

# Analysis of Volatile Compounds of Three Species by HS-SPME-GC-MS in Mountainous Area of Beijing

Jipeng Gao<sup>1</sup>, Dandan Li<sup>1</sup>, Ling Qin<sup>2</sup>, Liu Yang<sup>2,3</sup>, Yelin Tian<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Landscape Architecture, Beijing University of Agriculture, Beijing

<sup>2</sup>College of Plant Science and Technology, Beijing University of Agriculture, Beijing

<sup>3</sup>Beijing Key Laboratory of New Technology in Agricultural Application, Beijing University of Agriculture, Beijing  
Email: g752768062@163.com, \*tianyelin@126.com

Received: Apr. 30<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 14<sup>th</sup>, 2020; published: May 21<sup>st</sup>, 2020

## Abstract

**Objective:** To provide theoretical basis for the development and utilization of shade tolerant aromatic plants. **Method:** Head space solid phase micro-extraction and GC-MS are used in detecting volatile components of *Perilla frutescens*, *Agastache rugosa* and *Hosta plantaginea* in different parts of three plants. Different locations and different environment of volatile components are compared. **Result:** The main volatile components of *Perilla frutescens* are classified into 7 classes: terpene, esters, alcohols, alkane, ketone, aldehyde and furan. Among them, the terpene is the most abundant, and the highest content is caryophyllene (41.54%). Perillen is anti-tumor effect composition in perilla fruit. The main volatile components of *Agastache rugosa* are classified into 8 classes: terpene, esters, alcohols, alkane, ketone, phenol, aldehyde and furan. Among them, the terpene is the most abundant. The highest contents are caryophyllene, limonene,  $\beta$ -Bourbonene. The main volatile components of *Hosta plantaginea* are classified into 5 classes: alcohols, terpene, esters, ketone and aldehyde. Among them, the highest content is alcohols. The main volatile components of *Hosta plantaginea* is linalool. Linalool is a symbol aroma component in *Hosta plantaginea*. According to the research, we put forward some suggestions on the application of aromatic plants in the forest.

## Keywords

Under the Forest, Aromatic Plants, Volatile Ingredients, Development and Utilization

# 北京山区林下三种耐荫芳香植物挥发性成分研究

高基朋<sup>1</sup>, 李丹丹<sup>1</sup>, 秦岭<sup>2</sup>, 杨柳<sup>2,3</sup>, 田晔林<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>北京农学院园林学院, 北京

<sup>2</sup>北京农学院植物科学技术学院, 北京

<sup>3</sup>北京农学院, 农业应用新技术北京市重点实验室, 北京

\*通讯作者。

## 摘要

目的: 为林下耐荫芳香植物的开发利用提供理论依据。方法: 利用顶空固相微萃取技术和GC-MS对紫苏(*Perilla frutescens*)、藿香(*Agastache rugosa*)和白玉簪(*Hosta plantaginea*)三种植物的植株各部位的挥发性成分进行检测, 同时对比了不同地点、不同生长环境的挥发性成分。结果: 紫苏的主要挥发性成分分为萜烯类、酯类、醇类、烷类、酮类、醛类和呋喃7大类。其中, 萜烯类的种类最多, 萜烯类中石竹烯释放量最大(41.54%)。紫苏果实中有具抗肿瘤效果的成分—紫苏烯; 藿香的主要挥发性成分有萜烯类、酯类、醇类、烷类、酮类、酚类、醛类和呋喃8大类。其中, 萜烯类最多, 以石竹烯、双戊烯、 $\beta$ -波旁烯释放量最大; 白玉簪中的主要挥发性成分为醇类、萜烯类、酯类、酮类和醛类5大类。其中, 醇类的含量最高。白玉簪最主要的挥发性成分为芳樟醇。芳樟醇是白玉簪香气中的标志性成分。根据研究, 对林下芳香植物的应用提出了建议。

## 关键词

林下耐荫芳香植物, 挥发性成分, 开发利用

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

芳香植物在全球分布非常广泛, 其原产地主要在地中海沿岸, 中亚、中国、印度、南美等地区也多有分布。目前世界各地都有芳香植物的栽培和生长。《芳香植物名录汇编》中收录了芳香植物 3300 种, 隶属 756 属 163 科。但大部分芳香植物尚未被开发利用[1]。

我国芳香植物资源丰富, 是种类最多的国家之一。据统计, 我国已知富含精油的种子植物有 260 余种、近 800 个属, 其中 370 余种精油含量较高[2]。目前, 我国已发现有开发价值的芳香植物有 62 个科 400 多种, 其中进入生产环节的天然香料已达 120 多种。其中, 薄荷油、桂花油和茴香油的产量已稳居世界第一[3]。华北地区共有 69 科 205 属 303 种[4]。北京地区共有香草资源 19 科 58 属 78 种(2 个变种)。其中含属、种数较多的科主要集中在唇形科、菊科、伞形科[5]。

目前, 北京由于百万亩大造林, 形成近 300 万亩的林下空间, 为了缓和土地供应的矛盾, 利用林下土地资源种植耐荫芳香植物, 可作为地被植物保持水土, 涵养水源, 同时作为经济植物还能为农民创收。北京地区林下可生长的芳香植物有紫苏(*Perilla frutescens*)、藿香(*Agastache rugosa*)、白玉簪(*Hosta plantaginea*)、薄荷(*Mentha haplocalyx*)、玫瑰(*Rosa rugosa*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、薰衣草(*Lavandula angustifolia*)等。其中, 紫苏在我国供药用、食用和香料用, 入药部分以茎叶及种子为主, 它的挥发油主要成分有石竹烯、石竹素、棕榈酸、紫苏醛等[6]-[15]; 藿香作为特色蔬菜食用, 全草入药; 叶及茎均富含挥发性芳香油, 有浓郁的香味, 挥发油主要成分有胡椒酚甲醚、丁香酚甲醚、百里香醌、对甲氧基苯丙烯等[16] [17] [18] [19]; 白玉簪为重要的园艺观赏植物, 花白色, 芬香, 挥发油主要成分有月桂烯、柠檬烯、(E)- $\beta$ -罗勒烯、芳樟醇等。白玉簪还可作为鲜切花种苗进行规模化生产和出口销售[20] [21] [22] [23]

[24]。白玉簪的花还是特色蒙药材。本研究以不同生境下生长的紫苏、藿香和白玉簪作为研究对象,对叶、花和果三个部位的挥发性成分进行了检测,为这3种植物的开发利用提供了有效数据支持。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验材料

本研究以紫苏、白玉簪、藿香作为研究对象,试验材料来源如表1所示:试验地位于延庆县张家湾镇蔡家河,林地是2012~2013年种植的人工林,林木种类为旱柳(*Salix matsudana*),林地郁闭度为50%。

**Table 1.** The selection of test materials and test places  
**表 1.** 试验材料及试验地选取表

植物名称 Plants	材料来源 Sources of material
紫苏 <i>Perilla frutescens</i>	(1) 延庆林下 (2) 通州资源圃(大田种植)
藿香 <i>Agastache rugosa</i>	(1) 延庆林下 (2) 通州资源圃(大田种植)
白玉簪 <i>Hosta plantaginea</i>	(1) 延庆林下 (2) 朝阳公园 (3) 北京农学院校园

试验样品采集:白玉簪于2016年8月中下旬其花期的晴天上午9:30~12:30采集,紫苏和藿香于2016年8、9月中下旬的晴天上午9:30~12:30用镊子和剪刀采集所需的部位(植物的叶、花、果),装入250 ml的广口瓶中。使用冰袋保证采集样品的新鲜。采样时,要保证样品的质量,不能有蛀虫、腐烂等,每个样品重复三次。采样后,立即赶回实验室,进行样品处理。

### 2.2. 试验方法

#### 2.2.1. 固相微萃取法

将样品置于250 mL的广口瓶中,推入纤维头使其暴露在样品中,室温萃取40 min。将已完成萃取过程的纤维头迅速插入气相色谱进样装置的气化室内,推出纤维头使其暴露在高温(250℃)载气中,热解析3 min后取出,进入GC-MS分析[25]。

#### 2.2.2. GC-MS法测定挥发性成分

采用Agilent 7890A-5975C气相色谱质谱联用仪分析植物挥发性物质成分及相对含量。

色谱条件:毛细管色谱柱(30 m × 250 μm × 0.25 μm),柱温50℃;进样口温度250℃;柱内载气体积流量1.0 mL/min;载气为高纯氮气(99.999%)。升温程序为初始温度40℃保持2 min,以3℃/min升温至160℃,以10℃/min升温至200℃,最后以10℃/min升至250℃保持3 min,不分流进样[26]。

质谱条件:质谱条件EI电源电力能量70 eV,离子源温度230℃,质谱扫描范围20~550 (m/z),使用美国NIST08谱库结合谱图相减进行结果分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 研究结果

#### 3.1.1. 紫苏挥发性成分

延庆和通州的紫苏中共检测到主要挥发性成分59种,分为萜烯类、酯类、醇类、烷类、酮类、醛类

和呋喃 7 大类。其中,萜烯类释放的种类最多,有 28 种,占总释放量的 76.17%,萜烯类中石竹烯(41.54%)释放量占比最大,其次为 3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳四烯(22.12%) (表 2)。

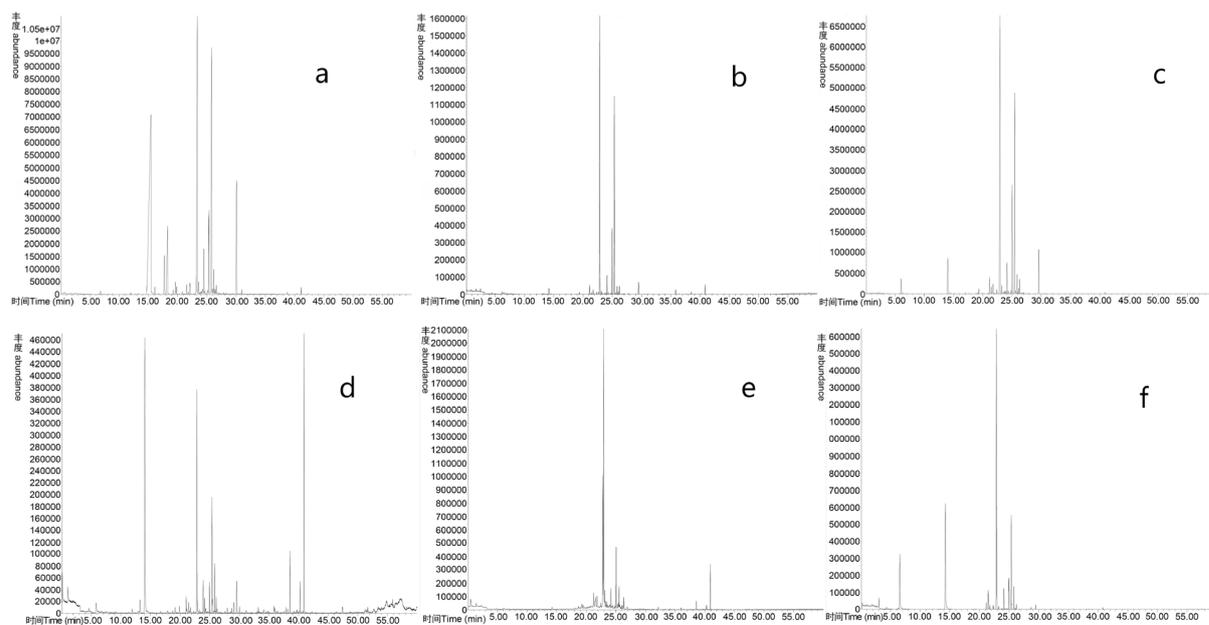
**Table 2.** Volatile components of *Perilla frutescens*  
**表 2.** 紫苏挥发性成分

挥发性成分类别 Volatile components	主要挥发性成分 Major volatile components	地点 Place						含量 content
		延庆 Yanqing			通州 Tongzhou			
		叶 leaf	花 flower	果 fruit	叶 leaf	花 flower	果 fruit	
萜烯类 terpenes	石竹烯	+	+	+	+	+	+	41.54%
	3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳四烯	+	+	+	+	-	+	22.12%
	紫苏烯	-	-	+	-	-	+	2.26%
	$\alpha$ -蒎烯	+	+	+	-	+	+	1.71%
	$\alpha$ -法尼烯	+	+	+	+	-	+	1.65%
	$\beta$ -波旁烯	+	+	+	+	+	+	0.78%
	$\delta$ -榄香烯	+	+	+	-	+	+	0.57%
	$\gamma$ -杜松烯	+	+	+	+	+	-	0.51%
	马兜铃烯	+	+	+	-	-	-	0.23%
	$\beta$ -甜没药烯	-	-	+	-	-	-	0.13%
	(+)-双环倍半水芹烯	-	+	+	-	-	+	0.10%
	1-甲基-4-(1-亚甲基-5-甲基-4-己烯基)环己烯	+	-	-	-	-	+	0.19%
	瑟林烯	-	-	-	-	+	-	0.85%
	2,6-二甲基-6-(4-甲基-3-戊烯基)双环[3.1.1]庚-2-烯	-	-	-	-	+	-	0.81%
	花侧柏烯	-	-	-	-	+	-	0.43%
	长叶蒎烯	-	-	-	-	+	-	0.29%
月桂烯	-	-	-	-	-	+	1.49%	
						合计	75.66%	
酯类 esters	2-呋喃甲酸, 3,5-二甲基环己酯	+	-	-	-	-	-	0.23%
	邻苯二甲酸二丁酯	+	+	+	+	-	-	0.23%
	2,6-二辛酸, 3,7-二甲基-甲酯	+	-	-	-	-	-	0.19%
	酞酸二甲酯	-	-	-	+	-	-	1.82%
	磷酸三丁酯	-	-	-	+	-	-	0.78%
	酸, 2-甲基-1-(1,1-二甲基乙基)-2-甲基-1,3-丙二基酯	-	-	-	+	-	-	0.74%
	邻苯二甲酸正辛正癸酯	-	-	-	+	-	-	0.65%
	丁二酸, 甲基-, 双(1-甲基丙基)酯	-	-	-	+	-	-	0.25%
苯甲酸苯酯	-	-	-	+	+	-	0.21%	
苯甲酸 2-乙基己酯	-	-	-	+	-	-	0.20%	
						合计	5.30%	

Continued

	胡薄荷酮	-	-	-	+	-	-	1.13%
酮类 Ketone	正戊基 2-呋喃酮	+	+	+	+	-	+	1.69%
	植酮	-	-	-	+	-	-	0.18%
							合计	3.00%
烷类 Alkane	1-乙烯基-1-甲基-2-(1-甲基乙烯基)-4-(1-甲基亚乙基)-环己烷	+	-	-	+	+	-	0.54%
	2-(1,1-二甲基-2-丙烯基)-双环[2.2.1]庚烷	+	-	+	-	-	-	0.33%
							合计	0.87%
醇类 alcohols	芳樟醇	+	-	-	-	-	-	0.19%
	香树精	-	-	-	+	-	-	0.51%
	2,10-戊二醇	-	-	-	+	-	-	0.30%
	柏木脑	-	-	-	+	-	-	0.42%
	毕橙茄醇	-	-	-	-	+	-	0.30%
							合计	1.72%
呋喃 Furan	2-己酰基呋喃	-	-	+	-	-	-	6.43%
醛类 aldehyde	金合欢基乙醛	-	-	-	+	-	-	0.31%

延庆紫苏叶中共检测出 26 种物质(图 1), 通州紫苏叶中共检测出 25 种物质。延庆紫苏花中共检测出 14 种物质(图 1), 通州紫苏花中共检测出 16 种物质。延庆紫苏果中共检测出 26 种物质(图 1), 通州紫苏果中共检测出 12 种物质。



注: a: 延庆紫苏叶; b: 延庆紫苏花; c: 延庆紫苏果; d: 通州紫苏叶; e: 通州紫苏花; f: 通州紫苏果

**Figure 1.** The total ion chromatograms of volatile components of *Perilla frutescens*

**图 1.** 紫苏挥发性成分总离子流图

### 3.1.2. 藿香挥发性成分

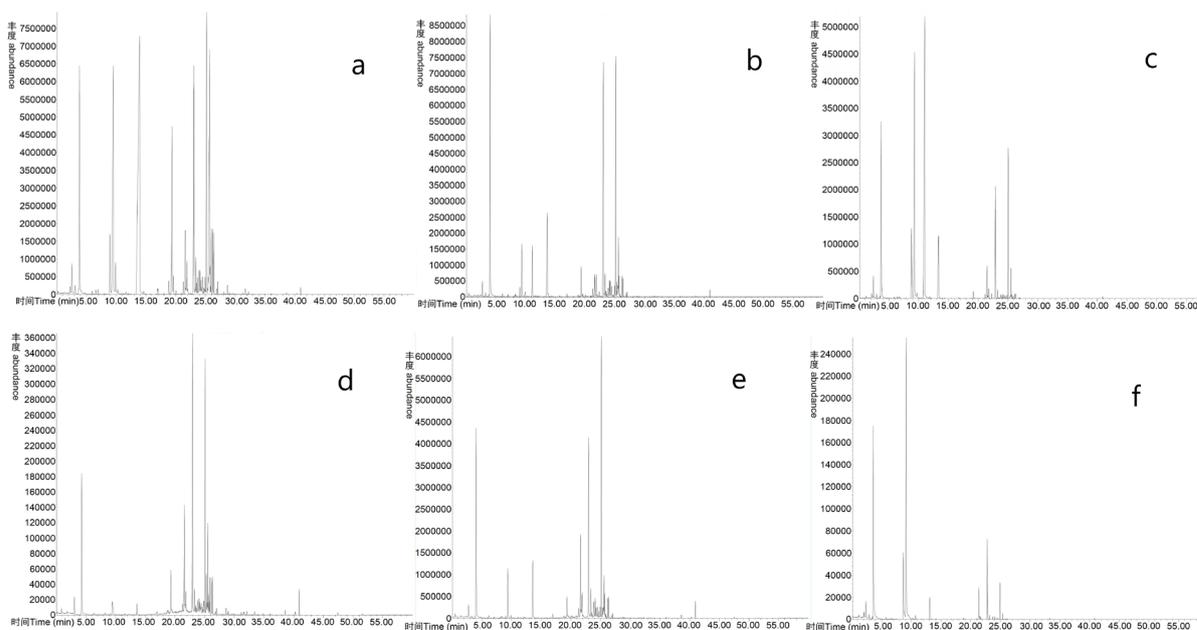
在延庆和通州藿香中共检测到主要挥发性成分 55 种, 分为萜烯类、酯类、醇类、烷类、酮类、酚类、醛类和呋喃 8 大类。其中, 萜烯类释放的种类最多, 有 19 种, 占总释放量的 55.25%, 萜烯类中石竹烯 (15.54%)、双戊烯 (17.57%)、 $\beta$ -波旁烯 (5.85%) 释放量占比重最大 (表 3)。

**Table 3.** Volatile components of *Agastache rugosa*  
**表 3.** 藿香挥发性成分

挥发性成分分类 Volatile components	主要挥发性成分 Major volatile components	延庆 Yanqing			通州 Tongzhou			含量 content
		叶 leaf	花 flower	果 fruit	叶 leaf	花 flower	果 fruit	
萜烯类 terpenes	双戊烯	+	+	+	+	+	+	17.57%
	石竹烯	+	+	+	+	+	+	15.54%
	$\beta$ -波旁烯	+	+	+	+	+	+	5.85%
	佛术烯	-	+	-	+	+	-	2.32%
	$\gamma$ -杜松烯	+	+	+	+	+	+	2.29%
	$\alpha$ -法尼烯	+	-	+	+	+	+	2.01%
	$\beta$ -榄香烯	+	+	+	+	+	+	1.48%
	月桂烯	-	-	+	+	-	-	1.46%
	$\alpha$ -蒎烯	+	+	+	+	-	-	1.06%
	$\beta$ -蒎烯	+	+	-	-	+	+	0.90%
	雪松烯	-	-	-	+	+	-	0.83%
	香树烯	-	-	-	+	-	-	0.38%
	愈创木烯	-	-	-	+	-	-	0.29%
	葎澄茄油烯	+	+	+	+	-	+	0.21%
	2,4-二甲基苯乙烯	+	-	-	+	-	-	0.20%
	柠檬烯环氧化物	-	-	-	+	-	-	0.14%
	2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	+	+	+	-	+	+	0.68%
	1,3,8-对-青霉烯	+	+	+	-	+	+	0.14%
	3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯	-	-	+	-	-	-	0.34%
3-乙烯基-1,2-二甲基-1,4-环己二烯	-	-	-	-	-	+	0.24%	
喇叭烯	+	-	-	-	-	-	0.51%	
香橙烯	+	+	-	-	-	-	0.36%	
长叶烯	+	-	-	-	-	-	0.13%	
						合计	54.93%	
醇类 alcohols	桉油烯醇	-	-	-	+	-	-	0.49%
	毕澄茄醇	+	-	-	+	-	-	0.25%
	杜松醇	+	-	-	+	-	-	0.13%
	香芹醇	-	-	-	-	-	+	0.12%
	乙酸辛烯-1-醇	-	-	+	-	-	-	0.12%
						合计	1.11%	

## Continued

呋喃 Furan	薄荷醇呋喃	-	+	-	+	+	-	1.70%	
	邻苯二甲酸二丁酯	+	-	+	+	-	+	1.36%	
	邻苯二甲酸, 丁基异己酯	-	-	-	+	-	-	0.26%	
	棕榈酸甲酯	-	-	-	+	+	-	0.17%	
	对甲氧基肉桂酸辛酯	-	-	-	+	-	-	0.16%	
	3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇乙酸酯	-	-	-	-	+	-	0.24%	
酯类 esters	邻苯二甲酸二异丁酯	-	-	-	-	+	-	0.17%	
	合计							2.36%	
	烷类 Alkane	4,4-二甲基-3-(3-甲基丁-3-烯基)-2-亚甲基双环[4.1.0]庚烷	-	-	-	+	-	-	0.75%
		5-甲基-2-(1-甲基亚乙基)环己酮	+	+	+	+	+	+	9.61%
		2-甲基-2-(3-甲基-2-氧代丁基)环己酮	-	-	-	+	+	-	0.36%
		薄荷酮	-	+	+	-	+	+	20.35%
4,6,6-三甲基二环[3.1.1]庚-3-烯-2-酮		-	-	-	-	+	-	0.16%	
酮类 Ketone	2-异丙基-5-甲基-3-环己烯-1-酮	+	-	-	-	-	+	0.11%	
	茉莉酮	+	-	-	-	-	-	0.25%	
	3-甲基-6-(1-甲基亚乙基)-2-环己烯-1-酮	-	+	-	-	-	-	0.21%	
	异薄荷酮	-	-	+	-	-	-	2.99%	
	6,6,10-三甲基-3,7-十一烷二酮	-	-	+	-	-	-	0.14%	
合计							34.18%		
醛类 aldehyde	7-十六碳烯醛	-	-	-	+	-	-	0.14%	
酚类 Phenols	甲基丁香酚	-	+	+	-	-	-	0.24%	



注: a: 延庆藿香叶; b: 延庆藿香花; c: 延庆藿香果; d: 通州藿香叶; e: 通州藿香花; f: 通州藿香果

Figure 2. The total ion chromatograms of volatile components of *Agastache rugosa*

图 2. 藿香挥发性成分总离子流图

延庆紫苏叶中共检测出 22 种物质(图 2), 通州紫苏叶中共检测出 26 种物质。延庆紫苏花中共检测出 19 种物质(图 2), 通州紫苏花中共检测出 21 种物质。延庆紫苏果中共检测出 23 种物质(图 2), 通州紫苏果中共检测出 20 种物质。

### 3.1.3. 白玉簪花挥发性成分

在白玉簪中共检测到主要挥发性成分 48 种, 分为醇类、萜烯类、酯类、酮类和醛类 5 大类。其中, 醇类的释放量最大, 占总释放量的 82.20%, 醇类中芳樟醇释放量占比重最大, 达 70.78% (表 4)。

延庆玉簪样品中共检测到 33 种主要挥发性物质(图 3), 朝阳公园白玉簪样品中共检测到 30 种主要挥发性物质(图 3), 校园白玉簪样品中共检测到 30 种主要挥发性物质(图 3)。

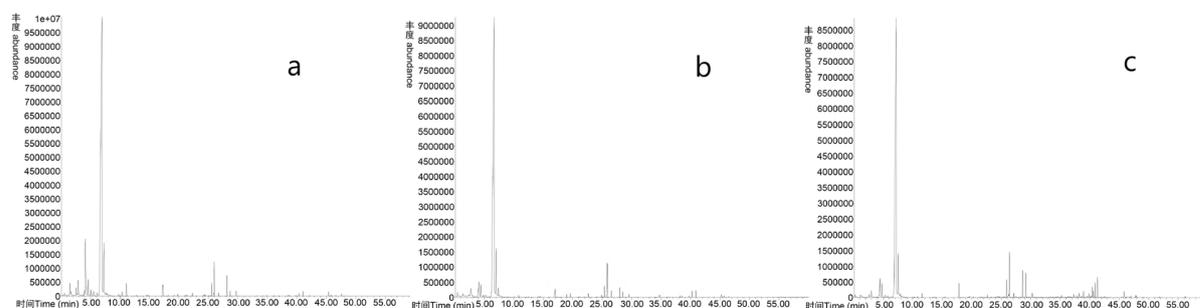
**Table 4.** Volatile components of *Hosta plantaginea*

**表 4.** 白玉簪挥发性成分

挥发性成分类别 Volatile components	主要挥发性成分 Major volatile components	延庆 Yanqing	北京农学院校园 Beijing University Of Agriculture	朝阳公园 Chaoyan g Park	含量 content
醇类	芳樟醇	+	+	+	70.78%
	苯乙醇	+	+	+	5.01%
	反式-橙花叔醇	+	+	+	1.44%
	$\alpha$ -松油醇	+	+	+	0.60%
	顺- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙基四氢呋喃-2-甲醇	+	-	-	0.75%
	4-萜烯醇	+	+	+	0.18%
	香叶醇	+	-	-	0.16%
	4,7-二甲基-4-辛醇	+	-	-	0.16%
	橙花醇	+	+	-	0.12%
	桉叶油醇	-	+	+	2.89%
	1-辛醇	-	+	-	0.12%
					合计
萜烯类	右旋萜二烯	+	+	-	2.60%
	$\alpha$ -法尼烯	+	+	+	2.35%
	$\alpha$ -蒎烯	+	-	+	1.67%
	罗勒烯	+	+	-	1.49%
	$\beta$ -蒎烯	+	+	+	1.00%
	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]-2-己烯	+	-	+	0.71%
	萜品烯	+	+	+	0.38%
	金合欢烯	+	-	-	0.10%
	桉烯	+	-	+	0.46%
	月桂烯	-	+	-	0.87%
	3-亚甲基-1,5,5-三甲基环己烯	-	+	-	0.15%
氧化石竹烯	-	-	+	0.20%	
				合计	11.98%

Continued

	月桂酸乙酯	+	-	-	0.63%	
	亚油酸甲酯	+	+	+	0.37%	
	邻苯二甲酸二丁酯	+	+	+	0.66%	
	亚油酸乙酯	+	-	-	0.17%	
	癸酸乙酯	+	-	-	0.17%	
	月桂酸甲酯	+	+	+	0.32%	
	氨基酸甲酯	+	-	-	0.16%	
	苯甲酸乙酯	+	-	-	0.16%	
	棕榈酸甲酯	+	+	+	0.29%	
	乙酸苯乙酯	+	+	-	0.11%	
酯类	邻苯二甲酸二异丁酯	+	+	+	0.18%	
	辛酸甲酯	-	+	+	0.56%	
	苯甲酸甲酯	-	+	-	0.51%	
	11-十八碳烯酸, 甲酯	-	+	-	0.12%	
	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己醇乙酸酯	-	-	+	0.20%	
	肉豆蔻酸甲酯	-	-	+	0.15%	
	癸酸甲酯	-	-	+	0.12%	
	邻苯二甲酸, 癸基异丁酯	-	-	+	0.12%	
	邻苯二甲酸, 3-(2-甲氧基乙基)庚基戊酯	-	-	+	0.12%	
	苯甲酸苄酯	-	-	+	0.11%	
	邻苯二甲酸二异辛酯	-	-	+	0.10%	
	对甲氧基肉桂酸辛酯	-	-	+	0.10%	
					合计	5.43%
	醛类	月桂醛	-	+	-	0.23%
		金合欢基乙醛	-	-	+	0.13%
				合计	0.36%	
酮类	植酮	-	-	+	0.10%	



注: a: 延庆; b: 北京农学院; c: 朝阳公园

**Figure 3.** The total ion chromatograms of volatile components of *Hosta plantaginea* (Lam.) Aschers  
**图 3.** 白玉簪花挥发性成分总离子流图

## 3.2. 挥发性成分分析

### 3.2.1. 紫苏挥发性成分分析

以往研究主要检测了紫苏油的挥发性成分。紫苏叶主要挥发性成分有：石竹烯的含量最高、石竹素、棕榈酸、紫苏醛[11]。紫苏花主要挥发性成分有：紫苏醛、石竹烯、法尼烯(8.99%)、芳樟醇、姜黄二酮[10]。紫苏籽主要挥发性成分有：侧柏酮、邻苯二甲酸二丁酯[6]。与本研究对比发现，石竹烯和 3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳四烯为紫苏重要的挥发性成分，但延庆和通州的紫苏样品中没有发现紫苏醛的存在，而是检测到了有抑制肿瘤作用的紫苏烯。这可能与环境及所测样品的处理方法有关，文献中的挥发性成分为精油的成分，而本试验的样品是新鲜的叶、花、果。

延庆和通州的紫苏主要挥发性成分中，石竹烯是具有辛香、木香、柑橘香、樟脑香、丁香香气的双环倍半萜类化合物[6]。天然存在于柠檬、园柚、肉豆蔻、胡椒、覆盆子、黑加仑、肉桂叶油、丁香叶油中[8]。用于调配食用香精，也可用于合成其它香料。3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳四烯主要存在于甜橙油、玫瑰油、依兰油和桔子油等精油中。有青香、花香并伴有香脂香气。用于皂用、洗涤剂香精中和日化香精中[10]。 $\alpha$ -蒎烯在空气中能自动氧化聚合变稠，故常用抗氧化剂。 $\alpha$ -蒎烯氢化，生成蒎烷；也可异构构成含 3%~6%  $\beta$ -蒎烯的混合物。 $\alpha$ -蒎烯在硫酸作用下水合开环，生成松油醇。这些萜烯类成分常具有镇痛、杀菌、抗病毒、消炎、镇静、降血压等功效[27]，种植于林下可与园艺疗法、森林康养相结合，且秋季可收获种子、叶供药用，便于林地资源发挥出更大的生态、经济、社会价值。

### 3.2.2. 藿香挥发性成分分析

以往研究主要检测了藿香油的挥发性成分。藿香油挥发性成分主要有：胡椒酚甲醚、丁香酚甲醚[16]、百里香酮[17]、对甲氧基苯丙烯(茴香脑)，此外石竹烯也在藿香的挥发性成分中很常见[19]。在延庆和通州的藿香挥发性成分中，石竹烯、薄荷酮、双戊烯的含量较高，对甲氧基苯丙烯(茴香脑)(0.09%)和丁香酚也有检测到，但含量不高。由此可见，不同产地的藿香在挥发成分上存在较大差异，但也具有一定的共同点。

在延庆和通州的藿香主要挥发性成分中，双戊烯有好闻的柠檬香味。用作合成橡胶、香料的原料，也用作溶剂。 $\gamma$ -榄香烯为榄香烯脂质体系列中成分的一种。榄香烯脂质体是从姜科植物温郁金中提取的抗癌有效成分[19]。其主要生物学活性为降低肿瘤细胞有丝分裂能力，诱发肿瘤细胞凋亡，抑制肿瘤细胞的生长。薄荷酮主要用作薄荷、薰衣草、玫瑰等香精的调合香料。也用于香叶天竺葵油等的调配[18]。亦可用于合成青蒿素。萜烯类成分常具有镇痛、杀菌、等功效，酮类成分具有一定的镇痛、抗凝血、抗炎症等功效[28]，将藿香种于林下，可以在有效利用林地空间的同时，发展园艺疗法，使人漫步林中得到身心的放松。同时也可以收获地上部分供药用。

### 3.2.3. 白玉簪挥发性成分分析

本研究在延庆、朝阳公园、校园的白玉簪花样品中，检测到了月桂烯、(E)- $\beta$ -罗勒烯和芳樟醇三种影响花香的主要成分，其中芳樟醇作为特征香气成分含量最高，与以往的研究相同[22] [23] [24]。三个地点的白玉簪花挥发性成分中，芳樟醇为链状萜烯醇类。国外民间自古以来就将含有芳樟醇的挥发油或植物作为催眠和镇静剂加以使用的报导。可作杀螨剂、防霉剂、动物驱避剂、日化产品不良气味掩蔽剂。对大肠杆菌、变形杆菌、肠炎膜杆菌、葡萄球菌、酿酒酵母菌、白色念珠菌、黑曲霉菌、琼脂等有很好的抗菌活性[20]。罗勒烯主要存在于罗勒油，也存在于薰衣草油、龙蒿油等精油中。罗勒烯有草香、花香并伴有橙花油气息。可用于多种日化香精配方中。月桂烯是烃类合成香料。可用于古龙香水和消臭剂。也是合成萜烯类合成香料如香叶醇、芳樟醇、新铃兰醛、柑青醛等香料的重要原料。柠檬烯单萜类化合物，无色油状液体，有类似柠檬的香味。具有良好的镇咳、祛痰、抑菌作用，复方柠檬烯在临床上可用于利

胆、溶石、促进消化液分泌和排除肠内积气[23]。可用作配制人造橙花、甜花、柠檬、香柠檬油的原料。也可作为一种新鲜的头香香料用于化妆、皂用及日用化学品香精。食用香精中作为修饰剂用于白柠檬、果香及辛香等配方[27]。白玉簪为良好的耐荫地被观花植物，林下种植白玉簪既能增加林地的观赏性，又可以舒缓人的身心，同时可与其他植物相结合发展森林康养。花也可收获供药用。

#### 4. 讨论

紫苏、藿香和白玉簪都是在林下种植效果优良的耐荫芳香植物。在北京，林下空间巨大，另一方面芳香植物市场需求不断加大，都使得发展以耐荫芳香植物为主的“林花模式”成为综合利用林地资源的最佳选择。其次，北京林下种植芳香植物，防风固沙，可营造良好的生态环境。

紫苏和藿香既可药用也可食用，紫苏果中具有抗肿瘤的紫苏烯，藿香挥发性成分中具有香气宜人的薄荷酮。白玉簪是良好的地被植物，其主要香气成分芳樟醇有镇静、杀菌效果。白玉簪的花为传统的特色蒙药。在林下种植这三种植物，春季、夏季可食用紫苏、藿香的嫩叶，夏秋季漫步其中复合香气可舒缓身心，紫苏的叶、藿香和白玉簪的花又给人们带来美丽的景观。因此，打造有特色的以耐荫芳香植物为主的“林花模式”，将游憩观赏、休闲娱乐、保健康养、森林浴场、园艺疗法空间集于一体，让单一的林地空间变为设施现代化、功能多元化的感受大自然气息的放松休养地[29] [30]，同时，三种植物可以分别收获药用部分作为中药材出售，从而切实增加当地农民的收入。

#### 基金项目

北京市科技计划课题(D14110000414003)。

#### 参考文献

- [1] 黄士诚, 张绍扬. 芳香植物名录汇编[J]. 香料香精化妆品, 2009(6): 47-48.
- [2] 谯德惠. 芳香产业: “掀起你的盖头来”[J]. 中国花卉园艺, 2004(21): 34-35.
- [3] 范远江, 袁淑清. 民族地区林下经济发展模式解析——以三峡库区石柱县为例[J]. 黑龙江民族丛刊, 2011(3): 50-55.
- [4] 李丹丹, 蒋玮, 秦岭, 等. 北京常见药用植物资源及其开发利用研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(16): 105-109.
- [5] 郝培尧. 北京芳香植物资源开发利用初探[J]. 山东林业科技, 2007(4): 64-67.
- [6] 刘阳, 王驰, 陈伟梅, 等. 紫苏籽与紫苏茎叶挥发油的提取及其成分分析[J]. 中国医院药学杂志, 2014, 34(22): 1897-1902.
- [7] 何彦康. 紫苏中多酚类天然活性成分的结构解析与功能研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东理工大学, 2015.
- [8] 孙子文. 紫苏叶有效成分的提取及生物活性研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 中北大学, 2014.
- [9] 张辰露, 梁宗锁, 吴三桥, 等. 不同方法提取紫苏叶挥发油成分 GC-MS 分析[J]. 中药材, 2016, 39(2): 337-341.
- [10] 王健, 薛山, 赵国华. 紫苏不同部位精油成分及体外抗氧化能力的比较研究[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 86-91.
- [11] 吴红旗, 严国俊, 秦昆明, 等. 紫苏叶挥发性成分的气相色谱/质谱分析[J]. 健康之路, 2016(9): 239-240.
- [12] 赵秀玲, 范道春. 紫苏生理活性成分以及饮料的研发进展[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(3): 262.
- [13] 王玉萍, 杨峻山, 赵杨景, 等. 紫苏类中药化学和药理的研究概况[J]. 中国药学杂志, 2003, 38(4): 250-253.
- [14] 冯吉力, 王薇, 余陈欢. 紫苏叶挥发油化学成分分析及其抗炎机制研究[J]. 海峡药学, 2011, 23(5): 45-48.
- [15] 代沙. 紫苏叶抗氧化物质提取、含量测定及抗氧化活性研究[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [16] 魏金凤, 王士苗, 沈丹, 等. 藿香与广藿香抗氧化活性研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(23): 117-120.
- [17] 张秋菊. 藿香资源的开发利用[J]. 人参研究, 2004(3): 10-12.
- [18] 刘亮锋, 黄晓丹, 蔡大可, 等. 广藿香油及藿香油的研究概况[J]. 中国中医药信息杂志, 2009, 16(2): 100-102.
- [19] 李昌勤, 姬志强, 康文艺. 藿香挥发油的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. 中草药, 2010, 41(9): 1443-1444.

- [20] 瞿江媛, 王梦月, 王春明, 等. 玉簪抗炎活性部位及化学成分研究[J]. 中草药, 2011, 42(2): 217-221.
- [21] 刘接卿, 王翠芳, 邱明华, 等. 玉簪花的抗肿瘤活性甾体皂苷成分研究[J]. 中草药, 2010, 41(4): 520-526.
- [22] 关梦茜, 董然. 玉簪属植物研究进展及园林应用[J]. 北方园艺, 2013(19): 182-185.
- [23] 李庆杰, 赫玉芳, 王婵, 等. 玉簪属植物研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 11826-11829.
- [24] 施爱萍. 玉簪属植物的耐阴性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- [25] 蒋勇, 李靖宇, 杜军强, 等. 同时蒸馏萃取-气相色谱-质谱联用分析汉麻叶挥发性成分[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 226-229.
- [26] 蒋军辉, 徐小娜, 杨慧仙, 等. GC-MS结合HELP法分析青皮挥发油化学成分[J]. 应用化工, 2012, 41(3): 515-528.
- [27] 苗青, 赵祥升, 杨美华, 等. 芳香植物化学成分与有害物质研究进展[J]. 中草药, 2013, 44(8): 1062-1068.
- [28] 吴卓珈. 浙江开发芳香植物资源前景乐观[J]. 今日科技, 2005, 21(7): 12-13.
- [29] 殷倩, 俞益武, 薛丹, 等. 芳香植物资源在园林保健中的应用现状及研究进展[J]. 北方园艺, 2012(5): 182-185.
- [30] 权美平, 师雯. 芳香植物的功能及其在园林中的应用[J]. 北方园艺, 2013(6):86-89.