ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第8期

Vol.33 No.8

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

中国期刊方阵 双奖期刊 中华人民共和国新闻出版总署

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第33卷 第8期
2012年8月15日

目 次

南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源 …… 李琦路,李军,刘向,徐维海,张干(2533)
河北张家口市大气污染观测研究 …… 邵平,王莉莉,安俊琳,周彦丽,王跃思(2538)
大气中丙烷光氧化臭氧生成活性的烟雾箱模拟 …… 黄丽华,莫创荣,徐永福,贾龙(2551)
膜生物反应器处理甲苯性能及机制 …… 叶杞宏,魏在山,肖盼,李华琴,张再利,樊青娟(2558)
厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析 …… 张红玉,邹克华,杨金兵,李国学,杨青原,张锋(2563)
北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究 …… 徐志伟,张心昱,任玉芬,孙晓敏,王效科,王升忠(2569)
枯、平、丰水期长江3条支流表层水中多氯联苯的分布特征及风险评价 …… 李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,柳敏(2574)
三峡库区丰水期表层水中酚类的分布特征及潜在风险 …… 吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,李昆,张盼伟(2580)
东湖表层水体中全氟辛酸和全氟辛磺酸空间分布特征 …… 陈静,王琳玲,朱湖地,王贝贝,刘黄诚,曹梦华,苗竹,胡丽,陆晓华,刘光虹(2586)
三峡库区大宁河与磨刀溪重金属污染特征 …… 安立会,张艳强,郑丙辉,刘玥,宋双双,李子成,陈浩,赵兴茹,林进(2592)
长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价 …… 王岚,王亚平,许春雪,安子怡(2599)
江苏如东滩涂贝类养殖区表层沉积物中重金属来源分析及其潜在生物毒性 …… 李磊,王云龙,蒋玫,袁骐,沈新强(2607)
扰动强度对太湖沉积物中磷释放及其形态转化的影响 …… 李大鹏,黄勇(2614)
干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用 …… 张宇,刘德富,纪道斌,杨正健,陈媛媛(2621)
常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响 …… 李强,高祥,丁武泉,朱启红,欧媛,刘瑜(2628)
温州城市降雨径流磷的负荷及其初始冲刷效应 …… 周栋,陈振楼,毕春娟(2634)
沂蒙山区典型小流域降雨径流的磷素输出特征 …… 于兴修,李振炜,刘前进,井光花(2644)
城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响 …… 杨峰,王鹏举,杨珊珊,吴金水,胡荣桂(2652)
基于AnnAGNPS模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究 …… 边金云,王飞儿,杨佳,俞洁,楼莉萍,俞丹萍(2659)
基于GIS和L-THIA模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析 …… 白凤姣,李天宏(2667)
黄土丘陵区坡面水蚀对降雨和下垫面微观格局的响应 …… 卫伟,贾福岩,陈利顶,吴东平,陈瑾(2674)
强化混凝对腐殖酸和富里酸去除对比研究 …… 周玲玲,张永吉,叶河秀,张一清(2680)
九龙江下游水源水中新发病原微生物和抗生素抗性基因的定量PCR检测 …… 王青,林惠荣,张舒婷,于鑫(2685)
布吉河丰水期总细菌和氨氧化细菌的定性和定量研究 …… 孙海美,白姣姣,孙卫玲,郅军(2691)
曝气生物滤池工艺脱氮性能及反硝化细菌群落结构特征研究 …… 彭晓兰,刘聪,陈吕军(2701)
城市污水处理厂氧化沟工艺微生物种群分析 …… 郭云,杨殿海,卢文健(2709)
IC反应器处理啤酒废水的效能及其微生物群落动态分析 …… 朱文秀,黄振兴,任洪艳,阮文权(2715)
原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化 …… 郑蓓,葛小鹏,于志勇,原盛广,张文婧,孙景芳(2723)
UV/H_2O_2法对印染废水生化出水中不同种类有机物的去除效果 …… 李新,刘勇弟,孙贤波,徐宏勇,钱飞跃,李欣珏,李暮(2728)
蛋白核小球藻*Chlorella pyrenoidosa*-15的异养培养条件优化及污水养殖 …… 王秀锦,李兆胜,邢冠岚,李卓凝,袁红莉,杨金水(2735)
“Fe^0/优势脱氯菌”体系降解2,4,6-TCP特性及机制研究 …… 戴友芝,郭丽丽,史雷,刘智勇,高宝钗(2741)
树脂D201上粗漆酶的固定化及对孔雀石绿的脱色 …… 戚绪亮,刘翔,刘波,王林,王小春,方超(2747)
TiO_2/PS/Fe_3O_4光催化剂的低温制备及其光催化和磁回收性能 …… 王雪姣,任学昌,念娟妮,肖举强,王刚,常青(2752)
微波加热下苯的催化氧化性能研究 …… 张钰彩,卜龙利,王晓晖,刘海楠,张浩(2759)
纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究 …… 高丽英,汤兵,梁玲燕,黄绍松,付丰连,罗建中(2766)
好氧颗粒污泥沉降选择实验研究与定量描述 …… 苏馈足,邓绣坤,郑丽,王畅,金旺红,沈俊(2773)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中水解酶活性变化研究 …… 叶运弟,孙水裕,郑莉,刘宝建,许燕滨,占星星,刘敬勇(2780)
微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响 …… 宋永伟,刘奋武,周立祥(2786)
实验室条件下蓝藻结皮对低温光照胁迫的响应与微结构变化 …… 饶本强,李华,熊瑛,兰书斌,李敦海,刘永定(2793)
西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态 …… 吴艳,江长胜,郝庆菊(2804)
典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究 …… 尹春艳,骆永明,滕应,章海波,陈永山,赵永刚(2810)
土壤铜硒复合污染中金属形态转化及其对生物有效性的影响 …… 胡斌,梁东丽,赵文龙,缪树寅(2817)
土壤微生物群落对多环芳烃污染土壤生物修复过程的响应 …… 张晶,林先贵,刘魏魏,尹睿(2825)
可可毛色二孢菌对焦化厂土壤多环芳烃污染修复 …… 张志远,王翠苹,刘海滨,孙红文(2832)
广西茶山锑矿尾砂中微量元素的淋滤实验研究 …… 蔡永兵,李玲,魏晓飞,张国平,李海霞,付志平(2840)
北京市近郊区土壤砷累积特征 …… 戚洁,王美娥,汪自强,欧阳志云(2849)
抗氧化酶基因作为多环麝香污染分子标志物研究 …… 陈春,周启星,刘潇威(2855)
臭氧污染对不同品种小麦干物质与生物量碳积累与分配的影响 …… 寇太记,于伟伟,朱建国,朱新开(2862)
尿素分解共沉淀法中反应时间对ZnAl类水滑石结构和磷吸附性能的影响 …… 陆英,程翔,邢波,孙中恩,孙德智(2868)
铅和铜离子在纳米羟基磷灰石上的竞争吸附动力学研究 …… 胡田田,仓龙,王玉军,司友斌,周东美(2875)
pH和Ni^{2+}对人工纳米氧化硅吸附菲的影响 …… 罗沛,孙红文,张鹏(2882)
铀在凹凸棒石上的吸附特性与机制研究 …… 刘娟,陈迪云,张静,宋刚,罗定贵(2889)
环丙沙星在潮土中的吸附特性 …… 崔皓,王淑平(2895)
中高温区水合肼SNCR脱硝反应机制和特性研究 …… 洪鎏,陈德珍,王渡,黄愫(2901)
H_2S选择性催化氧化工艺及催化剂研究现状 …… 郝郑平,窦广玉,张鑫,曲思秋(2909)
《环境科学》征稿简则(2550) 《环境科学》征订启事(2568) 信息(2684,2714,2848,2916)

常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响

李强,高祥,丁武泉,朱启红,欧媛,刘瑜
(重庆文理学院化学与环境工程学院,重庆 402160)

摘要: 菖蒲是三峡库区常见的一种湿生植物,本研究探讨了常年淹水对菖蒲生长恢复的影响,并分析了干旱对露水后菖蒲生长恢复的影响,为三峡库区消落带植被恢复物种的选择提供科学依据. 分别于 2009 年 9 月和 2010 年 9 月前后 2 次将菖蒲(*Acorus calamus* L.)植株完全淹水,分别于翌年 3、4、5 月将植株露水(分别记为 S1、S2 和 S3),2011 年定期统计植株数和叶片数,测定叶长、叶宽. 结果表明,淹水导致植株萌发数显著低于对照,且随着淹水时间增加植株萌发数呈显著降低趋势; 淹水显著促进 3 月和 4 月露水植株叶片的伸长和形成,其叶长、叶片数、株叶长和总叶长显著高于对照,而 5 月露水植株的叶长、叶宽、叶片数、株叶长、总叶长和总叶片数均显著低于对照. 随着淹水时间的增加露水后植株死亡数呈显著增大趋势,S1 和 S2 组的叶长、叶宽显著增长,叶片数显著降低,而 S3 组植株叶长、叶宽、叶片数、株叶长、总叶长和总叶片数均显著降低. 干旱导致对照、S1 和 S2 组植株叶长、叶宽、株叶长、总叶长、叶片数和总叶片数均显著降低,植株存活数显著降低; 干旱胁迫去除 25 d 后,对照、S1 和 S2 组植株的叶片数分别增加了 67.0%、66.7% 和 36.2%,且 S1 和 S2 组植株的株叶长、总叶长和总叶片数分别增加了 48.2%、18.1%,66.7%、35.0%,75.0%、64.3%,差异显著($P<0.05$). 因此,菖蒲不仅对淹水的适应和耐受能力较强,而且露水后的生长恢复能力及对干旱的恢复能力也较强,可作为三峡库区消落带(特别是 3 月和 4 月露水区域)的恢复、重建物种.

关键词:菖蒲; 三峡库区; 淹水; 干旱; 生长发育
中图分类号: X173 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2012)08-2628-06

Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of *Acorus calamus* in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir

LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, ZHU Qi-hong, OU Yuan, LIU Yu
(College of Chemistry and Environmental Engineering, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract: *Acorus calamus* L. is a common kind of wetland plant species in the Three Gorges Reservoir. In this study, we investigated the influence of perennial flooding on growth restoration of *A. calamus* in the lightless conditions and the drought stress on this plant species' growth after flooding. Our research provided the scientific basis for the selection of candidate species for vegetations restoration in water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir. *A. calamus* plants were exposed to waters in the lightless conditions in September 2009 and September 2010 respectively and taken away from the waters and grew in natural conditions in the following March, April and May (named as S1, S2, S3). All plants in the control, S1 and S2 groups were challenged with drought stress in May for 20 days. During the experiment, the plant number and leaf number were recorded regularly, as well as leaf length and leaf width. The results showed that flooding restrained the germination of the plants with much less plant in flooding groups than the control, and the plant germination rate had inverse relation to the flooding time. Flooding promoted formation and elongation of the leaves in S1 and S2 groups, which showed higher leaf growth parameters, such as leaf length, leaf number, total leaf length of one plant and total leaf length of all plants than the control. However, all of these growth parameters in S3 group had significantly lower values compared to the control. The survival rate of the plants after flooding decreased significantly with longer flooding time. Besides, the leaf length and leaf width in S1 and S2 groups increased significantly but with decreased leaf number. Additionally, all growth parameters (leaf length, leaf width, leaf number, total leaf number, total leaf length of one plant, total leaf length of all plants) in S3 group decreased remarkably. Furthermore, drought decreased the values of all growth parameters and the plant number in the control, S1 and S2 groups notably. When drought stress was removed for 25 days, the leaf number in the control, S1 and S2 groups increased by 67.0% ($P<0.05$), 66.7% ($P<0.05$) and 36.2% ($P<0.05$), respectively, and the total leaf length of one plant, total leaf length of all plants and total leaf number in S1 and S2 groups increased by 48.2%, 18.1%, 66.7%, 35.0%, 75.0% and 64.3%, respectively ($P<0.05$). Therefore, *A. calamus* exhibited not only strong adaption and tolerance to flooding, but also robust growth restoration ability after flooding, as well as good restoration ability to the drought stress. In summary, *A. calamus* could be used as one kind of restoration or reconstruction species in water-level-fluctuation zone (especially not exposed to flooding in March or April) of the Three Gorges Reservoir.

Key words: *Acorus calamus*; Three Gorges Reservoir; flooding; drought; growth and development

收稿日期: 2011-10-26; **修订日期**: 2011-12-21
基金项目: 重庆市科委自然科学基金计划项目(CSTC,2009BB7255); 江苏省环境演变及生态建设重点实验室开放课题项目(JSKLEC200801); 重庆文理学院引进人才启动资金项目
作者简介: 李强(1973~),男,博士,副教授,主要研究方向为水环境生态修复,E-mail:lq1973_2002@163.com

三峡水利枢纽工程在正常情况下的调度按 175 m-145 m-175 m 水位方案运行，库区将会出现周期性的水位涨落，水位落差达 30 m，形成一个约 300 km^2 的涨落区-消落带. 在库区蓄水期间，消落带的湿生植物群落将不可避免地面临一段时间的沉水生活，水下光照条件对其萌发、生长发育、繁殖的影响和其对低光、淹水的耐受能力，是构建这类群落时首先要考虑的问题之一，也是人工配置湿生植物群落时选择种类及群落种类配置的科学基础. 三峡库区蓄水期间，在富含泥沙的长江水体中水下有效光强随着水深的增加显著降低，导致消落带植被不仅面临长期的淹水逆境，而且也面临无光逆境. 目前，库区水位变化对消落带水生植物的影响研究主要集中于长期淹水，研究表明，疏花水柏枝（*Myricaria laxiflora*）[1]、狗牙根（*Cynodon dactylon*）[2]、香根草（*Vetiveria zizanioides*）[3]、菖蒲（*Acorus calamus* L.）[3~5]、秋华柳（*Salix variegata*）[6,7]等植物具有较强的耐淹能力，有可能成为库区消落带的恢复物种. 而在无光条件下常年淹水对湿生植被的影响，尚无系统的研究报道，而且露滩期间植被恢复也常面临干旱的干扰，其对植物生长恢复的累积效应尚未引起重视.

菖蒲（*A. calamus*）是一种常见的生长于长江流域的菖蒲属（*Acorus*）植物，主要生长于河岸、溪边，为多年生挺水型草本植物[8]. 其地下具有储藏物质丰富的根状茎，对不利环境的适应能力较强[3~5]. 本研究选择菖蒲植株为材料，分析在无光条件下常年淹水和干旱对菖蒲生长恢复的影响，以期为三峡库区消落带植被恢复的物种选择提供科学依据.

1　材料与方法

1.1　材料

菖蒲为多年水生草本植物，根状茎横走，粗壮，稍扁，直径 0.5 ~2 cm；叶基生，叶片剑状线形，中肋明显，两侧均隆起[4]. 2009 年 9 月将三峡库区采集的菖蒲种植于盆（20 cm × 15 cm × 12 cm）中，每盆 3 株；自然光照下生长，实验开始时植株叶长分别为（67.8 ± 10.3）cm.

1.2　实验系统与装置

遮光实验系统：由遮光棚和植物淹水装置（Φ 0.59 m × 0.9 m）构成. 遮光棚包括支架、遮光膜和遮阳网，棚内完全黑暗，即使正午时棚内光强也为 0 lx；植物淹水装置放置于遮光棚内，植物栽培盆置于淹水装置底部，蓄满水.

遮雨实验装置：由透明塑料膜和支架组成，透明塑料膜仅单层覆盖于支架顶部.

1.3　淹水实验

实验从 2009 年 9 月 20 日开始，植株完全淹没于遮光实验系统的淹水装置中. 翌年 2 月中旬植株逐渐开始萌发，分别于 3 月 7 日、4 月 7 日和 5 月 7 日取出实验盆（露水），于自然光照条件下恢复，以未淹水、自然光照生长的植株为对照，每组 3 次重复. 植株露水生长至 2010 年 9 月 20 日时，再次放置于遮光实验系统的淹水装置中. 分别于 2011 年的 3 月 7 日、4 月 7 日和 5 月 7 日再次将植株露水，于自然光照条件下恢复，将露水时间不同的植株分别记为 S1、S2 和 S3，对照记为 CK. 每 15 d 统计 1 次各组实验盆中的植株数、叶片数，测定叶长和叶宽，计算各组植株的株叶长（即植株所有叶片的叶长总和）及每盆植物的总叶片数和总叶长.

1.4　干旱实验

2011 年 4 月 30 日，将对照、S1 和 S2 组植株置于前述的遮雨实验装置中培养 20 d（温度 35 ~ 38℃），至第 10 d 时土壤水分含量约为 7%；20 d 后，给各实验组土壤补充水分，并置于自然条件下恢复. 实验期间，每 12 d 统计 1 次各组实验盆中的植株数、叶片数，测定叶长和叶宽，计算各组植株的株叶长及每盆植株的总叶片数和总叶长.

1.5　数据分析

采用 SPSS 软件对实验数据进行处理和分析. 淹水或干旱对菖蒲生长发育的影响采用单因素方差分析完成（one-way ANOVA）. 用 LSD 法判断各处理组植株生长发育的差异显著性，用独立样本 t 测试（Independent-Samples T test）检验各处理组植株与对照组植株间的生长发育差异.

2　结果与分析

2.1　菖蒲植株数的变化

淹水导致植株萌发数显著降低，且随着淹水时间的延长萌发数呈显著降低趋势. 由图 1 可知，2 次淹水后，露水时 S1、S2 和 S3 组的植株数分别为对照的 61.1%、66.7% 和 33.3%，差异显著（$P < 0.05$）. 而且，露水后各实验组植株均不同程度出现死亡，随着淹水时间的增长死亡数呈显著增大趋势. 露水后 S1、S2 和 S3 组植株数分别降低了 9.1%、20.0% 和 50.0%，差异显著（$P < 0.05$）.

干旱期间植株存活数略有降低，差异不显著. 但是，干旱结束后植株存活数显著降低. 由图 1 还可

知,干旱结束后对照、S1 和 S2 组的植株数分别降低了 55.6%、54.5% 和 30.0%,差异显著($P<0.05$).

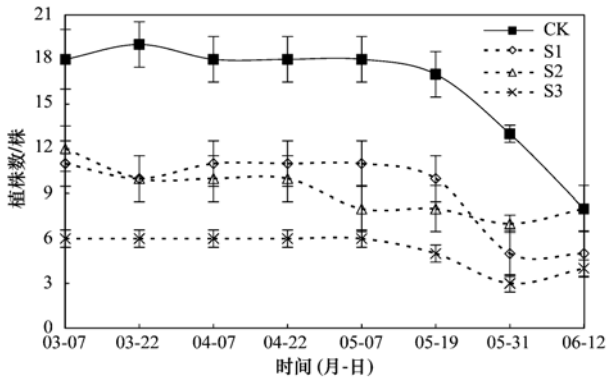

图 1 2011 年菖蒲植株数的变化

Fig. 1 Changes of plant number of *A. calamus* in 2011

2.2 菖蒲生长发育的变化

2.2.1 菖蒲叶长的变化

淹水导致 3 月和 4 月露水植株叶片的伸长显著被促进,而 5 月露水植株叶片的伸长被显著抑制. 由图 2(a)可知,露水时S1、S2和S3组叶长分别为对照的 191.4%、177.8% 和 60.6%,差异显著($P<0.05$). 露水后,3 月和 4 月露水植株叶片伸长仍然呈增加趋势,分别增加了 61.0%、23.5%,差异显著($P<0.05$);但是,5 月露水植株叶片的伸长显著被抑制,降低了 64.3%($P<0.05$). 此外,干旱导致植株叶片伸长显著被抑制,对照、S1 和 S2 组的叶长分别降低了 44.8%、48.8% 和 58.3%,差异显著($P<0.05$).

2.2.2 菖蒲叶宽的变化

由图 2(b)可知,除 S2 组外,淹水导致植株叶宽受到抑制,露水时 S1、S2 和 S3 组叶宽分别为对照的 96.1%($P>0.05$)、116.2%($P<0.05$)和 70.2%($P<0.05$). 同时,露水后 S1 和 S2 组叶宽均有所增加,增加率分别为 46.2%($P<0.05$)、9.7%($P>0.05$);而 S3 组叶宽显著降低,降低率达 24.5%($P<0.05$). 此外,干旱也导致叶宽增长受到抑制,特别是 S2 组叶宽降低显著. 由图 2(b)可知,对照、S1 和 S2 组叶宽分别降低了 12.5%($P<0.05$)、5.4%($P>0.05$)和 37.7%($P<0.05$).

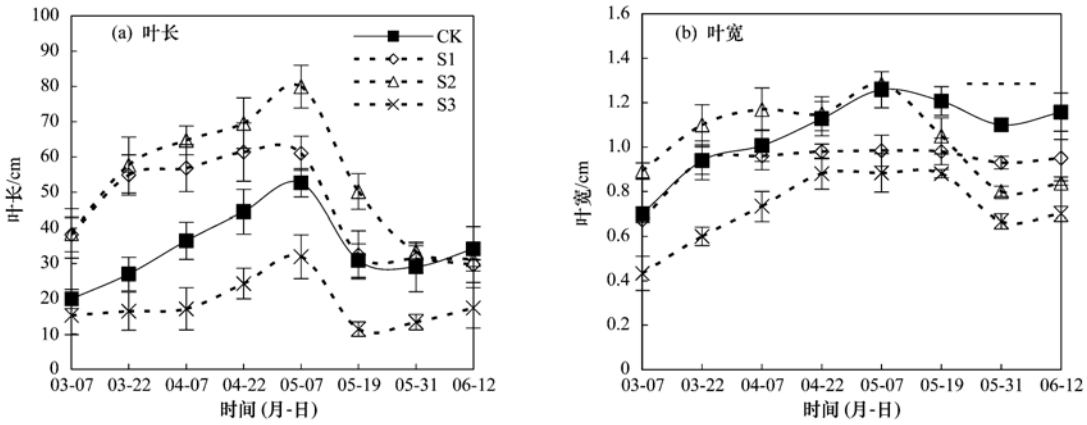

图 2 2011 年菖蒲的叶长和叶宽的变化

Fig. 2 Changes of leaf length and leaf width of *A. calamus* in 2011

2.2.3 菖蒲植株叶片数的变化

由图 3(a)可知,淹水显著促进了 S1 和 S2 组植株的叶片形成,露水时叶片数分别比对照多 41.0%、10.6%,差异显著($P<0.05$);而抑制了 S3 组植株的叶片形成,其叶片数比对照少 12.3%($P<0.05$). 同时,露水后植株叶片大量变黄、枯萎,叶片数显著降低,S1、S2 和 S3 组叶片数分别降低了 24.3%、13.6% 和 62.1%,差异显著($P<0.05$). 此外,干旱也会导致植株叶片大量变黄、枯萎,叶片数显著降低;干旱结束时,对照、S1 和 S2 组叶片数分别降低了 62.5%、45.5% 和 41.4%,差异显著($P<0.05$).

2.2.4 菖蒲总叶片数的变化

由图 3(b)可知,淹水导致总叶片数显著降低,露水时 S1、S2 和 S3 组总叶片数分别比对照低 13.8%、38.4% 和 70.8%,差异显著($P<0.05$). 而且,植株露水后总叶片数也呈显著的降低趋势,S1、S2 和 S3 组总叶片数分别降低了 26.8%、20.0% 和 68.4%,差异显著($P<0.05$). 此外,干旱也会导致总叶片数显著降低,对照、S1 和 S2 组叶片数分别降低了 64.6%、70.7% 和 61.1%,差异显著($P<0.05$).

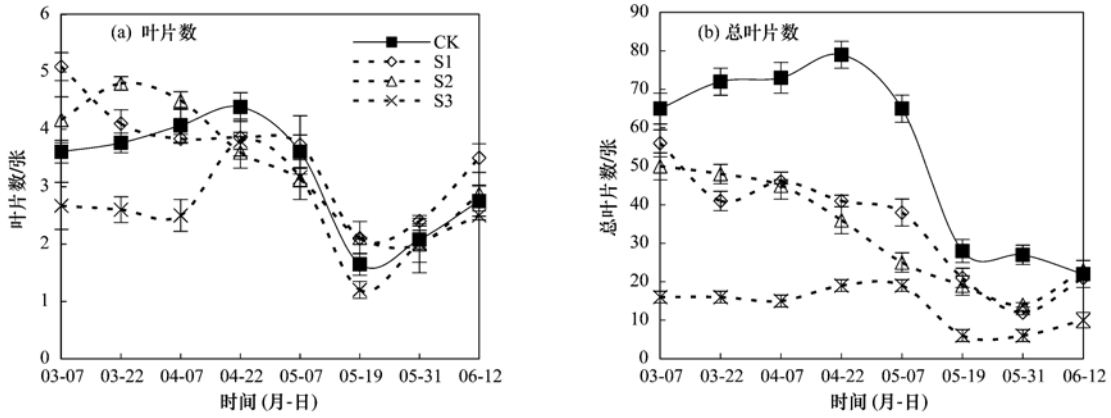

图 3　2011 年菖蒲的叶片数和总叶片数的变化

Fig. 3　Changes of leaf number and total leaf number of *A. calamus* in 2011

2.2.5　菖蒲株叶长的变化

由图 4(a)可知,淹水导致 S1 和 S2 组株叶长显著增长,露水时分别比对照高 131.1%、156.8%,差异显著($P<0.05$);而显著抑制 S3 组株叶长的增长,其株叶长比对照低 39.1%($P<0.05$). 同时,除 S1 组外露水后 S2 和 S3 组植株的株叶长均显著降低,分别降低 7.1%($P>0.05$)和 80.5%($P<0.05$). 此外,干旱也导致植株的株叶长显著降低,对照、S1 和 S2 组株叶长分别降低了 66.9%、62.9%和 69.5%,差异显著($P<0.05$).

2.2.6　菖蒲总叶长的变化

由图 4(b)可知,淹水导致 S1 和 S2 组总叶长显著增长,露水时分别比对照长 41.1%、42.7%,差异显著($P<0.05$);而显著抑制 S3 组总叶长的增长,比对照低 79.3%($P<0.05$). 同时,除 S1 组外露水后 S2 和 S3 组植株的总叶长均显著降低,分别降低 7.1%($P>0.05$)和 84.3%($P<0.05$). 此外,干旱导致总叶长显著降低,对照、S1 和 S2 组总叶长分别降低了 69.7%、82.1%和 78.7%,差异显著($P<0.05$).

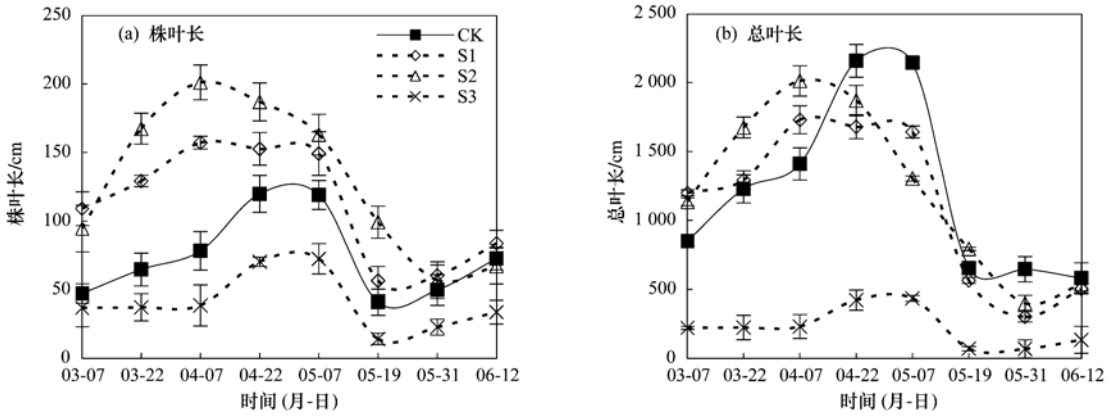

图 4　2011 年菖蒲的株叶长和总叶长的变化

Fig. 4　Changes of leaf length of a plant and total leaf length of all plants of *A. calamus* in 2011

3　讨论

3.1　常年淹水对菖蒲植株萌发与生长的影响

消落带植物的萌发率和存活率是判断其淹水耐受能力的重要指标和可分布范围的重要标准[13]. 在不同浅水水体(≤2.5 m)中分别研究了 3 个月、6 个月和 8 个月淹水对菖蒲生长的影响,表明其萌发率和存活率均与对照无显著差异[3~5]. 本研究结果显示,即使在无光、淹水条件下菖蒲各实验组植株均能萌发,至 3 月时达最大值. 但是,淹水持续时间的不同会导致萌发数产生显著的差异,淹水时间越长萌发的植株数越少,且各淹水组的植株萌发数均显著低于对照. 表明随着淹水持续时间和年数的增加菖蒲种群数量的扩增受到显著的抑制.

在完全淹水条件下耐淹植物可通过形态和生理的变化来适应淹水环境[9,10],有的植物可以加速枝

条和叶片的伸长生长[11,12],有的植物则减缓生长[7,13,14],而有的植物增加新生叶片与地平面的夹角,缩短植物叶片与水面的距离,从而改善氧气和 CO_2 供应,使其恢复或部分恢复气体交换和光合能力[5,13,15,16]. 现有的研究表明,菖蒲植株主要通过叶片的伸长来适应淹水逆境[3~5]. 本研究结果显示,在完全无光、淹水条件下,S1 和 S2 组植株叶片的伸长和形成均显著被促进,导致叶长、叶片数和株叶长显著增加; 虽然总叶片数显著降低,但是总叶长仍显著长于对照. 表明 3 月和 4 月露水植株对常年无光、淹水逆境的适应能力强,其适应策略不仅体现在叶片的伸长上,而且也体现在叶片的形成上. 但是,5 月露水植株对常年无光、淹水逆境的适应能力较差,叶片形成和伸长均受到显著抑制,其叶长、叶宽、叶片数、株叶长、总叶片数、总叶长均显著被抑制. 因此,在完全无光条件下淹水至 5 月时菖蒲植株耐受能力显著降低,且随着淹水年数的增加其耐受能力可能会进一步降低.

当水淹结束后,植株体内所积累的由于无氧呼吸而产生的代谢物质会氧化成毒性更强的物质,如乙醇氧化成乙醛; 并且,植株体内还会产生大量的活性氧离子,过量活性氧离子的积累会导致植物细胞的死亡[3,7],即缺氧后伤害(post-anoxic injury). 对于菖蒲植株来说,这种伤害导致叶片大量变黄、枯萎,水淹结束后植株叶片数和总叶片数迅速降低. 由于菖蒲是叶基生植物,所以当植株所有的叶片枯萎后植株即被视为死亡. 植株露水后各实验组植株均不同程度出现死亡,而且随着淹水时间的延长死亡数呈显著增大趋势. 但是,不同淹水持续时间的菖蒲植株对缺氧后伤害的适应能力存在显著的差异. 对于 3 月和 4 月露水植株来说,虽然部分叶片枯萎,但是其叶长和叶宽的增长未受到抑制,且 3 月露水植株的株叶长和总叶长显著增长,从而有利于植株和种群的生长恢复; 但是,对于 5 月露水植株来说,这种后伤害不仅导致叶片数、总叶片数显著降低,而且导致叶长、叶宽、株叶长、总叶长显著降低,不利于植株和种群的生长恢复.

3.2 露水期间干旱对菖蒲植株存活与生长恢复的影响

干旱是影响植物生长发育的重要逆境因子,也是决定植被地理和限制植株产量的主要因素[17,18]. 干旱胁迫使植物的萌发、长势、生理机制、激素水平等都会发生一系列变化,显著抑制植物的生长发育[19~22]; 在光照较强条件下引起叶片吸收的光能过剩,对光合器官产生潜在的危害[23,24]; 导致膜脂过氧化产物(MDA)含量明显增加,膜脂过氧化水平加重,引起膜结构的损伤,细胞膜的选择透性发生改变[25,26]. 本研究结果显示,自然条件下持续干旱导致对照、S1 和 S2 组植株叶长、叶宽、株叶长、总叶长、叶片数和总叶片数均显著降低. 表明干旱显著抑制菖蒲植株的生长发育.

经历过干旱胁迫的植株,在胁迫解除后,尽管土壤水分条件已恢复到生长适宜条件,但其功能和各项生长指标并不能马上恢复[27~29],这是由于前期的干旱胁迫造成的,而不是由当时的水分条件所限制,称为干旱胁迫对作物生长的后效影响(After-effect)[30]. 本研究结果显示,这种后效影响导致菖蒲植株存活数显著降低. 干旱胁迫去除后菖蒲植株的生长恢复主要体现在新叶形成上,干旱胁迫去除,对照、S1 和 S2 组植株的形成显著被促进,25 d 后叶片数分别增加了 67.0%、66.7% 和 36.2%,差异显著($P<0.05$). 其次,干旱胁迫去除后菖蒲植株的叶长和叶宽生长也缓慢恢复,干旱胁迫去除 25 d 后 S1 和 S2 组植株的株叶长、总叶长和总叶片数分别增加了 48.2%、18.1%,66.7%、35.0%,75.0%、64.3%,差异显著($P<0.05$). 表明对于 3 月和 4 月露水生长恢复的菖蒲植株,干旱胁迫去除后其生长恢复能力较强,具较强的适应能力.

4 结论

菖蒲是一种较好的、可用于三峡库区消落带的恢复、重建物种. 特别是,对于三峡库区 3 月和 4 月露水的消落带,菖蒲均可作为其主要的恢复、重建物种之一. 这不仅是由于其对常年无光、淹水逆境具有较强的适应和耐受能力,而且也是由于其露水后的生长恢复能力、干旱去除后的恢复能力均较强的原因.

参考文献:

[1] 陈芳清, 谢宗强. 三峡库区濒危植物疏花水柏枝的生理生化特性研究[J]. 广西植物, 2008, **28**(3): 367-372.

[2] 李强, 丁武泉, 朱启红, 等. 水位变化对三峡库区低位狗牙根种群的影响[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(3): 652-656.

[3] 王海锋, 曾波, 乔普, 等. 长期水淹条件下香根草(*Vetiveria zizanioides*)、菖蒲(*Acorus calamus*)和空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)的存活及生长响应[J]. 生态学报, 2008, **28**(6): 2571-2580.

[4] 曹昀, 王国祥, 刘玉. 淹水对菖蒲萌发及幼苗生长的影响[J]. 湖泊科学, 2007, **19**(5): 577-584.

[5] 李强, 朱启红, 丁武泉, 等. 水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响[J]. 生态学报, 2011, **31**(5): 1341-1348.

[6] 罗芳丽，曾波，陈婷，等. 三峡库区岸生植物秋华柳对水淹的光合和生长响应[J]. 植物生态学报，2007，**31**(5)：910-918.

[7] 李娅，曾波，叶小齐，等. 水淹对三峡库区岸生植物秋华柳(*Salix variegata* Franch.)存活和恢复生长的影响[J]. 生态学报，2008，**28**(5)：1923-1930.

[8] 李永康. 贵州植物志[M]. (第六卷). 成都：四川民族出版社，1989. 543.

[9] 卢妍. 湿地植物对淹水条件的响应机制[J]. 自然灾害学报，2010，**19**(4)：147-151.

[10] 潘澜，薛晔，薛立. 植物淹水胁迫形态学研究进展[J]. 中国农学通报，2011，**27**(7)：11-15.

[11] Voesenek L A C J，Clomer T D，Pierik R，*et al*. How plants cope with complete submergence[J]. New Phytologist，2006，**170**(2)：213-226.

[12] Groeneveld H W，Voesenek L A C J. Submergence-induced petiole elongation in *Rumex palustris* is controlled by developmental stage and storage compounds[J]. Plant and Soil，2003，**253**(1)：115-123.

[13] He J B，Bögemann G M，Van de Steeg H M，*et al*. Survival tactics of *Ranunculus* species in river floodplains[J]. Oecologia，1999，**118**(1)：1-8.

[14] Voesenek L A C J，Rijnders J H G M，Peeters A J M，*et al*. Plant hormones regulate fast shoot elongation under water：from genes to communities[J]. Ecology，2004，**85**(1)：16-27.

[15] 马利民，唐燕萍，张明，等. 三峡库区消落区几种两栖植物的适生性评价[J]. 生态学报，2009，**29**(4)：1885-1892.

[16] 袁琳，张利权，古志钦. 入侵植物互花米草(*Spartina alterniflora*)叶绿素荧光对淹水胁迫的响应[J]. 环境科学学报，2010，**30**(4)：882-229.

[17] 赵鸿，李凤民，熊友才，等. 土壤干旱对作物生长过程和产量影响的研究进展[J]. 干旱气象，2008，**26**(3)：67-71.

[18] Yang J C，Zhang J H. Grain filling of cereals under soil drying[J]. New Phytologist，2006，**169**(2)：223-236.

[19] 田再民，龚学臣，抗艳红，等. 植物对干旱胁迫生理反应的研究进展[J]. 安徽农业科学，2011，**39**(26)：16475-16477.

[20] Wang T，Zhang X，Li C. Growth，abscisic acid content，and carbon isotope composition in wheat cultivars grown under different soil moisture[J]. Biologia Plantarum，2007，**51**(1)：181-184.

[21] Voisin A S，Reidy B，Parent B，*et al*. Are ABA，ethylene or their interaction involved in the response of leaf growth to soil water deficit? An analysis using naturally occurring variation or genetic transformation of ABA production in maize[J]. Plant，Cell & Environment，2006，**29**(9)：1829-1840.

[22] 王学文，付秋实，王玉珏，等. 水分胁迫对番茄生长及光合系统结构性能的影响[J]. 中国农业大学学报，2010，**15**(1)：7-13.

[23] Jeyaramraja P R，Meenakshi S N，Kumar R S，*et al*. Water deficit induced oxidative damage in tea (*Camellia sinensis*) plants[J]. Journal of Plant Physiology，2005，**162**(4)：413-419.

[24] 何维明. 水分因素对沙地柏实生苗水分和生长特征的影响[J]. 植物生态学报，2001，**25**(1)：11-16.

[25] Lanceras J C，Pantuwan G，Jongdee B，*et al*. Quantitative trait loci associated with drought tolerance at reproductive stage in rice[J]. Plant Physiology，2004，**135**(1)：384-399.

[26] 卫士美，陈莉. 干旱胁迫下玉米幼苗的生理生化指标[J]. 湖北农业科学，2011，**50**(18)：3691-3692，3704.

[27] Wraith J M，Baker J M，Blake T K. Water uptake resumption following soil drought：a comparison among four barley genotypes[J]. Journal of Experimental Botany，1995，**46**(7)：873-880.

[28] David M M，Coel D，Barrote I，*et al*. Leaf age effects on photosynthetic activity and sugar accumulation in droughted and rewatered *Lupinus Albus* plants[J]. Australian Journal of Plant Physiology，1998，**25**(3)：299-306.

[29] Mastrorilli M，Katerji N，Rana G. Water efficiency and stress on grain sorghum at different reproductive stages[J]. Agricultural Water Management，1995，**28**(1)：23-34.

[30] 刘晓英，罗远培. 干旱胁迫对作物生长后效影响的研究现状[J]. 干旱地区农业研究，2002，**20**(4)：6-10.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 33 No. 8

Aug. 15, 2012

CONTENTS

Levels and Sources of Gaseous Polybrominated Diphenyl Ethers in Air over the Northern South China Sea ····· LI Qi-lu, LI Jun, LIU Xiang, *et al.* (2533)

Observation and Analysis of Air Pollution in Zhangjiakou, Hebei ····· SHAO Ping, WANG Li-li, AN Jun-lin, *et al.* (2538)

Smog Chamber Simulation of Ozone Formation from Atmospheric Photooxidation of Propane ····· HUANG Li-hua, MO Chuang-rong, XU Yong-fu, *et al.* (2551)

Mechanism and Performance of a Membrane Bioreactor for Treatment of Toluene Vapors ····· YE Qi-hong, WEI Zai-shan, XIAO Pan, *et al.* (2558)

Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting ····· ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, *et al.* (2563)

Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water ····· XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, REN Yu-fen, *et al.* (2569)

Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods ····· LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, *et al.* (2574)

Distribution Characteristics and Potential Risks of Phenols in the Rainy Season Surface Water from Three Gorges Reservoir ····· WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, *et al.* (2580)

Spatial Distribution of Perfluorooctanoic Acids and Perfluorinate Sulphonates in Surface Water of East Lake ····· CHEN Jing, WANG Lin-ling, ZHU Hu-di, *et al.* (2586)

Characteristics of Heavy Metal Pollution in Daninghe River and Modaoxi River of Three Gorges Reservoir Areas ····· AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, ZHENG Bing-hui, *et al.* (2592)

Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Yangtze River ····· WANG Lan, WANG Ya-ping, XU Chun-xue, *et al.* (2599)

Analysis of the Source, Potential Biological Toxicity of Heavy Metals in the Surface Sediments from Shellfish Culture Mudflats of Rudong Country, Jiangsu Province ····· LI Lei, WANG Yun-long, JIANG Mei, *et al.* (2607)

Effect of Disturbance Intensity on Phosphorus Release and Its Transformation in the Sediment from Taihu Lake ····· LI Da-peng, HUANG Yong (2614)

Effects of Intrusions from Three Gorges Reservoir on Nutrient Supply to Xiangxi Bay ····· ZHANG Yu, LIU De-fu, JI Dao-bin, *et al.* (2621)

Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of *Acorus calamus* in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir ····· LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, *et al.* (2628)

Pollution Load and the First Flush Effect of Phosphorus in Urban Runoff of Wenzhou City ····· ZHOU Dong, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan (2634)

Output Characteristics of Rainfall Runoff Phosphorus Pollution from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area ····· YU Xing-xiu, LI Zhen-wei, LIU Qian-jin, *et al.* (2644)

Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions ····· YANG Feng, WANG Peng-ju, YANG Shan-shan, *et al.* (2652)

Simulation of Nitrogen and Phosphorus Loss in Siling Reservoir Watershed with AnnAGNPS ····· BIAN Jin-yun, WANG Fei-er, YANG Jia, *et al.* (2659)

GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen ····· BAI Feng-jiao, LI Tian-hong (2667)

Response of Sloping Water Erosion to Rainfall and Micro-earth Pattern in the Loess Hilly Area ····· WEI Wei, JIA Fu-yan, CHEN Li-ding, *et al.* (2674)

Comparison Study of Enhanced Coagulation on Humic Acid and Fulvic Acid Removal ····· ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji, YE He-xiu, *et al.* (2680)

Real-time PCR Detection and Quantification of Emerging Waterborne Pathogens (EWPs) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Downstream Area of Jiulong River ····· WANG Qing, LIN Hui-rong, ZHANG Shu-ting, *et al.* (2685)

Quantitative and Qualitative Analysis of Total Bacteria and Ammonia-oxidizing Bacteria in Buji River in Wet Season ····· SUN Hai-mei, BAI Jiao-jiao, SUN Wei-ling, *et al.* (2691)

Study on the Nitrogen Removal Performance and the Characteristics of Denitrification Bacterial Community Structure of Biological Aerated Filter ····· PENG Xiao-lan, LIU Cong, CHEN Lü-jun (2701)

Analysis of Microbial Community Structure at Full-scale Wastewater Treatment Plants by Oxidation Ditch ····· GUO Yun, YANG Dian-hai, LU Wen-jian (2709)

Performance and Microbial Community Dynamic Characteristics of an Internal Circulation Reactor Treating Brewery Wastewater ··· ZHU Wen-xiu, HUANG Zhen-xing, REN Hong-yan, *et al.* (2715)

Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization ····· ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, *et al.* (2723)

Study on Removal Effect of Different Organic Fractions from Bio-treated Effluent of Dye Wastewater by UV/H_2O_2 Process ····· LI Xin, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, *et al.* (2728)

Optimization of *Chlorella pyrenoidosa*-15 Photoheterotrophic Culture and Its Use in Wastewater Treatment ····· WANG Xiu-jin, LI Zhao-sheng, XING Guan-lan, *et al.* (2735)

Characteristics and Mechanism of 2,4,6-TCP Degradation by the "Fe^0/Enriched-Bacteria" System ····· DAI You-zhi, GUO Li-li, SHI Lei, *et al.* (2741)

Immobilization of Crude Laccase onto Anion Exchange Resin and Its Application in Decoloration of Malachite Green ····· QI Xu-liang, LIU Xiang, LIU Bo, *et al.* (2747)

Low-Temperature Preparation of TiO_2/PS/Fe_3O_4 and Its Photocatalytic Activity and Magnetic Recovery ····· WANG Xue-jiao, REN Xue-chang, NIAN Juan-ni, *et al.* (2752)

Study on Catalytic Oxidation of Benzene by Microwave Heating ····· ZHANG Yu-cai, BO Long-li, WANG Xiao-hui, *et al.* (2759)

Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge ····· GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, *et al.* (2766)

Experimental and Modeling Research on the Settlement of Aerobic Granular Sludge ····· SU Kui-zu, DENG Xiu-kun, ZHENG Li, *et al.* (2773)

Analysis of Hydrolytic Enzyme Activities on Sludge Aerobic/Anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment ····· YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, *et al.* (2780)

Effect of Microbial Nutrient Concentration on Improvement of Municipal Sewage Sludge Dewaterability Through Bioleaching ····· SONG Yong-wei, LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang (2786)

Response of the Artificial Cyanobacterial Crusts to Low Temperature and Light Stress and the Micro-structure Changes Under Laboratory Conditions ····· RAO Ben-qiang, LI Hua, XIONG Ying, *et al.* (2793)

Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China ····· WU Yan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2804)

Pollution Characteristics and Accumulation of Antibiotics in Typical Protected Vegetable Soils ····· YIN Chun-yan, LUO Yong-ming, TENG Ying, *et al.* (2810)

Transformation and Influences of Copper and Selenium Fractions on Heavy Metals Bioavailability in Co-contaminated Soil ····· HU Bin, LIANG Dong-li, ZHAO Wen-long, *et al.* (2817)

Response of Soil Microbial Community to the Bioremediation of Soil Contaminated with PAHs ····· ZHANG, Jing, LIN Xian-gui, LIU Wei-wei, *et al.* (2825)

Bioremediation of PAHs Contaminated Soil from Beijing Coking Plant by *Lasiodiplodia theobromae* ····· ZHANG Zhi-yuan, WANG Cui-ping, LIU Hai-bin, *et al.* (2832)

Leaching Experiments on the Release of Trace Elements from Tailings of Chashan Antimony Mine, Guangxi, China ····· CAI Yong-bing, LI Ling, WEI Xiao-fei, *et al.* (2840)

Accumulation Characteristics of Arsenic in Suburban Soils of Beijing ····· QI Jie, WANG Mei-e, WANG Zi-qiang, *et al.* (2849)

Antioxidant Enzyme Gene Expression as Molecular Biomarkers of Exposure to Polycyclic Musks ····· CHEN Chun, ZHOU Qi-xing, LIU Xiao-wei (2855)

Effects of Ozone Pollution on the Accumulation and Distribution of Dry Matter and Biomass Carbon of Different Varieties of Wheat ····· KOU Tai-ji, YU Wei-wei, ZHU Jian-guo, *et al.* (2862)

Influence of Reaction Time of Urea Hydrolysis-Based Co-precipitation on the Structure of ZnAl Layered Double Hydroxides and the Phosphate Adsorption ····· LU Ying, CHENG Xiang, XING Bo, *et al.* (2868)

Competitive Adsorption Kinetics of Aqueous Pb^{2+} and Cu^{2+} on Nano-HAP Surfaces ····· HU Tian-tian, CANG Long, WANG Yu-jun, *et al.* (2875)

Effects of pH and Ni^{2+} on Sorption Behavior of Phenanthrene on Engineered Nano-Silica ····· LUO Pei, SUN Hong-wen, ZHANG Peng (2882)

Adsorption Characteristics and Mechanism of Uranium on Attapulgite ····· LIU Juan, CHEN Di-yun, ZHANG Jing, *et al.* (2889)

Adsorption Characteristics of Ciprofloxacin in Ustic Cambosols ····· CUI Hao, WANG Shu-ping (2895)

Kinetic Mechanism and Characteristics Researches for Hydrazine-based NO_x Removal at Moderate to High Temperatures ····· HONG Liu, CHEN De-zhen, WANG Du, *et al.* (2901)

Current Research Situation of H_2S Selective Catalytic Oxidation Technologies and Catalysts ····· HAO Zheng-ping, DOU Guang-yu, ZHANG Xin, *et al.* (2909)

《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 8 月 15 日　33 卷　第 8 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 33　No. 8　Aug. 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