

外来物种大花金鸡菊不同器官成分的气质联用(GC-MS)分析

杜明利¹, 高群英¹, 高岩^{2,3}, 张汝民^{2,3}

(1. 浙江农林大学 园林学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江农林大学 林学基础实验教学示范中心, 浙江 临安 311300)

摘要: 为进一步探讨大花金鸡菊 *Coreopsis grandiflora* 的化感作用, 并寻找其化感组分, 采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对大花金鸡菊叶、根及花化学成分进行了分析。结果表明: 大花金鸡菊 3 种不同器官共含有 56 种化合物, 酚类和萜烯类是其主要组分。大花金鸡菊叶中含有 37 种化合物, 其主要成分有 2-甲基苯甲醛(13.00%), 香橙烯氧化物(10.08%)及丁香酚(5.67%)等; 根中含有 38 种化合物, 其主要成分有高香草酸甲酯(13.59%), 姜酚(7.99%)及香橙烯氧化物(6.47%)等; 花中含有 35 种化合物, 其主要成分有香橙烯氧化物(13.61%), 长叶醛(9.43%)及丁香酚(7.90%)等。表 1 参 24

关键词: 植物学; 化感物质; 成分分析; 大花金鸡菊; 气相色谱-质谱联用技术

中图分类号: S718.3; Q946 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)02-0313-06

Organic compounds in exotic *Coreopsis grandiflora* using GC-MS

DU Ming-li¹, GAO Qun-ying¹, GAO Yan^{2,3}, ZHANG Ru-min^{2,3}

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. The General of Zhejiang Forestry Experiment Teaching Center, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To further clarify the allelopathic effects of the exotic *Coreopsis grandiflora* plant and to determine its allelopathic components, chemical components of the leaf, root, and flower were analyzed by gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS). Results showed 56 compounds in different organs of *C. grandiflora* with phenols and terpenes being the main components. In leaves, 37 compounds were identified; the main compounds were 2-Tolualdehyde(13.0%), aromadendrene oxide (10.1%), and eugenol (5.7%). In the roots, 38 compounds were identified; the primary compounds were homovanillic acid methyl ester (13.6%), gingerol (8.0%), and aromadendrene oxide (6.5%). In the flower, 35 compounds were identified; the main compounds were aromadendrene oxide (13.6%), longifolenaldehyde (9.4%), and eugenol(7.9%). [Ch, 1 tab. 24 ref.]

Key words: botany; component analysis; *Coreopsis grandiflora*; gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS)

化感物质存在于植物各部分组织中, 包括叶、根、花、茎、果、种子等, 它们主要是通过茎叶淋溶、根系分泌、地上挥发以及植株残体腐解等途径释放到环境中, 从而影响周围植物的生长发育^[1-2]。化感物质主要来源于植物的次生代谢产物, 分子量小, 结构简单, Rice^[3]按照化学结构把至今已知的化感物质大体上分为水溶性有机酸、直链醇、脂肪族醛和酮, 简单不饱和内酯, 酚, 苯甲酸及其衍生物, 香豆

收稿日期: 2011-03-25; 修回日期: 2011-08-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30760193); 浙江农林大学科研发展基金资助项目(2010FR057)

作者简介: 杜明利, 从事园林植物栽培与管理研究。E-mail: dumingli121@163.com。通信作者: 高岩, 教授, 博士, 从事植物化学生态和植物发育生理学等研究。E-mail: gaoyan1960@sohu.com

素类, 萜类, 类黄酮等 14 类。新颖武器假说(novel weapons hypothesis)^[4-5]表明, 外来植物成功入侵扩张的一个重要原因是由于它们在入侵地释放了相对于本地植物比较新颖的化感物质。特别是对于许多菊科 Compositae 植物, 它们能释放大量化感成分来保护植物自身不受侵害, 并对其他植物生长产生一定的抑制作用^[6]。目前, 在中国东北地区广泛蔓延的豚草 *Ambrosia artemisiifolia*^[7], 长江流域的加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis*^[8], 广东珠江三角洲的薇甘菊 *Mikania micrantha*^[9]等均产生了巨大危害, 外来植物对种群和生态系统的危害已经引起国内外研究人员的高度重视^[4-5]。外来物种大花金鸡菊 *Coreopsis grandiflora* 为菊科金鸡菊属 *Coreopsis*, 多年生草本植物, 原产美洲, 作为观赏植物传入中国, 在全国各地常见栽培^[10-12]。由于其耐贫瘠, 抗污染, 繁殖力强, 扩散快, 目前大花金鸡菊已在山东等一些地方由栽培种逸生成为野生植物, 甚至形成其单优种群落, 对所处生态系统的植物多样性构成了威胁^[11-12]。研究表明大花金鸡菊具有化感作用^[13-14], 但是哪些物质在其化感过程中发挥作用, 尚未见报道。本研究就这一问题, 采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析了大花金鸡菊叶、根及花化学成分, 旨在了解大花金鸡菊的化感物质成分, 并为阐明其化感作用机理提供帮助。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试植物大花金鸡菊幼苗由浙江虹越花卉有限公司提供, 2009年5月栽植于浙江农林大学试验田。

1.2 样品制备

2009年8月, 采摘大花金鸡菊生长健康的叶片及花朵, 并挖取其根部, 冲洗干净后阴干、粉碎。准确称取大花金鸡菊叶、根及花干粉各 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 4 000 r·min⁻¹ 离心 10 min, 上清液用定量滤纸过滤后减压浓缩至干, 加入乙酸乙酯 1 mL 溶解, 待测。

1.3 气质联用分析条件

取 1 μL 待测液, 作 GC-MS 分析, 3 次重复。GC(7890A, Agilent Technologies Company)条件: 色谱柱: HP-5MS(30 m × 250 μm × 0.25 μm); 升温程序: 初始温度 50 °C, 以 20 °C·min⁻¹ 的速率升至 180 °C, 保持 4 min, 再以 10 °C·min⁻¹ 升到 220 °C, 保持 15 min; 载气: 氦, 进样口温度 280 °C。MS(5975C, Agilent Technologies Company)条件: 电离方式: EI; 电子能量 70 eV; 离子源温度 230 °C; 四级杆温度 150 °C; 传输线温度 250 °C; 扫描质量范围为 28~450。采用 NIST2008 谱图库兼顾色谱保留时间定性。

1.4 数据分析

通过气质联用仪计算机 NIST2008 谱库, 检索并定性分析组分的质谱数据, 采用峰面积表示相对含量, 相对含量(%)指各组分在 GC-MS 分析中出峰面积占总峰面积的比例。

2 结果与分析

2.1 大花金鸡菊不同器官成分分析

大花金鸡菊不同器官通过 GC-MS 分析, 共鉴定出 56 种化合物(表 1), 包括醇、酚、萜烯、醛、酮、酯、酸、醚、烷等 9 类物质。

大花金鸡菊叶中含有 37 种化合物, 其中萜烯类化合物种类最多, 共有 11 种; 其次是醇类物质, 共有 9 种。其主要成分是 2-甲基苯甲醛(相对含量为 13.00%), 香橙烯氧化物(10.08%), 丁香酚(5.67%), 白菖油萜环氧化物(5.37%), 紫堇酮(4.31%), 苯乙醇(4.13%)和香草醛(4.04%)。

大花金鸡菊根中要含有 38 种化合物, 其中醇类化合物种类最多, 共有 13 种; 其次是萜烯类和酚类, 各有 7 种。其主要成分是高香草酸甲酯(13.59%)、姜酚(7.99%)、香橙烯氧化物(6.47%)、异丁香酚(5.83%), 高香草醇(4.61%), 愈创木酚(4.43%), 表蓝桉醇(4.35%)和甲氧基丁香酚(4.15%)。

大花金鸡菊花的总离子流强度较叶及根增强, 确定的化合物为 35 种, 主要成分是香橙烯氧化物(13.61%), 长叶醛(9.43%), 丁香酚(7.90%), 5-叔-丁基焦酚(6.53%), 2,3,5-三甲基苯酚(6.44%)和姜黄烯(4.28%)。其中: 萜烯类化合物种类最多, 共有 9 种; 其次是醇类物质, 8 种; 酚类, 7 种。

2.2 大花金鸡菊不同器官成分比较

大花金鸡菊不同器官含有不同的化学成分。5-戊基间苯二酚是叶独有的物质；高香草酸甲酯、姜酚、异丁香酚、高香草醇等 11 种物质只在根中发现；另外，花中苯甲酸、3-甲氧基儿茶酚、2,3,5-三甲基苯酚、5-叔-丁基焦酚等 7 种化学成分在其他 2 种器官中也未发现。酚类物质在不同器官中含量有所不同，叶中为 17.2%，根中 33.2%，花中 30.8%。

尽管不同器官所含物质成分有较大差异，但 3 种器官均含有愈创木酚、苯乙醇、2-甲基苯甲醛、丁香酚、白菖油萜环氧化物、紫堇酮、长叶醛和香橙烯氧化物等 16 种共有成分。

表 1 大花金鸡菊不同器官 GC-MS 化学成分

Table 1 Chemical components in different organs of *Coreopsis grandiflora* using GC-MS

保留时间/min	化合物	分子式	峰面积×10 ⁶		
			叶	根	花
4.474	苯甲醇 benzenemethanol	C ₇ H ₈ O	2.60	1.67	3.32
4.909	愈创木酚 guaiacol	C ₇ H ₈ O ₂	5.35	9.29	13.94
5.107	苯乙醇 phenethyl alcohol	C ₈ H ₁₀ O	9.81	1.34	15.54
5.522	苯甲酸 benzenecarboxylic acid	C ₇ H ₆ O ₂	—	—	15.88
5.551	龙脑 borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	1.12	3.50	—
5.608	4-松油醇 4-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	—	1.64	—
5.674	儿茶酚 pyrocatechol	C ₆ H ₆ O ₂	—	—	8.01
5.759	桃金娘烯醇 myrtenol	C ₁₀ H ₁₆ O	—	1.11	—
5.825	2-甲基苯甲醛 coumaran	C ₈ H ₈ O	30.90	1.32	15.58
6.080	苯乙酸 benzenacetic acid	C ₈ H ₈ O ₂	—	—	5.96
6.250	3-甲氧基儿茶酚 3-methoxycatechol	C ₇ H ₈ O ₃	—	—	26.74
6.580	4-乙烯基愈创木酚 4-vinylguaiacol	C ₉ H ₁₀ O ₂	6.15	3.45	9.84
6.892	丁香酚 eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	13.48	5.64	52.42
7.185	丁香酚甲醚 eugenol methyl ether	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	—	5.16	—
7.242	香草醛 vanillin	C ₈ H ₈ O ₃	9.61	—	7.63
7.534	2,3,5-三甲基苯酚 isopseudocumenol	C ₉ H ₁₂ O	—	—	42.78
7.639	异丁香酚 isoeugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	—	12.23	—
7.723	4-丙基愈创木酚 4-propylguaiacol	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	1.85	2.92	—
7.931	姜黄烯 curcumene	C ₁₅ H ₂₂	2.42	—	28.40
8.148	5-叔-丁基焦酚 5-tert-butylpyrogallol	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	—	—	43.34
8.375	5-戊基间苯二酚 olivetol	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	4.36	—	—
8.432	香兰基甲酮 vanillyl methyl ketone	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	2.20	5.91	—
8.621	二氢猕猴桃内酯 dihydroactinidiolide	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	5.10	—	15.63
9.036	4-乙氧基-3-甲氧基苯甲醛 4-ethoxy-3-methoxybenzaldehyde	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	1.68	6.82	5.89
9.131	斯巴醇 spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	1.30	1.58	5.89
9.225	细辛醛 asaronaldehyde	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	—	5.25	—
9.443	甲氧基丁香酚 methoxyeugenol	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	—	8.71	—
9.527	顺式-檀香醇 cis-Santalol	C ₁₅ H ₂₄ O	1.18	1.17	—
9.754	4-羟基紫罗酮 4-hydroxyionone	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	3.32	—	12.77
9.915	姜酮 vanillylacetone	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	5.04	—	10.62
10.085	丁香醛 syringaldehyde	C ₉ H ₁₀ O ₄	3.39	1.64	—

表 1(续)

保留时间/min	化合物	分子式	峰面积×10 ⁶		
			叶	根	花
10.161	毕橙茄醇 cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	—	6.51	—
10.633	环氧化马兜铃烯 aristolene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	6.19	1.96	—
11.228	高香草醇 homovanillyl alcohol	C ₉ H ₁₂ O ₃	—	9.67	—
11.370	松柏醇 coniferol	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	—	6.03	12.01
11.539	二表环氧雪松烯 diepicedrene epoxide	C ₁₅ H ₂₅ O	4.41	1.77	6.64
11.662	柏木烯醇 cedr-8-en-13-ol	C ₁₅ H ₂₄ O	3.30	—	12.77
11.747	反式-长松香芹醇 trans-longipinocarveol	C ₁₅ H ₂₄ O	3.24	—	10.30
11.842	喇叭茶烯氧化物-(II) ledene oxide-(II)	C ₁₅ H ₂₄ O	8.16	—	5.08
11.946	荷叶醇 nuciferol	C ₁₅ H ₂₂ O	—	3.53	25.30
11.993	白菖油萜环氧化物 calarene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	12.77	3.37	11.71
12.125	二表雪松烯-1-氧化物 diepicedrene-1-oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	7.23	2.59	17.29
12.191	表蓝桉醇 epiglobulol	C ₁₅ H ₂₆ O	7.51	9.12	—
12.304	紫堇酮 corymbolone	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	10.24	3.71	8.59
12.531	8,14-环氧柏木烷 8,14-cedranoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	4.53	2.60	18.42
12.588	长叶醛 longifolenaldehyde	C ₁₅ H ₂₄ O	4.89	4.04	62.58
12.852	8,13-柏木二醇 cedrane-8,13-diol	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	—	7.68	4.70
13.051	顺式-环氧红没药烯 cis-bisabolene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	5.41	—	4.60
13.155	蓝桉醇 globulol	C ₁₅ H ₂₆ O	1.35	7.38	—
13.372	香橙烯氧化物 aromadendrene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	23.95	13.57	90.37
13.778	氧化石竹烯 caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	4.21	1.20	9.09
14.458	3-脱氧雌二醇 3-deoxyestradiol	C ₁₈ H ₂₄ O	—	—	3.70
14.751	环氧异香橙烯 isoaromadendrene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	8.28	—	27.07
15.337	高香草酸甲酯 homovanillic acid methyl ester	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	—	28.53	—
16.394	4,4'-脱羟基苯酮 4,4'-dihydroxybenzophenone	C ₁₃ H ₁₀ O ₃	3.48	2.48	3.99
16.839	姜酚 gingerol	C ₁₇ H ₂₆ O ₄	—	16.77	—

说明：“—”表示未检出。

3 讨论

在自然生态系统中, 菊科植物多具有“攻击性”而易于形成单一群落, 从而危害到生态系统稳定性及生物多样性, 因此成为科研工作者关注的焦点, 其中化感作用的研究报道较多, 而被鉴定出的化感物质多为萜烯类、聚乙炔类、酚类、有机酸类等^[6]。王大力等^[8]报道豚草茎叶及根的水浸液对多种作物种子萌发有一定的抑制作用, 且作物连作后出苗率低, 可能与酚类物质的积累有关。华南地区重要杂草胜红蓟 *Ageratum conyzoides* 能向环境释放单萜和倍半萜类化感物质从而影响邻近植物的生长发育^[15]。外来入侵种春一年蓬 *Erigeron philadelphicus* 地上部分和地下部分的主要化感成分是酸、酮、酯、萜类^[16]。本研究表明, 酚类及萜烯类化合物是大花金鸡菊叶、根及花的主要化学成分, 这与前人的研究结果相类似。

酚类和萜烯类化合物是高等植物的主要化感物质, 研究证明: 大部分酚类和萜烯类化合物都具有较强的化感作用^[2,17-18]。它们通过抑制种子萌发及幼苗生长来阻碍其周围竞争性植物的生长, 从而影响植物群落甚至生态系统的演变^[17-18]。汪思龙等^[19]研究表明: 肉桂酸、苯甲酸、对羟基苯甲酸等都降低了杉木 *Cunninghamia lanceolata* 幼苗叶绿素的含量, 随着酚类物质浓度的升高, 叶绿素的含量更低, 从而影响

了杉木光合速率, 抑制了干物质的合成。黄帚橐吾 *Ligularia virgaurea* 的主要化感活性物质是萜类化合物, 其释放后影响早熟禾 *Poa annua* 等 5 种牧草种子萌发及幼苗生长^[20]。冷蒿 *Artemisia frigida* 茎叶浸提液的主要成分是樟脑、龙脑、薯蓣苦素、桉树脑、喇叭烯醇和对-1-薄荷烯-4-醇等化合物, 能明显抑制草木犀 *Melilotus officinalis* 等 4 种幼苗生长^[21]。大花金鸡菊水浸提液对几种本地常见园林植物种子萌发^[14]和幼苗生长(待发表)均产生了不同程度的影响, 这与前人的研究结果相一致, 由此可知, 酚类和萜烯类化合物在大花金鸡菊与本地植物竞争中具有重要作用。这些化合物可能首先是对膜进行伤害, 通过细胞膜上的靶位点^[22], 将胁迫信息传送到细胞内, 从而引起酶活性、离子吸收等发生变化, 而酶活性、离子吸收等的变化必然引起植物细胞分裂、伸长及光合作用等变化, 最终表现为对植物种子萌发及幼苗生长产生影响。

大花金鸡菊叶的主要成分是 2-甲基苯甲醛、香橙烯氧化物、丁香酚、白菖油萜环氧化物、紫萁酮、苯乙醇和香草醛, 这几种物质在根及花中均存在, 只是含量有所不同; 根的主要成分是高香草酸甲酯、姜酚、香橙烯氧化物、异丁香酚、高香草醇、愈创木酚、表蓝桉醇和甲氧基丁香酚, 其中高香草酸甲酯、姜酚、异丁香酚、高香草醇及甲氧基丁香酚这 5 种物质只在根中鉴定出, 它们可能是其化学组分的特征物质; 花的主要成分是香橙烯氧化物、长叶醛、丁香酚、5-叔-丁基焦酚、2,3,5-三甲基苯酚和姜黄烯, 其中 5-叔-丁基焦酚和 2,3,5-三甲基苯酚是其特有物质。相同物质的出现, 表明大花金鸡菊叶、根及花可能会释放同样的物质进入环境, 而独有成分则说明三种器官在大花金鸡菊入侵中可能起到不同的作用。而大花金鸡菊花的总离子流强度较叶及根有所增强, 即相同成分的物质在花中含量较大, 这可能与器官不同有关。但是 3 种器官中均含有愈创木酚、苯乙醇、2-甲基苯甲醛、丁香酚、白菖油萜环氧化物、紫萁酮、长叶醛和香橙烯氧化物等 16 种共有成分, 其中香橙烯氧化物^[23]和丁香酚^[24]已被报道有化感作用, 且含量在 3 种器官中均较高, 表明这 2 种物质可能是大花金鸡菊最重要的化感成分, 不过需要进一步研究证明。

结合大花金鸡菊水浸提液对几种常见园林植物种子萌发^[14]和幼苗生长(待发表)存在化感影响以及大花金鸡菊在一些地方泛滥的现状推断, 化感物质在增强大花金鸡菊生存竞争能力与扩大繁衍中起着重要作用, 可能是其形成单优群落的关键因素之一。

参考文献:

- [1] CALLAWAY R M. The detection of neighbors by plants [J]. *Trends Ecol Evol*, 2002, **17**: 104 – 105.
- [2] ZENG R S, MALLIK A U, LUO S M. *Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry*[M]. Berlin: Springer Verlag, 2008.
- [3] RICE E L. *Allelopathy* [M]. 2nd Ed. New York: Academic Orlando, 1984.
- [4] BAIS H P, VEPACHEDU R, GILROY S, *et al.* Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions [J]. *Science*, 2003, **301**: 1377 – 1380.
- [5] CALLAWAY R M, RIDENOUR W M. Novel weapons: Invasive success and the evolution of increased competitive ability [J]. *Front Ecol Environ*, 2004, **2**: 436 – 443.
- [6] 周凯, 郭维明, 徐迎春. 菊科植物化感作用研究进展[J]. *生态学报*, 2004, **24** (8): 1776 – 1784.
ZHOU Kai, GUO Weiming, XU Yingchun. Advances of research on allelopathic potential in compositae [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24** (8): 1776 – 1784.
- [7] 梅玲笑, 陈欣, 唐建军. 外来杂草加拿大一枝黄花对入侵地植物的化感效应[J]. *应用生态学报*, 2005, **16** (12): 2379 – 2382.
MEI Lingxiao, CHEN Xin, TANG Jianjun. Allelopathic effects of invasive weed *Solidago canadensis* on native plants [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (12): 2379 – 2382.
- [8] 王大力, 祝心如. 三裂叶豚草的化感作用研究[J]. *植物生态学报*, 1996, **20** (4): 330 – 337.
WANG Dali, ZHU Xinru. Allelopathic research of *Ambrosia trifid* [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1996, **20** (4): 330 – 337.
- [9] 吴玉荷, 朱国元, 洪耿标, 等. 薇甘菊化学成分研究[J]. *深圳大学学报: 理工版*, 2007, **24** (1): 102 – 105.
WU Yuhe, ZHU Guoyuan, HONG Gengbiao, *et al.* Study on the chemical constituents of *Mikania micrantha* [J]. *J Shenzhen Univ Sci Eng*, 2007, **24** (1): 102 – 105.

- [10] 林榕, 陈艺要, 石铸. 中国植物志·第75卷[M]. 北京: 科学出版社, 1979, **75**: 364 – 365.
- [11] 傅俊范. 中国外来有害生物入侵现状及控制对策[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, **36**: 387 – 391.
FU Junfan. Current status of invasive alien pests in China and control strategies [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2005, **36** (4): 387 – 391.
- [12] 梁玉. 外来种大花金鸡菊入侵的影响因子及其遗传多样性研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.
LIANG Yu. *The Study on Factors Influencing Invasions and Genetic Diversity in Alien Species Coreopsis Grandiflora Hogg.*[D]. Jinan: Shandong University, 2007.
- [13] 赵妹, 罗小勇, 仪铭, 等. 大花金鸡菊不同器官除草活性的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2009, **36** (3): 369 – 372.
ZHAO Mei, LUO Xiaoyong, YI Ming, *et al.* Herbicidal activities of different tissues of *Coreopsis grandiflora* Hogg. [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2009, **36** (3): 369 – 372.
- [14] 杜明利, 高岩, 张汝民, 等. 大花金鸡菊水浸液对几种常见园林植物种子萌发的化感作用[J]. 浙江林学院学报, 2011, **28** (1): 109 – 114.
DU Mingli, GAO Yan, ZHANG Rumin, *et al.* Allelopathic effects from aqueous extracts of exotic *Coreopsis grandiflora* on seed germination of six native ornamental plant species [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2011, **28** (1): 109 – 114.
- [15] 孔垂华, 黄寿山, 胡飞. 胜红蓟化感作用研究 V. 挥发油对真菌、昆虫和植物的生物活性及其化学成分 [J]. 生态学报, 2001, **21** (4): 584 – 587.
KONG Chuihua, HUANG Shoushan, HU Fei. 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*, 2001, **21** (4): 584 – 587.
- [16] 管铭, 王勇, 郭水良, 等. 外来入侵种春一年蓬化感作用及其粗提物的 GC-MS 分析[J]. 上海农业学报, 2009, **25** (4): 51 – 56.
GUAN Ming, WANG Yong, GUO Shuiliang, *et al.* Allelopathic effects of the invasive plant *Erigeron philadelphicus* on crops and GC-MS analysis of its crude extract [J]. *Acta Agric Shanghai*, 2009, **25** (4): 51 – 56.
- [17] 彭少麟, 南蓬, 钟扬. 高等植物中的萜类化合物及其在生态系统中的作用[J]. 生态学报, 2002, **21** (3): 33 – 38.
PENG Shaolin, NAN Peng, ZHONG Yang. Terpenoids in higher plants and their roles in ecosystem [J]. *Chin J Ecol*, 2002, **21** (2): 33 – 38.
- [18] 李霞. 酚类化合物对植物的化感作用[J]. 长春师范学院学报: 自然科学版, 2006, **25** (2): 40 – 42.
LI Xia. The allelopathic of phenolics effects to plants [J]. *J Changchun Norm Univ Nat Sci*, 2006, **25** (2): 40 – 42.
- [19] 汪思龙, 陈龙池, 廖利平, 等. 几种化感物质对杉木幼苗生长的影响[J]. 应用与环境生态学报, 2002, **8** (6): 588 – 591.
WANG Silong, CHEN Longchi, LIAO Liping, *et al.* Effects of three kinds of allelochemicals on growth of Chinese fir seedlings [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2002, **8** (6): 588 – 591.
- [20] 马瑞君, 王明理, 朱学泰, 等. 黄帚橐吾挥发物的化感作用及其主要成分分析[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (10): 1826 – 1829.
MA Ruijun, WANG Mingli, ZHU Xuetai, *et al.* Allelopathy and chemical constituents of *Ligularia virgaurea* volatile [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (10): 1826 – 1829.
- [21] 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.
- [22] CHEN P K, LEATHER G R. Plant growth regulatory activities of artemisin and its related compounds [J]. *J Chem Ecol*, 1990, **16** (6): 1867 – 1876.
- [23] SENATORE F, LANDOLFI S, CELIK S, BRUNO M. Volatile components of *Centaurea calcitrapa* L. and *Centaurea sphaerocephala* L. ssp. *sphaerocephala*, two Asteraceae growing wild in Sicily [J]. *Flavour Fragrance J*, 2006, **21** (2): 282 – 285.
- [24] DURRANI M K A, PRASAD C. Allelopathic influence of basil extracts on *Brassica rapa* L. (II) root weight and days to flower [J]. *Cruciferae Newsl*, 2009, **28**: 34 – 36.