

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O<sub>3</sub> 生成潜势 ..... 曹函玉, 潘月鹏, 王辉, 谭吉华, 王跃思 (2065)

利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态 ..... 牟莹莹, 楼晟荣, 陈长虹, 周敏, 王红丽, 周振, 乔利平, 黄成, 李梅, 李莉, 王倩, 黄海英, 邹兰军 (2071)

沈阳市降水化学成分及来源分析 ..... 张林静, 张秀英, 江洪, 张清新 (2081)

秦皇岛大气污染物浓度变化特征 ..... 刘鲁宁, 申雨璇, 辛金元, 吉东生, 王跃思 (2089)

禽类肉鸡生长过程 NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的排放 ..... 周忠凯, 朱志平, 董红敏, 陈永杏, 尚斌 (2098)

碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能 ..... 王晓晖, 卜龙利, 刘海楠, 张浩, 孙剑宇, 杨力, 蔡力栋 (2107)

生物滴滤塔净化多组分废气的研究 ..... 张定丰, 房俊逸, 叶杰旭, 邱松凯, 钱东升, 戴启洲, 陈东之 (2116)

在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气 ..... 金圣, 黄立维, 李国平 (2121)

模拟大气 CO<sub>2</sub> 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响 ..... 赵旭辉, 汤龙升, 史小丽, 杨州, 孔繁翔 (2126)

一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法 ..... 华祖林, 汪靛 (2134)

HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究 ..... 李燕, 李兆富, 席庆 (2139)

基于非点源污染的水质监测方案研究 ..... 吴喜军, 李怀恩, 李家科, 李强坤, 董雯 (2146)

不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究 ..... 陈玲, 刘德富, 宋林旭, 崔玉洁, 张革 (2151)

春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征 ..... 李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 张传松 (2159)

三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布 ..... 张永生, 郑丙辉, 王坤, 姜霞, 郑浩 (2166)

湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性 ..... 冯伟莹, 张生, 焦立新, 王圣瑞, 李畅游, 崔凤丽, 付绪金, 甄志磊 (2176)

刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响 ..... 侯金枝, 魏权, 高丽, 孙卫明 (2184)

反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换 ..... 李大鹏, 王晶, 黄勇 (2191)

三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征 ..... 李昆, 赵高峰, 周怀东, 刘晓茹, 余丽琴, 文武, 张盼伟 (2198)

UV 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究 ..... 张一清, 周玲玲, 张吉 (2205)

臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素 ..... 于丽, 张培龙, 侯甲才, 庞立飞, 李越, 贾寿华 (2210)

硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响 ..... 毛雯, 孙荣国, 王定勇, 马明, 张成 (2218)

炔雌醇氯化反应的动力学和机制研究 ..... 王斌楠, 刘国强, 孔德洋, 陆隽鹤 (2225)

金属离子对 δ-MnO<sub>2</sub> 去除对叔辛基酚抑制作用的研究 ..... 李非里, 牟华倩 (2232)

核-壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除 ..... 刘建明, 李红, 熊振湖 (2240)

有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究 ..... 闫梦玥, 庞志华, 李小明, 赵建宇, 罗隽 (2249)

纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征 ..... 于红蕾, 霍守亮, 杨周生, 席北斗, 谷逢宇, 张靖天 (2256)

改性水凝胶的制备及其对 Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 吸附性能研究 ..... 吴宁梅, 李正魁 (2263)

直接大红 4BE 的磷钨酸均相光催化还原脱色 ..... 魏红, 李克斌, 李娟, 陈经涛, 张涛 (2271)

基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究 ..... 张磊, 刘平, 马锦, 张静, 张明, 吴根 (2277)

Fenton 法处理竹制品废水生化出水的研究 ..... 郭庆稳, 张敏, 王炜, 杨治中, 吴东雷 (2283)

二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响 ..... 李永峰, 王艺璇, 程国玲, 刘春妍 (2290)

进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究 ..... 陈志强, 邓毅, 黄龙, 温沁雪, 郭子瑞 (2295)

接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究 ..... 刘文如, 沈耀良, 丁玲玲, 丁敏 (2302)

聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究 ..... 杨敏, 卢龙, 冯涌, 方超, 李雄清 (2309)

体积分数传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析 ..... 李志华, 范长青, 王晓昌 (2314)

我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价 ..... 汪浩, 冯承莲, 郭广慧, 张瑞卿, 刘跃丹, 吴丰昌 (2319)

麦穗鱼物种敏感性评价 ..... 王晓南, 刘征涛, 闫振广, 张聪, 何丽, 孟双双 (2329)

不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究 ..... 雷炳莉, 文育, 王艺陪, 康佳, 刘倩 (2335)

桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究 ..... 钱建平, 张力, 李成超, 黄栋 (2344)

直流电场处理后降线藻趋光性对 Cl<sup>-</sup> 和 Hg<sup>2+</sup> 的响应 ..... 王飞祥, 袁玲, 黄建国 (2350)

UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响 ..... 宋新章, 卜涛, 张水奎, 江洪, 王志坤, 赵明水, 刘永军 (2355)

7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征 ..... 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 杨聃聃 (2361)

溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析 ..... 于皓, 陈川, 张莉, 王爱杰 (2368)

不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroResp<sup>TM</sup> 方法 ..... 陈晓娟, 吴小红, 刘守龙, 袁红朝, 李苗苗, 朱捍华, 葛体达, 童成立, 吴金水 (2375)

典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究 ..... 陈建刚, 曹雪 (2383)

三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究 ..... 刘意章, 肖唐付, 宁增平, 贾彦龙, 黎华军, 杨菲, 姜涛, 孙昊 (2390)

北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征 ..... 陈志凡, 赵焯, 郭廷忠, 王永锋, 田青 (2399)

季节变化对贵阳市不同功能区地表灰尘重金属的影响 ..... 李晓燕 (2407)

东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征 ..... 王登阁, 崔兆杰, 傅晓文, 殷永泉, 许宏宇 (2416)

模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响 ..... 段雷, 马萧萧, 余德祥, 谭炳全 (2422)

甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究 ..... 孙明明, 滕应, 骆永明, 李振高, 贾仲君, 张满云 (2428)

胶质芽胞杆菌对印度芥菜根际土壤铜含量及土壤酶活性影响 ..... 杨榕, 李博文, 刘微 (2436)

长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征 ..... 吴小莲, 向垒, 莫测辉, 姜元能, 严青云, 李彦文, 黄献培, 苏青云, 王纪阳 (2442)

有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究 ..... 张旭, 席北斗, 赵越, 魏自民, 李洋, 赵昕宇 (2448)

北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析 ..... 王昭, 李振山, 冯亚斌, 焦安英, 薛安 (2456)

氨对垃圾焚烧飞灰浸出特性的影响及地球化学模拟 ..... 官贞珍, 陈德珍, Thomas Astrup (2464)

焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究 ..... 朱芬芬, 高冈昌辉, 大下和傲, 姜惠民, 北岛义典 (2473)

富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能 ..... 李坤权, 李焯, 郑正, 张雨轩 (2479)

生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估 ..... 姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (2486)

基于物质流分析的钾素流动与循环研究 ..... 白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁 (2493)

《环境科学》征订启事 (2115) 《环境科学》征稿简则 (2224) 信息 (2217, 2289, 2349, 2398) 专辑征稿通知 (2478)

# 刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响

侯金枝, 魏权, 高丽\*, 孙卫明

(烟台大学海洋学院, 烟台 264005)

**摘要:** 在荣成天鹅湖刚毛藻暴发区域采集新鲜沉积物和刚毛藻进行室内模拟试验, 定期监测上覆水中溶解氧(DO)、pH 和电导率等理化参数, 分析水体总磷(TP)、可溶性总磷(DTP)、可溶性磷(SRP)、溶解性有机磷(DOP)和颗粒态磷(PP)的含量变化, 并探讨了刚毛藻分解对沉积物磷释放的影响。结果表明, 刚毛藻分解过程中上覆水 DO 含量明显降低, 其中 30 g 藻 + 水 + 沉积物处理基本维持在厌氧状态(0~0.17 mg·L<sup>-1</sup>); 各处理水体 pH 值略有降低, 加藻处理约降低了 1 个单位。刚毛藻分解使上覆水总磷及各形态磷含量大幅上升, 且随藻量的增加, 上升幅度变大, 其中 TP 含量变化在 0.04~1.34 mg·L<sup>-1</sup> 之间。藻 + 水处理上覆水中磷的形态以 DOP 和 PP 为主, 而藻 + 水 + 沉积物处理 SRP 含量明显升高。结果说明, 刚毛藻分解过程中自身可释放大量的磷, 且释放形态以 PP 和 DOP 为主; 另一方面, 藻类分解可明显促进沉积物中磷的释放, 从而使得上覆水 SRP 含量大幅增加。

**关键词:** 刚毛藻; 分解; 磷释放; 上覆水; 磷形态

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2184-07

## Influence of Decomposition of *Cladophora* sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water

HOU Jin-zhi, WEI Quan, GAO Li, SUN Wei-ming

(Ocean School, Yantai University, Yantai 264005, China)

**Abstract:** Sediments were sampled in the dominated zone of *Cladophora* sp. in Rongcheng Swan Lake, and cultivated with algae in the laboratory to reveal the influence of *Cladophora* decomposition on concentrations and forms of phosphorus in the overlying water. Concentrations of total phosphorus (TP), dissolved total phosphorus (DTP), soluble reactive phosphorus (SRP), particulate phosphorus (PP) and dissolved organic phosphorus (DOP) in overlying water were investigated, and some physicochemical parameters, such as dissolved oxygen (DO), pH and conductivity were monitored during the experiment. In addition, the influence of algae decomposition on P release from sediments was analyzed. Due to the decomposition of *Cladophora*, DO concentration in the overlying water declined remarkably and reached the anoxic condition (0-0.17 mg·L<sup>-1</sup>). The pH value of different treatments also decreased, and treatments with algae reduced by about 1 unit. Concentrations of TP and different P forms all increased obviously, and the increasing extent was larger with the adding algae amount. TP concentrations of different treatments varied from 0.04 mg·L<sup>-1</sup> to 1.34 mg·L<sup>-1</sup>. DOP and PP were the main P forms in the overlying water in algae without sediments treatments, but SRP concentrations became much higher in algae with sediments treatments. The result showed that P forms released from decomposing *Cladophora* were mainly DOP and PP, and the *Cladophora* decomposition could also promote the sediments to release P into the overlying water.

**Key words:** *Cladophora*; decomposition; phosphorus release; overlying water; phosphorus forms

近年来,随着水体富营养化日益加重,藻华频繁暴发,如发生在淡水湖泊的蓝藻水华和近岸海域的绿潮<sup>[1]</sup>。藻类在生长繁殖过程中可大量吸收水体及沉积物中的营养盐,另一方面藻类的死亡分解又会对水体环境造成严重影响<sup>[2~4]</sup>。藻华暴发和消亡对水体营养盐循环的影响已逐渐成为国内外学者关注的热点。研究表明,微藻(如蓝藻)在死亡分解过程中能够向上覆水体释放大量溶解态、颗粒态和胶体态的营养盐<sup>[5,6]</sup>;沉水植物(金鱼藻、苦草等)的死亡分解也能够使上覆水体的氮磷营养盐含量明显上升<sup>[7,8]</sup>。水体中以离子态(如可溶性正磷酸盐)和胶体态存在的营养盐可直接或降解后被藻类所利用,

这些营养盐的存在可以促进藻华的暴发<sup>[9,10]</sup>。藻类的死亡分解还可使水体环境发生明显改变(如溶解氧含量降低等),造成水质恶化,进而影响沉积物中营养盐的释放<sup>[11,12]</sup>。

天鹅湖是山东省荣成市境内的天然泻湖,在东南部与外海相通,生物资源较为丰富。近年来,由于人为活动的影响,天鹅湖的生态环境遭到了一定程度的破坏,每年春夏季节,在湖区的西北部滋生繁衍

收稿日期: 2012-09-14; 修订日期: 2012-10-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41273130,40801084); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2007BS08017)

作者简介: 侯金枝(1987~),女,硕士研究生,主要研究方向为湿地生源要素磷的循环, E-mail: houjinzhi104@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: ligao117@126.com

大量的刚毛藻 (*Cladophora* sp.)<sup>[13]</sup>. 刚毛藻暴发时堆积于水底,厚度可达几十 cm. 目前,藻类分解过程中向水体释放营养盐的研究多集中于浮游微藻(如蓝藻等),而有关刚毛藻(绿潮藻类)的报道较少. 本研究通过室内模拟的方式,初步探讨了刚毛藻死亡分解对水体各形态磷含量及沉积物磷释放的影响,旨在阐明大型藻类死亡分解对水土界面磷循环的影响.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2012年4月,在天鹅湖刚毛藻暴发区域(37°21.447'N,122°34.301'E)用抓斗式采泥器采集表层沉积物(0~10 cm)、生长良好的刚毛藻和表层湖水. 该区域为入湖河流的主要分布区,水质污染严重,近几年来刚毛藻频繁暴发. 样品放入保温箱内冷藏,尽快运回实验室. 沉积物去除动植物残体和砾石后,混匀冷藏备用(2℃),并测定磷的赋存形态、pH及含水量. 刚毛藻去除衰老死亡植株及其它附着藻类后,用自来水和蒸馏水洗净,冷冻杀死(-20℃,48 h),备用. 湖水过滤备用,其基本理化性质如下:pH为8.07,总磷0.057 mg·L<sup>-1</sup>,可溶性总磷0.011 mg·L<sup>-1</sup>,可溶性磷0.001 mg·L<sup>-1</sup>.

### 1.2 试验设计

试验容器为2 L的高型烧杯( $h=23.5$  cm, $d=12.5$  cm),设5个处理,3次重复. 试验处理分别为:A 10 g藻+水、B 30 g藻+水、C 10 g藻+水+沉积物、D 30 g藻+水+沉积物、E 水+沉积物.

具体操作:准确称取0.30 kg的新鲜沉积物,将其均匀平铺于烧杯底部,在沉积物表面覆盖一层100目的尼龙网,然后放入不同质量(鲜重)的刚毛藻(无沉积物处理只加入刚毛藻),最后向烧杯中缓慢注入1.8 L的过滤湖水;烧杯外壁覆黑纸以避光. 试验过程中,监测上覆水的pH、溶解氧及电导率等理化参数(每3 d测定1次);定期在距水土界面3 cm处吸取水样(第1周为每日取样,之后为2 d取样1次),分析上覆水中总磷及各形态磷含量. 每次取样后补充相同体积的试验湖水. 试验结束时测定新鲜沉积物中磷的赋存形态. 试验过程温度为20℃左右,周期为30 d.

### 1.3 分析方法

总磷:过硫酸钾消解后钼锑抗分光光度法测定;可溶性总磷:水样过滤后过硫酸钾消解,钼锑抗分光光度法测定;可溶性磷:水样过滤后钼锑抗分光光

度法测定;颗粒态磷:总磷与可溶性总磷含量之差;溶解性有机磷:可溶性总磷与可溶性磷含量之差<sup>[14]</sup>.

溶解氧:梅特勒SG6-FK2溶氧仪测定;电导率:电导率仪(DDS-307)测定;pH:梅特勒pH计(FE20)测定.

沉积物磷形态的测定:采用连续提取法<sup>[15]</sup>. 依次用1.0 mol·L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>Cl、0.11 mol·L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、0.1 mol·L<sup>-1</sup> NaOH和0.5 mol·L<sup>-1</sup> HCl提取,分别得到弱结合态磷(NH<sub>4</sub>Cl-P)、可还原态磷(BD-P)、铁锰结合态磷(NaOH-P)和钙结合态磷(HCl-P).

### 1.4 数据处理

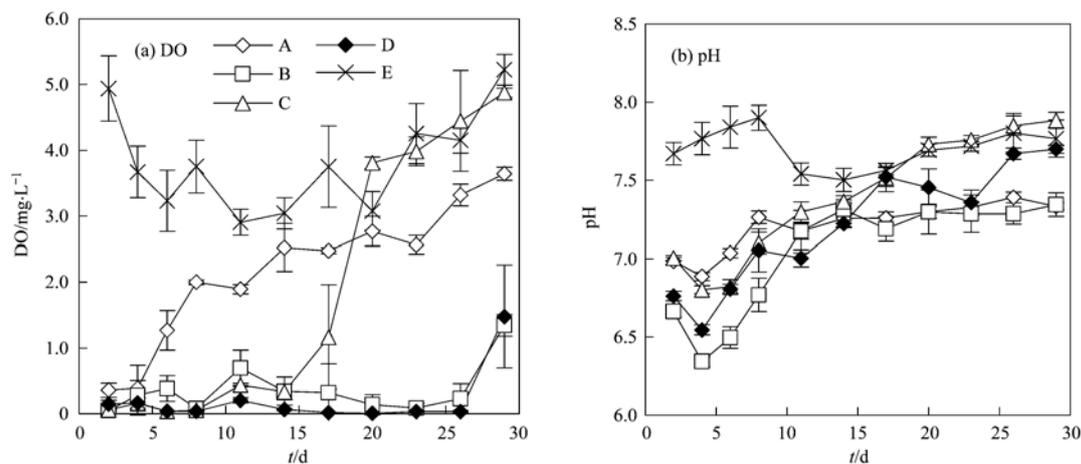
统计分析采用SPSS 17.0软件,用Turkey HSD检验比较了不同处理间各指标的差异性,并对总磷及各形态磷间的相关性进行了分析(Pearson's correlation).

## 2 结果与分析

### 2.1 分解过程中水体理化参数的变化

刚毛藻分解使上覆水的溶解氧(DO)含量明显下降,且加入藻量越多,降幅越大[图1(a)]. 各处理上覆水DO含量的变幅为0~5.22 mg·L<sup>-1</sup>,其中加藻处理明显低于无藻处理( $P<0.05$ ),各处理顺序为:水+沉积物>10 g藻+水>10 g藻+水+沉积物>30 g藻+水>30 g藻+水+沉积物. 30 g藻+水和30 g藻+水+沉积物两处理在大部分时间内(0~25 d)均处于厌氧状态( $DO<0.20$  mg·L<sup>-1</sup>),后期含量有所增加(分别为1.34 mg·L<sup>-1</sup>和1.48 mg·L<sup>-1</sup>). 可能原因为:由于刚毛藻的死亡分解,微生物活动加剧,迅速消耗了水中氧气;另外在藻类分解过程中,上覆水体表面形成一层白色的粘着性的隔膜,阻断了空气中氧气的溶解.

与初始水体pH(8.07)相比,藻类分解过程中各处理上覆水的pH值均有所降低,变幅为6.34~7.90[图1(b)],这与沉积物(pH为6.97)对上覆水的缓冲作用有关. 加藻处理的pH随时间表现出先下降、之后有所上升,然后趋于平稳的趋势. 在0~15 d期间各处理的顺序为:水+沉积物>10 g藻+水>10 g藻+水+沉积物>30 g藻+水+沉积物>30 g藻+水,其中各加藻处理显著低于水+沉积物处理( $P<0.05$ ),试验后期处理间差异减小. 10 g藻+水与10 g藻+水+沉积物两处理的pH与DO间均表现出极显著的正相关关系( $r$ 分别为0.95\*\*



A: 10 g 藻 + 水; B: 30 g 藻 + 水; C: 10 g 藻 + 水 + 沉积物; D: 30 g 藻 + 水 + 沉积物; E: 水 + 沉积物, 下同

图 1 刚毛藻分解过程中上覆水体理化参数的变化

Fig. 1 Changes in physicochemical parameters in overlying water during the decomposition of *Cladophora*

和 0.90<sup>\*\*</sup>).

电导率在藻类整个分解过程中变化不大, 表现为略有上升. 各处理之间差异不明显, 变化在 6.61 ~ 7.34 S·m<sup>-1</sup> 之间, 加藻处理变幅为 6.69 ~ 7.34 S·m<sup>-1</sup>, 无藻处理为 6.61 ~ 7.16 S·m<sup>-1</sup>. 可见刚毛藻死亡分解对水体电导率影响不大.

## 2.2 上覆水体总磷的含量变化

从图 2 可以看出, 刚毛藻分解过程中不同处理上覆水的总磷 (TP) 含量差异较大, 变幅为 0.04 ~ 1.34 mg·L<sup>-1</sup>, 其中加藻处理显著高于无藻处理 ( $P < 0.05$ ). 各加藻处理的变化趋势相似, 表现为前期 (0 ~ 10 d) 随时间延长而下降, 在试验中期 (10 ~ 20 d) 趋于平稳, 但后期藻 + 沉积物处理又有所上升. 不同处理在试验前期表现为: 30 g 藻 + 水 > 30 g 藻 + 水 + 沉积物 > 10 g 藻 + 水 + 沉积物 > 10 g 藻 + 水 > 水 + 沉积物; 在试验中期 30 g 藻 + 水 + 沉积物处理显著高于 30 g 藻 + 水处理 ( $P < 0.05$ ). 在试验后期 (20 ~ 30 d), 藻 + 沉积物处理的含量较高, 表现为: 30 g 藻 + 水 + 沉积物 > 10 g 藻 + 水 + 沉积物 > 30 g 藻 + 水 > 10 g 藻 + 水 > 水 + 沉积物, 其中藻 + 沉积物和相同藻量的无沉积物处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ). 在整个试验过程, 水 + 沉积物处理的 TP 含量均较低, 变化在 0.04 ~ 0.09 mg·L<sup>-1</sup> 之间. 以上分析可见, 水体中总磷含量与加入的藻量关系密切, 藻量越大, 则分解过程中向水体中释放的磷量越多; 在藻量相同的情况下, 沉积物的存在可使水体中总磷的浓度明显增加, 后期尤为明显.

## 2.3 上覆水中可溶性总磷的含量变化

图 3 反映了藻类分解过程中上覆水可溶性总磷

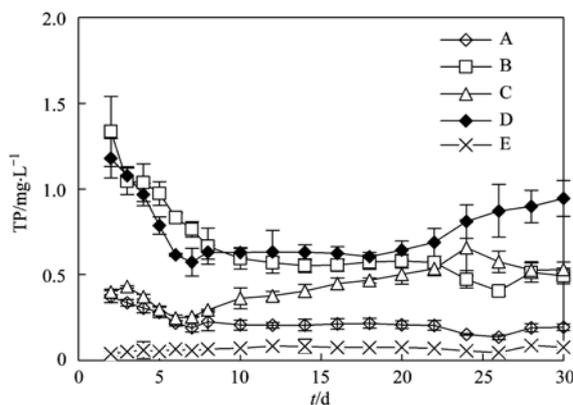


图 2 刚毛藻分解过程中上覆水体总磷含量的变化

Fig. 2 Changes in TP concentration in overlying water during the decomposition of *Cladophora*

(DTP) 的动态变化. 30 g 藻两处理的 DTP 含量在试验前中期 (0 ~ 20 d) 表现出先下降后稳定的变化趋势, 后期又有所上升; 10 g 藻 + 水 + 沉积物处理在早期 (0 ~ 7 d) 含量有所下降, 之后一直呈逐渐上升趋势; 10 g 藻 + 水处理在试验早期出现下降趋势, 而后趋于稳定. 在试验前中期, DTP 含量由高到低为: 30 g 藻 + 水 + 沉积物 > 30 g 藻 + 水 > 10 g 藻 + 水 + 沉积物 > 10 g 藻 + 水 > 水 + 沉积物, 但试验后期 10 g 藻 + 水 + 沉积物处理显著高于 30 g 藻 + 水 ( $P < 0.05$ ), 各处理 DTP 含量变化在 0.02 ~ 0.71 mg·L<sup>-1</sup> 之间. 与总磷相同, 水 + 沉积物处理 DTP 含量在整个试验周期变化不明显, 变幅为 0.02 ~ 0.06 mg·L<sup>-1</sup>.

## 2.4 上覆水中可溶性磷的含量变化

在刚毛藻分解过程中, 不同处理间可溶性磷 (SRP) 的含量也存在较大差异 (图 4). 藻 + 沉积物

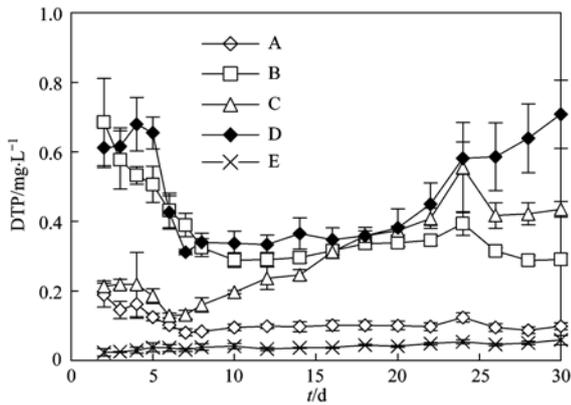


图3 刚毛藻分解过程中上覆水体可溶性总磷含量的变化

Fig. 3 Changes in DTP concentration in overlying water during the decomposition of *Cladophora*

处理的含量显著高于藻量相同而无沉积物的处理 ( $P < 0.05$ ), 10 g 藻 + 水 + 沉积物处理的最高含量达  $0.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 为 10 g 藻 + 水处理的 6.7 倍. 在试验前期 (0 ~ 10 d), SRP 含量由高到低为: 30 g 藻 + 水 + 沉积物 > 30 g 藻 + 水 > 10 g 藻 + 水 + 沉积物 > 10 g 藻 + 水、水 + 沉积物, 其中 30 g 藻 + 水 + 沉积物与 30 g 藻 + 水处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ); 在中期 (10 ~ 20 d), 除 10 g 藻 + 水 + 沉积物处理含量持续上升外, 其它处理变化不明显; 试验后期各处理 SRP 的含量顺序与 TP、DTP 相同. 10 g 藻 + 水与水 + 沉积物两处理在整个试验过程中 SRP 含量很低, 变幅分别为  $0 \sim 0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0 \sim 0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . 由此可见, 在藻量相同的情况下, 沉积物存在可使水体中可溶性磷的含量明显增加, 这是由于藻类分解过程中水体环境条件的改变促进了沉积物中磷的释放所致.

## 2.5 刚毛藻分解过程中上覆水磷赋存形态的变化

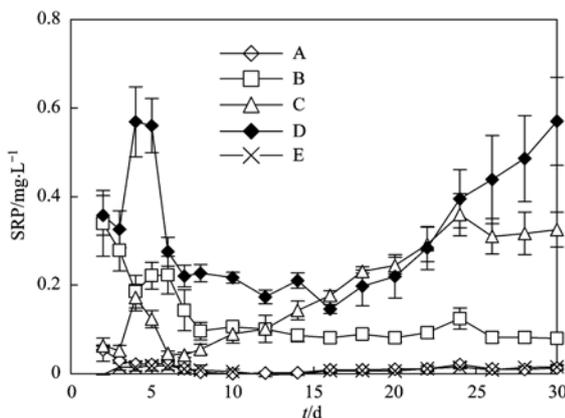


图4 刚毛藻分解过程中上覆水体可溶性磷含量的变化

Fig. 4 Changes in SRP concentration in overlying water during the decomposition of *Cladophora*

图5反映了不同阶段上覆水中各形态磷含量在总磷中所占的比例变化. 对 10 g 藻 + 水处理而言, 在试验前中期 (0 ~ 20 d), DTP (溶解性有机磷与可溶性磷之和) 与 PP (颗粒态磷) 占总磷的百分比均随时间变化不大, 稳定在 50% 左右; 而在后期, DTP 的比例升高 (25 d 时为 70.43%). 在 0 ~ 10 d, 10 g 藻 + 水处理的 DTP、PP 均与 TP 呈极显著的正相关关系 ( $r$  分别为 0.95\*\* 和 0.93\*\*). 30 g 藻 + 水变化的变化趋势与 10 g 藻 + 水相似, 在前期 DTP 与 PP 占总磷的比例相差不大, DTP 与 TP 表现出了极显著正相关关系 ( $r = 0.99^{**}$ ), 而 10 d 后 DTP 的比例不断升高, 第 24 d 时达最高 (83.45%). 与无沉积物处理相比, 藻 + 沉积物处理 PP 在总磷中所占的比例低于 DTP, 在试验过程中表现出先上升后下降的趋势.

本研究中, DTP 可分为 SRP 和 DOP (溶解性有机磷). 由图 5 可见, 2 个加藻无沉积物处理中 DOP 所占比例明显高于 SRP, 均呈先上升后下降的趋势. 10 g 藻 + 水和 30 g 藻 + 水处理 DOP 所占 TP 的比例变幅分别为 34.43% ~ 68.37% 和 24.99% ~ 57.55%, 在前期均与 TP 呈极显著的正相关 ( $r$  分别为 0.88\*\* 和 0.90\*\*). 与无沉积物处理相比, 藻 + 沉积物处理 SRP 所占比例较高, 在试验中期内基本高于 DOP, 后期尤为明显, 说明沉积物存在对上覆水体 SRP 含量的影响明显.

以上分析可见, 对无沉积物处理而言, 藻类在分解过程中磷的释放形态主要为 DOP 和 PP. 而藻 + 沉积物处理, 在试验前期 PP 和 DOP 含量有所增加, 这是由于刚毛藻的分解释放; 在中后期水体中 SRP 比例大幅上升, 这是因为刚毛藻分解使水体环境发生改变, 促进了沉积物中磷的释放, 另一可能原因为沉积物中微生物的存在使得水体中 DOP 和 PP 向 SRP 发生了形态转化.

## 2.6 分解前后沉积物磷赋存形态的变化

沉积物中弱结合态磷 ( $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ ) 含量在试验初始和结束时含量均较低, 前后差异不大, 各处理含量变化在  $0.22 \sim 0.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间. 沉积物初始可还原态磷 (BD-P) 含量为  $23.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 试验结束时 3 个加沉积物处理均明显降低 ( $P < 0.01$ ). 其中 10 g 藻 + 水 + 沉积物、30 g 藻 + 水 + 沉积物分别降低至  $17.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $17.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 而沉积物处理的含量下降较为明显, 降幅为 44.09% (图 6).

原始沉积物中铁锰结合态磷 (NaOH-P) 和钙结合态磷 (HCl-P) 含量相对较高, 分别为 50.57

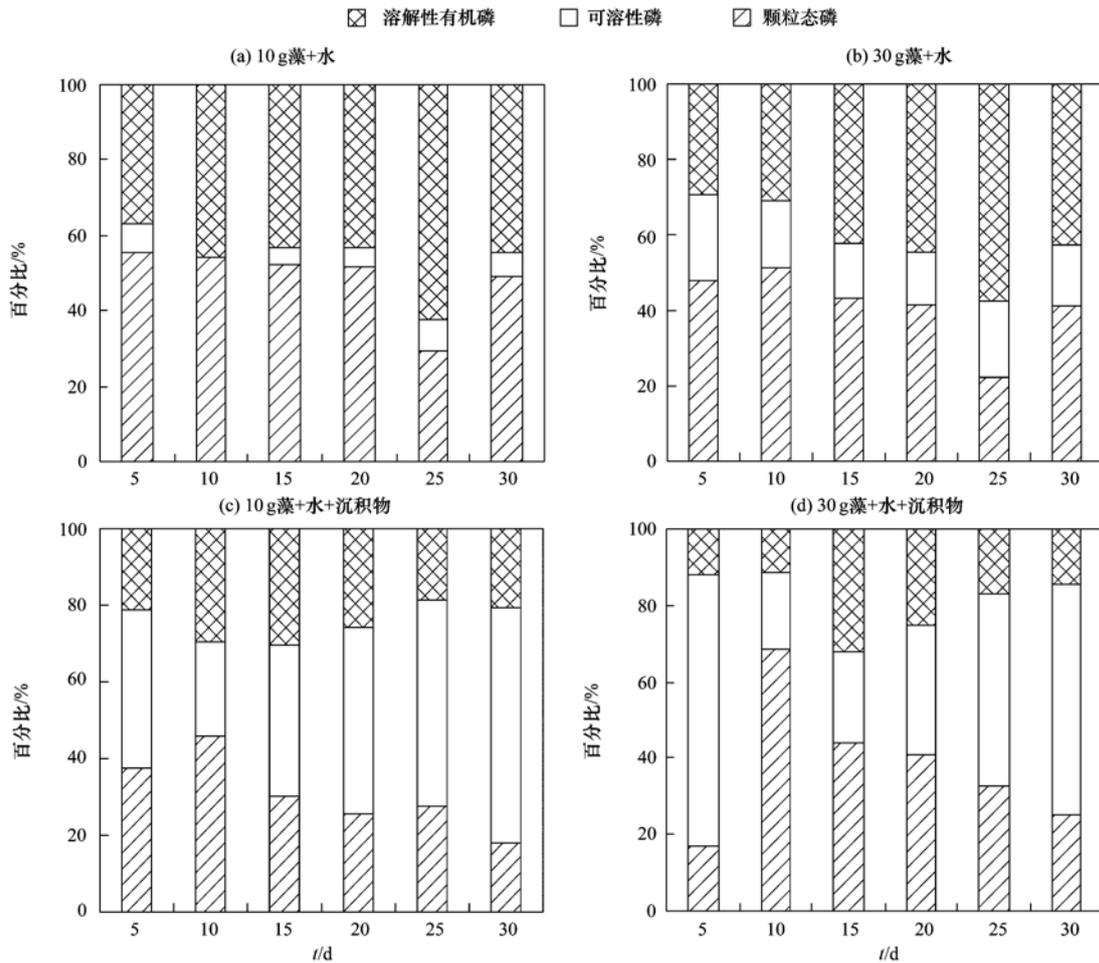


图 5 刚毛藻分解过程中上覆水各磷形态与总磷的百分比

Fig. 5 Changes in percentage of different P forms in TP in overlying water during the decomposition of *Cladophora*

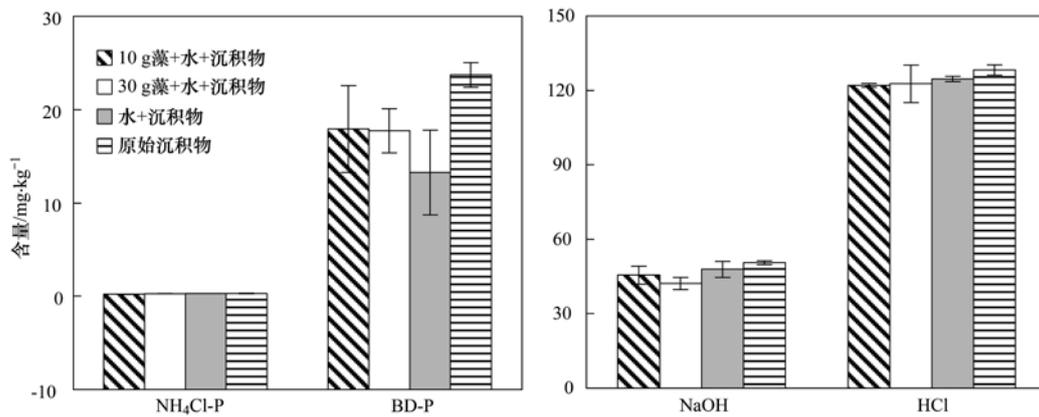


图 6 刚毛藻分解前后沉积物各磷形态的含量变化

Fig. 6 Changes in different P forms in sediments before and after the decomposition of *Cladophora*

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $128.23 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . 试验结束时各处理 NaOH-P 含量均有所降低,其中 30 g 藻 + 水 + 沉积物处理的降幅最大(16.63%),与初始含量差异达显著水平( $P < 0.05$ ); 10 g 藻 + 水 + 沉积物和水 + 沉积物处理降幅分别为 10.00% 和 5.45%. HCl-P 含量也较初始含量有所降低( $P > 0.05$ ),各处理降

幅变化在 2.86% ~ 4.85% 之间. 由此可见,刚毛藻分解过程中,沉积物中 BD-P 和 NaOH-P 具有较高的活性,较易向上覆水体释放.

### 3 讨论

#### 3.1 刚毛藻分解对上覆水体磷含量的影响

在藻类死亡过程中,藻体自身分解以及沉积物的释放都是造成上覆水磷含量增加的主要原因<sup>[16]</sup>. 刘丽贞等<sup>[17]</sup>、李敦海等<sup>[18]</sup>研究发现蓝藻和丝状绿藻的死亡分解均可使上覆水体磷含量明显上升;朱梦圆等<sup>[19]</sup>也发现,太湖蓝藻水华衰亡能引起沉积物营养盐释放量的增加. 本试验中,在前中期各处理上覆水中 TP、DTP 及 SRP 含量均表现为 30 g 藻 + 水 + 沉积物 > 30 g 藻 + 水 > 10 g 藻 + 水 + 沉积物 > 10 g 藻 + 水 > 水 + 沉积物,说明刚毛藻分解能够使上覆水体各形态磷含量明显升高,且随藻量的增加,上升幅度也增大,此阶段刚毛藻自身分解释放的磷是上覆水磷增加的主要来源;而试验后期各处理 TP、DTP 及 SRP 含量顺序变化为 30 g 藻 + 水 + 沉积物 > 10 g 藻 + 水 + 沉积物 > 30 g 藻 + 水 > 10 g 藻 + 水 > 水 + 沉积物,可见在藻量相同的情况下,沉积物的存在是后期上覆水体磷含量升高的主要原因. 这是由于刚毛藻的分解使水体 DO 含量明显降低(图 1),水土界面形成还原状态,沉积物中三价铁络合物还原,与之结合的磷发生释放<sup>[20,21]</sup>,从而使沉积物中可还原态磷(BD-P)和铁锰结合态磷(NaOH-P)含量明显降低(图 6),而上覆水中磷含量明显升高.

### 3.2 刚毛藻分解对水体磷赋存形态的影响

在整个分解试验过程中(30 d),各处理上覆水中 TP 含量呈高-低-高的变化趋势,即前期和后期含

量较高,中期相对较低. 藻 + 沉积物处理与相同藻量无沉积物处理相比,在试验前期 TP 含量差异不大( $P > 0.05$ ),而中后期差异达显著水平( $P < 0.05$ )(表 1). 说明试验前期刚毛藻分解速率较快,向上覆水体释放的磷量较多<sup>[18]</sup>;在后期刚毛藻的分解速率减缓,此时沉积物释放成为上覆水磷的主要来源. 李柯等<sup>[22]</sup>认为蓝藻的分解速率在试验开始的前 3 d 最快,然后减缓并趋于稳定. Paalme 等<sup>[23]</sup>对大型藻类的研究发现,分解速率在氧化和还原条件下差异较大,5 周后分解基本结束.

对两个无沉积物处理而言,在整个试验周期内上覆水中 PP 和 DOP 为磷的主要存在形式,SRP 含量很低(图 5);在前期 PP、DOP 均与 TP 含量呈极显著的正相关. 多重比较结果表明(表 1),加藻处理 PP 和 DOP 含量均显著高于不加藻处理( $P < 0.05$ ). 说明刚毛藻分解释放的磷形态以 PP 与 DOP 为主,但在试验后期 PP 比例有所降低. 可能原因为:在试验前期刚毛藻分解速度快,且以物理分解为主,之后逐渐变得缓慢;另一方面水中颗粒物质增多,会发生凝聚沉降,造成水体 PP 含量的降低<sup>[5]</sup>. 30 g 藻 + 水、30 g 藻 + 水 + 沉积物两处理间的 DOP 含量存在显著性差异( $P < 0.05$ ),这可能是由于沉积物中存在较为丰富的微生物,从而加速了刚毛藻的分解<sup>[24,25]</sup>.

表 1 不同阶段各处理水体各形态磷含量的比较<sup>1)</sup>/mg·L<sup>-1</sup>

Table 1 Comparison of concentrations of different P forms among different treatments during different periods/mg·L<sup>-1</sup>

项目	处理	TP	PP	SRP	DOP
前期(0~10 d)	10 g 藻 + 水	0.27 ± 0.03 b	0.14 ± 0.02 b	0.02 ± 0.00 c	0.10 ± 0.01 b
	30 g 藻 + 水	0.91 ± 0.08 a	0.44 ± 0.04 a	0.20 ± 0.04 b	0.27 ± 0.01 a
	10 g 藻 + 水 + 沉积物	0.33 ± 0.01 b	0.15 ± 0.02 b	0.08 ± 0.01 c	0.10 ± 0.02 b
	30 g 藻 + 水 + 沉积物	0.86 ± 0.03 a	0.37 ± 0.02 a	0.34 ± 0.02 a	0.15 ± 0.03 b
	水 + 沉积物	0.06 ± 0.02 c	0.03 ± 0.01 b	0.01 ± 0.01 c	0.02 ± 0.00 c
中期(10~20 d)	10 g 藻 + 水	0.21 ± 0.02 d	0.10 ± 0.01 b	0.01 ± 0.00 c	0.09 ± 0.01 d
	30 g 藻 + 水	0.57 ± 0.04 b	0.25 ± 0.02 a	0.09 ± 0.00 b	0.23 ± 0.01 a
	10 g 藻 + 水 + 沉积物	0.44 ± 0.04 c	0.13 ± 0.02 b	0.18 ± 0.01 a	0.13 ± 0.01 c
	30 g 藻 + 水 + 沉积物	0.70 ± 0.04 a	0.34 ± 0.03 a	0.19 ± 0.02 a	0.17 ± 0.03 b
	水 + 沉积物	0.08 ± 0.02 e	0.04 ± 0.02 b	0.00 ± 0.00 c	0.04 ± 0.02 e
后期(20~30 d)	10 g 藻 + 水	0.18 ± 0.02 c	0.07 ± 0.01 c	0.01 ± 0.00 c	0.09 ± 0.01 c
	30 g 藻 + 水	0.49 ± 0.04 b	0.16 ± 0.02 b	0.09 ± 0.01 c	0.24 ± 0.00 a
	10 g 藻 + 水 + 沉积物	0.57 ± 0.07 b	0.12 ± 0.04 b	0.32 ± 0.05 b	0.13 ± 0.02 b
	30 g 藻 + 水 + 沉积物	0.84 ± 0.11 a	0.25 ± 0.03 a	0.43 ± 0.08 a	0.16 ± 0.01 b
	水 + 沉积物	0.07 ± 0.02 c	0.02 ± 0.02 c	0.01 ± 0.00 c	0.04 ± 0.01 d

1) 同列中不同字母表示在各个时期不同处理在  $P < 0.05$  水平上差异显著

与无沉积物相比,藻 + 沉积物处理在整个试验周期内 SRP 在总磷中所占的比例明显升高,尤其在后期 SRP 含量明显高于 PP 和 DOP,这可能是由于试验后期刚毛藻已基本分解完毕,且藻类分解造成

的缺氧环境又促进了沉积物中磷的释放所致<sup>[20]</sup>. 藻 + 沉积物处理 SRP 含量均显著高于相同藻量但无沉积物的处理( $P < 0.05$ )(表 1). 藻 + 水、水 + 沉积物两处理上覆水的 SRP 含量之和也远低于相

同藻量有沉积物的处理,其中 30 g 藻 + 水、水 + 沉积物两处理之和为 30 g 藻 + 水 + 沉积物处理的 62.65%,这进一步说明在藻类分解作用下,上覆水中的 SRP 更多是来自于沉积物的释放. 另一方面,在试验后期水体中的部分 PP 和 DOP 可能被降解转化为 SRP,从而也可造成上覆水体 SRP 含量的增加,其具体过程有待于进一步探讨.

#### 4 结 论

(1)刚毛藻的死亡分解使得水体的理化性质发生改变,溶解氧含量急剧降低,达到厌氧状态;pH 值也有所下降,电导率则略有上升.

(2)刚毛藻死亡分解过程中,上覆水体总磷及各形态磷含量均明显升高,且随藻量的增加,上升幅度增大.

(3)刚毛藻在分解过程中磷的释放形态主要为颗粒态磷和溶解性有机磷;而后期上覆水体中的可溶性磷的增加主要是来自于沉积物的释放.

#### 参考文献:

- [ 1 ] Gubelit Y L, Berezina N A. The causes and consequences of algal blooms; the *Cladophora glomerata* bloom and the Neva estuary ( eastern Baltic Sea ) [ J ]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, **61**(4-6): 183-188.
- [ 2 ] 刘冬梅,姜霞,金相灿,等. 太湖藻类对水-沉积物界面磷交换过程的影响[J]. *环境科学研究*, 2006, **19**(4): 8-13.
- [ 3 ] García-Robledo E, Corzo A. Effects of macroalgal blooms on carbon and nitrogen biogeochemical cycling in photoautotrophic sediments: An experimental mesocosm [ J ]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, **62**(7): 1550-1556.
- [ 4 ] 张强,刘正文. 附着藻类对太湖沉积物磷释放的影响[J]. *湖泊科学*, 2010, **22**(6): 930-934.
- [ 5 ] 孙小静,秦伯强,朱广伟. 蓝藻死亡分解过程中胶体态磷、氮、有机碳的释放[J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(3): 341-345.
- [ 6 ] Chuai X M, Ding W, Chen X F, *et al.* Phosphorus release from cyanobacterial blooms in Meiliang Bay of Lake Taihu, China [ J ]. *Ecological Engineering*, 2011, **37**(6): 842-849.
- [ 7 ] 潘慧云,徐小花,高士祥. 沉水植物衰亡过程中营养盐的释放过程及规律[J]. *环境科学研究*, 2008, **21**(1): 64-68.
- [ 8 ] 王博,叶春,李春华,等. 初春苦草腐解过程中营养盐释放过程及规律[J]. *生态及农村环境学报*, 2012, **28**(2): 171-175.
- [ 9 ] 陈伟民,蔡后建. 微生物对太湖微囊藻的好氧降解研究[J]. *湖泊科学*, 1996, **8**(3): 248-252.
- [ 10 ] 王圣瑞,赵海超,杨苏文,等. 不同类型沉积物磷形态转化及其对狐尾藻生长的影响[J]. *环境科学*, 2010, **31**(11): 2666-2672.
- [ 11 ] Zhu G W, Wang F, Zhang Y L, *et al.* Hypoxia and its environmental influences in large, shallow, and eutrophic Lake Taihu, China [ J ]. *International Association of Theoretical and Applied Limnology-Proceedings*, 2008, **30**(3): 361-365.
- [ 12 ] 侯金枝,宋鹏鹏,高丽. 刚毛藻分解对荣成天鹅湖沉积物磷释放的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2012, **31**(4): 826-831.
- [ 13 ] 王友爱,李平. 海岸生态环境变化对荣成市月湖旅游资源影响研究[J]. *海岸工程*, 2009, **28**(2): 98-104.
- [ 14 ] 陈秋敏,王国祥,葛绪广,等. 沉水植物苦草对上覆水各形态磷浓度的影响[J]. *水资源保护*, 2010, **26**(4): 49-56.
- [ 15 ] Hupfer M, Gächter R, Giovanoli R. Transformation of phosphorus species in settling seston and during early sediment diagenesis [ J ]. *Aquatic Sciences*, 1995, **57**(4): 305-324.
- [ 16 ] Pieczyńska E, Tarmanowska A. Effect of decomposing filamentous algae on the growth of *Elodea canadensis* Michx. ( a laboratory experiment ) [ J ]. *Aquatic Botany*, 1996, **54**(4): 313-319.
- [ 17 ] 刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等. 太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响[J]. *生态学报*, 2012, **32**(10): 3154-3159.
- [ 18 ] 李敦海,史龙新,李根保,等. 丝状绿藻腐烂过程对水质和沉水植物黑藻生长的影响实验研究[J]. *环境科学与管理*, 2006, **31**(6): 27-30.
- [ 19 ] 朱梦圆,朱广伟,王永平. 太湖蓝藻水华衰亡对沉积物氮、磷释放的影响[J]. *环境科学*, 2011, **32**(2): 409-415.
- [ 20 ] 刘国锋,钟继承,何俊,等. 太湖竺山湾藻华黑水团区沉积物中 Fe、S、P 的含量及其形态变化[J]. *环境科学*, 2009, **30**(9): 2520-2526.
- [ 21 ] Lehman J T. Nuisance cyanobacteria in an urbanized impoundment: interacting internal phosphorus loading, nitrogen metabolism, and polymixis [ J ]. *Hydrobiologia*, 2011, **661**(1): 277-287.
- [ 22 ] 李柯,关保华,刘正文. 蓝藻碎屑分解速率及氮磷释放形态的实验分析[J]. *湖泊科学*, 2011, **23**(6): 919-925.
- [ 23 ] Paalme T, Kukk H, Kotta J, *et al.* ' *In vitro* ' and ' *in situ* ' decomposition of nuisance macroalgae *Cladophora glomerata* and *Pilayella littoralis* [ J ]. *Hydrobiologia*, 2002, **475-476**(1): 469-476.
- [ 24 ] Salovius S, Bonsdorff E. Effects of depth, sediment and grazers on the degradation of drifting filamentous algae ( *Cladophora glomerata* and *Pilayella littoralis* ) [ J ]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, **298**(1): 93-109.
- [ 25 ] Wang Y Y, Chen F Z. Decomposition and phosphorus release from four different size fractions of *Microcystis* spp. taken from Lake Taihu, China [ J ]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, **20**(7): 891-896.

## CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> and CO <sub>2</sub> Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO <sub>2</sub> Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Hui-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, CAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Hui-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrain the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by $\delta$ -MnO <sub>2</sub>	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Posphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe <sup>2+</sup> on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototaxical Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr <sup>6+</sup> and Hg <sup>2+</sup>	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp <sup>TM</sup>	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- $\beta$ -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHANG Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

# 《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)

2013年6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行