

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第3期

Vol.38 No.3

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

我国人为源挥发性有机物反应性排放清单 ..... 梁小明, 张嘉妮, 陈小方, 石田立, 孙西勃, 范丽雅, 叶代启 (845)

上海城郊地区冬季霾污染事件反应性 VOCs 物种特征 ..... 高爽, 张坤, 高松, 修光利, 程娜, 潘研 (855)

京津冀地区主要排放源减排对 PM<sub>2.5</sub> 污染改善贡献评估 ..... 吴文景, 常兴, 邢佳, 王书肖, 郝吉明 (867)

北京冬季 PM<sub>2.5</sub> 中金属元素浓度特征和来源分析 ..... 乔宝文, 刘子锐, 胡波, 刘景云, 逢妮妮, 吴方堃, 徐仲均, 王跃思 (876)

2015 年石家庄市采暖期一次重污染过程细颗粒物在线来源解析 ..... 路娜, 李治国, 周静博, 赵鑫, 杨丽丽, 冯媛, 靳伟 (884)

利用 SPAMS 研究南宁市四季细颗粒物的化学成分及污染源 ..... 刘慧琳, 陈志明, 毛敬英, 梁桂云, 黄炯丽, 李宏姣, 杨俊超, 莫招育 (894)

南半球海洋大气气溶胶单颗粒的理化特性分析 ..... 迟建伟, 李传金, 孙俊英, 张剑, 王辉, 王瀚韬, 李卫军 (903)

喷泉产生的细菌气溶胶空间分布特性 ..... 张崇森, 袁琳, 许鹏程, 刘可欣 (911)

生物滴滤塔净化含硫混合废气 ..... 叶杰旭, 缪孝平, 诸葛蕾, 赵翔宇, 江宁馨, 章晶晓, 陈东之, 陈建孟 (918)

西安城市不同功能区街道灰尘磁学特征及环境污染分析 ..... 房妮, 张俊辉, 王瑾, 姜珊, 夏敦胜 (924)

城乡交错带典型溪流沟渠沉积物氮污染特征及硝化-反硝化潜力 ..... 秦如彬, 李如忠, 高苏蒂, 张瑞钢 (936)

三峡库区小江支流沉积物硝化反硝化速率在蓄水期和泄水期的特征 ..... 王静, 刘洪杰, 雷禹, 徐晶, 宋立岩, 李勇 (946)

隔河岩水库二氧化碳通量时空变化及影响因素 ..... 赵登忠, 谭德宝, 李翀, 申邵洪 (954)

白洋淀多环芳烃与有机氯农药季节性污染特征及来源分析 ..... 王乙震, 张俊, 周绪申, 孔凡青, 徐铭霞 (964)

唐山陡河水库沉积物汞的分布、来源及污染评价 ..... 吴婷婷, 王明猛, 陈旭锋, 刘文利, 李太山, 闫海鱼, 何天容, 李仲根 (979)

三峡库区消落带优势草本植物淹水后汞的释放特征 ..... 邓晗, 张翔, 张成, 王永敏, 王定勇 (987)

电镀厂周边地表水中重金属分布特征及健康风险评估 ..... 余葱葱, 赵委托, 高小峰, 程胜高, 黄庭, 尹伊梦, 赵珍丽 (993)

九龙江表层沉积物重金属赋存形态及生态风险 ..... 林承奇, 胡恭任, 于瑞莲, 韩璐 (1002)

厦门筶觔湖表层沉积物金属元素赋存形态及污染评价 ..... 杨秋丽, 于瑞莲, 胡恭任, 林承奇, 韩璐 (1010)

龙口市污水灌溉区农田重金属来源、空间分布及污染评价 ..... 李春芳, 王菲, 曹文涛, 潘健, 吕建树, 吴泉源 (1018)

碳化稻壳-铁锰氧化菌耦合净化严寒村镇高铁锰地下水效能与机制 ..... 孙楠, 谌燕丽, 张颖, 鲁岩, 宋秋霞, 李春艳, 姜昭 (1028)

高藻水臭氧预氧化过程有机物转化及消毒副产物生成势 ..... 张赛, 胡学斌, 古励, 李莉, 郭显强 (1038)

预处理对短流程超滤工艺不可逆膜污染影响的中试试验 ..... 杨海燕, 邢加建, 王灿, 孙国胜, 赵焱, 梁恒, 徐叶琴, 李圭白 (1046)

Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中骨架铜类芬顿催化去除水中有机污染物 ..... 徐丹, 张丽丽, 柳丽芬 (1054)

过硫酸钾氧化去除 Cu(CN)<sub>2</sub> 中的氰污染物 ..... 王云飞, 李一兵, 王彦斌, 齐璠静, 赵凯, 田世超, 郭涛, 关伟, 赵旭 (1061)

微生物燃料电池强化去除农药 2,4-二氯苯氧乙酸及同步产电性能 ..... 全向春, 全燕苹, 肖竹天 (1067)

桉树遗态结构 HAP/C 复合材料对水中 Cu(II) 的吸附特征 ..... 李超, 朱宗强, 曹爽, 朱义年, 谭笑, 丁慧 (1074)

基于 A<sup>2</sup>/O 处理工艺的生活污水的成组生物毒性评价 ..... 张秋亚, 马晓妍, 王晓昌, 游猛 (1084)

污水氮浓度对粉绿狐尾藻去氮能力的影响 ..... 马永飞, 杨小珍, 赵小虎, 胡承孝, 谭碧玲, 孙学成, 吴金水 (1093)

全海水盐度抑制下厌氧氨氧化工艺的恢复特性 ..... 齐泮晴, 于德爽, 李津, 管勇杰, 魏思佳 (1102)

饥饿对硫自养反硝化反应器生物群落结构的影响 ..... 李芳芳, 施春红, 李海波, 袁蓉芳, 马方曜 (1109)

快速启动厌氧氨氧化工艺 ..... 闫刚, 徐乐中, 沈耀良, 吴鹏, 张婷, 程朝阳 (1116)

一种 CANON 工艺处理低氨氮废水的新模式 ..... 完颜德卿, 袁怡, 李祥, 毕贞 (1122)

侧流磷回收对低溶解氧 EBPR 系统性能的影响 ..... 马娟, 宋璐, 俞小军, 孙雷军, 孙洪伟 (1130)

厌氧氨氧化污泥群体感应信号分子检测及影响研究 ..... 陈舒涵, 李安婕, 王越兴, 吴玲娟 (1137)

有机负荷对醋糟厌氧消化系统启动的影响 ..... 戴晓虎, 于春晓, 李宁, 董滨, 戴翎翎 (1144)

过氧化钙预处理对活性污泥脱水性能的影响机制 ..... 白润英, 陈湛, 张伟军, 王东升 (1151)

不同工况蚯蚓人工湿地表层污泥处理效果 ..... 董梦珂, 李怀正, 徐一啸 (1159)

全氟辛酸对大肠杆菌的氧化胁迫和膜损伤 ..... 杨蒙, 李伟, 叶锦韶, 龙焰, 秦华明 (1167)

纳米银在环境水样和实验介质中的理化性质和毒性效应 ..... 衣俊, 程金平 (1173)

血吸虫病疫区鱼体器官中氯苯化合物的污染特征 ..... 李昆, 赵高峰, 周怀东, 张盼伟, 刘巧娜, 赵晓辉, 李东佼, 任敏, 赵丹丹 (1182)

纳米沸石对大白菜生长、抗氧化酶活性及镉形态、含量的影响 ..... 秦余丽, 熊仕娟, 徐卫红, 赵婉伊, 王卫中, 陈永勤, 迟苏琳, 陈序根, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (1189)

利用 *in vitro* 方法研究不同铁矿对土壤微生物可给性的影响 ..... 钟松雄, 尹光彩, 黄润林, 何宏飞, 陈志良, 林亲铁, 王文科 (1201)

不锈钢电极对重金属污染土壤的强化电动修复及电极腐蚀结晶现象与机制 ..... 温东东, 付融冰, 张卫, 顾莹莹 (1209)

施用无害化污泥影响土壤碳库组分和碳库管理指数的演变 ..... 刘晓, 黄林, 郭康莉, 张雪凌, 杨俊诚, 姜慧敏, 张建峰 (1218)

施氮和水分管理对光合碳在土壤-水稻系统间分配的量化研究 ..... 王婷婷, 祝贞科, 朱捍华, 汤珍珠, 庞静, 李宝珍, 苏以荣, 葛体达, 吴金水 (1227)

模拟酸雨对次生林土壤呼吸及异养呼吸的影响 ..... 陈书涛, 孙鹭, 桑琳, 胡正华 (1235)

土壤硝化和反硝化微生物群落及活性对大气 CO<sub>2</sub> 浓度和温度升高的响应 ..... 刘远, 王光利, 李恋卿, 潘根兴 (1245)

岩性对喀斯特灌丛土壤固氮菌与丛枝菌根真菌群落结构及丰度的影响 ..... 梁月明, 苏以荣, 何寻阳, 陈香碧 (1253)

板栗产区有机堆肥产物磷形态特征及其对叶片磷含量的影响 ..... 宋影, 郭素娟, 张丽, 孙慧娟, 谢明明, 武燕奇, 王静 (1262)

酸性物质对猪粪秸秆堆肥过程中氮素转化的影响 ..... 姜继超, 尧倩 (1272)

《环境科学》征稿简则(1092) 《环境科学》征订启事(1158) 信息(1166,1261,1271)

# 三峡库区消落带优势草本植物淹水后汞的释放特征

邓晗<sup>1</sup>, 张翔<sup>1</sup>, 张成<sup>1,2,3</sup>, 王永敏<sup>1</sup>, 王定勇<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市三峡库区农业面源污染控制工程技术研究中心, 重庆 400716; 3. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716)

**摘要:** 为研究三峡库区消落带植物淹水后汞的释放特征, 选取狗牙根、酸模叶蓼、空心莲子草这 3 种优势草本植物在库区现场进行原位淹水试验, 研究这 3 种植物淹水后总汞 (THg) 含量动态变化特征, 分析其释放通量与速率, 估算其 THg 释放负荷. 结果表明, 3 种植物在淹水过程中 THg 浓度的下降速率呈现先快后慢的趋势, 表明淹水前期植物中 THg 随植物腐解快速释放, 随后释放基本稳定. 3 种植物的 THg 释放量存在显著差异, 且表现为酸模叶蓼 > 空心莲子草 > 狗牙根. 3 种植物的 THg 释放量可能受植物初始 C/N 和 THg 浓度的影响. 植物初始 C/N 越高, 单位质量 THg 释放量越小. 而植物初始 THg 浓度越高, 单位质量植物 THg 释放量越大. 结合 3 种植物在三峡库区消落带的分布权重和生物量, 估算出酸模叶蓼、空心莲子草、狗牙根完全分解后的 THg 释放负荷分别为 167.31、78.13、88.33 mg·hm<sup>-2</sup>.

**关键词:** 三峡库区; 消落带; 草本植物; 淹水; 汞

中图分类号: X131; X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)03-0987-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201608187

## Release Characteristics of Mercury from Submersed Typical Herbaceous Plants in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area

DENG Han<sup>1</sup>, ZHANG Xiang<sup>1</sup>, ZHANG Cheng<sup>1,2,3</sup>, WANG Yong-min<sup>1</sup>, WANG Ding-yong<sup>1,2,3\*</sup>

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Engineering Research Center for Agricultural Non-point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** In situ inundation experiments of three typical herbaceous plants were conducted in field to investigate the mercury release characteristics of plants grown in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir after flooding by regulating the water level. To realize this objective, this study mainly focused on the dynamic change of total mercury (THg) concentrations in plants after inundation, the release rate and flux of THg from plants and its release load in this region. The results showed that the release process of THg in plants fitted exponential curve, suggesting that mercury release rate was quick in the initial inundation period and then flat afterwards as the decomposing plants. The THg release amounts (followed the order of *Alternanthera philoxeroides* > *Polygonum lapathifolium* > *Cynodon dactylon*) were probably influenced by initial C/N ratio and THg concentrations of plants. The decrement of THg concentrations in per unit mass of plants residue was found to be generally proportional to their initial C/N ratio, while the THg release amounts were generally proportional to the initial THg concentrations of plants. The total release loads of three plants (*Alternanthera philoxeroides*, *Polygonum lapathifolium*, *Cynodon dactylon*) were estimated to be 167.31, 78.13 and 88.33 mg·hm<sup>-2</sup>, respectively, according to their weight distribution and biomass in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir Area.

**Key words:** Three Gorges Reservoir Area; water-level fluctuation zone; herbaceous plants; inundation; mercury

水库是典型的汞敏感生态系统<sup>[1]</sup>, 近年来, 汞在水库生态系统中的环境地球化学行为受到国内外学者的广泛关注<sup>[2,3]</sup>. 有研究显示, 水库淹水后鱼体的汞富集是面临的主要问题, 被淹没的植被和土壤是水库汞含量升高的重要来源<sup>[4,5]</sup>. 由此可见, 开展典型水库汞的行为研究极为重要<sup>[3,6,7]</sup>.

三峡水库属特大型年调节水库, 按照规划设计, 水库正常蓄水位高程 175 m, 坝顶高程 185 m, 5 月底降至防洪限制水位 145 m. 这种水库调度方式使得库周形成垂直高度为 30 m、面积 400 多 km<sup>2</sup> 的水库消落带<sup>[8]</sup>. 每年 4~9 月的出露期, 部分消落带会生长出大量草本植被. 到蓄水期, 消落带植物被淹

没并分解, 不仅能够将氮、磷等物质释放到水体中, 并且这个过程会向水体释放溶解性有机质<sup>[9]</sup>, 同时植物分解也会向水体释放自身所含的汞, 产生汞环境风险. 目前, 国内外学者对水库消落带土壤和植物淹没后的环境效应进行了一些研究, 如植物淹水浸泡后氮磷变化<sup>[10]</sup>、可溶性有机碳的释放特征<sup>[11]</sup>, 也有研究者采用室内模拟试验研究了消落带植被、

收稿日期: 2016-08-28; 修订日期: 2016-10-18

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2013CB430004); 国家自然科学基金项目 (41373113, 41173116)

作者简介: 邓晗 (1993~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境污染化学, E-mail: 515415069@qq.com

\* 通信作者, E-mail: dywang@swu.edu.cn

土壤淹没后向水体释放汞的行为<sup>[12,13]</sup>,但室内模拟试验不能很好地代表水库实际淹水状况.为此,本研究拟通过现场原位淹水试验,分析淹水条件下三峡水库消落带典型草本植物中汞的释放特征,以期深入了解三峡库区消落带植物淹没后对水库中汞环境化学行为的影响提供基础数据.

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

三峡库区地跨湖北省、重庆市的 21 个县(市、区),库区范围东经 106°14'~111°28'、北纬 28°56'~31°44',总面积 5.8 万 km<sup>2</sup>.其中,重庆段消落带面积 306.3 km<sup>2</sup>,占库区消落带总面积的 87.8%<sup>[14]</sup>.三峡库区重庆段属于亚热带季风性湿

润气候区,多年平均气温 15~18℃.库区多年平均降雨量为 1 150.26 mm,雨量充沛但空间分布不均匀.区内日照少,多雾.忠县位于重庆东部,境内有溪河 28 条,均属三峡库区<sup>[15]</sup>.由于人为清库和成库后反复水淹,消落带出露期自然植被主要为次生草本植物<sup>[16]</sup>.

### 1.2 试验材料

选择位于三峡库区重庆段的腹心地带忠县石宝寨新政村干流区域(N30°25'7.5",E108°10'5.5"),通过调查消落带内草本植物种类及生物量,采集该区域典型的优势草本植物(表 1):狗牙根[*Cynodon dactylon* (L.) Pers.]、酸模叶蓼[*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.]、空心莲子草(*Polygonum lapathifolium* L.)为供试植物.

表 1 供试植物的基本性质

Table 1 Basic properties of supplied experimental plants

植物	C/%	N/%	C/N	THg/ng·g <sup>-1</sup>
狗牙根	42.78 ± 1.53	1.46 ± 0.12	29.3 ± 3.89	17.32
空心莲子草	40.84 ± 2.14	1.57 ± 0.21	20.32 ± 2.65	20.56
酸模叶蓼	35.76 ± 1.02	1.76 ± 0.14	26.03 ± 4.85	25.74

### 1.3 试验方法

采集的植物样品带回实验室后用超纯水洗净,一部分在避光的条件下进行冷冻干燥,磨细过 100 目筛,混合均匀后测定植物中 THg 含量;一部分用于野外现场淹水模拟试验(2014 年 7~10 月),将洗净的植物样品避光自然风干后,将 3 种植物分别装入长 30 cm、宽 20 cm、网孔大小为 1 mm<sup>2</sup> 的尼龙网袋内,每袋装 10 g(精确到 0.01 g),每种植物装 30 袋,共 90 袋.选择距离采样点较近的忠县石宝寨新政村三峡库区干流区域,将尼龙网袋用渔网兜住沉入水中.分别在淹水的第 3、5、10、15、20、25、35、45、60、75 d 将每种植物各取 3 袋带回实验室待测.

### 1.4 样品处理与计算方法

植物样品用超纯水冲洗,然后避光冷冻干燥,待恒重后称量,并采用 DMA-80 固体进样自动测汞仪(MA112, ITALY)直接测定植物 THg 含量<sup>[17]</sup>.

THg 累积释放量用每个尼龙袋中植物的初始 THg 浓度与初始干重(10 g)的乘积减去对应时刻 THg 浓度与对应时刻植物剩余干重的乘积表示,公示如下:

$$A_i = c_0 \cdot m_0 - c_i \cdot m_i \quad (1)$$

式中, $A_i$  为  $i$  时刻植物 THg 的累积释放量(ng);  $c_0$

和  $m_0$  分别为植物初始 THg 浓度(ng·g<sup>-1</sup>)与初始植物干重(g);  $c_i$ 、 $m_i$  分别为  $i$  时刻植物 THg 浓度(ng·g<sup>-1</sup>)与  $i$  时刻植物干重(g).累积释放量与初始样品干重的比值为单位质量样品的释放量( $T_i$ ),即单位质量释放量(ng·g<sup>-1</sup>).

$$\text{THg 释放速率: } R_i = T_i/i \quad (2)$$

式中, $R_i$  为  $i$  时刻植物 THg 的释放速率[ng·(g·d)<sup>-1</sup>];  $T_i$  为  $i$  时刻植物 THg 的单位质量释放量(ng·g<sup>-1</sup>);  $i$  为淹水时间(d).

$$\text{THg 释放负荷: } L_i = b \cdot T_i \quad (3)$$

式中, $L_i$  为  $i$  时刻植物 THg 的释放负荷(mg·hm<sup>-2</sup>);  $b$  为研究区域植物的生物量(kg·m<sup>-2</sup>).

### 1.5 质量控制与数据分析

试验所使用的玻璃器皿在使用前均用硝酸(25%,体积比)浸泡 24 h 以上,然后用超纯水(18.2 MΩ·cm)洗净后放置马弗炉内在 500℃ 灼烧 30 min,于洁净无汞的环境下冷却后使用.分析过程采用空白试验、平行试验和标准物质进行质量控制,所采用的植物标样为茶叶成分分析标准物质 GBW 10016(GSB-7),其总汞平均加标回收率为 95.6%~102.6%.样品处理所用化学试剂均为优级纯,水为超纯水(18.2 MΩ·cm).采用 SPSS 18.0 及 Origin Pro 8 软件对数据进行处理和分析.

## 2 结果与讨论

### 2.1 消落带草本植物淹水后 THg 释放过程

#### 2.1.1 植物残体 THg 含量变化

淹水前狗牙根、酸模叶蓼和空心莲子草中 THg 初始含量(以干重计)分别为 17.32、25.74 和 20.56  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在 75 d 的淹水期内,3 种植物的 THg 含量在初期持续下降(图 1),说明淹水后植物中的汞会向水体释放,随着淹水时间的增加,总汞含量下降幅度逐渐变缓。并且 3 种植物在淹水过程中 THg 含量变化存在显著差异( $P < 0.05$ ),说明 3 种植物淹水后的 THg 含量与植物种间差异有密切关系。淹水试验结束后,狗牙根、酸模叶蓼和空心莲子草的 THg 含量分别为 5.53、5.95 和 2.28  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

淹水植物中汞含量是由植物自身的汞和环境中的

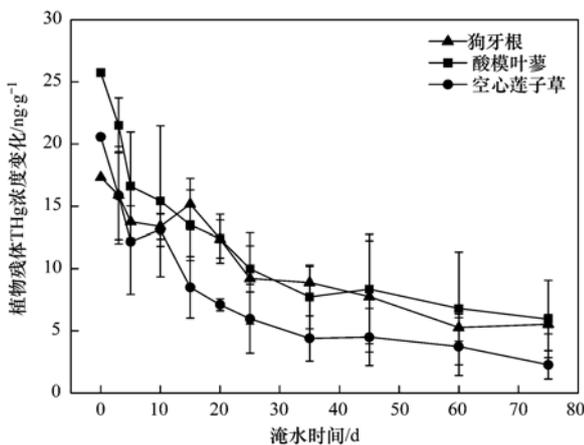


图 1 淹水植物 THg 浓度变化

Fig. 1 Variation of THg concentration in submersed plants

表 2 植物淹水后释放 THg 过程的动力学拟合方程

Table 2 Kinetic equations of THg release process from the submersed plants

拟合方程	植物	动力学方程	$R^2$
指数方程 $y = a + be^{-kx}$	狗牙根	$y = 1.89 + 14.90e^{-0.02x}$	0.91
	酸模叶蓼	$y = 6.70 + 17.84e^{-0.07x}$	0.96
	空心莲子草	$y = 3.17 + 16.26e^{-0.07x}$	0.95
乘幂方程 $y = ax^b$	狗牙根	$y = 22.90 x^{-0.27}$	0.72
	酸模叶蓼	$y = 31.84 x^{-0.35}$	0.95
	空心莲子草	$y = 27.39 x^{-0.46}$	0.89
对数方程 $y = a - b\ln(x + c)$	狗牙根	$y = 43.00 - 8.35 \ln(x + 22.85)$	0.91
	酸模叶蓼	$y = 23.65 - 4.14 \ln(x - 1.13)$	0.96
	空心莲子草	$y = 20.15 - 4.17 \ln(x - 0.01)$	0.93

### 2.2 消落带草本植物淹水后 THg 释放量

消落带典型草本植物淹水后的单位质量 THg 释放量用淹水植物残体实际测得的累积释放量与样品初始干重的比值来表征。3 种植物的 THg 释放量

的汞进行交换所决定的<sup>[18]</sup>。随着分解过程的进行,植物不断腐烂分解,植物中的汞不断进入水体环境中。同时,水体中的汞也会被植物体所吸附。有研究表明<sup>[9,10]</sup>,草本植物淹水浸泡后 DOC、N、P 等物质浓度均表现出先增加后减少的趋势,表明淹水初期植物从水体吸附 DOC、N、P 的过程占优势,淹水后期则主要是植物向水体释放相关物质的过程。而在本试验中,三峡库区消落带草本植物淹水后 THg 含量持续减少,表明淹水后植物与水体的汞交换过程主要表现出向水体释放汞,并可能对水体环境造成潜在的威胁,之前的研究也指出植物死亡后,枝体腐烂分解,汞随之进入土壤或者水体中<sup>[18]</sup>,并且该过程给土壤与湿地带来的汞是湿沉降的 2~5 倍。

#### 2.1.2 植物 THg 释放动力学

3 种植物在淹水过程中 THg 释放动力学基本相似,前期释放较快、后期逐渐趋于平稳,这与 Hall 等<sup>[19]</sup>的研究结果相似。根据植物淹水后 THg 释放趋势,用指数方程、乘幂方程、对数方程分别对植物中汞的释放过程进行拟合,结果表明:指数方程拟合最好,达显著水平( $P < 0.05$ )。表 2 的公式中, $x$  为淹水时间(d), $y$  为淹水后植物残体中 THg 浓度( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ), $a$ 、 $b$ 、 $k$  均为与释放有关的常数。植物淹水后的分解过程可以分为 3 个阶段:第一阶段是快速分解阶段,一些可溶性和不稳定的物质经物理淋洗而释放;第二阶段是微生物分解阶段;第三阶段是机械作用阶段,这个阶段尼龙袋中的植物残体受到一些无脊椎动物的破碎作用,表现出分解缓慢的趋势。因此 3 种植物淹水后 THg 含量变化曲线趋于一致<sup>[19]</sup>。

总体上呈现逐渐升高的趋势(图 2)。到试验结束时,酸模叶蓼、空心莲子草、狗牙根 THg 的单位释放量分别为 23.93、20.22、15.19  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ,占 3 种植物初始 THg 含量的 92.97%、98.35%、87.70%,表

明消落带植物淹水后体内的大部分汞都能释放到水体。由于植物淹水后的分解过程非常复杂,是物理、化学、生物过程综合作用的结果,植物基质是植物淹水后的分解过程的主要影响因素之一<sup>[20]</sup>,其中 C/N 比值和木质素含量是最重要的影响因子<sup>[19]</sup>。

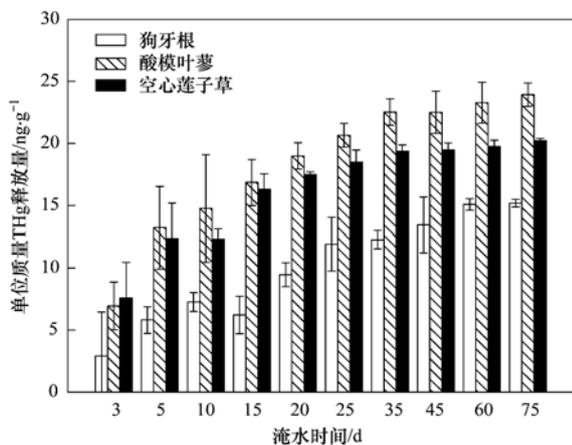


图2 淹水植物单位质量 THg 释放量

Fig. 2 Release amount of THg per unit mass from submersed plants

C/N 比值不仅是表征植物分解速率的理想指标<sup>[21]</sup>,同时也会影响植物中汞的淹水释放过程。而在本研究所选取的 3 种植物中,狗牙根的 C/N 比最高,而 THg 释放量却最小(表 1 和图 2),可能因为 C/N 比高的植物淹水后腐烂分解速率较慢<sup>[22,23]</sup>,虽然酸模叶蓼的 C/N 比要高于空心莲子草的,但其 THg 释放量同样高于后者,可能 THg 释放量除与植物 C/N 比值相关外还与植物初始 THg 含量有关。并且统计分析表明,3 种植物在淹水过程中 THg 释放量变化存在显著差异 ( $P < 0.05$ ),也进一步说明植物种间差异影响着其 THg 释放量。

### 2.3 消落带草本植物淹水后 THg 释放速率

在 75 d 的淹水过程中,3 种植物单位质量 THg 释放速率具有类似的变化趋势(图 3)。在淹水的前 1 周快速上升,并达到最大值,表明淹水初期的水库环境有利于消落带植物中的 THg 释放到水体中,3 种植物(酸模叶蓼、空心莲子草和狗牙根)的最大释放速率分别为 2.65、2.52、1.16  $\text{ng} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 。随淹水时间的增加,其释放速率逐渐下降,60 d 后趋于

稳定。到试验结束时,酸模叶蓼、空心莲子草、狗牙根 THg 释放速率分别为 0.32、0.27、0.20  $\text{ng} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 。植物分解前期主要是易溶物质快速分解过程,这一时期 THg 的释放主要受植物的初始 C/N 比值等植物自身基质性质的影响,而后期残留的纤维素等难分解的物质分解速度慢,分解过程主要受微生物的行为影响,分解速率逐渐变缓<sup>[24]</sup>。方差分析表明,几种消落带植物 THg 释放速率虽然存在一定差异,但并未达到显著水平 ( $P > 0.05$ ),表明植物淹水后的 THg 释放速率与植物本身的性质关系不明显,可能与水体温度、pH、流速、溶解氧等有关。

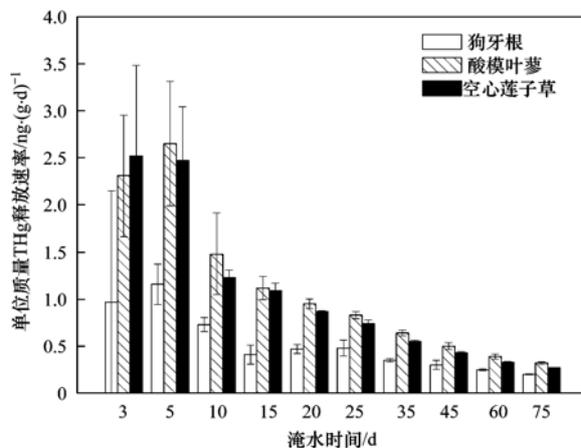


图3 淹水植物单位质量 THg 释放速率

Fig. 3 Release rates of THg per unit mass from the submersed plants

### 2.4 消落带草本植物淹水后 THg 释放负荷

在对消落带植被现场勘测和测定的基础上,依据 3 种消落带典型草本植物的分布比例和样方中各种植物的高度和盖度的数据,计算物种的重要值<sup>[15]</sup>。根据重要值,对 3 种典型草本植物进行分配权重<sup>[25]</sup>,并结合消落带植被的地上生物量数据估算 3 种植物单位面积的 THg 释放负荷(表 3)。到 75 d 试验结束时,消落带 3 种草本植物通过淹水腐烂分解,释放到三峡水库的 THg 负荷从大到小依次为酸模叶蓼 ( $155.55 \text{ mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > 狗牙根 ( $77.47 \text{ mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > 空心莲子草 ( $76.84 \text{ mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。剩余的植物残体将继续分解,根据估算结果,到植物完全腐

表3 消落带草本植物淹水后 THg 释放负荷

Table 3 Release load of THg from submersed plants in the water-level fluctuation zone

植物	单位质量 THg 释放量 / $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$	生物量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	淹水期 THg 释放负荷 / $\text{mg} \cdot \text{hm}^{-2}$	THg 完全释放负荷 / $\text{mg} \cdot \text{hm}^{-2}$
狗牙根	15.19	$0.51 \pm 0.19$	77.47	88.33
空心莲子草	20.22	$0.38 \pm 0.15$	76.84	78.13
酸模叶蓼	23.93	$0.65 \pm 0.28$	155.55	167.31

烂分解完后, 释放到三峡水库的 THg 负荷从大到小依次为酸模叶蓼 ( $167.31 \text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) > 狗牙根 ( $88.33 \text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) > 空心莲子草 ( $78.13 \text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ).

由此可见, 植物淹水分解后的植物残体有大部分汞释放到水中, 是水体汞污染的重要来源之一. 因此, 在开展三峡库区水环境汞污染防治时, 应尽量在每年蓄水前除去消落带植物, 防止植物淹水分解后残体向水中释放汞, 或被鱼类食用, 进入食物链危害人体健康.

### 3 结论

(1) 淹水条件有利于消落带植物 THg 的释放. 三峡库区消落带 3 种草本植物淹水后, 植物体中大部分 THg 随着植物分解而释放到水体中, THg 释放过程基本符合指数方程  $y = a + be^{-kx}$ , 是三峡库区水体汞的重要来源.

(2) 在 75d 淹水期内, 3 种典型草本植物的 THg 释放量持续增加, 植物初始 THg 浓度和植物初始质中 C/N 比值是影响植物 THg 释放量的重要因子. 3 种植物的 THg 释放速率差异不显著, 淹水水域的水体性质可能是影响植物 THg 释放速率的主要因素.

(3) 植物残体完全分解后, 酸模叶蓼、空心莲子草、狗牙根的 THg 释放负荷分别为  $167.31$ 、 $78.13$ 、 $88.33 \text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ . 因此, 应在每年水库蓄水前除去消落带植物, 避免其淹水后产生汞环境风险.

#### 参考文献:

- [ 1 ] SCOPE CHINA 汞工作组. SCOPE CHINA 汞污染专题组学术研讨会《纪要》[J]. 环境化学, 1996, **15**(1): 90-91.  
Group of SCOPE CHINA. Summary for symposium of mercury pollution by SCOPE CHINA [J]. Environmental Chemistry, 1996, **15**(1): 90-91.
- [ 2 ] Wang S F, Zhang M M, Li B, *et al.* Comparison of mercury speciation and distribution in the water column and sediments between the algal type zone and the macrophytic type zone in a hypereutrophic lake (Dianchi Lake) in Southwestern China[J]. Science of the Total Environment, 2012, **417-418**: 204-213.
- [ 3 ] Gray J E, Hines M E. Biogeochemical mercury methylation influenced by reservoir eutrophication, Salmon Falls Creek Reservoir, Idaho, USA[J]. Chemical Geology, 2009, **258**(3-4): 157-167.
- [ 4 ] Heyes A, Moore T R, Rudd J W M. Mercury and methylmercury in decomposing vegetation of a pristine and impounded wetland [J]. Journal of Environmental Quality, 1998, **27**(3): 591-599.
- [ 5 ] Jackson T A. The mercury problem in recently formed reservoirs of Northern Manitoba (Canada): effects of impoundment and other factors on the production of methyl mercury by microorganisms in sediments[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1988, **45**(1): 97-121.
- [ 6 ] Feng X B, Bai W Y, Shang L H, *et al.* Mercury speciation and distribution in Aha Reservoir which was contaminated by coal mining activities in Guiyang, Guizhou, China [J]. Applied Geochemistry, 2011, **26**(2): 213-221.
- [ 7 ] Avramescu M L, Yumvihoze E, Hintelmann H, *et al.* Biogeochemical factors influencing net mercury methylation in contaminated freshwater sediments from the St. Lawrence River in Cornwall, Ontario, Canada [J]. Science of the Total Environment, 2011, **409**(5): 968-978.
- [ 8 ] 牛志明, 解明曙. 三峡库区水库消落区土地资源开发利用的前期思考[J]. 科技导报, 1998, (4): 61-62, 6.  
Niu Z M, Xie M S. Thoughts on development and utilization of water and soil resources in the reservoir changing region in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Science and Technology Review, 1998, (4): 61-62, 6.
- [ 9 ] McIntyre A M, Guéguen C. Binding interactions of algal-derived dissolved organic matter with metal ions [J]. Chemosphere, 2013, **90**(2): 620-626.
- [ 10 ] 王建超, 朱波, 汪涛, 等. 三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验[J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1144-1151.  
Wang J C, Zhu B, Wang T, *et al.* Nitrogen and phosphorus release from herbaceous vegetation under simulated inundation experiment of water-level fluctuation zone in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Environmental Science, 2012, **33**(4): 1144-1151.
- [ 11 ] 谭秋霞, 朱波, 花可可. 三峡库区消落带典型草本植物淹水浸泡后可溶性有机碳的释放特征[J]. 环境科学, 2013, **34**(8): 3043-3048.  
Tan Q X, Zhu B, Hua K K. Characteristics of dissolved organic carbon release under inundation from typical grass plants in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir Area [J]. Environmental Science, 2013, **34**(8): 3043-3048.
- [ 12 ] 张翔, 张成, 孙荣国, 等. 三峡库区消落带 3 种植物淹水后汞的动态变化及其对水体的影响[J]. 环境科学, 2014, **35**(12): 4560-4566.  
Zhang X, Zhang C, Sun R G, *et al.* Mercury dynamics of several plants collected from the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir Area during flooding and its impact on water body [J]. Environmental Science, 2014, **35**(12): 4560-4566.
- [ 13 ] 梁丽, 王永敏, 张成, 等. 三峡水库消落带土壤与优势植物淹水后对土-水系统汞形态的影响[J]. 环境科学, 2016, **37**(3): 955-962.  
Liang L, Wang Y M, Zhang C, *et al.* Effect of soil and dominant plants on mercury speciation in soil and water system of water-level-fluctuation Zone in the Three Gorges Area [J]. Environmental Science, 2016, **37**(3): 955-962.
- [ 14 ] 蒙古军, 申文明, 吴秀芹. 基于 RS/GIS 的三峡库区景观生态综合评价[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, **41**(2): 295-302.  
Meng J J, Shen W M, Wu X Q. Integrated landscape ecology evaluation based on RS/GIS of Three-Gorge Area [J]. Universitatis Pekinensis (Acta Scientiarum Naturalium), 2005, **41**(2): 295-302.

- [15] 张虹. 三峡库区消落带土地资源特征分析[J]. 水土保持通报, 2008, **28**(1): 46-49.  
Zhang H. Characteristic analyses of the water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, **28**(1): 46-49.
- [16] 王建超, 朱波, 汪涛. 三峡库区典型消落带淹水后草本植被的自然恢复特征[J]. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(5): 603-610.  
Wang J C, Zhu B, Wang T. Characteristics of restoration of natural herbaceous vegetation of typical water-level fluctuation zone after flooding in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, **20**(5): 603-610.
- [17] 郑伟, 冯新斌, 李广辉, 等. 硝酸水浴消解-冷原子荧光光谱法测定植物中的总汞[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, **25**(3): 285-287.  
Zhang W, Feng X B, Li G H, *et al.* Determination of total mercury in plants by HNO<sub>3</sub> digestion in the water bath coupled with cold vapor atomic fluorescence spectrometry[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2006, **25**(3): 285-287.
- [18] 付学吾, 冯新斌, 王少锋, 等. 植物中汞的研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, **24**(3): 232-238.  
Fu X W, Feng X B, Wang S F, *et al.* Advances of research on mercury in plants [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2005, **24**(3): 232-238.
- [19] Hall B D, Louis V L S. Methylmercury and total mercury in plant litter decomposing in upland forests and flooded landscapes[J]. Environmental Science & Technology, 2004, **38**(19): 5010-5021.
- [20] 李鑫, 李娅芸, 安韶山, 等. 宁南山区典型草本植物茎叶分解对土壤酶活性及微生物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2016, **27**(10): 3182-3188.  
Li X, Li Y Y, An S S, *et al.* Effects of stem and leaf decomposition in typical herbs on soil enzyme activity and microbial diversity in the South Ningxia Loess Hilly Region of Northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, **27**(10): 3182-3188.
- [21] Paterson M J, Rudd J W M, Louis V S. Increases in total and methylmercury in zooplankton following flooding of a peatland reservoir[J]. Environmental Science & Technology, 1998, **32**(24): 3868-3874.
- [22] Masifwa W F, Okello W, Ochieng H, *et al.* Phosphorus release from decomposing water hyacinth and effects of decomposition on water quality [J]. Uganda Journal of Agricultural Sciences, 2004, **9**(1): 389-395.
- [23] Chimney M J, Pietro K C. Decomposition of macrophyte litter in a subtropical constructed wetland in south Florida (USA) [J]. Ecological Engineering, 2006, **27**(4): 301-321.
- [24] 袁庆叶, 谢宗强, 杨林森, 等. 水淹条件下三峡水库消落带常见草本植物的分解[J]. 应用生态学报, 2014, **25**(8): 2229-2237.  
Yuan Q Y, Xie Z Q, Yang L S, *et al.* Decomposition of herbaceous species in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir under flooding condition [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, **25**(8): 2229-2237.
- [25] 梁丽, 王永敏, 李先源, 等. 三峡水库消落带植物汞的分布特征[J]. 环境科学, 2015, **36**(11): 4103-4111.  
Liang L, Wang Y M, Li X Y, *et al.* Distribution of mercury in plants at water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir[J]. Environmental Science, 2015, **36**(11): 4103-4111.

## CONTENTS

Reactivity-based Anthropogenic VOCs Emission Inventory in China .....	LIANG Xiao-ming, ZHANG Jia-ni, CHEN Xiao-fang, <i>et al.</i> ( 845 )
Characteristics of Reactive VOCs Species During High Haze-Pollution Events in Suburban Area of Shanghai in Winter .....	GAO Shuang, ZHANG Kun, GAO Song, <i>et al.</i> ( 855 )
Assessment of PM <sub>2.5</sub> Pollution Mitigation due to Emission Reduction from Main Emission Sources in the Beijing-Tianjin-Hebei Region .....	WU Wen-jing, CHANG Xing, XING Jia, <i>et al.</i> ( 867 )
Concentration Characteristics and Sources of Trace Metals in PM <sub>2.5</sub> During Wintertime in Beijing .....	QIAO Bao-wen, LIU Zi-ru, HU Bo, <i>et al.</i> ( 876 )
Online Source Analysis of Particulate Matter (PM <sub>2.5</sub> ) in a Heavy Pollution Process of Shijiazhuang City During Heating Period in 2015 .....	LU Na, LI Zhi-guo, ZHOU Jing-bo, <i>et al.</i> ( 884 )
Analysis of Chemical Composition and Pollution Source of the Fine Particulate Matter by the SPAMS in the Four Seasons in Nanning .....	LIU Hui-lin, CHEN Zhi-ming, MAO Jing-ying, <i>et al.</i> ( 894 )
Physico-chemical Characteristics of Individual Aerosol Particles in Marine Atmosphere on South Hemisphere .....	CHI Jian-wei, LI Chuan-jin, SUN Jun-ying, <i>et al.</i> ( 903 )
Characteristics of Spatial Distribution of Bacterial Aerosols Produced by Fountain .....	ZHANG Chong-miao, YUAN Lin, XU Peng-cheng, <i>et al.</i> ( 911 )
Removal of Volatile Sulfur Odor by the Biotrickling Filter .....	YE Jie-xu, MIAO Xiao-ping, ZHUGE Lei, <i>et al.</i> ( 918 )
Magnetic Characteristics and Environmental Pollution Analysis of Street Dust in Different Functional Zones of Xi'an City .....	FANG Ni, ZHANG Jun-hui, WANG Jin, <i>et al.</i> ( 924 )
Pollution Characteristics and Nitrification and Denitrification Potential of Superficial Sediments from Streams in an Urban-Rural Fringe .....	QIN Ru-bin, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> ( 936 )
Nitrification and Denitrification Rates in a Small Tributary, Nanhe River, of Three Gorge Dam Reservoir During Water Collection and Release Events .....	WANG Jing, LIU Hong-jie, LEI Yu, <i>et al.</i> ( 946 )
Tempo-spatial Variations and Influential Factors of Carbon Dioxide Emissions from the Geheyan Reservoir over the Qingjiang River Basin, China .....	ZHAO Deng-zhong, TAN De-bao, LI Chong, <i>et al.</i> ( 954 )
Seasonal Pollution Characteristics and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Surface Water of Baiyangdian Lake .....	WANG Yi-zhen, ZHANG Jun, ZHOU Xu-shen, <i>et al.</i> ( 964 )
Distributions, Sources and Pollution Assessment of Hg in Sediment of Douhe Reservoir in Tangshan City .....	WU Ting-ting, WANG Ming-meng, CHEN Xu-feng, <i>et al.</i> ( 979 )
Release Characteristics of Mercury from Submersed Typical Herbaceous Plants in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area .....	DENG Han, ZHANG Xiang, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> ( 987 )
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water Around Electroplating Factories .....	YU Cong-cong, ZHAO Wei-tuo, GAO Xiao-feng, <i>et al.</i> ( 993 )
Speciation and Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments from Jiulong River .....	LIN Cheng-qi, HU Gong-ren, YU Rui-lian, <i>et al.</i> ( 1002 )
Fractionation and Contamination Assessment of Metal Elements in the Surface Sediments of Yundang Lagoon in Xiamen .....	YANG Qiu-li, YU Rui-lian, HU Gong-ren, <i>et al.</i> ( 1010 )
Source Analysis, Spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Sewage Irrigation Area Farmland Soils of Longkou City .....	LI Chun-fang, WANG Fei, CAO Wen-tao, <i>et al.</i> ( 1018 )
Efficiency and Mechanism of Purifying High Iron-Manganese from Ground Water in the Cold Villages and Towns Based on The Coupling of Rice Husk and Iron-Manganese Oxidizing Bacteria .....	SUN Nan, CHEN Yan-li, ZHANG Ying, <i>et al.</i> ( 1028 )
Peroxidation of High Algae-laden Water by Ozone; Algae Organic Matter Transformation and Disinfection By-products Formation .....	ZHANG Sai, HU Xue-bin, GU Li, <i>et al.</i> ( 1038 )
Effects of Pretreatment on Hydraulic Irreversible Membrane Fouling During Ultrafiltration Short Process: A Pilot Study .....	YANG Hai-yan, XING Jia-jian, WANG Can, <i>et al.</i> ( 1046 )
Fenton-like Catalytic Removal of Organic Pollutants in Water by Framework Cu in Cu-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	XU Dan, ZHANG Li-li, LIU Li-fen ( 1054 )
Oxidation Destruction of Cu(CN) <sub>2</sub> <sup>3-</sup> by Persulfate .....	WANG Yun-fei, LI Yi-bing, WANG Yan-bin, <i>et al.</i> ( 1061 )
Enhanced Removal of Herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic Acid and Simultaneous Power Generation in Microbial Fuel Cells .....	QUAN Xiang-chun, QUAN Yan-ping, XIAO Zhu-tian ( 1067 )
Adsorption Characteristics of Copper in Water by the Porous Biomorph-Genetic Composite of HAP/C with Eucalyptus Wood Template .....	LI Chao, ZHU Zong-qiang, CAO Shuang, <i>et al.</i> ( 1074 )
Biological Toxicity Evaluation of Domestic Wastewater Based on A <sup>2</sup> /O Treatment Processes Using a Battery of Bioassays .....	ZHANG Qiu-ya, MA Xiao-yan, WANG Xiao-chang, <i>et al.</i> ( 1084 )
Effect of Wastewater Nitrogen Concentrations on Nitrogen Removal Ability of <i>Myriophyllum aquaticum</i> .....	MA Yong-fei, YANG Xiao-zhen, ZHAO Xiao-hu, <i>et al.</i> ( 1093 )
Recovery Performance of ANAMMOX Process after Inhibition Resulting from Seawater .....	QI Pan-qing, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> ( 1102 )
Impact of Starvation Conditions on Biological Community Structure in Sulfur Autotrophic Denitrification Reactor .....	LI Fang-fang, SHI Chun-hong, LI Hai-bo, <i>et al.</i> ( 1109 )
Quick Start-up of Anaerobic Ammonium Oxidation Process .....	LÜ Gang, XU Le-zhong, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> ( 1116 )
A New Model for the Treatment of Low Ammonia Nitrogen Wastewater by CANON Process .....	WANYAN De-qing, YUAN Yi, LI Xiang, <i>et al.</i> ( 1122 )
Effects of Side-stream Phosphorus Recovery on the Performance of EBPR System Under Low Dissolved Oxygen Condition .....	MA Juan, SONG Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> ( 1130 )
Identification and Influence of Quorum Sensing on Anaerobic Ammonium Oxidation Process .....	CHEN Shu-han, LI An-jie, WANG Yue-xing, <i>et al.</i> ( 1137 )
Effects of Organic Loading Rate on Startup Performance of Anaerobic Digestion with Vinegar Residues .....	DAI Xiao-hu, YU Chun-xiao, LI Ning, <i>et al.</i> ( 1144 )
Influencing Mechanism of Calcium Peroxide Pre-treatment on Dewatering Performance of Waste Activated Sludge .....	BAI Run-ying, CHEN Zhan, ZHANG Wei-jun, <i>et al.</i> ( 1151 )
Treatment Effects of Earthworm Constructed Wetlands in Different Working Conditions .....	DONG Meng-ke, LI Huai-zheng, XU Yi-xiao ( 1159 )
Effect of PFOA on Oxidative Stress and Membrane Damage of <i>Escherichia coli</i> .....	YANG Meng, LI Yi, YE Jin-shao, <i>et al.</i> ( 1167 )
Physicochemical Properties and Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles; A Comparison of Environmental and Laboratorial Conditions .....	YI Jun, CHENG Jin-ping ( 1173 )
Pollution Characteristics of Chlorobenzenes in Organs of Fish from Typical Epidemic Areas of Schistosomiasis Prevalence .....	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> ( 1182 )
Effect of Nano Zeolite on Growth, Activity of Antioxidant Enzyme, and Chemical Fractions and Concentration of Cd in Chinese Cabbage .....	QIN Yu-li, XIONG Shi-juan, XU Wei-hong, <i>et al.</i> ( 1189 )
Effect of Different Iron Minerals on Bioaccessibility of Soil Arsenic Using <i>in vitro</i> Methods .....	ZHONG Song-xiong, YIN Guang-cai, HUANG Run-lin, <i>et al.</i> ( 1201 )
Enhanced Electrokinetic Remediation of Heavy Metals Contaminated Soils by Stainless Steel Electrodes as well as the Phenomenon and Mechanism of Electrode Corrosion and Crystallization .....	WEN Dong-dong, FU Rong-bing, ZHANG Wei, <i>et al.</i> ( 1209 )
Influence of the Application of Non-Hazardous Sewage Sludge on the Evolution of Soil Carbon Pool and Carbon Pool Management Index .....	LIU Xiao, HUANG Lin, GUO Kang-li, <i>et al.</i> ( 1218 )
Input and Distribution of Photosynthesized Carbon in Soil-Rice System Affected by Water Management and Nitrogen Fertilization .....	WANG Ting-ting, ZHU Zhen-ke, ZHU Han-hua, <i>et al.</i> ( 1227 )
Effects of Simulated Acid Rain on Soil Respiration and Heterotrophic Respiration in a Secondary Forest .....	CHEN Shu-tao, SUN Lu, SANG Lin, <i>et al.</i> ( 1235 )
Response of Soil Nitrifier and Denitrifier Community and Activity to Elevated Atmospheric CO <sub>2</sub> Concentration and Temperature .....	LIU Yuan, WANG Guang-li, LI Lian-qing, <i>et al.</i> ( 1245 )
Effects of Lithology on the Abundance and Composition of Soil Nitrogen-fixing Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in Karst Shrub Ecosystem .....	LIANG Yue-ming, SU Yi-rong, HE Xun-yang, <i>et al.</i> ( 1253 )
Characterization of Phosphorus Forms in Organic Composts and Their Effects on Leaf Phosphorus Content of <i>Castanea mollissima</i> in Chinese Chestnut Producing Area .....	SONG Ying, GUO Su-juan, ZHANG Li, <i>et al.</i> ( 1262 )
Effects of Acidic Materials on the N Transformations During the Composting of Pig Manure and Wheat Straw .....	JIANG Ji-shao, YAO Qian ( 1272 )