

# 不同花期栀子花的香气成分分析

谭谊谈<sup>1</sup>, 薛 山<sup>1</sup>, 唐会周<sup>2</sup>

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.贵阳医学院公共卫生学院, 贵州 贵阳 550004)

**摘 要:** 为研究栀子花开放过程香气成分释放规律, 以固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术测定栀子花初花期、盛花期和衰花期的鲜花活体香气成分。结果表明: 3个不同花期共检测出36种香气成分, 主要为酯类、萜烯类和烃类物质, 其相对含量分别占据各花期总挥发性物质含量的85.25%、85.29%、94.37%; 初花期酯类物质和烃类物质的相对含量较少, 随着花期的延续, 其相对含量都有一定的上升, 而萜烯类物质的含量呈现一个先下降后上升的趋势。罗勒烯、3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇丙酸酯、 $\alpha$ -法呢烯、异丙基环己烷和苯甲酸甲酯为栀子花的主要香气成分。

**关键词:** 栀子花; 不同花期; 香气成分; 固相微萃取; 气相色谱-质谱联用

## Analysis of Aroma Constituents in *Gardenia jasminoides* at Different Flowering Stages

TAN Yi-tan<sup>1</sup>, XUE Shan<sup>1</sup>, TANG Hui-zhou<sup>2</sup>

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. School of Public Health, Guiyang Medical University, Guiyang 550004, China)

**Abstract:** In order to under the aroma composition and release regularity of *Gardenia jasminoides* during the flowering period, the aroma-active components of *Gardenia jasminoides* at the early, full and late flowering stages were determined by solid phase microextraction (SPME) and gas chromatograph-mass spectrophotometry (GC-MS). A total of 36 aroma-active components were detected throughout the whole flowering stages, which were mainly esters, terpenoids and hydrocarbons and together accounted for 85.25%, 85.29% and 94.37% of total volatile compounds at the early, full and late flowering stages, respectively. The relative contents of esters and hydrocarbons were low at the early flowering stage and then increased as the flowering period proceeded; however, the relative content of terpenoids showed a trend of decreasing initially and then increasing. The main compounds responsible for the aroma of *Gardenia jasminoides* flowers were ocimene,  $\alpha$ -farnesene, benzoic acid methyl ester, isopropyl cyclohexane and 3,7-dimethyl 1,6-octadiene-3-alcohol propionate.

**Key words:** *Gardenia jasminoides*; different flowering periods; aroma components; solid phase microextraction (SPME); gas chromatograph-mass spectrophotometer (GC-MS)

中图分类号: S601

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)12-0223-05

栀子花(*Gardenia jasminoides* var. *grandiflora* Nakai.)为茜草科栀子属香花植物, 又名黄栀子、山枝子<sup>[1]</sup>、山梔花、雀舌花、野桂花、玉荷花等<sup>[2]</sup>。栀子花原产于我国中部, 现主要分布在长江流域及其以南地区, 其用途广泛, 既可作绿化、美化以及庭院香化之用<sup>[3]</sup>, 亦可入药<sup>[4]</sup>。栀子花除了清热、润肺还具有解毒的功能, 可以开发功能性茶饮料, 新鲜的花朵可以作为饮食的原料<sup>[5-7]</sup>, 其挥发油可用于多种香型化妆品、香皂香精以及高级香水香精<sup>[8]</sup>。

鲜花香气具有抗忧郁、抗氧化和镇静等生理功能<sup>[9-11]</sup>, 研究鲜花活体香气成分有助于了解鲜花生理功

能产生的原因。目前关于栀子花香气成分的研究报道, 主要集中在栀子花挥发油化学成分的气相色谱-质谱联用技术(gas chromatograph-mass spectrophotometer, GC-MS)研究、栀子花挥发油超临界CO<sub>2</sub>萃取以及通过超临界CO<sub>2</sub>萃取分析其挥发油化学成分的分析等。栀子花挥发性成分的提取方法主要包括水蒸气蒸馏法<sup>[12]</sup>、微波辅助提取<sup>[13]</sup>、超临界CO<sub>2</sub>萃取、活体植株动态顶空套袋采集法等, 其挥发性物质主要可分为萜类化合物、醇类、酯类物质、环烷烃类化合物等<sup>[2,14-16]</sup>。

在不同的开放时期鲜花的香气种类以及数量不同, 黄巧巧等<sup>[15]</sup>采用活性炭吸附丝累积采集水仙花花开过程

收稿日期: 2011-06-01

作者简介: 谭谊谈(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: tytkeivn@163.com

中不同时段的活体香气成分,发现随着盛开到凋零,香气成分种类与含量出现先上升后下降的趋势,同样的趋势也发生在白车轴草盛开过程中<sup>[17]</sup>。但是未见有栀子花盛开时香气成分动态变化的报道,本实验拟采用固相微萃取(solid phase microextraction, SPME)和 GC-MS 研究在不同盛花期栀子花香气成分种类及其变化趋势,旨在为栀子花的开发利用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

栀子花采自重庆北碚区,根据花瓣盛开情况分为3类——初开期(未见内层花瓣,露出外层花瓣,但花瓣向花心处倾斜)、盛花期(露出全部花瓣,外层花瓣上翘)、衰花期(露出全部花瓣,外层花瓣向花心反方向倾斜,且花瓣萎焉)。

QP-2010 气相色谱-质联用仪、DB-FFAP 弹性石英毛细管柱(30m × 0.25mm, 0.25 μm) 日本岛津公司;固相微萃取装置、DVB/CAR/PDMS 50/30 μm(二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷)萃取头 美国 Supelco 公司。

1.2 方法

表 1 栀子花不同花期香气成分相对含量

Table 1 Aroma-active compounds and relative contents in *Gardenia jasminoides* during different blooming stages

| 化合物类别 编号 | 化合物名称                                               |                           | 峰面积 /% |       |       |
|----------|-----------------------------------------------------|---------------------------|--------|-------|-------|
|          | 英文名称                                                | 中文名称                      | 初开期    | 盛花期   | 衰花期   |
| 酯类       | 1 3-hexen-1-ol, acetate, (Z)-                       | (Z)- 乙酸叶醇酯                | 0.43   | 0.27  | 0.41  |
|          | 2 propanoic acid, hexyl ester                       | 丙酸正己酯                     | —      | —     | 0.07  |
|          | 3 butanoic acid, hexyl ester                        | 丁酸己基酯                     | —      | 0.11  | 0.18  |
|          | 4 3-hexen-1-ol, propanoate, (Z)-                    | (Z)- 丙酸-3-己烯酯             | 0.07   | 0.25  | 0.6   |
|          | 5 cis-3-hexenyl iso-butyrate                        | 异丁酸叶醇酯                    | 0.47   | 0.52  | 0.79  |
|          | 6 sulfurous acid, 2-ethylhexyl isohexyl ester       | 亚硫酸酯                      | 0.11   | —     | 0.37  |
|          | 7 butanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester             | 2-甲基丁酸正己酯                 | —      | 0.19  | 0.29  |
|          | 8 butanoic acid, 3-hexenyl ester, (Z)-              | (Z)-3-己烯基丁酯               | —      | 0.58  | 0.77  |
|          | 9 n-valeric acid cis-3-hexenyl ester                | 正戊酸-(Z)-3-己烯酯             | 0.52   | 1.74  | 2.59  |
|          | 10 cyclobutanecarboxylic acid, hexyl ester          | 环丁基酸正己酯                   | 0.75   | 1.6   | 0.38  |
|          | 11 benzoic acid, methyl ester                       | 苯甲酸甲基酯                    | 4.73   | 8.54  | 10.04 |
|          | 12 hexanoic acid, 3-hexenyl ester, (Z)-             | (Z)-己酸-3-己烯酯              | —      | 0.03  | 0.05  |
|          | 13 acetic acid, phenylmethyl ester                  | 乙酸苄酯                      | —      | 0.09  | 0.18  |
|          | 14 butanoic acid, 3-methyl-, phenylmethyl ester     | 3-甲基丁酸苄基酯                 | —      | —     | 0.06  |
|          | 15 benzoic acid, hexyl ester                        | 苯甲酸己基酯                    | —      | 0.06  | 0.14  |
|          | 16 2-butenic acid, 2-methyl-, phenylmethyl ester    | (E)-2-甲基-2-丁烯酸苄基酯         | —      | 0.14  | 0.08  |
|          | 17 3-hexen-1-ol, benzoate, (Z)-                     | (Z)-苯甲酸-3-己烯-1-醇酯(苯甲酸叶醇酯) | 0.81   | 0.77  | 1.32  |
|          | 18 δ-propyl-δ-valerolactone                         | 5-丙基-5-羟基戊酸内酯             | 0.22   | 0.77  | 1.12  |
|          | 19 1,6-octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-                 | 3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇丙酸酯    | 23.67  | 31.03 | 25.23 |
|          | 20 cis-3-hexenyl isovalerate                        | 3-甲基丁酸-3-己烯酯              | —      | 0.09  | —     |
|          | 21 ethyl-3-methylbenzoate                           | 3-乙基苯甲酸甲酯                 | 0.15   | —     | —     |
| 酯类物质总和   |                                                     |                           | 31.93  | 46.78 | 44.67 |
| 萜烯类      | 22 limonene                                         | 柠檬烯                       | 1.03   | 0.43  | 0.49  |
|          | 23 ethanone, 1-cyclopropyl-2-(4-pyridinyl)-         | β-月桂烯                     | —      | 0.04  | 0.08  |
|          | 24 1,3,6-octatriene, 3,7-dimethyl-                  | 罗勒烯                       | 40.7   | 20.83 | 31.34 |
|          | 25 caryophyllene                                    | 石竹烯                       | —      | 0.16  | 0.2   |
|          | 26 α-ph.-farnesene                                  | α-法呢烯                     | 11.36  | 16.84 | 17.38 |
| 萜烯类物质总和  |                                                     |                           | 53.09  | 38.3  | 49.49 |
| 烃类       | 27 2,4,6-octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-          | (E,Z)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯   | 0.3    | 0.18  | 0.19  |
|          | 28 1,3,8-p-menthatriene                             | 1,3,8-对薄荷三烯               | —      | 0.04  | —     |
|          | 29 nonane, 3,7-dimethyl-                            | 3,7-二甲基壬烷                 | 0.34   | 0.3   | 0.3   |
|          | 30 cyclohexane, (1-methylethyl)-                    | 异丙基环己烷                    | 13.55  | 13.27 | 4.04  |
|          | 31 1,3-cyclopentadiene, 1,3-bis(1-methylethyl)-     | 1,3-二(1-甲基乙基)-1,3-环戊二烯    | 0.46   | 0.39  | 0.57  |
| 烃类物质总和   |                                                     |                           | 14.65  | 14.18 | 5.1   |
| 其他       | 32 ethanone, 1-(2-methylphenyl)-                    | 1-(2-甲基苯基)-乙酮             | —      | —     | 0.05  |
|          | 33 5-heptenal, 2,6-dimethyl-                        | 2,6-二甲基-5-庚烯醛             | —      | 0.15  | 0.07  |
|          | 34 1H-indene, 2,3-dihydro-1,1,3-trimethyl-3-phenyl- | 1,3,3-三甲基-1,2-二氢茚         | 0.07   | 0.06  | 0.09  |
|          | 35 phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-                | 2-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯酚         | —      | 0.32  | 0.32  |
|          | 36 ethanone, 1-(2-methylphenyl)-                    | 苯甲基乙酮                     | 0.03   | —     | —     |
| 其他类化合物总和 |                                                     |                           | 0.1    | 0.53  | 0.53  |

注：“—”表示未检测到。

### 1.2.1 SPME、色谱及质谱条件

SPME 条件: 取外层花瓣 1g, 转移至 15mL 顶空瓶中, 使用 DVB/CAR/ PDMS 50/30  $\mu\text{m}$  萃取头、固相微萃取装置(在 20℃ 条件下顶空吸附 30min 后), 将萃取头插入 GC 进样口, 解析 5min。

色谱条件: DB-FFAP 石英毛细柱(30m  $\times$  0.25mm, 0.25  $\mu\text{m}$ ); 载气为氦气; 进样口温度: 230℃, 无分流进样。升温程序: 起始温度 40℃ 保持 4min, 以 10℃/min 升至 70℃, 再以 5℃/min 升至 170℃, 最后以 10℃/min 升至 230℃。

质谱条件: 接口温度 230℃, 离子源温度 230℃, 四极杆温度 150℃, 离子化方式为电子轰击(electron impact, EI), 电子能量 70eV, 质量扫描范围  $m/z$  35~500。

### 1.2.2 数据分析

运用计算机检索并与图谱库(NIST 05)的标准质谱图对照, 结合有关文献<sup>[18-23]</sup>确认香气物质的各个化学成分, 按峰面积归一化法算出样品中各个组分的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 栀子花 3 个花期香气成分分析

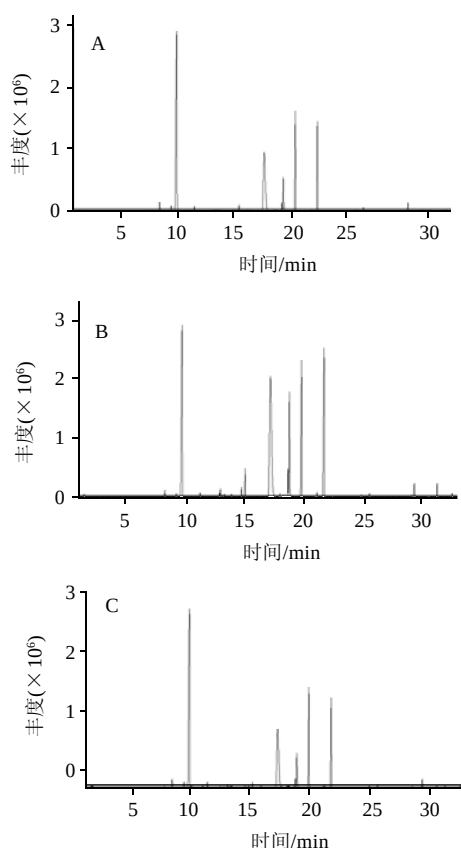


图1 栀子花初花期(A)、盛花期(B)和衰花期(C)香气成分总离子图

Fig.1 Total ionic chromatogram of *Gardenia jasminoides* aroma component in bud (A), full (B) and downfall flower periods (C)

3 个花期香气成分总离子图见图 1, 结果共检测出香气成分 36 种, 其中酯类物质 21 种、萜烯类物质 5 种、烃类物质 5 种、其他类物质 5 种(表 1)。

如表 1 所示, 3 个花期共有的香气成分 17 种, 主要有苯甲酸甲基酯、3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇丙酸酯、罗勒烯、 $\alpha$ -法呢烯和异丙基环己烷。3-乙基苯甲酸甲酯、苯甲基乙酮为初开期所特有的香气成分, 3-甲基丁酸-3-己烯酯、1,3,8-对-薄荷三烯则是盛花期特有的香气成分, 而衰花期特有的香气成分最多, 有 3 种, 分别是丙酸正己酯、3-甲基丁酸苯甲酯和 1-(2-甲基苯基)-乙酮。初开期所缺失的香气物质最多, 达到了 11 种, 包括丁酸己基酯、2-甲基丁酸正己酯、(Z)-3-己烯基丁酯、(Z)-己酸-3-己烯酯、乙酸苄酯、苯甲酸己基酯、(E)-2-甲基-2-丁烯酸苯甲酯、 $\beta$ -月桂烯、石竹烯、2,6-二甲基-5-庚烯醛、2-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯酚。而盛花期所缺失的香气物质只有亚硫酸酯 1 种。

### 2.2 栀子花开放中香气成分变化

#### 2.2.1 栀子花开放中酯类变化

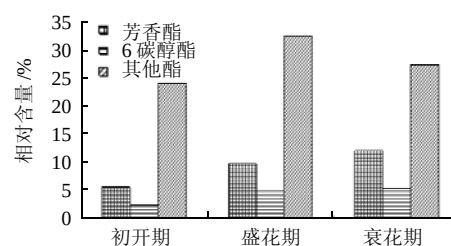


图2 不同花期酯类物质的相对含量

Fig.2 Relative contents of different types of esters during different blooming stages

酯类物质是栀子花重要的香气成分, 主要是芳香酯类、C<sub>6</sub>醇酯类(图 2)。芳香酯类(主要有 3-甲基丁酸苯甲酯、(E)-2-甲基-2-丁烯酸苯甲酯和苯甲酸叶醇酯等 6 种)随着栀子花开放其相对含量增加, 分别为 5.54%、9.66% 和 11.82%。6 碳醇酯类(主要包括丙酸正己酯、2-甲基丁酸正己酯和(Z)-己酸-3-己烯酯等 9 种)随着栀子花开放其相对含量增加, 分别为 2.24%、4.69% 和 5.18%。其他酯类(包括 3-乙基苯甲酸甲酯、丁酸己基酯、3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇丙酸酯、(Z)-3-己烯基丁酯、亚硫酸酯和 5-丙基-5-羟基戊酸内酯这 6 种)随着栀子花的开放, 其相对含量呈现先上升后下降的趋势, 在 3 个不同花期分别达到 24.04%、32.49% 和 27.3%。

酯类物质的相对含量是一个逐渐上升的趋势并且酯类物质相对含量的上升幅度基本不变。酯类物质具有浓郁的芳香气息, 由表 1 可知, 酯类物质相对含量随鲜花开放而增加, 故在盛花期、衰花期中其相对含量较高。

## 2.2.2 栀子花开放中萜烯类变化

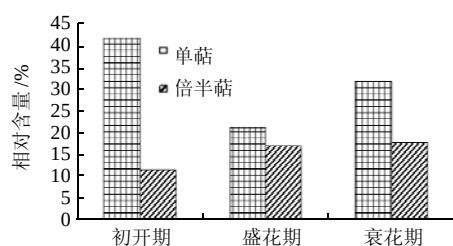


图3 不同花期萜烯类物质的相对含量

Fig.3 Relative contents of different types of terpenoids during different blooming stages

萜烯类物质作为水果蔬菜以及鲜花中芳香物质的重要组成部分，相对含量的大小与果蔬鲜花的芳香程度有密切的关系。萜类是植物界中广泛存在的一种次生代谢产物，其中单萜和倍半萜主要是以挥发性物质存在与植物体的腺细胞和表皮当中，这二者大都带有浓郁的木香、花香和甜香<sup>[24]</sup>。栀子花萜烯类物质在初花期(53.09%)相对含量最高，随着栀子花开放，在盛花期达到最低点(38.3%)，衰花期(49.49%)又呈上升趋势(表1、图3)。

所检测出的物质中，单萜包括柠檬烯、 $\beta$ -月桂烯、罗勒烯。倍半萜有石竹烯、 $\alpha$ -法呢烯。纵观这3个不同的花期，单萜相对含量出现下降趋势，从初开期的41.73%开始下降并在盛花期达到了最小值21.3%，此后逐渐上升，于衰花期时达到了31.91%。与之不同的倍半萜相对含量则呈现逐渐上升的过程，在3个花期分别达到了11.36%、17%、17.58%。

罗勒烯相对含量的变化趋势与单萜类物质在3个花期的变化趋势一致。从最开始初开期的40.7%，逐渐下降到20.83%，即3个花期的最低值，最后，伴随着衰花期的到来，罗勒烯相对含量出现小幅度的上升，最终为31.34%。 $\alpha$ -法呢烯的相对含量是从初开期的11.36%开始上升，逐渐上升，到盛花期时达到16.84%，此后上升速度略缓，在衰花期时， $\alpha$ -法呢烯相对含量达到17.38%。

## 2.2.3 栀子花开放中烃类变化

烃类物质在不同花期的代谢整体呈现一个下降的趋势(图4)，并且这个下降趋势随着花期推移更为明显。从初开期到盛花期，烃类物质相对含量只下降了0.47%，差异不明显，而在盛花期到衰花期的过程中，烃类物质的相对含量出现了明显的下降，于衰花期达到了5.1%。

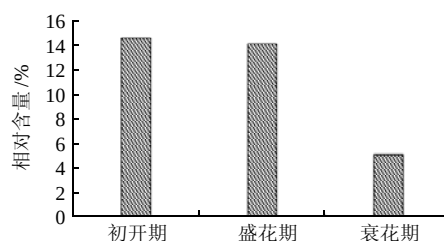


图4 不同花期烃类物质的相对含量

Fig.4 Relative hydrocarbon content during different blooming stages

异丙基环己烷的相对含量在烃类物质中最大，3个花期分别达到了13.55%、13.27%、4.04%，与烃类物质在不同花期的变化趋势保持一致。

## 3 讨论

在3个不同花期所检测出来的香气物质里，初开期的香气成分较少，只有20种，而盛花期和衰花期的香气物质在种类上比较接近，但是各种香气物质的相对含量存在一定差异。3个花期所检测出来的挥发性物质的相对峰面积分别为99.77%、99.79%、99.79%，而主要的挥发性物质主要包括3大类，即酯类、萜烯类和烃类。这3类物质的相对含量的总和在3个不同的花期分别占总挥发性物质的85.25%、85.29%、94.37%。在所检测出来的物质当中，3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇丙酸酯、罗勒烯、 $\alpha$ -法呢烯、异丙基环己烷、苯甲酸甲基酯这5种物质为栀子花的主要香气成分。从香精香料学的角度出发，盛花期和衰花期的酯类物质的相对含量较大，因此可知，栀子花的香味较柔和。

低分子质量的酯类物质是鲜花水果的香气成分的重要组成部分<sup>[25]</sup>，在酯类物质合成代谢途径中，脂肪酸经 $\beta$ 氧化变成酮酸和乙酰CoA，再经还原生成相应的醛和醇，以此为原料合成酯类物质。鲜花在成熟过程中，也可以通过脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)途径产生，随着成熟度增加，乙烯合成量加大，乙烯作为信号物质催化增加LOX活性加速了脂肪酸的产生，最终形成C<sub>6</sub>醛以及相应的醇和酯。如图2所示，随着花期的推移，包含C<sub>6</sub>结构的酯类物质含量出现了上升的趋势。本实验结果表明，从初开期到盛花期以及最后的衰花期酯类物质的相对含量是逐步上升的，其中，芳香酯的相对含量比C<sub>6</sub>醇酯的相对含量高，并且随着花期的推移不断上升。C<sub>6</sub>醇酯的相对含量也是逐步上升，但是其上升的幅度略小于芳香酯。在酯类物质所占的比重当中，C<sub>6</sub>醇酯的相对含量在不同花期均约为芳香酯的一半。在酯类物质中，具有有典型的苹果香味的甲酸甲酯的含量是

第2高的,其味感阈值较低<sup>[25]</sup>,一定程度上左右着酯类物质相对含量变化的趋势,苯甲酸甲酯的相对含量随着花期的推移呈现逐渐上升的趋势,但上升幅度逐渐减小。

萜烯类物质的相对含量经历了一个先下降后上升过程。有相关研究表明萜类物质含量的变化与乙烯合成有一定的关系。在初开期,萜类物质相对含量最高,但随着成熟的过程,乙烯合成量的增多,可能会导致萜类物质的代谢分解,转化成其他物质而导致的。萜类物质的合成是生物体内异戊二烯途径产生的,其前提可能是甲瓦龙酸,在催化酶的作用下生成焦磷酸2-异戊烯酯,再经过两条不同的途径进行合成。而实验所得数据显示,萜类物质相对含量在衰花期出现小幅上升,由此变化规律可以推测萜类物质经此途径进行合成所致。

有相关文献已经表明罗勒烯是水果和鲜花的香气成分中一种非常重要的物质<sup>[15,26-29]</sup>,在梔子花挥发性物质的检测中,罗勒烯相对含量是最高,但其对于梔子花香气成分起的作用还有待进一步研究。

#### 4 结 论

本实验通过运用 SPME-GC-MS 技术测定各种挥发性有机物并对痕量物质进行定性与定量分析,所检测出来的36种挥发性物质。从所检测出来的香气物质种类看,随着花期的延续,香气物质的总类和总量都有一个增长的过程,各种香味特征化合物不断产生。初开期最小而盛开期和衰花期在种类上比较接近,这也是符合鲜花盛开过程中香味变得浓郁这一现象。从总量来说,虽然衰花期的香气成分种类略多于盛开期,但以挥发性物质的峰面积来看,主要香气成分的相对含量达到最大值,一定程度上反映了盛开时是香气最为浓郁的时期。

通过实验可知3个不同花期的梔子花的香气成分存在一定差异包括香气的特征以及香气的浓郁程度。将不同花期的梔子花应用于梔子花茶的生产过程中,能够赋予茶叶不同味道以适应不同的人群的需要。

#### 参考文献:

- [1] 张银华,熊秀芳.湖北梔子花挥发油的GC/MS分析[J].武汉植物学研究,1999,17(1):61-63.
- [2] 蔡杰,赵超,程力,等.黔产梔子花挥发油化学成分SPME-GC/MS分析[J].贵州科学,2008,26(3):46-51.
- [3] 江国成.梔子花培育及病虫害防治措施[J].安徽农学通报,2005,11(5):68.
- [4] 《中华本草》编委会.梔子花的综合开发与利用[J].上海:上海科学技术出版社,1999.
- [5] 张雯雯,郑华,张弘,等.缅甸梔子花挥发性成分的全自动热脱附-气相色谱-质谱分析[J].食品科学,2010,31(18):236-238.
- [6] 黄美燕,周光雄,金钱星,等.鸡蛋花挥发油化学成分的研究[J].安徽中医学院学报,2005,24(4):50-51.
- [7] 广东省食品药品监督管理局.广东省中药材标准:第一册[M].广州:广东科技出版社,2004.
- [8] 赵喜兰,常陆林,任丽平.梔子花挥发油的GC/MS的指纹图谱[J].安徽农业科学,2009,37(8):3355-3356.
- [9] 佟琴琴,姚雷.迷迭香和柠檬草的精油以及活体香气的抗抑郁作用的研究[J].上海交通大学学报:农业科学版,2009,27(1):82-85.
- [10] 项觉修.茉莉花茶香有镇静作用[J].花卉,2004(3):43.
- [11] 胡文,何静,樊永明,等.植物性天然香料及其提取技术[J].精细与专用化学品,2004,12(6):6-9.
- [12] 刘继鑫,王克霞,李朝品.水蒸气蒸馏法提取中药挥发油存在的问题及解决方法[J].时珍国医国药,2008,19(1):97-98.
- [13] 王道武,张龙,李亚丰,等.微波辅助提取GC/MS分析莪术挥发油成分[J].分析化学,2008,36(10):1454.
- [14] 伊丽萍,吴文珊,黄美丽,等.福建白水梔鲜花香气的GC/MS分析[J].江西农业学报,2009,21(3):142-143.
- [15] 黄巧巧,冯建跃.水仙花开放期间香气组分变化的研究[J].分析测试学报,2004,23(5):110-113.
- [16] 郭振德,刘莉玫.超临界CO<sub>2</sub>提取梔子花头香精油组成研究[J].天然产物研究与开发,1991,3(3):74-78.
- [17] 王胜碧,赵荣飞,程劲松,等.白车轴草不同花期挥发性成分研究[J].安徽农业科学,2010,38(1):126-130.
- [18] CHOI H S, MIN K C. Headspace-SPNW analysis of *Citrus* hybrid, Hallabong[J]. Food Sci Biotechnol, 2004, 13(2): 126-129.
- [19] ELMACI Y, ALTUG T. Flavor characterization of three mandarin cultivars (Satsuma, Bodrum, Clemantine) by using GC/MS and flavor profile analysis techniques[J]. J Food Qual, 2005, 28(2): 163-170.
- [20] PEREZ-CACHO P R, GALAN-SOLDEVILLA H, MAHATTANATAWEE K, et al. Sensory lexicon for fresh squeezed and processed orange juices[J]. Food Sci Technol Int, 2008, 14(5): 131-141.
- [21] PEREZ-LOPEZ A J, SAURA D, LORENTE J, et al. Limonene, linalool, alpha-terpineol, and terpinen-4-ol as quality control parameters in mandarin juice processing[J]. Eur Food Res Technol, 2006, 222(3/4): 281-285.
- [22] YOOZ W, KIM N S, LEE D S. Comparative analyses of the flavors from Hallabong (*Citrus sphaerocarpa*) with lemon, orange and grapefruit by SPTE and HS-SPME combined with GC-MS[J]. Bull Korean Chem Soc, 2004, 25(2): 271-279.
- [23] 单晓丹.气质联用技术在挥发性有机物分析中的初步应用[J].现代农业,2009(9):108-112.
- [24] 吴勇.萜烯类化合物与茶叶香气[J].化学工程与装备,2009(11):123-125.
- [25] 乜兰春,孙建设,黄瑞虹.果实香气形成及其影响因素[J].植物学通报,2004,21(5):631-637.
- [26] 李庆,蒲彪,刘远鹏.柑橘果实芳香物质研究进展[J].食品工业科技,2007,28(3):229-232.
- [27] 沈致隆,吴爱萍.柑桔香精油中萜烯化合物的超临界CO<sub>2</sub>萃取[J].食品工业科技,1997(3):4-7.
- [28] 王少敏,薛培生,魏树伟,等.黄金梨贮藏过程中香气成分的变化[J].中国农学通报,2009,25(24):282-287.
- [29] 徐怀德,孟祥敏,李银萍,等.木瓜果实贮藏期间香气成分的变化研究[J].西北植物学报,2007,27(3):537-542.