

网络出版时间:2014-10-16 14:41

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.100

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.100.html

神农香菊花、茎和叶香气成分的组成分析

菅琳,孙明,张启翔

(北京林业大学 园林学院 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室,国家花卉工程技术研究中心,北京 100083)

【摘要】 【目的】对神农香菊花、叶、茎的香气成分进行测定及比对分析,为研究和利用神农香菊独特的芳香性状提供理论基础。【方法】采用静态顶空吸附结合直接热脱附法-气相色谱/质谱联用(DTD-GC/MS)技术,对神农香菊花、叶、茎中的挥发性成分进行分析,用保留指数辅助定性及峰面积归一法对香气成分的相对含量进行测定及比对分析。【结果】神农香菊花朵中检测出的挥发物种类最多,共 72 种,其中同时存在于花、叶、茎香气中的挥发物有 55 种。萜烯类化合物含量在花、茎、叶香气中均占到总挥发物成分的 80% 以上,其中侧柏酮含量最高(>50%),其他含量大于 1% 的重要成分有樟脑、桉树脑、 β -石竹烯和大根香叶烯等。神农香菊花朵释放的香气量最多,茎、叶次之。【结论】神农香菊香气主要由萜烯类化合物组成,其花、茎、叶香气组成相似,但各成分含量有所差异。

【关键词】 神农香菊;静态顶空;GC/MS;香气成分

【中图分类号】 S682.1⁺1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)11-0087-06

Analysis on aroma compositions in flowers, stems and leaves of *Chrysanthemum indicum* var. *aromaticum*

JIAN Lin, SUN Ming, ZHANG Qi-xiang

(Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation & Molecular Breeding,
National Engineering Research Center for Floriculture,
College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】 Volatiles from aerial part (flowers, stems, and leaves) of *Chrysanthemum indicum* var. *aromaticum* were analyzed to provide theoretical basis for studying and utilizing the unique aroma traits. 【Method】 Headspace adsorption and gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) coupled direct thermal desorption (DTD) was applied in this study for component analysis. The relative contents in the volatiles were determined by retention index and area normalization method. 【Result】 Flowers had the most types of aromatic constituents (72 types), and 55 of them were simultaneously found in flowers, leaves, and stems. Terpenes were the dominant class of volatiles emitted from all the three organs (>80%) and thujone contributed the most (>50%). Besides, contents of camphor, eucalyptol, β -caryophyllene and germacrene in flowers, leaves and stems were all >1%. Flowers emitted the most amounts of volatile compounds, followed by stems and leaves. 【Conclusion】 Terpenes were the main parts of volatiles from *C. indicum* var. *aromaticum*, and fragrances types of the three organs were similar with different contents.

Key words: *Chrysanthemum indicum* var. *aromaticum*; Static headspace adsorption; GC/MS; aroma composition

【收稿日期】 2013-08-09

【基金项目】 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD01B07, 2013BAD01B07)

【作者简介】 菅琳(1988—),女,山东滨州人,硕士,主要从事园林植物遗传育种研究。E-mail: jianlin201109@gmail.com

【通信作者】 张启翔(1956—),男,湖北黄冈人,教授,博士,博士研究生导师,主要从事园林植物资源与育种研究。

E-mail: zqxjfu@126.com

神农香菊(*Chrysanthemum indicum* var. *aromaticum*)属菊科菊属,多分布在湖北神农架地区海拔 1 970~2 830 m 的山坡、草甸,生长环境温度低、湿度大、阳光充足且排水良好。神农香菊为多年生草本植物,植株矮小,叶小而厚,深绿色,叶脉隆起;花小,黄色,花期 8 月中旬至 9 月上旬。神农香菊是野菊的变种,与野菊的主要区别是其全株具有浓郁的特殊芳香,极具观赏及药用价值。

神农香菊最早由中国科学院武汉植物研究所刘启宏等^[1]发现并鉴定,其全株主要化学成分为 α -侧柏酮、 β -侧柏酮、龙脑等萜类化合物。目前,国内对神农香菊的研究主要集中在精油提取及药用成分方面。王国亮等^[2]研究发现,神农香菊干花的精油化学成分主要有脂肪族类、单萜、倍半萜及其氧化物,其中主要成分有丁酸酯类、侧柏酮、乙酸龙脑酯等。Wang 等^[3]对干燥的神农香菊花、茎、叶中的挥发性成分进行了 GC-MS 测定后发现,干花中的主要挥发性成分是乙酸龙脑酯(15.40%)和 α -水芹烯(14.18%)等,干叶中的主成分为对伞花烃(20.42%)、乙酸龙脑酯(20.41%)和 α -水芹烯(13.67%)等,茎段中主要含有反式- β -金合欢烯(17.95%)、大根香叶烯(12.89%)和 β -水芹烯(12.70%)等。龚复俊等^[4]利用 NMR 等波谱手段,在神农香菊干花精油中提取并鉴定了木犀草素、木犀黄酮甙等药用成分。刘朝霞等^[5]发现,神农香菊的精油有较强的抗菌活性和氧化能力。

神农香菊浓郁的自然花香在菊科植物中十分少见,具有较大的园林应用潜力,目前,对神农香菊全株自然香气成分的测定尚未见报道。为此,本研究利用静态顶空吸附结合 DTD-GC/MS 方法对神农香菊花、叶、茎的香气进行了比对分析,以期为进一步推广和应用神农香菊香气性状提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试神农香菊为北京林业大学胖龙温室内的 1 年生扦插苗,母株于 2012-10 采自湖北神农架山区瞭望塔处(海拔 2 600~3 000 m),供试植株均长势良好、无病虫害。2013-04 将处于花期的神农香菊扦插苗置于温度 25 ℃、湿度 65% 的人工气候箱中预培养 1 周。

1.2 方法

1.2.1 挥发物的采集 取活体神农香菊盛花期中上部花 8~10 朵,植株中上部叶片 6~7 片和植株地

上部 1 cm 去叶茎段各 3 g,备测。

采取顶空吸附技术将花、茎、叶的挥发性气体收集到吸附管中^[6-7],采样时间为上午 09:30—10:30。具体步骤如下:(1)将含有 200 mg Tenax (60/80 mesh) 的吸附管(CAMSCO, Houston, TX, USA)在 100 mL/min 氮气的吹扫下于 270 ℃活化 120 min,吹走其中的内含物。(2)将刚刚离体的新鲜花、茎、叶样品置于采样袋中(Reynolds, 406 mm × 444 mm, Richmond, VA, USA),将采样袋用橡胶管夹密封。(3)抽干采样袋内的杂质空气(防止杂质气体干扰),使袋内瞬时达到近真空状态,再以 1 L/min 的速度打入 1 L 经活性炭过滤的空气,待袋中空气约为袋容积的 3/4 时,保持袋内气体容量。(4)保持采样袋密闭状态,将其置于 25 ℃的日光培养箱中静置 40 min。(5)用抽气泵(GSP-300FT-2, Gastec Corporation, Japan)以 200 mL/min 的速度将含有挥发物的气体抽出,抽样 5 min,并将挥发物吸附在吸附管里。(6)用上述方法对花、茎、叶各平行采样 3 次,同时设定空白对照,仅对空气进行采样分析。(7)采样结束后,将吸附管置于干燥的低温(-20 ℃)环境中保存待测。

1.2.2 挥发物成分的分析 挥发物成分采用直接热脱附法-气相色谱/质谱联用法(Direct thermo desorption/gas chromatography/mass spectrum, DTD-GC/MS)分析。直接热脱附是热脱附法的一种,具有所需样品少、一步完成分离解析的优点^[8]。吸附管中的样品在自动热解析器(ATD, automatic thermal desorber, Perkin Elmer Turbo Matrix 650)中加热解析,通过惰性载气将其中的挥发性物质带人气相色谱仪中进行分析。仪器参数设置如下:ATD 工作条件:热脱附温度为 250 ℃(10 min),载气氮气的流速为 1.5 mL/min;热解析温度 260 ℃(10 min),冷阱迅速加热到 300 ℃(40 ℃/s),进样口温度为 250 ℃。GC 工作条件:色谱柱为 30 m × 0.25 mm × 0.25 mm 的 DB-5MS 柱;程序升温:起始温度为 40 ℃,保持 2 min,然后以 6 ℃/min 的速度升到 180 ℃,再以 15 ℃/min 的速度升到 270 ℃,保持 3 min。MS 工作条件:电离方式为电子电离源(EI);电子能量为 70 eV;扫描范围为 30~500 m/z。

1.3 数据处理

挥发物的鉴定使用 Turbo Mass5.4.2 GC/MS 软件进行分析。分析得到的总离子流图中的不同质谱峰经 NIST08 数据库检索后,再将待测成分的保留指数与 Pherobase 数据库^[9]中的标准物进行比对

分析,以确定其类别。最后应用峰面积归一法计算出每种组分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 神农香菊花的香气成分分析

从神农香菊花的香气中共分离出 79 个峰,通过 NIST08 及 Pherobase 数据库检索鉴定出 72 种化合

物,包含了 98.03%的花香总挥发物成分(表 1)。从化合物种类来看,花香气主要由萜烯类化合物组成,共有 48 种,占总挥发性成分的 89.54%,其中, β -侧柏酮的含量最高,占总挥发性成分的 65.48%;脂肪酸衍生物共有 18 种,占总挥发性成分的 6.72%;另有少量苯类及苯丙素类化合物。

表 1 神农香菊花、茎、叶中的挥发性成分及其相对含量

Table 1 Main volatile components and their relative contents in flowers, stems and leaves of <i>Chrysanthemum indicum</i> var. <i>aromaticum</i>				
KI	化合物 Compounds	相对含量/% Relative contents		
		花 Flower	叶 Leave	茎 Stem
萜烯类 Terpenes				
800	1,3,5 -环庚三烯 Cycloheptatriene	0.07±0.02	0.04±0.01	tr
929	α-水芹烯 α-Phellandrene	—	0.73±0.06	0.23±0.04
937	α-蒎烯 α-Pinene	0.71±0.09	0.26±0.03	0.12±0.05
955	莰烯 Camphene	0.96±0.15	0.64±0.08	0.28±0.07
979	β-松油烯 β-Terpinene	5.64±1.29	tr	1.72±0.76
981	β-蒎烯 β-Pinene	0.18±0.07	tr	0.05±0.03
993	β-月桂烯 β-Myrcene	0.14±0.04	1.92±0.05	tr
1009	8-羟基芳樟醇 8-Hydroxylinalool		0.61±0.12	—
1020	(+)-4-萜烯 (+)-4-Carene	0.21±0.04	0.50±0.10	0.16±0.09
1034	D-柠檬烯 D-Limonene	0.27±0.09	—	—
1035	β-水芹烯 β-Phellandrene	0.14±0.04	0.31±0.08	0.38±0.13
1037	桉树脑 Eucalyptol	1.37±0.15	0.37±0.01	0.37±0.14
1074	γ-松油烯 γ-Terpinene	0.39±0.09	0.84±0.04	0.21±0.06
1077	反式桉烯水合物 Trans sabinene hydrate	tr	0.24±0.03	tr
1083	4-侧柏醇 4-Thujanol	0.34±0.09	0.23±0.04	0.40±0.11
1084	二氢月桂烯醇 Dihydromyrcenol	0.03±0.02	—	—
1088	α-萜品油烯 α-Terpinolene	tr	0.20±0.03	tr
1127	α-侧柏酮 α- Thujone	2.54±1.41	55.18±1.18	33.10±3.96
1136	β-侧柏酮 β-Thujone	65.48±2.34	tr	37.02±4.12
1150	顺桉萜醇 Trans-sabinol	tr	tr	0.58±0.17
1159	樟脑 Camphor	5.11±1.65	2.95±0.47	3.84±1.34
1166	对薄荷烯 Cyclohexene	tr	tr0	.16±0.09
1183	庚酸烯丙酯 Allyl heptanoate	0.02±0.01	—	—
1186	(-)-4-萜品醇 (-)-Terpinen-4-ol	tr	tr0.02±0.01	
1195	桃金娘烯醛 Myrtenal	tr	tr	0.03±0.02
1199	α-萜品醇 α-Terpineol	0.01±0.01	—	—
1219	马鞭草烯酮 Verbenone	0.02±0.02	0.03±0.02	0.04±0.03
1259	D-香芹酮 D-carvone	0.02±0.01	0.02±0.02	0.13±0.04
1262	薄荷烯酮 Piperitenone	0.05±0.04	0.14±0.02	0.14±0.09
1284	(+)-3-萜烯 (+)-3-Carene	tr	tr	0.15±0.05
1298	乙酸橙花酯 Neryl acetate	tr	0.07±0.05	5
1311	乙酸龙脑酯 Bomyl acetate	0.74±0.35	0.13±0.09	0.16±0.11
1352	鸢尾酯 4-Tert-butylcyclohexyl acetate	0.13±0.04	0.05±0.02	tr
1364	乙酸桃金娘烯酯 Myrtenyl acetate	0.28±0.17	0.04±0.03	4.83±1.98
1435	γ-榄香烯 γ-Elemene	tr	0.22±0.02	0.05±0.01
1450	α-葑澄茄油烯 α-Cubebene	tr	0.18±0.03	0.13±0.06
1455	α-长叶蒎烯 α-Longicyclene	—	0.08±0.04	0.11±0.07
1480	古巴烯 Copaene	1.02±0.78	2.15±0.15	1.45±0.11
1483	β-波旁烯 β-Bourbonene beita	0.12±0.03	0.14±0.05	0.12±0.02
1489	异喇叭烯 Isoledene	tr	0.34±0.01	0.24±0.03
1507	α-古芸烯 α-Gurjunene	tr	0.08±0.02	tr

续表 1 Continued table 1

KI	化合物 Compounds	相对含量/% Relative contents		
		花 Flower	叶 Leave	茎 Stem
萜烯类 Terpenes				
1524	β -石竹烯 β -Caryophyllene	1.12±0.09	3.96±0.05	2.39±0.08
1530	γ -杜松烯 γ -Cadinene—	0.70±0.06	2.91±1.13	
1534	β -反-香柠檬烯 β -Trans-bergamotene	tr	tr	0.26±0.03
1555	β -金合欢烯 β -Farnesene	0.18±0.04	tr	0.65±0.01
1565	香树烯 Aromadendrene	tr	tr0.11±0.07	
1567	大根香叶烯 Germacrene	1.38±0.06	5.59±0.51	0.15±0.05
1568	β -葑澄茄油烯 β -Cubebene	0.90±0.02	0.55±0.01	tr
1590	α -石竹烯 α -Caryophyllene	tr	tr	0.09±0.01
1593	雅楹兰树油烯 Eremophilene	—	0.76±0.07	tr
1610	甜没药烯 Bisabolene	—	tr	0.09±0.02
1618	δ -杜松烯 Cadinene0.09±0.03	0.59±0.13	0.84±0.08	
1688	石竹烯氧化物 Caryophyllene oxide	0.02±0.01	—	—
脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives				
732	戊醛 Pentanal	0.07±0.03	tr	0.02±0.01
746	异戊醇 Isoamylol	tr	0.09±0.02	0.16±0.07
767	异丁酸乙酯 Ethyl butyrate	0.04±0.02	—	—
801	己醛 Hexanal	0.37±0.16	0.14±0.02	0.27±0.10
812	2-甲基丁酸甲酯 Butanoic acid,2-methyl-,methyl ester	0.78±0.17	—	—
857	2-甲基丁酸乙酯 Butanoic acid,2-methyl-,ethyl ester	2.31±0.01	1.37±0.01	0.53±0.03
862	异戊酸乙酯 Ethyl isovalerate	0.83±0.01	0.56±0.01	0.33±0.01
863	顺式-3-己烯醇 Cis-3-Hexen-1-ol	tr	0.63±0.01	0.08±0.01
873	2-甲基戊酸甲酯 Methyl 2-methylvalerate	0.15±0.01	0.04±0.01	0.03±0.01
900	环己酮 Cyclohexanone	0.03±0.01	—	—
945	2-甲基丁酸丙酯 Propyl 2-methylbutyrate	1.44±0.01	tr	0.14±0.01
987	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	—	—	0.56±0.02
989	5-甲基-3-庚酮 5-Methyl-3-heptanone	—	—	0.57±0.02
999	3-辛酮 3-Octanone	0.22±0.03	0.84±0.06	—
1006	叶醇 Cis-3-Hexenol	tr	5.01±0.04	tr
1017	乙酸己酯 Hexyl acetate	0.03±0.01	—	—
1201	2-甲基丁酸己酯 Hexyl-2-Methylbutyrate	0.05±0.02	tr	0.03±0.01
1206	癸醛 Decanal	0.15±0.08	tr	tr
1280	壬酸 Pelargonic acid	0.01±0.01	tr	tr
1246	异戊酸叶醇酯 Cis-3-Hexenyl isovalerate	0.05±0.03	0.13±0.06	tr
苯类 Benzenes				
960	苯甲醛 Benzaldehyde	0.96±0.03	—	—
1010	邻伞花烃 o-Cymene	—	0.33±0.01	—
1027	对伞花烃 p-Cymene	—	—	0.48±0.12
1082	间伞花烃 m-Cymene	0.13±0.07	—	—
1168	乙酸苄酯 Benzyl acetate	0.10±0.03	—	—
1192	乙酸苏合香酯 1-Phenylethyl acetate	0.02±0.1	—	—
1504	二苯醚 Diphenyl ether	0.04±0.03	—	—
苯丙素类 Phenylpropanoids				
1290	麝香草酚 Thymol	0.55±0.12	0.84±0.05	0.48±0.13

注:KI 表示保留指数;‘—’表示暂未检测到该成分;tr 表示痕量成分,该组分含量小于 0.01%。
Note:KI is the Kovats retention index. ‘—’ means undetected. ‘tr’ means trace constituent with content of than 0.1%.

2.2 神农香菊叶、茎香气成分分析

叶、茎香气成分分析与花香一致。与花香成分相比,叶与茎香气成分种类相对较少,分别鉴定出 65 和 66 种化合物,与花香中相同的挥发性物质有 55 种。叶香气中的萜烯类含量及种类与花香相近,相似度>84%,而脂肪酸衍生物种类,尤其是酯

类化合物减少,但叶醇含量大大增加。茎香气中萜烯类相对含量较高,占总挥发物成分的 94.05%;脂肪酸衍生物等其他物质仅占 3.68%。叶香气中萜烯类相对含量为 90.21%,香气中含量最高的成分是 α -侧柏酮(55.18%),其他重要成分(>1%)樟脑、 β -石竹烯、大根香叶烯、2-甲基丁酸乙酯在花香成分

中也占有较大比例。茎中 α -侧柏酮和 β -侧柏酮含量较高,分别为 33.10%和 37.02%,其他如樟脑、 β -石竹烯、古巴烯、乙酸桃金娘烯酯、 γ -杜松烯含量均超过 1%。

2.3 神农香菊花、叶、茎的香气释放量

由于花、茎、叶的样品质量相同,在保证采集及分析方法一致的条件下,三者香气释放量的计算可通过 GC/MS 总离子流图实现。将花、茎、叶分离得到的所有质谱峰面积相加对比各器官香气释放丰度,结果(图 1)表明,花朵中香气释放丰度最高(2.67E+10),茎次之(1.45E+10),叶片的香气释放量最低(0.766E+10),这与感官评价结果相符。

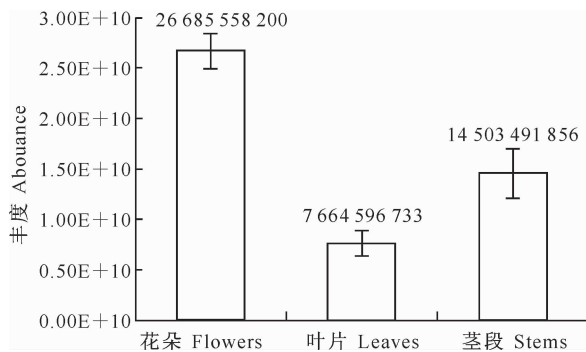


图 1 神农香菊花、茎、叶香气释放量的比较

Fig. 1 Comparison of emission amounts of volatiles in flowers, stems and leaves of *Chrysanthemum indicum* var. *aromaticum*

3 讨论

本试验发现,神农香菊花、茎、叶自然香气的主要成分为萜烯类物质。其中 α -侧柏酮与 β -侧柏酮含量最高,与神农香菊全株及干花精油主成分的测定结果^[1-2]相符,而在其他重要成分上的差别可能与干燥及测定方法有关。侧柏酮属单萜类物质,带有类似薄荷的清爽气味,是一种重要的香料成分。研究发现,侧柏酮是河南野菊花精油、菊蒿花香及鼠尾草精油中的主要成分^[10-12]。神农香菊花、茎、叶香气中含量大于 1%的化合物如樟脑、 β -石竹烯、大根香叶烯、桉树脑等,也是野菊精油^[13-15]、地被菊花香^[16-17]及蒿属植物冷蒿、茼蒿^[18-19]的重要成分。

依各器官释放的香气物质来看,花香中香气物质最为多样,且酯类、苯类物质相对丰富,如 2-甲基丁酸甲酯、异丁酸乙酯、苯甲醛、乙酸苄酯、乙酸苏合香酯等成分仅在花香中检测到,这可能与花香呈现出浓郁的清香、甜香、果香味道有关。叶香气中 α -侧柏酮占有较大比例,叶醇也较多,具有强烈的新鲜草

叶的清香及新茶叶和薄荷香。茎中所含脂肪酸衍生物较少,多有木香、薄荷味。神农香菊花朵的香气释放量最高,茎、叶次之。由于植物香气物质的产生与释放受到生长发育的调控^[20],这一结果可能与芳香植物处于花期的授粉作用有重要关系。同时,目前对花香化合物合成相关酶的研究发现,挥发物几乎都在花瓣和其他花器官的表皮细胞中合成,从而能更好地挥发到空气中^[21],这也与人们的嗅觉感知相符^[22],因此初步推测花朵是神农香菊的主要释香器官。而其他营养器官只在受到伤害(如机械损伤、病虫害侵染)时才释放少量的香气物质^[23],如薄荷在叶片的腺体中积累了大量的花香物质,但叶片的释放量却很低^[24]。

总体来说,神农香菊花、茎、叶香气组成相似,萜烯类化合物均是其最主要的挥发物。花、茎、叶中主要挥发性化合物含量的差异可能与不同组织器官的特异性、香气合成底物及香气化合物合成酶基因的时空特异性表达有关。在后期的研究中,本课题组将借助分子手段克隆神农香菊香气化合物合成基因及相关酶基因,分析其功能和表达模式,探索重要花香基因的生物合成途径及调控机制,以为菊花花香育种提供理论基础。

[参考文献]

- [1] 刘启宏,张红旗,贾卫疆,等. 湖北新资源植物:神农香菊的地理分布,生态习性与其蕴藏量的调查研究 [J]. 武汉植物学研究, 1983, 1(2): 239-246.
Liu Q H, Zhang H Q, Jia W J, et al. The investigation on geographical distribution, ecological habit and storage quantity on a new resource plant of Hubei *Dendranthema indicum* (L.) Des Monl. var. *aromaticum* [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 1983, 1(2): 239-246. (in Chinese)
- [2] 王国亮,王金凤,张红旗,等. 神农香菊干花精油成分的研究 [J]. 武汉植物学研究, 1996, 14(1): 65-68.
Wang G L, Wang J F, Zhang H Q, et al. Studies on chemical constituents of the dry flower of *Dendranthema indicum* var. *aromaticum* [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 1996, 14(1): 65-68. (in Chinese)
- [3] Wang C Z, Su Y, Li D, et al. Analysis of volatile organic compounds from *Dendranthema indicum* var. *aromaticum* by head-space gas chromatography-mass spectrometry and accurate mass [J]. Analytical Letters, 2010, 43(15): 2297-2310.
- [4] 龚复俊,王国亮,王有为. 神农香菊花的化学成分研究(II) [J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(6): 610-612.
Gong F J, Wang G L, Wang Y W. Chemical constituents of flowers of *Dendranthema indicum*, var. *aromaticum* (II) [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2005, 23(6): 610-612. (in Chinese)

- [5] 刘朝霞,王 宁,邹 坤,等. 神农香菊精油抗菌与抗氧化活性研究(I) [J]. 三峡大学学报:自然科学版,2006,28(2):181-184.
Liu Z X, Wang N, Zou K, et al. Studies on antimicrobial and antioxidant *in vitro* of *Dendranthema indicum* var. *aromaticum* (I) [J]. J of China Three Gorges Univ: Natural Sciences, 2006, 28(2): 181-184. (in Chinese)
- [6] Jürgens A, El-Sayed A M, Suckling D M. Do carnivorous plants use volatiles for attracting prey insects [J]. Funct Ecol, 2009, 23: 875-887.
- [7] Kong Y, Sun M, Pan H T, et al. Comparison of different headspace gas sampling methods for the analysis of floral scent from *Lilium* ‘Siberia’ [J]. Asian Journal of Chemistry, 2012, 24(11): 5175-5178.
- [8] 王 辉,姚 雷. 直接热脱附法和气水蒸气蒸馏法对玫瑰花检出成分的对比分析 [J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2013, 31(1): 46-51.
Wang H, Yao L. Comparative analysis of components obtained from rose petals by direct thermal desorption and water distillation [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science, 2013, 31(1): 46-51. (in Chinese)
- [9] El-Sayed A M. The pherobase: Database of pheromones and semiochemicals [EB/OL]. [2012-09-05]. <http://www.pherobase.com>.
- [10] 毕跃峰,裴姗姗,贾 陆,等. 野菊花中挥发油及氨基酸成分分析 [J]. 郑州大学学报:理学版,2008,40(2):91-94.
Bi Y F, Pei S S, Jia L, et al. Analysis for the chemical constituents of the essential oil and amino acids from flos *Chrysanthemum indicum* [J]. Journal of Zhengzhou University: Natural Science Edition, 2008, 40(2): 91-94. (in Chinese)
- [11] Gabel B, ThieRy D, Suchy V, et al. Floral volatiles of *Tanacetum vulgare* L. attractive to *Lobesia botrana* den. eschiff. females [J]. Journal of Chemical Ecology, 1992, 18(5): 693-701.
- [12] 裘惠霞,姚 雷,洪丽美,等. 上海地区引种栽培的鼠尾草精油的季节性变化 [J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2005, 22(3): 213-222.
Qiu H X, Yao L, Hong L M, et al. Seasonal analyses of the essential oil of *Salvia officinalis* L. cultivated in Shanghai of China [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science, 2005, 22(3): 213-222. (in Chinese)
- [13] Haouas D, Cioni P L, Ben Halima-Kamel M, et al. Chemical composition and bioactivities of three chrysanthemum essential oils against *Tribolium confusum* (du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. Journal of Pest Science, 2012, 85(3): 367-379.
- [14] 马荣贵,管景斌,王秀梅,等. 紫花野菊、小红菊与野菊花挥发油化学成分的比较研究 [J]. 色谱,1994, 12(1): 47-49.
Ma R G, Guan J B, Wang X M, et al. Study on comparison of the chemical components of essential oils from *Dendranthema zawadskii*, *D. erubescens* and *D. indicum* [J]. Chinese Journal of Chromatography, 1994, 12(1): 47-49. (in Chinese)
- [15] 侯冬岩,郭 华,李铁纯,等. 千山野菊花萜类化合物的分析 [J]. 沈阳师范大学学报:自然科学版,2003,21(4):303-306.
Hou D Y, Guo H, Li T C, et al. Studies on terpene constituents of *Chrysanthemum indicum* L. from Qianshan [J]. Journal of Shenyang Normal University: Natural Science, 2003, 21(4): 303-306. (in Chinese)
- [16] 孙 明,刘 华,张启翔,等. 3 个地被菊品种香气成分的分析 [J]. 沈阳农业大学学报,2008,39(1):92-95.
Sun M, Liu H, Zhang Q X, et al. Preliminary studies on major aroma ingredients of three ground-cover chrysanthemum cultivars [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2008, 39(1): 92-95. (in Chinese)
- [17] 杨明非,刘晓东,潘雪峰. 地被菊挥发油化学组成分析 [J]. 东北林业大学学报,1997,25(6):87-91.
Yang M F, Liu X D, Pan X F. Analysis of constituents of essential oil from *Dendranthema* $\times$ *grandiflor* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1997, 25(6): 87-91. (in Chinese)
- [18] 左照江,张汝民,王 勇. 冷蒿挥发性有机化合物主要成分分析及其地上部分结构研究 [J]. 植物生态学报,2010,34(4): 462-468.
Zuo Z J, Zhang R M, Wang Y. Analysis of main volatile organic compounds and study of aboveground structures in *Artemisia frigida* [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(4): 462-468. (in Chinese)
- [19] Hosnia K, Hassenb I. Volatile oil profiles of the aerial parts of Jordanian garland, *Chrysanthemum coronarium* [J]. Pharmaceutical Biology, 2010, 48(10): 1108-1114.
- [20] Dudareva N, Pichersky E. Biochemical and molecular genetic aspects of floral scents [J]. Plant Physiology, 2000, 122(3): 627-634.
- [21] Dudareva N, Pichersky E, Gershenzon J. Biochemistry of plant volatiles [J]. Plant Physiology, 2004, 135(4): 1893-1902.
- [22] Kong Y, Sun M, Pan H T, et al. Composition and emission rhythm of floral scent volatiles from eight lily cut flowers [J]. J Amer Soc Hort Sci, 2012, 137(6): 1-7.
- [23] 刘艾洁. 沙蒿蝼蛄性害虫的植物源引诱剂开发 [D]. 北京:北京林业大学,2009.
Liu A J. Development of plant volatile attractant of wood-boring pests in *Artemisia ordosica* and *Artemisia sphaerocephala* shrubs [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009. (in Chinese)
- [24] Gershenzon J, McConkey M E, Rodney B. Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint [J]. Plant Physiology, 2000, 122(1): 205-214.