

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.06.029

李晓霞, 沈奕德, 范志伟, 等. 肿柄菊挥发油的化学成分分析及其化感作用[J]. 广西植物, 2013, 33(6):878—882

Li XX, Shen YD, Fan ZW, et al. Chemical constituents and allelopathy of *Tithonia diversifolia* volatile oil[J]. *Guihaia*, 2013, 33(6):878—882

肿柄菊挥发油的化学成分分析及其化感作用

李晓霞, 沈奕德, 范志伟*, 黄乔乔, 程汉亭, 刘丽珍

(中国热带农业科学院 环境与植物保护研究所/农业部热带农林有害生物入侵监测与控制重点实验室
实验室/海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海南 儋州 571737)

摘要: 采用水蒸气蒸馏法提取肿柄菊地上部分的挥发油, 利用 GC-MS 技术对肿柄菊地上部分的挥发油进行分析, 以假臭草、巴西含羞草、含羞草、蝶豆和鬼针草 5 种肿柄菊伴生植物为供试植物, 用半密闭容器法对肿柄菊挥发油的化感效应进行生物测定。GC-MS 分析结果显示, 从肿柄菊挥发油中鉴定出 50 个化合物, 占总出峰面积的 94.79%, 肿柄菊挥发油中主要含有 α -蒎烯(63.81%)、柠檬烯(7.07%)、 β -石竹烯(4.85%)、双环大香烯(2.95%)、香桉烯(2.78%)、斯巴醇(2.70%) 等萜类和醇类化合物, 占挥发油总量的 94.15%, 其中萜类化合物含量占总挥发油的 86.01%。生测结果显示, 肿柄菊挥发油对 5 种受试植物的种子萌发和幼苗生长均产生抑制作用, 其中对巴西含羞草的抑制作用最为显著, 而对含羞草和蝶豆影响较小。说明肿柄菊挥发油在其入侵扩散中发挥一定的化感作用。

关键词: 肿柄菊; 挥发油; 化感物质; 化感作用**中图分类号:** Q946.85 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2013)06-0878-05

Chemical constituents and allelopathy of *Tithonia diversifolia* volatile oil

LI Xiao-Xia, SHEN Yi-Den, FAN Zhi-Wei^{1*}, HUANG Qiao-Qiao,
CHENG Han-Ting, LIU Li-Zhen

(Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture, Hainan Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural Pests, Institute of Environment and Plant Protection, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, China)

Abstract: Volatile oil was obtained from above ground part of *Tithonia diversifolia* by steam distillation method, and the main chemical components in the volatile oil were identified by gas chromatography-mass. Allelopathy of volatile oil from *T. diversifolia* on seed germination and seedling growth of 5 co-occurring plant species, *Eupatorium catari-un*, *Mimosa diplotrich*, *Mimosa pudica*, *Clitoria ternatea*, *Bidens pilosa* was studied in a semi-closed container. 50 compounds were identified, accounting to 94.79% of the total detected constituents. The main components were α -Pinene(63.81%), Limonene(7.07%), β -Caryophyllene(4.85%), Bicyclogermacrene(2.95%), Sabinene(2.78%), and Spathulenol(2.702%), which accounted for 94.15% of the total amount of the essential oil samples. Terpenes accounted for 86.01% of the total. The bioassay test results demonstrated that volatile oil of *T. diversifolia* could inhibit the seed germination and growth of all tested plant. The inhibitory effects on *Mimosa diplotricha* was the largest, while *Mimosa pudica* and *Clitoria ternatea* were relatively small. These results indicated that volatile oil of *T. diver-*

收稿日期: 2013-02-10 **修回日期:** 2013-05-23**基金项目:** 国家自然科学基金(31071699); 国家科技部国际合作项目(2011DFB30040); 公益性行业(农业)科研专项(201103027)**作者简介:** 李晓霞(1983-), 女(白族), 云南大理人, 硕士, 从事热带农林杂草生物学、生态学与综合监控等研究, (E-mail)lixiaoxiayn@163.com.**通讯作者:** 范志伟, 博士, 研究员, 从事入侵植物与杂草生物学、生态学等研究, (E-mail)fanweed@163.com.

sifolia played a certain allelopathy invasive in invasion of diffusion.

Key words: *Tithonia diversifolia*; volatile oil; allelopathy; allelochemicals

肿柄菊(*Tithonia diversifolia*)为菊科(Compositae)肿柄菊属(*T. Desfontaines*)植物,原产墨西哥及中美洲地区,作为观赏、绿肥和防止土壤侵蚀植物被广泛引种到亚洲、非洲、北美、澳洲的许多国家和地区,期间我国广东、云南等作为观赏植物引入(吴征镒等,2010;Eduar,2000)。肿柄菊结实量大,繁殖潜力强,进而形成密集状丛生的单一优势种群。逐渐在东南亚、南非、太平洋一些地区成为强势入侵草地、河岸、路边的杂草。近年来,在我国云南、广东、广西、福建和海南等地有大量逃逸分布种群,逐渐表现出入侵性,给农业生产造成严重危害,成为一种具有较大潜在危害性的外来植物(范志伟等,2007;徐成东等,2007)。入侵物种通过释放化感物质来抵制本地植物的萌发和生长发育,以达到种群优势。可见,化感作用在外来种入侵过程中起重要作用(Harsh,2003;黄京华等,2005)。化感物质释放途径有4种,即淋溶、挥发、残体分解和根系分泌。其中,挥发是植物释放化感物质的一条重要途径(Rice,1984;孔垂华等,1998),因此,肿柄菊挥发物质是否具有化感作用值得深入研究。

目前,肿柄菊的研究主要集中在药物、肥料、饲料、杀虫剂和除草剂等方面(徐成东等,2006;罗瑛等,2009)。肿柄菊不同部位水浸液被证实具有化感作用(杨海艳等,2011),然而,其挥发油主要化学成分及其是否具有化感作用等问题未见报道。本文采用气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术,对其挥发油主要化学成分进行了分析,并采用半密闭容器法测定了肿柄菊挥发油对伴生植物假臭草(*Eupatorium catarium*)、巴西含羞草(*Mimosa diplotricha*)、含羞草(*Mimosa pudica*)、蝶豆(*Clitoria ternatea*)和鬼针草(*Bidens pilosa*)种子萌发、幼苗生长的影响,为进一步探讨在自然条件下肿柄菊的化感作用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用肿柄菊地上部分于2011年11月下旬采自海南省儋州市中国热带农业科学院科技园内。受试材料假臭草、巴西含羞草、含羞草、蝶豆和鬼针草种子(发芽率>90%)采自海南省中国热带农业科学

院科技园内。

1.2 方法

1.2.1 挥发油的提取 肿柄菊挥发油采用水蒸气蒸馏法提取,经无水硫酸钠干燥后得浅黄色透明液体,有轻微香味,比重小于水。

1.2.2 挥发油 GC-MS 分析方法 检测仪器为美国惠普公司的毛细管气相色谱-质谱联用仪(HP6890/HP5973 GC/MS 联用仪)。气相色谱条件:色谱柱为 HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane(30 m×0.25 mm×0.25 μm)弹性石英毛细管柱,柱温 50 °C(保留 2 min),以 5 °C/min 升温至 300 °C(保持 15 min);汽化室温度 250 °C;载气为高纯 He(99.999%);柱前压 7.62 psi,载气流量 1.0 mL/min;进样量 1 μL;分流比 20:1。质谱条件:离子源为 EI 源;离子源温度 230 °C;四极杆温度 150 °C;电子能量 70 eV;发射电流 34.6 μA;倍增器电压 1071 V;接口温度 280 °C;质量范围 10~550 amu。

1.2.3 挥发油化感作用的生物测定 挥发油化感作用的生物测定方法参照杨莉等(2010)方法。在干燥器(Φ为 30 cm)中分别放入盛有 50、100、150 μL 挥发油的培养皿,对照组培养皿中为蒸馏水。种子萌发试验采用滤纸培养法培养。供试植物种子培养皿放在干燥器上层,每皿分别播入 30 粒假臭草种子、巴西含羞草、含羞草、蝶豆和鬼针草种子,每皿加 5 mL 水。实验期间,每天定时开启干燥器通风 2 次,每次 1 h,保持滤纸湿润,并补充相应体积的挥发油至下层培养皿中以保证干燥器内挥发油浓度。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(以胚根或胚轴突破种皮达 1~2 mm 为种子萌发标准);7 d 之后测定受体植物的根长(胚轴末端至根末端的长度)和苗高(胚轴顶端至幼苗顶端的长度)。

1.2.4 实验数据分析及统计方法 最终发芽率=(前 7 d 发芽种子总数/供试种子总数)×100%;对照抑制百分率=(1-处理/对照)×100%;综合效应(SE, synthesis effect)是供体对同一受体 3 个测试项目的对照抑制百分率的平均值。

2 结果与分析

2.1 肿柄菊挥发油的主要化学成分及其相对含量

按上述条件对肿柄菊地上部分挥发油进行 GC-

表 1 肿柄菊挥发油主要化学成分和相对含量

Table 1 Constituents and contents of volatile oil from *T. diversifolia*

编号 No.	保留时间 RT (min)	化合物 Compound	分子式 MF	分子量 MW	相对含量 RC (%)	编号 No.	保留时间 RT (min)	化合物 Compound	分子式 MF	分子量 MW	相对含量 RC (%)
1	4.47	己醛 Hexanal	C ₆ H ₁₂ O	100	0.031	26	14.24	p-孟-2-烯-1-醇 p-Menth-2-en-1-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.23
2	5.80	(E)-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal	C ₆ H ₁₀ O	98	0.32	27	14.34	L 芳樟醇 L Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.20
3	5.99	(Z)-2-己烯-1-醇 (Z)-3-Hexen-1-ol	C ₆ H ₁₂ O	100	1.36	28	14.69	乙酸辛烯酯 Octenyl acetate	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	0.055
4	6.30	(E)-2-己烯-1-醇 (E)-2-Hexen-1-ol	C ₆ H ₁₂ O	100	0.56	29	14.83	(E)-4, 8-dimethyl-1, 3, 7-Nonatriene	C ₁₁ H ₁₈	150	0.10
5	6.37	己醇 Hexanol	C ₆ H ₁₄ O	102	0.97	30	15.10	1-松油醇 1-Terpeneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.044
6	6.99	(Z)-2-辛烯醇 (Z)-4-Heptenal	C ₇ H ₁₂ O	112	0.052	31	15.94	Berberol	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.15
7	7.84	三环烯 Tricylene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.058	32	16.73	L-龙脑 L-Borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.083
8	8.07	α -侧柏烯 α -Thujene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.19	33	17.11	4-松油醇 4-Terpeneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.43
9	8.43	α -蒎烯 α -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	63.82	34	17.25	Naphthalene	C ₁₀ H ₈	128	0.077
10	8.75	莰烯 Camphene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.40	35	17.65	α -松油醇 α -Terpeneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.10
11	9.65	香桉烯 Sabinene	C ₁₀ H ₁₆	136	2.78	36	22.52	双环榄香烯 Bicycloelemene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.30
12	9.71	β -蒎烯 β -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.72	37	23.83	α -古巴烯 α -Copaene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.66
13	9.99	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	C ₈ H ₁₆ O	128	0.37	38	25.28	β -石竹烯 β -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	4.85
14	10.13	2-辛醇 3-Octanone	C ₈ H ₁₆ O	128	0.090	39	26.32	α -律草烯 α -Humulene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.30
15	10.68	假柠檬烯 Pseudolimonene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.041	40	26.50	香树烯 Aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.11
16	10.85	(Z)-3-乙酸-3-己烯酯 (Z)-3-Hexenyl acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	142	0.12	41	27.18	大牦牛儿烯 DGermanene D	C ₁₅ H ₂₄	204	0.094
17	11.09	乙酸己酯 Hexyl acetate	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	0.039	42	27.34	β -桉叶烯 β -Selinene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.10
18	11.15	α -Tetpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.12	43	27.46	1-十五烯 1-Pentadecene	C ₁₅ H ₃₀	210	0.45
19	11.48	m-异丙基甲苯 m-Cymene	C ₁₀ H ₁₄	134	0.052	44	27.68	双环大香烯 Bicyclogermacrene	C ₁₅ H ₂₄	204	2.95
20	11.65	柠檬烯 Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	7.07	45	28.45	δ -杜松烯 δ -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.069
21	11.98	(Z)-罗勒烯 (Z)-Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.046	46	29.47	橙花叔醇 Nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.071
22	12.71	γ -Tetpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.18	47	30.22	斯巴醇 Spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	220	2.70
23	13.10	(Z)-水合桉烯 (Z)-Sabinene hydrate	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.47	48	32.41	(+)-7-epi-Amiteol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.38
24	13.64	1-壬烯-3-醇 1-Nonen-3-ol	C ₉ H ₁₈ O	142	0.057	49	37.31	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮 6,10,14-trimethyl-2-Pentadecanone	C ₁₈ H ₃₆ O	268	0.052
25	13.77	α -Tetpinolene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.069	50	43.78	植醇 Phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	296	0.25

MS 分析, 通过 HPMSD 化学工作站, 结合 Nist05 质谱图库和 Wiley275 质谱图库进行鉴定, 从肿柄菊地上部分的总离子流图中共分离得到 58 个组分, 经检索及核对质谱图, 鉴定出 50 个组分, 占总出峰面积的 94.79%。表 1 分析结果表明, 肿柄菊挥发油主要含有 α -蒎烯 (63.82%)、柠檬烯 Limonene (7.07%)、 β -石竹烯 (4.85%)、双环大香烯 (2.95%)、香桉烯 (2.78%)、斯巴醇 (2.70%) 等萜类和醇类化

合物, 占挥发油总量的 94.15%。萜类化合物 (单萜 15 个占总的相对含量的 76.08%、倍半萜 10 个占总的相对含量的 9.93%) 含量占总挥发油的 86.01%。此外, 还有一些含量较少的酯类、酮类、醛类。

2.2 肿柄菊挥发油的化感活性

2.2.1 肿柄菊挥发油对 5 种伴生植物种子萌发的影响 肿柄菊挥发油对假臭草、巴西含羞草、含羞草、蝶豆和鬼针草种子萌发抑制率的影响见图 2。从图

2 可以看出, 肿柄菊挥发油对不同受体植物种子萌发具有不同的化感作用, 总体上看, 随着剂量的增大, 其抑制作用逐渐增强。供试的 5 种植物中, 巴西含羞草种子对挥发油最为敏感, 在肿柄菊挥发油量为 150 μL 时抑制率达 76.00%, 显著高于其他处理组; 鬼针草种子萌发抑制程度仅次于巴西含羞草, 而挥发油对含羞草和蝶豆种子萌发抑制作用较弱。

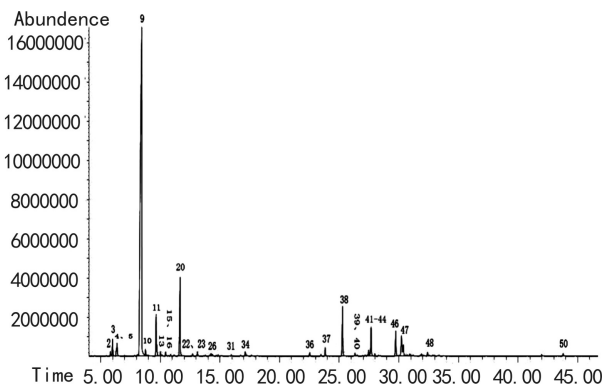


图 1 肿柄菊挥发油化学成分总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatography of volatile oil from *T. diversifolia*

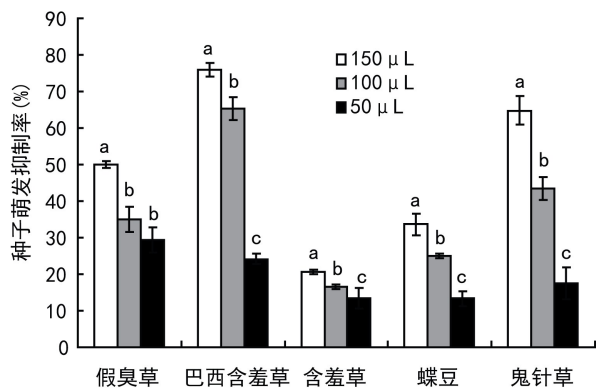


图 2 肿柄菊挥发油对植物种子萌发抑制率的影响

Fig. 2 Influence of volatile oils on seed germination

2.2.2 肿柄菊挥发油对 5 种伴生植物幼苗生长的影响 肿柄菊挥发油对假臭草、巴西含羞草、含羞草、蝶豆和鬼针草幼苗生长的影响见图 3。从供试植物来看, 各处理的根长、苗高都低于对照, 说明肿柄菊挥发油对供试植物的生长有抑制作用, 随着剂量的升高抑制作用逐渐增强, 且根长的抑制作用强于对苗高的抑制作用。其中, 巴西含羞草对肿柄菊挥发油最敏感, 在 50 μL 处理下, 肿柄菊挥发油对其根长、苗高的抑制作用达 56.84% 和 65.33% (高于

50%) ; 而对含羞草苗高和蝶豆根长抑制作用最不明显, 抑制率仅为 18.03% 和 17.18%, 随着剂量的增加 (150 μL), 抑制率为 37.31% 和 43.48%。

2.3 肿柄菊挥发油对 5 种伴生植物的综合效应

表 2 列出了肿柄菊挥发油对假臭草、巴西含羞草、含羞草、蝶豆和鬼针草 5 种受体的综合效应。结

表 2 肿柄菊挥发油的综合效应

Table 2 Synthesis effect of volatile oil from *T. diversifolia*

植物 Plant	挥发 油量 Quantity of vola- tile oil (μL)	指标 Index (%)			综合 效应 Synthesis effect (%)
		萌发抑制 率 of ger- minating Inhibiting rate of	根长抑制率 rate of root length Inhibiting rate of	苗高抑制率 rate of grass height Inhibiting rate of	
假臭草 <i>E. catarium</i>	50	29.5 \pm 0.85a	28.26 \pm 3.15c	31.39 \pm 0.25b	39.86
	100	35 \pm 3.46b	34.41 \pm 1.2b	47.11 \pm 0.71a	
	150	50 \pm 3.35b	57.67 \pm 1.25a	45.45 \pm 1.00a	
巴西含羞草 <i>M. diplotricha</i>	50	24.17 \pm 1.44a	65.33 \pm 0.6b	56.84 \pm 3.16b	54.59
	100	65.33 \pm 3.01b	72.68 \pm 1.42a	58.85 \pm 2.52b	
	150	76 \pm 1.80c	75.73 \pm 1.57a	77.42 \pm 2.80a	
含羞草 <i>M. pudica</i>	50	12.41 \pm 2.74a	37.73 \pm 3.25c	18.03 \pm 1.05c	27.40
	100	16.67 \pm 0.58b	46.61 \pm 3.62b	26.38 \pm 2.36b	
	150	20.67 \pm 0.58c	61.23 \pm 3.54a	37.31 \pm 3.55a	
蝶豆 <i>C. ternatea</i>	50	13.33 \pm 2.08a	17.18 \pm 2.06c	43.09 \pm 3.41b	34.64
	100	25 \pm 0.58b	26.84 \pm 1.51b	43.64 \pm 3.10b	
	150	33.67 \pm 3.00c	43.48 \pm 2.50a	65.6 \pm 2.20a	
鬼针草 <i>B. pilosa</i>	50	17.41 \pm 4.40a	29.37 \pm 1.21b	30.46 \pm 2.14c	53.79
	100	43.55 \pm 3.12b	84.67 \pm 0.88a	57.27 \pm 1.80b	
	150	64.82 \pm 4.40c	87.74 \pm 0.63a	68.83 \pm 0.93a	

果表明, 肿柄菊挥发油对 5 种受体种子萌发平均抑制率分别为 38.16%、55.17%、16.92%、24%、41.92%; 根长的平均抑制率分别为 40.11%、71.25%、48.52%、29.17%、67.91%, 而苗高的抑制率分别为 41.32%、64.37%、27.24%、50.78%、52.17%; 肿柄菊挥发油对巴西含羞草的化感综合效应较强达 54.59%, 其次是鬼针草 (达 53.79%), 而对含羞草和蝶豆的化感综合效应相对较弱, 仅分别为 27.40% 和 34.64%。总的来看, 肿柄菊挥发油对受体植物根长的抑制作用强于苗高的抑制作用, 且对巴西含羞草幼苗生长抑制作用最强。

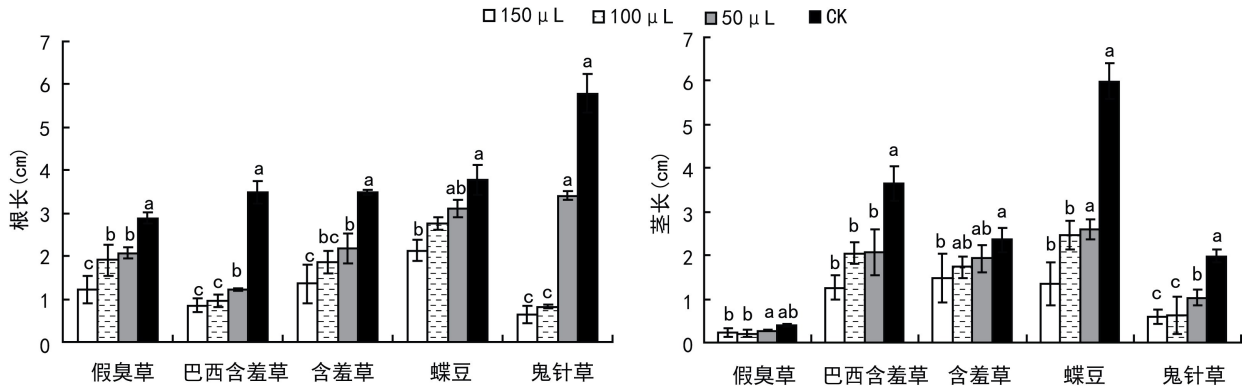


图3 肿柄菊挥发油对植物幼苗生长的影响

Fig. 3 Influence of volatile oils on seedling growth

3 结论与讨论

外来入侵种往往通过不断释放特定次生代谢物,抑制其邻近植物的种子萌发和生长发育而发挥化感作用。烯类、醇类、萜类、酚类和酯类等很多次生代谢物是具有化感作用的物质(Inderjit & Duke, 2003)。本研究结果显示肿柄菊挥发油化学成分主要含有萜类、醇类、酯类等。其中具有化感潜力的 α -蒎烯含量达63.81%,此外,其挥发油中还可能存在柠檬烯、 β -蒎烯、(Z)-罗勒烯的萜类物质,上述萜类物质的相对含量占总挥发油的86.01%是肿柄菊挥发油的主要成分。研究证实萜类化合物是一类主要的化感物质,并通过挥发、淋溶、分泌和植物残体腐解等途径进入环境中,从而引起周围生物群落和生态系统的变化(Judith & William, 1990)。然而,肿柄菊挥发油主要成分对其扩散环境中的植物是否产生化感作用不得而知,因此笔者以假臭草、巴西含羞草、含羞草、蝶豆和鬼针草5种肿柄菊伴生植物为供试材料展开论证,发现经肿柄菊挥发油处理后5种植物种子萌发和幼苗生长均产生抑制作用,且抑制作用随着挥发油浓度的增加而增强,初步证实肿柄菊挥发油具化感作用。肿柄菊水提液具化感作用的研究已有报道(杨海艳等,2011)。

本研究发现肿柄菊挥发油可对供试植物种子萌发和幼苗生长产生化感作用,且对不同受体抑制作用各不相同,说明外来入侵植物肿柄菊的化感物质释放途径不是单一的,也充分说明了植物发挥化感作用的基理具多元性、复杂性以及对共存时间长短的受体植物形成的选择性(陈圣宾等,2005)。本研

究仅初步鉴定了肿柄菊地上部分挥发油的成分和化合物类型,而其主要的化感物质及作用机理还有待于进一步研究。

参考文献:

- Bais HP, Vepachedu R, Gilroy S, *et al.* 2003. Allelopathy and exotic plant invasion: From molecules and genes to species interactions [J]. *Science*, **301**: 1 377-1 380
- Chen BM, Peng SL, Ni GY. 2011. Biogeographic differences in the effects of *Centaurea stoebe* on the soil nitrogen cycle: novel weapons and soil microbes [J]. *Biol Invas*, **13**(6): 1 435-1 445
- Chen SB(陈圣宾), Li ZJ(李振基). 2005. Discussion on allelopathy mechanism of exotic plant invasion(外来植物入侵的化感作用机制探讨)[J]. *Ecol Sci(生态科学)*, **24**(1): 69-74
- Fan ZW(范志伟), Shen YD(沈亦德), Lu Y(陆英). 2007. Hainan invasive weeds situation(海南外来入侵杂草概况)[J]. *Plant Prot Mod Agric(植物保护与现代农业)*: 75-77
- Judith MB, William JC. 1990. Volatile seed germination inhibitors from plant residues [J]. *Chem Ecol*, **16**: 645-666
- Kong CH(孔垂华), Xu T(徐涛), Hu F(胡飞). 1998. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* L. releasing mode and activity of main allelochemicals(胜红蕖化感作用研究II. 主要化感物质的释放途径和活性)[J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **9**(3): 257-260
- Inderjit SO, Duke SO. 2003. Ecophysiological aspects of allelopathy [J]. *Planta*, **217**(4): 529-539
- Luo Y(罗瑛), Liu Z(刘壮), Zhao JH(赵君华), *et al.* 2009. Analysis of mineral elements quality evaluation of *Tithonia diversifolia* (肿柄菊的矿质营养元素分析及评价)[J]. *Trop Agric Eng(热带农业工程)*, **33**(3): 36-39
- Ma RJ(马瑞君), Wang ML(王明理), Zhu XT(朱学泰). 2005. Allelopathy and chemical constituents of *Ligularia virgaurea* volatile(黄帚橐吾挥发物的化感作用及其主要成分分析)[J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **16**(10): 1 826-1 829
- Morales E. 2000. Estimating phylogene ticinertian *Tithonia* (Asteraceae): A comparative approach [J]. *Evolution*, **54**(2): 475-484
- Ning, Li FL, Chen BM, *et al.* 2007. Allelopathic plants. 21. Mikania micrantha H. B. K. [J]. *Allelopathy J*, **19**: 287-296

(下转第 800 页 Continue on page 800)