

doi:10.11937/bfyy.20171616

## 不同类型甜瓜亲本及其 $F_1$ 代果实挥发性物质成分的比较

王 硕 硕, 巩 彪, 陈 媛 媛, 荆 鑫, 刘 鑫, 史 庆 华

(山东农业大学 园艺科学与工程学院, 山东 泰安 271018)

**摘 要:**以野生薄皮甜瓜(“马泡”, 杂交父本)、厚皮网纹甜瓜(杂交母本)和二者杂交的  $F_1$  代果实为试材, 利用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术检测其成熟果实中挥发性物质的种类和相对含量的差异。结果表明:网纹厚皮甜瓜、野生甜瓜和  $F_1$  检测到的挥发性物质成分分别为 50、70、79 种, 3 个不同类型甜瓜的果实中共检测出 120 种挥发性物质, 其中包括 58 种酯类、10 种醇类、4 种醛类、12 种烯类和 36 种其它物质; 3 个类型甜瓜的果实中共同含有的挥发性物质有 23 种。3 个类型甜瓜的果实中主要的挥发性物质均为酯类物质, 但种类和相对含量存在差异。其中  $F_1$  代挥发性物质最为丰富, 表明挥发性物质的种类具有超亲优势的潜力, 该结果为研究甜瓜挥发性物质代谢提供一定的参考依据。

**关键词:**甜瓜;  $F_1$  代; 挥发性物质; 气相色谱-质谱联用(GC-MS)

**中图分类号:**S 652.903.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)23-0034-08

甜瓜(*Cucumis melo* L.)属葫芦科黄瓜属一年生蔓性草本植物, 属于世界十大水果之一。甜

瓜在果实外观性状、品质、风味、营养特性和抗性等方面存在很大的变异性<sup>[1]</sup>, 因此甜瓜被称为“多态性种”<sup>[2]</sup>。甜瓜的果实品质由挥发性物质、糖酸比、质地、风味等诸多因素构成<sup>[3]</sup>。随着人们生活水平的提高, 消费者对果实风味的要求也越来越高, 风味物质作为甜瓜果实质量评价的重要感官评定指标之一, 越来越受到重视。甜瓜中挥发性物质成分是区别各种不同品种的重要特征参数, 也是判断甜瓜品质优劣的重要参数<sup>[4]</sup>。果实香气

**第一作者简介:**王硕硕(1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜品质生理。E-mail:962315364@qq.com.

**责任作者:**史庆华(1977-), 男, 博士, 教授, 研究方向为蔬菜逆境与品质生理。E-mail:qshsi@sdau.edu.cn.

**基金项目:**高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20123702110011)。

**收稿日期:**2017-07-26

**Abstract:** *Fusarium oxysporum* f. sp. was used as research object, and growth rate method was adopted to study the allelopathy on watermelon *Fusarium* wilt of extracts from different parts of *Chrysanthemum*, in order to provide reference for the separation and purification of antibacterial active components in *Chrysanthemum*. The results showed that the three extracts of water extract had certain allelopathic effect on the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp., and the inhibition rates were 53%, 49% and 45% at 100.00 mg · mL<sup>-1</sup> treatment, respectively. There was no significant difference between the three parts according to Duncan's variance analysis. With the decrease of the concentration of the extract, the inhibition rate showed a decreasing trend. The EC<sub>50</sub> of the three parts was 86.256, 84.648, 106.876 mg · mL<sup>-1</sup> by indoor virulence test. The results showed that the inhibitory effects of the extract of stems and leaves were higher.

**Keywords:** *Chrysanthemum*; extract; watermelon *Fusarium* wilt; allelopathy

是具有香味的挥发性物质共同构成的,所以对果实香气研究必然要对果实中可挥发性物质的种类和含量进行探讨<sup>[5]</sup>。挥发性物质的提取技术则直接影响其定性和定量分析结果,目前国内外对于传统的样品前处理技术应用在挥发性物质提取上的有液-液萃取法<sup>[6]</sup>、顶空吸附法<sup>[7]</sup>、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法、顶空收集法<sup>[8]</sup>等。但这些方法应用于研究新鲜水果的挥发性物质成分时,在不同程度上存在着一些缺点,往往引起某些成分的化学结构或含量的变化。而顶空固相微萃取法提取挥发性物质,克服了传统预处理方法的缺点,无需有机溶剂,分析样品量少,操作简单、快速,费用低,集采样、萃取、浓缩、进样于一体,能够尽可能减少被分析挥发性物质的损失,并可与气相色谱-氢火焰检测器(GC-FID)、气相色谱-质谱(GC-MS)联用,成为果实挥发性物质分析的最佳研究方法<sup>[9-13]</sup>。目前,国内外许多学者利用此种方法对苹果、樱桃、梨、龙胆草、荔枝、草莓、葡萄、枸杞和桃中的挥发性物质进行了研究<sup>[14-23]</sup>。但对于不同甜瓜类型及其杂交后代中挥发性物质组成特征及主要香气物质的变化研究较少。为探索不同类型甜瓜挥发性物质组成特征及其在杂交后代中的变化,该试验采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术研究了清香型野生甜瓜“马泡”和麝香型网纹甜瓜及其杂交一代成熟果实挥发性物质的种类和相对含量,以期为探明甜瓜中挥发性物质的代谢关系提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为网纹厚皮甜瓜、野生型甜瓜及 F<sub>1</sub>。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 试验设计

试验于 2016 年在山东农业大学园艺科学与工程学院蔬菜站日光温室中进行,2016 年 7 月 12 日,于山东农业大学高效日光温室中播种育苗,采用 50 孔穴盘,基质育苗,基质组成为草炭:蛭石=3:1,当甜瓜苗生长到 3~4 片真叶时(8 月 11 日),于山东农业大学园艺科学与工程学院蔬菜站日光温室中定植。高畦栽培,畦宽 80 cm,每畦定植双行,行距 50 cm,株距 40 cm。常规管理,吊蔓栽培,单蔓整枝,坐果结位为第 12~15 节,主蔓 25~30 片叶摘心。对当日盛开的雌花进行挂牌标识。在甜瓜生理成熟期采收选择无病虫害、无机损伤且具有成熟特性的果实测定挥发性物质。

#### 1.2.2 取样及前处理

每份样品均取完好无损且充分成熟的甜瓜果实用 ddH<sub>2</sub>O 清洗干净,去皮去籽并将种腔处理干净后用刀切碎,四分法称取甜瓜果实 40 g 加入到 50 mL 顶空瓶中密封。取样前固相萃取头在气相色谱进样口老化时间和温度,以及萃取过程、进样步骤按照李国生等<sup>[4]</sup>的方法改进进行。

### 1.3 项目测定

#### 1.3.1 GC-MS 分析条件

参照李国生等<sup>[4]</sup>的分析条件进行。气相色谱-质谱联用仪型号为岛津 GCMS-QP 2010 Plus。

#### 1.3.2 定性定量方法

未知化合物质谱图经计算机检索同时与 NIST 14 和 NIST 14s 2 个质谱库相匹配,并结合人工图谱解析及资料分析对样品的总离子流图进行处理,按峰面积归一化法测定各组分的百分含量(图 1)。

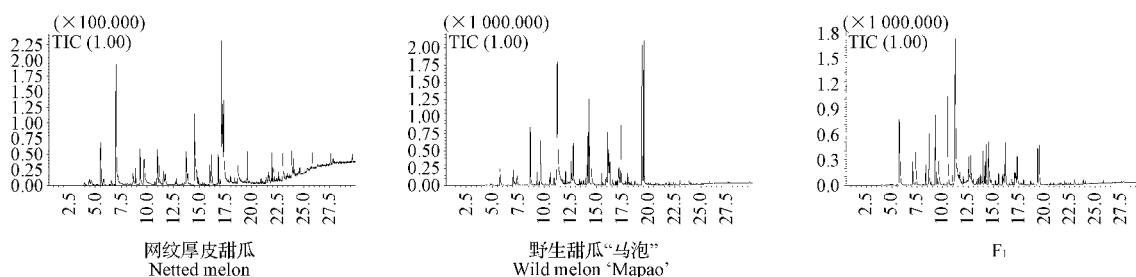


图 1 甜瓜果实挥发性物质成分 GC-MS 总离子图

Fig. 1 GC-MS total ionic chromatogram of volatile organic compounds in melon fruit

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型甜瓜及其杂交一代共同含有的挥发性物质成分与含量分析

在网纹厚皮甜瓜、野生甜瓜“马泡”和 F<sub>1</sub> 代成熟果实中,检测到的挥发性物质分别有 50、70 种和 79 种,包括酯类、醇类、醛类、烯类和其它物质。3 个类型甜瓜共同含有的成分有 23 种,分别为丙酸乙酯、丁酸乙酯、丙酸正丙酯、乙酸异丁酯、乙酸庚酯、正己酸乙酯、乙酸丁酯、乙酸己酯、乙酸叶醇酯、丁酸异丁酯、丙酸异丁酯、乙酸戊酯、2-甲基丁酸乙酯、2-甲基丁酸甲酯、2-乙基己基乙酸酯、顺-3-壬烯-1-醇、顺-3-烯基乙酸酯、二苯并呋喃、亚联苯、右旋萜二烯、二苯并五环、顺-4-庚烯酸、二甲

基丙烷硫代酸(表 1)。3 个甜瓜品种共有的挥发性物质的相对含量占全部挥发性物质的 45.15%。在网纹厚皮甜瓜果实中乙酸己酯和乙酸异丁酯的相对含量(17.77%、17.55%)远高于野生甜瓜“马泡”及 F<sub>1</sub>,且这 2 种物质是网纹厚皮甜瓜中相对含量最高的物质,在野生甜瓜“马泡”果实中丁酸乙酯和 2-甲基丁酸乙酯的相对含量(5.75%、6.78%)高于网纹厚皮甜瓜及 F<sub>1</sub>,在 F<sub>1</sub> 甜瓜果实中顺-3-烯基乙酸酯的相对含量(6.31%)高于网纹厚皮甜瓜及野生甜瓜“马泡”。表明 2 个甜瓜亲本共同含有的大部分挥发性物质能够遗传给杂交一代,但在相对含量上存在一定差异。

表 1 不同类型甜瓜及其杂交一代甜瓜果实共同含有的挥发性物质及相对含量

Table 1 Volatile organic compounds and relative content in different genotype of melon and their hybrids

挥发性物质 Volatile organic compounds	相对含量 Relative content/%		
	野生型甜瓜“马泡” Wild melon ‘Mapao’	网纹厚皮甜瓜 Netted melon	F <sub>1</sub>
丙酸乙酯 Propanoic acid, ethyl ester	3.40	1.97	0.35
丁酸乙酯 Butanoic acid, ethyl ester	5.75	1.74	0.90
丙酸正丙酯 Propanoic acid, propyl ester	0.39	0.19	0.15
乙酸异丁酯 Isobutyl acetate	4.60	17.55	4.82
乙酸庚酯 Acetic acid, heptyl ester	0.68	2.13	1.66
正己酸乙酯 Hexanoic acid, ethyl ester	1.78	0.93	0.46
乙酸丁酯 Acetic acid, butyl ester	2.01	1.44	3.34
乙酸己酯 Acetic acid, hexyl ester	2.24	17.77	4.83
乙酸叶醇酯 3-Hexen-1-ol, acetate, (Z)-	1.06	1.68	2.58
丁酸异丁酯 Butanoic acid, 2-methylpropyl ester	0.26	0.29	0.04
丙酸异丁酯 Propanoic acid, 2-methylpropyl ester	0.63	3.25	0.44
乙酸戊酯 Acetic acid, pentyl ester	0.59	1.52	0.88
2-甲基丁酸乙酯 Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	6.78	0.32	0.45
2-甲基丁酸甲酯 Butanoic acid, 2-methyl-, methyl ester	0.06	2.19	0.06
2-乙基己基乙酸酯 Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	0.16	0.42	0.22
顺-3-壬烯-1-醇 3-Nonen-1-ol, (Z)-	1.05	0.68	1.00
顺-3-烯基乙酸酯 Acetic acid, non-3-enyl ester, cis-	1.74	3.05	6.31
二苯并呋喃 Dibenzofuran	0.28	0.97	0.21
亚联苯 Biphenylene	0.17	0.49	0.14
右旋萜二烯 D-limonene	0.40	0.25	0.10
二苯并五环 Fluorene	0.33	1.13	0.22
顺-4-庚烯酸 4-Heptenoic acid, ethyl ester, (E)-	0.25	0.59	0.44
二甲基丙烷硫代酸 Thiopivalic acid	2.86	4.43	3.34

### 2.2 不同类型甜瓜及其杂交一代甜瓜果实挥发性物质种类的差异分析

在 3 个类型甜瓜:网纹厚皮甜瓜、野生甜瓜“马泡”和 F<sub>1</sub> 代成熟果实中,检测到不同甜瓜类型所特有的挥发性物质。由表 2 可知,网纹厚皮甜

瓜、野生甜瓜“马泡”和 F<sub>1</sub> 代 3 个甜瓜类型的果实中,每个甜瓜类型果实中所特有的挥发性物质种类分别为 18、18、21 种。网纹厚皮甜瓜成熟果实中所特有的主要挥发性物质有 2-甲基丁基乙酸酯、乙酸壬酯、反式-2-癸烯醛(9.41%、5.25%、

表 2 不同类型甜瓜及其杂交一代甜瓜果实中含有的挥发性物质及相对含量的差异  
Table 2 Difference of volatile organic compounds and relative content in different cultivars melon and their hybrids

	挥发性物质 Volatile organic compounds	品种 Varieties		F <sub>1</sub>
		网纹厚皮甜瓜 Netted melon	野生甜瓜“马泡” Wild melon ‘Mapao’	
酯类 Esters	3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-甲酸酯	0.60	—	—
	Formic acid,3,7,11-trimethyl-1,6,10-dodecatrien-3-yl ester			
	4-乙基苯甲酸、环戊基酯 4-Ethylbenzoic acid,cyclopentyl ester	0.54	—	—
	5-己烯-1-十二酯酸 Dodecanoic acid,5-hexen-1-yl ester	0.18	—	—
	4-乙基苯甲酸、2-甲基丁酯 4-Ethylbenzoic acid,2-methylbutyl ester	—	1.13	—
	3(甲基)乙酸丙酯 3-(Methylthio)propyl acetate	—	0.12	0.30
	4-乙基苯甲酸、环戊基酯 4-Ethylbenzoic acid,cyclopentyl ester	—	—	0.98
	丁酸丙酯 Butanoic acid,propyl ester	—	0.72	0.36
	庚酸乙酯 Heptanoic acid,ethyl ester	—	0.63	—
	乙酸异丙酯 Isopropyl acetate	1.60	—	—
	乙酸丙酯 n-Propyl acetate	—	—	0.75
	硬脂酸乙酯 Octadecanoic acid,ethyl ester	0.51	—	—
	乙酸辛酯 Acetic acid,octyl ester	0.86	—	0.57
	乙酸癸酯 Acetic acid,decyl ester	—	0.30	—
	梨醇酯 2-Buten-1-ol,3-methyl-,acetate	—	—	0.45
	乙酸异戊酯 1-Butanol,3-methyl-,acetate	—	—	0.67
	(Z)-3-壬烯基酯 Acetic acid,non-3-enyl ester,cis-	—	—	0.14
	乙酸苄酯 Acetic acid,phenylmethyl ester	—	—	4.49
	乙酸橙花酯 2,6-Octadien-1-ol,3,7-dimethyl-,acetate,(Z)-	—	0.10	—
	乙酸壬酯 Acetic acid,nonyl ester	5.25	—	—
	硫代醋酸 S-甲酯 Methyl thiolacetate	—	—	0.38
	反式-2-庚烯酸乙酯 Trans-2-Heptenyl acetate	—	0.09	1.04
	硫代丁酸甲酯 Butanethioic acid,S-methyl ester	0.74	—	0.68
	丙酸 2-甲基丁酯 1-Butanol,2-methyl-,propanoate	0.48	—	—
	2-甲基丁酸-2-二甲基丙酯 Butanoic acid,2-methyl-,2-methylpropyl ester	0.50	0.22	—
	异己酸乙酯 Pentanoic acid,4-methyl-,ethyl ester	0.34	—	—
	乙酸反式-3-庚烯酯 3-Hepten-1-ol,acetate	—	0.64	3.63
	(Z)-2-戊烯醇乙酸酯 2-Penten-1-ol,acetate,(Z)-	—	0.08	0.07
	(甲硫基)乙酸乙酯 Ethyl (methylthio)acetate	—	0.77	—
	顺式-3-己烯醇 2-甲基丁酸 Cis-3-Hexenyl-,alpha.-methylbutyrate	—	—	0.17
	戊酸乙酯 Pentanoic acid,ethyl ester	—	1.25	0.66
	丙酸 2-丁酯 2-Pentanol,propanoate	—	0.34	0.25
	丙酸甲酯 Methyl propionate	0.88	—	—
	2-己烯-1-醇乙酸酯(Z)-2-Hexen-1-ol,acetate,(Z)-	—	0.53	2.14
	丙酸丁酯 Propanoic acid,butyl ester	—	0.25	0.28
	丁酸甲酯 Butanoic acid,methyl ester	0.48	—	—
	2-甲基丁基乙酸酯 1-Butanol,2-methyl-,acetate	9.41	—	—
	丙酸戊酯 Propanoic acid,pentyl ester	—	0.05	—
	丙酸异丙酯 Propanoic acid,1-methylethyl ester	0.78	—	—
	2-甲基丙酸丙酯 Propanoic acid,2-methyl-,propyl ester	—	0.17	—
醇类 Alcohols	油酸乙酯 9-Octadecenoic acid,ethyl ester	—	—	0.25
	3,6-壬二烯-1-醇乙酸酯 3-6-Nonadien-1-yl-acetate	—	—	0.26
	甲基丙烯醇乙酸酯 2-Propen-1-ol,2-methyl-,acetate	0.55	—	0.06
	异丁酸乙酯 Propanoic acid,2-methyl-,ethyl ester	—	1.49	0.05
	10-十一烯-1-醇 10-Undecyn-1-ol	—	—	0.08
	反式-2-壬烯-1-醇 2-Nonen-1-ol,(E)-	—	—	0.11
	(E)-6-壬烯-1-醇 6-Nonen-1-ol,(E)-	—	—	0.15
	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	—	0.61	0.19
	(E,Z)-3,6-壬二烯-1-醇 3,6-Nonadien-1-ol,(E,Z)-	—	0.53	0.90
	顺-4-癸烯-1-醇(Z)-4-Decen-1-ol	—	0.08	—
	反-3-辛烯-2-醇 3-Octen-2-ol,(E)-	—	—	0.32
	9-十七烷醇 9-Heptadecanol	—	0.05	—
	4-甲基乙酸正己醇 1-Hexanol,4-methyl-,acetate	0.24	—	0.05

表 2(续)

Table 2(Continued)

挥发性物质 Volatile organic compounds		品种 Varieties		
		网纹厚皮甜瓜 Netted melon	野生甜瓜“马泡” Wild melon ‘Mapao’	F <sub>1</sub>
醛类 Aldehydes	壬醛 Nonanal	1. 47	2. 84	—
	反式-2-壬烯醛 2-Nonenal, (E)-	—	0. 83	0. 39
	2-十一烯醛 2-Undecenal	—	—	1. 65
	反式-2-癸烯醛 2-Decenal, (E)-	3. 99	—	—
烯类 Alkenes	全反式-1,3,5-己三烯-1,8-二甲基(E,E,E)-2,4,6-Octatriene	—	4. 83	3. 20
	E,Z-4-乙基亚环己烯 E,Z-4-Ethylidenecyclohexene	—	20. 31	18. 38
	环辛二烯 1,3-Cyclooctadiene	—	—	0. 13
	1-乙基-1,4-环己二烯 1,4-Cyclohexadiene,1-ethyl-	—	2. 14	1. 56
	$\alpha$ -蒎烯 Copaene	—	0. 07	—
	1,3-环庚二烯 1,3-Cycloheptadiene	—	—	0. 02
	长叶烯 Longifolene	—	0. 07	—
	3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳-四烯 $\alpha$ -Farnesene	—	0. 11	0. 12
	2-乙基-1,3,3-甲基-环己烯 Cyclohexene,2-ethenyl-1,3,3-trimethyl-	0. 24	—	—
	2-蒎烯 $\alpha$ -Pinene	—	0. 61	—
其它 Others	对二甲苯 p-Xylene	—	0. 60	—
	3(基)丁酸 3-(Methoxymethoxy)butanoic acid	—	—	0. 21
	正己烷 n-Hexane	1. 13	—	—
	3,4-二甲基-己二酸 2,3-Butanediol, diacetate	—	0. 41	—
	$\alpha$ -环氧蒎烷 3-Oxatricyclo[4. 1. 1. 0(2,4)]octane,2,7,7-trimethyl-	—	2. 92	—
	2-庚烯酸 2-Heptenoic acid	—	0. 20	—
	1,1-二甲基-3-甲基-环丁烷 Cyclobutane,1,1-dimethyl-3-methylene-	0. 62	—	—
	戊基环戊烷 Cyclopentane, pentyl-	—	—	0. 01
	2-正戊基呋喃 Furan,2-pentyl-	—	0. 28	—
	花生四烯酸 Arachidonic acid	—	—	0. 16
	2-甲基呋喃 Furan,2-methyl-	1. 06	—	—
	1,5-二甲萘 Naphthalene,1,5-dimethyl-	—	—	0. 08
	2,3-二甲萘 Naphthalene,2,3-dimethyl-	0. 26	—	0. 07
	2,6-二甲萘 Naphthalene,2,6-dimethyl-	—	0. 08	—
	3-甲基-4-氧代戊酸 Pentanoic acid,3-methyl-4-oxo-	—	9. 82	1. 86
	(Z)-6-壬烯-1-醇乙酸盐 6-Nonen-1-ol,acetate,(Z)-	—	2. 74	10. 50
	蒎烯 Acenaphthene	0. 25	0. 10	—
	螺环[4]非-1 Spiro[4. 4]non-1-ene	—	2. 23	—
	联苯 Biphenyl	—	0. 06	—
	1,2-二甲苯 o-Xylene	2. 41	—	—
	其它 Other	—	0. 68	8. 72

3.99%)。E,Z-4-乙基亚环己烯是野生甜瓜“马泡”和F<sub>1</sub>代甜瓜果实中所特有的且相对含量最高的挥发性物质,相对含量分别为20.31%和18.38%。结果表明,不同类型甜瓜及其杂交一代甜瓜果实中所含有的挥发性物质在种类和相对含量上存在较大的差异,F<sub>1</sub>子代在挥发性物质种类上更大程度的继承了野生甜瓜“马泡”的遗传物质,但挥发性物质的相对含量存在较大的差异;F<sub>1</sub>子代在生长发育过程中产生了特有的主要挥发性物质有乙酸苜酯(4.49%)、2-十一烯醛(1.65%)等。

### 2.3 不同甜瓜品种及其杂交一代挥发性物质成分与含量分析

在野生甜瓜“马泡”、网纹厚皮甜瓜和F<sub>1</sub>代成熟果实中,检测到的挥发性物质种类包括酯类、醇类、醛类、烯类和其它物质(图2),其中酯类物质和醇类物质的种类在F<sub>1</sub>代甜瓜果实中挥发性物质较2个亲本多。酯类物质是甜瓜香味的主要特征物质。F<sub>1</sub>甜瓜果实中烯类物质种类较网纹厚皮甜瓜多,但较野生型甜瓜果实少。在F<sub>1</sub>成熟果实中检测的挥发性物质种类较网纹厚皮甜瓜多样化,更加趋向于野生甜瓜“马泡”。

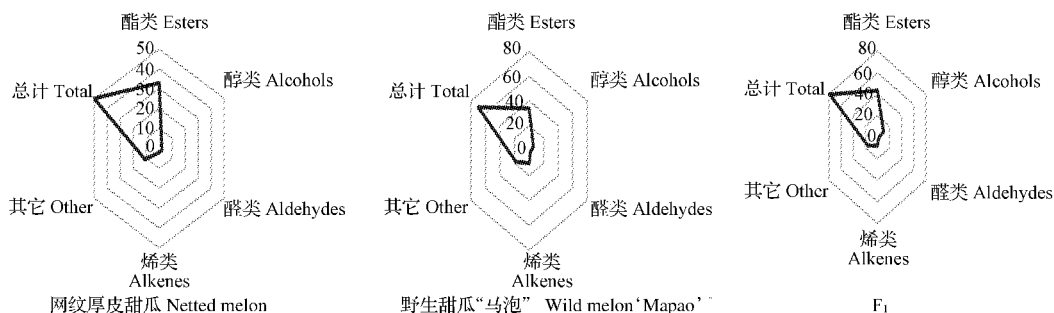
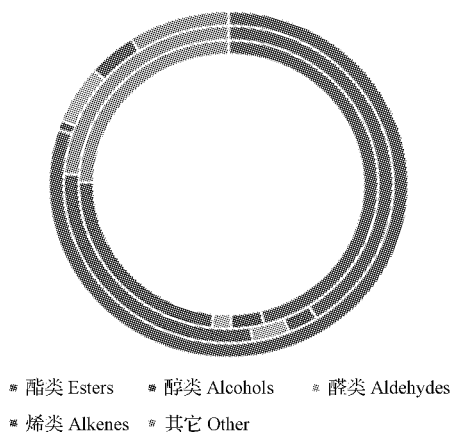


图 2 不同甜瓜类型及其杂交一代甜瓜果实挥发性物质的种类及数目

Fig. 2 Species and number of volatile organic compounds in different cultivars melon and their hybrids

在野生甜瓜“马泡”、网纹厚皮甜瓜和 F<sub>1</sub> 代成熟果实中,检测到的挥发性物质(酯类、醇类、醛类、烯类和其它物质)的相对含量存在一定的差异(图 3)。其中,网纹厚皮甜瓜果实中酯类挥发性物质的相对含量为 80.14%,包括乙酸异丁酯(17.55%)、乙酸己酯(17.43%)、2-甲基丁基乙酸酯(9.41%)、乙酸壬酯(5.25%)等;野生甜瓜“马泡”果实中酯类挥发性物质的相对含量为 41.01%,包括 2-甲基丁酸乙酯(6.78%)、丁酸乙酯(5.75%)、乙酸异丁酯(4.6%)、丙酸乙酯

(3.4%)、乙酸异丁酯(2.24%)等;F<sub>1</sub> 代甜瓜果实中酯类挥发性物质的相对含量为 46.19%,包括顺-3-烯基乙酸酯(6.31%)、乙酸异丁酯(4.82%)、乙酸己酯(4.71%)、乙酸苄酯(4.49%)等。乙酸异丁酯和乙酸己酯是 3 个品种甜瓜共有的挥发性物质,但相对含量存在较大的差异。野生甜瓜和 F<sub>1</sub> 甜瓜果实中挥发性物质都主要是酯类物质(41.01%,46.19%)和烯类物质(28.45%,23.47%),且野生甜瓜和 F<sub>1</sub> 甜瓜果实挥发性物质中相对含量最多的同为 E,Z-4-乙基亚环己烯。结果显示,在网纹厚皮甜瓜、野生甜瓜“马泡”及子代 F<sub>1</sub> 成熟果实挥发性物质中,酯类物质的相对含量最高,其中子代 F<sub>1</sub> 酯类物质的含量高于野生型甜瓜,其它物质含量趋向于野生甜瓜“马泡”。



注:最外侧至最里侧的 3 个圆环分别代表网纹厚皮甜瓜、野生甜瓜“马泡”及 F<sub>1</sub> 挥发性物质的相对含量。

Note: Circle from outer to inside represent volatile organic compounds of netted melon, wild melon ‘Mapao’ and F<sub>1</sub>.

图 3 不同甜瓜类型及其杂交一代挥发性物质成分类别及相对含量的比较

Fig. 3 Categories and relative content of volatile organic compounds in different cultivars melon and their hybrid

### 3 讨论与结论

香味是果实成熟的重要特性之一,同时,在很多植物中,它也是区别不同品种的重要依据<sup>[24-27]</sup>。甜瓜的挥发性物质中的香气成分是衡量甜瓜果实品质优劣的重要指标。该试验利用顶空固相微萃取-气质联用仪,并结合气相色谱仪系统分析比较了野生甜瓜“马泡”、网纹厚皮甜瓜和二者杂交的 F<sub>1</sub> 代果实中挥发性物质成分,得出酯类物质是甜瓜成熟果实中的主要的挥发性物质。其中子代 F<sub>1</sub> 成熟果实中酯类物质的含量较网纹厚皮甜瓜少,但高于野生甜瓜“马泡”。在成熟果实挥发性物质种类方面,子代 F<sub>1</sub> 成熟果实更趋向于野生甜瓜“马泡”,但醇类物质的种类增多。不同的酯类物质具有不同的风味,不同的挥发性物质由于阈值及在样品中的相对含量不同,对果

实香型的贡献值也就不同,仅依靠一种挥发性物质不能评判出样品的香型,依靠气味较浓、含量较高的挥发性物质才能判断果实的特征香型<sup>[28]</sup>。在3个类型甜瓜成熟果实中共同含有的主要酯类物质有乙酸己酯、乙酸异丁酯、丙酸正丁酯、顺-3-烯基乙酸酯。另外,3个类型甜瓜成熟果实中具有其它挥发性物质也可能对甜瓜的香型具有重要的影响。影响甜瓜果实风味优劣的主要原因是各挥发性物质种类、含量和相互之间构成比例的差异。国内外学者研究表明,影响蔬菜和水果中挥发性物质形成的主要因素是基因<sup>[29]</sup>。甜瓜果实挥发性物质的来源主要有脂肪酸氧化、氨基酸代谢、由醇醛到酯和次生代谢。CHEN等<sup>[30]</sup>研究表明挥发性物质的多样性与醇脱氢酶家族基因密切相关。TANG等<sup>[31]</sup>研究表明,挥发性物质中酯类的生物合成与脂氧合酶家族基因有很高的相关性。该试验研究了不同甜瓜品种及其杂交后代挥发性物质的差别和联系,3个甜瓜品种共有的挥发性物质的相对含量达到45%,并且,F<sub>1</sub>挥发性物质中相对含量最高的物质与野生型甜瓜相同。导致甜瓜果实挥发性物质不同的原因是脂氧合酶、醇脱氢酶和醇酰基转移酶的协同作用<sup>[30-31]</sup>。F<sub>1</sub>甜瓜果实中的挥发性物质的种类和含量可能受到脂氧合酶家族基因、醇脱氢酶家族基因和醇酰基转移酶家族基因的表达有关。因此,遗传因素影响挥发性物质的方式及途径还需要继续探索。

综上所述,3个类型甜瓜成熟果实中的挥发性物质在种类和含量上存在一定的差异,其中F<sub>1</sub>甜瓜果实中挥发性物质的种类和含量与野生型甜瓜和网纹厚皮甜瓜存在区别和联系。网纹厚皮甜瓜甜瓜果实中挥发性物质主要是酯类物质,特别是乙酸酯类物质;同时,乙酸酯类物质在F<sub>1</sub>甜瓜果实中的相对含量也较高。F<sub>1</sub>甜瓜果实中的挥发性物质种类趋向于野生型甜瓜甜瓜品种,野生型甜瓜与F<sub>1</sub>甜瓜果实中所独有的挥发性物质种类为52种,其果实中的挥发性物质主要是酯类物质和稀类物质,且相对含量最多的挥发性物质为同一种烯类。F<sub>1</sub>甜瓜果实中的醇类物质较2个亲本明显增加,可能是甜瓜醇脱氢酶家族基因导致<sup>[32]</sup>。基因对甜瓜果实挥发性物质的形成起着决定性作用。因此,该试验为将来研究遗传因素对甜瓜果实挥发性物质的代谢提供了一定的依据。

(该文作者还有聂文婧,单位同第一作者。)

## 参考文献

- [1] 胡建斌,马双武,简在海,等.中国甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2013,48(4):42-51.
- [2] RODRÍGUEZ-PÉREZ C, QUIRANTES-PINÉ R, FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ A, et al. Comparative characterization of phenolic and other polar compounds in Spanish melon cultivars by using high-performance liquid chromatography coupled to electrospray ionization quadrupole-time of flight mass spectrometry[J]. Food Research International, 2013, 54(2): 1519-1527.
- [3] BEAULIEU J C, STEIN-CHISHOLM R E. HS-GC-MS volatile compounds recovered in freshly pressed 'Wonderful' cultivar and commercial pomegranate juices[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 643-656.
- [4] 徐晓飞,齐红岩,姜岩岩,等.不同风味类型甜瓜果实发育过程中风味品质比较[J].华北农学报,2012,27(2):127-132.
- [5] 来鹏飞,盛云燕,袁丽伟.甜瓜感官检验与主要风味物质的相关关系[J].蔬菜,2015(5):23-25.
- [6] GUTH H. Quantification and sensory studies of character impact odorants of different white wine varieties[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1997, 45(8): 3027-3032.
- [7] SABON I, REVEL G D, YORGOS K A, et al. Determination of volatile compounds in grenache wines in relation with different terroirs in the Rhone Valley[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(22): 6341-5.
- [8] 丁嘉文,陈易彤,谢晓,等.四种不同方法提取沙枣花挥发物的成分分析[J].植物科学学报,2015,33(1):116-125.
- [9] LIU B, XU X Q, CAI J, et al. The free and enzyme-released volatile compounds of distinctive *Vitis amurens* var. Zuoshanyi grapes in China[J]. European Food Research and Technology, 2015, 240(5): 985-997.
- [10] TASDEMİR D, DEMİRCİ B, DEMİRCİ F, et al. Analysis of the volatile components of five Turkish rhododendron species by headspace solid-phase microextraction and GC-MS (HS-SPME-GC-MS)[J]. Zeitschrift Für Naturforschung C Journal of Biosciences, 2014, 58(11-12): 797.
- [11] GONÇALVES J, FIGUEIRA J, RODRIGUES F, et al. Headspace solid-phase microextraction combined with mass spectrometry as a powerful analytical tool for profiling the terpenoid metabolomic pattern of hop-essential oil derived from Saaz variety[J]. Journal of Separation Science, 2015, 35(17): 2282-2296.
- [12] YE H C, TSAI W Y, CHIANG H M, et al. Headspace solid-phase microextraction analysis of volatile components in *Phalaenopsis* Nobby's Pacific Sunset[J]. Molecules, 2014, 19(9): 14080-14093.
- [13] 李宝丽,邓建玲,蔡欣,等.顶空固相微萃取-气质联用结合主成分分析研究纯葡萄汁的香气成分[J].中国食品学报,2016, 16(4): 258-270.

- [14] ZEPKA L Q, GARRUTI D S, SAMPAIO K L, et al. Aroma compounds derived from the thermal degradation of carotenoids in a cashew apple juice model[J]. Food Research International, 2014, 56: 108-114.
- [15] 常培培, 梁燕, 张静, 等. 5种不同果色樱桃番茄品种果实挥发性物质及品质特性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 215-221.
- [16] 陈银根, 吕文君, 吴旭江, 等. 不同砧木嫁接对樱桃番茄品质及产量的影响[J]. 长江蔬菜, 2016(22): 63-66.
- [17] LI G, JIA H, WU R, et al. Characterization of aromatic volatile constituents in 11 Asian pear cultivars belonging to different species[J]. African Journal of Agricultural Research, 2012, 7(34): 4761-4770.
- [18] 王梦, 李亮星, 李干鹏. 不同方法提取的龙胆草不同部位的挥发性化学成分分析[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2016, 25(4): 293-300.
- [19] 郭亚娟, 邓媛元, 张瑞芬, 等. 不同荔枝品种果干挥发性物质种类及其含量比较[J]. 中国农业科学, 2013, 46(13): 2751-2768.
- [20] 曾祥国, 韩永超, 向发云, 等. 不同品种草莓果实挥发性物质的GC-MS分析[J]. 亚热带植物科学, 2015(1): 8-12.
- [21] ROBINSON A L. Origins of grape and wine aroma. Part 2. Chemical and sensory analysis[J]. American Journal of Enology & Viticulture, 2014, 65(1): 25-42.
- [22] 楼舒婷, 程焕, 林雯雯, 等. SPME-GC/MS联用测定黑果枸杞中挥发性物质[J]. 中国食品学报, 2016(10): 245-250.
- [23] 吴磊, 柳洪入, 陈妙金, 等. 避雨栽培对桃果实挥发性物质形成的影响[J]. 园艺学报, 2015, 42(3): 535-544.
- [24] POLL L. Evaluation of 18 apple varieties for their suitability for juice production[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1981, 32(11): 1081-1090.
- [25] VISAI C, VANOLI M. Volatile compound production during growth and ripening of peaches and nectarines 1[J]. Scientia Horticulturae, 1997, 70(70): 15-24.
- [26] KOURKOUTAS D, ELMORE J S, MOTTRAM D S. Comparison of the volatile compositions and flavour properties of cantaloupe, Galia and honeydew muskmelons[J]. Food Chemistry, 2006, 97(1): 95-102.
- [27] GOULET C, MAGEROY M H, LAM N B, et al. Role of an esterase in flavor volatile variation within the tomato clade[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(46): 19009.
- [28] 齐红岩, 刘勇, 刘轶飞. 不同薄皮甜瓜品种成熟果实中芳香物质的分析[J]. 中国瓜菜, 2011, 24(6): 1-6.
- [29] CSAMBALIK L, DIVÉKYERTSEY A, PAP Z, et al. Coherences of instrumental and sensory characteristics: Case study on cherry tomatoes[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(11): 192-202.
- [30] CHEN H, CAO S, JIN Y, et al. The relationship between CMADHs and the diversity of volatile organic compounds of three aroma types of melon (*Cucumis melo*) [J]. Frontiers in Physiology, 2016(7): 670-681.
- [31] TANG Y, CHONG Z, CAO S, et al. The effect of CMLOXs on the production of volatile organic compounds in four aroma types of melon (*Cucumis melo*) [J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0143567.
- [32] 赵聪. 甜瓜果实醇酰基转移酶基因表达分析与功能鉴定[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.

## Volatile Organic Compounds Comparison Among Different Genotype of Melon and Their Hybrids

WANG Shuoshuo, GONG Biao, CHEN Yuanyuan, JING Xin, LIU Xin, SHI Qinghua, NIE Wenjing  
(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

**Abstract:** The volatile organic compounds (VOCs) of wild melon ('Mapao', male parent), netted muskmelon (female parent) and their  $F_1$  were analyzed with the method of head space-soild phase microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). The results indicated that the number of VOCs identified from netted muskmelon, wild melon and  $F_1$  fruits were 50, 70 and 79, respectively. And total 120 kinds of VOCs in the melon were identified. The major VOCs in melon consisted of 58 esters, 10 alcohols, 4 aldehydes, 19 alkenes and 36 other substances. These three melon types shared 23 same VOCs. The main VOCs in the three types of melon fruit were esters, but the VOCs kinds and relative contents were different. VOC kinds were most abundant in  $F_1$  melon fruit, indicating VOCs had the potential of heterosis over better parents. The results provided a basis for studying VOCs metabolism in melon fruit.

**Keywords:** melon;  $F_1$  generation; volatile organic compounds; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)