hallegraeff G M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase[J]. *Phycologia*, 1993, **32**(2): 79-99.
- [3] Corrales R A, Maclean J L. Impacts of harmful algae on seafarming in the Asia-Pacific areas [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1995, **7**(2): 151-162.
- [4] Anderson D M. Turning back the harmful red tide[J]. *Nature*, 1997, **388**(6642): 513-514.
- [5] 蔡清海, 陈于望, 陈水土, 等. 福建主要港湾的环境质量[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [6] 杜琦, 张友权, 高磊, 等. 近年福建海域赤潮的特点及防治对策[J]. *福建水产*, 2002, (4): 32-37.
- [7] 龙华, 杜琦. 福建沿海米氏凯伦藻赤潮的初步研究[J]. *福建水产*, 2005, (4): 22-26.
- [8] 许珠华, 侯建军. 福建沿岸海域赤潮发生特点及防治措施[J]. *台湾海峡*, 2006, **25**(1): 143-140.
- [9] 苏灵江. 厦门海域血红卡藻赤潮的环流形势和水文气象条件分析[J]. *福建水产*, 2009, (3): 62-66.
- [10] 许翠娅, 黄美珍, 杜琦. 福建沿岸海域主要赤潮生物的生态学特征[J]. *台湾海峡*, 2010, **29**(3): 434-441.
- [11] 吴瑞贞. 南海赤潮发生前后阶段水文气象要素演变特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [12] 吴瑞贞, 马毅. 近20 a南海赤潮的时空分布特征及原因分析[J]. *海洋环境科学*, 2008, **27**(1): 30-32.
- [13] Hellerman S, Rosenstein M. Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates [J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1983, **13**(7): 1093-1104.
- [14] 张春桂, 任汉龙, 吴幸毓, 等. 福建沿海赤潮灾害气象预报[J]. *气象科技*, 2010, **38**(2): 253-259.
- [15] 郭皓. 中国近海赤潮生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.

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 Jianshan	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

国内外公开发行人