

## 云南主栽食用玫瑰花香成分及关键花香基因表达分析

王珍珍<sup>1,2</sup>, 王其刚<sup>2</sup>, 唐开学<sup>2</sup>, 张颢<sup>2</sup>, 杨锦红<sup>2</sup>, 邱显钦<sup>2</sup>, 蹇洪英<sup>2</sup>, 杜光辉<sup>1,\*</sup>, 晏慧君<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>云南大学农学院, 昆明650500

<sup>2</sup>云南省农业科学院花卉研究所, 昆明650200

**摘要:** 本文采用顶空固相微萃取气质联用技术(HS-SPME/GC-MS)对3种云南主栽食用玫瑰‘墨红’(*Rosa* ‘Crimson Glory’)、‘滇红’(*R. gallica* ‘Dianhong’)及‘金边玫瑰’(*R. ‘Jinbian’*)的盛开花瓣进行了挥发性成分测定。结果表明, 除内标癸酸乙酯外, ‘滇红’和‘墨红’相同物质共12种, 分别占挥发性物质总量的93.232%和56.864%。两者都含有大量的香茅醇、香叶醇、苯乙醇、柠檬醛和芳樟醇等成分, 而‘墨红’还含有少量的丁香酚及大根香叶烯D等。‘金边玫瑰’的芳香物质主要为苯乙醇, 其释放量较低。进一步采用RT-qPCR分析了3个关键花香酶基因磷酸水解酶基因(*RhNUDX1*)、苔黑酚氧位甲基转移酶基因(*RhOOMTI*)和苯基乙醛还原酶基因(*RhPAR*)在食用玫瑰盛开花瓣中的表达。其中, *RhNUDX1*基因在‘滇红’中表达量最高, 其次是‘墨红’, 在‘金边玫瑰’中并未表达, 这与香叶醇定量分析结果相一致。*RhPAR*基因在‘滇红’和‘墨红’中表达量基本一致, 最低的是‘金边玫瑰’。*RhOOMTI*基因表达量由高到低依次是‘墨红’>‘滇红’>‘金边玫瑰’。*RhOOMTI*基因和*RhPAR*基因的表达与GC-MS检测对应芳香物质的释放存在一定差异。

**关键词:** 食用玫瑰; 定性定量; 花香成分; 基因表达

食用玫瑰是以花器官作为食用材料的一类蔷薇、玫瑰和月季的统称, 属蔷薇科(Rosaceae)蔷薇属(*Rosa*)落叶或常绿灌木(张佐双和朱秀珍2006)。据研究, 食用玫瑰花中富含蛋白质、脂肪、粗纤维、氨基酸及维生素, 还有丰富的矿质元素等多种人体必不可少的营养成分(刘家富等2006), 具有排毒养颜、行气活血等功效, 是良好的保健品(赵晓峰和吴荣书2004)。其产品开发主要有玫瑰酱、玫瑰糕点、玫瑰花茶、玫瑰精油和玫瑰香水等。我国食用玫瑰种植具有悠久的历史, 山东平阴、甘肃苦水、新疆和田、贵州安顺、云南八街等地均种植不同品种的食用玫瑰。其中, 云南食用玫瑰的种植面积近1万亩, 品种主要包括‘墨红’、‘滇红’和‘金边玫瑰’。目前, 对这三种食用玫瑰的花香成分未见报道。

‘墨红’又名‘朱墨双辉’、‘深红光荣’、‘香紫’, 植株为直立宽灌木; 花黑红色, 花型大, 丝绒质感; 浓玫瑰香; 花瓣可提取精油、制酱、做鲜花饼等(黄树增等2018)。*‘滇红’*又名‘八街玫瑰’, 是法国蔷薇的变种, 植株为半直立窄灌木; 花鲜红色, 花型大; 香气浓郁; 花瓣可制酱、熏茶、做云南鲜花饼等(谢形影2011)。*‘金边玫瑰’*又名‘刺香玫瑰’, 云南特有品种, 植株为半直立宽灌木; 花砖红色, 花

型小, 花序数朵簇生; 鲜花微香, 干花甜香浓郁; 花瓣常用于炮制花茶, 是花茶中不可缺少的品种之一(叶玉等2017; 黄树增等2018)。

随着分子生物技术在植物花香方面的深入, 蔷薇属花香合成代谢网络逐渐清晰, 植物挥发性物质主要分为3条主要的合成途径: 萜烯类、苯丙酸类化合物/苯环型化合物合成途径及脂肪酸衍生物合成途径(Xie等2010)。萜类化合物在植物细胞中分2条途径合成, 一条是位于细胞质中的甲羟戊酸(mevalonic acid, MVA)途径, 一条是位于质体中的甲基赤藓糖醇磷酸(methylerythritol, MEP)途径。芳香族化合物的合成通过桂皮酸(cinnamic acid)途径完成。以C18脂肪酸为供体的脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)途径是脂肪酸衍生物形成的主要途径。

萜烯类单萜香叶醇具有温和的香甜气息, 作为增香剂广泛应用于日用化学品、卷烟和食品加工等领域, 以及抗菌、平喘等医学治疗。磷酸水

收稿 2018-10-22 修定 2019-06-12

资助 国家自然科学基金(31660579和31872144)和云南省科技计划项目(2016BC008)。

\* 共同通讯作者: 杜光辉(dgh2012@ynu.edu.cn)、晏慧君(hjyan8203@126.com)。

解酶基因(*Nudix hydrolase 1*, *RhNUDX1*)利用MVA和MEP途径生成的香叶基二磷酸酯,切下一个磷酸基团生成香叶基单磷酸酶,最后经磷酸酶去磷酸化合成香叶醇(Magnard等2015)。该基因能够促进月季花瓣中香叶醇的合成,提高月季的芳香程度。

苯乙醇作为重要的花香成分,具有典型的玫瑰香气,在植物体中由L-苯丙氨酸通过芳香氨基酸脱羧酶或芳香氨基酸转氨酶作用合成苯乙醛,再经苯乙醛还原酶基因(*phenyl acetaldehyde reductase*, *RhPAR*)还原转化成苯乙醇(Chen等2011)。

3,5-二甲氧基甲苯(3,5-dimethoxy toluene, DMT)与1,3,5-三甲氧基苯(1,3,5-trimethoxybenzene, TMB)是月季中的茶香物质,在合成TMB的分支途径中,间苯三酚氧-甲基转移酶催化间苯三酚生成3,5-二甲苯甲醚(3,5-dimethylanisole, DHA) (Wu等2004)。DHA随后被苔黑酚氧-甲基转移酶基因(*Orcinol O-methyltransferase*, *OOMTI*)完成最后两步甲基化反应生成TMB (Noa等2002; Scalliet等2002)。此外,*OOMTI*催化以苔黑酚为起始物的甲基化,反应生成DMT。

本试验利用顶空固相微萃取气相色谱-质谱联用技术对比分析了3种食用玫瑰‘滇红’、‘墨红’和‘金边玫瑰’的挥发性物质,并进行了计算机谱库检索与标准图谱对照定性以及内标定量分析。进一步利用实时定量PCR检测主要花香成分的合成酶基因*RhNUDX1*、*RhOOMTI*和*RhPAR*在3种食用玫瑰中的表达差异。总结了云南主栽食用玫瑰的花香成分和关键酶基因的表达差异。本研究不仅有助于建立对食用玫瑰挥发性物质的认识,同时为进一步利用食用玫瑰创制新品种及发掘花香基因提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 植物材料

云南主栽食用玫瑰品种‘墨红’(*Rosa L.* ‘Crimson Glory’)、‘滇红’(*R. gallica L.* ‘Dianhong’)及‘金边玫瑰’(*R. L.* ‘Jinbian’),选择盛开花朵,从中分开,一半用于GC-MS检测,一半用于RNA的提取。样

品取自云南农业科学院花卉研究所基地,取样时间为2018年6月5日,晴天上午10:00~11:00。每个品种进行3次生物学重复。

#### 1.1.2 主要试剂

GC-MS检测试剂:癸酸乙酯、正己烷。

基因表达采用RNA试剂盒(天根公司)和反转录试剂盒(型号RR047A,购于TaKaRa公司)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 顶空固相微萃取

分别称取食用玫瑰花瓣1 g,放入收集瓶中,将花瓣压至底部,防止萃取过程损坏萃取头。加入0.01  $\mu\text{L}$ 癸酸乙酯( $0.865 \mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ ; Sigma Co. Ltd., USA)作为内标,迅速密封收集瓶。

对萃取头(headspace solid phase micro extraction, SPME; 75  $\mu\text{m}$  PDMS纤维, Supelco, USA)进行老化处理,气相色谱进样口250 $^{\circ}\text{C}$ 条件下老化60 min。将收集瓶放入40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中,插入SPME萃取头,萃取40 min;萃取完成后,取出SPME萃取头,插入GC-MS联用仪进样孔,解吸2 min,用Trace DSQ-GC-MS气相-质谱联用仪(Thermo Corporation, USA)进行GC-MS检测。

#### 1.2.2 GC-MS检测

气相色谱条件:氢火焰离子检测器FID,色谱柱为DB-5MS熔融石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 mm),以99.99%的氦气作为运载气体,流速为1.00 mL $\cdot\text{min}^{-1}$ ;柱前压100 kPa,分流比3:1;程序升温:进针孔为250 $^{\circ}\text{C}$ ;起始温度为50 $^{\circ}\text{C}$ ,保持1 min,然后以5 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至200 $^{\circ}\text{C}$ ,再以8 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至230 $^{\circ}\text{C}$ ,最后在230 $^{\circ}\text{C}$ 保持8 min。

质谱条件:采用E1离子源,电子能量70 eV,质子扫描范围为35~500 amu,四级杆温度150 $^{\circ}\text{C}$ ,离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$ ,传输线温度250 $^{\circ}\text{C}$ ,柱压100 kPa。

#### 1.2.3 花香成分定性与定量分析

定性方法:未知化合物质谱图经计算机检索同时与NIST library质谱库相匹配,并结合人工图谱解析,得出挥发性化合物组分类。

定量方法:癸酸乙酯为内标,根据挥发物与内标的峰面积对比计算得出。计算公式如下:组分含量( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )=[组分峰面积/内标峰面积 $\times$ 内标的密度( $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ ) $\times$ 内标的体积( $\mu\text{L}$ )]/样品重量(g)/萃取时间(h)。

### 1.2.4 *RhNUDX1*、*RhOOMT1*和*RhPAR*基因的表达差异

样品液氮研磨后,采用植物总RNA提取试剂盒提取花瓣RNA, RNA反转录产物进行两倍稀释,以反转录得到的cDNA单链为模板进行Real-time qPCR扩增。以甘油醛-3-磷酸脱氢酶基因(*GAPDH*)为内参,和目的基因*RhNUDX1*、*RhOOMT1*、*RhPAR*各设3个生物重复。反应结束后获得融解曲线,检查是否有非特异扩增。内参基因*GAPDH*及目的基因的引物序列如表1,引物由上海捷瑞生物技术有限公司合成。

## 2 实验结果

### 2.1 GC-MS总离子流图

3种食用玫瑰进行GC-MS分析得到总离子流图。由图1可见,3种食用玫瑰的GC-MS分析过程在40 min全部完成。‘墨红’和‘滇红’的样品挥发性主成分相似,而‘金边玫瑰’的挥发性主成分与上述两者相差较大。‘墨红’的主成分为苯乙醇、香茅醇、香叶醇和大根香叶烯D,‘滇红’的主成分为乙酸叶醇酯、苯乙醇、香茅醇和香叶醇,‘金边玫瑰’的主成分为苯乙醇、乙酸苯乙酯和内标癸酸乙酯。

### 2.2 花瓣样品挥发性物质分析

如表2所示,3种食用玫瑰花瓣样品共鉴定出38种有效挥发性物质。除内标癸酸乙酯外,‘滇红’、‘金边玫瑰’和‘墨红’的共同花香成分包括苯甲醇、苯乙醇、反式丁香烯和乙酸己酯4种,共有物质分别占到3种玫瑰花瓣样品挥发物质总量的20.883%、43.062%、14.557%。此外,‘金边玫瑰’和‘墨红’还

共同含有1-己醇和TMB。而‘滇红’与‘墨红’的共同物质共13种,占‘滇红’和‘墨红’挥发性物质总量的93.232%、56.864%,其中相对含量较高为香茅醇和香叶醇。‘墨红’和‘滇红’的样品挥发性物质具有较高的一致性,而‘金边玫瑰’与两者相差较大。

3种食用玫瑰中,‘滇红’的特有物质相对含量由高到低分别为乙酸橙花酯、二氢- $\beta$ -紫罗兰醇、乙酸苯甲酯、榄香醇、月桂烯、二氢- $\beta$ -紫罗兰酮,最高的为乙酸橙花酯(2.138%),最低为二氢- $\beta$ -紫罗兰酮(0.115%)。‘金边玫瑰’的特有物质相对含量由高到低为乙酸苯乙酯、乙醇、乙醇癸酸甲酯、己酮、月桂酸乙酯、己酸-2-苯乙酯,最高的为乙酸苯乙酯(4.231%),最低为己酸-2-苯乙酯(0.108%)。‘墨红’的特有物质相对含量由高到低分别为大根香叶烯D、丁香酚、杜松烯、甲基丁香酚、萜澄茄油烯、衣兰油烯、DMT、十五烷、异香叶醇,最高的为大根香叶烯D (10.266%),最低为异香叶醇(0.368%)。由此可见,‘墨红’特有的物质最多,且占挥发性物质总量比例最高。

如表2和3所示,3种食用玫瑰的挥发性物质类别存在差异。‘滇红’的主要物质为萜烯类,占到总挥发物质的一半以上,以香茅醇、香叶醇为主;醇类3种,共占总挥发物质20.400%,主要为苯乙醇。烃类、酯类各4种。‘金边玫瑰’以醇类、酯类为主要物质,各约占总挥发物质的一半,其中苯乙醇、癸酸乙酯相对含量最高;还有2种酮类,烃类、芳香烃类各1种,无萜烯类、酚类化合物。‘墨红’中主要物质为萜烯类,达到总挥发物质的51.628%,主要为香茅醇、香叶醇、大根香叶烯D;烃类7种,醇类、

表1 引物序列

Table 1 Primer sequences

引物名称	序列(5'→3')
<i>GAPDH-F</i>	ATCCATTCATCACCACCGACTACA
<i>GAPDH-R</i>	GCATCCTTACTTGGGGCAGAGA
<i>RhNUDX1-F</i>	TGTTGAGAGGCCAAAACGTG
<i>RhNUDX1-R</i>	GTA CTGCGATGGTTTGGCTT
<i>RhPAR-F</i>	ACAGACCCAAAGGCAGAAC
<i>RhPAR-R</i>	TCATCAACCACTACATCAGGAG
<i>RhOOMT1-F</i>	ATGGAAAAGGCTAAACAGCTTTAGACACCTTAAC
<i>RhOOMT1-R</i>	TCAAGGATAAACCTCAATGAGAGACCTTAAACC

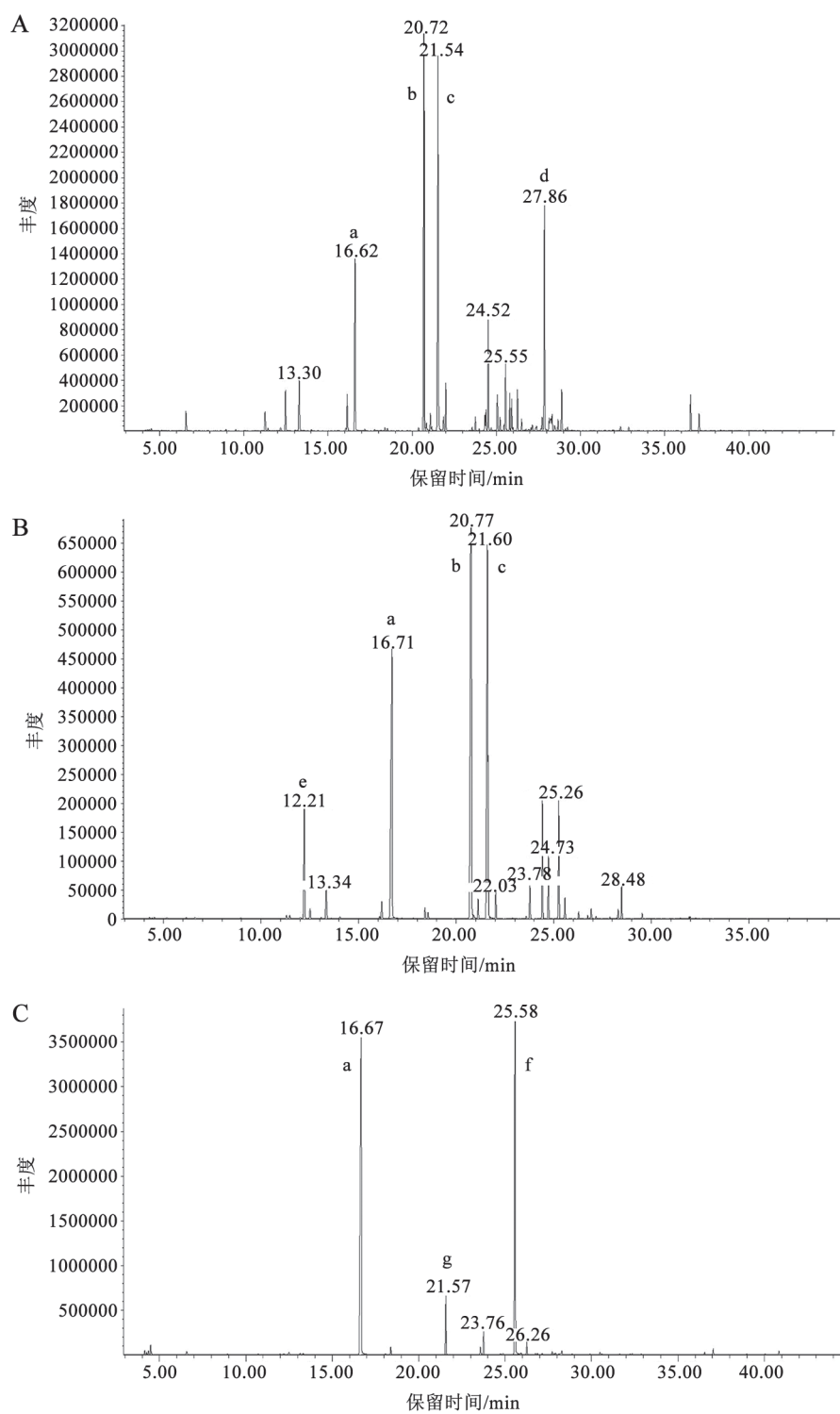


图1 三种食用玫瑰花瓣的GC-MS离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of volatile compounds of three kinds of edible roses

A: '墨红'; B: '滇红'; C: '金边玫瑰'。a: 苯乙醇; b: 香茅醇; c: 香叶醇; d: 大根香叶烯D; e: 乙酸叶醇酯; f: 癸酸乙酯; g: 乙酸苯乙酯。



表2 三种食用玫瑰挥发性物质的分析

Table 2 Analysis of volatile compounds in three kinds of edible roses

序号	化合物类别	保留时间/min	物质名称	相对含量/%		
				‘滇红’	‘金边玫瑰’	‘墨红’
1	酮类	4.152	3-己酮	—	0.302	—
2		4.259	2-己酮	—	0.172	—
3	醇类	4.376	3-己醇	—	0.246	—
4		4.531	2-己醇	—	0.697	—
5		6.577	1-己醇	—	0.298	0.838
6		13.308	苯甲醇	1.451	0.112	2.565
7		16.717	苯乙醇	18.746	41.786	8.362
8		29.533	榄香醇	0.203	—	—
9	萜烯类	16.183	芳樟醇	0.819	—	1.637
10		20.750	香茅醇	33.642	—	17.157
11		20.857	异香叶醇	—	—	0.368
12		21.092	柠檬醛	1.677	—	2.583
13		21.605	香叶醇	21.839	—	19.099
14		24.730	乙酸橙花酯	2.138	—	—
15		25.259	乙酸香叶酯	4.214	—	0.518
16		26.744	二氢- $\beta$ -紫罗兰酮	0.115	—	—
17		26.915	二氢- $\beta$ -紫罗兰醇	0.370	—	—
18		27.861	大根香叶烯D	—	—	10.266
19	烃类	11.471	月桂烯	0.151	—	—
20		24.356	萘澄茄油烯	—	—	0.846
21		24.410	二甲基-2,6辛二烯	4.121	—	0.826
22		26.258	反式丁香烯	0.250	0.954	1.783
23		28.219	十五烷	—	—	0.466
24		28.315	衣兰油烯	—	—	0.745
25		28.480	法呢烯	1.083	—	0.311
26		28.673	杜松烯	—	—	1.664
27	酯类	12.192	乙酸叶醇酯	4.954	—	0.176
28		12.491	乙酸己酯	0.436	0.210	1.847
29		18.538	乙酸苯甲酯	0.237	—	—
30		21.642	乙酸苯乙酯	—	4.231	—
31		23.576	癸酸甲酯	—	0.508	—
32		25.553	癸酸乙酯	0.757	45.449	2.750
33		26.760	己酸-2-苯乙酯	—	0.108	—
34		30.500	月桂酸乙酯	—	0.198	—
35	芳香烃类	21.877	3,5-二甲氧基甲苯(DMT)	—	—	0.605
36		25.922	1,3,5-三甲氧基苯(TMB)	—	0.301	1.208
37	酚类	24.522	丁香酚	—	—	4.373
38		25.831	甲基丁香酚	—	—	1.371

酯类各3种, 芳香烃类、酚类各2种。‘滇红’和‘墨红’都没有酮类化合物, 且‘滇红’中无芳香烃类和酚类物质。

### 2.3 主要物质内标定量分析

在3种食用玫瑰中, 分别选取百分比含量最高

的15种挥发性物质, 进行内标定量分析。

如表4所示, 在前15种挥发性物质中, ‘滇红’的挥发物质总释放量最高, 达到 $1\ 644.598\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。其次是‘墨红’, 总释放量达到 $350.67\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 约为‘滇红’总释放量的五分之一。‘金边玫瑰’的总释放

表3 三种食用玫瑰挥发性成分的相对含量

Table 3 The relative contents of volatile components in three kinds of edible roses

品种	挥发性成分相对含量/%							总计
	酮类	醇类	萜烯类	炔类	酯类	芳香烃类	酚类	
‘滇红’	—	20.400	64.814	5.605	6.384	—	—	97.203
‘金边玫瑰’	0.474	43.139	—	0.954	50.704	0.301	—	95.271
‘墨红’	—	11.765	51.628	6.641	4.773	1.813	5.744	82.364

表4 三种食用玫瑰15种主要物质内标定量分析

Table 4 Quantitative analysis of 15 main substances in three kinds of edible roses by internal standard method

化合物类别	组分含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$			化合物类别	组分含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$		
	‘滇红’	‘金边玫瑰’	‘墨红’		‘滇红’	‘金边玫瑰’	‘墨红’
香茅醇	576.474	—	80.936	二氢- $\beta$ -紫罗兰醇	6.343	—	—
香叶醇	374.214	—	90.095	反式丁香烯	4.277	0.272	8.412
大根香叶烯	—	—	45.872	杜松烯	—	—	7.850
苯乙醇	321.215	11.929	39.449	甲基丁香酚	—	—	6.469
丁香酚	—	—	20.628	1,3,5-三甲氧基苯(TMB)	—	0.086	5.700
乙酸叶醇酯	84.891	—	—	1-己醇	—	0.085	3.954
乙酸香叶酯	72.205	—	—	乙酸苯乙酯	—	1.208	—
二甲基-2,6-辛二烯	70.607	—	3.895	2-己醇	—	0.199	—
乙酸橙花酯	36.628	—	—	癸酸甲酯	—	0.145	—
柠檬醛	28.746	—	8.874	3-己酮	—	0.086	—
苯甲醇	24.871	0.032	12.101	3-己醇	—	0.070	—
法呢烯	18.563	—	—	月桂酸乙酯	—	0.056	—
芳樟醇	14.032	—	7.721	2-己酮	—	0.049	—
乙酸己酯	7.464	0.060	8.714	乙酸苯乙酯	4.068	—	—

量最低, 总量为 $14.277 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 只有‘滇红’总释放量的百分之一。

‘滇红’中香叶醇的释放量为 $374.214 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , ‘金边玫瑰’中未检测到香叶醇的释放, ‘墨红’中香叶醇的释放量为 $90.095 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。苯乙醇在3种食用玫瑰中均有释放, ‘滇红’中的释放量为 $321.215 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , ‘金边玫瑰’中的释放量为 $11.929 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , ‘墨红’中的释放量 $39.449 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。苯乙醇在‘滇红’中的释放量明显高于‘墨红’。茶香物质TMB在‘滇红’中无释放, 在‘金边玫瑰’中的释放量为 $0.086 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , ‘墨红’中的释放量为 $5.700 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在‘金边玫瑰’和‘滇红’中未检测到茶香物质DMT的释放, 只在‘墨红’检测到, 相对含量约为TMB的一半。

#### 2.4 花香关键酶基因的表达差异分析

图2-A中, *RhNUDX1*基因在‘滇红’中的表达量显著高于‘墨红’, 而在‘金边玫瑰’中未表达。这与

GC-MS检测中香叶醇的释放量规律相一致。图2-B显示, *RhPAR*基因在‘金边玫瑰’中表达最低, 在‘滇红’和‘墨红’中的表达量基本一致。GC-MS检测中苯乙醇在‘金边玫瑰’中的释放量同样最低, 但在‘滇红’中的释放量要明显高于‘墨红’。图2-C中 *RhOOMT1*基因表达量由高到低依次为‘墨红’>‘滇红’>‘金边玫瑰’。但GC-MS检测中‘滇红’并没有检测到茶香物质TMB及DMT。

### 3 讨论

本研究通过顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱法分析了云南主栽食用玫瑰‘墨红’、‘滇红’和‘金边玫瑰’的花香成分, 从中筛选得到有效物质各24种、19种和15种, 分别占总挥发物质的82.364%、97.203%和95.271%。结果表明, ‘滇红’与‘墨红’在花香成分上具有相似性, 主要成分均为萜烯类化

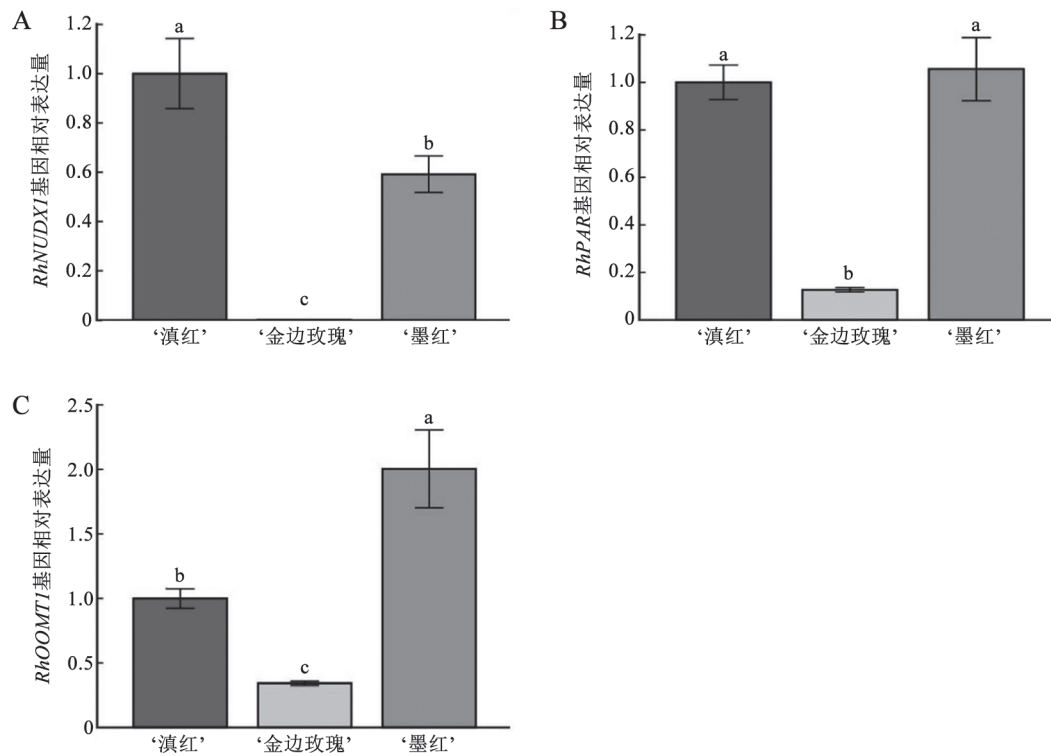


图2 三种食用玫瑰中关键花香酶基因的表达差异

Fig.2 Differential expression of key floral aromatase genes in three kinds of edible roses

不同小写字母表示不同品种之间差异显著( $P < 0.05$ )。

合物,都含有大量温和香甜气息的香叶醇和香茅醇以及愉悦果香和蜂蜜香味的苯乙醇(李晋华2017),因而鲜花可能具有香甜的气息。‘滇红’中具有较高的乙酸橙花酯、乙酸香叶酯等酯类,且整体芳香释放量明显高于‘墨红’,其香气可能更浓郁。‘金边玫瑰’的芳香物质较少,人闻也并无香气。但‘金边玫瑰’干花人闻有明显香气,课题组测到‘金边玫瑰’干花中出现香叶醇成分。‘金边玫瑰’由鲜变干过程中,香气有明显变化,而花香成分也发生改变。

本文中, *RhNUDX1* 基因的表达差异进一步验证了3种食用玫瑰中香叶醇的释放量差异。Karami等(2015)结合 *RhPAR* 基因的表达差异,对强弱两种香型玫瑰在花发育过程中苯乙醇的释放量进行了研究。结果表明, *RhPAR* 基因的表达量随花发育过程不断增加,达到某一高峰后开始下降,且弱香型基因表达高峰出现的阶段要晚于强香型。推测苯

乙醇在不同强弱香型花发育中的某一阶段,释放量虽存在较大差异,但基因的表达水平却相接近。‘滇红’中GC-MS检测并未出现DMT与TMB,而基因 *RhOOMT1* 却进行表达,且表达量高于‘金边玫瑰’。推测其原因可能是‘滇红’中挥发物质的整体释放量较高,化合物的峰值普遍较大,如果DMT与TMB释放量极低,在GC-MS检索中因峰值太小而被自动去除。而‘金边玫瑰’整体释放量极低,DMT与TMB会因峰值相对较大而被保留。

花香成分对食用玫瑰的香气品质起到了至关重要的作用,本研究发现‘滇红’与‘墨红’的主要香气成分有苯乙醇、芳樟醇、香茅醇和香叶醇。蔷薇属中一些主要种质资源的主要花香成分同样是单萜醇和苯乙醇,食用玫瑰区别于其他蔷薇属其它种,可以食用的原因除主要赋香物质之外,其特有的物质是否发挥作用,仍需进一步探究,这将有利于挖掘可食用玫瑰品种。

## 参考文献(References)

- Chen XM, Kobayashi H, Sakai M, et al (2011). Functional characterization of rose phenylacetaldehyde reductase (PAR), an enzyme involved in the biosynthesis of the scent compound 2-phenylethanol. *J Plant Physiol*, 168 (2): 88–95
- Huang SZ, Chen Q, Zhao DL, et al (2018). Processed rose varieties grown in Dali and their standardized planting techniques. *Mod Hortic*, (9): 41–42 (in Chinese) [黄树增, 陈青, 赵多雷等(2018). 大理州种植的加工型玫瑰品种及规范种植技术. *现代园艺*, (9): 41–42]
- Karami A, Niazi A, Kavooosi G, et al (2015). Temporal characterization of 2-phenylethanol in strongly and weakly scented genotypes of damask rose. *Physiol Mol Biol Plant*, 21 (1): 43–49
- Li JH (2017). Cloning and analysis of Geraniol/Citronello acetyl transferase *RcAAT* in *Rosa chinensis* 'Pallida'. (dissertation). Kunming: Yunnan Agricultural University (in Chinese with English abstract) [李晋华(2017). 月月粉乙酰基转移酶基因*RcAAT*的克隆及功能分析(学位论文). 昆明: 云南农业大学]
- Liu JF, Wang LX, Li QW, et al (2006). Study on the nutritional components in Yunnan edible roses. *Southwest China J Agric Sci*, 19 (s1): 129–132 (in Chinese with English abstract) [刘家富, 汪禄祥, 黎其万等(2006). 云南食用玫瑰的营养成分研究. *西南农业学报*, 19 (s1): 129–132]
- Magnard JL, Roccia A, Caissard JC, et al (2016). Biosynthesis of monoterpene scent compounds in roses. *Science*, 349 (6243): 81–83
- Noa L, Wang JH, Moshe S, et al (2002). *O*-methyltransferases involved in the biosynthesis of volatile phenolic derivatives in rose petals. *Plant Physiol*, 129 (4): 1899–1907
- Scalliet G, Journot N, Jullien F (2002). Biosynthesis of the major scent components 3,5-dimethoxytoluene and 1,3,5-trimethoxybenzene by novel rose *O*-methyltransferases. *FEBS Lett*, 523 (1): 113–118
- Wu SQ, Naoharu W, Satoru M (2004). The key role of phloroglucinol *O*-methyltransferase in the biosynthesis of *Rosa chinensis* volatile 1,3,5-trimethoxybenzene. *Plant Physiol*, 135 (1): 95–102
- Xie XY (2011). Yunnan taste (two) Floral overflowing. *Food Life*, (8): 58–58 (in Chinese) [谢形影(2011). 云南味道(二) 花香满溢. *食品与生活*, (8): 58–58]
- Xie Z, Kapteyn J, Gang DR (2010). A systems biology investigation of the MEP/terpenoid and shikimate/phenylpropanoid pathways points to multiple levels of metabolic control in sweet basil glandular trichomes. *Plant J*, 54 (3): 349–361
- Ye Y, Ren JQ, Wang Y, et al (2017). Effect of different fertilizer application amount on yield of *R. hybrid* cv. in Kunming. *Chin Hortic Abstr*, 33 (5): 23–24, 201 (in Chinese) [叶玉, 任建青, 王艺等(2017). 昆明地区金边玫瑰不同追肥量对产量的影响研究. *中国园艺文摘*, 33 (5): 23–24, 201]
- Zhang ZS, Zhu XZ (2006). *Rose of China*. Beijing: China Forestry Publishing House (in Chinese) [张佐双, 朱秀珍(2006). *中国月季*. 北京: 中国林业出版社]
- Zhao XF, Wu RS (2004). Comprehensive utility of roses and its exploitative prospects. *Stor Prod*, (3): 30–31 (in Chinese) [赵晓峰, 吴荣书(2004). 玫瑰花综合利用与其开发前景. *保鲜与加工*, (3): 30–31]



## Analysis of volatile components and scent-related gene expressions of edible roses in Yunnan

WANG Zhen-Zhen<sup>1,2</sup>, WANG Qi-Gang<sup>2</sup>, TANG Kai-Xue<sup>2</sup>, ZHANG Hao<sup>2</sup>, YANG Jin-Hong<sup>2</sup>, QIU Xian-Qin<sup>2</sup>, JIAN Hong-Ying<sup>2</sup>, DU Guang-Hui<sup>1,\*</sup>, YAN Hui-Jun<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>School of Agriculture, Yunnan University, Kunming 650500, China

<sup>2</sup>Flower Research Institute of Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650200, China

**Abstract:** The volatile components of *Rosa* ‘Crimson Glory’, *R. gallica* ‘Dianhong’ and *R.* ‘Jinbian’ were analyzed by Headspace Solid-Phase Microextraction and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that there were 13 common components in rose ‘Dianhong’ and ‘Crimson Glory’, they account for 93.323% and 56.864% of the total components, respectively. The common dominant volatile compounds of rose ‘Dianhong’ and ‘Crimson Glory’ were citronellol, geraniol, phenylethanol, citral, linalool and so on. However, a small amount of eugenol and germacrene-D were specific in rose ‘Crimson Glory’. Phenethyl alcohol was the most dominant compounds in rose ‘Jinbian’, but the total emission amount of rose ‘Jinbian’ was lower than those of other two roses. Furthermore, the expression difference of three key scent-related genes *RhNUDX1*, *RhOOMT1* and *RhPAR* were analyzed by RT-qPCR. *RhNUDX1* had the highest expression level in ‘Dianhong’ and ‘Crimson Glory’, and there was no detected *RhNUDX1* expression in ‘Jinbian’. These findings were consistent with the results of quantitative analysis of geraniol. The expression levels of *RhOOMT1* were higher in ‘Crimson Glory’ and *gallica* ‘Dianhong’ than that in ‘Jinbian’. The expression level of *RhPAR* in ‘Dianhong’ was basically the same with ‘Crimson Glory’, and the lowest expression level in ‘Jinbian’. The gene expression of *RhOOMT1* and *RhPAR* were different from that of corresponding aromatic substances detected by GC-MS.

**Key words:** edible roses; SPME/GC-MS; volatile components; gene expression

Received 2018-10-22 Accepted 2019-06-12

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31660579 and 31872144) and Yunnan Provincial Science and Technology Project (2016BC008).

\*Co-corresponding authors: Du GH (dgh2012@ynu.edu.cn), Yan HJ (hjyan8203@126.com).