

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

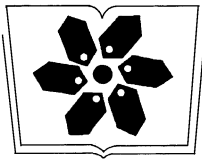
## Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

## 目 次

|                                                  |                      |
|--------------------------------------------------|----------------------|
| 海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....                        | 王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291) |
| 外源 K <sup>+</sup> 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ... | 张 莹,李法云,严 霞,等 (4300) |
| 钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....                 | 张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309) |
| 贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....                    | 吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318) |
| 基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....                          | 李春干,刘素青,范航清,等 (4329) |
| 亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....                           | 熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343) |
| 浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应 .....                      | 何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352) |
| 亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....                         | 郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363) |
| 亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征 .....               | 王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371) |
| 耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....                          | 张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379) |
| 火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....                         | 何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388) |
| 闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....                      | 王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396) |
| 2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源 .....                | 刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403) |
| 新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....               | 楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413) |
| 土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....                       | 刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)   |
| 伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分 .....                        | 郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)   |
| 濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析 .....               | 张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443) |
| 强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....                      | 郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453) |
| 冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响 .....                    | 周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462) |
| 中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....                    | 黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472) |
| 欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达 .....         | 郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481) |
| 再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....                    | 缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488) |
| 无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....             | 郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496) |
| 基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....             | 王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505) |
| 温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....                         | 叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516) |
| 夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....                           | 洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525) |
| 大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....                    | 王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535) |
| 李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....                           | 汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544) |
| <b>专论与综述</b>                                     |                      |
| 基于景观格局的城市热岛研究进展 .....                            | 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)   |
| 沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用 .....                      | 吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566) |
| <b>问题讨论</b>                                      |                      |
| 中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策 .....                          | 胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575) |
| <b>研究简报</b>                                      |                      |
| 稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....          | 刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585) |
| 佛山市农田生态系统的生态损益.....                              | 叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593) |



**封面图说:** 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

**彩图提供:** 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201107151053

缪丽华, 王媛, 高岩, 季梦成. 再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用. 生态学报, 2012, 32(14): 4488-4495.

Miao L H, Wang Y, Gao Y, Ji M C. The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of *Thalia dealbata* to seedling of several aquatic plants. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4488-4495.

## 再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗 的化感作用

缪丽华<sup>1</sup>, 王媛<sup>2</sup>, 高岩<sup>2</sup>, 季梦成<sup>2,\*</sup>

(1. 中国湿地博物馆, 杭州 310013; 2. 浙江农林大学, 临安 311300)

**摘要:** 采用砂培法研究了不同浓度再力花地下部水浸提液对荇菜、苦草、水田芥、芦苇和黄菖蒲幼苗的生长、光合速率、根系活力、叶绿素含量以及抗氧化保护酶活性的影响, 并采用气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术对再力花地下部水浸提液的化学成分进行了分析。结果表明: 再力花地下部水浸提液对荇菜、苦草、水田芥、芦苇和黄菖蒲 5 种水生植物幼苗生长有明显的影响, 其中使用 50mg 干重/mL 再力花水浸提液处理 5 种水生植物幼苗, 对其生长指标有着极显著的抑制作用( $P < 0.01$ ), 苦草、水田芥和黄菖蒲的净光合速率分别降低 69.0%、63.7% 和 73.5%, 荇菜、苦草、水田芥和黄菖蒲幼苗根系活力分别降低 67.3%、65.4%、52.2% 和 46.7%, 5 种水生植物幼苗叶绿素含量分别下降 59.7%、71.2%、35.2%、50.0% 和 76.5%。当处理浓度为 5 mg/mL 时, 对 5 种水生植物幼苗体内过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性有显著的促进作用; 当浓度为 50mg/mL 时, 对 5 种水生植物幼苗体内 POD、SOD 和 CAT 有显著的抑制作用, 丙二醛(MDA)含量增加。分析显示, 再力花地下部水浸提液中主要含有愈创木酚(78.93%)、邻苯二甲酸二丁基酯(7.13%)、邻苯二甲酸二乙氧基乙酯(1.48%)、香豆满(1.09%)、邻苯二甲酸二乙酯(0.98%)、松油醇(0.70%)、吡啶(0.65%)、二丁基羟基甲苯(0.64%), 合计占到总量的 91% 以上。

**关键词:** 再力花; 水生植物; 水浸提液; 抗氧化酶; 化感作用

## The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of *Thalia dealbata* to seedling of several aquatic plants

MIAO Lihua<sup>1</sup>, WANG Yuan<sup>2</sup>, GAO Yan<sup>2</sup>, JI Mengcheng<sup>2,\*</sup>

1 National Wetland Museum of China, Hangzhou Zhejiang 310013, China

2 Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an Zhejiang 311300, China

**Abstract:** In order to understand the interaction of *Thalia dealbata* with other aquatic plants, we studied the effects of the aquatic extract from rhizome and root of *T. dealbata* on the growth, net photosynthetic rate, root activity, chlorophyll content, and antioxidant defense system in seedlings of *Nymphaea peltatum*, *Vallisneria spiralis*, *Nasturtium officinale*, *Phragmites australis*, *Iris pseudacorus* by using sand culture method, and analyzed the chemical components of the extract using GC-MS. Results showed that the aquatic rhizome and root extract of *T. dealbata* had significant allelopathic effects on seedling growth in *N. peltatum*, *V. spiralis*, *N. officinale*, *Ph. australis* and *I. pseudacorus*, with the effects varying with the type of pasture plants and the concentration of the extract. The seedling growth index in *N. peltatum*, *V. spiralis*, *N. officinale*, *Ph. australis* and *I. pseudacorus* was highly significantly inhibited by treatment with 50mgDw/mL of the aquatic extract; the net photosynthetic rate in the seedlings of *V. spiralis*, *N. officinale* and *I. pseudacorus* were reduced by 69.

**基金项目:** 杭州市科技计划项目(20100933B18); 中国湿地博物馆重点资助项目(CWM2010-W02)

**收稿日期:** 2011-01-15; **修订日期:** 2011-11-18

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mchji@zafu.edu.cn

0% , 63.7% and 73.5% ; the root activity in the seedlings of *N. peltatum* , *V. natans* , *N. officinale* , and *I. pseudacorus* were reduced by 67.3% , 65.4% , 52.2% and 46.7% , respectively , and the chlorophyll content in the five aquatic plants were reduced by 59.7% , 71.2% , 35.2% , 50.0% and 76.5% , respectively , compared with the control. At 5mgDw/mL , the extract significantly increased the activities of superoxide dismutase ( SOD ) , peroxidase ( POD ) , and catalase ( CAT ) ; whereas at 50mg Dw/mL the extract reduced the activities of those enzymes while significantly increased the content of malondialdehyde ( MDA ) in the seedling of the aquatic plants. 44 secondary metabolic compounds were identified in the aquatic rhizome and root extract of *T. dealbata* . The main compounds were guaiacol ( 78.93% ) 、dibutyl phthalate ( 7.13% ) 、diethoxyethyl phthalate ( 1.48% ) , coumaran ( 1.09% ) , diethyl phthalate ( 0.98% ) , Indole ( 0.65% ) , butylated hydroxytoluene ( 0.64% ) and Terpeneol ( 0.70% ) , which all together accounted for 91% of the total.

**Key Words:** *Thalia dealbata*; aquatic plant; aquatic extract; antioxidant enzyme; allelopathy

再力花 (*Thalia dealbata*) 又名水竹芋, 为竹芋科 (Marantaceae) 再力花属多年生草本植物, 原产于美国南部和墨西哥, 20 世纪初作为水生观赏植物引入我国<sup>[1]</sup>。但是, 再力花侵占力强, 繁殖速度快, 植株根除难度大, 入侵风险程度极高, 属于“不可引入”物种<sup>[2]</sup>。虽然再力花具有较高的生物量年产率和很强的脱氮能力<sup>[3]</sup>, 但由于本地种植物与水环境之间形成了良好的协调机制, 在改善湿地水质方面的能力强于再力花等外来植物<sup>[4]</sup>。野外调查发现, 再力花等外来观赏植物在西溪湿地表现出较强的入侵倾向<sup>[2]</sup>, 对湿地环境构成潜在威胁。

已有研究表明, 外来入侵种对本地的生物多样性和生态系统构成了严重的威胁, 已成为仅次于生境丧失而导致生物多样性下降的第二位因素<sup>[5]</sup>, 而入侵过程中向环境中释放化感物质是入侵成功的一个重要机制<sup>[5,6]</sup>。关于外来陆生植物的化感作用已有很多研究<sup>[5,7-9]</sup>, 但由于水生生态系统相对复杂, 研究手段相对滞后, 对水生植物化感作用的研究还处于初步阶段<sup>[10-12]</sup>。通过生物测定发现再力花地下部水浸提液对敏感种子的萌发有显著的抑制作用<sup>[13]</sup>。为了深入探讨再力花的入侵机制, 本文研究了不同浓度的再力花地下部水浸提液对芦苇等 5 种伴生植物幼苗的生长、光合速率、根系活力以及幼苗体内抗氧化酶活性和细胞膜受损程度的影响, 并采用气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用技术分析了再力花地下部水浸提液的组分和含量。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验用再力花 (*Thalia dealbata*) 材料采自浙江省杭州市西溪湿地。2010 年 10 月, 从西溪湿地池塘中挖取生长健康再力花植株丛, 生长期 3a。选取其地下茎和根, 用自来水洗净后再用蒸馏水冲洗, 风干后粉碎, 粉末贮藏备用。受试水生植物为荇菜 (*Nymphoides peltatum*)、苦草 (*Vallisneria natans*)、水田芥 (*Nasturtium officinale*)、芦苇 (*Phragmites australis*) 和黄菖蒲 (*Iris pseudacorus*) , 除芦苇种子采自西溪湿地外, 其他植物种子均由江苏省沐阳县香林花木场提供。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 再力花地下部水浸提液制备

准确称取再力花地下茎根干粉 5g, 置于三角瓶中, 加入 100mL 蒸馏水, 在 25℃ 条件下浸提 48h, 离心后过滤 2 次, 得再力花地下部水浸提液, 试验前将母液分别配置成 50mg (干重, 下同)/mL、5 mg/mL 和 0.5 mg 干重/mL 的处理液, 以蒸馏水作对照。

#### 1.2.2 水生植物幼苗培养及指标测定

选取均匀一致, 无病虫害的水生植物种子, 用 1g/L  $\text{KMnO}_4$  溶液消毒 15min 后, 用蒸馏水反复冲洗 (5—6 次) 至  $\text{KMnO}_4$  完全清除。将消毒过的种子分别置于垫有两层滤纸的培养皿 ( $\Phi 15\text{cm}$ ) 中, 放入人工气候箱 (HPG-240H) 中萌发 (对黄菖蒲、芦苇和水田芥进行光培养, 对苦草和荇菜进行暗培养, 温度控制在  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ), 萌发标准以胚根突破种皮为准。采用砂培法进行培养, 在每个培养皿 ( $\Phi 15\text{cm}$ ) 内, 先放入分析纯石英

砂,再加入 10mL Hoagland 营养液<sup>[14]</sup>;然后放置 50 粒萌发种子,每个处理组共 20 个处理(3 个浓度梯度,5 种水生植物,蒸馏水处理作为对照),重复 3 次。将培养皿放入人工气候箱中进行培养。培养条件为:光照 14 h (25℃)/黑暗 10 h(20℃);光强 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。每隔 1d 补充 10mL 蒸馏水和 2mL 相应处理液或蒸馏水。培养 20d 后,测量幼苗的单株苗高和根长,地上和地下鲜重和干重,取整株幼苗测定光合速率、取幼苗根系测定根系活力、取幼苗叶片测定叶绿素含量和各种抗氧化物酶活性及丙二醛含量。

净光合速率采用 LI7000-CO<sub>2</sub> 气体分析仪测定;根系活力采用 TTC 法测定;叶绿素含量采用 Arnon 法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 还原法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外分光光度计吸收法测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚显色法测定;丙二醛(MDA)含量硫代巴比妥酸法测定;蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定<sup>[15]</sup>。

### 1.2.3 再力花地下部水浸提液化学成分分析

取 5mL 再力花地下部水浸提液母液加入 1mL 乙酸乙酯萃取,吸取 1 $\mu\text{L}$  萃取液进样,进行 GC-MS 分析。GC(7890A, Agilent Technologies Company)条件:色谱柱 HP-5MS(30 m $\times$ 250 $\mu\text{m}\times$ 0.25 $\mu\text{m}$ );升温程序初始温度 50℃,以 10℃/min 的速率升至 180℃,保持 2min,再以 10℃/min 升到 250℃,保持 10min;载气 He,进样口温度 280℃。MS(5975C Agilent Technologies Company)条件,电离方式 EI;电子能量 70eV;离子源温度 230℃;四级杆温度 150℃;传输线温度 250℃;扫描质量范围 28—450amu。通过 NIST2008 谱图库兼顾色谱保留时间定性,采用峰面积表示物质含量。

### 1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS13.0 统计分析软件进行方差分析和显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 再力花地下部水浸提液对受试植物幼苗生长的影响

再力花地下部水浸提液对苕菜、苦草、水田芥、芦苇和黄菖蒲幼苗生长的影响存在着明显差异(表 1)。与

表 1 再力花地下部水浸提液对受试植物幼苗生长的影响

Table 1 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on seedling growth of receiver plants

| 受试植物<br>Receiver plant       | 处理<br>Treatment<br>/(mg/mL) | 苗高<br>Shoot length<br>/cm | 根长<br>Root length<br>/cm | 地上部鲜质量<br>Top fresh mass<br>/(mg/株) | 根鲜质量<br>Root fresh mass<br>/(mg/株) | 地上部干质量<br>Top dry mass<br>/(mg/株) | 根干质量<br>Root dry mass<br>/(mg/株) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 苕菜<br><i>N. peltatum</i>     | CK                          | 5.3 $\pm$ 0.7             | 8.0 $\pm$ 1.9            | 43.3 $\pm$ 2.3                      | 23.6 $\pm$ 0.4                     | 4.6 $\pm$ 0.3                     | 2.9 $\pm$ 0.1                    |
|                              | 0.5                         | 5.1 $\pm$ 1.1             | 6.1 $\pm$ 1.0*           | 44.3 $\pm$ 3.9                      | 19.2 $\pm$ 1.4*                    | 5.5 $\pm$ 0.4*                    | 2.4 $\pm$ 0.1*                   |
|                              | 5                           | 4.0 $\pm$ 0.7**           | 5.7 $\pm$ 1.0**          | 36.0 $\pm$ 1.9*                     | 19.3 $\pm$ 2.5*                    | 3.4 $\pm$ 0.3**                   | 2.3 $\pm$ 0.2*                   |
|                              | 50                          | 3.8 $\pm$ 1.3**           | 4.6 $\pm$ 1.6**          | 26.1 $\pm$ 1.0**                    | 14.2 $\pm$ 0.8**                   | 2.8 $\pm$ 0.2**                   | 2.0 $\pm$ 0.1**                  |
| 苦草<br><i>V. natans</i>       | CK                          | 7.7 $\pm$ 1.1             | 7.7 $\pm$ 1.8            | 60.8 $\pm$ 3.5                      | 50.0 $\pm$ 1.3                     | 6.4 $\pm$ 0.4                     | 2.7 $\pm$ 0.1                    |
|                              | 0.5                         | 6.0 $\pm$ 0.9             | 6.4 $\pm$ 2.1            | 49.8 $\pm$ 1.6                      | 40.4 $\pm$ 2.4*                    | 5.0 $\pm$ 0.1                     | 3.3 $\pm$ 0.2*                   |
|                              | 5                           | 5.1 $\pm$ 1.3*            | 6.3 $\pm$ 1.3            | 37.8 $\pm$ 1.3**                    | 28.0 $\pm$ 2.3**                   | 3.8 $\pm$ 0.5*                    | 2.2 $\pm$ 0.3*                   |
|                              | 50                          | 4.6 $\pm$ 1.3**           | 4.0 $\pm$ 1.4**          | 22.2 $\pm$ 1.8**                    | 23.9 $\pm$ 1.9**                   | 2.5 $\pm$ 0.1**                   | 1.9 $\pm$ 0.1**                  |
| 水田芥<br><i>N. officinale</i>  | CK                          | 5.2 $\pm$ 0.4             | 4.2 $\pm$ 1.0            | 24.7 $\pm$ 0.5                      | 5.3 $\pm$ 0.8                      | 1.7 $\pm$ 0.04                    | 0.5 $\pm$ 0.02                   |
|                              | 0.5                         | 6.1 $\pm$ 0.7**           | 3.6 $\pm$ 0.9            | 38.1 $\pm$ 2.2**                    | 4.4 $\pm$ 0.3                      | 2.1 $\pm$ 0.24                    | 0.3 $\pm$ 0.04**                 |
|                              | 5                           | 3.4 $\pm$ 0.8**           | 2.4 $\pm$ 0.8**          | 14.9 $\pm$ 0.6**                    | 2.5 $\pm$ 0.2*                     | 1.0 $\pm$ 0.03**                  | 0.2 $\pm$ 0.03**                 |
|                              | 50                          | 1.8 $\pm$ 0.8**           | 2.3 $\pm$ 0.5**          | 9.0 $\pm$ 1.3**                     | 1.8 $\pm$ 0.1**                    | 0.4 $\pm$ 0.03**                  | 0.2 $\pm$ 0.02**                 |
| 芦苇<br><i>Ph. australis</i>   | CK                          | 17.3 $\pm$ 1.7            | 7.1 $\pm$ 2.3            | 53.5 $\pm$ 1.5                      | 14.9 $\pm$ 0.8                     | 5.7 $\pm$ 0.13                    | 1.5 $\pm$ 0.17                   |
|                              | 0.5                         | 14.5 $\pm$ 1.9*           | 6.0 $\pm$ 1.8            | 39.6 $\pm$ 0.6**                    | 12.9 $\pm$ 0.6*                    | 3.8 $\pm$ 0.08**                  | 1.3 $\pm$ 0.03                   |
|                              | 5                           | 13.6 $\pm$ 2.9**          | 5.2 $\pm$ 1.3*           | 31.4 $\pm$ 0.6**                    | 11.9 $\pm$ 0.7**                   | 3.3 $\pm$ 0.17**                  | 1.2 $\pm$ 0.03                   |
|                              | 50                          | 13.4 $\pm$ 2.5**          | 5.0 $\pm$ 2.3*           | 29.0 $\pm$ 0.2**                    | 11.9 $\pm$ 1.2**                   | 2.6 $\pm$ 0.20**                  | 1.2 $\pm$ 0.03                   |
| 黄菖蒲<br><i>I. pseudacorus</i> | CK                          | 21.6 $\pm$ 1.4            | 7.9 $\pm$ 2.7            | 163.4 $\pm$ 4.5                     | 84.2 $\pm$ 3.8                     | 19.6 $\pm$ 0.5                    | 7.6 $\pm$ 0.3                    |
|                              | 0.5                         | 20.3 $\pm$ 2.3            | 6.7 $\pm$ 1.3            | 143.3 $\pm$ 7.8*                    | 78.2 $\pm$ 2.2                     | 18.5 $\pm$ 0.4                    | 7.2 $\pm$ 0.1                    |
|                              | 5                           | 15.0 $\pm$ 1.0**          | 6.5 $\pm$ 2.9            | 87.7 $\pm$ 3.4**                    | 53.5 $\pm$ 2.5**                   | 11.5 $\pm$ 0.7*                   | 6.2 $\pm$ 0.1**                  |
|                              | 50                          | 9.6 $\pm$ 0.8**           | 3.3 $\pm$ 1.1**          | 60.1 $\pm$ 2.3**                    | 45.0 $\pm$ 2.2**                   | 8.2 $\pm$ 0.2**                   | 5.9 $\pm$ 0.1**                  |

\* 表示  $P<0.05$ , 差异显著; \*\* 表示  $P<0.01$ , 差异极显著

对照相比,低质量浓度(0.5 mg/mL)再力花地下部水浸提液对荇菜、苦草和黄菖蒲苗高无显著影响;对苦草、水田芥、芦苇和黄菖蒲的根长无明显影响。但随着浸提液质量浓度的提高,对5种受试植物苗高和根长的抑制作用逐渐增强;当质量浓度达到50mg/mL时,5种水生植物苗高与对照相比分别降低了28.8%、40.4%、64.4%、22.7%和55.7%,根长分别降低了42.1%、48.1%、45.8%、29.3%和58.3%,抑制作用均达极显著水平( $P<0.01$ )。与苗高和根长一样,低浓度再力花地下部水浸提液处理对荇菜、苦草的苗鲜质量和水田芥、黄菖蒲的根鲜质量无明显作用。当浓度达到50 mg/mL时,对5种水生植物幼苗苗鲜质量的抑制率分别为39.8%、63.6%、63.7%、45.9%和63.2%,根鲜质量的抑制率分别为39.7%、52.2%、66.8%、20.5%和46.6%,抑制程度均达极显著水平( $P<0.01$ )。

## 2.2 再力花地下部水浸提液对受试植物幼苗净光合速率、根系活力和叶绿素含量的影响

低质量浓度再力花地下部水浸提液对受试植物的净光合速率、根系活力和叶绿素含量均无明显影响(图1—图3)。当质量浓度提高到50mg/mL时,对受试植物幼苗的净光合速率、根系活力和叶绿素含量有显著或极显著影响。苦草、水田芥和黄菖蒲的净光合速率较对照分别降低了69.0%、63.7%和73.5%,达极显著水平( $P<0.01$ ),荇菜和芦苇的净光合速率变化不显著(图1);芦苇的根系活力较对照降低了32.7%,达显著水平( $P<0.05$ ),荇菜、苦草、水田芥和

黄菖蒲的根系活力较对照分别降低了67.3%、65.4%、52.2%和46.7%,达极显著水平( $P<0.01$ )(图2);叶绿素含量分别下降了59.7%、71.2%、35.2%、50.0%和76.5%,达极显著水平( $P<0.01$ )(图3)。

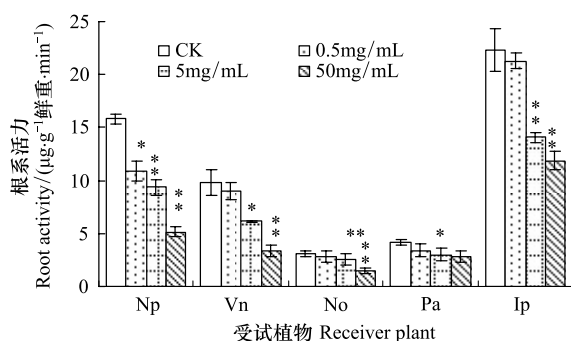


图2 再力花地下部水浸提液对受试植物根系活力的影响

Fig.2 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on roots activity of receiver plants

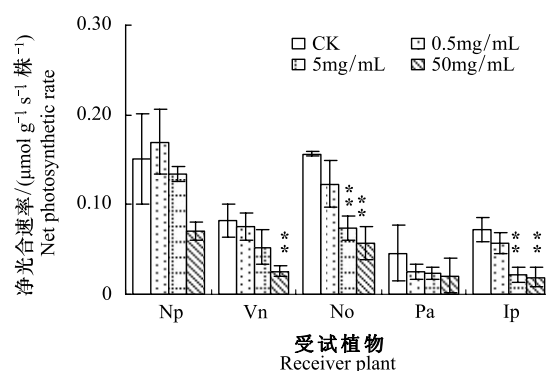


图1 再力花地下部水浸提液对受试植物净光合速率的影响

Fig.1 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on net photosynthetic rate of receiver plants

MF:荇菜 *N. peltatum* Np;苦草 *V. natans* Vn;水田芥 *N. officinale* No;芦苇 *P. australis* Pa;黄菖蒲 *I. pseudacorus* Ip

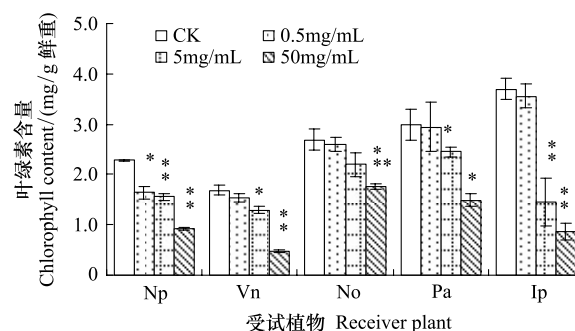


图3 再力花地下部水浸提液对受试植物叶片叶绿素含量的影响

Fig.3 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on chlorophyll content of receiver plants

## 2.3 再力花地下部水浸提液对受试植物幼苗体内抗氧化酶活性的影响

### 2.3.1 对幼苗体内 POD 活性影响

低质量浓度(0.5 mg/mL)再力花地下部水浸提液处理下,芦苇体内 POD 活性显著增加( $P<0.05$ ),而对其他4种受试植物幼苗中的 POD 活性无明显影响(图4);当处理浓度为5 mg/mL时,苦草、水田芥和芦苇幼苗体内 POD 活性较对照分别提高了1.4、2.7和2.9倍,增加极显著( $P<0.01$ ),荇菜幼苗体内 POD 活性较对照提高1.5倍,增加显著( $P<0.05$ );当处理浓度为50 mg/mL时,苦草、水田芥和芦苇幼苗体内的 POD 活性较

5 mg/mL 处理分别降低了 28.9%、46.1% 和 20.3%, 下降显著 ( $P < 0.05$ ), 而黄菖蒲幼苗体内的 POD 活性无明显变化。

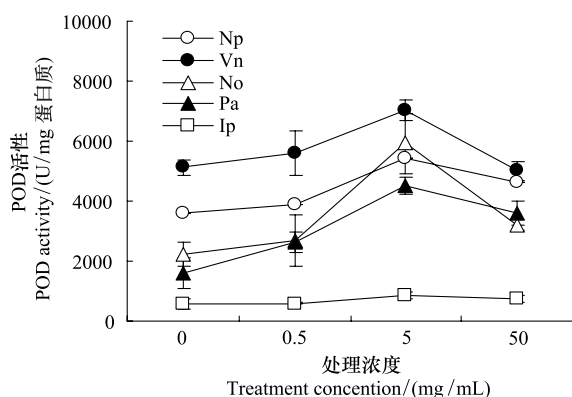


图4 再力花地下部水浸提液对受试植物 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on POD activity of receiver plants

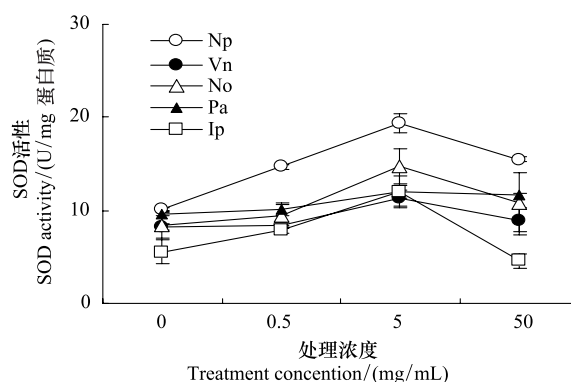


图5 再力花地下部水浸提液对受试植物 SOD 活性的影响

Fig. 5 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on SOD activity of receiver plants

### 2.3.2 对受试植物幼苗体内 SOD 活性的影响

低质量浓度 (0.5 mg/mL) 再力花地下部水浸提液处理下, 苕菜体内 SOD 活性增加极显著 ( $P < 0.01$ ), 而对其他 4 种受试植物幼苗中 SOD 活性无明显影响 (图 5)。当处理浓度为 5 mg/mL 时, 5 种受试植物幼苗体内 SOD 活性较对照分别提高了 1.9、1.4、1.7、1.2 和 2.2 倍, 增加极显著 ( $P < 0.01$ ); 但当处理浓度为 50 mg/mL 时, 苕菜和黄菖蒲幼苗的 SOD 活性较 5 mg/mL 处理分别降低了 20.1% 和 62.0%, 下降极显著 ( $P < 0.01$ ), 苦草、芦苇和水田芥幼苗的 SOD 活性较 5 mg/mL 处理差异不显著。

### 2.3.3 对受试植物幼苗体内 CAT 活性的影响

低质量浓度 (0.5 mg/mL) 再力花地下部水浸提液处理下, 芦苇体内 CAT 活性极显著增加 ( $P < 0.01$ ), 对其他 4 种受试植物幼苗中 CAT 活性无明显影响 (图 6)。当处理浓度为 5 mg/mL 时, 5 种受试植物幼苗体内 CAT 活性较对照分别提高了 2.0、2.5、3.6、1.7 倍和 1.4 倍, 增加极显著 ( $P < 0.01$ ); 在处理浓度为 50 mg/mL 时, 苦草、芦苇和黄菖蒲幼苗体内 CAT 活性较 5 mg/mL 处理分别降低了 45.2%、43.7% 和 30.4%, 下降极显著 ( $P < 0.01$ ); 水田芥幼苗体内 CAT 活性较 5 mg/mL 处理降低了 21.9%, 下降显著 ( $P < 0.05$ ); 苕菜幼苗的 CAT 活性较 5 mg/mL 处理差异不明显。

### 2.4 再力花地下部水浸提液对受试植物幼苗体内 MDA 含量的影响

在 0.5 mg/mL 再力花地下部水浸提液处理下, 芦苇和黄菖蒲幼苗体内 MDA 含量较对照增加 29.9% 和 41.6%, 达极显著水平 ( $P < 0.01$ ); 5 mg/mL 处理下, 苕菜、水田芥和黄菖蒲幼苗体内 MDA 含量较对照分别增加 51.7%、28.8% 和 39.1%, 达极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 苦草幼苗体内 MDA 含量增加不显著 (图 7)。当再力花地下部水浸提液浓度增加到 50 mg/mL 时, 5 种水生植物幼苗的膜脂氧化程度明显加重 ( $P < 0.01$ ), 苕菜、苦草、水田芥、芦苇和黄菖蒲 5 种植物幼苗体内 MDA 含量较对照分别增加了 65.1%、70.7%、61.3%、64.3% 和 50.4%。

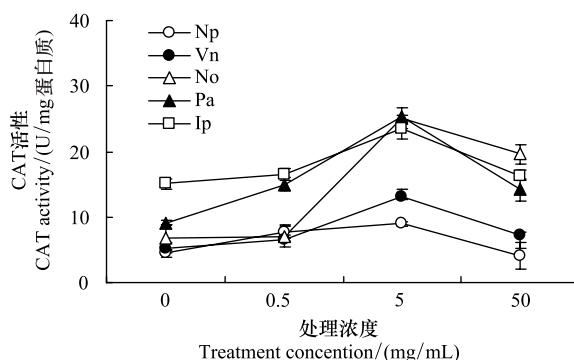


图6 再力花地下部水浸提液对受试植物 CAT 活性的影响

Fig. 6 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on CAT activity of receiver plants

2.5 再力花地下部水浸提液的化学成分分析

再力花地下部水浸提液样品经乙酸乙酯萃取后进行 GC-MS 分析(图 8),经 GC-MS 联用仪标准质谱数据库 NIST 2008 的计算机检索,鉴定出其中主要含有 44 种化合物,并采用面积归一化法确定了它们的相对百分含量(表 2)。再力花地下部水浸提液中主要成分是愈创木酚(78.93%)、邻苯二甲酸二丁基酯(7.13%)、邻苯二甲酸二乙氧基乙酯(1.48%)、香豆满(1.09%)、邻苯二甲酸二乙酯(0.98%)、松油醇(0.70%)、吲哚(0.65%)、二丁基羟基甲苯(0.64%),合计占到总量的 91% 以上。

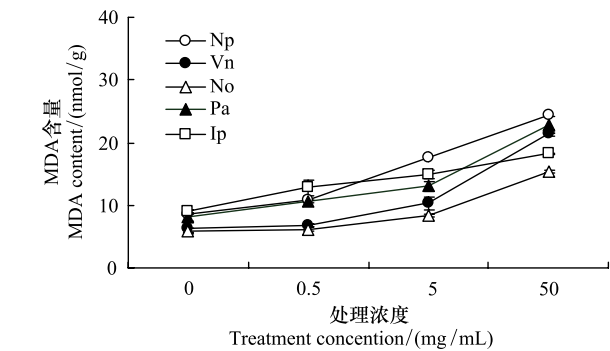


图 7 再力花地下部水浸提液对受试植物 MDA 含量的影响  
Fig.7 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on MDA content of receiver plants

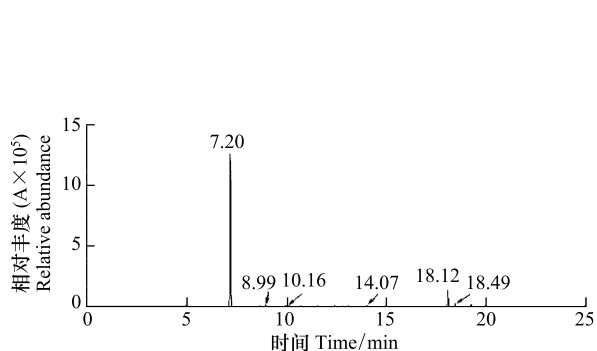


图 8 再力花地下部水浸提液总离子流图  
Fig. 8 TIC chromatogram of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata*

表 2 再力花地下部水浸提液的化学成分

| Table 2 Chemical components of aquatic extracts from rhizome and root of <i>T. dealbata</i> |                            |                          |                                                |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|---------------|
| 编号<br>No.                                                                                   | 保留时间<br>Retention time/min | 化合物<br>Compounds         | 分子式<br>Molecular formula                       | 峰面积<br>Area/% |
| 1                                                                                           | 4.20                       | 丁醛醇 Acetaldol            | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>   | 0.58          |
| 2                                                                                           | 5.13                       | 丙基丁酸丙酯 Propyl butanoate  | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>  | 0.22          |
| 3                                                                                           | 5.56                       | 苯酚 Phenol                | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O                | 0.25          |
| 4                                                                                           | 6.24                       | 乙基己醇 Ethylhexanol        | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O               | 0.16          |
| 5                                                                                           | 6.37                       | 桉叶醇 Eucalyptol           | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 0.14          |
| 6                                                                                           | 6.78                       | 马鞭草烯醇 Verbenol           | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O              | 0.16          |
| 7                                                                                           | 6.91                       | 桃金娘烯醇 Myrtenol           | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O              | 0.14          |
| 8                                                                                           | 7.20                       | 愈创木酚 Guaiacol            | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>   | 78.93         |
| 9                                                                                           | 7.46                       | 愈创木酚醋酸酯 Eucol            | C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>  | 0.07          |
| 10                                                                                          | 7.69                       | 邻氯苯基甲基醚 o-Chloroanisole  | C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> ClO              | 0.08          |
| 11                                                                                          | 8.09                       | 樟脑 Camphor               | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O              | 0.47          |
| 12                                                                                          | 8.53                       | 松油醇 Terpineol            | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 0.70          |
| 13                                                                                          | 8.99                       | 香豆满 Coumaran             | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O                | 1.09          |
| 14                                                                                          | 9.11                       | 苯氧基乙醇 Phenoxetol         | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>  | 0.17          |
| 15                                                                                          | 9.62                       | 壬酸 Nonanoic acid         | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>  | 0.14          |
| 16                                                                                          | 9.72                       | 壬酰氯 Nonanoyl chloride    | C <sub>9</sub> H <sub>17</sub> ClO             | 0.13          |
| 17                                                                                          | 10.16                      | 吲哚 Indole                | C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                | 0.65          |
| 18                                                                                          | 10.42                      | 乙烯基愈创木酚 p-Vinylguaiacol  | C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>  | 0.21          |
| 19                                                                                          | 10.76                      | 柠檬烯环氧化物 Limonene epoxide | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O              | 0.60          |
| 20                                                                                          | 10.97                      | 十一醛 Undecanal            | C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O              | 0.33          |
| 21                                                                                          | 11.07                      | 喇叭醇 Ledol                | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.08          |
| 22                                                                                          | 11.22                      | 丁酸庚酯 Heptyl butyrate     | C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> | 0.20          |
| 23                                                                                          | 11.58                      | 香草醛 Vanillin             | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>   | 0.59          |

续表

| 编号<br>No. | 保留时间<br>Retention time/min | 化合物<br>Compounds                       | 分子式<br>Molecular formula                       | 峰面积<br>Area/% |
|-----------|----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|---------------|
| 24        | 12.26                      | 邻苯二甲酸二甲酯 Dimethyl phthalate            | C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> | 0.07          |
| 25        | 12.44                      | 二丁基羟基甲苯 Butylated Hydroxytoluene       | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O              | 0.64          |
| 26        | 12.85                      | 杜松醇 Cadinol                            | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.35          |
| 27        | 13.11                      | 榄香烯 Elemene                            | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | 0.51          |
| 28        | 13.16                      | 松柏醇 Coniferol                          | C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub> | 0.15          |
| 29        | 13.36                      | 二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide           | C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub> | 0.12          |
| 30        | 13.51                      | 榄香醇 Elemol                             | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.17          |
| 31        | 13.59                      | 橙花叔醇 Nerolidol                         | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.09          |
| 32        | 14.07                      | 邻苯二甲酸二乙酯 Diethyl Phthalate             | C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> | 0.98          |
| 33        | 14.40                      | 雪松醇 Cedrol                             | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.31          |
| 34        | 14.71                      | 葎澄茄油烯醇 Cubenol                         | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.52          |
| 35        | 14.96                      | 表蓝桉醇 Epiglobulol                       | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.27          |
| 36        | 15.12                      | 桉叶醇 Eudesmol                           | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.16          |
| 37        | 15.64                      | 异广藿香烷 Isopatchoulane                   | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub>                | 0.09          |
| 38        | 15.97                      | 檀香醇 Santalol                           | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O              | 0.15          |
| 39        | 16.40                      | 蓝桉烯 Globulol                           | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 0.12          |
| 40        | 16.78                      | 二氢广木香内酯 Dihydrocostunolide             | C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> | 0.10          |
| 41        | 17.11                      | 蓖麻油酸甲酯 Methyl ricinoleate              | C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>3</sub> | 0.36          |
| 42        | 17.40                      | 5-羟基喹啉 5-Quinolinol                    | C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> NO               | 0.14          |
| 43        | 18.12                      | 邻苯二甲酸二丁基酯 Dibutyl phthalate            | C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub> | 7.13          |
| 44        | 18.49                      | 邻苯二甲酸二乙氧基乙酯<br>Diethoxyethyl phthalate | C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>6</sub> | 1.48          |

### 3 讨论

化感作用 (Allelopathy) 为一种植物通过向环境释放化学物质而对另一种植物 (包括微生物) 所产生的直接或间接的伤害作用<sup>[16]</sup>。现有研究表明, 外来植物的重要入侵机理是通过化感作用使受体群落的土著物种难以适应, 从而引起植物群落演替, 使其在入侵地植物群落中成为优势种<sup>[17-18]</sup>。本研究表明, 再力花地下部水浸提液对苕菜、苦草、水田芥、芦苇和黄菖蒲 5 种受试水生植物具有明显的化感作用, 而且表现出低浓度时影响小, 高浓度时抑制作用显著的规律。这与其他外来物种化感作用的研究结果相类似<sup>[19-20]</sup>。高浓度的化感物质对植物的影响有抑制种子的萌发、幼苗和根系生长<sup>[5,8]</sup>, 降低光合速率<sup>[21-22]</sup>, 加剧植物细胞的膜脂过氧化<sup>[14]</sup>。本研究表明, 再力花地下部水浸提液的主要化学物质为有机酸、酚类、酯类和内萜类化合物, 与其他植物的化感物质相类似<sup>[23-24]</sup>, 高浓度时不仅降低受试植物幼苗的叶叶绿素含量、根系活力和净光合速率, 同时还降低膜脂过氧化保护酶 POD、SOD、CAT 活性, 加剧膜脂氧化, 使 MDA 含量增加, 从而影响幼苗生长。已有研究表明, 大多数化感物质具有广谱性作用机制, 能够影响生物的许多生理生化过程<sup>[25]</sup>, 一些多酚类化感物质会破坏细胞膜的功能, 抑制受体植物超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性, 致使植物体内活性氧增多, 膜脂过氧化加剧, 影响植物的生长<sup>[26]</sup>。再力花地下部水浸提液中以愈创木酚含量最高, 很可能是再力花影响其他水生植物生长的主要化感物质。

虽然再力花是一种既有景观效果又具有生态功能的植物材料, 但是其能分泌多种化感物质, 对伴生植物具有很强的化感作用, 影响土著植物生长, 加上再力花繁殖速度快、植株根除难<sup>[2]</sup>等特点, 极易形成单一优势群落, 因此在引种再力花时, 应考虑其潜在的入侵风险, 谨慎引入。

### References:

- [1] Tian J D, Shi T S, Zhu S X, Zhang S J. Preliminary Study and Observation on the Insect-catching Behaviour of *Thalia dealbata* Fraser. World Sci-Tech R & D, 2007, 29(3): 62-65.
- [2] Miao L H, Chen Y C, Shi F, Wang Y Y. Preliminary Study on the Invasion Risk of *Thalia dealbata* as an Alien Species in Wetlands. Wetland Science, 2010, 08(4): 395-400.
- [3] Shi L, Yang X. Phytomass and its impact on the pollutant removal ability of constructed wetland. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19

- (1): 28-33.
- [4] Cao X, Liu H Y, Li Y F, Zheng N. Relationship between wetland plant communities and water environment quality in Xixi wetland park. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(3): 69-75.
- [5] Zhang Z X, Zhang X P, Liu H J, Shao J W. Comparative study on the allelopathy of Invasive species *Solidago canadensis* L. and native species *Solidago decurrens* Lour. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2010, 28(2): 191-198.
- [6] Bais H P, Vepachedu R, Gilroy S. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science*, 2003, 301(5): 1377-1380.
- [7] Chen S B, Li Z J. Discussion on allelopathy mechanism of exotic plant invasion. *Ecologic Science*, 2005, 24(1): 69-74.
- [8] Wang C, Dang H S, Tan S D, Zhang Q F. Study on allelopathy and invasiveness of *Conyza sumatrensis* in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze river. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2010, 28(1): 90-98.
- [9] Yang R Y, Zan S T, Tang J J, Chen X. Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 1185-1194.
- [10] Xian Q M, Chen H D, Zou H X, QU L J, Yin D Q. Research advances in allelopathy of aquatic macrophytes. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(6): 664-669.
- [11] Della G M, Fiorentino A, Isidori M. Antialgal furano-diterpenes from *Potamogeton natans* L. *Phytochemistry*, 2001, 58: 299-304.
- [12] Gross E M, Meyer H, Schilling G. Release and ecological impact of algicidal hydrolysable polyphenols in *Myriophyllum spicatum*. *Phytochemistry*, 1996, 41(1): 133-138.
- [13] Miao L H, Wang Y. The determination of allelopathic effect of *Thalia dealbata*—an exotic aquatic plant. *Wetland Science*, 2012, 10(1): 81-86.
- [14] Zhang R M, Wang Y Z, Hou P, Wen G S, Gao Y. Physiological responses to allelopathy of aquatic stem and leaf extract of *Artemisia frigida* in seedling of several pasture plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2197-2204.
- [15] Li H S. Plant physiology and biochemistry experiment principle and technology. Beijing: Higher Education Press. 2000.
- [16] Rice E L. Allelopathy(2nd ed.). New York: Academic Press, 1984: 45.
- [17] Hierro J L, Callaway R M. Allelopathy and exotic plant invasion. 2003, *Plant Soil*, 256: 29-39.
- [18] Shi G R, Ma C C. Biological characteristics of alien plants successful invasion. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 727-732.
- [19] Sun B Y, Tan J Z, Wan Z G, Gu F G, Zhu M D. Allelopathic effects of extracts from *Solidago canadensis* L. against seed germination and seedling growth of some plants. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, 18(2): 304-309.
- [20] Huang H W, Li J, Dong L Y, Zhang H J. The study on allelopathy of *Solidago canadensis* L. to several plants. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2009, 32(1): 48-54.
- [21] Gao X X, Li M, Gao Z J, Zhang H J, Zhang J. Allelopathic potential of *Xanthium sibiricum* on seeds germination and seedling growth of different plants. *Acta Prticulturae Sinica*. 2009, 18(2): 95-101.
- [22] Yu J H, Zhang Y, Niu C X, Li J J. Effects of two kinds of allelochemicals on photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of *Solanum melongena* L. seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1629-1632.
- [23] Kubanek J, Hay, M E, Brown P J, Lindquist N, Fenical W. Lignoid chemical defenses in the freshwater macrophyte *Saururus cernuus*. *Chemoecology*, 2001, 11: 1-8.
- [24] Gross E M. Seasonal and spatial dynamics of allelochemicals in the submersed macrophyte *Myriophyllum spicatum* L. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 2000, 27: 2116-2119.
- [25] He C Q, Zhao K Y. Allelopathic Effect and Its Use in Wetland Study. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(4): 46-51.
- [26] Politycak B. Free and glucosylated phenolics, phenol  $\beta$ -glucosyltransferase activity and membrane permeability in cucumber roots affected by derivatives of cinnamic and benzoic acids. *Acta Physiologiae Plantarum*, 1997, 19(3): 311-317.

#### 参考文献:

- [1] 田军东, 史团省, 朱世新, 张书杰. 引种植物水竹芋捕虫行为的初步观察研究. *世界科技研究与发展*, 2007, 29(3): 62-65.
- [2] 缪丽华, 陈煜初, 石峰, 王莹莹. 湿地外来植物再力花入侵风险研究初报. *湿地科学*, 2010, 8(4): 395-400.
- [3] 石雷, 杨璇. 人工湿地植物量及其对净化效果影响的研究. *生态环境学报*, 2010, 19(1): 28-33.
- [4] 曹晓, 刘红玉, 李玉凤, 郑因. 西溪湿地公园湿地植物群落及其与水环境质量的关系. *生态与农村环境学报*, 2011, 27(3): 69-75.
- [5] 张中信, 张小平, 刘慧君, 邵剑文. 加拿大一枝黄花和一枝黄花的化感作用比较研究. *武汉植物学研究*, 2010, 28(2): 191-198.
- [7] 陈圣宾, 李振基. 外来植物入侵的化感作用机制探讨. *生态科学*, 2005, 24(1): 69-74.
- [8] 王岑, 党海山, 谭淑端, 张全发. 三峡库区苏门白酒草 (*Conyza sumatrensis*) 化感作用与入侵性研究. *武汉植物学研究*, 2010, 28(1): 90-98.
- [9] 杨如意, 笕树婷, 唐建军, 陈欣. 加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展. *生态学报*, 2011, 31(4): 1185-1194.
- [10] 鲜启鸣, 陈海东, 邹惠仙, 曲丽娟, 尹大强. 淡水水生植物化感作用研究进展. *生态学杂志*, 2005, 24(6): 664-669.
- [13] 缪丽华, 王媛. 外来水生植物再力花的化感作用探析. *湿地科学*, 2012, 10(1): 81-86.
- [14] 张汝民, 王玉芝, 侯平, 温国胜, 高岩. 几种牧草幼苗对冷蒿茎叶水浸提液化感作用的生理响应. *生态学报*, 2010, 30(8): 2197-2204.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社. 2000.
- [18] 史刚荣, 马成仓. 外来植物成功入侵的生物学特征. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 727-732.
- [20] 黄洪武, 李俊, 董立尧, 张宏军. 加拿大一枝黄花对植物化感作用的研究. *南京农业大学学报*, 2009, 32(1): 48-54.
- [21] 高兴祥, 李美, 高宗军, 张宏军, 张佳. 苍耳对不同植物幼苗的化感作用研究. *草业学报*, 2009, 18(2): 95-101.
- [22] 郁继华, 张韵, 牛彩霞, 李建建. 两种化感物质对茄子幼苗光合作用及叶绿素荧光参数的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1629-1632.
- [25] 何池全, 赵魁义. 植物的生化他感效应及其在湿地研究中的应用. *生态学杂志*, 1999, 18(4): 46-51.

CONTENTS

|                                                                                                                                                                                    |                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy .....                                                                        | WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)           |
| Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts ..... | ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)                |
| Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin .....                                           | ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)            |
| Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain .....                                    | WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)              |
| A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution .....                                                                                     | LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)        |
| Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species .....                                                                                                 | XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)     |
| Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province .....                                                                                         | HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)           |
| Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species .....                                                                                                       | ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)   |
| Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest .....                                | WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)              |
| Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil .....                                                                                                    | ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)    |
| Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia .....                                                                | HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)          |
| Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland .....                                                                              | WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)       |
| Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010 .....                                                                             | LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)       |
| The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing .....                                                   | CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)                  |
| Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity .....                                                                                    | LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)               |
| The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River .....                                     | GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)                 |
| Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers .....                                                      | ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443) |
| Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area .....                                                  | ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)   |
| The effect of artificial warming during winter on white clover ( <i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring .....                      | ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)             |
| Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests .....                                                | HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)          |
| The cloning and expression of WUE-related gene ( <i>PdEPF1</i> ) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i> .....                                                          | GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)                |
| The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants .....                                                          | MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)               |
| Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco .....                 | ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)          |
| Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies .....                                                              | WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)                |
| Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development .....            | YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)                |
| The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer .....                                                                                                 | HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)      |
| Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin .....                                          | WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)         |
| Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly) .....                                                                       | WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)         |
| <b>Review and Monograph</b>                                                                                                                                                        |                                                            |
| Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review .....                                                                                                         | CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)                |
| Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years .....                                                                                             | WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)             |
| <b>Discussion</b>                                                                                                                                                                  |                                                            |
| Food waste management in China: status, problems and solutions .....                                                                                                               | HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)             |
| <b>Scientific Note</b>                                                                                                                                                             |                                                            |
| Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth .....                 | LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)             |
| Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China .....                                                                                             | YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)          |

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>Shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主 编           | 冯宗炜                                                                                                                | Editor-in-chief | FENG Zong-Wei                                                                                                                                                                   |
| 主 管           | 中国科学技术协会                                                                                                           | Supervised by   | China Association for Science and Technology                                                                                                                                    |
| 主 办           | 中国生态学学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                 |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:1000717                                                                      | Published by    | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                        |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail:journal@cspg.net                          | Distributed by  | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel:(010)64034563<br>E-mail:journal@cspg.net                                                |
| 订 购           | 全国各地邮局                                                                                                             | Domestic        | All Local Post Offices in China                                                                                                                                                 |
| 国外发行          | 中国国际图书贸易总公司<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                      |
| 广告经营<br>许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                     |                 |                                                                                                                                                                                 |



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元