

## 香蒲不同部位水浸提液对 4 种水生植物种子的化感作用

冯 彬<sup>1</sup>, 何云核<sup>1</sup>, 赵 爽<sup>1</sup>, 郭 明<sup>2</sup>

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院; 2. 浙江农林大学 理学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 探讨香蒲 *Typha orientalis* 不同部位水浸提液对黄菖蒲 *Iris pseudacorus*, 苦草 *Vallisneria spiralis*, 茆菜 *Nymphoides peltatum* 和芦苇 *Phragmites australis* 等 4 种水生植物化感效应和作用规律。采用室内离体生测法, 研究 0.5, 5.0 和 50.0 g·L<sup>-1</sup> 3 个质量浓度梯度的香蒲根、叶和蒲黄浸提液对 4 种水生植物种子发芽率及幼苗的生长影响, 并对受抑制作用最强的黄菖蒲幼苗测定其丙二醛(MDA)和超氧化物歧化酶(SOD)活性。结果表明: 香蒲各部位浸提液对 4 种植物的发芽率、幼芽和幼根的生长均有显著( $P < 0.05$ )的化感抑制作用, 总体趋势表现出低促高抑的双重质量浓度效应; 不同部位浸提液对 4 种水生植物的抑制作用强弱顺序为叶浸提液 > 蒲黄浸提液 > 根浸提液, 且对幼根生长的影响大于幼芽; 3 种浸提液处理下, 黄菖蒲幼苗体内 MDA 随浸提液质量浓度的升高而增大, SOD 均表现出先升高后下降的趋势。香蒲水浸提液通过对水生植物种子的化感效应, 引起细胞的膜脂过氧化加剧, 抗氧化酶系统受到损伤, 从而抑制水生植物种子的萌发和幼苗的生长, 叶片是香蒲主要的化感作用部位。图 2 表 3 参 30

**关键词:** 植物学; 香蒲; 水浸提液; 化感作用; 抑制作用

中图分类号: S718.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)03-0427-10

## Allelopathic effects of aqueous extracts from different organs of *Typha orientalis* on seeds of four aquatic plants

FENG Bin<sup>1</sup>, HE Yunhe<sup>1</sup>, ZHAO Shuang<sup>1</sup>, GUO Ming<sup>2</sup>

(1. School of Landscape Architecture, Zhenjiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** This study was conducted to explore the allelopathic the law of action for aquatic extracts using different organs of *Typha orientalis* and the effect on seeds of four species of hydrophytes: *Iris pseudacorus*, *Vallisneria spiralis*, *Nymphoides peltatum*, and *Phragmites australis*. The petri-dish cultivation method was used to determine the influence on germination and growth of the radicle and seedling using three different concentrations including 0.5 g·L<sup>-1</sup>, 5.0 g·L<sup>-1</sup> and 50.0 g·L<sup>-1</sup> of root, leaf, and pollen extracts on the four prepared seeds. In addition, the activities of malondialdehyde (MDA) and superoxide dismutase (SOD) for *I. pseudacorus* were measured. Results showed that root, leaf, and pollen extracts of *T. orientalis* had strong effects on germination and seedling growth. Overall, low concentrations promoted and high concentrations inhibited with inhibition being in the order of leaf extract > pollen extract > root extract and with the effect on the radicle being greater than the seedling. For three aquatic extracts, MDA activity of *Iris pseudacorus* increased with the extract concentration; whereas, SOD activity showed an 'up-down' pattern. Thus, the effects of *T. orientalis* aqueous extracts on seeds of aquatic plants caused membrane lipid peroxidation and destroyed antioxidant enzyme systems which eventually affected the germination and growth of seedlings; meanwhile, leaves were the main organ causing allelopathic effects. [Ch, 2 fig. 3 tab. 30 ref.]

收稿日期: 2016-05-23; 修回日期: 2016-09-12

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201410341016); 浙江省大学生创新创业训练计划项目(201211030221)

作者简介: 冯彬, 从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail: 862737449@qq.com。通信作者: 郭明, 教授, 博士, 从事天然活性产物互作的分子作用机理研究。E-mail: guoming@zafu.edu.cn

**Key words:** botany; *Typha orientalis*; aquatic extract; allelopathy; inhibition

化感现象广泛存在于植物界。植物之间的化感作用对生态系统有着不可忽视的影响<sup>[1]</sup>,是植物通过向环境中释放某些次生代谢物质,从而影响自身及其伴生有机体生长发育的现象,是植物间相互作用的主要方式<sup>[2-3]</sup>。近年来,植物间的化感作用已成为国内外科学研究的热点领域。科学合理利用植物间的化感作用规律,对调控生态系统平衡和群落演替,促进农林业生产,发挥园林生态系统功能具有极其重要的意义。水生园林植物是一类独特的植物类群,在现代园林城市的建设中被广泛应用,但在实际的植物景观营造中,往往仅仅考虑植物配置的艺术性而忽略植物间的生态关系。水生园林植物具有很强的化感效应,抑制伴生物种的生长,扩大自身的生长空间,快速蔓延,形成单一的优势种群,导致园林景观的可持续性差。近年来对外来陆生植物的化感作用研究较多<sup>[4-7]</sup>,对水生植物化感作用的研究还处于探索阶段<sup>[8-11]</sup>。水生态系统相对复杂,对它们的研究手段相对滞后,使得水生植物的化感作用没有得到应有的重视。水生植物间的相互作用对水生生物群落的组成起着非常重要的作用<sup>[12-13]</sup>,尤其在园林水生植物的科学配置方面具有很强的实践意义,深入开展水生植物化感作用研究是极有必要的。香蒲 *Typha orientalis* 为香蒲科 Typhaceae 香蒲属 *Typha* 多年生水生或沼生草本植物,叶绿穗奇,常用于点缀园林水景,营造湿地景观,具有净化水体的功能,是优良的水生观赏植物,但香蒲繁殖能力快,侵占能力强,常出现单种群,对湿地环境构成潜在的威胁,很可能成为对生态系统危害很严重的入侵种,MEGHANN 等<sup>[14]</sup>研究表明:香蒲具有强烈的化感效应。本研究通过不同质量浓度的香蒲根、叶和蒲黄浸提液处理黄菖蒲 *Iris pseudacorus*, 苦草 *Vallisneria spiralis*, 荇菜 *Nymphaeaceae peltatum* 和芦苇 *Phragmites australis* 等 4 种伴生植物种子,从形态指标和生理指标 2 个层次分析其化感效应,为研究香蒲的快速蔓延机制及其园林植物配置提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2015年8月,于浙江农林大学校园植物园湿地公园随机挖取生长健壮、长势一致、无病虫害、株高 1.4~1.8 m 的香蒲植株,将根、叶和蒲黄分开并用清水冲洗干净,阴干后分别用粉碎机粉碎成粉末备用。受体植物分别为黄菖蒲、苦草、荇菜和芦苇 4 种植物种子,购买于江苏省沐阳县香林花木场公司。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 香蒲水浸提液的制备** 根据文献方法<sup>[15]</sup>,分别准确称量香蒲的根、叶和蒲黄粉末 10.00 g 于三角烧瓶中,加入 200 mL 蒸馏水于摇床上振荡 48 h,粗提液经 2 层纱布过滤 3 次后在相对离心力 2 400 g 下离心 10 min,取上清液,用 0.22 μm 孔径微孔滤膜的减压抽滤,得到香蒲根、叶和蒲黄浸提液母液,质量浓度为 50.0 g·L<sup>-1</sup>(即 1 L 蒸馏水中含有 50 g 干粉)。用蒸馏水将母液稀释成 0.5, 5.0 和 50.0 g·L<sup>-1</sup> 3 个质量浓度,保存在 4 °C 冰箱中备用。

**1.2.2 种子萌发实验** 选取籽粒饱满、均一的 4 种水生植物种子,用 1.0 g·L<sup>-1</sup> 高锰酸钾溶液消毒种子 10 min,然后经蒸馏水冲洗 5 次,并用滤纸吸去种子表面多余水分,采用培养皿滤纸法进行试验,均匀播种于垫有 2 张滤纸的培养皿中(直径 9 cm);种子 50 粒·皿<sup>-1</sup>,4 种水生植物种子分别加入不同质量浓度香蒲根、叶和蒲黄浸提液 10 mL,盖上盖,将培养皿置于 25 °C,光强 80 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,12 h 光照下的光照培养箱中进行培养,隔 24 h 加 2 mL 水以保持培养皿内滤纸的湿度,实验重复 3 次,参照刘忠玲等<sup>[16]</sup>和高丹等<sup>[17]</sup>。本实验采用蒸馏水为对照,重复 3 次。

**1.2.3 化感作用的生物测定** 化感作用的生物测定,目前通常有 2 种方法<sup>[18-20]</sup>:一种是测定经浸提液处理后种子萌发所得到的幼苗的生长指标,一种是将幼苗生长实验与种子萌发实验分开独立进行。本研究采用第 1 种方法,15 d 后统计各处理种子发芽数计算发芽率。从各个培养皿中随机挑选 10 株幼苗,测量单株幼芽和幼根的长度,并将幼苗芽和根分离,分别称量鲜质量;置于 105 °C 的烘箱杀青 0.5 h,70 °C 烘干至恒量,并测定其干质量。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法,丙二醛(MDA)质量摩尔浓度的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法<sup>[21]</sup>。

发芽率=(发芽的种子数/50)×100%。化感效应指数( $I_R$ )采用 WILLIAMSON 等<sup>[22]</sup>方法计算:当  $T \geq C$

时,  $I_R=T/C-1$ ; 当  $T<C$  时,  $I_R=1-C/T$ , 其中:  $C$  为对照值,  $T$  为处理值,  $I_R$  为化感效应指数 ( $I_R>0$  为促进作用,  $I_R<0$  为抑制作用, 绝对值大小与作用强度一致)。

综合效应 ( $E_s$ ) 表示化感综合效应的大小<sup>[23]</sup>。  $E_s=(I_{R\text{发芽率}}+I_{R\text{幼根长度}}+I_{R\text{幼芽长度}}+I_{R\text{幼根鲜质量}}+I_{R\text{幼芽鲜质量}}+I_{R\text{幼根干质量}}+I_{R\text{幼芽干质量}})/7$ 。

1.3 数据处理

对实验数据分析采用 SPSS 软件进行显著性检验和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度香蒲根、叶和蒲黄浸提液对 4 种植物种子发芽率的影响

由表 1 和图 1 可以看出：香蒲根、叶和蒲黄水浸提液分别对 4 种植物种子发芽率表现出一定的化感效应，总体趋势为低促高抑的效应。

2.1.1 叶浸提液对 4 种植物种子的发芽率的影响 4 种植物种子发芽率大致是随香蒲叶浸提液质量浓度增加而降低。0.5 g·L<sup>-1</sup> 叶浸提液处理条件下，黄菖蒲种子发芽率比对照略有降低，与对照达到了显著性差异 ( $P<0.05$ )；对苦草种子萌发无明显影响，对荇菜和芦苇种子发芽均表现一定的促进作用。5.0 g·L<sup>-1</sup> 叶浸提液下 4 种植物种子的发芽率均比对照低，黄菖蒲、苦草、荇菜和芦苇的发芽率分别下降 16.00%，

表 1 不同质量浓度香蒲根、叶和蒲黄浸提液对 4 种植物种子发芽率的影响

Table 1 Effects of aquatic extractions from the different organ of *Typha orientalis* on seed germination rates of the four plants

供体	$\rho$ 浸提液 / (g·L <sup>-1</sup> )	黄菖蒲		苦草		荇菜		芦苇	
		发芽种子数	发芽率/%	发芽种子数	发芽率/%	发芽种子数	发芽率/%	发芽种子数	发芽率/%
叶浸提液	0(ck)	48.00 ± 1.00 Aa	96.00	41.33 ± 1.53 Aa	82.66	40.00 ± 1.00 Aa	80.00	26.00 ± 1.00 Aa	52.00
	0.5	43.33 ± 2.52 ABb	86.67	41.33 ± 2.08 Aa	82.66	41.00 ± 1.00 Aa	82.00	26.33 ± 0.58 Aa	52.66
	5.0	40.00 ± 2.00 Bb	80.00	34.67 ± 2.52 Bb	69.34	34.33 ± 2.52 Bb	68.66	22.67 ± 2.08 Ab	45.34
	50.0	26.33 ± 2.51 Cc	52.66	25.00 ± 3.00 Cc	50.00	26.67 ± 2.08 Cc	53.34	18.67 ± 1.52 Bc	37.34
根浸提液	0(ck)	48.00 ± 1.00 Aa	96.00	41.33 ± 1.53 Aa	82.66	40.00 ± 1.00 Aa	80.00	26.00 ± 1.00 Aa	52.00
	0.5	47.00 ± 1.73 Aab	94.00	41.67 ± 2.52 Aa	83.34	42.00 ± 2.65 Aa	84.00	26.23 ± 0.58 Aa	53.34
	5.0	43.00 ± 3.00 Ab	86.00	37.33 ± 2.52 Ab	74.66	37.67 ± 2.08 ABa	75.34	24.67 ± 0.58 ABa	49.34
	50.0	31.33 ± 2.52 Bc	62.66	30.00 ± 1.73 Bc	60.00	32.00 ± 3.00 Bb	64.00	22.00 ± 2.00 Bb	44.00
蒲黄浸提液	0(ck)	48.00 ± 1.00 Aa	96.00	41.33 ± 1.53 Aa	82.66	40.00 ± 1.00 Aa	80.00	26.00 ± 1.00 Aa	52.00
	0.5	47.33 ± 2.08 Aa	94.66	40.00 ± 1.00 Aab	80.00	40.00 ± 1.73 Aa	80.00	27.00 ± 1.73 Aa	54.00
	5.0	42.67 ± 3.51 Ab	85.34	37.00 ± 2.65 ABb	74.00	36.00 ± 2.00 Ab	72.00	23.67 ± 1.15 ABb	47.34
	50.0	29.67 ± 2.51 Bc	59.38	32.33 ± 1.53 Bc	64.66	29.67 ± 2.52 Bc	59.34	21.33 ± 0.58 Bc	42.66

说明：同列数据后标不同小写字母者表示在 5% 水平的差异 ( $P<0.05$ )；标不同大写字母者表示在 1% 水平的差异 ( $P<0.01$ )。

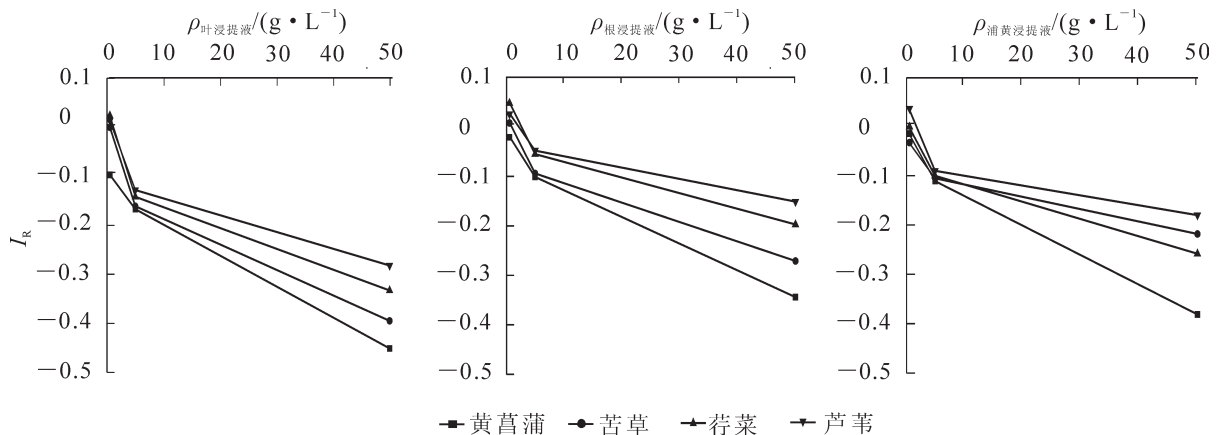


图 1 不同部位水浸提液对 4 种植物种子发芽率的化感效应

Figure 1 Allelopathic effects of aquatic extractions from the different organ of *Typha orientalis* on seed germination rates of the four plants



13.32%, 11.34%和 6.66%, 与对照差异达到显著水平 ( $P<0.05$ )。50.0 g·L<sup>-1</sup> 叶浸提液对 4 种植物种子萌发表现出抑制作用, 发芽率与对照差异达到极显著水平 ( $P<0.01$ ); 50.0 g·L<sup>-1</sup> 叶浸提液对 4 种植物种子的化感抑制作用强弱的顺序: 黄菖蒲 ( $I_R=-0.451$ ) > 苦草 ( $I_R=-0.395$ ) > 荇菜 ( $I_R=-0.333$ ) > 芦苇 ( $I_R=-0.282$ )。在 50.0 g·L<sup>-1</sup> 叶浸提液作用下黄菖蒲种子发芽率为 52.66%, 比对照下降 43.34%, 其化感效应指数达到-0.451。

**2.1.2 根浸提液对 4 种植物种子发芽率的影响** 随根浸提液质量浓度增加, 对种子萌发抑制作用越强, 但质量浓度低时, 可提高苦草、荇菜和芦苇种子发芽率, 表现双重质量浓度效应, 0.5 g·L<sup>-1</sup> 根浸提液抑制黄菖蒲种子萌发, 其发芽率与对照差异达到显著水平 ( $P<0.05$ ), 对苦草、荇菜和芦苇种子发芽均表现一定的促进作用。5.0 g·L<sup>-1</sup> 根浸提液抑制黄菖蒲和苦草种子发芽, 差异达到显著水平 ( $P<0.05$ ), 与对照相比发芽率分别下降 10.00%和 8.00%, 对荇菜和芦苇种子萌发具有一定的抑制作用, 但与对照差异均未达到显著水平。50.0 g·L<sup>-1</sup> 根浸提液对 4 种植物种子萌发表现出抑制作用, 发芽率与对照差异达到极显著水平 ( $P<0.01$ ), 50.0 g·L<sup>-1</sup> 根浸提液对 4 种植物种子的化感抑制作用强弱的顺序: 黄菖蒲 ( $I_R=-0.347$ ) > 苦草 ( $I_R=-0.274$ ) > 荇菜 ( $I_R=-0.200$ ) > 芦苇 ( $I_R=-0.154$ ), 在 50.0 g·L<sup>-1</sup> 根浸提液作用下黄菖蒲种子发芽率为 62.66%, 比对照下降 33.34%, 其化感效应指数达到-0.347。

**2.1.3 蒲黄浸提液对 4 种植物种子发芽率的影响** 4 种植物种子发芽率大致是随香蒲蒲黄浸提液质量浓度增加而降低, 但低质量浓度时促进芦苇种子萌发。0.5 g·L<sup>-1</sup> 蒲黄浸提液抑制苦草种子萌发, 与对照差异达到显著水平 ( $P<0.05$ ), 对黄菖蒲种子发芽表现一定的抑制作用, 但未达到差异显著水平, 对荇菜种子发芽无明显影响。5.0 g·L<sup>-1</sup> 蒲黄浸提液下 4 种植物种子的发芽率均比对照低, 黄菖蒲、苦草、荇菜和芦苇的发芽率分别下降了 10.66%, 8.66%, 8.00%和 4.66%, 达到显著性差异 ( $P<0.05$ )。50.0 g·L<sup>-1</sup> 蒲黄浸提液抑制 4 种植物种子的发芽, 发芽率与对照差异达到极显著水平 ( $P<0.01$ ), 50.0 g·L<sup>-1</sup> 香蒲蒲黄浸提液对 4 种植物种子的化感抑制作用强弱的顺序: 黄菖蒲 ( $I_R=-0.381$ ) > 荇菜 ( $I_R=-0.258$ ) > 苦草 ( $I_R=-0.218$ ) > 芦苇 ( $I_R=-0.180$ ), 在 50.0 g·L<sup>-1</sup> 蒲黄浸提液作用下黄菖蒲种子发芽率为 59.38%, 比对照下降 36.62%, 其化感效应指数达到-0.381。在高质量浓度不同部位水浸提液处理下, 均可抑制 4 种植物种子的萌发, 但不同植物种子受到不同部位水浸提液的化感抑制作用强弱顺序不同。在 50.0 g·L<sup>-1</sup> 不同部位浸提液质量浓度下对黄菖蒲、荇菜和芦苇抑制作用强弱顺序: 叶浸提液 > 蒲黄浸提液 > 根浸提液, 而对苦草的抑制作用强弱顺序: 叶浸提液 > 根浸提液 > 蒲黄浸提液, 均表现出叶浸提液对 4 种植物种子萌芽化感抑制作用最强。

## 2.2 不同质量浓度香蒲根、叶和蒲黄浸提液对 4 种水生植物幼苗生长的影响

从表 2 可以看出: 4 种水生植物幼苗生长与香蒲根、叶和蒲黄浸提液的质量浓度有明显关系, 并表现出一定的质量浓度效应, 浸提液质量浓度低时, 促进幼苗的生长, 随着浸提液质量浓度的升高而抑制幼苗的生长。

**2.2.1 叶浸提液对 4 种水生植物幼苗生长的影响** 从表 2 可见: 不同质量浓度的香蒲叶浸提液对 4 种水生植物幼苗生长均有不同程度的化感效应。比较 4 种水生植物幼苗生长在 3 种质量浓度叶浸提液下的影响规律, 表明香蒲叶浸提液对 4 种水生植物幼苗的生长均具有质量浓度效应。当叶浸提液质量浓度为 0.5 g·L<sup>-1</sup> 时, 对黄菖蒲和苦草 2 种植物的幼根长、幼根鲜质量、幼根干质量、幼芽长、幼芽鲜质量和干质量均有一定的化感抑制作用, 而对荇菜幼苗的生长和芦苇幼苗的根长、幼根鲜质量和干质量有一定的化感促进作用。当叶浸提液质量浓度等于或大于 5.0 g·L<sup>-1</sup> 时, 对 4 种水生植物幼苗的生长均有明显的化感抑制作用, 而且质量浓度为 50.0 g·L<sup>-1</sup> 时化感抑制作用强于叶浸提液质量浓度 5.0 g·L<sup>-1</sup> 时。叶浸提液质量浓度 5.0 g·L<sup>-1</sup> 时, 对苦草幼根、幼芽长、幼根干质量和幼芽鲜质量, 黄菖蒲幼根鲜质量、幼芽长和幼芽干质量的化感抑制作用最强。当叶浸提液质量浓度 50.0 g·L<sup>-1</sup>, 4 种水生植物幼苗生长的形态指标, 与对照相比均达到差异极显著水平 ( $P<0.01$ ), 50.0 g·L<sup>-1</sup> 香蒲叶浸提液对 4 种植物幼苗幼根长、幼根鲜质量、幼芽长、幼芽鲜质量和幼芽干质量的抑制作用强弱的顺序为黄菖蒲 > 苦草 > 荇菜 > 芦苇, 而对 4 种植物幼苗幼根干质量的抑制作用强弱的顺序为黄菖蒲 > 荇菜 > 苦草 > 芦苇, 50.0 g·L<sup>-1</sup> 下黄菖蒲幼苗的幼根长度、幼根鲜质量和干质量, 幼芽长度、幼芽鲜质量和干质量与对照相比下降的最多, 分别下降了 61.70%, 49.30%, 50.70%, 38.90%, 33.90%和 34.10%。

2.2.2 根浸提液对 4 种水生植物幼苗生长的影响 从表 2 分析比较 3 个质量浓度梯度根浸提液对 4 种水生植物幼苗生长的影响规律, 可见香蒲根浸提液对 4 种植物幼苗生长的影响表现为低质量浓度促进高质量浓度抑制。在根浸提液质量浓度为  $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  作用下, 除苦草幼根长外, 对 4 种水生植物幼苗生长的幼

表 2 不同质量浓度香蒲根、叶和蒲黄浸提液对 4 种水生植物幼苗生长的影响

Table 2 effects of aquatic extractions from the different organ of *Typha orientalis* on seedling growth of the four plants

浸提液	$\rho/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	黄菖蒲					
		幼根长/cm	根鲜质量/mg	根干质量/mg	幼芽长/cm	芽鲜质量/mg	芽干质量/mg
叶	0(ck)	$5.12 \pm 0.64 \text{ Aa}$	$223.00 \pm 5.00 \text{ Aa}$	$23.67 \pm 0.57 \text{ Aa}$	$2.85 \pm 0.24 \text{ Aa}$	$451.00 \pm 1.00 \text{ Aa}$	$67.33 \pm 0.85 \text{ Aa}$
	0.5	$4.42 \pm 0.49 \text{ ABb}$	$207.00 \pm 5.02 \text{ Ab}$	$23.00 \pm 0.97 \text{ ABa}$	$2.80 \pm 0.25 \text{ Aa}$	$436.00 \pm 4.00 \text{ Ab}$	$63.83 \pm 0.82 \text{ Ab}$
	5.0	$3.65 \pm 0.37 \text{ Bc}$	$135.00 \pm 5.00 \text{ Bc}$	$18.00 \pm 0.19 \text{ Bb}$	$2.23 \pm 0.12 \text{ Bb}$	$392.00 \pm 4.60 \text{ Bc}$	$47.80 \pm 0.99 \text{ Bc}$
	50.0	$1.96 \pm 0.46 \text{ Cd}$	$113.00 \pm 4.00 \text{ Cd}$	$11.67 \pm 0.15 \text{ Cc}$	$1.59 \pm 0.11 \text{ Cc}$	$233.00 \pm 3.25 \text{ Cd}$	$35.80 \pm 0.70 \text{ Cd}$
根	0(ck)	$5.12 \pm 0.64 \text{ Aa}$	$223.00 \pm 5.00 \text{ Aa}$	$23.67 \pm 0.57 \text{ Aa}$	$2.85 \pm 0.24 \text{ Aa}$	$451.00 \pm 1.00 \text{ Aab}$	$67.33 \pm 0.85 \text{ Aa}$
	0.5	$5.12 \pm 0.52 \text{ Aa}$	$228.00 \pm 5.00 \text{ Aa}$	$24.30 \pm 0.20 \text{ Aa}$	$2.98 \pm 0.24 \text{ Aa}$	$462.00 \pm 3.16 \text{ Aa}$	$68.60 \pm 0.98 \text{ Aa}$
	5.0	$3.89 \pm 0.45 \text{ Bb}$	$180.00 \pm 4.00 \text{ Bb}$	$19.43 \pm 0.96 \text{ ABb}$	$2.41 \pm 0.21 \text{ ABb}$	$444.00 \pm 3.23 \text{ Ab}$	$58.70 \pm 0.71 \text{ Bb}$
	50.0	$2.82 \pm 0.30 \text{ Cc}$	$144.00 \pm 3.00 \text{ Cc}$	$14.87 \pm 0.40 \text{ Bc}$	$1.87 \pm 0.22 \text{ Bc}$	$353.00 \pm 4.00 \text{ Bc}$	$46.37 \pm 0.59 \text{ Cc}$
蒲黄	0(ck)	$5.12 \pm 0.64 \text{ Aa}$	$223.00 \pm 5.00 \text{ Aa}$	$23.67 \pm 0.57 \text{ Aa}$	$2.85 \pm 0.24 \text{ Aa}$	$451.00 \pm 1.00 \text{ ABa}$	$67.33 \pm 0.85 \text{ Aa}$
	0.5	$4.57 \pm 0.43 \text{ Ab}$	$214.00 \pm 4.00 \text{ Aa}$	$23.03 \pm 0.25 \text{ Aa}$	$2.89 \pm 0.28 \text{ Aa}$	$461.00 \pm 3.50 \text{ Aa}$	$68.30 \pm 0.92 \text{ Aa}$
	5.0	$3.73 \pm 0.33 \text{ Bc}$	$172.00 \pm 3.00 \text{ Bb}$	$19.23 \pm 0.67 \text{ ABb}$	$2.41 \pm 0.29 \text{ Ab}$	$434.00 \pm 3.04 \text{ Bb}$	$55.13 \pm 0.56 \text{ Bb}$
	50.0	$2.75 \pm 0.24 \text{ Cd}$	$135.00 \pm 3.00 \text{ Cc}$	$14.60 \pm 0.35 \text{ Bc}$	$1.74 \pm 0.15 \text{ Bc}$	$298.00 \pm 2.76 \text{ Cc}$	$44.33 \pm 0.75 \text{ Cc}$
浸提液	$\rho/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	苦草					
		幼根长/cm	根鲜质量/mg	根干质量/mg	幼芽长/cm	芽鲜质量/mg	芽干质量/mg
叶	0(ck)	$3.38 \pm 0.41 \text{ Aa}$	$27.00 \pm 2.00 \text{ Aa}$	$6.37 \pm 0.21 \text{ Aa}$	$1.19 \pm 0.19 \text{ Aa}$	$62.00 \pm 2.00 \text{ Aa}$	$14.37 \pm 0.35 \text{ Aa}$
	0.5	$2.95 \pm 0.36 \text{ Ab}$	$26.00 \pm 1.60 \text{ Aa}$	$6.27 \pm 0.15 \text{ Aa}$	$1.18 \pm 0.16 \text{ Aa}$	$59.00 \pm 2.22 \text{ ABa}$	$13.12 \pm 0.35 \text{ ABa}$
	5.0	$2.27 \pm 0.34 \text{ Bc}$	$18.00 \pm 1.00 \text{ ABb}$	$4.93 \pm 0.15 \text{ Bb}$	$0.93 \pm 0.15 \text{ Bb}$	$53.00 \pm 1.16 \text{ Bb}$	$10.80 \pm 0.42 \text{ Bc}$
	50.0	$1.49 \pm 0.18 \text{ Cd}$	$15.00 \pm 0.64 \text{ Bb}$	$3.57 \pm 0.15 \text{ Cc}$	$0.70 \pm 0.07 \text{ Cc}$	$40.00 \pm 2.36 \text{ Cc}$	$8.20 \pm 0.15 \text{ Cd}$
根	0(ck)	$3.38 \pm 0.41 \text{ Aa}$	$27.00 \pm 2.00 \text{ ABa}$	$6.37 \pm 0.21 \text{ ABa}$	$1.19 \pm 0.19 \text{ Aa}$	$62.00 \pm 2.00 \text{ Aa}$	$14.37 \pm 0.35 \text{ Aab}$
	0.5	$3.35 \pm 0.31 \text{ Aa}$	$28.00 \pm 2.00 \text{ Aa}$	$6.53 \pm 0.15 \text{ Aa}$	$1.21 \pm 0.13 \text{ Aa}$	$63.00 \pm 2.06 \text{ Aa}$	$15.07 \pm 0.46 \text{ Aa}$
	5.0	$3.02 \pm 0.28 \text{ Ab}$	$19.00 \pm 1.00 \text{ ABb}$	$5.60 \pm 0.20 \text{ Bb}$	$1.01 \pm 0.11 \text{ Ab}$	$58.00 \pm 1.16 \text{ Aa}$	$12.63 \pm 0.27 \text{ ABb}$
	50.0	$2.51 \pm 0.27 \text{ Bc}$	$17.00 \pm 1.00 \text{ Bb}$	$4.13 \pm 0.25 \text{ Cc}$	$0.77 \pm 0.06 \text{ Bc}$	$46.0 \pm 2.00 \text{ Bb}$	$10.30 \pm 0.25 \text{ Bc}$
蒲黄	0(ck)	$3.38 \pm 0.41 \text{ Aa}$	$27.00 \pm 2.00 \text{ Aa}$	$6.37 \pm 0.21 \text{ Aa}$	$1.19 \pm 0.19 \text{ Aa}$	$62.00 \pm 3.00 \text{ Aa}$	$14.37 \pm 0.35 \text{ Aa}$
	0.5	$3.39 \pm 0.27 \text{ Aa}$	$27.00 \pm 3.00 \text{ Aa}$	$6.47 \pm 0.20 \text{ Aa}$	$1.20 \pm 0.09 \text{ Aa}$	$62.00 \pm 2.26 \text{ Aa}$	$15.30 \pm 0.25 \text{ Aa}$
	5.0	$3.01 \pm 0.25 \text{ Ab}$	$21.00 \pm 2.00 \text{ Aab}$	$5.50 \pm 0.16 \text{ Bb}$	$0.93 \pm 0.08 \text{ ABb}$	$60.00 \pm 2.58 \text{ Aa}$	$12.27 \pm 0.15 \text{ ABb}$
	50.0	$2.33 \pm 0.28 \text{ Bc}$	$18.00 \pm 2.00 \text{ Ab}$	$4.07 \pm 0.15 \text{ Cc}$	$0.80 \pm 0.05 \text{ Bb}$	$43.00 \pm 2.00 \text{ Bb}$	$9.93 \pm 0.15 \text{ Bc}$
浸提液	$\rho/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	荇菜					
		幼根长/cm	根鲜质量/mg	根干质量/mg	幼芽长/cm	芽鲜质量/mg	芽干质量/mg
叶	0(ck)	$3.64 \pm 0.33 \text{ Aa}$	$35.00 \pm 3.00 \text{ Aa}$	$4.53 \pm 0.25 \text{ Aa}$	$1.03 \pm 0.13 \text{ Aa}$	$58.00 \pm 2.13 \text{ Aa}$	$9.40 \pm 0.12 \text{ Aa}$
	0.5	$3.71 \pm 0.39 \text{ Aa}$	$36.00 \pm 2.65 \text{ Aa}$	$4.60 \pm 0.16 \text{ Aa}$	$1.08 \pm 0.06 \text{ Aa}$	$59.00 \pm 2.00 \text{ Aa}$	$9.23 \pm 0.16 \text{ Aa}$
	5.0	$2.57 \pm 0.25 \text{ Bb}$	$24.00 \pm 2.52 \text{ ABb}$	$3.37 \pm 0.11 \text{ Bb}$	$0.84 \pm 0.09 \text{ ABb}$	$52.00 \pm 0.58 \text{ Ab}$	$7.40 \pm 0.07 \text{ ABb}$
	50.0	$1.69 \pm 0.20 \text{ Cc}$	$20.00 \pm 1.22 \text{ Bb}$	$2.47 \pm 0.15 \text{ Bb}$	$0.67 \pm 0.07 \text{ Bb}$	$42.00 \pm 2.00 \text{ Bc}$	$5.80 \pm 0.06 \text{ Bc}$
根	0(ck)	$3.64 \pm 0.33 \text{ ABa}$	$35.00 \pm 3.00 \text{ ABa}$	$4.53 \pm 0.25 \text{ Aa}$	$1.03 \pm 0.13 \text{ ABa}$	$58.00 \pm 2.13 \text{ Aa}$	$9.40 \pm 0.12 \text{ ABa}$
	0.5	$3.69 \pm 0.26 \text{ Aa}$	$37.00 \pm 3.00 \text{ Aa}$	$4.63 \pm 0.20 \text{ Aa}$	$1.09 \pm 0.07 \text{ Aa}$	$60.00 \pm 2.52 \text{ Aa}$	$10.20 \pm 0.09 \text{ Aa}$
	5.0	$3.31 \pm 0.30 \text{ Bb}$	$24.00 \pm 2.51 \text{ ABb}$	$4.00 \pm 0.10 \text{ Ab}$	$0.97 \pm 0.08 \text{ ABab}$	$57.00 \pm 1.97 \text{ Aab}$	$8.43 \pm 0.03 \text{ ABab}$
	50.0	$2.35 \pm 0.27 \text{ Cc}$	$21.00 \pm 1.06 \text{ Bb}$	$3.05 \pm 0.13 \text{ Bc}$	$0.77 \pm 0.05 \text{ Bb}$	$50.00 \pm 1.27 \text{ Ab}$	$6.67 \pm 0.06 \text{ Bb}$
蒲黄	0(ck)	$3.64 \pm 0.33 \text{ Aa}$	$35.00 \pm 3.00 \text{ Aa}$	$4.53 \pm 0.25 \text{ Aa}$	$1.03 \pm 0.13 \text{ Aab}$	$58.00 \pm 2.13 \text{ Aa}$	$9.40 \pm 0.12 \text{ Aab}$
	0.5	$3.64 \pm 0.39 \text{ Aa}$	$37.00 \pm 3.00 \text{ Aa}$	$4.60 \pm 0.10 \text{ Aa}$	$1.07 \pm 0.07 \text{ Aa}$	$60.00 \pm 3.00 \text{ Aa}$	$10.70 \pm 0.09 \text{ Aa}$
	5.0	$3.19 \pm 0.28 \text{ Ab}$	$27.00 \pm 2.00 \text{ Aab}$	$4.03 \pm 0.22 \text{ ABa}$	$0.90 \pm 0.10 \text{ ABb}$	$53.00 \pm 2.00 \text{ ABa}$	$8.00 \pm 0.10 \text{ ABbc}$
	50.0	$2.19 \pm 0.29 \text{ Bc}$	$23.00 \pm 2.00 \text{ Ab}$	$3.13 \pm 0.19 \text{ Bb}$	$0.74 \pm 0.09 \text{ Bc}$	$46.00 \pm 2.00 \text{ Bb}$	$6.73 \pm 0.05 \text{ Bc}$

表2 (续)

Table 2 Continued

浸提液	$\rho/(g \cdot L^{-1})$	芦苇					
		幼根长/cm	根鲜质量/mg	根干质量/mg	幼芽长/cm	芽鲜质量/mg	芽干质量/mg
叶	0(ck)	3.17 ± 0.39 Aa	49.00 ± 3.51 Aa	6.63 ± 0.21 Aa	3.13 ± 0.24 Aa	179.00 ± 3.13 Aa	38.37 ± 1.15 Aa
	0.5	3.19 ± 0.37 Aa	50.00 ± 3.00 Aa	6.67 ± 0.06 Aa	3.10 ± 0.15 Aa	175.00 ± 3.00 ABa	35.27 ± 0.86 Ab
	5.0	2.38 ± 0.26 Bb	37.00 ± 2.00 Bb	5.33 ± 0.15 Bb	2.83 ± 0.16 Ab	163.00 ± 2.89 Bb	30.90 ± 0.95 Bc
	50.0	1.61 ± 0.17 Cc	33.00 ± 1.60 Bb	4.27 ± 0.15 Cc	2.18 ± 0.11 Bc	134.00 ± 1.75 Cc	26.30 ± 0.92 Cd
根	0(ck)	3.17 ± 0.39 Aa	49.00 ± 3.51 Aa	6.63 ± 0.21 Aa	3.13 ± 0.24 Aa	179.00 ± 3.13 Aa	38.37 ± 1.15 ABa
	0.5	3.26 ± 0.32 Aa	50.00 ± 3.00 Aa	6.83 ± 0.22 Aa	3.14 ± 0.15 Aa	182.00 ± 3.00 Aa	39.43 ± 0.85 Aa
	5.0	2.96 ± 0.39 ABa	40.00 ± 2.03 ABb	6.23 ± 0.17 Aa	3.03 ± 0.12 Aa	176.00 ± 3.06 Aa	36.00 ± 0.66 Bb
	50.0	2.58 ± 0.30 Bb	32.00 ± 1.65 Bc	4.93 ± 0.15 Bb	2.59 ± 0.11 Bb	161.00 ± 2.06 Bb	29.37 ± 0.85 Cc
蒲黄	0(ck)	3.17 ± 0.39 Aa	49.00 ± 3.51 Aa	6.63 ± 0.21 Aa	3.13 ± 0.24 Aa	179.00 ± 3.13 Aa	38.37 ± 1.15 ABa
	0.5	3.11 ± 0.30 Aab	49.00 ± 3.51 Aa	6.77 ± 0.15 Aa	3.15 ± 0.17 Aa	183.00 ± 3.40 Aa	39.23 ± 0.91 Aa
	5.0	2.88 ± 0.25 Ab	41.00 ± 2.00 ABb	6.13 ± 0.15 Bb	2.92 ± 0.19 Aa	165.00 ± 2.66 ABb	36.23 ± 0.75 Bb
	50.0	2.25 ± 0.17 Bc	36.00 ± 2.00 Bb	5.13 ± 0.13 Cc	2.32 ± 0.14 Bb	158.00 ± 2.15 Ab	31.13 ± 0.45 Cc

说明: 同列数据后标不同小写字母者表示在 5%水平的差异( $P < 0.05$ ); 标不同大写字母者表示在 1%水平的差异( $P < 0.01$ )。

根长、幼根鲜质量、幼根干质量、幼芽长、幼芽鲜质量和干质量均匀一定的促进作用。当根浸提液质量浓度为  $5.0 g \cdot L^{-1}$  时, 对 4 种植物幼苗生长均表现出较强的抑制作用, 对黄菖蒲幼苗的幼根和幼芽长, 黄菖蒲幼苗的幼根干质量、幼芽干质量, 荇菜幼苗根鲜质量和苦菜幼芽鲜质量的抑制作用最明显。随着根浸提液质量浓度的升高, 对植物幼苗的生长抑制作用增强。当根浸提液质量浓度为  $50.0 g \cdot L^{-1}$  时, 除荇菜幼芽鲜质量外, 4 种水生植物幼苗生长的形态指标, 比对照均减小, 差异达到极显著水平( $P < 0.01$ ),  $50.0 g \cdot L^{-1}$  香蒲根浸提液对黄菖蒲幼根长、荇菜幼根鲜质量、黄菖蒲幼根干质量、苦草幼芽长和鲜质量及黄菖蒲幼芽干质量抑制作用最强, 与对照相比分别下降了 44.90%, 40.00%, 37.20%, 35.30%, 25.80% 和 31.10%。

**2.2.3 蒲黄浸提液对 4 种水生植物幼苗生长的影响** 从表 2 分析比较 3 个质量浓度根浸提液对 4 种水生植物幼苗生长的影响规律, 可见香蒲蒲黄浸提液对 4 种水生植物幼苗生长的化感作用都表现出质量浓度效应。 $0.5 g \cdot L^{-1}$  作用下, 除黄菖蒲和芦苇 2 种植物幼苗生长的幼根长、幼根鲜质量和干质量外, 对 4 种水生植物幼苗的生长均表现出一定的促进作用。在  $5.0 g \cdot L^{-1}$  处理条件下, 对 4 种水生植物幼苗的生长的抑制作用进一步增强。黄菖蒲幼苗的幼根长、幼根鲜质量和干质量, 苦草的幼芽长和鲜质量, 黄菖蒲幼芽干质量, 与对照相比减少最多。蒲黄浸提液质量浓度  $50.0 g \cdot L^{-1}$  时, 对 4 种水生植物幼苗生长抑制作用进一步加强, 除苦草和荇菜幼根鲜质量、芦苇幼芽鲜质量, 与对照相比达到差异显著水平( $P < 0.05$ ), 其他均达到极显著水平( $P < 0.01$ )。  $50.0 g \cdot L^{-1}$  下黄菖蒲幼苗的幼根长度、幼根鲜质量和干质量, 幼芽长度、幼芽鲜质量和干质量减少最多, 与对照相比分别下降了 46.30%, 39.50%, 38.40%, 38.90%, 33.90% 和 34.10%。

### 2.3 不同质量浓度香蒲根、叶和蒲黄浸提液对 4 种水生植物的综合化感效应

从表 3 可以看出: 不同质量浓度的香蒲叶、根和蒲黄浸提液对 4 种植物均有化感效应, 总体趋势表现为低促高抑的质量浓度效应型, 而且不同质量浓度不同部位水浸提液对 4 种植物的化感作用强弱顺序一致, 均表现对黄菖蒲的抑制作用最强, 对芦苇的抑制作用最弱。从不同部位水浸提液对 4 种植物的化感综合效应可知: 香蒲 3 种水浸提液对 4 种植物的化感作用强弱顺序为叶浸提液 > 蒲黄浸提液 > 根浸提液, 表明香蒲叶片可能是化感物质产生的主要部位, 通过叶片淋溶的方式向周围释放化感物质。

### 2.4 不同质量浓度香蒲叶、根和蒲黄浸提液对黄菖蒲丙二醛(MDA)和超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

植物在逆境胁迫下往往发生膜脂过氧化作用, MDA 是膜脂过氧化的最终分解产物, 其含量与逆境伤害程度有密切关系<sup>[24]</sup>。从图 2 可以看出: 黄菖蒲幼苗体内的 MDA 质量摩尔浓度发生了明显的变化, 随着各部位浸提液质量浓度的升高, MDA 质量摩尔浓度也在不断的升高, 且叶浸提液升高的最大, 说

表 3 不同质量浓度香蒲根、叶和蒲黄浸提液对 4 种植物的综合化感效应

Table 3 Synthetic effects of aquatic extractions from the different organ of *Typha orientalis* on the four plants

供体	$\rho/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	综合效应			
		黄菖蒲	苦草	荇菜	芦苇
叶浸提液	0.5	-0.062	-0.046	0.019	-0.010
	5.0	-0.247	-0.237	-0.215	-0.171
	50.0	-0.494	-0.433	-0.395	-0.332
根浸提液	0.5	0.016	0.020	0.043	0.019
	5.0	-0.145	-0.137	-0.108	-0.067
	50.0	-0.342	-0.307	-0.280	-0.207
蒲黄浸提液	0.5	-0.020	0.008	0.037	0.011
	5.0	-0.167	-0.143	-0.131	-0.089
	50.0	-0.385	-0.309	-0.297	-0.218

明黄菖蒲细胞的膜脂过氧化作用加剧，细胞膜受损伤程度逐渐增加。

植物的抗氧化酶系统是自身对外界环境适应的重要抗性机制，植物在外界环境胁迫条件下产生活性氧和自由基。活性氧和自由基积累会引起细胞结构和功能的破坏，SOD 是植物体内一种重要的抗氧化酶，能清除超氧阴离子自由基，从而减少自由基对植物的毒害作用<sup>[24]</sup>，SOD 的活力与植物抗性有密切关系。从图 2 可以看出，随着各部位浸提液质量浓度的增加，黄菖蒲幼苗体内 SOD 活性也显著增加 ( $P < 0.05$ )，当质量浓度为  $50.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时 SOD 活性急剧下降，总体趋势表现为先增大后减少，并且叶浸提液的作用更加明显，表明黄菖蒲幼苗通过提高 SOD 活性，来抵抗各部位浸提液对其产生的毒害作用，但随着浸提液质量浓度的增加，SOD 活性下降，可能是其毒害作用超过了黄菖蒲幼苗自身的调节作用，这与文献结果<sup>[25-26]</sup>类似。

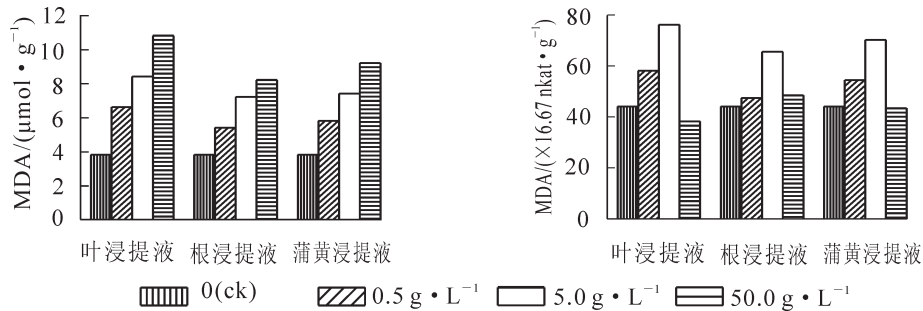


图 2 不同质量浓度的香蒲叶、根和蒲黄浸提液对黄菖蒲 MDA 和 SOD 酶活的影响

Figure 2 Effects of aquatic extractions from the different organ of *Typha orientalis* on MDA and SOD activity of *Iris pseudacorus*

### 3 讨论

植物的化感作用通过抑制受体植物的种子发芽率、幼苗幼芽长和鲜干质量、幼苗根长和根鲜干质量来表现，且不同供体对受体植物的化感效应差异很大<sup>[27]</sup>。本研究结果表明：香蒲的叶浸提液、根浸提液和香蒲浸提液对黄菖蒲、苦草、荇菜和芦苇 4 种植物种子发芽率、幼苗幼芽长和鲜干质量、幼苗根长和根鲜干质量均具有显著的化感抑制作用。通过抑制种子发芽，抑制植物根系的生长从而降低植物对水分和营养的吸收能力，抑制植物地上部分的生长从而导致受体植物的光合作用下降，同时还降低膜脂过氧化保护酶 SOD 活性，加剧膜脂氧化，使 MDA 质量摩尔浓度增加，从而影响幼苗生长，可能是香蒲迅速蔓延的原因之一。

大量的实验结果表明：植物的化感作用存在双重的质量浓度效应，表现为低促高抑现象，同一供体植物对同一受体植物，质量浓度低时产生促进作用，质量浓度高时产生抑制作用<sup>[28]</sup>。本实验研究发现： $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  叶浸提液促进荇菜和芦苇种子萌发， $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  根浸提液促进苦草、荇菜和芦苇种子发芽， $0.5$



$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  蒲黄浸提液促进芦苇种子萌发, 同时不同部位浸提液对 4 种植物的幼苗芽和根的生长同样存在这种现象。在研究中还发现, 不同部位浸提液的化感抑制作用强弱顺序为叶浸提液 > 蒲黄浸提液 > 根浸提液, 这与杨琴琴等<sup>[29]</sup>在香菇草 *Hydrocotyle vulgaris* 水浸提液对植物种子萌发的研究结果类似, 表明香蒲的叶片可能是化感物质产生的最主要场所, 所含的化感物质较根和蒲黄高, 同时主要通过叶片淋溶的方式向外界环境中释放化感物质。本研究结果表明: 香蒲各部位浸提液对根部的抑制作用明显大于幼芽, 这与王媛等<sup>[30]</sup>研究再力花 *Thalia dealbata* 地下部位浸提液对几种常见水生植物的化感作用的结果类似, 表明香蒲对植物的化感作用可能是先通过抑制根的生长, 进而使植株对水分、无机盐和营养元素的吸收减缓, 导致地上部分的生长减慢。

植物的化感作用在植物生态群落演替过程中起着非常重要的作用。在现阶段的园林植物配置中, 设计师们往往仅仅考虑园林植物配置的艺术美, 而没有注意植物间的相互作用关系。本研究采用的 4 种水生植物常作为香蒲的伴生植物。实验表明: 香蒲对伴生植物具有强烈的化感抑制效应, 导致自身迅速生长, 快速蔓延, 成为优势种群, 破坏原有的生态结构, 最终导致园林植物景观系统的持续性变差, 所以在今后的园林植物配置中应注意香蒲的化感作用, 避免它可能成为对水生植物群落有严重危害的入侵种。

#### 4 参考文献

- [1] 拱健婷, 张子龙. 植物化感作用影响因素研究进展[J]. 生物学杂志, 2015, **32**(3): 73 – 77.  
GONG Jianting, ZHANG Zilong. Research advance on influencing factors of plant allelopathy [J]. *J Biol*, 2015, **32**(3): 73 – 77.
- [2] RICE E L. *Allelopathy* [M]. New York: Academic Press, 1984.
- [3] JOSE S, GILLESPIE A R, PALLARDY S G. Interspecific interactions in temperate agroforestry [J]. *Agrofor Syst*, 2004, **61**(1): 237 – 255.
- [4] 杨如意, 咎树婷, 唐建军, 等. 加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展[J]. 生态学报, 2011, **31**(4): 1185 – 1194.  
YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun. *et al.* Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(4): 1185 – 1194.
- [5] 王岑, 党海山, 谭淑端, 等. 三峡库区苏门白酒草(*Conyza sumatrensis*)化感作用与入侵性研究[J]. 武汉植物学研究, 2010, **28**(1): 90 – 98.  
WANG Cen, DANG Haishan, TAN Shuduan. *et al.* Study on allelopathy and invasiveness of *Conyza sumatrensis* in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2010, **28**(1): 90 – 98.
- [6] 郑丽, 冯玉龙. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2005, **25**(10): 2783 – 2787.  
ZHENG Li, FENG Yulong. Allelopathic effects of *Eupatorium adenophorum* Spreng. on seed germination and seedling growth in ten herbaceous species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25**(10): 2783 – 2787.
- [7] 王晓英, 吴洪新. 紫花地丁水浸提液对草地早熟禾和高羊茅的化感作用研究[J]. 中国草地学报, 2015, **37**(1): 97 – 103.  
WANG Xiaoying, WU Hongxin. Study on allelopathy of aquatic extract of *Viola yedoensis* on kentucky bluegrass and tall fescue [J]. *Chin J Grassland*, 2015, **37**(1): 97 – 103.
- [8] GRECA M, FIORENTINO A, ISIDORI M. Antialgal furano-diterpenes from *Potamogeton natans* L. [J]. *Phytochemistry*, 2001, **58**(2): 299 – 304.
- [9] 叶小齐, 吴明, 邵学新, 等. 芦苇(*Phragmites australis*)抑制四种植物扩散的化感潜力研究[J]. 生态科学, 2015, **34**(6): 48 – 55.  
YE Xiaoqi, WU Ming, SHAO Xuexin, *et al.* Allelopathic potential of *Phragmites australis* to inhibit invasion of four expanding plant species [J]. *Ecol Sci*, 2015, **34**(6): 48 – 55.
- [10] GROSS E M, MEYER H, SCHILLING G. Release and ecological impact of algicidal hydrolysable polyphenols in *Myriophyllum spicatum* [J]. *Phytochemistry*, 1996, **41**(1): 133 – 138.
- [11] 王媛, 缪丽华, 高岩, 等. 再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用[J]. 生态学报, 2012, **32**(14): 4488 – 4495.



- WANG Yuan, MIAO Lihua, GAO Yan, *et al.* The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of *Thalia dealbata* to seedling of several aquatic plants [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(14): 4488 – 4495.
- [12] 鲜启明, 陈海东, 邹惠仙, 等. 淡水水生植物化感作用研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, **24**(6): 664 – 669.  
XIAN Qiming, CHEN Haidong, ZOU Huixian, *et al.* Research advances in allelopathy of aquatic macrophytes [J]. *Chin J Ecol*, 2005, **24**(6): 664 – 669.
- [13] 孔垂华, 胡飞, 王朋. 植物化感(相生相克)作用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- [14] JARCHOW M E, COOK B J. Allelopathy as a mechanism for the invasion of *Typha angustifolia* [J]. *Plant Ecol*, 2009, **204**(1): 113 – 124.
- [15] 李美, 高兴祥, 高宗军, 等. 艾蒿对不同植物幼苗的化感作用初探[J]. 草业学报, 2010, **19**(6): 114 – 119.  
LI Mei, GAO Xingxiang, GAO Zongjun, *et al.* A primary study on ailelopathy of *Artemisia vulgaris* [J]. *Acta Pratac Sin*, 2010, **19**(6): 114 – 119.
- [16] 刘忠玲, 王庆成, 郝飞龙, 白桦、落叶松不同器官水浸液对种子萌发和播种苗生长的种间化感作用[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(12): 3138 – 3144.  
LIU Zhongling, WANG Qingcheng, HAO Longfei. Interspecific allelopathic effect of different organs' aqueous extracts of *Betula platyphylla* and *Larix olgensis* on their seed germination and seedling growth [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(12): 3138 – 3144.
- [17] 高丹, 胡庭兴, 黄绍虎, 等. 巨桉主要器官浸提液对 3 种牧草的化感作用初步探讨[J]. 四川农业大学学报, 2007, **25**(3): 365 – 372.  
GAO Dan, HU Tingxing, HUANG Shaohu, *et al.* Allelopathic potentials of water extracts of the main organs of *Eucalyptus grandis* on three species of pastures [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2007, **25**(3): 365 – 372.
- [18] 巩磊, 赵超, 李真真, 等. 苦苣菜茎叶水浸液对生菜和白菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2016, **36**(1): 10 – 14.  
GONG Lei, ZHAO Chao, LI Zhenzhen, *et al.* Effects of aqueous extracts from *Sonchus oleraceus* on seed germination and seedling growth of Chinese cabbage and lettuce [J]. *J Shanxi Agric Univ Nat Sci Ed*, 2016, **36**(1): 10 – 14.
- [19] 黄玉梅, 张杨雪, 刘庆林, 等. 孔雀草水浸提液对 4 种园林植物化感作用的研究[J]. 草业学报, 2015, **24**(6): 150 – 158.  
HUANG Yumei, ZHANG Yangxue, LIU Qinglin, *et al.* Research on allelopathy of aqueous extract from *Tagetes patula* to four garden plants [J]. *Acta Pratac Sin*, 2015, **24**(6): 150 – 158.
- [20] 韩志军, 陈静, 郑寒, 等. 花椒叶浸提液对大豆种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 应用与环境生物学报, 2011, **17**(4): 585 – 588.  
HAN Zhijun, CHEN Jing, ZHENG Han, *et al.* Allelopathic effect of *Zanthoxylum bungeanum* extracts on seed germination and seedling growth of soybean [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2011, **17**(4): 585 – 588.
- [21] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [22] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy measuring treatment responses with independent controls [J]. *J Chem Ecol*, 1988, **14**(1): 181 – 187.
- [23] 董强, 杨顺义, 王琰, 等. 黄花棘豆水浸提液对 4 种受体植物的化感作用的研究[J]. 湖南农业科学, 2010(9): 7 – 10.  
DONG Qiang, YANG Shunyi, WANG Yan, *et al.* Allelopathy of aqueous extracts from *Oxytropis ochrocephala* on four receptor plants [J]. *Hunan Agric Sci*, 2010(9): 7 – 10.
- [24] 路文静, 李奕松. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [25] 熊勇, 屈睿, 王红斌, 等. 空心莲子草不同部位水浸提液对蚕豆、玉米化感作用机制的研究[J]. 中国农学通报, 2011, **27**(18): 158 – 163.  
XIONG Yong, QU Rui, WANG Hongbin, *et al.* The study on allelopathy mechanism of aqueous extracts from the different organizations of *Alternanthera philoxeroides* Griseb on *Vicia faba* and *Zea mays* [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, **27**(18): 158 – 163.
- [26] 刘成, 陈晓德, 吴明, 等. 芦苇叶片化感作用对加拿大一枝黄花生长及生理生化特性的影响[J]. 草业学报, 2014, **6**(3): 182 – 189.  
LIU Cheng, CHEN Xiaode, WU Ming, *et al.* Allelopathic effects of phragmites communis leaves on the growth and

- physiobiochemical characteristics of *Solidago canadensis* [J]. *Acta Pratac Sin*, 2014, **6**(3): 182 – 189.
- [27] 王云, 符亮, 龙凤玲, 等. 2种婆婆纳属植株水浸提液对6种受体植物的化感作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, **41**(4): 178 – 190.
- WANG Yun, FU Liang, LONG Fengling, *et al.* Allelopathic effects of water extractions from two *Veronica* species on 6 kinds of receiving crops [J]. *J Northwest A & F Univ Nat Sci Ed*, 2013, **41**(4): 178 – 190.
- [28] 蔡明, 张美艳, 牟兰, 等. 红三叶(*Trifolium pratense* L.)浸提液对种子的化感效应[J]. 种子, 2016, **35**(1): 11 – 14.
- CAI Ming, ZHANG Meiyang, MU Lan, *et al.* Allelopathic effects of aqueous extract red clover on seed germination [J]. *Seed*, 2016, **35**(1): 11 – 14.
- [29] 杨琴琴, 缪丽华, 洪春桃, 等. 香菇草水浸提液对3种植物种子萌发和幼苗生长的化感效应[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(3): 354 – 358.
- YANG Qinqin, MIAO Lihua, HONG Chuntao, *et al.* Allelopathic effects of *Hydrocotyle vulgaris* extract on seed germination and seedling growth [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2013, **30**(3): 354 – 358.
- [30] 王媛, 缪丽华, 高岩, 等. 再力花地下部水浸提液对几种常见水生植物的化感作用[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(5): 722 – 728.
- WANG Yuan, MIAO Lihua, GAO Yan, *et al.* Allelopathic effects from aqueous extract of exotic *Thalia dealbata* on six aquatic plant species [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(5): 722 – 728.

## 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室落户浙江农林大学

近日, 科技部与浙江省人民政府联合发文, 正式批准省部共建亚热带森林培育国家重点实验室。该国家重点实验室的获批建设, 不仅是浙江农林大学国家级科研平台建设的重大成果, 也标志着浙江省省属大学国家重点实验室实现零的突破。

根据《省部共建国家重点实验室管理办法(试行)》要求, 经浙江省人民政府推荐及专家论证, 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室建设运行期为5年。在建设运行期内, 浙江省政府将按照有关规定, 为实验室提供不低于1300万元每年的实验室建设、日常运行、开放课题设立和人才引进培养专项经费; 科技部将统筹技术创新引导专项和基地人才专项等国家科技计划支持实验室科研能力和科研基础条件建设, 协助实验室建立高水平国家科研基地之间的学术交流与合作关系, 提升实验室研究能力和水平。

根据建设运行实施方案, 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室将围绕亚热带地区突出的森林资源质量精准提升理论与技术及区域生态安全等存在的问题, 按照“区域急需, 世界一流”的要求, 重点就林木种质创新与高效繁育、林木生长发育与品质调控、森林结构特征与定向培育、森林生态功能与固碳增汇等4个研究方向开展基础研究与应用基础研究。同时, 加强科研成果的转化应用, 着力解决中国亚热带区域日益突出的经济发展与环境污染的矛盾, 推动中国林学学科和现代林业发展, 为践行绿水青山就是金山银山的“两山”理论提供科技支撑。