

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第10期

Vol.34 No.10

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京地区大气气溶胶 PM _{2.5} 中稳定碳同位素组成研究	吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 孙德玲, 卢霞, 姜文娟 (3727)
太原市空气颗粒物中正构烷烃分布特征及来源解析	胡冬梅, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 韩峰, 刘效峰, 冀豪栋, 张鹏九 (3733)
交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究	罗娜娜, 赵文吉, 晏星, 官兆宁, 熊秋林 (3741)
公交车燃用生物柴油的颗粒物排放特性	楼狄明, 陈峰, 胡志远, 谭丕强, 胡炜 (3749)
兰州及其周边区域大气降水 δ ¹⁸ O 特征及其水汽来源	陈粉丽, 张明军, 马潜, 李小飞, 王圣杰, 李菲 (3755)
天山乌鲁木齐河源 1 号冰川区气溶胶水溶性离子变化特征及来源分析	岳晓英, 李忠勤, 张明军, 周平, 樊晋 (3764)
O ₃ /H ₂ O ₂ 氧化苯乙烯气体性能及机制	何觉聪, 黄倩茹, 叶杞宏, 罗雨薇, 张再利, 樊青娟, 魏在山 (3772)
马尾松针叶组织稳定硫同位素地球化学特征及来源示踪	关晖, 肖化云, 朱仁果, 郑能建, 瞿玲露 (3777)
江西省表层土壤和苔藓硫含量及硫同位素组成对比研究	李男, 肖化云, 陈永忠, 周丹, 罗笠, 吴代敏 (3782)
辽河流域非点源污染空间特征遥感解析	王雪蕾, 蔡明勇, 钟部卿, 姚延娟, 殷守敬, 吴迪 (3788)
景观带尺度高寒区水文特征时空变化规律研究	杨永刚, 胡晋飞, 肖洪浪, 邹松兵, 尹振良 (3797)
金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征	游丽丽, 宗海波, 张淑芳, 尹国宇, 李涛, 侯立军 (3804)
崇明东滩湿地干湿交替过程脲酶活性变化初探	韩建刚, 曹雪 (3810)
FDA 水解酶分析法表征近海泥滩微生物活性	刘叶, 邹立, 刘陆, 高冬梅 (3818)
中国东北主要河流沉积物中多溴二苯醚的含量状况及生态风险分析	袁海峰, 成杭新, 赵传冬, 刘应汉, 杨柯, 李括, 彭敏, 刘飞 (3825)
深圳大鹏湾海域表层沉积物和生物体中多环芳烃残留及其风险评价	孙闰霞, 柯常亮, 谷阳光, 卢腾腾, 杜飞雁, 马胜伟, 林钦 (3832)
PMF 和 PCA/MLR 法解析上海市高架道路地表径流中多环芳烃的来源	边璐, 李田, 侯娟 (3840)
三峡库区蓄水初期大宁河重金属食物链放大特征研究	余杨, 王雨春, 周怀东, 高博, 赵高峰 (3847)
小型封闭水体环境因子与叶绿素 a 的时空分布及相关性研究	李飞鹏, 张海平, 陈玲 (3854)
太湖氮、磷自净能力的实验与模型模拟	韩涛, 翟淑华, 胡维平, 张红举, 李钦钦 (3862)
湖泊疏浚方式对内源释放影响的模拟研究	陈超, 钟继承, 范成新, 孔明, 余居华 (3872)
水体/底泥生物基城市河道富营养化水体修复试验研究	周慧华, 宋晓光, 吴革, 谢鑫源 (3879)
底泥调控剂对感潮河涌沉积物中重金属的影响	区凤荏, 孙国萍, 许玫英 (3888)
区域水化学条件对淮南采煤沉陷区水域沉积物磷吸附特征的影响研究	易齐涛, 孙鹏飞, 谢凯, 曲喜杰, 王婷婷 (3894)
4 种人工湿地填料的 f2 噬菌体吸附特性	陈迪, 郑祥, 魏源送, 杨勇 (3904)
稻壳灰对抗生素磺胺的吸附特性研究	纪莹雪, 王凤贺, 张帆, 张艳红, 王国祥, 顾中铸 (3912)
紫外辐射对腐殖酸化学稳定性影响机制研究	王文东, 周礼川, 丁真真, 王洪平, 孙学军 (3921)
基于石墨烯载体的铁基材料制备及除砷性能比较	朝木尔乐格, 冯流, 霍艳霞 (3927)
nTiO ₂ 在水中的分散沉降行为研究	陈金媛, 方金凤, 魏秀珍 (3933)
微生物-铁氧化物交互作用对黄土中砷活化迁移的影响	谢芸芸, 陈天虎, 周跃飞, 谢巧勤 (3940)
两性离子在聚偏氟乙烯 (PVDF) 膜表面接枝改性的研究	周桂花, 肖峰, 肖萍, 王东升, 段晋明, 石健, 臧莉 (3945)
化粪池排口处土壤对典型农户生活污水氮素污染物的消减测算研究	周锋, 王文林, 王国祥, 马久远, 万寅婧, 唐晓燕, 梁斌, 季斌 (3954)
珠江三角洲典型集约化猪场废水污染特征及风险评价	李文英, 彭智平, 于俊红, 黄继川, 徐培智, 杨少海 (3963)
污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响	金树权, 周金波, 陈若霞, 林斌, 王德耀 (3969)
活性污泥絮体粒径分布与分形维数的影响因素	李振亮, 张代钧, 卢培利, 曾善文, 杨永浩 (3975)
不同恢复方式对硝化颗粒污泥活性的影响	郭秀丽, 高大文, 卢健聪 (3981)
生物陶粒反应器的氨自养反硝化研究	陈丹, 王弘宇, 宋敏, 杨开, 刘晨 (3986)
亚高山草甸土壤呼吸的空间异质性研究	严俊霞, 李君剑, 李洪建, 张义辉 (3992)
SiB3 模式对作物区 CO ₂ 通量的模拟研究	张庚军, 卢立新, 蒋玲梅, 蒋磊, Ian Baker (4000)
缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响	徐鹏, 江长胜, 郝庆菊, 祝滔 (4009)
典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价: 以许昌市为例	闫慧, 陈杰, 肖军 (4017)
苏州、无锡和南通道路灰尘中的多溴联苯醚和多氯联苯	史双昕, 董亮, 李玲玲, 张辉, 李斯明, 张天野, 黄业茹 (4024)
废旧汽车拆解区土壤中多环芳烃垂向分布特性	吴彦瑜, 胡小英, 洪鸿加, 彭晓春 (4031)
铬污染土壤的稳定化处理及其长期稳定性研究	王旌, 罗启仕, 张长波, 谈亮, 李旭 (4036)
典型磺胺类抗生素在土柱中的淋溶规律研究	李曼, 陈卫平, 魏福祥, 焦文涛 (4042)
3 种金属氧化物纳米材料在不同土壤中运移行为研究	方婧, 余博阳 (4050)
多孔介质中 NAPLs 流体毛细管指进形态及分形表征	李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4058)
毛竹入侵对常绿阔叶林主要树种的化感作用研究	白尚斌, 周国模, 王懿祥, 梁倩倩, 陈娟, 程艳艳, 沈蕊 (4066)
珠江口典型水产养殖区抗生素抗性基因污染的初步研究	梁惜梅, 袁湘平, 施震 (4073)
江苏盐城地区水产品重金属含量与安全评价	刘洋, 付强, 高军, 徐网谷, 殷波, 曹亚乔, 秦卫华 (4081)
铜胁迫对不同基因型谷子幼苗基因组 DNA 多态性的影响	张义贤, 付亚萍, 肖志华, 张喜文, 李萍 (4090)
利用高通量测序对封存 CO ₂ 泄漏情景下土壤细菌的研究	田地, 马欣, 李玉娥, 查良松, 伍洋, 邹晓霞, 刘爽 (4096)
酸性矿山废水区域废矿石中真核生物多样性分析	李思远, 郝春博, 王丽华, 吕铮, 张丽娜, 刘莹, 冯传平 (4105)
十溴联苯醚降解菌的特性及功能蛋白初步分析	常晶晶, 尹华, 秦华明, 叶锦韶, 彭辉, 宋小飞 (4112)
硒对水稻吸收积累和转运锰、铁、磷和硒的影响	胡堂, 黄益宗, 黄艳超, 刘云霞, 梁建宏 (4119)
外源铁对不同番茄品种生理特性、镉积累及化学形态的影响	刘俊, 周坤, 徐卫红, 陈惠, 张明中, 江玲, 杨芸, 王崇力, 熊治庭 (4126)
电子废物排放持久性有毒污染物的控制政策分析	李力, 吕永龙, 王铁宇 (4132)
《环境科学》征稿简则 (3926) 《环境科学》征订启事 (4057) 信息 (3878, 3953, 3999, 4041)	

毛竹入侵对常绿阔叶林主要树种的化感作用研究

白尚斌, 周国模*, 王懿祥, 梁倩倩, 陈娟, 程艳艳, 沈蕊

(浙江农林大学浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 临安 311300)

摘要: 为探讨毛竹入侵对周边森林环境的影响, 以毛竹浸提液处理苦槠、青冈种子, 测定种子萌发效应。结果表明, 两树种子萌发与浸提液浓度和来源有关。浓度效应表现为高抑低促的作用规律, 高浓度处理下苦槠的发芽率为对照的 82.3% ~ 102.2%, 青冈为对照的 80% ~ 90.9%, 而低浓度处理下分别为对照的 101.7% ~ 107.6% 和 94.9% ~ 109.1%。除低浓度处理对苦槠发芽速度无影响外, 其他处理均对两树种发芽速度有显著的延缓作用 ($P < 0.05$)。高浓度浸提液对苦槠根系活力有显著的抑制作用 ($P < 0.05$), 抑制率为 41.1% ~ 62.4%。不同来源浸提液处理间差异明显, 根系浸提液处理的种子发芽率最低。苦槠芽苗的芽长与不同来源浸提液间差异不显著 ($P > 0.05$), 而青冈芽苗芽长与不同来源浸提液间差异显著 ($P < 0.05$), 茎叶、根系与枯落物浸提液高于土壤浸提液。这些结果说明毛竹具有潜在的化感作用, 可能有利于其入侵周边森林, 从而危害周边森林环境。

关键词: 化感作用; 生态安全; 种子萌发; 植物入侵; 毛竹; 苦槠; 青冈

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)10-4066-07

Allelopathic Potential of *Phyllostachys edulis* on Two Dominant Tree Species of Evergreen Broad-leaved Forest in Its Invasive Process

BAI Shang-bin, ZHOU Guo-mo, WANG Yi-xiang, LIANG Qian-qian, CHEN Juan, CHENG Yan-yan, SHEN Rui
(Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Lin'an 311300, China)

Abstract: In order to explore the influence of *Phyllostachys edulis* invasion on the surrounding forest environment, the effects of aqueous extracts from *P. edulis* on two dominant species (*Castanopsis sclerophylla* and *Cyclobalanopsis glauca*) in southern China were assessed by germination bioassays. The results showed that seed germination effects depended on the concentration of aqueous extracts and the extract sources. The highest extract concentration showed significant inhibitory effects on seed germination percentage, which was 82.3% - 102.2% of control for *C. sclerophylla* and 80% - 90.9% of control for *C. glauca*, while in the treatment with lowest extract concentration the values were 101.7% - 107.6% of control for *C. sclerophylla* and 94.9% - 109.1% of control for *C. glauca*, respectively. The extracts had inhibitory effects on the germination speed of both species ($P < 0.05$), except that no effects on *C. sclerophylla* were observed in the low concentration treatment. Extracts at the highest concentration reduced the root activity of *C. sclerophylla* by 41.1% - 62.4% ($P < 0.05$). There were obvious different effects among the treatments with different extract sources. Seed germination percentage was the lowest in root extract treatments. There was no obvious difference for shoot height of *C. sclerophylla* in different treatments ($P > 0.05$), while there was significant difference for *C. glauca*, its shoot height was higher in the leaf, root, and litter extracts treatments than in the soil extracts treatments. *P. edulis* possesses allelopathic potential that could possibly facilitate its invasion and monoculture formation, and does harm to the surrounding forest environment.

Key words: allelopathy; ecological safety; seed germination; plant invasion; *Phyllostachys edulis*; *Castanopsis sclerophylla*; *Cyclobalanopsis glauca*

植物之间的化感作用是自然界普遍存在的一种化学竞争形式, 在许多外来植物入侵过程中发挥着重要的作用。外来入侵植物通过释放化感物质限制一些本地种更新^[1,2], 达到排挤本地植物的目的^[3], 最终形成单一优势种群落。因此, 化感作用被认为是促进一些外来入侵种成功入侵的重要机制^[4,5]。入侵植物的化感效应因时间、空间、物种不同而异^[6]。然而用来评价入侵种潜在的化感影响所用的受体植物通常是农作物与杂草等植物, 而木本植物未引起重视^[7]。研究入侵植物对树木的化感作用表现, 对认识和评估植物入侵对森林环境潜在的影响

有着重要的科学意义和理论价值。

毛竹 (*Phyllostachys edulis*), 单子叶禾本科竹亚科刚竹属无性系植物, 原产我国亚热带地区, 后引种到日本、朝鲜、北美等一些国家和地区栽培^[8]。毛竹入侵现象最早在日本发现, 尽管日本学者从生长特性、地形、光等因素分析了其入侵的原因^[9~11],

收稿日期: 2013-01-17; 修订日期: 2013-03-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31170594); 浙江农林大学科研发展基金项目 (2009FR060); 浙江省林业科技计划项目 (05A14); 临安市科技发展计划项目 (05067)

作者简介: 白尚斌 (1973 ~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境生态和森林生态, E-mail: Sequia96@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhgm@zjfc.edu.cn

毛竹入侵的机制仍不清楚. 国内关于毛竹入侵周边森林现象也有许多报道^[12~16]. 但就其入侵原因的深入研究则鲜见报道, 尤其从化感作用角度研究的更少. 毛竹浸提液含有化感物质, 能抑制其林下物种生长^[17]和影响种子萌发^[18]. 化感作用是否是影响毛竹成功入侵的重要因素需深入研究. 由于化感物质的作用在测试物种间是非常不同的^[19,20], 本研究选择毛竹林周边常绿阔叶林主要树种苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*) 作为受体植物, 采用生物测试方法分析毛竹浸提液对其种子萌发及芽苗生长的影响, 以期为进一步探讨毛竹入侵周边森林群落过程及其机制奠定基础.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选择苦槠、青冈作为受体植物. 两者均为毛竹林周边常绿阔叶林的主要树种. 苦槠、青冈种子采自常绿阔叶林现实林分, 千粒重分别为 $1\,210.4\text{ g} \pm 96.6\text{ g}$ 和 $1\,143.6\text{ g} \pm 102.3\text{ g}$. 发芽试验之前, 种子放入 75°C 的温水中, 将漂浮于水面上的瘪粒、病粒以及菌核类的除去, 沉在水底的饱满种子取出, 用 0.3% 高锰酸钾消毒 10 min , 蒸馏水冲洗干净后用于试验.

1.2 浸提液制备

分别采用毛竹的枝叶、根系、枯落物以及林地 $0\sim 10\text{ cm}$ 的土壤作为浸提液的来源, 浓度设置为 0.02 、 0.05 、 $0.1\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$, 蒸馏水为对照, 进行两树种种子萌发和芽苗前期生长的生物测试.

将新鲜毛竹枝叶、根系洗净、晾干, 剪成 1 cm 左右的小段, 按 $1\text{ g}\cdot 10\text{ mL}^{-1}$ 加入蒸馏水, 常温下浸泡 48 h , 双重过滤 (定性滤纸过滤后, 用滤元单位为 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 的滤膜过滤), 得到枝叶、根系浸提液母液, 将母液加蒸馏水稀释, 得到 0.1 、 0.05 、 $0.02\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 这 3 种质量浓度的溶液. 同样将毛竹枯落物去除杂质, 晾干; 以及将毛竹林地 $0\sim 10\text{ cm}$ 土壤鲜样晾干, 挑去细根, 研碎, 上述方法制备 3 种浓度的浸提液备用.

1.3 试验设计

试验设置 26 个处理 ($2\text{ 树种} \times 4\text{ 种浸提液} \times 3\text{ 种浓度} + 2\text{ 对照}$), 将消毒的种子整齐排列在盛有河砂的发芽盘中, 河砂经蒸馏水冲洗干净, 高温消毒冷却至常温应用. 分别用上述浸提液喷洒处理受试种子, 以蒸馏水为对照, 每个处理 5 个重复, 每个发芽

盘放置 30 粒种子, 处理与重复随机放入培养箱中, 设置 $24\sim 27^\circ\text{C}$ 的温度范围, 光照 $14\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$, 湿度条件为 75% , 每隔 24 h 添加一次浸提液和蒸馏水, 使细沙保持湿润. 当种子出现发芽时, 开始每天记录发芽率, 连续 3 d 没有发芽, 发芽率统计结束.

将发芽后的种子继续用浸提液和蒸馏水处理, 15 d 之后随机从各处理和对照组分别抽取 10 株幼苗, 测定其根和芽的长度. 采用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 还原法测定根系活力^[21], 以单位鲜重根在单位时间内还原的 TTC 数来表示根系活力, 单位 (TTC/FW) 为 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$.

1.4 数据处理

发芽速度 (S): $S = (N_1 \times 1) + (N_2 - N_1) \times 1/2 + (N_3 - N_2) \times 1/3 + \dots + (N_n - N_{n-1}) \times 1/n$, 式中 N_1 、 N_2 、 N_3 、 $\dots$ 、 N_{n-1} 、 N_n 分别为第 1 d、第 2 d、 $\dots$ 第 $n-1\text{ d}$ 、第 $n\text{ d}$ 的发芽率^[22]. 化感效应指数 (RI) 参照 Williamson 等^[23] 的方法计算, 当 $T \geq C$ 时, $\text{RI} = 1 - C/T$; 当 $T < C$ 时, $\text{RI} = T/C - 1$. 式中 C 为对照值, T 为处理值. 用 RI 评价化感效应, $\text{RI} > 0$ 时表示有促进作用, $\text{RI} < 0$ 为抑制作用, RI 的绝对值代表作用强度的大小.

用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 及最小显著差数法 (LSD) 检验不同浓度浸提液处理下种子发芽率、发芽速度、芽长、根长、根系活力的差异 ($\alpha = 0.05$), 采用 SPSS 13.0 软件, 用 SigmaPlot 10.0 作图.

2 结果与分析

2.1 种子萌发

苦槠和青冈种子发芽率、初始萌芽时间和发芽速度均受毛竹浸提液影响, 其影响程度与浸提液浓度和来源有关 (图 1~图 3, 表 1). 与对照 (蒸馏水) 处理相比, 两树种反应趋势基本一致, 总体上表现出低浓度促进高浓度抑制的规律. 种子发芽率随浸提液浓度的增加而下降, 低浓度 ($0.02\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 处理下苦槠的发芽率为对照的 $101.7\% \sim 107.6\%$, 青冈为对照的 $94.9\% \sim 109.1\%$, 而高浓度 ($0.1\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 处理下苦槠的发芽率为对照的 $82.3\% \sim 102.2\%$, 青冈为对照的 $80\% \sim 90.9\%$ (图 3). 由图 1 还可以看出, 两树种种子经中 ($0.05\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、高浓度浸提液处理后推迟了初始萌芽时间 $1\sim 2\text{ d}$. 除低浓度处理对苦槠发芽速度无影响外, 其他处理均对两树种发芽速度有延缓作用, 并达到显著水平 ($P < 0.05$). 不同来源浸提液对两树种种子发芽率影

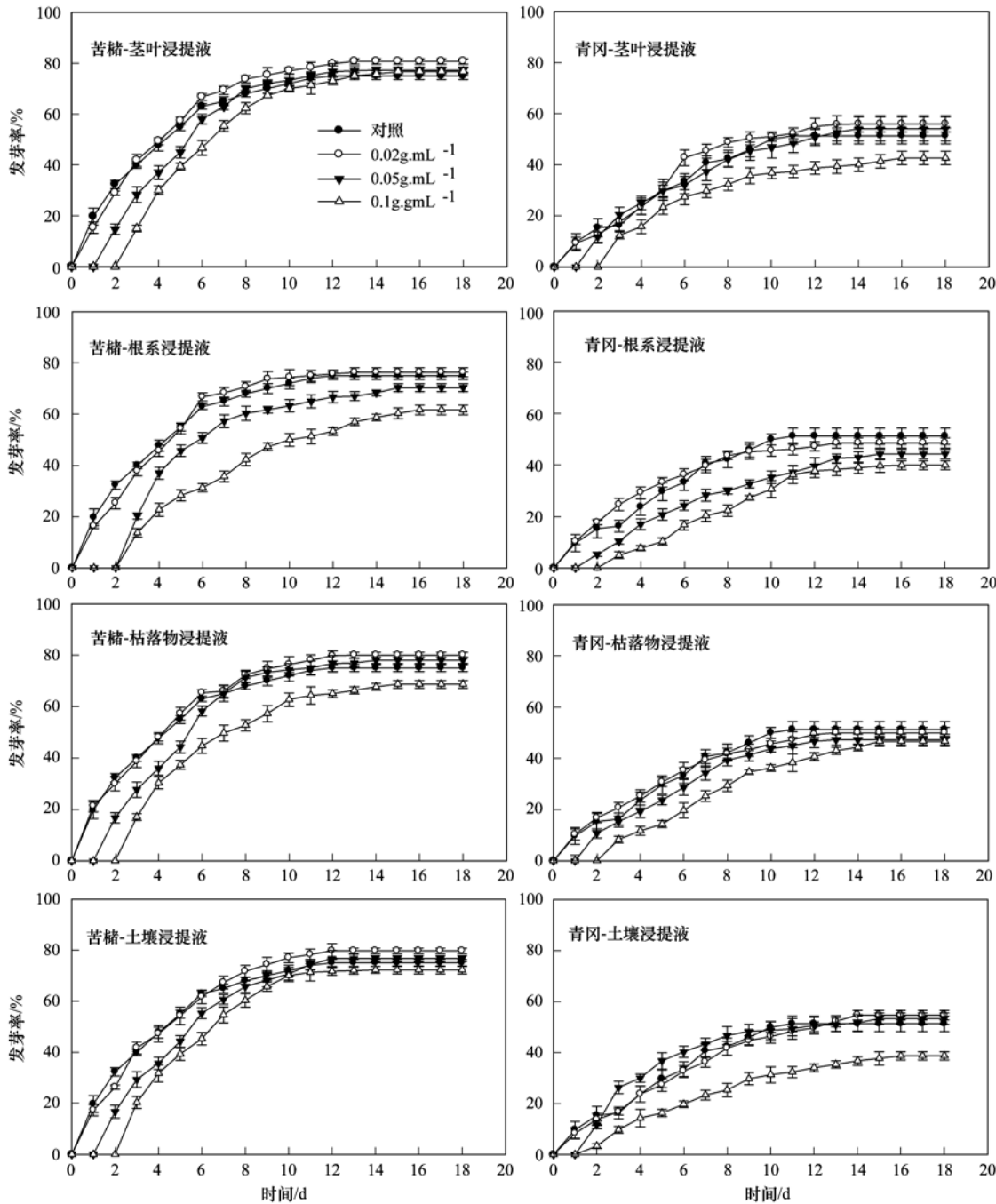


图1 不同浓度毛竹茎叶、根系、枯落物和土壤浸提液对两树种发芽率的影响

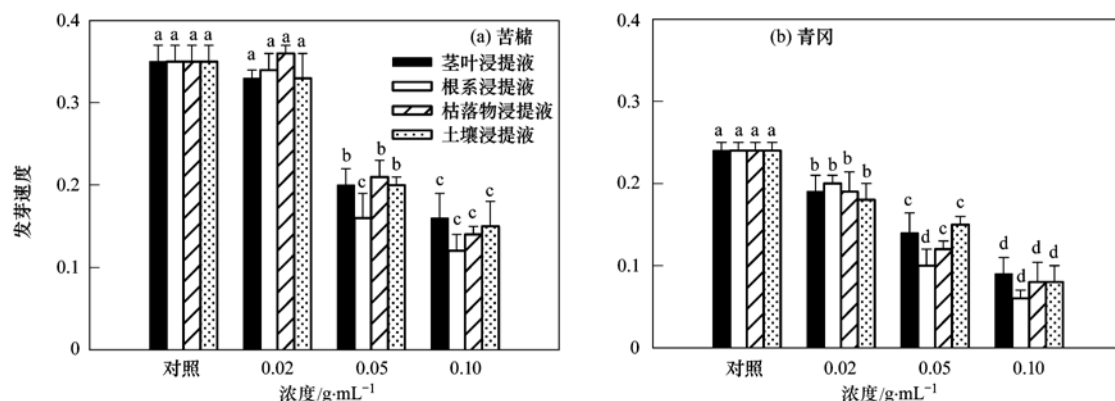
Fig. 1 Effects of extracts from leaf, root, litter, and soil of *P. edulis* on the germination rate of two species at different concentration

响不尽相同,根系浸提液处理的种子发芽率最低,苦楮为对照处理的82.3%~101.7%,青冈为对照的80%~94.9%,而茎叶浸提液处理的种子发芽率相对较高(图3).茎叶、土壤浸提液(低、中浓度)对青冈种子发芽率有明显促进作用,分别为对照的106.5%~109.1%、103.9%~106.5%,而根系和枯落物浸提液则表现为抑制作用.而对苦楮种子发芽率除根系浸提液(中浓度)表现出抑制作用外,其

他来源浸提液(低、中浓度)为促进作用且处理间差异不明显.不同来源浸提液对种子的初始萌发时间影响差异不明显,但对发芽速度影响根系浸提液(中浓度)与其他来源浸提液处理间差异显著($P < 0.05$).

2.2 芽苗生长

毛竹浸提液对两树种芽苗芽长、根长生长有不同的影响(图4,表1).低、中浓度浸提液对苦楮芽



不同字母表示差异显著

图2 不同浓度毛竹茎叶、根系、枯落物和土壤浸提液对两树种发芽速度的影响

Fig. 2 Effects of extracts from leaf, root, litter, and soil of *P. edulis* on the germination speed of two species at different concentration

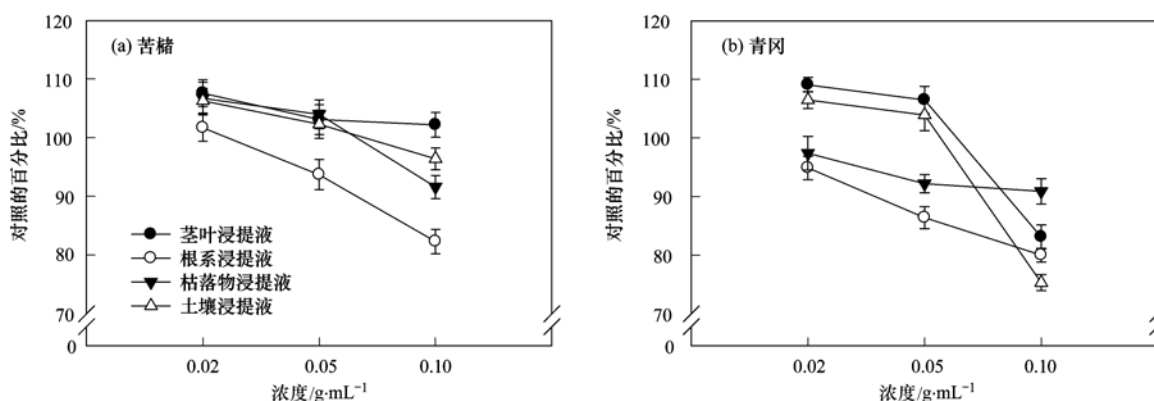


图3 不同浓度毛竹茎叶、根系、枯落物和土壤浸提液处理下两树种最终发芽率占对照的百分比

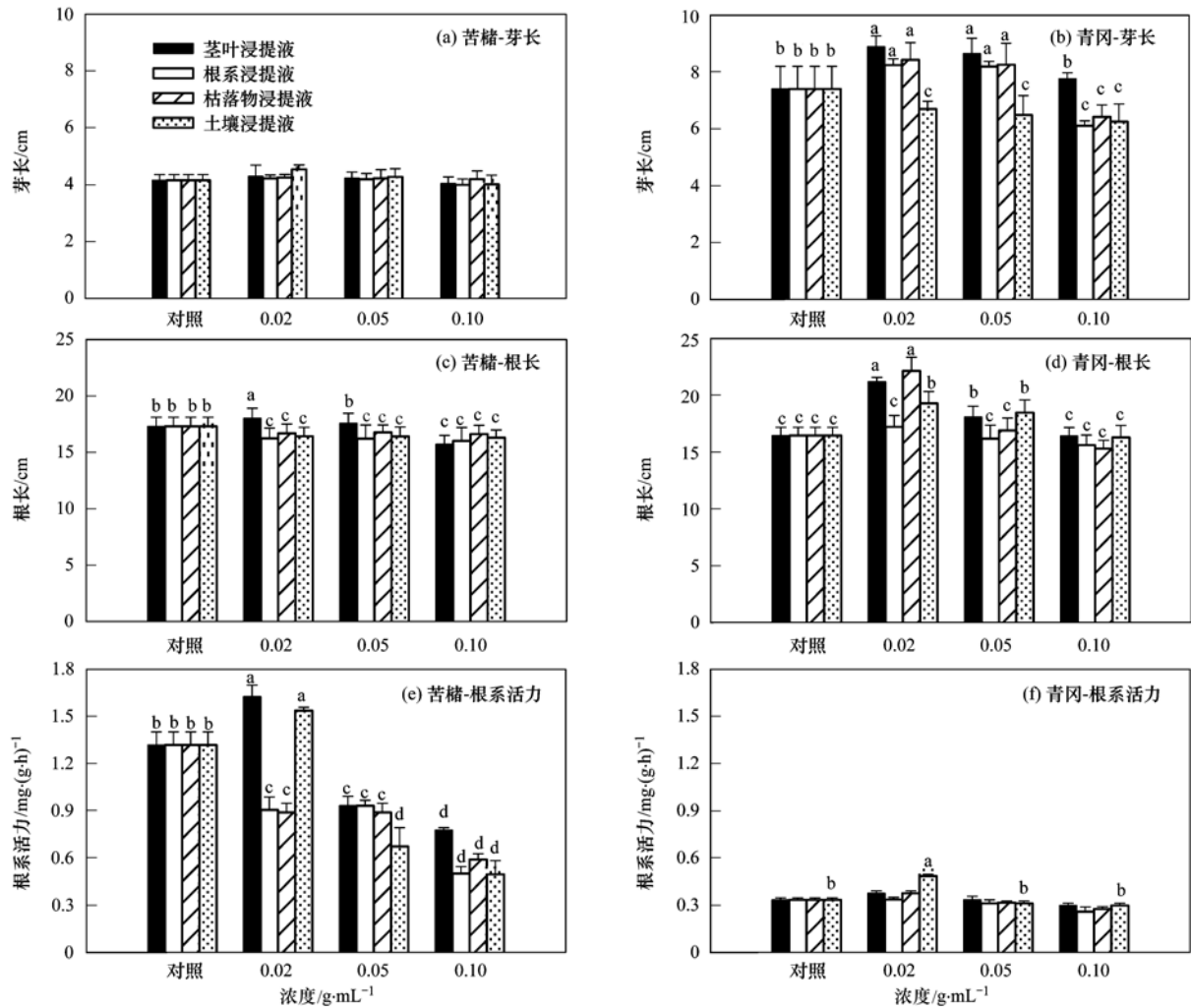
Fig. 3 Germination percent as of the Control of the two species in treatments with extracts from leaf, root, litter, and soil of *P. edulis*

苗芽生长的化感效应指数为正值,高浓度处理下为负值(表1),说明对芽生长低浓度有一定的促进作用,高浓度有一定的抑制作用,但各种浓度处理间差异不显著($P > 0.05$,图4)。然而对青冈芽苗芽长的影响,不同浓度间差异达到显著水平($P < 0.05$),低、中浓度表现出对青冈芽长有促进作用($RI > 0$),高浓度则为抑制作用($RI < 0$,表1),为对照的82.5%~86.7%。不同来源的浸提液对苦槠芽苗芽生长影响差异不显著($P > 0.05$),而对青冈芽苗芽生长影响差异显著($P < 0.05$),土壤浸提液有抑制作用($RI < 0$),且随浓度增加而作用增强。茎叶浸提液有促进作用($RI > 0$),根系和枯落物浸提液在低、中浓度下表现出促进作用,而在高浓度下则为抑制作用。不同浓度浸提液对苦槠根长的影响不尽相同,茎叶浸提液在低浓度下有促进作用,高浓度抑制作用,其他来源浸提液均表现为抑制作用,为对照的90.9%~96.1%。而对青冈芽苗根长影响则是茎叶、枯落物和土壤浸提液在低、中浓度下有

明显的促进作用,高浓度下影响不大。根系浸提液各浓度间差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 根系活力

由图4可以看出,毛竹浸提液对两种树种芽苗根系活力影响较大,特别对苦槠的影响尤为明显。低浓度处理(茎叶和土壤)对苦槠根系活力的化感效应指数分别为0.1885和0.1422,表现为促进作用,其他处理对苦槠根系活力的化感效应指数均小于零,为抑制作用(表1),高浓度浸提液的抑制率达41.1%~62.4%,且不同浓度处理与对照差异均达到显著水平($P < 0.05$)。对青冈芽苗根系活力的影响,低浓度有促进作用,中、高浓度有抑制作用,但与对照差异不显著($P > 0.05$)。不同来源浸提液对两树种根系活力影响存在显著差异($P < 0.05$)。茎叶和土壤浸提液(低浓度)显著提高苦槠根系活力,而根系与枯落物则显著降低苦槠根系活力。土壤浸提液(低浓度)与其他浸提液相比,显著提高青冈根系活力($P < 0.05$),其他浸提液处理间差异不显著($P > 0.05$)。



不同字母表示差异显著

图 4 不同浓度毛竹茎叶、根系、枯落物和土壤浸提液对两树种芽苗生长和根系活力的影响

Fig. 4 Effects of extracts from leaf, root, litter, and soil of *P. edulis* on the shoot height, root length and root activity of the two species at different concentration

表 1 不同浓度毛竹茎叶、根系、枯落物和土壤浸提液处理对两树种的化感效应指数 (RI)

Table 1 RI of the two species in treatments with different extracts from leaf, root, litter and soil of *P. edulis*

处理		苦槠				青冈			
		发芽率	芽长	根长	根系活力	发芽率	芽长	根长	根系活力
茎叶浸提液	0.02 g·mL ⁻¹	0.070 6	0.033 1	0.039 9	0.188 5	0.083 9	0.167 3	0.223 5	0.115 0
	0.05 g·mL ⁻¹	0.029 8	0.017 6	0.015 8	-0.292 3	0.050 0	0.144 1	0.089 6	0.006 6
	0.1 g·mL ⁻¹	0.022 2	-0.028 5	-0.091 3	-0.410 5	-0.169 6	0.046 3	-0.002 9	-0.103 8
根系浸提液	0.02 g·mL ⁻¹	0.017 0	0.016 5	-0.061 8	-0.312 5	-0.050 7	0.102 6	0.043 6	0.010 4
	0.05 g·mL ⁻¹	-0.062 7	0.006 9	-0.062 4	-0.293 5	-0.136 5	0.096 3	-0.017 3	-0.062 7
	0.1 g·mL ⁻¹	-0.177 3	-0.038 5	-0.075 1	-0.619 1	-0.220 3	-0.175 1	-0.052 4	-0.225 7
枯落物浸提液	0.02 g·mL ⁻¹	0.062 5	0.008 2	-0.034 7	-0.325 2	-0.025 3	0.122 0	0.256 6	0.115 0
	0.05 g·mL ⁻¹	0.038 5	0.016 1	-0.031 3	-0.325 2	-0.078 0	0.103 7	0.025 5	-0.051 9
	0.1 g·mL ⁻¹	-0.084 0	0.008 2	-0.039 4	-0.551 8	-0.089 7	-0.133 2	-0.070 0	-0.168 7
土壤浸提液	0.02 g·mL ⁻¹	0.059 0	0.083 4	-0.050 1	0.142 2	0.062 2	-0.094 5	0.146 2	0.312 6
	0.05 g·mL ⁻¹	0.022 2	0.027 0	-0.051 8	-0.489 4	0.037 5	-0.123 9	0.108 9	-0.064 8
	0.1 g·mL ⁻¹	-0.036 0	-0.034 5	-0.058 6	-0.624 0	-0.245 6	-0.155 7	-0.009 9	-0.103 8

3 讨论

本项研究表明,毛竹化感作用的强弱依赖于浸提液浓度、来源和测试物种,随着浓度增加抑制作用增强,与其他外来植物的化感作用研究报道较为一致^[24,25]。低浓度浸提液事实上促进种子萌发和幼苗生长,但高浓度显著抑制萌发与生长,这说明促进或抑制影响是具有浓度效应的^[26]。在化感研究中,通常运用浸提液的浓度为 10%^[27],可能高于自然界中实际浓度,但能揭示这些供体植物有潜在的化感作用^[28]。也有研究认为,与化感物质接触的强度对受体植物的毒性影响也许比土壤中实际浓度更具有决定性作用^[29]。

入侵植物的化感物质可能来源于各个器官,但叶、根往往是主要来源^[25]。毛竹茎叶、根系、枯落物与土壤浸提液均对发芽率、初始发芽时间、发芽速度、芽苗生长、根系活力等表现出化感效应,说明这些部分都是化感物质的来源。根系和枯落物浸提液明显比茎叶和土壤浸提液有强的抑制作用(图 3)。这与毛竹叶化感成分对阳春砂仁种子发芽表现出抑制作用^[30],以及对高羊茅在高浓度有抑制作用相似^[18]。然而与对杉木^[31]和马尾松^[32]发芽有促进作用有所不同,说明毛竹的化感效应因受试物种而异。

这些物种对不同来源浸提液的反应差异可能与它们抵抗化感物质的进化差异有关^[33],也可能与不同部位产生的化感物质组成不同有关^[32],毛竹根系浸提液处理的种子发芽率最低(图 3),有利于促进其成功入侵^[25]。森林植物凋落物分解过程中会有毒性物质产生^[34],影响种子萌发和幼苗生长。毛竹枯落物浸提液对种子萌发和幼苗生长有明显的化感效应,与早期报道的毛竹凋落物产生的化感物质抑制林下物种生长的结论基本一致^[17]。土壤浸提液的研究相对缺乏^[35],本研究发现高浓度的土壤浸提液对种子发芽率、芽长有较大的抑制作用(图 1 和图 4)。尽管土壤中化感物质经理化反应或微生物作用会分解或降解^[36],但这些物质的瞬时存在可能直接影响着种子发芽。

从种子生产到幼树建成是植物生活史中最关键、也是最脆弱的阶段^[37],决定着未来群落的组织方式。不同植被类型对于植物幼苗生长的适宜度存在较大的差异,竹子对幼苗、幼树存在消极效应,使竹林并非适宜幼苗更新,故竹子对森林动态的影响可能开始于森林更新的早期阶段^[38]。苦槠和青冈

作为亚热带常绿阔叶林的主要树种,其林下更新必然伴随着毛竹入侵而受到影响。而且毛竹在 2~3 个月内即可从笋发展成竹,与树木很快形成强烈的种间作用,使树木生长衰弱,渐渐形成毛竹纯林,甚至在人为干扰下,有些地段在很短时间内完成纯林化过程^[39]。

生物测试的结果揭示了毛竹对常绿阔叶林主要树种苦槠和青冈有潜在的化感效应,为探讨毛竹入侵周边森林的机制提供了新的视角。为了更好地认识毛竹入侵的化感作用,化感物质的组成及作用方式,以及种子萌发和苗木生长现实林分试验需进一步研究。

4 结论

(1)毛竹浸提液对常绿阔叶林主要树种苦槠、青冈种子萌发的影响具有浓度效应,表现为高浓度抑制,低浓度促进或无明显影响。

(2)茎叶、根系、枯落物以及土壤等均是毛竹化感物质的主要来源,但化感效应存在明显差异,相对其他来源浸提液,根系浸提液对种子萌发效应较强。

(3)毛竹浸提液对苦槠、青冈的影响程度不尽相同,对苦槠种子萌发抑制作用相对弱于青冈,对芽苗生长的促进效应也较青冈弱。

参考文献:

- [1] Bousquet-Mélou A, Louis S, Robles C, et al. Allelopathic potential of *Medicago arborea*, a Mediterranean invasive shrub [J]. *Chemoecology*, 2005, **15**(4): 193-198.
- [2] Ens E J, French K, Bremner J B. Evidence for allelopathy as a mechanism of community composition change by an invasive exotic shrub, *Chrysanthemoides monilifera* spp. *rotundata* [J]. *Plant and Soil*, 2009, **316**(1-2): 125-137.
- [3] Bakker J D, Wilson S D. Using ecological restoration to constrain biological invasion [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2004, **41**(6): 1058-1064.
- [4] Jarchow M E, Cook B J. Allelopathy as a mechanism for the invasion of *Typha angustifolia* [J]. *Plant Ecology*, 2009, **204**(1): 113-124.
- [5] Meiners S J, Kong C H, Ladwig L M, et al. Developing an ecological context for allelopathy [J]. *Plant Ecology*, 2012, **213**(8): 1221-1227.
- [6] Lortie C J, Brooker R W, Choler P, et al. Rethinking plant community theory [J]. *Oikos*, 2004, **107**(2): 433-438.
- [7] Hierro J L, Callaway R M. Allelopathy and exotic plant invasion [J]. *Plant and Soil*, 2003, **256**(1): 29-39.
- [8] Wang C P, Stapleton C. *Phyllostachys* [A]. In: Wu CY, Raven P H (Eds.). *Flora of China* [M]. Beijing: Science Press, St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2006. 163-180.

- [9] Okutomi K, Shinoda S, Fukuda H. Causal analysis of the invasion of broad-leaved forest by bamboo in Japan[J]. Journal of Vegetation Science, 1996, **7**(5): 723-728.
- [10] Isagi Y, Torii A. Range expansion and its mechanisms in a naturalized bamboo species, *Phyllostachys pubescens*, in Japan[J]. Journal of Sustainable Forestry, 1998, **6**(1-2): 127-141.
- [11] Suzuki S, Nakagoshi N. Expansion of bamboo forests caused by reduced bamboo-shoot harvest under different natural and artificial conditions[J]. Ecological Research, 2008, **23**(4): 641-647.
- [12] 丁丽霞, 王祖良, 周国模, 等. 天目山国家级自然保护区毛竹林扩张遥感监测[J]. 浙江林学院学报, 2006, **23**(3): 297-300.
- [13] 李伟成, 盛海燕, 钟哲科. 竹林生态系统及其长期定位观测研究的重要性[J]. 林业科学, 2006, **42**(8): 95-101.
- [14] 朱长龙, 上官林平. 井冈山毛竹林扩边对生物多样性的影响初探[J]. 国土与自然资源研究, 2009, (3): 45-46.
- [15] 杨怀, 李培学, 戴慧堂, 等. 鸡公山毛竹扩张对植物多样性的影响及控制措施[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2010, (4): 1-4.
- [16] 白尚斌, 周国模, 王懿祥, 等. 天目山国家级自然保护区毛竹扩散过程的林分结构变化研究[J]. 西部林业科学, 2012, **41**(1): 77-82.
- [17] Chou C H, Yang C M. Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan II. Comparative exclusion of understory by *Phyllostachys edulis* and *Cryptomeria japonica* [J]. Journal of Chemical Ecology, 1982, **8**(12): 1489-1507.
- [18] 梁倩倩, 白尚斌, 周国模, 等. 毛竹浸提液对高羊茅种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 浙江农业学报, 2012, **24**(3): 434-439.
- [19] Inderjit, Nilsen E T. Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and problems[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2003, **22**(3-4): 221-238.
- [20] Inderjit, Weston L A, Duke S O. Challenges, achievements and opportunities in allelopathy research [J]. Journal of Plant Interactions, 2005, **1**(2): 69-81.
- [21] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科技出版社, 2003.
- [22] Wardle D A, Ahmed M, Nicholson K S. Allelopathic influence of nodding thistle (*Carduus nutans* L.) seeds on germination and radicle growth of pasture plants[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1991, **34**(2): 185-191.
- [23] Williamson G, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, **14**(1): 181-187.
- [24] Ismail B S, Chong T V. Effects of aqueous extracts and decomposition of *Mikania micrantha* H. B. K. debris on selected agronomic crops[J]. Weed Biology and Management, 2002, **2**(1): 31-38.
- [25] Wu A P, Yu H, Gao S Q, et al. Differential belowground allelopathic effects of leaf and root of *Mikania micrantha* [J]. Trees, 2009, **23**(1): 11-17.
- [26] Saxena A, Singh D V, Joshi N L. Autotoxic effects of pearl millet aqueous extracts on seed germination and seedling growth [J]. Journal of Arid Environments, 1996, **33**(2): 255-260.
- [27] Rutherford M C, Powrie L W. Allelochemic control of biomass allocation in interacting shrub species[J]. Journal of Chemical Ecology, 1993, **19**(5): 893-906.
- [28] Laterra P, Bazzalo M E. Seed-to-seed allelopathic effects between two invaders of burned Pampa grasslands [J]. Weed Research, 1999, **39**(4): 297-308.
- [29] Kato-Noguchi H, Thi H L, Sasaki H, et al. A potent allelopathic substance in cucumber plants and allelopathy of cucumber [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2012, **34**(5): 2045-2049.
- [30] 何飞武, 赖家业, 朱盛山, 等. 毛竹叶化感成分对阳春砂仁种子发芽的影响[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2012, **25**(2): 13-16, 21.
- [31] 黄志群, 林思祖, 曹光球. 毛竹、苦槠水浸液对杉木种子发芽的效应[J]. 福建林学院学报, 1999, **19**(3): 249-252.
- [32] 黄启堂. 毛竹叶和鞭生化物质对马尾松种子的发芽效应[J]. 福建林学院学报, 2008, **28**(1): 6-8.
- [33] Qasem J R. Allelopathic potential of white top and syrian sage on vegetable crops[J]. Agronomy Journal, 2001, **93**(1): 64-71.
- [34] Rice E L. Allelopathy [M]. (2nd ed.). Orlando, Florida: Academic Press, 1984.
- [35] Lin C, Owen S M, Penuelas J. Volatile organic compounds in the roots and rhizosphere of *Pinus* spp. [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, **39**(4): 951-960.
- [36] Walker T S, Bais H P, Grotewold E, et al. Root exudation and rhizosphere biology[J]. Plant Physiology, 2003, **132**(1): 44-51.
- [37] 李宁, 白冰, 鲁长虎. 植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成[J]. 生态学报, 2011, **31**(21): 6624-6632.
- [38] Rother D C, Rodrigues R R, Pizo M A. Effects of bamboo stands on seed rain and seed limitation in a rainforest [J]. Forest Ecology and Management, 2009, **257**(3): 885-892.
- [39] 蔡亮, 张瑞霖, 李春福, 等. 基于竹鞭状态分析的抑制毛竹林扩散的方法[J]. 东北林业大学学报, 2003, **31**(5): 68-70.

CONTENTS

Stable Carbon Isotopic Composition in PM _{2.5} in Nanjing Region	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (3727)
Distribution and Source Apportionment of <i>n</i> -Alkanes in Atmospheric Particle in Taiyuan, China	HU Dong-mei, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (3733)
Study on Influence of Traffic and Meteorological Factors on Inhalable Particle Matters of Different Size	LUO Na-na, ZHAO Wen-ji, YAN Xing, <i>et al.</i> (3741)
Particle Emission Characteristics of Diesel Bus Fueled with Bio-diesel	LOU Di-ming, CHEN Feng, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (3749)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Water Vapor Sources in Lanzhou City and Its Surrounding Area	CHEN Fen-li, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (3755)
Characteristics and Sources of Soluble Ions in Aerosols from Glacier No. 1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan Mountains, China	YUE Xiao-ying, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun, <i>et al.</i> (3764)
Mechanism and Performance of Styrene Oxidation by O ₃ /H ₂ O ₂	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, YE Qi-hong, <i>et al.</i> (3772)
Sulfur Isotopic Signatures in Leaves of <i>Pinus massoniana</i> Lamb. and Source Apportionment	GUAN Hui, XIAO Hua-yun, ZHU Ren-guo, <i>et al.</i> (3777)
Comparisons of Sulfur Contents and Isotopes Between Mosses and Surface Soils in Jiangxi Province	LI Nan, XIAO Hua-yun, CHEN Yong-zhong, <i>et al.</i> (3782)
Research on Spatial Characteristic of Non-point Source Pollution in Liaohe River Basin	WANG Xue-lei, CAI Ming-yong, ZHONG Bu-qing, <i>et al.</i> (3788)
Spatial and Temporal Variations of Hydrological Characteristic on the Landscape Zone Scale in Alpine Cold Region	YANG Yong-gang, HU Jin-fei, XIAO Hong-lang, <i>et al.</i> (3797)
Distribution of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of Jinpu Bay	YOU Li-li, ZONG Hai-bo, ZHANG Shu-fang, <i>et al.</i> (3804)
Effects of Drying-Rewetting Alternation on Urease Activity in Chongming East Intertidal Flat; Results of a Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (3810)
Characterization of Microbial Activities in Marine Mudflat Sediment Using FDA Hydrolase Analysis	LIU Ye, ZOU Li, LIU Lu, <i>et al.</i> (3818)
Analysis of Ecological Risk and the Content Situation of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments from Northeast China River Basin	NIE Hai-feng, CHENG Hang-xin, ZHAO Chuan-dong, <i>et al.</i> (3825)
Residues and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments and Marine Organisms from Dapeng Bay, Shenzhen	SUN Run-xia, KE Chang-liang, GU Yang-guang, <i>et al.</i> (3832)
Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using Two Mathematical Models for Runoff of the Shanghai Elevated Inner Highway, China	BIAN Lu, LI Tian, HOU Juan (3840)
Biomagnification of Heavy Metals in the Aquatic Food Chain in Daning River of the Three Gorges Reservoir During Initial Impoundment	YU Yang, WANG Yu-chun, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3847)
Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Chlorophyll-a and Their Correlation Analysis in a Small Enclosed Lake	LI Fei-peng, ZHANG Hai-ping, CHEN Ling (3854)
Experiment and Model Simulation of Self-Purification Capacity of Nitrogen and Phosphorus in Lake Taihu	HAN Tao, ZHAI Shu-hua, HU Wei-ping, <i>et al.</i> (3862)
Simulation Research on the Release of Internal Nutrients Affected by Different Dredging Methods in Lake	CHEN Chao, ZHONG Ji-cheng, FAN Cheng-xin, <i>et al.</i> (3872)
Research of Urban Eutrophic Water Repair by Water/Sediment Biological Bases	ZHOU Hui-hua, SONG Xiao-guang, WU Ge, <i>et al.</i> (3879)
Effects of Regulatory Agent on the Heavy Metal Stability in Tidal Sediments	OU Feng-zhuang, SUN Guo-ping, XU Mei-ying (3888)
Impact of Regional Water Chemistry on the Phosphorus Isothermal Adsorption of the Sediments in Three Subsidence Waters of the Huainan Mine Areas	YI Qi-tao, SUN Peng-fei, XIE Kai, <i>et al.</i> (3894)
Adsorption Characteristics of f2 Bacteriophages by Four Substrates in Constructed Wetland	CHEN Di, ZHENG Xiang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3904)
Adsorption Characteristics of the Antibiotic Sulfanilamide onto Rice Husk Ash	JI Ying-xue, WANG Feng-he, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (3912)
Study on the Stability Variation Mechanism of Humic Acid Water Solution After Radiated by the UV Light	WANG Wen-dong, ZHOU Li-chuan, DING Zhen-zhen, <i>et al.</i> (3921)
Comparison of As Removal Performance by Graphene/Iron-Based Material	Chaomuerlege, FENG Liu, HUO Yan-xia (3927)
Studies on the Dispersion and Deposition Behavior of Nano-TiO ₂ in Aquatic System	CHEN Jin-yuan, FANG Jin-feng, WEI Xiu-zhen (3933)
Effect of the Interaction of Microorganisms and Iron Oxides on Arsenic Releasing into Groundwater in Chinese Loess	XIE Yun-yun, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (3940)
Surface Modification of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Membrane by Using the Zwitterionic Substance	ZHOU Gui-hua, XIAO Feng, XIAO Ping, <i>et al.</i> (3945)
Estimate the Abatement Rate of Septic Tank Sewage Outfall Soil on Nitrogen Pollutants of Typical Farmer Household Sewage	ZHOU Feng, WANG Wen-lin, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (3954)
Wastewater Pollution Characteristics from Typical Intensive Pig Farms in the Pearl River Delta and Its Ecological Risk Assessment	LI Wen-ying, PENG Zhi-ping, YU Jun-hong, <i>et al.</i> (3963)
Effects of Sludge Compost Used as Lawn Medium on Lawn Growth and Soil and Water Environment	JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, CHEN Ruo-xia, <i>et al.</i> (3969)
Influencing Factors of Floc Size Distribution and Fractal Dimension of Activated Sludge	LI Zhen-liang, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li, <i>et al.</i> (3975)
Influence of Different Recovery Methods on the Activity of Nitrification Granular Sludge	GUO Xiu-li, GAO Da-wen, LU Jian-cong (3981)
Study on Hydrogen Autotrophic Denitrification of Bio-ceramic Reactor	CHEN Dan, WANG Hong-yu, SONG Min, <i>et al.</i> (3986)
Studies on Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow	YAN Jun-xia, LI Jun-jian, LI Hong-jian, <i>et al.</i> (3992)
Modeling of CO ₂ Fluxes at Cropland by Using SIB3 Model	ZHANG Geng-jun, LU Li-xin, JIANG Ling-mei, <i>et al.</i> (4000)
Effects of the Different Land Use on Soil Labile Organic Matter and Carbon Management Index in Junyun Mountain	XU Peng, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (4009)
Heavy Metal Content in Street Dust and Environmental Risk Assessment of Agricultural City: A Case Study of Xuchang City	YAN Hui, CHEN Jie, XIAO Jun (4017)
Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Road Dust from Suzhou, Wuxi and Nantong	SHI Shuang-xin, DONG Liang, LI Ling-ling, <i>et al.</i> (4024)
Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Abandoned Vehicles Dismantling Area Soil	WU Yan-yu, HU Xiao-ying, HONG Hong-jia, <i>et al.</i> (4031)
Stabilization and Long-term Effect of Chromium Contaminated Soil	WANG Jing, LUO Qi-shi, ZHANG Chang-bo, <i>et al.</i> (4036)
Leaching Characteristics of Sulfadiazine and Sulfamethoxazole in Soil Column	LI Man, CHEN Wei-ping, WEI Fu-xiang, <i>et al.</i> (4042)
Transport Behaviors of Metal Oxide Nanomaterials in Various Soils	FANG Jing, YU Bo-yang (4050)
Fractal Characteristics of Capillary Finger Flow for NAPLs Infiltrated in Porous Media	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4058)
Allelopathic Potential of <i>Phyllostachys edulis</i> on Two Dominant Tree Species of Evergreen Broad-leaved Forest in Its Invasive Process	BAI Shang-bin, ZHOU Guo-mo, WANG Yi-xiang, <i>et al.</i> (4066)
Preliminary Studies on the Occurrence of Antibiotic Resistance Genes in Typical Aquaculture Area of the Pearl River Estuary	LIANG Xi-mei, NIE Xiang-ping, SHI Zhen (4073)
Concentrations and Safety Evaluation of Heavy Metals in Aquatic Products of Yancheng, Jiangsu Province	LIU Yang, FU Qiang, GAO Jun, <i>et al.</i> (4081)
Effects of Cu ²⁺ Stress on DNA Polymorphism of Genome in Foxtail Millet of Different Genotypes	ZHANG Yi-xian, FU Ya-ping, XIAO Zhi-hua, <i>et al.</i> (4090)
Research on Soil Bacteria Under the Impact of Sealed CO ₂ Leakage by High-throughput Sequencing Technology	TIAN Di, MA Xin, LI Yu-e, <i>et al.</i> (4096)
Microeukaryotic Biodiversity in the Waste Ore Samples Surrounding an Acid Mine Drainage Lake	LI Si-yuan, HAO Chun-bo, WANG Li-hua, <i>et al.</i> (4105)
Characteristics and Functional Protein Analysis of an Effective Decabromodiphenyl Ether-Degrading Strain	CHANG Jing-jing, YIN Hua, QIN Hua-ming, <i>et al.</i> (4112)
Effect of Selenium on the Uptake and Translocation of Manganese, Iron, Phosphorus and Selenium in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	HU Ying, HUANG Yi-zong, HUANG Yan-chao, <i>et al.</i> (4119)
Effect of Exogenous Iron on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium, and Physiological Characterization in Different Varieties of Tomato	LIU Jun, ZHOU Kun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4126)
Analysis of Control Policy for Persistent Toxic Substances from Electronic Wastes in China	LI Li, LÜ Yong-long, WANG Tie-yu (4132)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年10月15日 34卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 10 Oct. 15, 2013

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行