

再力花地下部水浸提液对几种常见水生植物的化感作用

王媛¹, 缪丽华², 高岩¹, 季梦成¹

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300; 2. 中国湿地博物馆, 浙江 杭州 310013)

摘要: 采用生物测定方法研究了再力花 *Thalia dealbata* 地下部水浸提液对荇菜 *Nymphoides peltatum*, 苦草 *Vallisneria natans*, 水田芥 *Nasturtium officinale*, 黄菖蒲 *Iris pseudacorus*, 芦苇 *Phragmites australis* 和水蓼 *Polygonum hydropiper* 等 6 种植物种子萌发以及幼苗生长的影响。结果表明: 再力花地下部水浸提液对 6 种种子的萌发率、萌发指数、株高、根长、鲜质量、干质量均有不同程度的抑制作用, 抑制作用随着浸提液质量浓度的提高而增强。高质量浓度提取液对幼苗生长有显著抑制作用 ($P < 0.01$), 50 g·L⁻¹ 的再力花地下部水浸提液对 6 种水生植物株高抑制率分别为 29.2%, 64.9%, 42.3%, 87.1%, 18.16% 和 75.6%, 根长抑制率分别为 50.5%, 90.1%, 72.7%, 76.2%, 29.9% 和 74.2%。再力花地下部水浸提液对各项指标的影响强弱依次为萌发指数 > 发芽率 > 根长 > 干质量 > 鲜质量 > 苗高。受试植物种子总化感效应大小依次为水蓼 > 水田芥 > 苦草 > 黄菖蒲 > 荇菜 > 芦苇。图 3 表 1 参 26

关键词: 植物学; 再力花; 化感作用; 水生植物; 水浸提液; 种子萌发

中图分类号: S718.3; Q946

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2012)05-0722-07

Allelopathic effects from aqueous extracts of exotic *Thalia dealbata* on six aquatic plant species

WANG Yuan¹, MIAO Li-hua², GAO Yan¹, JI Meng-cheng¹

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. National Wetland Museum of China, Hangzhou 310013, Zhejiang, China)

Abstract: To test the allelopathic effects of *Thalia dealbata* on seed germination and seedling growth, aqueous extracts of the *T. dealbata* rhizome and root were applied to six aquatic plants; namely, *Nymphoides peltatum*, *Vallisneria natans*, *Nasturtium officinale*, *Iris pseudacorus*, *Phragmites australis*, and *Polygonum hydropiper* using the bioassay method. Results showed that the aquatic rhizome and root extracts at a concentration of 50 g·L⁻¹ had highly significant ($P < 0.01$) allelopathic effects on seed germination for all six aquatic plant species. Seedling shoot length for the six listed species above were reduced 29.2%, 64.9%, 42.3%, 87.1%, 18.2%, and 75.6%, respectively; and seedling root length was reduced 50.5%, 90.1%, 72.7%, 76.2%, 29.9%, and 74.2%, in that order. Also the seed germination index was more sensitive to extract application than germination percentage and other indexes with allelopathic sensitivity in the order of *Polygonum hydropiper* > *Nasturtium officinale* > *V. natans* > *I. pseudacorus* > *Nymphoides peltata* > *Phragmites australis*. [Ch, 3 fig. 1 tab. 26 ref.]

Key words: botany; *Thalia dealbata*; allelopathy; aquatic plant; aqueous extract; seed germination

化感作用(allelopathy)为一种植物通过向环境释放化学物质而对其他植物生长、繁殖所产生的直接或间接作用^[1]。化感作用在农林生态系统中广泛存在^[2]。关于化感作用对农作物连作障碍^[3], 减少病虫害的发生^[4]及维护森林生态平衡方面^[5]研究成果较多。通过研究化感作用还可以了解外来入侵植物对本

收稿日期: 2011-11-09; 修回日期: 2012-03-19

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)

作者简介: 王媛, 从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail: 723905187@qq.com。通信作者: 季梦成, 教授, 从事植物分类及园林植物应用研究。E-mail: mchji@163.com

土植物的影响^[6], 如加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis*^[7], 三裂叶蟛蜞菊 *Wedelia trilobata*^[8], 小飞蓬 *Conyza canadensis*^[9]等主要外来入侵植物对本地物种的化感作用都有了一定的研究, 证实了强烈的化感抑制作用是导致这些入侵物种快速蔓延的重要原因之一。而对于外来水生入侵植物的研究仍处于初步阶段。杨善元等^[10]从凤眼莲 *Eichhornia crassipes* 根系的丙酮提取物和凤眼莲种植水中分离出的亚油酸甘油酯和 N-苯基-2-萘胺对雷氏衣藻抑制效果明显, 孙文浩等^[11]证明了凤眼莲是通过向水体分泌某些化学物质对藻类起克制效应的。再力花 *Thalia dealbata* 又名水竹芋, 为竹芋科 Marantaceae 再力花属 *Thalia* 植物, 原产美洲热带, 多年生挺水草本, 具有优雅美丽的外形和花絮, 观赏价值高, 成为近年来中国湿地造景应用的热门植物, 在长江流域及其以南地区广泛栽培。再力花易成活, 繁殖速度快, 极易形成单优种群而且难以彻底根除, 存在入侵风险^[12]。对再力花是否对其他水生植物的生长造成影响, 目前未见报道。本实验将再力花的地下部分(地下茎、根)制成水浸提液, 处理 6 种常见水生植物种子, 通过研究浸提液对这 6 种水生植物种子的萌发及其幼苗生长的影响, 以确定它是否具有化感作用。

1 材料与方法

1.1 供试材料

再力花采于浙江省杭州市西溪湿地。2010 年 6 月, 从西溪湿地池塘中挖取生长健康处于营养生长期的再力花植株, 植株高为 100 ~ 250 cm, 苗龄为 2 a。选取根及地下茎, 用自来水彻底清洗, 再用蒸馏水冲洗, 风干后粉碎, 粉末储藏备用。

受试水生植物有荇菜 *Nymphoides peltatum*, 苦草 *Vallisneria spiralis*, 黄菖蒲 *Iris pseudacorus*, 芦苇 *Phragmites australis*, 水田芥 *Nasturtium officinale* 和水蓼 *Polygonum hydropiper*。芦苇和水蓼种子分别采于西溪湿地和浙江农林大学校区内, 荇菜、苦草、黄菖蒲和水田芥的种子购自江苏省沐阳县香林花木场。

1.2 研究方法

1.2.1 再力花地下部浸提液制备 将再力花植株冲洗干净, 阴干后取地下茎根粉碎成粉末。准确称取干粉 5 g, 置于三角瓶中, 加入 100 mL 蒸馏水, 在 25 °C 条件下浸提 48 h (隔 12 h 摇动 5 min), 再经 12 000 g 离心 10 min, 取上清液, 然后过滤, 第 1 次用定量滤纸过滤, 第 2 次经微孔滤膜(0.45 μm)过滤, 得再力花地下部浸提液, 将母液分别配置成 50.0, 5.0 和 0.5 g·L⁻¹ 等 3 种质量浓度, 保存在 4 °C 冰箱中备用。

1.2.2 种子处理 取受试植物种子, 用 1.0 g·kg⁻¹ 的高锰酸钾溶液消毒 15 min, 取出后用蒸馏水反复冲洗至高锰酸钾完全洗净。

1.2.3 种子培养 将处理后的种子分别培养在底部垫 2 层滤纸的培养皿中(Φ15 cm), 播种饱满程度均匀一致的种子 50 粒·培养皿⁻¹, 各种受试植物种子分别加入不同质量浓度再力花地下部水浸提液 5.0 mL, 对照加入蒸馏水 5.0 mL, 盖上盖。置于 25 °C 恒温培养箱中培养, 加入蒸馏水 1.0 mL·d⁻¹。设 3 次重复·处理⁻¹。

1.2.4 测定方法 种子萌发的测定。以胚根突破种皮为发芽标准^[13], 每天记录发芽种子的数量, 待连续 2 d 无萌发时, 统计发芽率并计算种子发芽指数。发芽率(%)=(规定时间内种子发芽数/供试种子数)×100%。萌发指数(G_t)= $\sum G_t/D_t$ 。其中: G_t 为在第 t 天的发芽数, D_t 为相应的天数^[14]。萌发期幼芽和幼根的生长测定: 种子萌发至规定时间后统计发芽率, 采用刻度尺测量萌发期幼芽与幼根长度, 测量 10 株·处理⁻¹, 求得平均值为萌发期幼芽与幼根长度。选取生长均匀一致的 10 株幼苗, 将幼根与幼芽分开, 分别称鲜质量。置于烘箱中 105 °C 杀青 0.5 h 后, 80 °C 烘至恒量, 分别称取幼根与幼芽的干质量。测定结果参照 Williamson 等^[15]的方法计算化感作用效应指数 $I_{RI}=1-C/T(T \leq C)$ 或 $I_{RI}=T/C-1(T < C)$ 。 $I_{RI} > 0$ 为促进, $I_{RI} < 0$ 为抑制, I_{RI} 绝对值大小与作用强度一致(其中: C 为对照值, T 为处理值)。参照马瑞君等^[16]的方法处理 I_{RI} 值, 即采用相加平均法, 所得结果用 M 表示。 M 值用于评价受体植物对化感作用敏感性或供体植物的化感效应, 其含义不变, 即 $M > 0$ 为促进, $M < 0$ 为抑制。数据的处理过程用下式表示:

$$M_R = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j}{n}$$

其中: R 为平均敏感指数(M)的级别或层次, α 为数据项, n 为该级别或层次数据(I_{RI})的总个数。本研究

中 M_1 评价 6 种植物发芽率、发芽指数、根长、苗高、鲜质量、干质量的化感效应; M_2 评价再力花地下部水浸提液对 6 项指标的综合化感效应; M_3 评价 6 种受试植物的综合敏感性。

1.2.5 数据处理 设 3 次重复·处理⁻¹; 采用 SPSS 13.0 软件进行数据处理。

2 研究结果

2.1 再力花地下部水浸提液对 6 种植物种子发芽率以及萌发指数的影响

再力花地下部水浸提液对苕菜、苦草、黄菖蒲、芦苇、水田芥和水蓼等种子发芽率的影响存在着明显差异(图 1a)。6 种种子的自然发芽率分别为 62.22%, 55.33%, 82.22%, 54.67%, 60.00% 和 21.11%。低质量浓度(0.5 g·L⁻¹)再力花地下部水浸提液对苕菜、水田芥、黄菖蒲、芦苇的发芽率无显著影响; 在高质量浓度下, 再力花地下部水浸提液对苕菜、苦草、芦苇、水田芥和水蓼种子发芽率的抑制作用均达到极显著水平($P<0.01$), 与对照相比, 5 种水生植物种子发芽率分别降低了 62.5%, 54.2%, 90.0%, 56.1% 和 79.0%。黄菖蒲的种子发芽率降低了 33.78% ($P<0.05$)。

图 1b 显示, 低质量浓度再力花地下部水浸提液处理对苕菜、芦苇的种子萌发指数无明显作用。当质量浓度达到 5.0 g·L⁻¹ 时, 对苕菜、水田芥、芦苇和水蓼种子的萌发指数抑制率即达到极显著水平; 在高质量浓度下, 再力花地下部水浸提液对 6 种植物种子萌发指数的抑制作用均达到极显著水平 ($P<0.01$), 与对照组相比, 6 种水生植物种子萌发指数分别降低了 75.1%, 52.8%, 90.7%, 54.9%, 70.9% 和 88.9%。

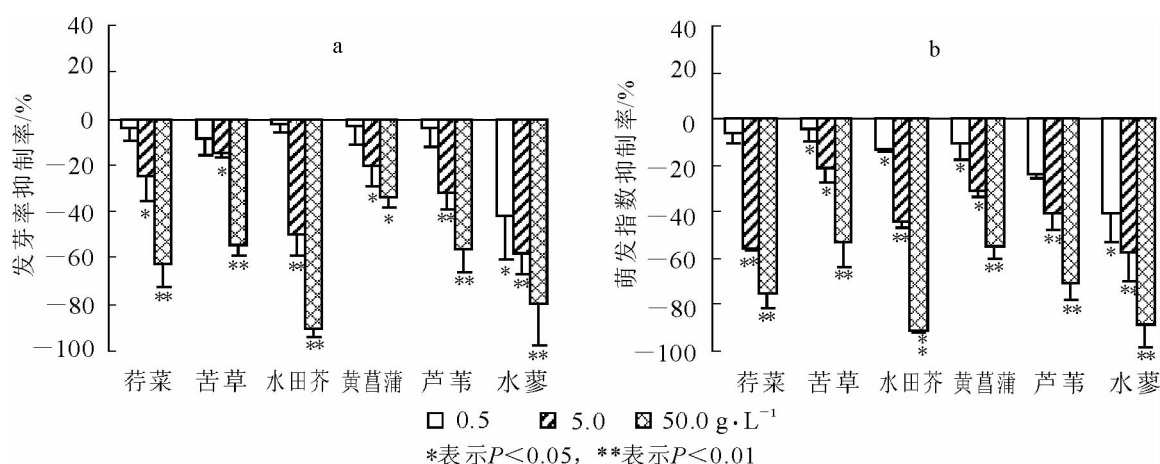


图 1 再力花地下部水浸提液对受试植物发芽率(a)和萌发指数(b)的影响

Figure 1 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *Thalia dealbata* on germination rate (a) and germination index (b) of receiver plants

2.2 再力花地下部水浸提液对 6 种植物种子萌发后幼芽和幼根生长的影响

低质量浓度再力花地下部水浸提液显著促进黄菖蒲幼苗的生长(图 2); 随着再力花地下部水浸提液质量浓度的提高, 对 6 种水生植物幼苗株高(图 2a)的抑制作用逐渐增强; 在高质量浓度下, 再力花地下部水浸提液对苕菜、苦草、黄菖蒲、水田芥和水蓼幼苗株高抑制作用呈极显著水平($P<0.01$), 株高分别降低了 29.2%, 64.9%, 42.3%, 87.1% 和 75.62%。

5.0 g·L⁻¹ 的再力花地下部水浸提液对苦草和水田芥幼苗的根长(图 2b)具有显著抑制作用($P<0.05$), 对其他 4 种水生植物的根长具有极显著抑制作用($P<0.01$); 在高质量浓度下, 6 种水生植物的根长均达到极显著抑制($P<0.01$), 根长分别减少了 50.5%, 90.1%, 72.7%, 76.2%, 29.9% 和 74.2%。

2.3 再力花地下部水浸提液对 6 种植物种子幼苗鲜质量和干质量的影响

低质量浓度再力花地下部水浸提液显著的促进了黄菖蒲幼苗鲜质和干质量的增加(图 3), 芦苇幼苗的鲜质量也显著提高($P<0.05$); 随着再力花地下部水浸提液质量浓度的提高, 对 6 种水生植物幼苗鲜质量(图 3a)的抑制作用逐渐增强; 当质量浓度增加到 50.0 g·L⁻¹ 时, 对苕菜、苦草、黄菖蒲、水田芥和水蓼幼苗鲜质量抑制作用呈极显著水平($P<0.01$), 与对照组相比, 鲜质量分别降低了 57.5%, 71.0%, 55.2%,

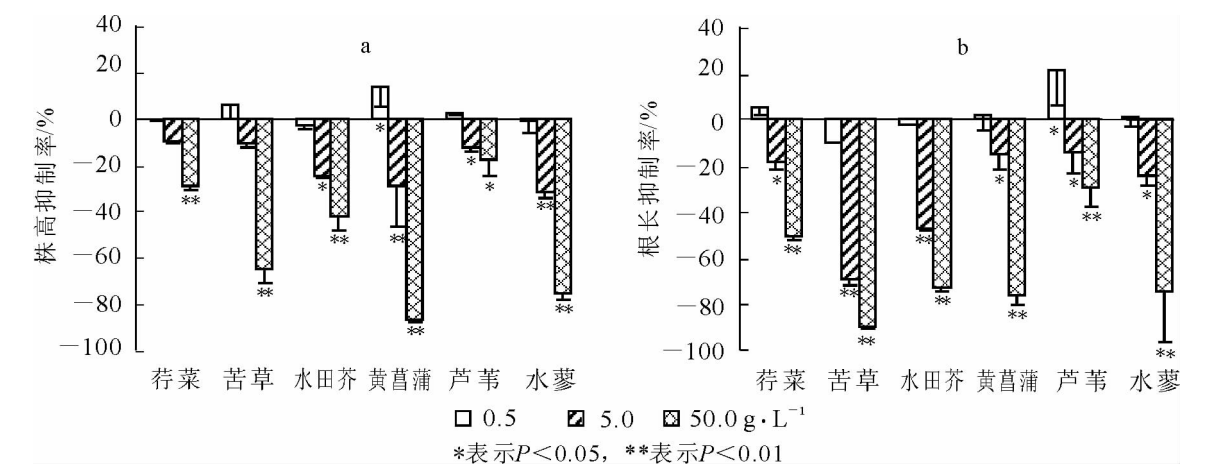


图 2 再力花地下部水浸提液对受试植株高(a)和根长(b)的影响

Figure 2 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *Thalia dealbata* on shoot length (a) and root length (b) of receiver plants

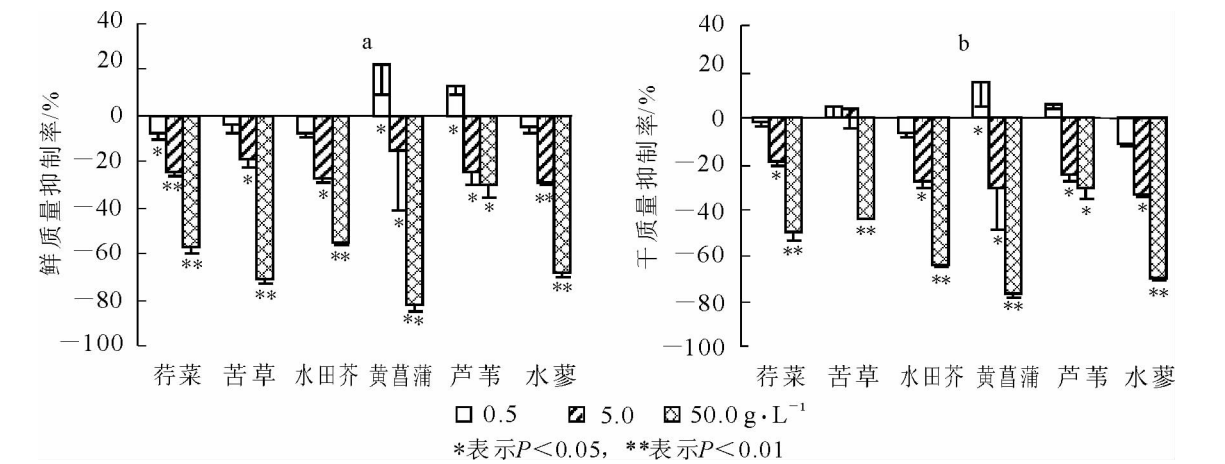


图 3 再力花地下部水浸提液对受试植物鲜质量(a)和干质量(b)的影响

Figure 3 Effects of aquatic extracts from rhizome and root of *T. dealbata* on fresh mass (a) and dry mass (b) of receiver plants

82.7%和 68.7%，对荇菜、苦草、黄菖蒲、水田芥和水蓼幼苗的干质量(图 3b)亦呈极显著水平($P<0.01$)。

2.4 再力花地下部水浸提液对各项指标的影响以及 6 种受试植物的综合敏感性

再力花地下部水浸提液对 6 种植物各项指标的化感作用表明，供试植物萌发指数受到影响最大，其次是发芽率>根长>干质量>鲜质量>苗高。不同植物的萌发指数值相互间差异较大，水蓼的萌发指数受影响最大，为-0.624，而苦草仅为-0.260。6 种水生植物中，荇菜、苦草和水田芥的根长抑制程度比苗高抑制程度高；黄菖蒲、芦苇和水蓼则是苗高受到的抑制作用更明显，表明不同水生植物受抑制的生长部位不同。

再力花水浸提液对 6 种水生植物种子萌发和幼苗生长的综合影响分析显示(表 1)，受试植物总化感效应大小依次为水蓼>水田芥>苦草>黄菖蒲>荇菜>芦苇。

3 讨论

化感作用普遍存在于水体中，且水体中几乎所有初级生产者，如蓝藻、绿藻及水生高等植物都能产生并释放化感物质^[15]。现已查明的具有化感抑藻效应的水生植物包括凤眼莲 *Eichhornia crassipes*，空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*，芦苇 *Phragmites australi*，菖蒲 *Acorus calamu* 等 10 余种植物^[17-21]。本实验结果表明：再力花对于 6 种常见水生植物的种子萌发与幼苗生长有明显的抑制作用。

受体植物化感作用强度的种间或品种间差异主要与化感物质浓度有关^[22]，供体植物水浸提液中化感

表 1 6 种植物对再力花地下部水浸液化感作用的敏感指数

Table 1 Sensitivity analysis of 6 plants to allelopathy of aqueous extracts from rhizome and root of *Thalia dealbata*

项目	苕菜	苦草	水田芥	黄菖蒲	芦苇	水蓼	均值(M_2)
发芽率(M_1)	-0.304	-0.257	-0.374	-0.189	-0.305	-0.596	-0.338
萌发指数(M_1)	-0.456	-0.260	-0.395	-0.320	-0.452	-0.624	-0.418
苗高(M_1)	-0.131	-0.235	-0.233	-0.348	-0.095	-0.362	-0.234
根长(M_1)	-0.212	-0.563	-0.408	-0.299	-0.091	-0.327	-0.317
鲜质量(M_1)	-0.300	-0.310	-0.302	-0.268	-0.145	-0.244	-0.261
干质量(M_1)	-0.239	-0.125	-0.333	-0.319	-0.168	-0.388	-0.262
均值(M_3)	-0.274	-0.292	-0.341	-0.291	-0.209	-0.423	

说明：表中数据为各项测定指标的 I_{RI} 值，由式 1.2.4 节中公式计算所得。

物质浓度高，对受体植物生长的化感抑制作用就强，化感物质浓度值在一定范围内，受体植物生长影响不明显，甚至具有促进作用^[23]。本实验中，低质量浓度($0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)再力花地下部水浸提液处理下，芦苇和黄菖蒲的株高和根长都有不同程度的提高，而质量浓度提高至 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 后，6 种水生的各项指标均受到抑制，本研究结果证实了前述化感作用的“低促高抑”现象。在实际的园林应用中我们应当控制再力花的群落生长量，使它释放的化感物质浓度不至影响其他水生生物生长；深入研究再力花在湿地环境中释放的化感物质及其浓度，建立合理的浓度标准，为今后制作外来水生植物的化感作用检测系统打下坚实的理论基础。

种子繁殖是种子植物最典型也是最重要的繁殖方式。某些植物通过释放化感物质影响它们所在群落中其他植物种子的萌发与幼苗生长，以实现自身的生存、种群扩大，保证自身对环境资源的竞争优势。由于受再力花浸提液的作用，受试植物种子活力降低，发芽减慢，发芽不整齐，导致发芽率与发芽指数降低，进而影响幼苗的生长发育。再力花地下部水浸提液对 6 种水生植物的种子萌发指数影响最大，说明再力花很有可能释放了某些抑制受试种子萌发的化感物质。再力花化感物质的具体成分，以及其作用机制是否为影响受试植物种子萌发期间激素合成与利用，改变细胞分裂、伸长和亚显微结构等^[24]，还有待进一步研究。高质量浓度再力花地下部水浸提液处理，使 6 种水生植物的根长受到极显著抑制。根长受到抑制可能的原因是受体植物维管束和皮层的细胞层膨胀，根的纵向伸长和细胞分裂受到抑制，从而明显增加了根的直径^[25]，进而影响营养物质向下运输以及矿质营养和水分的吸收和向上运输，这些影响作用必将阻碍受试幼苗的正常生长发育。

大量研究显示，任何一种化感物质都可能影响植物的基本代谢过程和生长调节系统，不同的植物对化感物质的抵御程度不同^[5]。本实验中不同水生植物对再力花地下部水浸提液的抑制效应存在显著差异。芦苇总化感效应最低。芦苇幼苗的根长和苗高受抑制程度较低，表明芦苇在其种子萌发和幼苗生长阶段，不易受再力花所分泌的化感物质的影响，结果与李愈哲等^[26]提出的芦苇种子不受加拿大一枝黄花的影响的结论一致。

再力花对其他水湿生植物具有化感作用，且生态适应性强，繁殖速度快，是其极易形成单优种群的重要原因，需要引起园林工作者的重视。在水体设计时，应充分考虑到园林水生植物之间的化感效应，将相互影响较小的水生植物进行合理配置，对再力花等化感抑制作用大，入侵性强的外来观赏植物应谨慎使用。

参考文献：

- [1] RICE E L. *Allelopathy* [M]. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984: 156 – 168.
- [2] 孔垂华. 植物化感作用研究中应注意的问题[J]. 应用生态学报, 1998, 9 (3): 332 – 336.
KONG Chuihua. Problems needed attention on plant allelopathy research [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1998, 9 (3): 332 – 336.
- [3] 鞠会艳, 韩丽梅, 王树起, 等. 连作大豆根分泌物对根腐病原菌的化感作用[J]. 应用生态学报, 2002, 13 (6):

723 – 727.

JU Huiyan, HAN Limei, WANG Shuqi, *et al.* Allelopathic effect of root exudates on pathogenic fungi of root rot in continuous cropping soybean [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, **13** (6): 723 – 727.

- [4] 韩芬, 王辉, 边银霞, 等. 华北落叶松枝叶挥发性物质的化学成分及其化感作用[J]. 应用生态学报, 2008, **19** (11): 2327 – 2332.

HAN Fen, WANG Hui, BIAN Yinxia, *et al.* Chemical components and their allelopathic effects of the volatiles from *Larix principisrupprechtii* leaves and branches [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (11): 2327 – 2332.

- [5] 张汝民, 王玉芝, 侯平, 等. 几种牧草幼苗对冷蒿茎叶水浸提液化感作用的生理响应[J]. 生态学报, 2010, **30** (8): 2197 – 2204.

ZHANG Rumin, WANG Yuzhi, HOU Ping, *et al.* Physiological responses to allelopathy of aquatic stem and leaf extract of *Artemisia frigida* in seedling of several pasture plants [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30** (8): 2197 – 2204.

- [6] HIERRO J L, CALLAWAY R M. Allelopathy and exotic plant invasion [J]. *Plant Soil*, 2003, **256** (1): 29 – 39.

- [7] 张中信, 张小平, 刘慧君, 等. 加拿大一枝黄花和一枝黄花化感作用比较研究[J]. 武汉植物学研究, 2010, **28** (2): 191 – 198.

ZHANG Zhongxin, ZHANG Xiaoping, LIU Huijun, *et al.* Comparative study on the allelopathy of invasive species *Solidago canadensis* L. and native species *Solidago decurrens* Lour. [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2010, **28** (2): 191 – 198.

- [8] 聂呈荣, 曾任森, 黎华寿, 等. 三裂叶蟛蜞菊对菜心化感作用的生理机理[J]. 华南农业大学学报, 2003, **24** (4): 106 – 107.

NIE Chengrong, ZENG Rensen, LI Huashou, *et al.* Physiological and biochemical mechanism of allelopathy of *Wedelia trilobata* L. on peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. *J South China Agric Univ*, 2003, **24** (4): 106 – 107.

- [9] 高兴祥, 李美, 高宗军, 等. 外来入侵植物小飞蓬化感物质的释放途径[J]. 生态学报, 2010, **30** (8): 1966 – 1971.

GAO Xingxiang, LI Mei, GAO Zongjun, *et al.* The releasing mode of the allelochemicals in *Conyza canadensis* L. [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30** (8): 1966 – 1971.

- [10] 杨善元, 俞子文, 孙文浩, 等. 凤眼莲根系中抑藻类物质分离与鉴定[J]. 植物生理学报, 1992, **18** (4): 399 – 402.

YANG Shanyuan, YU Ziwen, SUN Wenhao, *et al.* Isolation and identification of inhibition of algae from *Eichhornia crassipes* [J]. *Plant Physiol Commun*, 1992, **18** (4): 399 – 402.

- [11] 孙文浩, 余叔文, 杨善元. 凤眼莲根系分泌物中的克藻化合物[J]. 植物生理学报, 1993, **19** (1): 92 – 96.

SUN Wenhao, YU Shuwen, YANG Shanyuan. Allelochemicals from root exudates of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) [J]. *Plant Physiol Commun*, 1993, **19** (1): 92 – 96.

- [12] 缪丽华, 陈煜初, 石峰, 等. 湿地外来植物再力花入侵风险研究初报[J]. 湿地科学, 2010, **8** (4): 395 – 400.

MIAO Lihua, CHEN Yuchu, SHI Feng, *et al.* Preliminary study on the invasion risk of *Thalia dealbata* as an alien species in wetlands [J]. *Wetland Sci*, 2010, **8** (4): 395 – 400.

- [13] 金银根. 植物学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 305 – 306.

- [14] LEATHER G R, EINHELLIG F A. *Bioassays in the Study of Allelopathy* [M]. New York: John Wiley and Sons, Lnc, 1986: 133 – 145.

- [15] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. *J Chem Ecol*, 1988, **14** (1): 181 – 187.

- [16] 马瑞君, 王明理, 赵坤, 等. 高寒草场优势杂草黄帚橐吾水浸液对牧草的化感作用[J]. 应用生态学报, 2006, **17** (5): 845 – 850.

MA Ruijun, WANG Mingli, ZHAO Kun, *et al.* Allelopathy of aqueous extract from *Ligularia virgaurea*, a dominant weed in psychro-grassland, on pasture plants [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17** (5): 845 – 850.

- [17] 孙文浩, 俞子文, 余叔文. 水葫芦对藻类的克制效应[J]. 植物生理学报, 1988, **14** (3): 294 – 300.

SUN Wenhao, YU Ziwen, YU Shuwen. Inhibitory effect of *Eichhornia crassipes* (Mart.) solms on algae [J]. *Plant Physiol Commun*, 1988, **14** (3): 294 – 300.

- [18] 俞子文, 孙文浩, 郭克勤, 等. 几种高等水生植物的克藻效应[J]. 水生生物学报, 1992, **16** (1): 1 – 7.

YU Ziwen, SUN Wenhao, GUO Keqin, *et al.* Allelopathic effects of several higher aquatic plants on algae [J]. *Acta*

Hydrobiol Sin, 1992, **16** (1): 1 – 7.

- [19] 李锋民, 胡洪营. 芦苇抑藻化感物质的分离及其抑制蛋白核小球藻效果研究[J]. 环境科学, 2004, **25** (5): 89 – 92.
- LI Fengmin, HU Hongying. Isolation and effects on green alga *Chlorella pyrenoidosa* of algal-inhibiting allelochemicals in the Macrophyte, *Phragmites communis* Tris. [J]. *Chin J Environ Sci*, 2004, **25** (5): 89 – 92.
- [20] 洪喻, 胡洪营, 黄晶晶, 等. 芦竹抑藻物质的初步分离及抑制铜绿微囊藻的效果[J]. 环境科学, 2008, **27** (6): 751 – 755.
- HONG Yu, HU Hongying, HUANG Jingjing, *et al.* Preliminary isolation of inhibitory allelochemicals in the macrophytes, *Arundo donax* Linn. and effects on cyanobactrium *Microcystis aeruginosa* [J]. *Chin J Environ Sci*, 2008, **27** (6): 751 – 755.
- [21] 胡光济, 张维昊, 尚吟竹, 等. 菖蒲干体提取液对两种水华藻类生长的影响[J]. 应用生态学报, 2009, **20** (9): 2277 – 2281.
- HU Guangji, ZHANG Weihao, SHANG Yinzh, *et al.* Inhibitory effects of dry *Acorus calamus* extracts on the growth of two water bloom-forming algal species [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20** (9): 2277 – 2281.
- [22] 李志华, 沈益新, 倪建华, 等. 豆科牧草化感作用初探[J]. 草业科学, 2002, **19** (8): 28 – 31.
- LI Zhihua, SHEN Yixin, NI Jianhua, *et al.* A preliminary study on the allelopathy of legumes [J]. *Pratac Sci*, 2002, **19** (8): 28 – 31.
- [23] 孔垂华, 胡飞. 植物化感作用及其应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 112 – 114.
- [24] 李雪枫, 王坚, 许文博, 等. 冷蒿对 3 种禾本科植物种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 应用生态学报, 2010, **21** (7): 1702 – 1708.
- LI Xuefeng, WANG Jian, XU Wenbo, *et al.* Allelopathic effects of *Artemisia frigida* on three Poaceae plants seed germination and seedling growth [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2010, **21** (7): 1702 – 1708.
- [25] 林文雄, 何华勤, 郭玉春, 等. 水稻化感作用及其生理生化特性的研究[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (6): 871 – 875.
- LIN Wenxiong, HE Huaqin, GUO Yuchun, *et al.* Rice allelopathy and its physiobiochemical characteristics [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (6): 871 – 875.
- [26] 李愈哲, 尹昕, 魏维, 等. 乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用[J]. 生态学报, 2010, **30** (24): 6881 – 6891.
- LI Yuzhe, YIN Xin, WEI Wei, *et al.* Inhibition of local plant *Phragmites communis* on the invasive plant *Solidago canadensis* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30** (24): 6881 – 6891.