

3 种百合科植物挥发物成分分析

冯 青, 高群英, 张汝民, 高 岩, 侯 平

(浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为了探究百合科 Liliaceae 植物挥发物 (VOCs) 成分组成, 采用活体植物动态顶空布袋采集法收集吊兰 *Chlorophytum comosum*, 一叶兰 *Aspidistra elatior* 和文竹 *Asparagus plumosus* 3 种百合科植物 VOCs, 利用热脱附-气相色谱/质谱联用法分析了这 3 种植物 VOCs 的主要成分。结果表明: 吊兰释放 34 种 VOCs, 包含萜类、酯类、醇类、醛类、酸类等 5 类化合物, 其中二氢香茅醇相对含量最高(28.79 %); 一叶兰释放 VOCs 共鉴定出 25 种, 包含醛类、酯类、醇类、萜类、酮类、烃类等 6 类化合物, 其中壬醛(相对含量为 12.12%)为其主要成分; 文竹释放出 38 种 VOCs, 包含萜类醛类、酯类、醇类、醛类等 4 种化合物, 主成分为牻牛儿醇(相对含量为 27.90%)。3 种百合科植物挥发物中都含有萜类化合物、醇类化合物、醛类化合物、酯类化合物。研究结果为百合科植物的综合开发利用提供了理论依据。图 2 表 1 参 21

关键词: 植物学; 吊兰; 一叶兰; 文竹; 挥发物; 热脱附-气相色谱/质谱联用

中图分类号: S718.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2011)03-0513-07

Constituent analysis of volatile organic compounds in three Liliaceae

FENG Qing, GAO Qun-ying, ZHANG Ru-min, GAO Yan, HOU Ping

(School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To understand the constituents of volatile organic compounds (VOCs) in Liliaceae, VOCs from *Chlorophytum comosum*, *Aspidistra elatior*, and *Asparagus plumosus* were collected using the dynamic headspace air-circulation method. Then, the main VOCs compounds were identified with thermal desorption system-gas chromatography/ mass spectrum(TDS-GC/MS). Results showed that *C. comosum* emitted 34 types of VOCs (mainly as terpenoids, esters, alcohols, aldehydes, and acids) with dihydro-citronellol the most abundant compound (28.79%). *Aspidistra elatior* emitted 25 types of VOCs (mainly as aldehydes, esters, alcohols, terpenoids, ketones, and hydrocarbons) with Nonanal the most abundant compound (12.12%). *Asparagus plumosus* emitted 38 types of VOCs (mainly as terpenoids, esters, alcohols, and aldehydes) with lemonol the most abundant compound(27.90%). Thus, these three species, with alcohols, terpenoids, aldehydes, and esters all found in the VOCs, will provide a theoretical basis for multiple utilization and development of Liliaceae. [Ch, 2 fig. 1 tab. 21 ref.]

Key words: botany; *Chlorophytum comosum*; *Aspidistra elatior*; *Asparagus plumosus*; VOCs; TDS-GC/MS

植物挥发物(volatile organic compounds, VOCs)是植物通过次生代谢途径合成的低沸点易挥发的小分子有机化合物^[1]。近年来, 随着对植物 VOCs 研究的深入, 人们发现它们在生态系统中的作用越来越突出, 已经引起了极大的关注^[2-3]。在生态系统中, 植物 VOCs 具有重要的化学信息传递作用; 在人体健康方面, 植物 VOCs 是具有调节精神、消除疲劳、强身健体、祛病保健之功效^[4]; 在净化空气上, 植物释放的萜类化合物可使周围环境空气增加清新, 并且具有抑制微生物生长的作用^[5-6]。因此, 不同植

收稿日期: 2010-07-27; 修回日期: 2010-12-11

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y3100361)

作者简介: 冯青, 从事环境生态等研究。E-mail: fq1984311@163.com。通信作者: 侯平, 教授, 博士, 从事恢复生态学研究。E-mail: houping@263.net

物释放 VOCs 的差异在居室植物的选择和配置方面具有重要意义。百合科 Liliaceae 植物大多数为草本, 花朵通常艳丽, 叶片浓绿光亮, 整体观赏效果好, 是常用于室内绿化的主要植物种群之一。国内外对百合 *Lilium brownii*, 葱 *Allium fistulosum*, 大蒜 *Allium sativum*, 观音草 *Reineckia carnea*, 卷叶贝母 *Fritinaria cirrhosa* 和麦冬 *Ophiopogon japonicus* 等百合科植物的化学成分有诸多报道^[7-14], 但这些研究均是通过溶剂提取、蒸馏等方法收集植物挥发物。这种方法破坏了植物的自然状态, 影响了挥发物的真实性。目前, 对吊兰 *Chlorophytum comosum*, 一叶兰 *Aspidistra elatior* 和文竹 *Asparagus plumosus* 仅限于其杀菌和吸收甲醛、苯、二氧化硫等功能的研究^[15-16], 而对其挥发物的成分和含量研究未见报道。本实验以室内最常见的植物吊兰属 *Chlorophytum* 的吊兰、蜘蛛抱蛋属 *Aspidistra* 的一叶兰和天门冬属 *Asparagus* 的文竹为试材, 采用活体植物动态顶空套袋采集法^[17]与热脱附-气相色谱/质谱(TDS-GC/MS)联用分析技术^[18], 分析了吊兰、一叶兰和文竹所释放的挥发物, 为阐释其杀菌、保健和净化空气的机理提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试植物为吊兰、一叶兰和文竹。植物 VOCs 采集与检测在浙江农林大学林业与生物技术学院实验室内进行, 挥发物样品采集过程确保在无损伤天然活体状态下进行。

1.2 挥发物的采集

从 2009 年 9 月 4 - 6 日上午 9 : 00 - 10 : 00, 选取吊兰、一叶兰和文竹等 3 种植物 1 年生地上部分植株为采样标准株。利用 QC-1 型大气采样仪(北京市劳动保护科学研究所)采集植物 VOCs^[19], 采气袋容积为 0.1 m³, 流量 0.1 m³·min⁻¹, 用 GDX-101 填充柱富集植物 VOCs 20 min^[20]。室内空气为对照。

1.3 挥发物成分分离鉴定

本实验组分分离鉴定采用热脱附(TDS)-气相色谱(GC)/质谱(MS)联用法分析。TDS(TDS-3 型, 德国 Gerstel 公司生产)工作条件: 系统载气压力 20 kPa; 进样口温度 250 °C; 脱附温度 250 °C(10 min); 冷阱温度 - 120 °C(保持 3 min); 冷阱进样时温度骤然升温至 260 °C。GC(GC 7890A, 美国 Agilent 公司生产)工作条件: 色谱柱为 30 m × 250 μm × 0.25 μm 的 HP-5MS 柱; 程序升温: 初始温度 40 °C, 保持 4 min 后以 6 °C·min⁻¹ 的速率升至 250 °C, 保持 3 min 后以 10 °C·min⁻¹ 的速率升温到 270 °C, 保持 5 min。MS(MS 5975C, 美国 Agilent 公司生产)工作条件: 电离方式为 EI, 电子能量为 70 eV, 质量范围为 28 ~ 450, 接口温度为 280 °C, 离子源温为 230 °C, 四级杆温度为 150 °C^[21]。

数据处理与质谱检索: 采用气质联用仪计算机的 NIST 2008 谱库, 自动检索分析组分的质谱数据, 并对全部检索结果参考有关标准图谱进行核对和补充检索, 对各挥发物成分进行定性, 用总离子流峰面积归一化法计算各成分在总挥发物中的相对百分含量^[18]。

2 结论与分析

2.1 3 种百合科植物挥发物成分

利用热脱附-气相色谱/质谱联用分析技术对这 3 种百合科植物挥发物进行分析, 获得色谱图(图 1)。扣除本底空气杂质, 并通过化学品安全技术(MSD)工作站数据处理系统对数据进行面积归一化法处理, 经分析确定出 3 种植物的化合物成分及其相对百分含量(表 1)。

吊兰 VOCs 共鉴定出 34 种化合物, 主要成分有二氢香茅醇、4-丁酸十三酯、异十二醇、2-乙基己酸、对伞花烃和壬醛, 共占总相对含量的 64.73%; 一叶兰 VOCs 共鉴定出 25 种化合物, 主要成分有 4-丁酸十三酯、2-甲基-1-庚烯-6-酮、异十二醇、壬醛、癸醛和己醛, 共占总相对含量的 71.7%; 文竹 VOCs

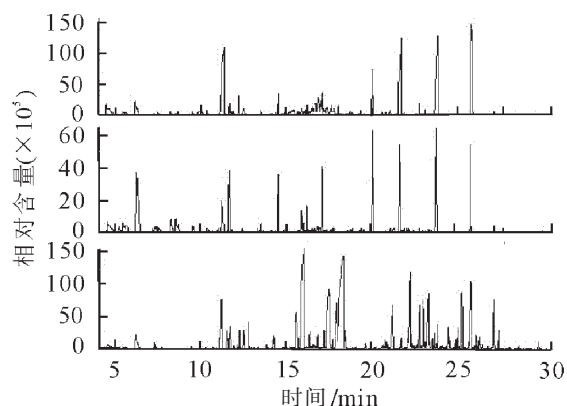


图 1 百合科植物挥发物成分的总离子色谱图
Figure 1 TIC of VOCs from three Liliaceae plants

共鉴定出 38 种化合物, 主要成分有牻牛儿醇、(+)-异薄荷酮、二氢香茅醇、trans-香叶基丙酮、 α -毕澄茄烯、 α -桉叶醇、薄荷酮, 共占总相对含量的 73.56%。

从表 1 还可知, 吊兰、一叶兰、文竹 VOCs 的成分及相对含量上都存在显著差异, 每种植物都含有其特有成分。吊兰独有辛醛、2-乙基己酸等成分; 一叶兰独有 2-甲基-1-庚烯-6-酮、癸醛等成分; 文竹则以 β -蒎烯、 α -依兰油烯、 α -桉叶醇等萜类化合物为其特有成分。但是, 这 3 种百合科植物还含有共同成分: α -蒎烯、柠檬烯、己醛、二氢香茅醇、壬醛、 α -松油醇、异十二醇、D-长叶松萜烯、trans-香叶基丙酮和 4-丁酸十三酯。

表 1 3 种百合科植物叶挥发物成分分析鉴定结果

Table 1 Constituents of leaf volatile organic compounds from three Liliaceae plants

保留时间/min	化合物	相对含量/%		
		吊兰	一叶兰	文竹
5.222	辛烯 octene		2.22	
5.668	己醛 hexanal	2.98	5.12	0.38
7.124	trans-7-甲基-3-辛烯 trans-7-methyl-3-octene		1.13	
7.335	(Z)-3-己烯醇 3-hexen-1-ol, (Z)-		1.52	0.58
8.214	壬烯 nonene		4.96	
8.600	庚醛 heptanal	1.54	2.35	
9.438	α -蒎烯 α -pinene	2.44	3.89	0.14
10.913	1-辛烯-3-醇 1-octene-3-ol	0.72	1.08	
11.113	2-甲基-1-庚烯-6-酮 1-hepten-6-one, 2-methyl-		15.53	
11.218	β -蒎烯 β -pinene			3.85
11.616	辛醛 octanal	2.57		
11.698	cis-3-乙酸叶醇酯 cis-3-hexenyl acetate		0.67	1.10
12.126	对伞花烃 p-cymene	4.87		0.30
12.224	柠檬烯 limonene	0.33	0.60	0.85
12.344	2-乙基己醇 1-hexanol, 2-ethyl-	1.88	0.67	
12.536	罗勒烯 ocimene	0.69		1.90
13.879	萜品油烯 terpinolen	0.29		0.24
13.909	2-异丙基环己醇 cyclohexanol, 2-isopropyl-	0.61		
14.276	芳樟醇 linalool	0.40		0.60
14.32	壬醛 nonanal	3.93	12.12	0.40
14.488	7-羧基辛酸 7-oxooctanoic acid	1.94		
14.583	L-trans-松香芹醇 L-trans-pinocarveol	0.18		
14.974	1,3,8-对孟三烯 1,3,8-p-menthatriene	0.22		0.16
15.227	2-乙基己酸 hexanoic acid, 2-ethyl-	5.60		
15.602	薄荷酮 menthone	0.59		4.48
15.978	癸醛 decanal		5.24	
15.979	trans-2-十二烯醇 trans-2-dodecen-1-ol	1.66		
16.048	(+)-异薄荷酮(+)-isomenthone	1.34		15.36
16.374	异薄荷醇 isomenthol			0.68
16.549	α -松油醇 α -terpieol	2.80	0.41	0.14

续表 1

保留时间/min	化合物	相对含量/%		
		吊兰	一叶兰	文竹
17.04	异十二醇 isododecyl alcohol	7.79	12.62	0.50
17.177	二氢香茅醇 citronellol, dihydro-	28.79	3.38	10.38
17.827	香芹酮 carvone	1.13		
18.005	3-羟基月桂酸 dodecanoic acid, 3-hydroxy-	0.45		
18.417	橈牛儿醇 lemonol	0.69		27.90
18.545	香茅醛 geranial			0.85
18.574	六氢合金欢醇 hexa-hydro-farnesol	0.41	0.59	
20.292	(Z)-9-十四醛 (Z)-9-tetradecenal	1.57	0.39	
20.856	古巴烯 copaene		1.80	0.39
21.199	β -榄香烯 β -elemene	1.36		0.48
21.52	D-长叶松萜烯 D-longifolene	1.41	0.53	0.40
21.807	石竹烯 caryophyllene		1.22	0.65
22.208	古芸烯 gurjunene	1.37		0.55
22.418	trans-香叶基丙酮 trans-geranylacetone	2.32	0.48	5.54
22.895	丙酸橙花酯 neryl propionate	1.38		2.25
23.134	α -毕澄茄烯 α -cubebene		0.41	5.01
23.618	树油烯 eremophilene			0.73
23.781	α -依兰油烯 α -muurolene			1.09
24.591	丁酸香叶酯 geranyl butyrate			0.87
24.687	橙花叔醇 nerolidol			0.37
25.137	4-丁酸十三酯 butyric acid, 4-tridecyl ester	13.75	21.07	0.96
25.929	α -桉叶醇 α -eudesmol			4.89
26.228	tau.-杜松醇 tau.-cadinol			0.83
27.282	惕各酸香叶酯 geranyl tiglate			2.64
28.690	愈创蓝油烃 guaiazulene			0.38

2.2 3种百合科植物释放的挥发物种类

3种百合科植物 VOCs 中有 7 类挥发物, 分别是: 醇类化合物、萜类化合物、醛类化合物、酯类化合物、酸类化合物、酮类化合物和烃类化合物(图 2)。

吊兰 VOCs 中有 5 类化合物, 萜类 22 个, 占总相对含量的 53.01%; 酯类 1 个, 占总相对含量的 13.75%; 醇类 5 个, 占总相对含量的 12.65%; 醛类 5 个, 占总相对含量的化合物 12.60%; 酸类 3 个, 占总相对含量的 7.99%。一叶兰 VOCs 中有 6 类化合物, 彼此相对含量之间相差不大, 醛类 6 个, 占总相对含量的 26.30%; 酯类 2 个, 占总相对含量的 21.74%; 酮类 1 个, 占总相对含量的 15.53%; 醇类 3 个, 占总相对含量的 14.80%; 萜类 10 个, 占总相对含量的 13.32%; 烃类 3 个, 占总相对含量的 8.31%。文竹 VOCs 中有 4 类化合物, 萜类 32 个, 占总相对含量的 96.07%; 酯类 2 个, 占总相对含量的 2.06%; 醇

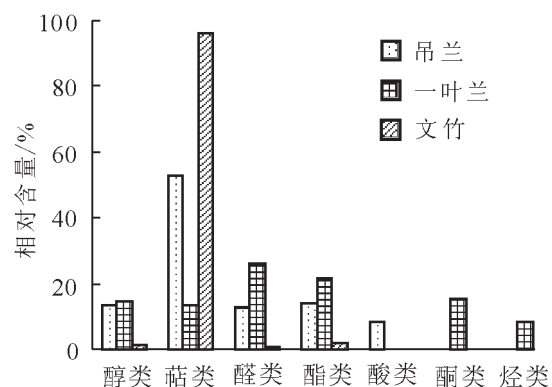


图 2 3种百合科植物挥发物种类的含量变化
Figure 2 Variation of VOCs in three Liliaceae plants

类 2 个, 占总相对含量的 1.08%; 醛类 2 个, 占总相对含量的 0.78%。

3 结论与讨论

由 3 种百合科植物的分析结果可以看出: 吊兰、一叶兰和文竹挥发物都含有醇类、萜类、醛类和酯类化合物, 这 4 类化合物共分别占这 3 种植物的 92.71%, 76.16% 和 100%, 它们构成了这 3 种植物 VOCs 的主要成分(图 2)。其中, 吊兰 VOCs 以萜类化合物为主, 二氢香茅醇为其主要成分, 占了萜类化合物的 54.50%; 一叶兰 VOCs 以醛类化合物略占优势, 壬醛为其主要成分, 占了醛类化合物的 46.10%; 文竹 VOCs 萜类化合物占了最高的比例, 其主成分为牻牛儿醇, 占萜类化合物的 29%。因此, 3 种植物 VOCs 中虽然含有相同的成分, 但其主成分类型和相对含量差异很大。

在对百合科植物的研究中, 段秀君等^[7]采用乙醇提取法从百合中分离出正三十四烷醇、二十烷酸、二十一烷酸和豆甾醇等成分; 何洪巨等^[9]采用蒸馏-萃取方法提取大葱 *Allium fistulosum* 和细香葱 *Allium tuberosum* 挥发物成分, 发现这 2 种植物以二硫醚和三硫醚为主要成分; 王希丽等^[10]采用蒸馏-萃取方法提取大蒜挥发物成分, 发现其中主要为含硫有机化合物和皂苷类成分; 王艺纯等^[12]采用蒸馏水提取法从观音草中分离出二十六烷酸、白桦脂酸甲酯、薯蓣皂苷元、谷甾醇等成分; 严忠红等^[13]采用提取和分离从卷叶贝母中鉴定出(22R, 25S)-solanidane-3 β -醇、胸苷和腺苷 3 种成分。这些与本实验的研究结果有一定的差别, 这可能是由于研究方法上的差异引起的。本实验采用活体植物动态顶空套袋采集法与 TDS-GC/MS 联用分析技术, 这是一种采集-吸附-分析相结合的活体植物挥发物成分分析的实验技术, 可以有效排除外界挥发物的干扰, 较真实地反映花香成分及其释放量, 适合于近自然状态下植物挥发物的定性、定量分析^[17]。沈宏林等^[14]研究了百合科植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* 的 VOCs 成分中含有 α -蒎烯、 β -榄香烯、蒎烯、石竹烯等。这些均与本研究的研究结果相似。

近年来, 对植物挥发物作用方面的研究日益广泛。郑华^[19]对北京市部分绿化树种所做的人体脑波测定的初步结果显示: 挥发性酯类、萜烯类化合物有利于缓解紧张情绪; 高岩等^[18]在对 5 种针叶植物的抑菌实验的研究中发现, 柠檬烯、 β -蒎烯和醛类均能明显抑制细菌的生长; 异戊二烯和单萜类化合物有利于新鲜空气的增长率增加^[5]; 单萜类的柠檬油精与香叶醇类具有抗癌性, 水芹烯、萜品油烯、罗勒烯有提神作用^[20]。Viljoen 等^[21]对南非药用香草植物 *Osmitopsis asteriscoides* 进行研究, 发现薄荷精油的主要成分薄荷醇和薄荷酮具有抗真菌作用。本实验显示, 吊兰 VOCs 以萜类物质为主, 含有 α -蒎烯、罗勒烯、D-柠檬烯、 β -榄香烯、薄荷酮、二氢香茅醇等成分, 说明吊兰可能更有利于人体健康, 有较好的净化空气功效; 一叶兰 VOCs 以醛类和酯类为主, 含有 4-丁酸十三酯、壬醛、癸醛、 α -蒎烯、D-柠檬烯等成分, 说明一叶兰可能在缓解紧张情绪、抑菌方面效果较好; 文竹 VOCs 中的萜类化合物占了绝大部分, 主成分包括牻牛儿醇、异薄荷酮, 还有 α -蒎烯、 β -蒎烯、 α -毕澄茄烯、 α -桉叶醇等单萜类成分, 说明文竹可能在抑制微生物、增强人体健康、净化空气方面有很高的价值。

参考文献:

- [1] STEPHEN A, GOFF, HARRY J K. Plant volatile compounds: sensory cues for health and nutritional value [J]. *Science*, 2006, **311**: 815 – 819.
 - [2] NATALIA D, ERAN P, JONATHAN G. Biochemistry of plant volatiles [J]. *Plant Physiol*, 2004, **135** (4): 1893 – 1902.
 - [3] ULAND S, LAN E, STEANDE M N, *et al.* Plant volatiles activating specific olfactory receptor neurons of the cabbage moth *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera, Noctuidae)[J]. *Chem Sens*, 2008, **33** (6): 509 – 522.
 - [4] GROTE R, NIINEMETS U. Modeling volatile isoprenoid emissions—a story with split ends [J]. *Plant Biol*, 2008, **10** (1): 8 – 28.
 - [5] MARIA R P, MARK J P, WENDY S G, *et al.* The impacts of reactive terpene emissions from plants on air quality in Las Vegas Nevada [J]. *Atmos Environ*, 2009, **42** (27): 4109 – 4123.
 - [6] 戚继忠, 由士江, 王洪俊, 等. 园林植物清除细菌能力的研究[J]. *城市环境与城市生态*, 2000, **13** (4): 36 – 38.
- QI Jizhong, YOU Shijiang, WANG Hongjun, *et al.* A preliminary approach to gardening plants to clean the atmo-

- sphere from bacteria [J]. *Urban Environ & Urban Ecol*, 2000, **13** (4): 36 – 38.
- [7] 段秀君, 马宏伟. 百合有效部位的化学成分研究[J]. 中国试验方剂学杂志, 2010, **16** (9): 56 – 57.
DUAN Xiujun, MA Hongwei. Studies on the chemical constituents from *Lily* in effective parts [J]. *Chin J Experim Trad Med Formulae*, 2010, **16** (9): 56 – 57.
- [8] JAYARS A F, WILSON R, MURALEEDHARAN G N. Constituents in easter lily flowers with medicinal activity [J]. *Life Sci*, 2004, **76** (6): 671 – 683.
- [9] 何洪巨, 王希丽, 张建丽. GC-MS 法测定大葱、细香葱、小葱中的挥发性物质[J]. 分析测试学报, 2004, **23** (增刊): 98 – 103.
HE Hongju, WANG Xili, ZHANG Jianli. Analysis of volatile components of shallots by GC-MS [J]. *J Instrum Anal*, 2004, **23** (supp): 98 – 103.
- [10] 王希丽, 张建丽, 何洪巨. GC-MS 法测定大蒜中的挥发性物质[J]. 分析测试学报, 2004, **23** (增刊): 107 – 109.
WANG Xili, ZHANG Jianli, HE Hongju. Analysis of volatile components of *Allium sativum* L. by GC-MS [J]. *J Instrum Anal*, 2004, **23** (supp): 107 – 109.
- [11] BOSE C, GUO J, ZIMNIAK L, *et al.* Critical role of allyl groups and disulfide chain in induction of Pi class glutathione transferase in mouse tissues in vivo by diallyl disulfide, a naturally occurring hemopreventive agent in garlic [J]. *Carcinogenesis*, 2002, **23** (10): 1661 – 1665.
- [12] 王艺纯, 张春玲, 黄婷, 等. 观音草的化学成分研究[J]. 中国药物化学杂志, 2010, **20** (2): 119 – 124.
WANG Yichun, ZHANG Chunling, HUANG Ting, *et al.* The chemical constituents from *Reineckia carnea* (Andr.) Kunth. [J]. *Chin J Med Chem*, 2010, **20** (2): 119 – 124.
- [13] 严忠红, 陆阳, 丁维功, 等. 卷叶贝母化学成分研究[J]. 上海第二医科大学学报, 1999, **19** (6): 487 – 489.
YAN Zhonghong, LU Yang, DING Weigong, *et al.* Studies on the chemical constituents of *Fritillaria Cirrhosa* D. Don [J]. *Acta Univ Med Second Shanghai*, 1999, **19** (6): 487 – 489.
- [14] 沈宏林, 向能军, 许永, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析麦冬中有机挥发物[J]. 分析实验室, 2009, **28** (4): 88 – 92.
SHEN Honglin, XIANG Nengjun, XU Yong, *et al.* Analysis of volatile components in *Ophiopogon japonicus* with headspace solid phase micro-extraction coupled to gas chromatography and mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Labor*, 2009, **28** (4): 88 – 92.
- [15] 郭阿君, 王志英. 9 种室内植物对 4 种微生物抑制作用的研究[J]. 北方园艺, 2007 (8): 128 – 130.
GUO Ajun, WANG Zhiying. Inhibition of 9 indoor plants against 4 microorganism [J]. *Northern Hortic*, 2007 (8): 128 – 130.
- [16] HANEN N, MOHAMED N, SAMI Z. Essential oil composition and antibacterial activity of different extracts of *Allium roseum* L., a North African endemic species [J]. *Comptes Rendus Chim*, 2007, **10** (9): 820 – 826.
- [17] 郑华, 金幼菊, 李文彬. 绿化植物气味污染的仪器检测技术[J]. 林业实用技术, 2002 (5): 30.
ZHENG Hua, JIN Youju, LI Wenbin. Instrument testing technology of odour pollution from landscape plants [J]. *Prac For Technol*, 2002 (5): 30.
- [18] GAO Yan, JIN Youju, LI Haidong, *et al.* Volatile organic compounds and their roles in bacteriostasis in five *Conifer* species [J]. *J Integrative Plant Biol*, 2005, **47** (4): 499 – 507.
- [19] 郑华. 北京市绿色嗅觉环境质量评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2002.
ZHENG Hua. *Investigation on the Olfactory Environment of Urban Vegetations in Beijing* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2002.
- [20] 文福姬, 俞庆善. 植物性天然香料的研究进展[J]. 现代化工, 2005, **25** (4): 25 – 28.
WEN Fuji, YU Qingshan. Research progress of natural aroma compounds in plants [J]. *Mod Chem Ind*, 2005, **25** (4): 25 – 28.
- [21] VILJOEN A, VUUREN S, VAN E E, *et al.* *Osmitopsis asteriscoides* (Asteraceae)-the antimicrobial activity and essential oil composition of a Cape-Dutch remedy [J]. *J Ethnopharmacol*, 2003, **88** (2–3): 137 – 143.