

# 绿色樱桃番茄果实挥发性风味物质分析

刘子记, 刘维侠, 牛 玉, 杨 衍

(中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所 海口 571101)

**摘要:** 为了研究不同绿色樱桃番茄品种果实挥发性风味物质种类及相对含量差异, 利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术测定了翡翠和绿星 2 个绿色樱桃番茄品种果实的挥发性物质成分和相对含量。结果表明, 翡翠和绿星分别含有 58 种和 62 种挥发性物质。翡翠和绿星具有 49 种相同成分。其中, 醇类 13 种, 酮类 2 种, 酯类 6 种, 醛类 15 种, 烃类 7 种, 其他 6 种; 共包括 14 种主要风味成分, 分别为 3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丁醇、1-戊醇、苯乙醇、1-戊烯-3-酮、 $\beta$ -紫罗兰酮、E-2-戊烯醛、E-2-己烯醛、E-2-庚烯醛、苯甲醛、正壬醛、Z-4-癸烯醛、1-硝基-3-甲基丁烷、2-异丁基噻唑, 这些共有的挥发性物质产生的香气, 构成了绿色樱桃番茄主体风味。另外, 翡翠和绿星挥发性风味物质种类和相对含量存在明显差异。翡翠含有 9 种特有成分, 其中 E,E-2,4-癸二烯醛为主要风味物质。绿星含有 13 种特有成分, 其中乙酸丁酯和苯乙醛为主要风味物质。该研究结果可为番茄果实风味特征解析提供参考。

**关键词:** 绿色樱桃番茄; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用; 挥发性物质

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)01-037-05

## Analysis of volatile flavor compounds in green cherry tomato fruit

LIU Ziji, LIU Weixia, NIU Yu, YANG Yan

(Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan, China)

**Abstract:** In order to study the differences of volatile flavor compounds and relative contents in different green cherry tomato varieties, the volatile compounds and relative contents of two green cherry tomato cultivars Feicui and Lüxing were determined by headspace solid phase micro-extraction with gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that there were 58 and 62 volatile compounds in Feicui and Lüxing, respectively. There were 49 common volatile compounds in the two cultivars, including 13 alcohols, 2 ketones, 6 esters, 15 aldehydes, 7 alkanes and 6 others, 14 of which were main flavor compounds, namely 3-methyl-1-butanol, 2-methyl-1-butanol, 1-pentanol, benzeneethanol, 1-penten-3-one,  $\beta$ -ionone, E-2-pentenal, E-2-hexenal, E-2-heptenal, benzaldehyde, nonanal, Z-4-decenal, 1-nitro-3-methylbutane, and 2-isobutylthiazole, special aroma produced by these common volatile compounds constituted the main flavor of green cherry tomato. In addition, there were differences in the categories and relative contents of volatile flavor compounds between Feicui and Lüxing. Feicui contained 9 unique volatile compounds, of which E,E-2,4-decadienal was the main flavor compound. Lüxing contained 13 unique volatile compounds, of which butyl acetate and phenylethanal were the main flavor compounds. These results could provide scientific basis for the flavor characteristic study of tomato fruit.

**Key words:** Green cherry tomato; Headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME); Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); Volatile compounds

绿色樱桃番茄, 成熟果肉呈浅绿色, 含有丰富的蛋白质、糖、锌元素和锰元素等, 具有独特的风味品质<sup>[1]</sup>。随着生活水平的提高, 市售番茄的风味和口感已不能满足消费者的需求<sup>[2-3]</sup>, 番茄果实中风味物质的种类和含量引起了研究人员和育种家的关注<sup>[4]</sup>。挥发性芳香物质是番茄风味的主要决定因子, 是由醇类、醛类、酮类、酯类以及含硫化合物等

组成的混合物<sup>[5]</sup>, 这些物质的气味强度存在显著差异, 作为一个整体构成了番茄的风味特征。

挥发性风味物质的提取方法主要包括蒸馏法、有机溶剂萃取法、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法和固相微萃取法等<sup>[6]</sup>。顶空固相微萃取技术所需样品量少, 操作简单, 结合气相色谱-质谱技术, 可有效对挥发性风味成分进行分析。目前, 该方法已成功应用于洋

收稿日期: 2020-07-17; 修回日期: 2020-09-03

基金项目: 海南省科技项目(No.ZDYF2018035); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项(1630032017027); 农业农村部财政专项(NFZX2018)

作者简介: 刘子记, 男, 副研究员, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: liuziji1982@163.com

通信作者: 杨 衍, 男, 研究员, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: catasvegetable@163.com

葱<sup>[7]</sup>、梅花<sup>[8]</sup>、卷柏<sup>[9]</sup>、柑橘<sup>[10]</sup>、梨<sup>[11]</sup>、甜瓜<sup>[12]</sup>的挥发性风味成分分析。国外关于番茄果实芳香物质的研究始于20世纪50年代,随着研究的逐步深入,越来越多的芳香物质被发现。常培培等<sup>[13]</sup>分析了紫色番茄果实挥发性风味物质。Li等<sup>[14]</sup>研究发现番茄不同果实部位的挥发性物质存在显著不同。Zhu等<sup>[15]</sup>比较了不同番茄汁风味物质的差异。刘明池等<sup>[5]</sup>总结了番茄果实主要芳香物质的种类,不同芳香物质对番茄果实风味的贡献,阐述了不同成熟时期、不同栽培条件下番茄果实芳香物质的变化情况,对番茄果实挥发性芳香物质的形成途径、关键酶及影响番茄果实芳香物质变化的外界因素进行了分析。王欢欢等<sup>[6]</sup>总结了番茄果实呈香组分的组成及其代谢途径,归纳了呈香组分在脂肪酸代谢途径、氨基酸代谢途径和类胡萝卜素代谢途径中的形成过程。截至目前,有关绿色樱桃番茄果实挥发性风味物质的研究鲜有报道。笔者在本试验中拟利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱技术对2个绿色樱桃番茄品种成熟果实中挥发性物质的种类及相对含量进行比较分析,以期绿色樱桃番茄品种的开发利用提供参考依据。

## 1 材料与方方法

### 1.1 材料

供试绿色樱桃番茄品种为绿星和翡翠,分别由北京市农林科学院蔬菜研究中心和北京博收种子有限公司提供。材料于2018年10月底定植在中国热带农业科学院五队试验基地,采取相同的栽培管理措施,2019年3月中旬,每份材料采收自植株生长状况、成熟度和大小均匀一致5株上的5枚果实进行挥发性物质测定与分析,挥发性风味物质测定在贵

州省中国科学院天然产物化学重点实验室进行。

### 1.2 方法

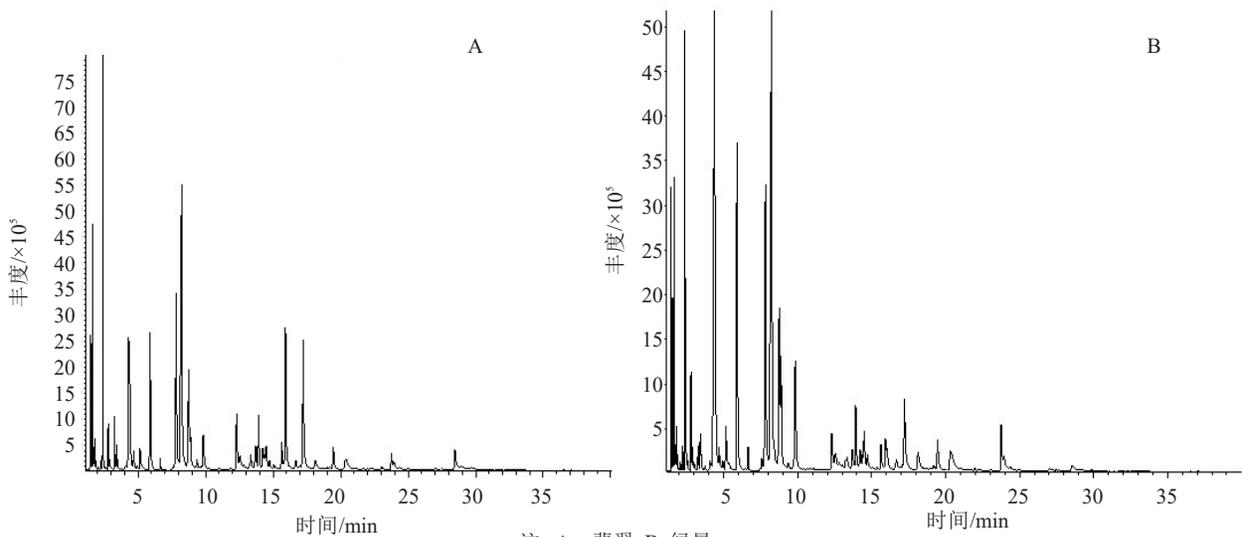
1.2.1 仪器设备 HP6890/5975C 气相-质谱联用仪购自美国安捷伦公司。手动固相微萃取装置购自美国 Supelco 公司,萃取纤维头为 2 cm-50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS StableFlex。

1.2.2 挥发性风味物质检测 取混匀样品 10 g 置于 10 mL 固相微萃取仪采样瓶中,插入装有 2 cm-50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS StableFlex 纤维头的手动进样器,在 60  $^{\circ}\text{C}$  的平板加热条件下顶空萃取 50 min 后,移出萃取头并立即插入气相色谱仪进样口(温度 250  $^{\circ}\text{C}$ )中,热解析 5 min 进样。色谱柱为 FLM FB-5MS (30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ )弹性石英毛细管柱,柱温 37  $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,以 3  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至 160  $^{\circ}\text{C}$ ,再以 6  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至 202  $^{\circ}\text{C}$ ,运行时间为 40 min,汽化室温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ,载气为高纯 He(99.999%),柱前压 47.5 KPa,载气流速为 1.0 mL $\cdot\text{min}^{-1}$ ,不分流进样;溶剂延迟时间为 1 min,离子源为 EI 源,离子源温度 230  $^{\circ}\text{C}$ ;四极杆温度 150  $^{\circ}\text{C}$ ,电子能量 70 eV,发射电流 34.6  $\mu\text{A}$ ,倍增器电压 1565 V,接口温度 280  $^{\circ}\text{C}$ ,质量范围 29~500 amu。

1.2.3 数据处理 总离子流图中的各峰经质谱计算机数据系统检索及核对 Nist 14 和 Wiley275 标准质谱图,确定挥发性化学成分,用峰面积归一化法测定各化学成分的相对质量分数。

## 2 结果与分析

翡翠和绿星共检测出挥发性物质 71 种。其中,醇类 15 种,酮类 3 种,酯类 10 种,醛类 20 种,烃类 16 种,其他 7 种(图 1,表 1)。



注: A. 翡翠; B. 绿星。

图 1 挥发性物质总离子流图

2.1 翡翠挥发性物质分析

翡翠含有 58 种挥发性物质,占色谱流出组分总含量的 98.38%。其中,醇类 13 种,相对含量为 40.73%,Z-3-己烯醇相对含量最高,其次为 3-甲基-1-丁醇。酮类 3 种,相对含量为 3.00%,1-戊烯-3-酮相对含量最高,其次为 3-辛酮。酯类 8 种,相对含量为 8.71%,乙酸乙酯相对含量最高。醛类 19 种,相对含量为 31.51%,E-2-己烯醛相对含量最高,其次为 2-辛烯醛。烃类 9 种,相对含量为 2.84%,β-水芹烯相对含量最高。其他 6 种,相对含量为 11.59%,2-异丁基噻唑相对含量最高,其次为 2-戊基呋喃(表 1,表 2)。

2.2 绿星挥发性物质分析

绿星含有 62 种挥发性物质,占色谱流出组分总含量的 98.84%。其中,醇类 15 种,相对含量为 50.14%,Z-3-己烯醇相对含量最高,其次为 2-甲基-1-丁醇。酮类 2 种,相对含量为 0.50%,1-戊烯-3-酮相对含量最高。酯类 8 种,相对含量为 8.53%,乙酸乙酯相对含量最高。醛类 16 种,相对含量为 29.49%,正己醛相对含量最高,其次为 E-2-己烯醛。烃类 14 种,相对含量为 2.68%,β-水芹烯相对含量最高。其他 7 种,相对含量为 7.50%,1-硝基-3-甲基丁烷相对含量最高,其次为 2-戊基呋喃(表 1,表 2)。

表 1 绿色樱桃番茄品种挥发性物质及相对含量

序号	化合物类别	保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%		序号	化合物类别	保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%	
					翡翠	绿星						翡翠	绿星
醇类													
1		1.65	乙醇	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	3.15	2.32	36		12.29	E-2-庚烯醛	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	2.72	1.35
2		2.03	正丙醇	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	0.05	0.07	37		12.53	苯甲醛	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	0.98	0.77
3		2.54	异丁醇	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0.05	0.18	38		14.49	正辛醛	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	0.72	1.04
4		3.00	1-丁醇	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0.06	0.09	39		16.68	苯乙醛	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O		0.45
5		4.29	3-甲基-1-丁醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	5.69	5.88	40		17.23	2-辛烯醛	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	6.64	2.53
6		4.36	2-甲基-1-丁醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	5.24	12.20	41		19.45	正壬醛	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	1.38	1.14
7		5.14	1-戊醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	1.21	1.18	42		22.24	E-2-壬烯醛	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	0.19	
8		5.34	2-甲基-2-丁烯-1-醇	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O		0.07	43		23.76	Z-4-癸烯醛	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.87	1.40
9		8.23	Z-3-己烯醇	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	17.21	19.08	44		24.37	癸醛	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.16	0.13
10		8.74	1-己醇	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	4.84	4.89	45		24.92	β-环柠檬醛	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	0.04	0.05
11		13.27	1-庚醇	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	0.12	0.33	46		27.01	E-2-癸烯醛	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.19	
12		13.34	1-辛烯-3-醇	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	0.69	0.31	47		28.45	E,Z-2,4-癸二烯醛	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	1.82	0.47
13		16.02	2-乙基己醇	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O		0.83	48		29.68	E,E-2,4-癸二烯醛	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	0.31	
14		18.13	1-辛醇	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	0.75	0.84	烃类						
15		20.44	苯乙醇	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	1.68	1.86	49		1.74	正戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.22	0.16
酮类													
16		3.25	1-戊烯-3-酮	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	1.48	0.47	50		2.11	3-甲基戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>		0.05
17		13.71	3-辛酮	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	1.45		51		2.23	己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.11	0.22
18		36.52	β-紫罗兰酮	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	0.07	0.03	52		4.94	甲苯	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>		0.20
酯类													
19		1.86	乙酸甲酯	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.04	0.02	53		6.57	2,4-二甲基庚烷	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>		0.02
20		2.38	乙酸乙酯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	6.39	4.32	54		6.93	乙基环己烷	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>		0.01
21		3.69	丙酸乙酯	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>		0.01	55		9.35	苯乙烯	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	0.37	0.15
22		3.75	乙酸丙酯	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.05	0.06	56		9.68	壬烷	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.05	
23		6.44	乙酸丁酯	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>		0.04	57		11.03	α-蒎烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.08	0.09
24		8.87	乙酸-2-甲基丁酯	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	1.23	3.03	58		12.82	m-伞花烃	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>		0.15
25		10.41	乙酸戊酯	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	0.03		59		14.23	α-异松油烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.73	
26		14.72	Z-乙酸-3-己烯醇酯	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.29	0.32	60		15.06	(+)-2-萜烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.17	0.58
27		23.92	水杨酸甲酯	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.61	0.73	61		15.04	α-蒎品烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>		0.06
28		27.46	水杨酸乙酯	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	0.08		62		15.64	β-水芹烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.04	0.84
醛类													
29		2.20	丁醛	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	0.01		63		19.19	十一烷	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>		0.11
30		2.79	3-甲基丁醛	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	1.08	1.46	64		32.94	正十四烷	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	0.07	0.05
31		2.91	2-甲基丁醛	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	0.21	0.26	其他						
32		3.41	正戊醛	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	0.65	0.56	65		1.59	甲硫醇	CH <sub>3</sub> S	0.07	0.08
33		4.67	E-2-戊烯醛	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	0.67	0.37	66		1.83	2-硫代丙烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	0.31	0.30
34		5.89	正己醛	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	5.81	9.49	67		2.29	2-甲基呋喃	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O		0.01
35		7.82	E-2-己烯醛	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	7.05	8.03	68		3.48	2-乙基呋喃	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	0.18	0.16
							69		9.82	1-硝基-3-甲基丁烷	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>	2.10	4.20
							70		13.92	2-戊基呋喃	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	2.30	1.77
							71		15.91	2-异丁基噻唑	C <sub>7</sub> H <sub>11</sub> NS	6.64	0.97

注:“-”表示未检测到,下同。

表2 绿色樱桃番茄品种挥发性物质类别及相对含量

类别	相对含量/%	
	翡翠	绿星
醇类	40.73	50.14
酮类	3.00	0.50
酯类	8.71	8.53
醛类	31.51	29.49
烃类	2.84	2.68
其他	11.59	7.50

表3 绿色樱桃番茄品种独特挥发性成分及含量

序号	化合物类别	化合物名称	相对含量/%	
			翡翠	绿星
1	醇类	2-甲基-2-丁烯-1-醇	0.07	
2		2-乙基己醇	0.83	
3	酮类	3-辛酮	1.45	
4		丙酸乙酯	0.01	
5	酯类	乙酸丁酯	0.04	
6		乙酸戊酯	0.03	
7	醛类	水杨酸乙酯	0.08	
8		丁醛	0.01	
9	醛类	苯乙醛	0.45	
10		E-2-壬烯醛	0.19	
11	醛类	E-2-癸烯醛	0.19	
12		E,E-2,4-癸二烯醛	0.31	
13	烃类	3-甲基戊烷	0.05	
14		甲苯	0.20	
15	烃类	2,4-二甲基庚烷	0.02	
16		乙基环己烷	0.01	
17	烃类	壬烷	0.05	
18		m-伞花烃	0.15	
19	烃类	$\alpha$ -异松油烯	0.73	
20		$\alpha$ -蒎品烯	0.06	
21	其他	十一烷	0.11	
22		2-甲基呋喃	0.01	

### 2.3 翡翠和绿星共有挥发性成分分析

翡翠和绿星具有49种相同成分。其中,醇类13种,酮类2种,酯类6种,醛类15种,烃类7种,其他6种。醇类Z-3-己烯醇在翡翠和绿星中含量均最高。酮类1-戊烯-3-酮在翡翠和绿星中含量均最高。酯类乙酸乙酯在翡翠和绿星中含量均最高。醛类E-2-己烯醛在翡翠中含量最高,尽管在绿星中含量不是最高,但位居第二。烃类在翡翠和绿星中含量均不高。其他类物质2-异丁基噻唑在翡翠中含量最高,而1-硝基-3-甲基丁烷在绿星中含量最高。

### 2.4 翡翠和绿星独特挥发性成分分析

由表2、表3可知,翡翠和绿星挥发性风味物质种类和含量存在明显差异。翡翠中醇类相对含量最高,为40.73%,其次为醛类、其他类、酯类、酮类和烃类,相对含量分别为31.51%、11.59%、8.71%、3.00%和2.84%。绿星中醇类相对含量最高,为50.14%,其次为醛类、酯类、其他类、烃类和酮类,相

对含量分别为29.49%、8.53%、7.50%、2.68%和0.50%。翡翠含有9种特有香气成分,相对含量为3.04%。其中,酮类1种,酯类2种,醛类4种,烃类2种。分别为3-辛酮、乙酸戊酯、水杨酸乙酯、丁醛、E-2-壬烯醛、E-2-癸烯醛、E,E-2,4-癸二烯醛、壬烷、 $\alpha$ -异松油烯。绿星含有13种特有香气成分,相对含量为2.01%。其中,醇类2种,酯类2种,醛类1种,烃类7种,其他1种。分别为2-甲基-2-丁烯-1-醇、2-乙基己醇、丙酸乙酯、乙酸丁酯、苯乙醛、3-甲基戊烷、甲苯、2,4-二甲基庚烷、乙基环己烷、m-伞花烃、 $\alpha$ -蒎品烯、十一烷、2-甲基呋喃。

## 3 讨论与结论

在番茄中报道了超过400种挥发性物质,主要为醇类、酮类、醛类、酯类、烃类以及含硫化合物等<sup>[17]</sup>。笔者在本试验中采用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术分析不同绿色樱桃番茄品种挥发性物质的组成及相对含量。

翡翠含有58种挥发性物质,绿星含有62种挥发性物质。翡翠和绿星具有49种相同的挥发性成分。常培培等<sup>[13]</sup>在不同紫色番茄果实中共检测到65种挥发性物质,共有成分包括21种。该研究进一步表明不同番茄品种含有的挥发性风味物质种类存在明显不同。

Buttery等<sup>[1]</sup>鉴定出番茄5种主要风味成分。Baldwin等<sup>[18]</sup>研究发现番茄中含有16种主要挥发性成分。Emin<sup>[19]</sup>在番茄中鉴定出8种主要风味成分。唐晓伟等<sup>[20]</sup>在番茄中鉴定出16种主要风味成分。Tieman等<sup>[21]</sup>结合质谱和现代分子生物学技术在番茄种质中鉴定出36种主要风味物质。本试验中,翡翠和绿星中共包括14种主要风味成分。上述研究者检出的主要挥发性组分存在明显不同,可能与番茄的品种、栽培以及气候环境条件相关。

番茄果实芳香物质的合成途径主要包括5种<sup>[5]</sup>,本试验中鉴定出的主要风味物质中,3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丁醇、苯乙醇、2-异丁基噻唑通过氨基酸代谢途径形成,赋予番茄焦糖香味和花香<sup>[22]</sup>;1-戊醇、1-戊烯-3-酮、E-2-戊烯醛、E-2-己烯醛通过脂肪酸代谢途径形成,赋予番茄果香味<sup>[23]</sup>; $\beta$ -紫罗兰酮通过类胡萝卜素代谢途径形成,赋予番茄果实芳香<sup>[24]</sup>;这些共有的挥发性物质产生的特殊香气,构成了绿色樱桃番茄主体风味。

翡翠和绿星挥发性风味物质存在明显差异。翡翠含有9种特有香气成分,其中E,E-2,4-癸二烯

醛为主要风味物质。绿星含有 13 种特有香气成分,其中乙酸丁酯和苯乙醛为主要风味物质。该结果说明不同绿色樱桃番茄品种风味品质差异很大,可能是遗传因素不同所致<sup>[25]</sup>。 $\beta$ -紫罗兰酮、乙酸丁酯等主要风味成分尽管含量很低,但对番茄果实的风味具有非常重要的影响。其他化合物虽不是主要风味物质并且含量很低,但作为背景香气物质对番茄果实的最终香味同样具有显著的效应<sup>[26]</sup>。在未来的研究中,将通过现代分子生物学技术和分子设计育种技术,解析番茄风味物质代谢调控途径,培育优良番茄品种。

翡翠和绿星分别含有 58 种和 62 种挥发性物质,共有 49 种相同成分。翡翠含有 9 种特有成分。其中,E,E-2,4-癸二烯醛为主要风味物质。绿星含有 13 种特有成分。其中,乙酸丁酯和苯乙醛为主要风味物质。

### 参考文献

- [1] BUTTERY R G, SEIFERT R M, GUADAGNI D G, et al. Characterization of additional volatile components of tomato[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1971, 19(3):524-529.
- [2] KRUMBEIN A, PETERS P, BRUCKNER B. Flavour compounds and a quantitative descriptive analysis of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) of different cultivars in short-term storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(1):15-28.
- [3] BRUHN C M, FELDMANN N, GARLITZ C, et al. Consumer perceptions of quality: apricots, cantaloupes, peaches, pears, strawberries, and tomatoes[J]. Journal of Food Quality, 1991, 14(3):187-195.
- [4] SONG J, FAN L H, BEAUDRY R M. Application of solid phase microextraction and gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry for rapid analysis of flavor volatiles in tomato and strawberry fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(9):3721-3726.
- [5] 刘明池,郝静,唐晓伟.番茄果实芳香物质的研究进展[J].中国农业科学,2008,41(5):1444-1451.
- [6] LEE K C, PARK J H, KIM J K, et al. Rapid identification method for gamma-irradiated soybeans using gas chromatography-mass spectrometry coupled with a headspace solid-phase microextraction technique[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(9):2803-2815.
- [7] CECCHI L, IERI F, VIGNOLINI P, et al. Characterization of volatile and flavonoid composition of different cuts of dried onion (*Allium cepa* L.) by HS-SPME-GC-MS, HS-SPME-GC $\times$ GC-TOF and HPLC-DAD[J]. Molecules, 2020, 25(2):E408.
- [8] ZHANG T X, BAO F, YANG Y J, et al. A comparative analysis of floral scent compounds in intraspecific cultivars of *Prunus mume* with different corolla colours[J]. Molecules, 2019, 25(1):E145.
- [9] MA X K, LI X F, ZHANG J Y, et al. Analysis of the volatile components in *Selaginella doederleinii* by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Molecules, 2020, 25(1):E115.
- [10] 乔宇,谢笔钧,张弛,等.顶空固相微萃取-气质联用技术分析 3 种柑橘果实的香气成分[J].果树学报,2007,24(5):699-704.
- [11] 田长平,魏景利,刘晓静,等.梨不同品种果实香气成分的 GC-MS 分析[J].果树学报,2009,26(3):294-299.
- [12] 赵光伟,徐志红,孔维虎,等.3 个甜瓜品种果实香气成分的 HS-SPME/GC-MS 比较分析[J].果树学报,2015,32(2):259-266.
- [13] 常培培,张静,杨建华,等.紫色番茄果实挥发性风味物质分析[J].食品科学,2014,35(14):165-169.
- [14] LI J, DI T J, BAI J H. Distribution of volatile compounds in different fruit structures in four tomato cultivars[J]. Molecules, 2019, 24(14):E2594.
- [15] ZHU Y, SIMS C A, KLEE H J, et al. Sensory and flavor characteristics of tomato juice from garden gem and roma tomatoes with comparison to commercial tomato juice[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(1):153-161.
- [16] 王欢欢,马越,白冰,等.番茄果实呈香组分及其代谢途径研究进展[J].中国瓜菜,2018,31(12):1-4.
- [17] TIEMAN D, ZHU G T, RESENDE M F R, et al. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor[J]. Science, 2017, 355(6323):391-394.
- [18] BALDWIN E A, SCOTT J W, SHEWMAKER C K, et al. Flavor trivia and tomato aroma: biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components[J]. Horticulture, 2000, 35(6):1013-1022.
- [19] EMIN Y. The chemistry of fresh tomato flavor[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2001, 25(3):149-155.
- [20] 唐晓伟,刘明池,何洪巨,等.新鲜番茄风味组分研究[J].食品科学,2007,28(2):28-30.
- [21] TIEMAN D, ZHU G, RESENDE JR M F R, et al. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor[J]. Science, 2017, 355(6323):391-394.
- [22] WANG L B, BALDWIN E A, BAI J H. Recent advance in aromatic volatile research in tomato fruit: the metabolisms and regulations[J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(2):203-216.
- [23] TIEMAN D, BLISS P, MCINTYRE L, et al. The chemical interactions underlying tomato flavor preferences[J]. Current Biology, 2012, 22(11):1035-1039.
- [24] WANG L B, BALDWIN E A, PLOTTO A, et al. Effect of methyl salicylate and methyl jasmonate pre-treatment on the volatile profile in tomato fruit subjected to chilling temperature[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 108(1):28-38.
- [25] CARLI P, BARONE A, FOGLIANO V, et al. Dissection of genetic and environmental factors involved in tomato organoleptic quality[J]. BMC Plant Biology, 2011, 11(1):58.
- [26] CHAMBERS E, KOPPEL K. Associations of volatile compounds with sensory aroma and flavor: the complex nature of flavor[J]. Molecules, 2013, 18(5):4887-4905.