

假臭草等 12 种植物对白花鬼针草幼苗的化感作用

陈志云^{1,2}, 梁水凤¹, 李东文², 冯卓森³, 李伟华^{1*}, 彭长连¹, 田兴山⁴, 周先叶¹

(1. 华南师范大学生命科学学院, 广东省高等学校生态与环境科学重点实验室, 广州 510631; 2. 中山市森林病虫害防治检疫站, 广东 中山 528403; 3. 珠海市粤华园林绿化建设管理有限公司, 广东 珠海 519000; 4. 广东省农业科学院植物保护研究所, 广州 510640)

摘要: 用具有化感作用或潜在抑草活性的 12 种植物的叶片水浸液对白花鬼针草(*Bidens alba*)幼苗进行处理, 对其幼苗的生长进行研究, 以期筛选出对白花鬼针草生长有较强抑制作用的植物种类。结果表明, 12 种供体植物叶片水浸液(0.05 g DW mL⁻¹)均能显著抑制白花鬼针草幼苗的生长($P < 0.05$), 综合化感效应(SE)均为负值(≤ -0.2), 抑制强度依次为假臭草(*Eupatorium catarium*) > 胜红蓟(*Ageratum conyzoides*) > 海芋(*Alocasia macrorrhiza*) > 水茄(*Solanum torvum*) > 马缨丹(*Lantana camara*) > 薇甘菊(*Mikania micrantha*) > 构树(*Broussonetia papyrifera*) > 南美蟛蜞菊(*Wedelia trilobata*) > 三裂叶薯(*Ipomoea triloba*) > 葛藤(*Pueraria lobata*) > 鸡矢藤(*Paederia scandens*) > 五爪金龙(*Ipomoea cairica*), 其中假臭草叶水浸液浓度仅为 0.04 g DW mL⁻¹时就可以使白花鬼针草死亡。假臭草和胜红蓟的茎水浸液也可以显著抑制白花鬼针草的生长($P < 0.05$), 抑制效果略低于叶水浸液。回归分析表明, 假臭草叶水浸液浓度与白花鬼针草的生物量等指标之间有线性回归关系($R^2 > 0.85$, $P < 0.001$), 随着水浸液浓度的增加, 白花鬼针草的生物量等指标下降。防除白花鬼针草时使用假臭草和胜红蓟的茎、叶水浸液, 其有效浓度低且资源丰富, 可作为白花鬼针草天然除草剂的主要资源植物。

关键词: 白花鬼针草; 入侵杂草; 化感作用; 植物源除草剂

中图分类号: S45

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2011)05-0454-09

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.05.010

Allelopathy of 12 Species Including *Eupatorium catarium* on *Bidens alba* Seedlings

CHEN Zhi-yun^{1,2}, LIANG Shui-feng¹, LI Dong-wen², FENG Zhuo-sen³, LI Wei-hua^{1*}, PENG Chang-lian¹, TIAN Xing-shan⁴, ZHOU Xian-ye¹

(1. Key Laboratory of Ecology and Environmental Science in Guangdong Higher Education, College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 2. Forest Pest Management and Quarantine Station of Zhongshan City, Zhongshan 528403, China; 3. The Limited Company of Yuehua Landscape Architecture Construction and Management, Zhuhai 519000, China; 4. Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to select botanical herbicides to *Bidens alba*, aqueous extracts from the leaves of 12 species, which were reported with allelopathy or potential activity of weed inhibition, were used to spray *Bidens alba* seedlings. The results showed that all of the leaf aqueous extracts from 12 species had significant inhibition effects on the growth of *Bidens alba* seedlings ($P < 0.05$) with synthetical effects (SE) ≤ -0.2 . The inhibition strength was in order as: *Eupatorium catarium* > *Ageratum conyzoides* > *Alocasia macrorrhiza* > *Solanum torvum* > *Lantana camara* > *Mikania micrantha* > *Broussonetia papyifera* > *Wedelia trilobata* > *Ipomoea triloba* > *Pueraria lobata* >

收稿日期: 2010-11-08

接受日期: 2011-02-22

基金项目: 广东省科技计划项目(2008A030203006; 2009B030801376); 中山市森林病虫害防治检疫站项目; 科技部国际合作与交流项目(2011DFB30040); 广东省国际合作项目(2010B050300014)资助

作者简介: 陈志云(1979 ~), 男, 硕士, 林业工程师, 主要从事森林有害杂草的研究, email: zssfjy@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, email: whli@scnu.edu.cn

Paederia scandens > *Ipomoea cairica*. The 0.04 g DW mL⁻¹ aqueous extracts from the leaves of *Eupatorium catarium* could cause death of *Bidens alba* seedlings. The aqueous extracts from the stems of *Eupatorium catarium* and *Ageratum conyzoides* also had significant inhibition effects on the growth of *Bidens alba* seedlings ($P < 0.05$), but which inhibition effects were lower than those from leaves. The analysis of regression showed that *Bidens alba* seedling growth negatively correlated with the concentration of aqueous extracts from the leaves of *Eupatorium catarium* ($R^2 > 0.85$). The biomass of *Bidens alba* significantly decreased with increasing of the concentration of aqueous extracts. It suggested that *Eupatorium catarium* and *Ageratum conyzoides* could be used as natural botanical herbicide for *Bidens alba* due to their low concentration effect and wide availability.

Key words: *Bidens alba*; Invasive weed; Allelopathy; Botanical herbicides

生物入侵已对中国的生物多样性和生态环境造成了严重的危害和巨大的经济损失^[1-2]。目前控制入侵杂草最直接有效的方法仍是使用化学除草剂。但是,化学除草剂的使用又带来了新的环境及生态安全问题,如新合成的除草剂在环境中的半衰期较长,不易降解,易累积并通过物质循环进入生物链,对人及动物造成富集毒害等^[3]。有研究表明,植物中存在种类繁多、数量庞大的天然克生化合物,它们是生态系统中的植物经自然和人工选择而发展起来的排它性化学武器^[4]。目前世界上已报道30多科的植物含有近百种具有除草作用的天然化合物,其中有些已被开发为天然除草剂,并得到专利保护和推广应用^[4]。植物源除草剂所含的有效成分为天然物质,其选择性较强,且一般为水剂,受阳光或微生物的作用后易分解,具有半衰期短、降解快、残留少、对人和畜及天敌毒性低等特点^[5]。

白花鬼针草(*Bidens alba*)是广东省境内的重要外来杂草,原产于美洲。由于其结实量大、种子萌发期短、萌发范围广而具有强烈的入侵性,目前广泛分布于广东省低海拔地区。特别是在肇庆、四会、湛江、茂名和阳江等地随处可见成片分布的白花鬼针草,现已入侵到抛荒地、铁路、公路、乡村路边、住宅四周、果园、菜地、森林、公园等地,分布面积超过 3.3×10^4 hm²,严重影响了农林生产以及荒地植被的自然恢复过程^[6-8]。目前对于白花鬼针草的防除方法主要有:在盛花期人工拔除或机械铲除,在大面积发生的地方用草甘膦、百草枯等灭生性除草剂或使用塔隆、苯达松等选择性除草剂进行化学防除^[8]。本实验选择具有化感作用或潜在抑草活性的12种植物,研究其叶或茎的水提液对白花鬼针草幼苗生长的化感作用,以期筛选出对白花鬼针草有较强抑制作用的植物种类,为植物源除草

剂的开发以及替代控制提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供体植物的采集及其水浸液的制备

选择与白花鬼针草伴生或已报道有明显化感作用或潜在抑草活性的12种植物(表1)为材料,它们均采自华南师范大学校园内。其中薇甘菊(*Mikania micrantha*)^[9-11]、南美蟛蜞菊(*Wedelia trilobata*)^[12-14]、胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)^[15-18]、假臭草(*Eupatorium catarium*)^[19-21]、五爪金龙(*Ipomoea cairica*)^[22-26]、马缨丹(*Lantana camara*)^[27-29]等6种植物的化感作用已有报道。

植物化感作用中相互作用的化学物质一般是植物的次生代谢物质,主要存在于植物的根、茎、叶、花、果实或种子中^[30],一般认为植物叶片中含有的化感物质较多^[31-32],所以本文选用叶片水提液进行化感作用研究。2009年9月至10月,在华南师范大学生物园及陶园停车场南侧的弃荒地,采集新鲜的供体植物成熟叶片(除胜红蓟外的11种植物),洗净、擦干水后,称取相当于50 g干重的鲜重,剪成长度<2 cm的碎片,置于1000 mL的锥形瓶中,加蒸馏水900 mL室温下浸提36 h(每隔12 h摇动5 min),将水浸液用三层纱布过滤后再用两层滤纸真空抽滤2次,取滤液定容至1000 mL,得到常用的质量浓度,即1 mL水提液含叶片干重质量0.05 g。将各水浸液置于4℃冰箱存储备用。

1.2 白花鬼针草种子的采集及其幼苗培养

2009年9月在华南农业大学校园及周边采集白花鬼针草(*Bidens alba*)种子,采用培养皿滤纸法进行萌发。选取籽粒饱满、大小一致的种子置于铺有两层滤纸的培养皿中,加入蒸馏水,以淹没种子的

表 1 供体植物

Table 1 Plant materials

植物 Species	科 Family	备注 Remark
1. 薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>	菊科 Compositae	入侵种 Invasive species
2. 南美蟛蜞菊 <i>Wedelia trilobata</i>	菊科 Compositae	入侵种 Invasive species
3. 胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	菊科 Compositae	入侵种 Invasive species
4. 假臭草 <i>Eupatorium catarium</i>	菊科 Compositae	入侵种 Invasive species
5. 五爪金龙 <i>Ipomoea cairica</i>	旋花科 Convolvulaceae	入侵种 Invasive species
6. 马缨丹 <i>Lantana camara</i>	马鞭草科 Verbenaceae	入侵种 Invasive species
7. 三裂叶薯 <i>Ipomoea triloba</i>	旋花科 Convolvulaceae	入侵种 Invasive species
8. 水茄 <i>Solanum torvum</i>	茄科 Solanaceae	入侵种 Invasive species
9. 鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	茜草科 Rubiaceae	本地种 Indigenous species
10. 海芋 <i>Alocasia macrorrhiza</i>	天南星科 Araceae	本地种 Indigenous species
11. 构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	桑科 Moraceae	本地种 Indigenous species
12. 葛藤 <i>Pueraria lobata</i>	蝶形花科 Papilionaceae	本地种 Indigenous species

1/3 为准^[33],置于人工气候箱(RXZ-300C 型、宁波江南仪器厂)中萌发。萌发条件设置为:白天 30℃ 12 h,湿度 70%;夜晚 27℃ 12 h,黑暗,湿度 70%。萌发 5 d 后,选取萌发一致的幼苗,移种至盛有河沙的塑料杯中培养(杯底用小铁钉打孔,杯子底部再套一个同型号的不打孔杯子,防止互相污染,同时避免水淹烂根)。每杯 1 株,每种植物种 12 杯(12 个重复)。置于智能型人工气候箱(RXZ-300C 型、宁波江南仪器厂)中培养:白天 28℃ 12 h 光照最强,相对湿度 65%;夜晚 23℃ 12 h 黑暗,相对湿度 50%。移栽后先在杯中加入 20 mL 50% 改良 Hoagland 完全营养液,之后每隔 1 d 浇 10 mL Hoagland 完全营养液原液。

1.3 处理过程

约移栽 19 d 幼苗长至 6 cm 高,每 3 d 分别在处理组均匀加入 10 mL 供体植物的 0.05 g DW mL⁻¹ 水浸液,对照组则加入 10 mL 的蒸馏水,在加水浸液的前一天所有组浇 10 mL 50% Hoagland 营养液,加水浸液的后一天浇适量的蒸馏水。全部试验过程中适时转动纸杯,尽量使幼苗受光均匀、直立生长。在实验过程中如果发现沙子干燥缺水,则适当补些蒸馏水。

1.4 方法

当幼苗移栽 39 d,即施加处理液 20 d,全部拔起幼苗,将根清洗干净,测量最长根长、苗高、地上部分与地下部分干重(干燥箱 101A-2B 型,上海实

验仪器有限公司,60℃ 烘至恒重)。

化感作用效应指数(Alleopathy index, RI)采用 Williamson 的方法^[34], $RI = T/C - 1$ 。式中: C 为对照值, T 为处理值。当 $T > C$ 、 $RI > 0$ 时,表示促进作用;当 $T < C$ 、 $RI < 0$ 时,表示抑制作用。 RI 绝对值的大小代表化感作用强度,综合化感效应(Synthetical effects, SE)根据所测试项目 RI 的平均值计算^[35-36]。

1.5 假臭草和胜红蓟茎、叶水浸液的抑制实验

由于 0.05 g DW mL⁻¹ 的假臭草叶水浸液使白花鬼针草幼苗全部死亡,因此又设置了不同浓度的假臭草叶水浸液,以期找到使白花鬼针草幼苗致死的最低浓度。此外,胜红蓟也是菊科的一年生草本植物,与假臭草的茎、叶、花、种子等都非常相似,人们常常将两种植物混淆,并且胜红蓟也具有强烈的化感作用^[15-18]。因此选取假臭草和胜红蓟两种植物的茎、叶分别配制以下浓度水提液,观测其对白花鬼针草幼苗生长的影响。对假臭草叶设 3 个浓度:0.04、0.025、0.0125 g DW mL⁻¹,对假臭草茎设 4 个浓度:0.05、0.04、0.025、0.0125 g DW mL⁻¹,对胜红蓟茎、叶均设 3 个浓度:0.05、0.025、0.0125 g DW mL⁻¹。水提液配制方法及白花鬼针草幼苗培养方法、处理过程、测定指标及测定方法均与前一实验相同。

1.6 数据统计

实验数据用 SAS 6.12 进行方差分析,用 LSD 法进行差异显著性检验。用 SPSS11.5 对白花鬼针

草的生长指标(因变量)与假臭草和胜红蓟叶水浸液浓度(自变量)进行一元线性回归分析。

2 结果和分析

2.1 叶水浸液对白花鬼针草幼苗生长的影响

白花鬼针草幼苗用 0.05 g DW mL⁻¹ 的 11 种供体植物叶水浸液处理后,结果表明,假臭草的抑制作用

最大,处理白花鬼针草幼苗 3 d 后,植株陆续死亡。其余 10 种供体植物叶水浸液均使白花鬼针草的地上部分、地下部分和总生物量显著下降($P < 0.05$),但对苗高没有显著作用($P > 0.05$)。薇甘菊、海芋、五爪金龙、马缨丹、三裂叶薯、水茄能够显著抑制白花鬼针草根的伸长,但构树、葛藤、南美蟛蜞菊和鸡矢藤对白花鬼针草根长没有显著作用(表 2)。

表 2 0.05 g DW mL⁻¹叶水浸液对白花鬼针草幼苗生长的影响

Table 2 Effects of 0.05 g DW mL⁻¹ aqueous extracts from 11 species leaves on *B. alba* seedlings growth

植物 Species	生物量 Biomass (g)			最长根长(cm) The longest root length	苗高 (cm) Height
	总和 Total	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground		
对照 Control	0.71 ± 0.10a	0.21 ± 0.04a	0.50 ± 0.07a	15.73 ± 2.38ab	13.61 ± 2.24ab
五爪金龙 <i>Ipomoea cairica</i>	0.51 ± 0.09b	0.16 ± 0.04b	0.35 ± 0.06b	13.19 ± 1.42def	13.08 ± 3.23ab
葛藤 <i>Pueraria lobata</i>	0.48 ± 0.08bc	0.15 ± 0.04bc	0.33 ± 0.05bc	14.33 ± 1.89bcde	12.24 ± 2.60b
鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	0.44 ± 0.07cd	0.14 ± 0.03bcd	0.30 ± 0.05cd	16.39 ± 1.93a	13.91 ± 2.88ab
薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>	0.41 ± 0.06de	0.13 ± 0.02cd	0.29 ± 0.04de	13.29 ± 1.68def	12.92 ± 2.71ab
三裂叶薯 <i>Ipomoea triloba</i>	0.41 ± 0.06de	0.13 ± 0.02cd	0.28 ± 0.04de	13.11 ± 1.87ef	14.51 ± 3.49a
南美蟛蜞菊 <i>Wedelia trilobata</i>	0.41 ± 0.06de	0.13 ± 0.02cd	0.29 ± 0.04de	14.74 ± 2.39bcd	12.76 ± 2.59ab
水茄 <i>Solanum torvum</i>	0.40 ± 0.08de	0.12 ± 0.03de	0.28 ± 0.05de	12.61 ± 1.75f	12.21 ± 1.68b
构树 <i>Broussonetia papyifera</i>	0.39 ± 0.07de	0.12 ± 0.03d	0.26 ± 0.05de	15.13 ± 2.24abc	13.48 ± 2.22ab
马缨丹 <i>Lantana camara</i>	0.39 ± 0.05de	0.14 ± 0.02bcd	0.25 ± 0.04e	13.45 ± 1.49def	12.44 ± 2.79ab
海芋 <i>Alocasia macrorrhiza</i>	0.37 ± 0.05e	0.09 ± 0.02e	0.28 ± 0.04de	13.63 ± 2.44cdef	13.37 ± 3.04ab
假臭草 <i>Eupatorium catarium</i>	-	-	-	-	-

$n = 12$; -: 死亡; 同列数据后不同字母表示差异显著(LSD 检验, $P < 0.05$); 表 4 同。
 $n = 12$; -: Die; Data followed different letters within column indicate significant difference at 0. 05 level by LSD-test. The same as Table 4.

从表 3 可见,11 种供体植物中,除了鸡矢藤对白花鬼针草幼苗的根长和苗高、三裂叶薯对白花鬼针草幼苗苗高的化感效应指数为正值外,其余的各项化感效应指数(RI 值)和全部植物的综合化感效应(SE)均为负值。这表明 11 种植物对白花鬼针草幼苗均表现为抑制作用,其抑制强度依次为假臭草 > 海芋 > 水茄 > 马缨丹 > 薇甘菊 > 构树 > 南美蟛蜞菊 > 三裂叶薯 > 葛藤 > 鸡矢藤 > 五爪金龙,其中假臭草的抑制作用最大,其 SE 值为-1,五爪金龙、鸡矢藤和葛藤的抑制作用最弱,其 SE 值为-0.20 ~ -0.23,其它植物的抑制作用中等,SE 值为-0.27 ~ -0.33。

2.2 假臭草和胜红蓟茎、叶水浸液的影响

用不同浓度的假臭草和胜红蓟茎、叶水浸液处

理白花鬼针草幼苗,结果表明,0.04 g DW mL⁻¹假臭草叶水浸液就可以导致白花鬼针草全部死亡,0.025 g DW mL⁻¹和 0.0125 g DW mL⁻¹假臭草叶水浸液不能使白花鬼针草死亡;所有实验浓度的假臭草和胜红蓟茎、叶水浸液均使白花鬼针草幼苗的地上部分生物量、地下部分生物量、总生物量、根长和苗高等显著下降($P < 0.05$),其中 0.025 g DW mL⁻¹假臭草叶水浸液的抑制效果显著大于其它处理,0.05 g DW mL⁻¹胜红蓟叶水浸液的抑制效果次之;假臭草和胜红蓟的叶水浸液浓度越大对白花鬼针草幼苗的抑制效果越显著;而茎水浸液则没有表现出较为一致的规律(表 4)。

从表 5 可见,假臭草和胜红蓟的茎、叶水浸液均对白花鬼针草的生物量、根长和苗高有抑制作用,

表 3 供体植物的化感效应指数(RI)和综合化感效应(SE)

Table 3 Alleopathy index (RI) and synthetical effects (SE) of 11 species

植物 Species	生物量 RI Biomass RI			最长根长 RI RI of the longest root length	苗高 RI RI of Height	SE
	总和 Total	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground			
五爪金龙 <i>Ipomoea cairica</i>	-0.28	-0.23	-0.30	-0.16	-0.04	-0.20
葛藤 <i>Pueraria lobata</i>	-0.32	-0.28	-0.34	-0.09	-0.10	-0.23
鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	-0.38	-0.34	-0.40	+0.04	+0.02	-0.21
薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>	-0.42	-0.39	-0.43	-0.15	-0.05	-0.29
三裂叶薯 <i>Ipomoea triloba</i>	-0.42	-0.39	-0.44	-0.17	+0.07	-0.27
南美螞蜥菊 <i>Wedelia trilobata</i>	-0.42	-0.39	-0.43	-0.06	-0.06	-0.27
水茄 <i>Solanum torvum</i>	-0.44	-0.43	-0.44	-0.20	-0.10	-0.32
构树 <i>Broussonetia papyifera</i>	-0.46	-0.41	-0.47	-0.04	-0.01	-0.28
马缨丹 <i>Lantana camara</i>	-0.45	-0.33	-0.50	-0.14	-0.09	-0.30
海芋 <i>Alocasia macrorrhiza</i>	-0.48	-0.55	-0.45	-0.13	-0.02	-0.33
假臭草 <i>Eupatorium catarium</i>	-1	-1	-1	-1	-1	-1

表 4 假臭草和胜红蓟茎、叶水浸液对白花鬼针草幼苗生长的影响

Table 4 Effects of aqueous extracts from *E. catarium* and *A. conyzoides* on the growth of *Bidens alba* seedlings

水浸液 Aqueous extracts (g DW mL ⁻¹)	生物量 Biomass (g)			最长根长(cm) The longest root length	苗高 Height (cm)
	总和 Total	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground		
0	0.54 ± 0.06a	0.15 ± 0.02a	0.39 ± 0.05a	20.10 ± 2.58a	13.68 ± 3.44a
假臭草茎 <i>E. catarium</i> stem					
0.05	0.32 ± 0.07bc	0.10 ± 0.02cd	0.22 ± 0.05bcd	16.33 ± 3.41bcde	10.85 ± 1.97bc
0.04	0.33 ± 0.08bc	0.10 ± 0.02cd	0.22 ± 0.06bc	17.70 ± 4.30bc	11.43 ± 1.45bc
0.025	0.37 ± 0.06b	0.13 ± 0.02b	0.24 ± 0.05b	18.15 ± 1.76ab	10.48 ± 2.29bcd
0.0125	0.32 ± 0.06bcd	0.11 ± 0.02bc	0.21 ± 0.04bcde	16.99 ± 3.93bcd	10.33 ± 2.35bcd
假臭草叶 <i>E. catarium</i> leaf					
0.04	—	—	—	—	—
0.025	0.17 ± 0.06f	0.05 ± 0.01g	0.12 ± 0.05f	10.93 ± 4.13f	8.72 ± 3.35d
0.0125	0.28 ± 0.06cde	0.09 ± 0.02de	0.19 ± 0.05de	14.65 ± 2.49ed	10.71 ± 2.27bc
胜红蓟茎 <i>A. conyzoides</i> stem					
0.05	0.32 ± 0.06bcd	0.09 ± 0.02de	0.23 ± 0.04bc	15.55 ± 3.24cde	11.51 ± 1.13bc
0.025	0.29 ± 0.05cde	0.08 ± 0.02ef	0.20 ± 0.04cde	15.53 ± 1.94cde	11.39 ± 2.51bc
0.0125	0.30 ± 0.05cd	0.09 ± 0.01de	0.20 ± 0.03cde	15.79 ± 2.30bcde	11.26 ± 1.95bc
胜红蓟叶 <i>A. conyzoides</i> leaf					
0.05	0.24 ± 0.03e	0.07 ± 0.01f	0.17 ± 0.03e	10.70 ± 2.28f	9.75 ± 1.89cd
0.025	0.27 ± 0.04ed	0.09 ± 0.01de	0.18 ± 0.04e	14.19 ± 2.07e	10.83 ± 2.06bc
0.0125	0.30 ± 0.06cd	0.10 ± 0.02cde	0.20 ± 0.05cde	15.49 ± 2.28cde	11.78 ± 2.26b

其中 0.04 g DW mL⁻¹的假臭草叶水浸液可以使白花鬼针草死亡,其 SE 为-1。0.025 g DW mL⁻¹的假臭草叶水浸液的抑制作用显著高于其它处理,其 SE 值为-0.57。胜红蓟 0.05 g DW mL⁻¹的叶水浸液的抑制作用也较强,SE 值为-0.48。茎水浸液的抑制作用小于叶水浸液,且胜红蓟茎水浸液的抑制作用大于假臭草的。

表 5 假臭草和胜红蓟茎、叶水浸液的化感效应指数(RI)和综合化感效应(SE)
Table 5 Alleopathy index (RI) and synthetical effects (SE) of *E. catarium* and *A. m conyzoides*

水浸液 Aqueous extracts (g DW mL ⁻¹)	生物量 <i>RI</i> Biomass <i>RI</i>			最长根长 <i>RI</i> <i>RI</i> of the longest root length	苗高 <i>RI</i> <i>RI</i> of Height	SE
	总和 Total	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground			
假臭草茎 <i>E. catarium</i> stem						
0.05	-0.4	-0.32	-0.43	-0.19	-0.21	-0.31
0.04	-0.4	-0.31	-0.43	-0.12	-0.16	-0.28
0.025	-0.32	-0.15	-0.39	-0.1	-0.23	-0.24
0.0125	-0.41	-0.25	-0.47	-0.15	-0.24	-0.3
假臭草叶 <i>E. catarium</i> leaf						
0.04	-1	-1	-1	-1	-1	-1
0.025	-0.68	-0.67	-0.69	-0.46	-0.36	-0.57
0.0125	-0.48	-0.37	-0.52	-0.27	-0.22	-0.37
胜红蓟茎 <i>A. conyzoides</i> stem						
0.05	-0.41	-0.38	-0.42	-0.23	-0.16	-0.32
0.025	-0.47	-0.44	-0.48	-0.23	-0.17	-0.36
0.0125	-0.45	-0.37	-0.48	-0.21	-0.18	-0.34
胜红蓟叶 <i>A. conyzoides</i> leaf						
0.05	-0.55	-0.54	-0.56	-0.47	-0.29	-0.48
0.025	-0.49	-0.4	-0.53	-0.29	-0.21	-0.38
0.0125	-0.45	-0.34	-0.49	-0.23	-0.14	-0.33

2.3 白花鬼针草生长指标与叶水浸液浓度的相关关系

线性回归分析表明,白花鬼针草的苗高、最长根长、地上部分和地下部分生物量及总生物量均与假臭草叶水浸液浓度呈显著负相关($R^2 > 0.85, P < 0.001$),即各生长指标随着叶水浸液浓度的增加而降低,故假臭草叶水浸液浓度对白花鬼针草幼苗生长的影响表现为浓度依赖型,浓度越大抑制效果越显著。而白花鬼针草的生长指标与胜红蓟叶水浸液浓度之间的相关关系较弱, R^2 均在 0.85 以下(表 6)。

3 讨论

植物化感作用是植物与周围环境生物之间的相互作用,是植物通过释放化学物质到环境中而产生对自身和其他生物直接或间接的作用,这些作用

包括克生抑制、相互促进以及自毒等作用,是生态系统中植物的自然化学调控现象和植物适应环境的一种生态机制。而化感作用的强度、作用对象和作用时间存在着明显的种间差异^[4],这种差异为筛选具有针对性的除草剂奠定了基础。本研究所选择的 12 种植物均为在野外调查中与白花鬼针草伴生的植物,其中 8 种为外来入侵植物^[37],4 种为本地植物。入侵种中有 6 种已被报道可对农作物和多种杂草的种子萌发和幼苗生长产生抑制。能够与白花鬼针草伴生,这说明它们受白花鬼针草的化感作用影响较小,甚至可能会分泌化学物质对抗其化感作用。本研究结果表明,无论是具有强化感作用的入侵植物还是能够与之伴生的本地植物,它们对白花鬼针草幼苗的综合化感效应(SE)均为负值(≤ -0.2),表明对白花鬼针草均有明显的抑制作用。

表 6 白花鬼针草生长指标(y)与叶水浸液浓度(x)间的相关关系

Table 6 Correlation between growth indexes (y) of *Bidens alba* seedlings and leaf aqueous extract concentrations (x)

生长指标 Growth index		R^2	F	P	回归方程 Regression equations	t
胜红蓟 <i>A. conyzoides</i>	苗高 Height	0.146	5.797	0.022	$y = 12.325 - 52.667x$	-2.408
	最长根长 The longest root length	0.475	30.752	0.000	$y = 17.238 - 129.476x$	-5.545
	地上部分生物量 Aboveground biomass	0.072	2.628	0.114	$y = 0.203 - 0.633x$	-1.621
	地下部分生物量 Underground biomass	0.356	18.774	0.000	$y = 0.108 - 0.785x$	-4.333
	总生物量 Total biomass	0.189	7.907	0.008	$y = 0.312 - 1.418x$	-2.812
假臭草 <i>E. catarium</i>	苗高 Height	0.850	189.226	0.000	$y = 15.465 - 299.126x$	-13.756
	最长根长 The longest root length	0.898	299.681	0.000	$y = 20.609 - 402.961x$	-17.311
	地上部分生物量 Aboveground biomass	0.875	237.468	0.000	$y = 0.254 - 5.032x$	-15.41
	地下部分生物量 Underground biomass	0.901	310.476	0.000	$y = 0.120 - 2.433x$	-17.62
	总生物量 Total biomass	0.903	317.645	0.000	$y = 0.374 - 7.465x$	-17.823

其中假臭草叶的抑制作用最强,叶水浸液浓度达 0.04 g DW mL⁻¹时即可导致白花鬼针草死亡,浓度为 0.025 g DW mL⁻¹时综合化感效应(SE)即达到-0.57,抑制效果显著高于其它物种。而0.05 g DW mL⁻¹胜红蓟叶水浸液对白花鬼针草的综合化感效应(SE)为-0.48,抑制效果仅次于假臭草。

虽然与叶水浸液相比,茎水浸液对白花鬼针草生长的抑制作用较弱,但与对照相比,茎水浸液仍然对白花鬼针草有显著的抑制作用。所以在实际应用中可以考虑使用假臭草和胜红蓟植株的地上部分来开发白花鬼针草植物源除草剂。决定系数 R^2 表示相关程度的大小^[38],一元线性回归分析表明:白花鬼针草的生长指标与假臭草叶水浸液浓度呈显著负相关($R^2 > 0.85, P < 0.001$),生物量等指标均随着水浸液浓度的增加而降低。实践中可以通过适当提高水浸液浓度来达到较理想的抑制效果。

假臭草与胜红蓟均为菊科植物,菊科植物中约有 37 属存在化感作用^[39-41],具有较大的化感作用潜力,是植物源除草剂开发的重要资源。假臭草和胜红蓟作为入侵植物大量分布在我国西南以及华南的热带和亚热带地区,对部分农田、旱作地、桑田、果园、椰子及橡胶幼木林造成了较严重的危害^[18,42]。因此,这两种植物作为防除白花鬼针草的除草剂开发原料,不仅资源丰富,且可变害为宝,是

一种比较理想的天然源除草剂。化感物质是开发植物源除草剂的基础,至于假臭草和胜红蓟中含有哪些具有除草活性的化感物质对白花鬼针草起作用,还有待于进一步的研究。

参考文献

[1] 万方浩, 郭建英, 王德辉, 等. 防治外来入侵物种 [C]// 生物多样性与外来入侵物种管理国际研讨会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 77-102.

[2] 万方浩. 外来入侵生物预防与控制的研究与发展对策 [M]// 农业生物灾害预防与控制研究. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005: 11-17.

[3] Zhang L(张丽). The pollution of agricultural environment with chemical pesticide and its control [J]. J Nanjing Agri Techn Coll (南京农专学报), 2001, 17(4): 36-38,43.(in Chinese).

[4] 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: 251-263.

[5] Gu H S(顾海莎). Development of Pesticide from Plants [J]. J Anhui Agri Sci(安徽农业科学), 2007, 35(24): 7520-7521.(in Chinese)

[6] Zeng X F(曾宪锋), Lin X D(林晓单), Qiu H Y(邱贺媛), et al. Investigation on alien plants in east Guangdong [J]. J Fujian For Sci Techn(福建林业科技), 2009, 36(2): 174-179.(in Chinese)

[7] Xing F W(邢福武), Zeng Q W(曾庆文), Xie Z Z(谢左章). Guangzhou Wild Plants [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 2007: 224-225.(in Chinese)

[8] Tian X S(田兴山), Yue M F(岳茂峰), Feng L(冯莉), et al. The Biological characteristics of an invasive weed *Bidens alba* [J].

- Jiangsu Agri Sci(江苏农业科学), 2010(5): 174–175.(in Chinese)
- [9] Shao H(邵华), Peng S L(彭少麟), Zhang C(张弛), et al. Allelopathic potential of *Mikania micrantha* [J]. Chin J Ecol(生态学报), 2003, 22(5): 62–65.(in Chinese)
- [10] Liang B(梁斌), Yuan Y L(袁亚莉), Gu W X(谷文祥), et al. Study on the allelopathy of *Mikania micrantha* [J]. Weed Sci(杂草科学), 2006, 3(1): 20–22.(in Chinese)
- [11] Li Y J(李拥军), Chen S(陈实), Li C Y(李春远), et al. Isolation and identification of allelochemicals from *Mikania micrantha* [J]. J S China Agri Univ(华南农业大学学报), 2008, 29(4): 26–30. (in Chinese)
- [12] Nie C R(聂呈荣), Zeng R S(曾任森), Li H S(黎华寿), et al. Physiological and biochemical mechanism of allelopathy of *Wedelia trilobata* L. on peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Peanut Sci Techn(花生学报), 2002, 31(3): 1–5.(in Chinese)
- [13] Nie C R(聂呈荣), Zeng R S(曾任森), Li H S(黎华寿), et al. Allelopathic potentials of *Wedelia trilobata* on *Brassica parachinensis* and its physiological mechanism of action [J]. J S China Agri Univ(华南农业大学学报), 2003, 24(4): 106–107. (in Chinese)
- [14] Jiang G B(江贵波), Zeng R S(曾任森). Allelopathic potentials of volatiles from *Wedelia trilobata* L. [J]. Ecol Environ(生态环境), 2007, 16(3): 950–953.(in Chinese)
- [15] Wei Y(韦琦), Zeng R S(曾任森), Kong C H(孔垂华), et al. The isolation and identification of allelochemicals from aerial parts of tropic *Ageratum* [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 1997, 21(4): 360–366.(in Chinese)
- [16] Kong C H(孔垂华), Huang S S(黄寿山), Hu F(胡飞). Allelopathy of *Ageratum conyzoides*: V. Biological activities of the volatile oil from *ageratum* on fungi, insects and plants and its chemical constituents [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2001, 21(4): 584–587.(in Chinese)
- [17] Chen J J(陈建军), Kong C H(孔垂华), Hu F(胡飞), et al. Allelopathy of *Ageratum conyzoides*: VIII. Allelopathic effects of residues on peanut and related weeds in the field [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2002, 22(8): 1196–1201.(in Chinese)
- [18] Hao J H(郝建华), Qiang S(强胜). An exotic invasive weed: *Ageratum conyzoides* [J]. Weed Sci(杂草科学), 2005(4): 54–58.(in Chinese)
- [19] Li G Y(李光义), Yu L(喻龙), Deng X(邓晓), et al. Study on the allelopathy of *Eupatorium catarium* [J]. Weed Sci(杂草科学), 2006(4): 19–20.(in Chinese)
- [20] Li G Y(李光义), Chen Z R(陈贞蓉), Deng X(邓晓), et al. Allelopathy of *Eupatorium catarium* Veldkamp to several weeds common in south China cropping system [J]. Chin Agri Sci Bull(中国农学通报), 2007, 23(5): 425–427.(in Chinese)
- [21] Lin C J(林成俊), Guo H J(郭焕佳), Pang Q Y(庞淇尹). Isolation and identification of allelochemicals from invasive plant *Eupatorium catarium* [J]. J Anhui Agri Sci(安徽农业科学), 2008, 36(9): 3497–3498. (in Chinese)
- [22] Liu W H(刘伟侯), Ren Z(任昭), Ye H(叶蕙), et al. Study on the allelopathy of *Ipomoea cairica* [J]. J S China Agri Univ(华南农业大学学报), 1997(2): 119–122.(in Chinese)
- [23] Zhao Z H(赵则海), Liao Z Y(廖周瑜), Peng S L(彭少麟). Variations of allelopathic plasticity in different parts of *Ipomoea cairica* [J]. Ecol Environ(生态环境), 2007, 16(4): 1244–1248. (in Chinese)
- [24] Liao Z Y(廖周瑜), Zhao Z H(赵则海), Hou Y P(侯玉平), et al. Allelopathic effects of *Ipomoea cairica* on *Mikania micrantha* [J]. Ecol Environ(生态环境), 2007, 16(3): 939–943. (in Chinese)
- [25] Liao Z Y(廖周瑜), Zhao Z H(赵则海), Hou Y P(侯玉平), et al. Allelopathic potential of early decomposition of leaf litter of *Ipomoea cairica* [J]. Ecol Environ(生态环境), 2007, 16(4): 124–125. (in Chinese)
- [26] Zhu H(朱慧), Ma R J(马瑞君), Wu S T(吴双桃), et al. Effects of *Ipomoea cairica* on partial physiological indexes of its herbaceous companion species [J]. J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究), 2007, 25(1): 75–78.(in Chinese)
- [27] Lin Y(林英), Dai Z C(戴志聪), Si C C(司春灿), et al. A study survey and prospect on invasive condition and invasive mechanism of *Lantana camara* L. [J]. J Hainan Norm Univ(海南师范大学学报), 2008, 21(1): 87–93.(in Chinese)
- [28] Quan G M(全国明), Zhang J E(章家恩), Xu H Q(徐华勤), et al. Allelopathic effects of different parts of invasive plant *Lantana camara* [J]. Chin Agri Sci Bull(中国农学通报), 2009(12): 102–106.(in Chinese)
- [29] Yi Z(易振), Zhang M X(张茂新), Ling B(凌冰), et al. Inhibitory effects of *Lantana camera* and its contained phenolic compounds on *Eichhornia crassipes* growth [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2006, 17(9): 1637–1640.(in Chinese)
- [30] Jiang G B(江贵波), Zeng R S(曾任森). Developmen of allelopathic materials and its collecting methods [J]. J Henan Agri Sci(河南农业科学), 2006(6): 24–27.(in Chinese)
- [31] Turk M A, Tawaha A M. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of lentil [J]. Pakistan J Agron, 2002, 1(1): 28–30.
- [32] Turk M A, Tawaha A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.) [J]. Crop Prot, 2003, 22: 673–677.
- [33] Zheng L(郑丽), Feng Y L(冯玉龙). Allelopathic effects of *Eupatorium adenophorum* Spreng on seed germination and seedling growth in ten herbaceous species [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2005, 25(10): 2782–2787.(in Chinese)

- [34] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls [J]. J Chem Ecol, 1988, 14(1): 181–187.
- [35] Zhang M X(张茂新), Ling B(凌冰), Kong C H(孔垂华), et al. Allelopathic potential of volatile oil from *Mikania micrantha* [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2002, 13(10): 1300–1302.(in Chinese)
- [36] Shen H M(沈慧敏), Guo H R(郭鸿儒), Huang G B(黄高宝). Allelopathy of different plants on wheat, cucumber and radish seedlings [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2005, 16(4): 740–743.(in Chinese)
- [37] Weber E, Sun SG, Li B. Invasive alien plants in China: Diversity and ecological insights [J]. Biol Invasion, 2008, 10: 1411–1429.
- [38] Wang N(王宁), Zhu Y M(朱颜明), Sheng L X(盛连喜), et al. Hg pollution of *Rana chensinensis* in Weisha River, Songhuajiang [J]. Chin Sci Bull(科学通报), 2005, 50(15): 1589–1593.(in Chinese)
- [39] Mu X Q(慕小倩), Luo M X(罗玛霞), Duan Y M(段琦梅), et al. Effects of water extracts from ten plants of Compositae against wheat seedling [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin(西北植物学报), 2003, 23(11): 2014–2017.(in Chinese)
- [40] Luo X Y(罗小勇), Sun Q T(孙启涛), Zhou S J(周世军). Study on allelopathic activities of different organs of 20 species of Compositae plants [J]. J Anhui Agri Sci(安徽农业科学), 2009, 37(3): 72–77.(in Chinese)
- [41] Zhou K(周凯), Guo W M(郭维明), Xu Y C(徐迎春). Advances of research on allelopathic potential in Compositae [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2004, 24(8): 1780–1788.(in Chinese)
- [42] Wang Z H(王真辉), An F(安锋), Chen Q B(陈秋波). *Praxelis (Praxelis clematidea)*: A new invasive exotic weed in China [J]. Chin J Trop Agri(热带农业科学), 2006, 26(6): 33–37.(in Chinese)