

小蓬草精油化感作用的生物测定

刘姗姗^a, 王海英^{a,①}, 刘志明^b

(东北林业大学 a. 林学院; b. 材料科学与工程学院 生物质材料科学与技术教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 采用水蒸气蒸馏法从小蓬草 [*Conyza canadensis* (L.) Cronq.] 地上部分分离出精油, 利用 GC-MS 技术对该精油的主要化学成分进行了鉴定, 结果显示: 精油提取率为 0.07%; 该精油主要含有 2,3-二甲基-4(3H)-喹唑啉酮、 α -佛手柑油烯、柠檬烯二醇、反式- β -金合欢烯和 α -姜黄烯等成分, 其中, 2,3-二甲基-4(3H)-喹唑啉酮的相对含量最高, 达到 54.41%。以青菜 (*Brassica chinensis* L.)、白菜 [*B. pekinensis* (Lour.) Rupr.]、小麦 (*Triticum aestivum* L.) 和高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 为供试植物, 采用培养皿法对不同质量浓度 (0.75、1.5、3.0 和 6.0 g · L⁻¹) 小蓬草精油的化感效应进行了生物测定, 结果显示: 经不同质量浓度小蓬草精油处理后 4 种供试植物的种子最终发芽率和发芽指数以及幼苗的根长和株高等 4 个生物测定指标总体上均低于对照, 且随精油质量浓度的提高不断降低, 其中, 0.75 g · L⁻¹ 精油处理组的 4 个生物测定指标均与对照无显著或极显著差异, 而 6.0 g · L⁻¹ 精油处理组的 4 个指标与对照则有显著或极显著的差异。4 种供试植物的 4 个生物测定指标的化感效应敏感指数几乎均为负值, 且随精油质量浓度的提高敏感指数的绝对值逐渐增大, 说明小蓬草精油对供试植物的化感作用为抑制作用, 且抑制作用的强度与精油质量浓度有关。在 4 种供试植物中, 小蓬草精油对青菜种子的最终发芽率的抑制作用最明显, 其半抑制浓度 (IC₅₀) 约为 3.0 g · L⁻¹; 在 4 个生物测定指标中, 种子最终发芽率以及幼苗根长对小蓬草精油的化感作用较敏感。研究结果表明, 小蓬草精油具有一定的化感活性, 可将其作为植物源除草剂原料进行开发利用。

关键词: 小蓬草; 精油; 化感作用; 化感物质; 化感效应敏感指数

中图分类号: Q946.85; S482.4 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2010)04-0056-07

Bioassay of allelopathy of essential oil from *Conyza canadensis* LIU Shan-shan^a, WANG Hai-ying^{a,①}, LIU Zhi-ming^b (a. College of Forestry; b. Key Laboratory of Bio-based Material Science and Technology of Ministry of Education, College of Material Science and Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2010, 19(4): 56-62

Abstract: Essential oil was obtained from above-ground part of *Conyza canadensis* (L.) Cronq. by steam distillation method, and main chemical components in the essential oil were identified by GC-MS technology. The result shows that the extraction rate of essential oil from *C. canadensis* is 0.07%. And main components are 2,3-dimethyl-4(3H)-quinazolinone, α -bergamotene, limonene glycol, (*E*)- β -farnesene and α -curcumene, in which, the relative content of 2,3-dimethyl-4(3H)-quinazolinone is the highest with a percentage of 54.41%. Taking *Brassica chinensis* L., *B. pekinensis* (Lour.) Rupr., *Triticum aestivum* L. and *Sorghum bicolor* (L.) Moench as tested species, the allelopathic effect of essential oil with different concentrations (0.75, 1.5, 3.0 and 6.0 g · L⁻¹) was bioassayed by culture dish method. The results show that four bioassay indexes including seed final germination rate, seed germination index, seedling root length and seedling height of four tested species treated by essential oil with different concentrations are generally lower than those of the control and gradually decrease with rising of essential oil concentration. In which, four bioassay indexes in the treatment group with 0.75 g · L⁻¹ essential oil have no significant or highly significant differences with those in the control, but in the treatment group with 6.0 g · L⁻¹ essential oil have significant or highly significant differences. The allelopathic effect indexes of four bioassay indexes of four tested species almost are negative values and

收稿日期: 2010-03-18

基金项目: 黑龙江省林业厅科技推广项目(01043208003)

作者简介: 刘姗姗(1985—), 女, 黑龙江呼兰人, 硕士研究生, 主要从事植物资源开发利用研究。

①通信作者 E-mail: haiyingwang908@yahoo.com.cn

their absolute values gradually enhance with rising of essential oil concentration, showing that the allelopathic effect of the essential oil is an inhibition role and the inhibition intensity relates to essential oil concentration. Among four tested species, the essential oil has an obvious inhibition effect on seed final germination rate of *B. chinensis*, and its half-inhibitory concentration (IC_{50}) is about $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. In four bioassay indexes, seed final germination rate and seedling root length are more sensitive to the allelopathic effect of the essential oil. It is concluded that essential oil of *C. canadensis* has a certain allelopathy, and it can be used as botanical herbicide material to exploit and utilize.

Key words: *Conyza canadensis* (L.) Cronq.; essential oil; allelopathy; allelochemicals; allelopathic effect index

植物精油(essential oil)是由一种或多种具有香气特征的挥发性化合物组成的混合物,为植物次生代谢的部分产物,一般都具有抑菌、杀虫和抗氧化等活性,主要应用于食品、烟酒、香水、护肤品、护发品和洗涤用品等的赋香,也常应用于抗菌剂和杀虫剂等的开发。Tworkoski^[1]的研究结果表明,锡兰肉桂(*Cinnamomum zeylanicum* Bl.)精油具有较强的除草活性,该精油的主要成分是丁香酚(eugenol)。植物次生代谢产生的具有影响(抑制或促进)其他植物生长作用的化感物质(allelochemicals)在自然状况下主要以4种方式进入周围环境:1)通过根系分泌物;2)植物体内由茎、叶产生的挥发性化学物质;3)植物地上部分受雨、雾及露水淋洗的化学物质;4)微生物分解植物残体并释放到土壤里的化学物质。以植物次生代谢产生的化感物质为模板合成新型环境友好型除草剂是当今除草剂研究领域的热点之一^[2-4]。

小蓬草[*Conyza canadensis* (L.) Cronq.]是菊科(Compositae)白酒草属(*Conyza* Less.)一年生草本植物,别名加拿大蓬、飞蓬或小飞蓬;小蓬草为芳香植物,全草含精油,原产于北美洲,现广泛分布于世界各地;夏、秋季形成单种优势群落,影响其他本土植物的生长,在许多地区已被列入外来入侵植物名录^[5-8]。许桂芳等^[9]的研究结果表明,小蓬草具有化感作用,其新鲜茎叶的水浸提液(含酚类物质)对小麦(*Triticum aestivum* L.)种子萌发和幼苗生长均具有抑制作用。高兴祥等^[10-12]的研究结果表明,根系分泌是小蓬草化感物质释放的主要途径之一,其提取物具有除草等生物活性。曹慕岚等^[13]的研究结果表明,小蓬草地上部分和地下部分水浸提液对水稻(*Oryza sativa* L.)和油菜(*Brassica campestris* L.)种子的最终萌发及根生长均具有抑制作用。

作者采用水蒸气蒸馏法从小蓬草地上部分(包括茎、叶、花等)提取得到精油,利用气相色谱-质谱

联用分析技术(GC-MS)对小蓬草精油的化学组成进行分析,并以小麦、青菜(*B. chinensis* L.)、白菜[*B. pekinensis* (Lour.) Rupr.]和高粱[*Sorghum bicolor* (L.) Moench]为实验对象,采用Weiss纸上种子发芽测定标准方法(培养皿法)^[14]对小蓬草精油的化感活性进行生物测定,从入侵生物学角度探讨小蓬草精油的化感潜力、研究小蓬草的化感作用,以期寻找新颖的除草活性先导化合物(化感物质),为小蓬草的开发利用提供基础研究数据。

1 材料和方法

1.1 材料

实验用野生小蓬草地上部分于2009年7月下旬采自黑龙江省哈尔滨市东北林业大学城市林业示范基地,并经东北林业大学林学院森林植物资源学植物标本室穆立嵩教授鉴定。青菜、白菜、小麦和高粱种子均购自哈尔滨市种子市场。

1.2 方法

1.2.1 精油提取方法 称取140 g小蓬草新鲜地上部分,剪成1~2 cm小段,用水蒸气蒸馏法提取3 h,提取液用20 mL乙醚进行萃取,向乙醚相中加入适量无水 Na_2SO_4 干燥15 min,过滤后置于40℃水浴中去除乙醚,得到浅黄色油状物,即为小蓬草精油。

1.2.2 精油GC-MS分析方法 用甲醇(色谱纯)将上述小蓬草精油配制质量浓度 $0.04 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的甲醇溶液,利用GC-MS 6890N-5973insert气相色谱-质谱联用仪(美国Agilent公司生产)进行GC-MS分析。

气相色谱分析条件:色谱柱为DB-17MS毛细管柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$),检测器为FID检测器。初始温度40℃,保持4 min;以 $5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的升温速率升温至110℃,保持5 min;以 $5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的

升温速率升温至 250 ℃,保持 5 min。进样口温度 260 ℃;进样量 1.0 μL,不分流;载气为氦气;流速 1 mL · min⁻¹。

质谱分析条件:EI 离子源,接口温度 280 ℃,离子源温度 230 ℃,轰击电压 70 eV,相对分子质量扫描范围 15 ~ 260 amu。

1.2.3 生物测定方法 用丙酮将小蓬草精油配制成质量浓度为 6.0 g · L⁻¹的小蓬草精油丙酮溶液,然后采用半量稀释法用丙酮稀释成质量浓度分别为 3.0、1.5 和 0.75 g · L⁻¹的小蓬草精油丙酮溶液。参照文献[12,14-15]的方法进行化感活性的生物检测。

在已消毒的直径为 9 cm 的培养皿内分别加入 1 mL 质量浓度为 6.0、3.0、1.5 和 0.75 g · L⁻¹的小蓬草精油丙酮溶液和 5 mL 蒸馏水,对照则加入 1 mL 丙酮和 5 mL 蒸馏水,混合均匀后铺入 2 层滤纸,待滤纸浸湿后将籽粒饱满、大小均匀的青菜、白菜、小麦和高粱种子各 10 粒分别在滤纸上水平摆成 1 行,盖上培养皿盖;将培养皿置于 HPG-400HX 人工气候箱(哈尔滨市东联电子技术开发有限公司制造)内并倾斜 30°放置,于(25±1) ℃、黑暗条件下培养 4 d 后,从第 5 天开始进行连续光照(光照度 5 000 lx,光照时间 24 h · d⁻¹)培养。各处理均设 3 次重复。

以胚根或胚轴突破种皮 1 ~ 2 mm 作为种子发芽的判定标准,每天观察并记录发芽种子的数量,连续统计 7 d,计算最终发芽率和发芽指数;并于第 7 天用数码显示游标卡尺测量幼苗的根长(胚轴末端至根末端的长度)和株高(胚轴顶端至幼苗顶端的长度),其中,青菜和白菜测量主根长度,小麦和高粱则测量最长根的长度。

1.3 数据处理

小蓬草精油的气相色谱-质谱的总离子流色谱图经计算机质谱库自动检索、解析和部分化合物的人工解析确定其组成成分,并通过峰面积归一化法计算各成分的相对含量。

参考文献[13,16-17]计算种子的萌发指标。最终发芽率=(前 7 天发芽种子总数/供试种子总数)×100%;发芽指数 $R_g = \sum G_i/D_i$,式中, D_i 为发芽日数, G_i 为与 D_i 相对应的当天发芽种子数。

化感效应敏感指数(R_i)计算公式为:若 $T \geq C$,则 $R_i = 1 - C/T$;若 $T < C$,则 $R_i = T/C - 1$ 。式中, R_i 表示化感作用强度大小,其绝对值的大小反映化感作用的强弱; C 和 T 分别为各供试植物种子的最终发芽率、种

子发芽指数以及根长和株高的对照值和处理值。

实验数据采用 SPSS 16.0 软件进行处理,并进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 小蓬草精油的主要化学组分及其相对含量

采用水蒸气蒸馏法从小蓬草地上部分提取得到精油,提取率为 0.07%;从该精油中共分离出 11 种化学成分,已鉴定出其中的 5 种成分,这 5 种成分的相对含量见表 1。小蓬草精油中保留时间为 35.763 min 的成分含量最高(相对含量 54.41%),其质谱(m/z)数据为 15、27、39、51、63、77、89、103、115、131、143、159 和 174,且自动检索匹配度低。经由人工解析可知, m/z 15、27、39、51、63 和 77 表明该化合物含苯基; m/z 89 表明苯基上有 1 个含碳的取代基^[18-20];根据质量差规律^[21]判断 m/z 174 为分子离子峰,相对分子质量为 174。结合计算机质谱库自动检索结果,初步判定该化合物为 2,3-二甲基-4(3H)-喹啉酮。

小蓬草精油中还含有 α -姜黄烯和 2 种萜烯类化合物(α -佛手柑油烯和反式- β -金合欢烯)以及 1 种醇类化合物(柠檬烯二醇)。有研究表明,萜烯类化合物、酚类化合物、直链醇、脂肪族醛和酮等都具有一定的化感作用^[22-25],基于此,作者将针对小蓬草精油的化感活性开展相应的研究。

表 1 小蓬草精油的主要化学成分及其相对含量

Table 1 Main chemical components and their relative contents in essential oil from *Conyza canadensis* (L.) Cronq.

化合物 Compound	保留时间/min Retention time	相对含量/% Relative content
α -佛手柑油烯 α -bergamotene	26.473	4.78
柠檬烯二醇 limonene glycol	28.221	1.88
反式- β -金合欢烯 (<i>E</i>)- β -farnesene	29.031	1.12
α -姜黄烯 α -curcumene	29.926	3.12
2,3-二甲基-4(3H)-喹啉酮 2,3-dimethyl-4(3H)-quinazolinone	35.763	54.41

2.2 小蓬草精油的化感活性

2.2.1 对种子发芽率的影响 不同质量浓度小蓬草精油对青菜、白菜、小麦和高粱种子最终发芽率的影响及其化感效应敏感指数见表 2。从 4 种植物种子的最终发芽率(表 2)可以看出,质量浓度 1.5、3.0 和

6.0 g · L⁻¹小蓬草精油具有降低青菜、白菜、小麦和高粱种子最终发芽率的作用,随着精油质量浓度的提高植物种子的最终发芽率不断降低。在供试的4种植物中,青菜种子对小蓬草精油最为敏感,精油浓度为6.0 g · L⁻¹时最终发芽率最低,仅为3%,且极显著低于其他处理组及对照组;在3.0和1.5 g · L⁻¹小蓬草精油处理组中,青菜种子的最终发芽率相近且差异不显著,但均极显著低于对照和0.75 g · L⁻¹处理组、极显著高于6.0 g · L⁻¹处理组。3.0和6.0 g · L⁻¹处理组白菜种子的最终发芽率极显著低于对照;6.0 g · L⁻¹处理组小麦和高粱种子的最终发芽率分别极显著或显著低于对照。总体上看,0.75 g · L⁻¹小蓬草精油对4种植物种子的最终发芽率没有影响,而

6.0 g · L⁻¹小蓬草精油对4种植物种子的最终发芽率均有极显著或显著的影响。

从表2还可以看出,6.0、3.0和1.5 g · L⁻¹处理组4种植物种子最终发芽率的化感效应敏感指数均为负值,说明一定质量浓度的小蓬草精油对青菜、白菜、小麦和高粱种子发芽均有抑制作用。随着小蓬草精油质量浓度的提高,4种植物种子最终发芽率的化感效应敏感指数绝对值逐渐增大,表明小蓬草精油质量浓度越高,其对植物种子萌发的抑制作用越大。在供试的4种植物中,各处理组青菜种子最终发芽率的化感效应敏感指数的绝对值均最大,根据表2数据推测,小蓬草精油对青菜种子萌发的半抑制浓度(IC₅₀)为3.0 g · L⁻¹。

表2 小蓬草精油对4种植物种子最终发芽率的影响及化感效应敏感指数¹⁾

Table 2 Effect of essential oil from *Conyza canadensis* (L.) Cronq. on seed final germination rate of four species and allelopathic effect index¹⁾

质量 浓度/g · L ⁻¹ Concentration	不同植物种子的最终发芽率/% Seed final germination rate of different species				不同植物种子最终发芽率的化感效应敏感指数 Allelopathic effect index of seed final germination rate of different species			
	青菜 <i>Brassica chinensis</i>	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>	青菜 <i>Brassica chinensis</i>	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>
	6.0	3cC	47bC	43bB	50bA	-0.96	-0.52	-0.55
3.0	50bB	57bBC	87aA	73abA	-0.42	-0.41	-0.10	-0.15
1.5	53bB	87aAB	93aA	80aA	-0.38	-0.10	-0.03	-0.08
0.75	87aA	97aA	97aA	87aA	0.00	0.00	0.00	0.00
0 (CK)	87aA	97aA	97aA	87aA	-	-	-	-

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 Datums in the table are the average of three replications; 同列中不同的小写和大写字母分别表示在0.05和0.01水平上差异显著 Different small letters and capitals in the same column indicate the significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.2.2 对种子发芽指数的影响 一般来说,种子发芽指数从置床开始算起,发芽指数越高说明该种子发芽所用的时间越短,发芽速率越快。经不同质量浓度小蓬草精油培养后4种植物的种子发芽指数及其化感效应敏感指数见表3。由表3可以看出,各处理组青菜、白菜、小麦和高粱种子的发芽指数均低于对照,说明小蓬草精油对青菜、白菜、小麦和高粱种子的发芽速率均有一定的抑制作用。随精油质量浓度的提高,4种供试植物的种子发芽指数不断降低;其中,6.0 g · L⁻¹处理组4种植物种子的发芽指数均最低,与对照均有极显著差异,也低于其他质量浓度处理组;而0.75 g · L⁻¹处理组4种植物种子的发芽指数虽然也低于对照组,但无显著差异。在供试的4种植物中,青菜种子的发芽指数对小蓬草精油最为敏感,6.0 g · L⁻¹处理组青菜种子的发芽指数最低,仅为0.11,与其他处理组及对照组有极显著差异;精油浓度为

1.5和3.0 g · L⁻¹的处理组青菜种子发芽指数极显著低于对照和0.75 g · L⁻¹处理组、极显著高于6.0 g · L⁻¹处理组。3.0 g · L⁻¹处理组白菜、小麦和高粱种子的发芽指数均极显著或显著低于对照;而1.5 g · L⁻¹处理组白菜、小麦和高粱种子的发芽指数与对照差异不显著。

从表3还可以看出,各处理组青菜、白菜、小麦和高粱种子发芽指数的化感效应敏感指数均为负值,说明小蓬草精油对青菜、白菜、小麦和高粱种子的发芽速率均有抑制作用。随精油质量浓度的提高,4种供试植物种子发芽指数的化感效应敏感指数绝对值不断增大,说明小蓬草精油对4种植物种子发芽速率的抑制作用逐渐增强。

2.2.3 对幼苗根长的影响 不同质量浓度小蓬草精油对青菜、白菜、小麦和高粱幼苗根长的影响及其化感效应敏感指数见表4。由表4可以看出,各处理组

青菜、白菜、小麦和高粱幼苗的根长均低于对照,说明小蓬草精油对青菜、白菜、小麦和高粱幼苗根长的生长有一定的抑制作用。随精油质量浓度的提高,4种植物幼苗的根长不断减小,其中,6.0 g · L⁻¹小蓬草精油对根长的抑制作用最明显,该处理组4种植物幼苗的根长均极显著低于对照;而0.75 g · L⁻¹处理组4种植物幼苗的根长虽然也小于对照,但总体上差异不明显。供试的4种植物幼苗根长生长对小蓬草精油的敏感性有一定的差异,其中青菜和高粱幼苗根长生长对小蓬草精油较为敏感,6.0 g · L⁻¹处理组青菜和高粱幼苗的根长分别仅为对照的3.61%和3.69%。经过不同质量浓度小蓬草精油处理后,4种植物幼苗根长生长的变化也有不同,其中,1.5 g · L⁻¹处理组青

菜幼苗的根长极显著低于对照组和0.75 g · L⁻¹处理组、极显著高于3.0和6.0 g · L⁻¹处理组;3.0 g · L⁻¹处理组白菜幼苗的根长与对照组有极显著差异;各处理组小麦幼苗的根长与对照组均有显著或极显著差异;1.5 g · L⁻¹处理组高粱幼苗的根长极显著低于对照组和0.75 g · L⁻¹处理组、显著高于3.0和6.0 g · L⁻¹处理组。

由表4还可见,小蓬草精油各处理组4种供试植物幼苗根长的化感效应敏感指数均为负值,且其绝对值随着精油质量浓度的提高不断增大,说明不同质量浓度小蓬草精油对青菜、白菜、小麦和高粱幼苗根长的生长均有一定的抑制作用,且精油质量浓度越高抑制作用越强。

表3 小蓬草精油对4种植物种子发芽指数的影响及化感效应敏感指数¹⁾

Table 3 Effect of essential oil from *Conyza canadensis* (L.) Cronq. on seed germination index of four species and allelopathic effect index¹⁾

质量 浓度/g · L ⁻¹ Concentration	不同植物种子的发芽指数 Seed germination index of different species				不同植物种子发芽指数的化感效应敏感指数 Allelopathic effect index of seed germination index of different species			
	青菜 <i>Brassica chinensis</i>	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>	青菜 <i>Brassica chinensis</i>	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>
	6.0	0.11cC	1.87bC	1.56cB	1.76cB	-0.97	-0.60	-0.67
3.0	2.11bB	2.31bBC	3.02bAB	2.54bcAB	-0.51	-0.51	-0.36	-0.30
1.5	2.25bB	3.83aAB	4.45aA	3.03abAB	-0.47	-0.19	-0.06	-0.16
0.75	3.83aA	4.61aA	4.58aA	3.61aA	-0.10	-0.02	-0.03	0.00
0(CK)	4.28aA	4.72aA	4.72aA	3.62aA	-	-	-	-

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 Datums in the table are the average of three replications; 同列中不同的小写和大写字母分别表示在0.05和0.01水平上差异显著 Different small letters and capitals in the same column indicate the significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

表4 小蓬草精油对4种植物幼苗根长的影响及化感效应敏感指数¹⁾

Table 4 Effect of essential oil from *Conyza canadensis* (L.) Cronq. on seedling root length of four species and allelopathic effect index¹⁾

质量 浓度/g · L ⁻¹ Concentration	不同植物幼苗的根长/mm Seedling root length of different species				不同植物幼苗根长的化感效应敏感指数 Allelopathic effect index of seedling root length of different species			
	青菜 <i>Brassica chinensis</i>	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>	青菜 <i>Brassica chinensis</i>	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>
	6.0	3.05dD	6.79bB	16.23eD	2.13cB	-0.96	-0.90	-0.87
3.0	25.74cC	26.26bB	42.98dC	8.03cB	-0.69	-0.62	-0.67	-0.86
1.5	49.82bB	67.54aA	87.76cB	28.94bB	-0.41	-0.03	-0.32	-0.50
0.75	73.65aA	68.51aA	106.64bAB	57.16aA	-0.13	-0.02	-0.17	-0.01
0(CK)	84.38aA	69.74aA	129.21aA	57.66aA	-	-	-	-

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 Datums in the table are the average of three replications; 同列中不同的小写和大写字母分别表示在0.05和0.01水平上差异显著 Different small letters and capitals in the same column indicate the significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.2.4 对幼苗株高的影响 不同质量浓度小蓬草精油对4种供试植物幼苗株高的影响及其化感效应敏感指数见表5。由表5可以看出,各处理组青菜、白菜、小麦和高粱幼苗的株高均小于对照,且随精油质

量浓度的提高,幼苗株高不断降低,说明小蓬草精油对4种供试植物幼苗株高的生长均有一定的抑制作用,且抑制作用的强度与精油的质量浓度有一定的相关性。

4种供试植物中,青菜幼苗的株高生长对小蓬草精油的敏感性最弱,仅 $6.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组青菜幼苗的株高极显著小于对照,其他处理组青菜幼苗的株高均与对照组无显著差异;白菜幼苗的株高生长对小蓬草精油的敏感性也较弱,仅 3.0 和 $6.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组白

菜幼苗株高与对照组有极显著差异;小麦和高粱幼苗的株高生长对小蓬草精油的敏感性相对较强,其中, $0.75\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组小麦幼苗的株高与对照组有显著差异, $1.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组高粱幼苗的株高与对照组有显著差异。

表5 小蓬草精油对4种植物幼苗株高的影响及化感效应敏感指数¹⁾

Table 5 Effect of essential oil from *Conyza canadensis* (L.) Cronq. on seedling height of four species and allelopathic effect index¹⁾

质量 浓度/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ Concentration	不同植物的株高/mm Seedling height of different species				不同植物株高的化感效应敏感指数 Allelopathic effect index of seedling height of different species			
	青菜 <i>Brassica chinensis</i>	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>	青菜 <i>Brassica chinensis</i>	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>
6.0	5.10bB	9.87cC	28.36dC	6.72cB	-0.77	-0.60	-0.75	-0.60
3.0	18.75aA	13.34bcBC	57.57cB	7.11cB	-0.17	-0.46	-0.49	-0.56
1.5	21.45aA	19.61abAB	93.27bA	11.81bAB	-0.05	-0.21	-0.18	-0.28
0.75	21.99aA	20.23aAB	94.76bA	16.25aA	-0.03	-0.19	-0.17	-0.01
0(CK)	22.57aA	24.89aA	113.91aA	16.38aA	-	-	-	-

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 Datums in the table are the average of three replications; 同列中不同的小写和大写字母分别表示在0.05和0.01水平上差异显著 Different small letters and capitals in the same column indicate the significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

由表5还可见,小蓬草精油不同质量浓度处理组青菜、白菜、小麦和高粱幼苗株高的化感效应敏感指数均为负值,并随质量浓度的提高,化感效应敏感指数的绝对值逐渐增大,说明小蓬草精油对青菜、白菜、小麦和高粱幼苗株高的生长均有抑制作用,且抑制作用的强度与精油的质量浓度有一定的相关性。小蓬草精油对4种植物幼苗株高的这种化感效应与其对4种植物种子的最终发芽率、发芽指数和幼苗根长的化感效应规律一致。

3 讨论和结论

生物测定结果显示,经小蓬草精油处理后青菜、白菜、小麦和高粱种子的最终发芽率和发芽指数以及幼苗的根长和株高总体上均低于对照,且各指标均随小蓬草精油质量浓度的提高不断下降,其中,在低质量浓度($0.75\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)小蓬草精油影响下4个生物测定指标基本上与对照无显著差异,而在高质量浓度($6.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)小蓬草精油影响下4个生物测定指标均与对照有显著或极显著的差异,说明小蓬草精油对4种供试植物的种子萌发和幼苗生长均有一定的化感作用,且这种化感作用因化感成分质量浓度的提高而增强。这与同为菊科外来植物的牛膝菊(*Galinsoga parviflora* Cav.)和野茼蒿[*Crassocephalum crepidioides*

(Benth.) S. Moore]等种类对部分作物化感作用的研究结果^[26]相似。不同质量浓度小蓬草精油对4种供试植物4个生物测定指标的化感效应敏感指数有一定的差异,但总体上均为负值,且随小蓬草精油质量浓度的提高,各指标化感效应敏感指数的绝对值均逐渐增大,表明小蓬草精油对4种供试植物的化感作用均为抑制作用,且这种抑制作用的强度与小蓬草精油的质量浓度相关。不同质量浓度小蓬草精油对供试4种植物的化感作用的强弱因植物种类及测定指标的不同而异,其中,小蓬草精油对青菜种子最终发芽率具有明显的抑制作用,并主要通过影响青菜种子的发芽速率抑制青菜种子萌发,表明青菜种子最终发芽率对小蓬草精油化感作用的敏感性最强,其半抑制浓度(IC_{50})约为 $3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在同一供试植物的不同测定指标中,小蓬草精油对种子的发芽指数与最终发芽率的抑制效果较一致,但相对而言种子最终发芽率更为敏感;幼苗根长生长对小蓬草精油化感作用的敏感性高于株高生长,也即小蓬草精油对供试植物幼苗根长生长的抑制作用大于对幼苗地上部分生长的抑制作用,从这一角度来看,小蓬草精油可作为植物源除草剂原料进行进一步的开发利用研究。

气相色谱-质谱联用分析结果显示:小蓬草精油中主要含有2,3-二甲基-4(3H)-喹唑啉酮、 α -佛手柑油烯和反式- β -金合欢烯等酮类化合物和萜烯类化

合物,这些成分均为具有一定化感活性的次生代谢产物,因而,这也可能是小蓬草在夏、秋季能形成单种优势群落并影响其他本土植物的生长从而成为入侵植物的原因之一。在小蓬草精油的化感作用中究竟是单一化感成分作用还是几种化感成分共同作用,其化感机制有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Tworowski T. Herbicide effects of essential oils[J]. *Weed Science*, 2002, 50(4): 425-431.
- [2] Vyvyan J R. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals[J]. *Tetrahedron*, 2002, 58(9): 1631-1646.
- [3] Dudai N, Poljakoff-Mayber A, Mayer A M, et al. Essential oils as allelochemicals and their potential use as bioherbicides[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1999, 25(5): 1079-1089.
- [4] Gauvrit C, Cabanne F. Oils for weed control: uses and mode of action[J]. *Pesticide Science*, 1993, 37(2): 147-153.
- [5] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第七十四卷[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 348-350.
- [6] 王羽梅. 中国芳香植物: 上册[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 401.
- [7] 聂绍荃, 袁晓颖, 杨逢建. 黑龙江植物资源志[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003: 700-701.
- [8] 董红云, 李亚, 汪庆, 等. 江苏省3个自然保护区外来入侵植物的调查及分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(1): 86-91.
- [9] 许桂芳, 刘明久, 晁慧娟. 入侵植物小蓬草化感作用研究[J]. *西北农业学报*, 2007, 16(3): 215-218.
- [10] 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.
- [11] 高兴祥, 李美, 高宗军, 等. 外来物种小飞蓬的化感作用初步研究[J]. *草业学报*, 2009, 18(5): 46-51.
- [12] 高兴祥, 李美, 于建奎, 等. 小飞蓬提取物除草活性的生物测定[J]. *植物资源与环境学报*, 2006, 15(1): 18-21.
- [13] 曹慕岚, 李翔. 入侵植物——加拿大飞蓬对作物种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *成都大学学报: 自然科学版*, 2008, 27(3): 187-190.
- [14] Weiss Y, Rubin B, Shulman A, et al. Determination of plant resistance to carbamate herbicidal compounds inhibiting cell division and early growth by seed and plantlets bioassays[J]. *Nature Protocols*, 2006, 1(5): 2282-2287.
- [15] 李永红, 刘斌, 杨秀凤. 除草活性筛选方法规范化研究(II)——油菜平皿法[J]. *浙江化工*, 2000, 31(增刊): 105-107.
- [16] Saxena A, Singh D V, Joshi N L. Autotoxic effects of pearl millet aqueous extracts on seed germination and seedling growth[J]. *Journal of Arid Environments*, 1996, 33(2): 255-260.
- [17] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.
- [18] 邓芹英, 刘岚, 邓慧敏. 波谱分析教程[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2007: 261-275.
- [19] 朱淮武. 有机分子结构波谱解析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 273-277.
- [20] 孟令芝, 龚淑玲, 何永炳. 有机波谱分析[M]. 2版. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 14-51.
- [21] 王光辉, 熊少祥. 有机质谱解析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 130-160.
- [22] 杨期和, 叶万辉, 廖富林, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(12): 1459-1465.
- [23] 李霞. 萜类化合物对植物的化感作用[J]. *通化师范学院学报*, 2006, 27(2): 80-81.
- [24] 张学文, 刘亦学, 刘万学, 等. 植物化感物质及其释放途径[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(7): 295-297.
- [25] 王延鹏. 植物间化感作用研究概况[J]. *山东林业科技*, 2008, 38(3): 84-88.
- [26] 董红云, 李亚, 汪庆, 等. 外来入侵植物牛膝菊和野苘蒿水浸提液化感作用的生物测定[J]. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(2): 48-53, 91.