

驱蚊草(*Pelargonium*×*citrosum* Van leenii)挥发物成分的采集与分析

路荣春, 陈佳佳, 林宇杰, 闻海峰, 施文健

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要:利用固相微萃取(SPME)和水蒸气蒸馏(SD)2种方法对驱蚊草的挥发物进行采集,并通过气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)进行分析。共分离、检测出化合物60余种,鉴定了其中的42种化合物。在这些化合物中,以萜烯和酯类为主,另有少量醇、醛、酮和醚类化合物。其中香茅醛、反式薄荷酮、香茅醇、甲酸香茅酯、萜澄茄油烯、 β -波旁烯、表双环倍半水芹烯、 β -古云烯等化合物的含量较高。香茅醛和香茅醇是有效的驱蚊成分。驱蚊草的挥发物和香叶天竺葵(*Pelargonium graveolens*)的挥发物的组成成分和相对含量都比较相似。不同的是香叶天竺葵的挥发物中未检测到香茅醛。驱蚊草的挥发物与香茅草(*Cymbopogon citratus*)的挥发物的成分差别明显。

关键词:驱蚊草;挥发物;固相微萃取;水蒸汽蒸馏

中图分类号:S718.3

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2015)02-0213-04

The Analysis of the Volatile Compounds Which Collected from *Pelargonium*×*citrosum* Van leenii

LU Rong-chun, CHEN Jia-jia, LIN Yu-jie, WEN Hai-feng, SHI Wen-jian

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The volatile compounds of *Pelargonium*×*citrosum* Van leenii were collected with solid phase microextraction (SPME) and steam distillation(SD) respectively, and then were analyzed with gas chromatograph-mass spectrometry(GC-MS). More than 60 compounds were detected and 42 of them were identified. Most of the compounds were terpene and ester, except a small amount of alcohol, aldehyde, ketone and ether. Citronellal, trans-Menthone, Citronellal, Citronellyl formate, Cubebene, β -Bourbonene, (+)-epi-bicyclosesquip hellandrene and β -Gurjunene etc had a relative high quantity, Citronellal and Citronellal were mosquito repellents which had been accepted ever before. The volatile compounds of *P.*×*citrosum* and *Pelargonium graveolens* were similar, but there was no Citronellal in volatile compounds of *P. graveolens*. The volatile compounds of *P.*×*citrosum* and *Cymbopogon citratus* were apparently different.

Key words: *P.*×*citrosum*; volatile compounds; solid phase microextraction; steam distillation

驱蚊草(*Pelargonium*×*citrosum* Van leenii)是牻牛儿苗科(Geraniaceae),天竺葵属(*Pelargonium*)的植物。它是由来自荷兰的园艺学家 Dirk Van Leenen 历时 13 a 时间,通过植物体细胞分离、细胞基因重组融合技术,将香茅草(*Cymbopogon citratus*)中的香茅醛基因导入到原产于非洲的香叶天竺

葵(*Pelargonium graveolens*)基因中,培育出来的一种多年生草本植物^[1-3]。该植物全株具有特殊的气味,叶形、叶厚和茎的粗细与香叶天竺葵明显不同^[4]。驱蚊草之所以得名,是因为有报道称该植物具有驱蚊作用^[5-6]。但对于驱蚊草的驱蚊成分,人们却知之甚少,很少有人进行深入研究;此外,驱蚊草

的挥发物与香叶天竺葵、香茅草的挥发物有哪些区别也未见报道。研究驱蚊草的挥发物与香叶天竺葵、香茅草的挥发物的区别具有重要的意义。一方面可以为植物体细胞基因重组融合育种技术提供参考,另外也可以为植物挥发物的遗传特性提供科学依据^[7-8]。本着以上诸方面的考虑,该研究对驱蚊草的挥发物成分进行了研究,并将分析结果与香叶天竺葵、香茅草的挥发物成分进行了对比。

1 材料与方法

1.1 仪器设备

气相色谱-质谱联用仪(GC-MS):气相色谱仪型号是 7890A,质谱仪型号是 5975C;由美国 Agilent 公司提供。

固相微萃取仪:固相微萃取仪和纤维萃取头均由美国 Supelco 公司提供。采用的萃取纤维头分别是聚二甲基硅氧烷-二乙烯基苯(Polydimethylsioxane/Di-vinylbenzene, PDMS/DVB)图层纤维(65 μm),聚丙烯酸酯(Polyacrylate, PA)图层纤维(85 μm)和聚二甲基硅氧烷-碳分子筛(Polydimethylsioxane/Carboxen, CAR/PDMS)图层纤维(50 μm)。

旋转蒸发仪:德国 IKA 公司提供的 RV10 旋转蒸发仪。

1.2 化学试剂

二硫化碳(色谱纯),重蒸水。

1.3 试验材料

试验材料驱蚊草共 12 株,由上海植物园于 2012 年 7 月份提供进行试验研究,并与 2013 年重复了试验研究的相关内容。

1.4 驱蚊草挥发成分的采集

基于水蒸气蒸馏(SD)和固相微萃取(SPME)2 种挥发物采集方法的各自特点,本研究分别利用 2 种方法对驱蚊草的挥发成分进行了采集。

1.4.1 水蒸气蒸馏法^[9] 选取健康的驱蚊草植株 10 株。取植株的成熟叶片(带叶柄)作为试验材料。将剪下的叶片称重,然后剪成长约 0.5 cm 的碎屑,接着将碎屑放入旋转蒸发仪的 1 L 圆底烧瓶中,并加入 300 mL 的蒸馏水。然后将水浴温度调到 40℃,压力调至-0.1 MPa,转速调至 50 r/min。当烧瓶中的水蒸干后,用二硫化碳对收集到的蒸馏液进行 2 次萃取,2 次萃取共用二硫化碳试剂 20 mL,萃取过程中充分摇匀,并静置 10 min,然后用分液漏斗将萃取液与水相分离。萃取完成后,将所得萃取液利用氮吹浓缩仪浓缩致 0.5~1 mL,然后利用气质联用仪进行检测。

1.4.2 固相微萃取法^[10] 利用之前选取的 10 株驱蚊草植株进行该试验。每株剪取成熟叶片 3~4 片(带叶柄)并称重,然后将叶片剪成长约 0.5 cm 的碎屑,将碎屑放入 20 mL 的顶空样品瓶中,并用钳口硅胶盖密封,温度调至 40℃,加热 10 min 后,将事先活化好的固相微萃取纤维头插入瓶中,萃取 10 min。萃取完成后,将萃取纤维拔出,直接插入气质联用仪的进样口中进行分析。本试验分别利用 PDMS/DVB 涂层纤维(65 μm),PA 涂层纤维(85 μm)和 CAR/PDMS 涂层纤维(50 μm)等 3 种萃取纤维对驱蚊草的挥发成分进行了采集,分析结果显示 PDMS/DVB 涂层纤维萃取效果最好,因此本研究最后采用该图层的纤维萃取头进行全部试验。

1.5 驱蚊草化学成分的分析

本研究利用气质联用仪对采集的挥发物成分进行分析。水蒸气蒸馏和固相微萃取 2 种方法采集的挥发物的分析条件一致。色谱柱 DB-5MS(50 m×0.25 mm×0.25 μm);载气(He)流量:1 mL/min;程序升温:初始温度 50℃,以 8℃/min 的速度上升到 180℃,再以 15℃/min 的速度升至 280℃,保持 5 min;进样口温度 260℃;进样量 1 μL;不分流。电离方式 EI;电子能量 70 eV;接口温度 280℃;质谱扫描范围为 45~400 amu。

1.6 数据处理与计算方法

对质谱图进行人工解析并结合标准谱图库检索(NIST08),确定各色谱峰对应的化学成分。

2 结果与分析

本研究分别利用水蒸气蒸馏和固相微萃取 2 种方法对驱蚊草的挥发物进行采集,并利用气质联用仪进行了分析。图 1 是利用水蒸汽蒸馏法采集的挥发物,利用气质联用仪分析得到的总离子流图;图 2 是利用固相微萃取采集的挥发物,利用气质联用仪分析得到的总离子流图。分析出化合物 60 余种,其中鉴定出 42 种化合物(表 1)。在这些化合物中,以萜烯和酯类为主,另有少量醇,醛,酮和醚等化合物。其中香茅醛、反式薄荷酮、香茅醇、甲酸香茅酯、萜烯油烯、β-波旁烯、表双环倍半水芹烯、β-古云烯等化合物的相对含量较高。香茅醛和香茅醇是已有报道的具有驱蚊作用的化合物^[5-6,9,11-12]。

驱蚊草的挥发物同香叶天竺葵、香茅草的挥发物对比可以发现,驱蚊草的挥发物与香叶天竺葵的挥发物的组成成分和相对含量都比较相似。不同的是在香叶天竺葵的挥发物中没有检测到香茅醛这种有效的驱蚊成分^[13]。驱蚊草的挥发物与香茅草的

挥发物有比较大的差别。香茅草的挥发物的主要成分 是柠檬醛,橙花醛和月桂烯等化合物。香茅草的挥发物中既有香茅醛,也有香茅醇,但香茅醇的相对含量比较低^[14]。目前,利用分子生物学技术改变植物挥发物成分的研究还不是很多,驱蚊草无疑是此类研究中比较有代表性的例子。从分析结果可以看

出,通过基因重组融合技术,香茅草的香茅醛基因被成功转入到香叶天竺葵中,形成了驱蚊草这种植物。尽管驱蚊草的驱蚊效果还存在争议,但从分子生物学的角度来讲,驱蚊草是利用分子生物学技术改变植物挥发物成分比较成功的案例之一^[15]。

表 1 固相微萃取法和水蒸气蒸馏法采集的驱蚊草挥发物成分					
Table 1 Chemical composition of volatiles from <i>Pelargonium</i> × <i>citrosun</i> by SPME and SD					
名称	中文名称	分子式	分子量	相对含量	
				SPME	挥发油
3-Hexen-1-ol	叶醇	C ₆ H ₁₂ O	100	0. 29	—
β-Pinene	β-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	136	0. 85	1. 74
β-myrcene	β-月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	136	0. 34	0. 12
cis-3-Hexenyl Acetate	乙酸叶醇酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	142	0. 63	0. 11
1,3,8-p-Menthatriene	孟三烯	C ₁₀ H ₁₄	134	0. 42	0. 17
2,6-Dimethyl-5-Hepten-1-ol	2,6-二甲基-5-庚烯醇	C ₉ H ₁₈ O	142	1. 05	0. 32
Melonal	甜瓜醛	C ₉ H ₁₆ O	140	0. 31	0. 04
cis-Rose oxide	顺式玫瑰醚	C ₁₀ H ₁₈ O	154	2. 46	0. 14
Myrtanol	桃金娘烷醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154	—	0. 58
Isogeraniol	异香叶醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0. 10	0. 61
trans-Rose oxide	反式玫瑰醚	C ₁₀ H ₁₈ O	154	1. 01	0. 27
Citronellal	香茅醛	C ₁₀ H ₁₈ O	154	3. 60	0. 51
cis-Menthone	顺式薄荷酮	C ₁₀ H ₁₈ O	154	1. 21	0. 12
trans-Menthone	反式薄荷酮	C ₁₀ H ₁₈ O	154	17. 83	3. 71
L-Menthol	L-薄荷醇	C ₁₀ H ₂₀ O	156	0. 04	—
(Z)-3-Nonen-1-ol	顺-3-壬烯-1-醇	C ₉ H ₁₈ O	142	0. 10	—
Propanoicacid,heptyl ester	丙酸庚酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	0. 02	—
Citronellol	香茅醇	C ₁₀ H ₂₀ O	156	12. 50	33. 16
Citronellic acid, methyl ester	香茅酸甲酯	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	184	0. 21	—
Citronellyl formate	甲酸香茅酯	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	184	30. 70	11. 82
Calarene	白菖烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 07	0. 13
Linayl acetate	乙酸芳樟酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0. 98	0. 34
Copaene	可巴烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 29	0. 40
Cubebene	葑澄茄油烯	C ₁₅ H ₂₄	204	3. 43	1. 30
β-Bourbonene	β-波旁烯	C ₁₅ H ₂₄	204	3. 82	0. 46
α-Bourbonene	α-波旁烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 40	—
β-Farnesene	β-金合欢烯	C ₁₅ H ₂₄	204	—	0. 44
Caryophyllene	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 67	—
Citronellyl propionate	丙酸香茅酯	C ₁₃ H ₂₄ O ₂	212	0. 92	1. 52
(+)-epi-bicyclosesquip hellandrene	表双环倍半水芹烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 67	3. 18
β-Gurjunene	β-古云烯	C ₁₅ H ₂₄	204	4. 09	3. 65
δ-Cadinene	δ-杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 14	2. 37
Aromadendrene	香橙烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 34	—
Humulen	律草烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 11	0. 76
Calamenene	菖蒲烯	C ₁₅ H ₂₂	202	0. 02	—
(+)-Epi-bicyclosesqUiphellandrene	(+)-表双环倍半菲兰烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 20	—
Elixene	榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	204	—	0. 13
α-Selinene	α-芹子烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0. 48	0. 23
Nootkanone	圆柚酮	C ₁₅ H ₂₂ O	218	—	0. 53
Caryophyllene oxide	氧化石竹烯	C ₁₅ H ₂₄ O	220	—	0. 44
Citronellyl butyrate	丁酸香茅酯	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	226	0. 17	0. 05
Farnesane	法呢烷	C ₁₅ H ₃₂	212	—	0. 10

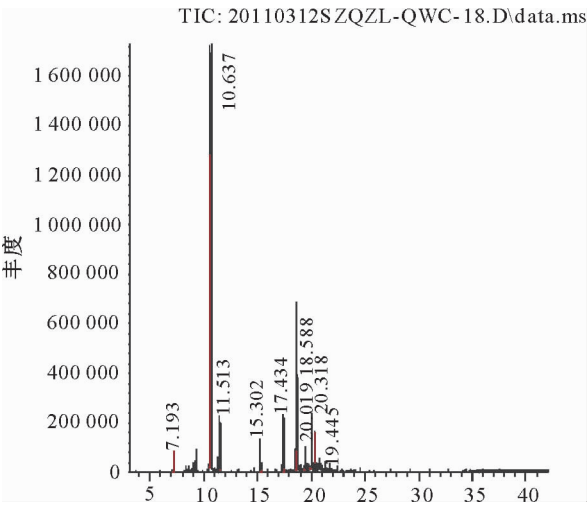


图 1 水蒸气蒸馏的总离子流
Fig. 1 TIC of SD extracts

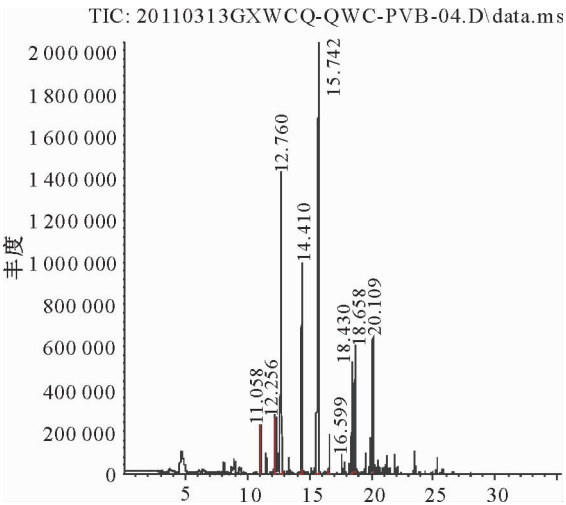


图 2 固相微萃取总离子流
Fig. 2 TIC of SPME of extracts

3 结论

从分析结果来看,固相微萃取与水蒸气蒸馏 2 种方法采集的化合物成分不完全一致,这是由于固相微萃取的萃取纤维对化合物的选择性富集作用造成的。萃取纤维对不同的化合物具有一定的选择性,有些萃取纤维适合吸附极性的化合物,有些则适合吸附非极性的化合物;另外萃取纤维还对许多化合物具有富集作用,这也是固相微萃取技术被广泛应用的原因之一^[16-17]。

参考文献:

[1] ZHOU J S, MA G H, ERIC BUNN, *et al.* In vitro shoot organogenesis from *Pelargonium × citrosom* Van leenii leaf and petiole explants[J]. Floriculture and ornamental biotechnology, 2007, 1(2): 147-149.

[2] BRENT M MATSUDA, GORDON A SURGEONER, JAMES D HEAL, *et al.* Essential oil analysis and field evaluation of the citrosa plant "*Pelargonium citrosom*" as a repellent against populations of aedes mosquitoes[J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 1996, 12(1): 69-74.

[3] 李勇慧,耿惠敏,李向民. 驱蚊草挥发油成分的 GC-MS 分析[J]. 陕西农业科学, 2008(1): 63-66.

[4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 86-87.

[5] SARUNYOO SONGKRO, NARISSARA HAYOOK, JITTARAT JAISAWANG, *et al.* Investigation of inclusion complexes of citronella oil, citronellal and citronellol with b-cyclodextrin for mosquito repellent[J]. J. Incl. Phenom Macrocycl Chem., 2012, 72: 339-355.

[6] JEONG-KYU K, CHANG-SOO K, JONG-KWON L, *et al.* Evaluation of repellency effect of two natural aroma mosquito repellent compounds, citronella and citronellal[J]. Entomological Research, 2005, 35(2): 117-120.

[7] 刘伊强,王雅平,潘乃槩,等. 利用原生质体融合技术选育防治植

物病虫害的基因重组菌株[J]. 遗传学报, 1993, 20(6): 524-530.

LIU Y Q, WANG Y P, PAN N S, *et al.* Studies of breeding for strains of controlling plant pathogens and pest by interspecific protoplast fusion[J]. Journal of Genetics and Genomics 1993, 20(6): 524-530. (in Chinese)

[8] 吴刚,刘向辉,戈峰. 香茅醛对淡色库蚊空间驱避效果的观察[J]. 寄生虫与医学昆虫学报, 2005, 12(4): 205-209.

WU G, LIU X H, GE F. The spatial repellent effect of citronellal against culex pipiens pallens[J]. Acta Parasitol Med Entomol Sin., 2005, 12(4): 205-209. (in Chinese)

[9] 陆志科,黎深. 一种快速提取丁香油的新方法[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(2), 134-137.

LU Z K, LI S. The new method for quick steam distillation of clove oil [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(2): 134-137. (in Chinese)

[10] 史睿杰,谢寿安,赵薇,等. 青海云杉针叶和枝条的挥发性化合物的固相微萃 GC/MS 分析[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(6): 95-99.

SHI R J, XIE S A, ZHAO W, *et al.* Analysis of volatile components in the needle and branch of picea crassifolia by SPME/GC/MS[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6): 95-99. (in Chinese)

[11] WESLEY G T, CARL E S. Chiral-phase capillary gas chromatography and mosquito repellent activity of some oxazolidine derivatives of (+)-and (-)-citronellol[J]. Journal of Pharmaceutical Sciences, 1985, 74(5): 534-539.

[12] USAWADEE S, ONANONG N, NAPAPORN U, *et al.* Characterization and mosquito repellent activity of citronella oil nanoe-mulsion[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2009, 372: 105-111.

[13] 郑青荷,姜萍,周晓兰. 香叶天竺葵鲜叶挥发油的镇咳活性成分分析[J]. 生物质化学工程, 2011, 45(1): 37-40.

ZHENG Q H, JIANG P, ZHOU X L. Analysis of the active ingredients of geranium oil extracted from fresh leaves of *Pelargonium graveolens* L. for relieving cough[J]. Biomass Chemical Engineering, 2011, 45(1): 37-40. (in Chinese)

洲市园林绿化现状[J]. 林业调查规划, 2005, 30(1): 5-7.

HOU B Q, TAN K X, LI J X. Status quo of afforesting gardens in Zhuzhou city investigated by satellite image quickbird[J]. Forest Inventory and Planning, 2005, 30(1): 5-7. (in Chinese)

[5] 赖震刚, 谢飞. 遥感技术在园林绿化调查中的应用[J]. 现代测绘, 2005, 28(6): 42-44.

LAI Z G, XIE F. Application of remote sensing technique in the investigation of gardens and green areas[J]. Modern Surveying and Mapping, 2005, 28(6): 42-44. (in Chinese)

[6] 方懿. QuickBird 遥感影像在绿地调查中的应用[J]. 四川林勘设计, 2006(1): 49-51.

[7] 杨威, 陈秋晓. 基于 Quickbird 影像的中小城市绿地景观格局分析——以乐清市为例[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2011, 38(6): 716-721.

YANG W, CHEN Q X. Analysis on landscape pattern of urban green space in small medium-size cities based on quickbird imagery ——taking yueqing City as an example[J]. Journal of Zhejiang University: Sci. Edi., 2011, 38(6): 716-721. (in Chinese)

[8] 学院简介[EB/OL]. <http://www.gxstzy.cn/bencandy.php?fid=14&id=684>, 2013-03-13.

[9] 聂敏莉. 基于 Quickbird 卫星影像的城市绿地提取与分类研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.

[10] 于瑞强, 谢艳娟, 韦利宏. 地方高校校园功能分区探析[J]. 南方园艺, 2012, 23(5): 19-23.

YU R Q, XIE Y J, WEI L H. Local university campus partition function exploration[J]. Southern Horticulture, 2012, 23(5): 19-23. (in Chinese)

[11] 关崇. 大学校园绿地系统规划研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.

[12] 黄俊, 博林, 周恒. 合并高校空间整合研究初探——以武汉大学校园规划为例[J]. 中外建筑, 2012(5): 82-83.

HUANG J, BO L, ZHOU H. Preliminary research on spatial conformity of merged university——take campus planning of Wuhan university as an example[J]. Chiness & Overseas Architecture, 2012(5): 82-83. (in Chinese)

[13] 苗日新. 清华校园规划的原则及其体现[J]. 清华大学学报: 哲学社会科学版, 1996, 11(2): 81-87.

[14] 王亮亮, 刘耀龙, 张爱国. 山西师范大学校园(一校区)功能分区初探[J]. 山西师范大学学报: 自然科学版, 2006, 20(3): 109-112.

WANG L L, LIU Y L, ZHANG A G. The research of functional district of Shanxi teacher's university[J]. Journal of Shanxi Nomal University: Nat. Sci. Edi., 2006, 20(3): 109-112. (in Chinese)

[15] 董明坤, 王迪海, 洪森先, 等. 杨凌乔灌木型绿地植物群落空间结构特征[J]. 陕西林业科技, 2011(3): 39-43.

TONG M K, WANG D H, HONG S X Y, *et al.* Spatial structure characteristics of plant communities consisting of trees, shrubs and grass in Yangling[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2011(3): 39-43. (in Chinese)

[16] 李小兰, 钱婵英, 孔强. 对城市绿地指标体系的理论分析与研究[J]. 浙江农业科学, 2012(11): 1531-1533.

[17] 杨静怡, 赵平, 马履一, 等. 宜居城市绿化评价指标体系研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(4): 239-245.

YANG J Y, ZHAO P, MA L Y, *et al.* Index system of urban greening evaluation of livable city —— a case study of Beijing[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(4): 239-245. (in Chinese)

[18] 张锁成. 河北农业大学校园绿化评价研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.

[19] 鲁敏, 李英杰. 城市生态绿地系统建设: 植物种选择与绿化工程构建[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.

[20] 韩铁, 李吉跃. 城市森林综合评价体系与案例研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.

[21] 古润泽, 李延明, 谢军飞. 北京城市园林绿化生态效益的定量经济评价[J]. 生态科学, 2007, 26(6): 519-524.

GU R Z, LI Y M, XIE J F. Quantitative evaluation on ecological benefit of garden afforestation in Beijing[J]. Ecological Science, 2007, 26(6): 519-524. (in Chinese)

[22] 杨玉霞, 段渊古, 张楠阳, 等. 园林植物季相变化对园林空间的影响研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(6): 177-180.

YANG Y X, DUAN Y G, ZHANG N Y, *et al.* The effect of seasonal changes of garden plants on garden space of landscape[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6): 177-180. (in Chinese)

(上接第 216 页)

[14] 董晓敏, 刘布鸣, 林霄, 等. 广西产香茅草挥发油的化学成分分析[J]. 广西科学, 2009, 16(3): 302-304.

[15] CILEK J E, SCHREIBER E T. Failure of the "mosquito plant" *Pelargonium* × *citrosom* 'van leenii' to repel adult aedes albopictus and *Culex qutnquefasciatus* in florida[J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 1994, 10(4): 473-476.

[16] LIU Y, XU X L, ZHOU G H. Comparative study of volatile compounds in traditional Chinese Nanjing marinated duck by different extraction techniques[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2007, 42: 543-550.

[17] PAN Y P, TSAI S W. Solid phase microextraction procedure for the determination of alkylphenols in water by on-fiber derivatization with N-tert-butyl-dimethylsilyl-N-methyltrifluoroacetamide[J]. Analytica Chimica Acta, 2008, 624: 247-252.