

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM_{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估 谢元博, 陈娟, 李巍 (1)

长白山 PM_{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)

青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响 柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)

重庆市大气二噁英污染水平及季节变化 张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)

西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放 卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)

西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放 张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)

杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征 蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)

模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究 符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)

川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化 童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)

重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化 余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)

汉江上游金水河流域氮湿沉降 王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)

麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)

兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究 吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)

中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究 马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)

水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO₂ 释放的影响 柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)

黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征 吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)

浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价 马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)

POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测 张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)

降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义 陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师阳 (123)

锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)

子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征 赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)

水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)

黄东海表层沉积物中磷的分布特征 宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)

河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究 张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)

沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制 武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)

三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析 敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)

太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)

滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究 王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)

浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术 王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)

光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究 王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)

同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究 刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)

垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究 孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)

油田区土壤石油烃组分残留特性研究 胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)

水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态 谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)

土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响 廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)

水稻土团聚体 Cu²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化 许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)

Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响 刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)

淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌侵染 2 种湿地植物的影响 马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)

太湖水质与水生生物健康的关联性初探 周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)

3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较 姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)

某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)

异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响 胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)

Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价 王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)

基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究 郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)

微囊藻毒素降解菌 *Paucibacter* sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性 游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 (313)

硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究 杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)

降解纤维素产甲烷的四菌复合系 吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)

中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素 谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)

内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究 史晶晶, 耿元波 (341)

南京河流夏季水-气界面 N₂O 排放通量 韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)

杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响 肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)

生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究 彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)

不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究 卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)

硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用 严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)

县域尺度的京津冀都市圈 CO₂ 排放时空演变特征 汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)

保水剂性能及其农用安全性评价研究进展 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

《环境科学》征订启事 (65) 《环境科学》征稿简则 (220) 信息 (226, 270, 298, 364)

淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌侵染 2 种湿地植物的影响

马雷猛, 王鹏腾, 王曙光*

(北京化工大学化学工程学院, 北京 100029)

摘要: 以不同淹水时长为唯一影响因子, 以香蒲 (*Typha orientalis*) 和水稻 (*Oryza sativa* L.) 为宿主植物, 选用 *Glomus* 属的 3 种 AM 真菌 (F1 菌: *Glomus intraradices*; F2 菌: *Glomus versiforme*; F3 菌: *Glomus etunicatum*), 研究淹水时长对 3 种 AM 真菌侵染 2 种湿地植物的影响, 以期阐明淹水对湿地植物 AM 结构与功能的影响提供参考. 结果表明, 淹水时间越长, 3 种 AM 真菌对 2 种植物的侵染率越低; 相同淹水时间下, F3 菌对香蒲、F1 菌和 F2 菌对水稻的侵染率高于其他菌. 3 种 AM 真菌的侵染结构分析表明, 菌丝侵染是 2 种湿地植物形成 AM 的主要途径, 而丛枝和孢囊贡献较小; 淹水时间越长, 香蒲的菌丝侵染比例越高, 但水稻的菌丝侵染比例无明显变化规律; 淹水时间越长, 2 种植物的丛枝侵染比例越低, 不淹水时最高. AM 真菌产孢数分析表明, 淹水时间越长, AM 真菌的产孢数越多; 相同淹水时长下, F3 菌产孢数最多. 2 种植物的湿重变化表明, 3 种 AM 真菌在长时间淹水条件下仍能明显促进香蒲地上和地下部分的生长, 但对水稻的生长影响不明显. 本研究表明, 淹水时长影响 AM 真菌对湿地植物的侵染水平和侵染结构, 淹水条件下 AM 真菌对湿地植物生长仍有促进作用, 但这受宿主植物对 AM 真菌的菌根依赖性影响. 所以, 在湿地植物上应用 AM 真菌时, 应考虑植物的菌根依赖性和淹水时长对接种效果的影响.

关键词: 丛枝菌根真菌; 侵染比例; 淹水时长; 香蒲; 水稻

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0263-08

Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants

MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang

(College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to provide information for elucidating effect of flooding on the formation and function of AM in wetland plants, three AM fungi (*Glomus intraradices*, *Glomus versiforme*, *Glomus etunicatum*) were used to investigate the effects of flooding time length on their colonization in cattail (*Typha orientalis*) and rice (*Oryza sativa* L.). The results showed that the mycorrhizal colonization rate (MCR) presented downtrend with increasing flooding time length. In cattail, MCR of the fungus F3 was higher than those of fungi F1 and F2, but no significant difference in MCR was found between fungi F1 and F2. In rice, the MCRs of fungi F2 and F3 were higher than that of F1. In both plants, the proportional frequency of hyphae was the highest while the proportional frequency of arbuscules and vesicles was very low in all treatments, indicating that hyphal colonization was the main route for AM formation. The proportional frequency of hyphae in cattail increased with the flooding time length, but no significant trend was observed in rice plant. The proportional frequency of arbuscules decreased with the increase of flooding time, and was the highest in the treatment without flooding (treatment IV). The number of spores produced by AM fungi increased with increasing flooding time, and reached the highest in the treatment of long time flooding (treatment I). In the same treatment, the fungus F3 produced more spores than fungi F1 and F2. Changes in wet weight of the two plants showed that AM could increase cattail growth under flooding, but little effect on rice growth was found. It is concluded that flooding time length significantly affected the mycorrhizal colonization rate and the proportional frequency of colonization. AM could enhance the growth of wetland plant, but this depends on the mycorrhizal dependence of host plant on AM fungi. Therefore, flooding time length should be considered in the inoculation of wetland plants with AM fungi.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi; proportional frequency of colonization; flooding time length; cattail; rice

我国湿地资源丰富, 湿地植物在生产生活中的作用日益突出, 特别是随着城市化进程的加快, 湿地植物在城市景观美化、半人工湿地与人工湿地生活污水等中的应用越来越多. 然而, 在湿地植物人工利用过程中, 其也经常遭遇水体与土壤污染、逆境胁迫、病虫害等的威胁, 特别是污染胁迫日趋严重^[1,2]. 提高湿地植物的抗逆和耐污染能力成为

湿地植物人工利用和湿地资源保护急需解决的问题. 众所周知, 陆生环境中丛枝菌根 (AM) 对提高宿主植物的抗逆和耐污染能力有明显作用, 若能利用

收稿日期: 2013-03-27; 修订日期: 2013-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41201528)

作者简介: 马雷猛 (1988 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤环境微生物.

* 通讯联系人, E-mail: shgwang2013@126.com

AM 提高湿地植物的抗逆和耐污染能力,对进一步发挥湿地植物的作用将有重要意义.然而,目前虽然已证实湿地植物具有 AM 结构^[3-5],但鲜见有 AM 对湿地植物抗逆和耐环境污染能力影响的报道.

AM 对宿主植物的影响与多个因素有关,AM 真菌对宿主植物的侵染程度即是其中主要因素之一^[6].AM 真菌一直被认为是好氧微生物,因此,在湿地环境中,淹水状况可能是影响 AM 真菌对湿地植物侵染的主要因素.目前,这方面的研究结果并不一致,多数研究发现淹水明显降低 AM 真菌对宿主植物的侵染,菌根侵染率随水深增加而下降^[7],但也有不一致的结果,如 Bauer 等^[3]和 Bohrer 等^[8]发现不同水文区和水位对菌根侵染率没有明显影响.这些差异除与上述结果多来自野外调查、影响因素较多有关外,还可能受淹水时间长短的影响,因为湿地水位经常发生波动,从而导致湿地植物的淹水时长存在差异.

本研究以不同淹水时长为唯一影响因子,以香蒲和水稻为宿主植物,选用湿地环境中出现频率最高的 AM 真菌属——球囊霉属 (*Glomus*) 的 3 种 AM 真菌,观察淹水时长对 3 种 AM 真菌侵染 2 种湿地植物的影响,以期为阐明湿地植物 AM 结构的形成与功能提供信息.

1 材料与方法

1.1 供试土壤

实验用土取自北京昌平郊区某农田,深度为 0~20 cm.理化性质如下:pH 值 8.0(水:土=2.5:1),有机质 21.8 g·kg⁻¹,全氮 1.28 g·kg⁻¹,有效磷 37.2 mg·kg⁻¹,有效钾 123.5 mg·kg⁻¹.风干后除去土壤中植物根系和其他干扰物,过 2 mm 筛,高温灭菌,备用.

1.2 供试植物

香蒲 (*Typha orientalis*) 幼苗购自北京某花卉基地,先在灭菌河沙中培养,适应环境.实验开始时,挑选高度接近(约 15 cm 高)的幼苗移入装有 1 kg 干土的实验盆钵中(2 L 塑料盆),每盆移栽香蒲 1 株.水稻 (*Oryza sativa* L.,常优 2 号)选取籽粒大小接近、饱满的种子,蒸馏水清洗干净后,用 10% H₂O₂ 表面消毒 10 min,再用蒸馏水将 H₂O₂ 清洗干净,在 25℃ 条件下催芽 48 h,然后移栽至装有 1 kg 干土的实验盆钵中,每盆移栽水稻 1 株.两种植物移栽后立即按水分处理添加不同量的去离子水.

1.3 AM 真菌

选择的 3 种 AM 真菌分别为:①根内球囊霉 (*Glomus intraradices*),简称“F1”;②地表球囊霉 (*Glomus versiforme*),简称“F2”;③幼套球囊霉 (*Glomus etunicatum*),简称“F3”,均为 *Glomus* 属.3 种菌剂购自北京市农林科学院植物营养与资源研究所,后以三叶草陆生环境中自行扩繁.

1.4 实验处理

实验设 3 个因子,即淹水时长 × AM 真菌种类 × 植物种类,共 32 个处理,每个处理 3 个重复.

淹水时长处理 4 个,①AM 真菌 + 淹水 60 d(处理 I):接种 AM 真菌后立即淹水 10 cm,持续 60 d;②AM 真菌 + 淹水 20 d + 旱境 40 d(处理 II):接种 AM 真菌后立即淹水 10 cm,持续 20 d 后把水倒出,适当松土透气,水分控制在田间持水量的 60%~70%,每天适量浇水,再持续 40 d;③AM 真菌 + 旱境 60 d(处理 III):接种 AM 真菌后每天适量浇水,保持田间持水量的 60%~70%,持续 60 d;④淹水 60 d(处理 IV):不接种 AM 真菌,移栽植物后直接淹水 10 cm,持续 60 d.

AM 真菌处理 4 个,即 F1 菌、F2 菌、F3 菌和不接种对照.每盆植物的菌剂接种量为盆内土重的 7%,采用混合接种方式.不接种对照添加 7% 的灭活 F1 菌剂.

植物种类 2 个,即香蒲 (*Typha orientalis*) 和水稻 (*Oryza sativa* L.).

实验于 2011 年 4 月在楼顶平台进行,雨天所有植物移至雨棚下严禁淋雨.淹水期间每天早上补水至 10 cm,每 3 d 净化一次上覆水,以避免藻类生长.不淹水阶段,每天适量浇水,保持水分至田间持水量的 60%~70%.

1.5 分析方法

1.5.1 侵染率的测定

新鲜根系用曲利苯蓝染色-交叉划线法测定菌根侵染率^[9].

1.5.2 侵染结构的测定

参照文献[10]中的方法测定丛枝、菌丝、泡囊侵染数,通过下式计算三者的侵染比例.具体步骤为:每个样品使用 3 个载玻片,每个载玻片用甘油固定 2 条 1 cm 长根系,根系平行载玻片长轴放置,盖上盖玻片.测定时,目镜十字线调整到与根系垂直位置,显微镜视野(200×)沿载玻片长轴垂直方向从根系一侧完全移至另一侧,在根系不同位置来回移动 6 次,6 次的间隔距离适当控制.根据目镜十字线与菌丝、丛枝、泡囊的交叉与否,一

共分为 4 类情况,即菌丝侵染、丛枝侵染、泡囊侵染、无侵染。若目镜十字线与菌丝交叉,就计作一个菌丝侵染点,其他类推;若目镜十字线同时交叉 1 个以上的菌丝,菌丝侵染点计数增加 1,其他类

推;若目镜十字线同时交叉菌丝和丛枝,两者分别增加 1,但总交叉数只增加 1,其他类推。除非交叉点处根系的表皮脱落,否则所有的交叉点都应予以计数。

$$\text{菌丝侵染比例} = \frac{\text{菌丝侵染点数}}{\text{菌丝侵染点数} + \text{丛枝侵染点数} + \text{泡囊侵染点数} + \text{无侵点数}} \times 100\%$$

1.5.3 孢子数的测定

盆钵内所有土壤用 2 000 mL 去离子水充分溶解、搅拌,沉淀 10 min 后收集上清液,混匀上清液后取出 200 mL 用湿筛倾注-蔗糖离心法测孢子数^[11]。

1.5.4 湿重的测定

将植物地上与地下部分分开,分别称取鲜重。

1.6 统计方法

所有数据均用 SPSS 13.0 软件的 Duncan 分析进行显著性检验, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 淹水时长对 AM 真菌侵染率的影响

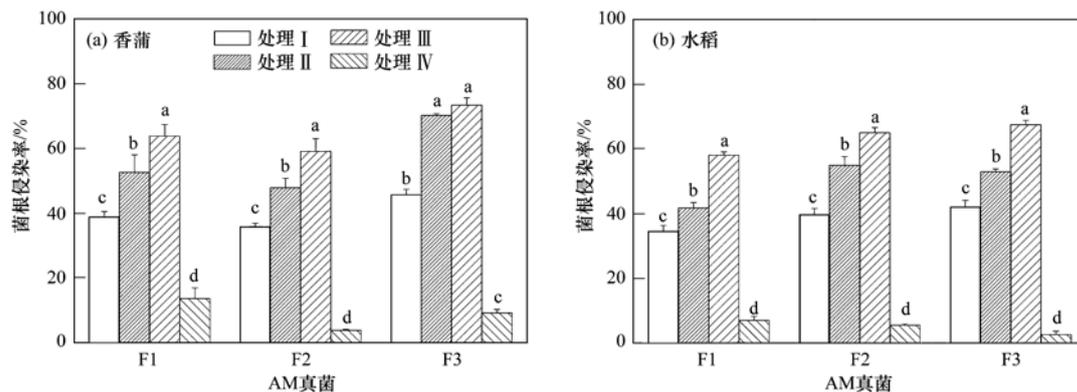


图 1 淹水时长对 3 种 AM 真菌侵染香蒲和水稻的影响

Fig. 1 Effects of flooding time length on mycorrhizal colonization rates of three AM fungi in cattail and rice

2.2 淹水时长对 AM 真菌侵染结构的影响

从表 1 可以看出,除处理 III 中 F2 菌菌丝对香蒲的侵染比例明显低于丛枝侵染比例,其他各淹水处理中 AM 真菌对香蒲和水稻的侵染均为菌丝侵染比例明显高于丛枝和泡囊侵染比例,而泡囊侵染比例最低。

3 种 AM 真菌菌丝对香蒲的侵染比例基本呈处理 I < 处理 II < 处理 III 的趋势,虽然有的处理间差异不显著(如 F1、F3 菌在处理 I、处理 II 间)。F1 菌和 F3 菌菌丝侵染比例随淹水时间增加下降幅度较小,而 F2 菌菌丝侵染比例下降幅度较大。3 种 AM 真菌丛枝侵染比例的变化与菌丝类似,即处理 I < 处理 II < 处理 III,表明淹水时间越长越不利于丛枝的形成。泡囊侵染比例普遍较低,有些处理中

没有观察到泡囊侵染。在水稻根系中,虽然 3 种 AM 真菌在处理 I ~ III 中菌丝侵染比例普遍较高,但随着淹水时长没有明显的变化规律,丛枝和泡囊侵染比例较低。

2.3 淹水时长对 AM 真菌产孢子数的影响

从图 2(a)可以看出,在种植香蒲的土壤中,3 种 AM 真菌的孢子数均呈处理 I > 处理 III > 处理 II 的趋势,但 F2 菌在 3 个处理间差异不显著。在同一淹水处理中,3 种 AM 真菌的孢子数呈现 F3 菌 > F2 菌 > F1 菌的趋势。

在种植水稻的土壤中,3 种 AM 真菌在处理 I 中的孢子数显著高于处理 II、处理 III,但后两者间差异不显著;同一淹水处理下,3 种 AM 真菌的孢子数呈 F3 菌 > F2 菌 > F1 菌[图 2(b)]。

表 1 淹水时长对 3 种 AM 真菌侵染结构的影响¹⁾/%

Table 1 Effects of flooding time length on colonization composition of three AM fungi/%

侵染结构	处理	香蒲			水稻		
		F1	F2	F3	F1	F2	F3
菌丝	I	73.1a	78.9a	64.0a	43.6b	61.9b	53.2b
	II	67.2ab	32.6b	69.2a	35.0c	73.2a	72.7a
	III	59.0b	19.2c	40.5b	61.7a	61.9b	57.9b
	IV	7.90c	13.1c	18.5c	7.0d	13.9c	10.6c
丛枝	I	4.50c	10.1c	7.60c	1.50c	2.10c	1.30b
	II	11.8b	22.4b	23.8b	12.8b	8.30b	4.51b
	III	17.8a	56.3a	31.2a	19.7a	23.5a	24.0a
	IV	3.00d	0.00d	9.10c	2.20c	0.00d	0.00c
泡囊	I	10.6	0.00	0.00	26.1	17.7	18.2
	II	0.00	2.90	0.00	9.40	0.00	0.00
	III	0.00	1.40	1.00	4.70	0.00	0.00
	IV	0.00	0.00	0.00	0.00	6.6	0.00

1) 每个指标同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$); 由于在多个处理中没有观察到泡囊侵染, 故没对其进行统计学分析

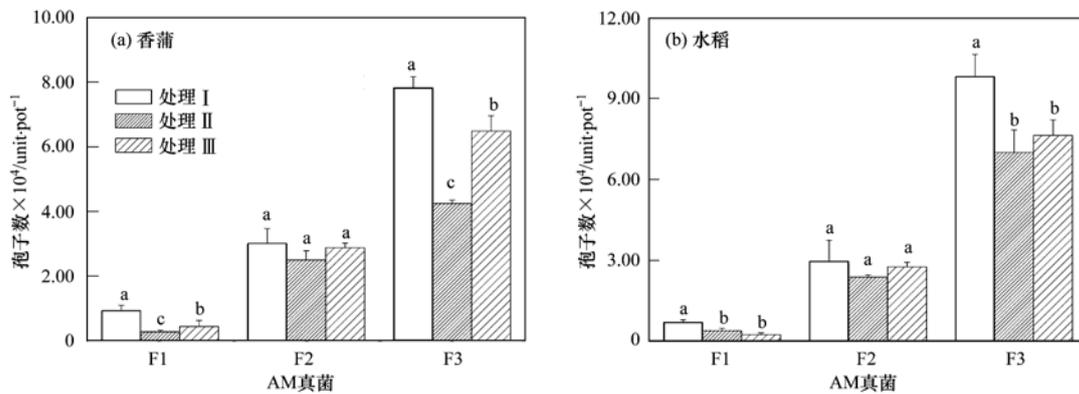


图 2 淹水时长对 3 种 AM 真菌在两种湿地植物根区产孢数的影响

Fig. 2 Effects of flooding time length on spores produced by three AM fungi in soil grown by cattail and rice

2.4 淹水时长对 3 种 AM 真菌促进植物生长的影响

从图 3 可以看出, 与长时间淹水不接种 AM 真菌相比(处理 IV), 接种 AM 真菌显著促进了香蒲的地上和地下生物量, F1、F2、F3 菌分别使香蒲地上和地下生物量增加 105.6% 和 92.0%、12.1% 和 38.2%、

35.7% 和 71.8%, 表明淹水条件下接种 AM 真菌对香蒲的生长有促进作用. 从不同淹水处理看, 菌根化香蒲无论地上还是地下生物量, 均为处理 I > 处理 IV > 处理 II > 处理 III. 比较处理 II、III, 除接种 F1 时前者的地上和地下生物量显著大于后者外, 其他 2 种 AM 真

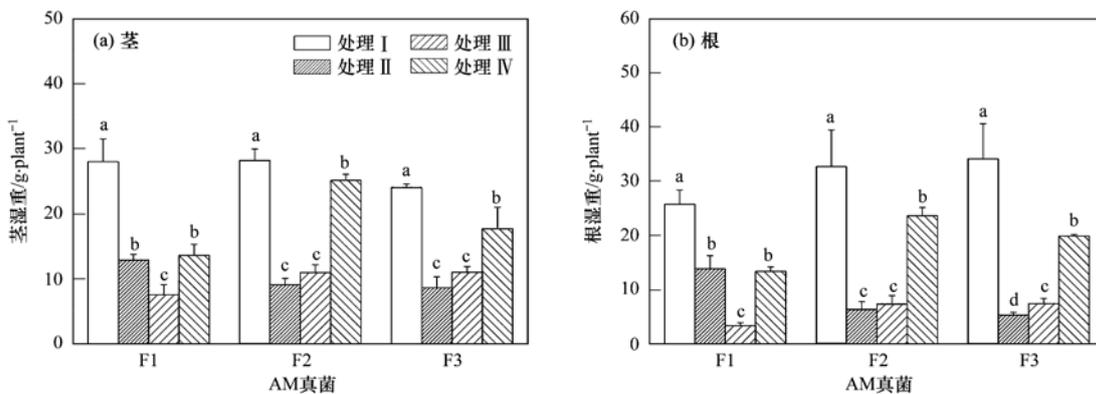


图 3 不同淹水时长对 AM 真菌促进香蒲生长的影响

Fig. 3 Effects of flooding time length on the role of AM in increasing cattail growth

菌在两个处理间并无明显差异。

图 4 为不同处理对水稻生长的影响。可以看出,与长时间淹水不接种 AM 真菌的处理 IV 相比,接种 F1 和 F2 菌(处理 I)显著促进了水稻地上和地下部分的生物量,均呈处理 I > 处理 II > 处理 III 的

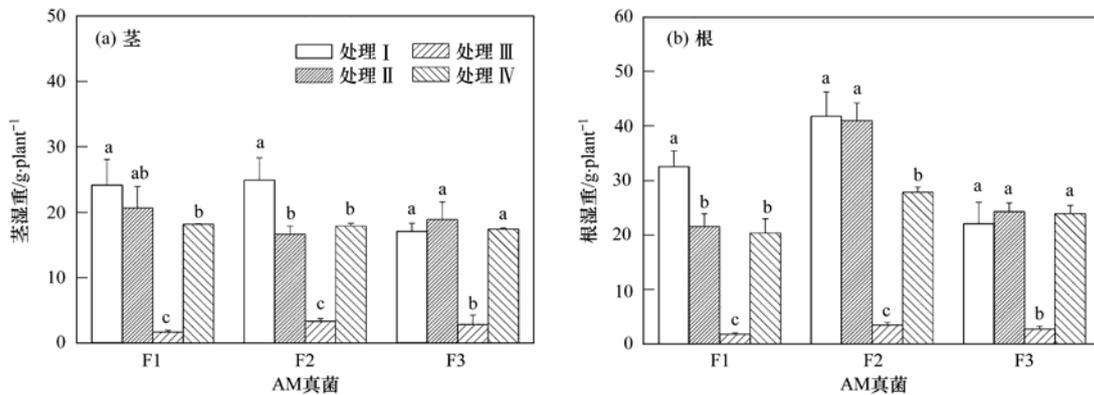


图 4 不同淹水时长对 AM 真菌促进水稻生长的影响

Fig. 4 Effects of flooding time length on the role of AM in increasing rice growth

3 讨论

3.1 淹水时长对 AM 真菌侵染率的影响

菌根侵染率是表示 AM 真菌与宿主植物建立共生关系程度的指标,一定程度上也是 AM 发挥功能的基础和前提。多数结果表明,淹水不利于 AM 真菌对湿地植物的侵染,如 Ipsilantis 等^[12]发现淹水几乎完全抑制了 AM 真菌对 *Typha latifolia* 的侵染; Jayachandran 等^[13]发现 AM 真菌侵染率随土壤水分含量的增加而下降; Miller 等^[14]发现淹水、先淹水后自由排水时的 AM 侵染率比自由排水、先自由排水后淹水时小; Carvalho 等^[15]发现长时间水淹显著抑制 AM 真菌地表球囊霉 (*Glomus versiforme*) 对紫菀的侵染以及菌丝生长。本研究结果与上述文献类似,3 种 AM 真菌对 2 种植物的侵染率均为长时间淹水(处理 I) < 短时间淹水(处理 II) < 不淹水处理(III)(图 1),表明淹水不利于 AM 真菌对植物的侵染,这可能与 AM 真菌不适应淹水导致的微氧或厌氧环境有关。虽然大多湿地植物根和茎都有特殊的通气组织,能够运输所需的氧到根部,并在满足根部有氧呼吸的同时,通过根轴径释放到根际土壤中,使根际达到微氧状态,但这还不足以满足 AM 真菌良好生长的需要。有研究指出,基质氧化还原电位小于 280 mV 时植物不能被 AM 真菌侵染,氧化还原电位为 250 ~ 530 mV 时才可形成 AM 结构^[16]。淹水环境中,土壤的氧化还原电位一般都很低,这显然

趋势,虽然有的处理间差异没达到显著水平。然而, F3 菌在淹水条件下对水稻地上和地下部分的生长并没有明显促进作用,这与 F3 菌对香蒲生长的促进作用明显不同,可能与水稻对 F3 菌的菌根依赖性较差有关。

不利于 AM 真菌对湿地植物的侵染。

同一淹水时长下,3 种 AM 真菌对两种植物的侵染也存在差异,可能与 AM 真菌对湿地环境适应性、植物对 AM 真菌的菌根依赖性不同有关。虽然目前还缺少直接的证据,但调查显示有些 AM 真菌侵染的湿地植物类型具有规律性,如 Anderson 等^[17]发现 *Gigaspora gigantea* 可同时侵染深水植物和浅水植物,而 *Glomus caledonium* 只能侵染浅水植物,这可能意味着不同 AM 真菌在湿地环境适应性上存在差异。通常来说,宿主植物对不同 AM 真菌的菌根依赖性是不同的,对植物接种菌根依赖性强的 AM 真菌,侵染率就高,效果也会比较好。就两种植物而言,同种 AM 真菌对香蒲侵染率稍高于水稻,这可能与两种植物的泌氧能力、植物对 AM 真菌的菌根依赖性有关。

3.2 淹水时长对 AM 真菌侵染结构的影响

AM 真菌对宿主植物根系的侵染可通过内外生菌丝、丛枝、泡囊等,所以 AM 真菌的侵染结构主要指上述几种侵染方式的比例构成。在陆生环境中,菌丝侵染是主要途径,丛枝侵染次之,泡囊侵染较低。AM 侵染结构的变化除与 AM 真菌本身特性有关外,还受外界环境条件的影响。

本研究中,多数情况下菌丝侵染比例明显高于丛枝和泡囊(表 1),表明菌丝侵染也是湿地植物 AM 形成的主要途径。对香蒲来说,淹水时间越长,菌丝侵染比例越高,这可能是由于淹水条件下土壤中的

外生菌丝生长周期长、腐解比较慢,能在土壤中保持较长时间,形成对根系的侵染;而在旱生环境中,菌丝生长周期短、腐解相对较快^[18],所以侵染比例相对下降。当然,在短期淹水(处理Ⅱ)和旱境(处理Ⅲ)中菌丝侵染比例下降也不排除与湿地植物在无水或缺水条件下植物地下生物量较小有关,降低了根系与菌丝的接触几率。丛枝侵染比例则是长期淹水时低(处理Ⅰ),干旱环境时高(处理Ⅲ),这可能是由于淹水环境不利于丛枝的形成所致。之前的一些调查研究也显示,淹水不利于丛枝的形成,如 Khan^[19]对岸际植物细枝木麻黄(*Casuarina cunninghamiana*)根系横截面的观察显示,泡囊和丛枝都出现在干土根系中,含水量高的湿土根系中没有丛枝,仅有充满脂质的胞内泡囊,淹水中的根系上没有典型的泡囊和丛枝,仅有充满脂质液滴的多核胞间菌丝。Šraj-Kržič 等^[20]发现沉水植物和挺水植物的泡囊侵染率分别为 0%~10% 和 20%,丛枝侵染率分别为 0% 和 10%,普遍较低。其它研究还发现,沉水植物根系中丛枝很少,甚至形成完全被抑制^[21]。不过,淹水抑制丛枝形成的具体机制目前还不清楚,有待于做进一步的研究。

3.3 淹水时长对 AM 真菌产孢数的影响

孢子是 AM 真菌外生菌丝成熟后产生的具有侵染能力的结构之一,其对 AM 真菌度过逆境胁迫有重要作用。植物根区土壤中的孢子数取决于 AM 真菌菌丝产生的新孢子数量(外生菌丝产生)、孢子菌丝萌发、孢子腐解的数量之差。在本研究中,长期淹水(处理Ⅰ)时 AM 真菌孢子数较高,旱境中孢子数较低(处理Ⅲ),这可能有 3 个原因:①淹水环境使孢子萌发受到胁迫,抑制了孢子的萌发^[21]。此外,有研究表明 AM 真菌的孢子萌发率在受根系分泌物影响的根区比非根区高^[22],在湿地环境中,根际效应被大大弱化,所以也可能不利于孢子萌发;②淹水环境中基质的低氧含量导致孢子腐解速度下降;③湿地植物在正常淹水条件下生物量较大(图 3、图 4),分配到 AM 真菌的碳水化合物相应增加,有利于 AM 真菌孢子的产生,因为 AM 真菌孢子的产生受来自宿主植物碳水化合物的直接影响,如 Ijdo 等^[23]发现 *G. intraradices* 可根据来自宿主植物有效性碳的多少调控 AM 孢子的产生。因此,孢子产量高、菌丝萌发率低、腐解速度慢的综合影响导致了淹水时间长的土壤(处理Ⅰ)中孢子数多,而在孢子产量低、菌丝萌发率高、腐解速率快的旱境土壤(处理Ⅲ)中孢子数就少。前人的研究也有类似发

现,如 Miller^[24]在美国南卡罗莱纳州 Savannah 河流域湿地发现孢子数量在湿润土壤比干旱土壤高。

分析同一淹水处理中 3 种 AM 真菌产孢数,发现 F3 菌的产孢数明显高于 F1 菌和 F2 菌,这主要与 AM 真菌自身的特性有关。赵丹丹等^[25]调查了金沙江支流 91 种植物 AM 真菌侵染能力与产孢能力之间的关系,发现侵染能力较高的 AM 真菌其产孢能力较差;反之,产孢能力很强的 AM 真菌却不一定能形成具有较高的侵染能力。这与本研究结果相反,F3 菌不仅产孢子数多,而且无论对香蒲还是水稻都有较好的侵染(图 1)。不一致的原因可能与 AM 真菌自身特性、生长环境等有关,还需做进一步的探索研究。

3.4 淹水时长对 AM 真菌促进植物生长的影响

湿地植物的 AM 功能是大家关注的焦点,也是推动湿地植物 AM 研究的主要动力,若其具有陆生植物 AM 的类似功能,将对延长湿地寿命、增强湿地功能有重要意义。AM 对湿地植物生长的影响是目前 AM 功能研究的两大焦点之一(另一焦点是对营养水平的影响),但由于这方面的现有报道多基于野外调查,影响因素较多,所以结果差异较大。

有研究发现 AM 不能明显促进湿地植物的生长,甚至抑制了植物的生长。如 Raimam 等^[26]报道接种 AM 真菌(*G. clarum*)降低水稻地上部生物量; Ipsilantis 等^[12]发现 AM 真菌虽然能增加 *Typha latifolia* 根系、茎的磷浓度,但对生长没有明显促进作用。不过,也有研究发现 AM 对湿地植物生长有促进作用,如生产力增加^[13]、光合活性提高^[3]、养分状况改善^[13,14]、茎/根比增加^[27]等。Neto 等^[28]还发现在淹水植物 *Aster tripolium* L. 开始形成 AM 时生物量下降,但形成之后对植物生长有促进作用。本研究中,长期淹水处理(处理Ⅰ)并没有影响 AM 真菌(F1 和 F2 菌)对香蒲和水稻生长的促进作用,且促进作用非常显著(F3 菌仅对水稻有显著促进作用,图 3、图 4),该结果支持了 AM 能促进湿地植物生长的结果。

此外,两种植物地上和地下生物量在处理Ⅱ、Ⅲ中均低于未接种处理Ⅳ的原因,可能由于:①未完全淹水使习惯湿地环境的湿地植物生长受限制;②不完全淹水时接种 AM 真菌降低了植物的生长;③ AM 对植物生长仍有促进作用,但由于未完全淹水导致的生物量下降过大,从而出现处理Ⅱ、Ⅲ生物量较低的现象。由于本研究主要考察淹水处理对 AM 真菌侵染湿地植物的影响,并没设置处理Ⅱ、Ⅲ

的不接种对照,因此只能给出上述推断,今后笔者将加大这方面的研究。

4 结论

(1)淹水时长显著影响 3 种 AM 真菌对 2 种植物的侵染水平,淹水时间越长,侵染率越低,表明淹水不利于 AM 的形成。3 种 AM 真菌中,F3 菌对香蒲的侵染显著高于 F1 菌和 F2 菌,但后两者差异不大;F2 菌和 F3 菌对水稻的侵染率高于 F1 菌。

(2)2 种湿地植物的 AM 主要通过菌丝侵染来形成,丛枝和泡囊侵染贡献较低。淹水时长明显影响 3 种 AM 真菌对 2 种植物的侵染结构,淹水时间越长,香蒲的菌丝侵染比例越高,而从枝侵染比例呈相反趋势。3 种 AM 真菌对水稻的侵染结构随淹水时间变化没明显规律。

(3)淹水时长明显影响 3 种 AM 真菌产孢数,淹水时间越长,产孢数越多。3 种 AM 真菌中,F3 菌的产孢能力最强。

(4)长期淹水条件下接种 AM 真菌明显促进了香蒲地上和地下生物量的增加,但对水稻影响不显著,表明 AM 对湿地植物的促进作用与植物种类对 AM 真菌的菌根依赖性有关。

参考文献:

- [1] 鲁敏, 裴翡翠, 宁静, 等. 4 种湿地植物受污水胁迫生理生化特性影响的相关性研究[J]. 山东建筑大学学报, 2011, **26**(5): 416-419.
- [2] Kearney M A, Zhu W X. Growth of three wetland plant species under single and multi-pollutant wastewater conditions [J]. Ecological Engineering, 2012, **47**: 214-220.
- [3] Bauer C R, Kellogg C H, Bridgham S D, *et al.* Mycorrhizal colonization across hydrologic gradients in restored and reference freshwater wetlands[J]. Wetlands, 2003, **23**(4): 961-968.
- [4] Wang K, Zhao Z W. Occurrence of arbuscular mycorrhizas and dark septate endophytes in hydrophytes from lakes and streams in Southwest China [J]. International Review of Hydrobiology, 2006, **91**(1): 29-37.
- [5] Wilde P, Manal A, Stodden M, *et al.* Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in roots and soils of two salt marshes [J]. Environmental Microbiology, 2009, **11**(6): 1548-1561.
- [6] Gange A C, Ayres R L. On the relation between arbuscular mycorrhizal colonization and plant 'benefit' [J]. Oikos, 1999, **87**(3): 615-621.
- [7] Ipsilantis I, Sylvia D M. Interactions of assemblages of mycorrhizal fungi with two Florida wetland plants [J]. Applied Soil Ecology, 2007, **35**(2): 261-271.
- [8] Bohrer K E, Friese C F, Amon J P. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats [J]. Mycorrhiza, 2004, **14**(5): 329-337.
- [9] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [J]. Transactions of the British Mycological Society, 1970, **55**(1): 158-161.
- [10] McGonigle T P, Miller M H, Evans D G, *et al.* A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi [J]. New Phytologist, 1990, **115**(3): 495-501.
- [11] Sieverding E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems [M]. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991.
- [12] Ipsilantis I, Sylvia D M. Abundance of fungi and bacteria in a nutrient-impacted Florida wetland [J]. Applied Soil Ecology, 2007, **35**(2): 272-280.
- [13] Jayachandran K, Shetty K G. Growth response and phosphorus uptake by arbuscular mycorrhizae of wet prairie sawgrass [J]. Aquatic Botany, 2003, **76**(4): 281-290.
- [14] Miller S P, Sharitz R R. Manipulation of flooding and arbuscular mycorrhiza formation influences growth and nutrition of two semiaquatic grass species [J]. Functional Ecology, 2000, **14**(6): 738-748.
- [15] Carvalho L M, Correia P M, Caçador I, *et al.* Effects of salinity and flooding on the infectivity of salt marsh arbuscular mycorrhizal fungi in *Aster tripolium* L. [J]. Biology and Fertility Soils, 2003, **38**(3): 137-143.
- [16] Beck-Nielsen D, Madsen T V. Occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhiza in aquatic macrophytes from lakes and streams [J]. Aquatic Botany, 2001, **71**(2): 141-148.
- [17] Anderson R C, Libert A E, Dickman L A. Interaction of vascular plants and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi across a soil moisture-nutrient gradient [J]. Oecologia, 1984, **64**(1): 111-117.
- [18] Friese C F, Allen M F. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: inoculum types and external hyphal architecture [J]. Mycologia, 1991, **83**(4): 409-418.
- [19] Khan A G. Occurrence and importance of mycorrhizae in aquatic trees of New South Wales, Australia [J]. Mycorrhiza, 1993, **3**(1): 31-38.
- [20] Šraj-Kržič N, Pongrac P, Klemenc M, *et al.* Mycorrhizal colonisation in plants from intermittent aquatic habitats [J]. Aquatic Botany, 2006, **85**(4): 331-336.
- [21] Rickerl D H, Sancho F O, Ananth S. Vesicular-arbuscular endomycorrhizal colonization of wetland plants [J]. Journal of Environmental Quality, 1994, **23**(5): 913-916.
- [22] St-Arnaud M, Hamel C, Vimard B, *et al.* Enhanced hyphal growth and spore production of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in an *in vitro* system in the absence of host roots [J]. Mycological Research, 1996, **100**(3): 328-332.
- [23] Ijdo M, Schtickzelle N, Cranenbrouck S, *et al.* Do arbuscular mycorrhizal fungi with contrasting life-history strategies differ in their responses to repeated defoliation? [J]. FEMS Microbiology Ecology, 2010, **72**(1): 114-122.

- [24] Miller S P. The dynamics of the grass-mycorrhizal fungi association in nutrient-poor wetlands[D]. Athens: University of Georgia, 1998.
- [25] 赵丹丹, 梁昌聪, 赵之伟. 金沙江支流普渡河、小江干热河谷的丛枝菌根[J]. 云南植物研究, 2006, **28**(3): 250-256.
- [26] Raimam M P, Albino U, Cruz M F, *et al.* Interaction among free-living N-fixing bacteria isolated from *Drosera villosa* var. *villosa* and AM fungi (*Glomus clarum*) in rice (*Oryza sativa*) [J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, **35**(1): 25-34.
- [27] Stevens K J, Wall C B, Janssen J A. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seedling growth and development of two wetland plants, *Bidens frondosa* L., and *Eclipta prostrata* (L.) L., grown under three levels of water availability [J]. *Mycorrhiza*, 2011, **21**(4): 279-288.
- [28] Neto D, Carvalho L M, Cruz C, *et al.* How do mycorrhizas affect C and N relationships in flooded *Aster tripolium* plants? [J]. *Plant and Soil*, 2006, **279**(1-2): 51-63.
-

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjcx.ac.cn>)。该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用。目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行。作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可。如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系。

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102,010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjcx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jun-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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)

2014年1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 15, 2014

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