

甜瓜不同变种及其杂交后代的香气特征研究

张少慧¹,刘莉^{1*},周莉¹,刘翔¹,高星¹,张平²,李志文²

(1 天津大学 环境科学与工程学院,天津 300072;2 国家农产品保鲜工程技术研究中心,天津 300384)

摘要:对4个甜瓜变种亲本及其相互间的4个杂交组合F₁成熟果实中的香气组成特征及遗传表现进行了研究。结果显示:(1)甜瓜不同变种亲本成熟果实的香气组成特征差异很大,硬皮甜瓜(var. *cantalupensis*)变种(Charentais)香气成分主要以酯类物质为主,与呼吸跃变性状紧密相连;九碳醛类化合物是影响越瓜(var. *conomon*)变种八棱脆(Balengcui)的重要化合物;非呼吸跃变类型的冬甜瓜(var. *inodorus*)变种皇后(Queen)的特征性物质是九碳醇类化合物;其它类物质含量(OASPC)是香瓜变种(var. *makuwa*)甜宝(Tianbao)的一个主要特征。(2)对11个香气组成等性状进行主成分分析结果显示,前3个主成分累积贡献率达77.80%,PC1主要与酯类物质含量、香气种类数、醇类含量及醛类物质含量等呈显著相关关系,PC2则主要与其他类物质含量及乙烯释放速率显著相关,据此可将不同变种及组合区分开。(3)不同类型的香气类物质在不同变种的杂交组合中表现趋势不同,大部分的酯类化合物含量在F₁代果实中居于双亲之间,且偏向于高亲值,而醛类、醇类以及其它类化合物在F₁代均表现为接近低亲值。

关键词:甜瓜;变种;香气特征;主成分分析;遗传表现

中图分类号:Q946.8

文献标志码:A

Study on Aroma Characteristics of Different Combinations Crossed from Different Varieties of *Cucumis melo* L.

ZHANG Shaohui¹, LIU Li^{1*}, ZHOU Li¹, LIU Xiang¹, GAO Xing¹, ZHANG Ping², LI Zhiwen²

(1 School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2 National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agriculture Products, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agriculture Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: Aroma characteristics and genetic performance were analyzed in four varieties of *Cucumis melo* and their crossing combinations in this study. The results showed that:(1)There was great difference of aroma composition in the fruits existed among four varieties. Aroma in Charentais from var. *cantalupensis* was characterized by esters, closely connected with the climacteric traits. Nine-carbon aldehydes were the characteristic aromatic components in Queen (var. *inodorus*) which was non-climacteric accession. Aroma in Tianbao (var. *makuwa*) was characterized by OASPC. (2)Eleven quality traits including aroma composition were studied by principal component analysis, the result shows that the first three components contributed 77.80%. The contribution rate of PC1 was 43.37%, was significantly correlated with relative content of esters, AIPC and AIPC and the numbers of aromatic compounds. PC2 was significantly correlated with OASPC and ethylene production rate. Four different varieties of melon and their crossing combinations can be significantly distinguished by these traits. (3) The performance trends of different aroma composition

收稿日期:2014-08-19;修改稿收到日期:2014-02-10

基金项目:天津市应用基础重点项目(12JCZDJC23300)

作者简介:张少慧(1991—),女,在读硕士研究生,主要从事甜瓜种质资源及分子育种研究。E-mail:wodedipan211@163.com

*通信作者:刘莉,博士,副教授,主要从事瓜类种质资源及分子育种研究工作。E-mail:liulitjdx@126.com

were largely varied among four combinations from four different varieties of melon. The relative content of most of esters showed intermediate values in all of four combinations closed to the high parent values. AloPC, AIPC and OASPC showed values closed to the low parent values.

Key words: *Cucumis melo* L.; variety; aroma characteristics; principle component analysis; genetic performance

甜瓜属于葫芦科甜瓜属甜瓜种(*Cucumis melo* L.),世界十大水果之一,主要分布在中亚、西亚、北非、西欧、北美以及中国、日本等地。目前市售的甜瓜多属于冬甜瓜(var. *inodorus*)、硬皮甜瓜(var. *cantalupensis*)、网纹甜瓜(var. *recticulatus*)、香瓜(var. *makuwa*)和越瓜(var. *conomon*)变种类型。这些甜瓜变种在植株形态、果实的生长发育、成熟类型及香气特征等方面表现出丰富的多样性,因此甜瓜被称作“多态性种”^[1-2]。甜瓜的果实品质由芳香物质、糖酸比、质地及风味等诸多因素构成^[3-6],果实的香气特征是影响消费者选择的重要因素之一,也越来越受到种植者和品质育种学家的广泛重视。甜瓜果实的香气物质种类主要有酯类、醛类、酮类、醇类、含硫化合物和挥发性萜类物质等,其合成途径多样,主要来源于氨基酸、脂肪酸、类胡萝卜素和萜类等营养物质的代谢,如氨基酸转氨作用、脂质过氧化、类胡萝卜素的降解等^[7-9]。不同香味类型的芳香成分以不同的配比相互作用而形成了甜瓜香气的果香型、清香型、醛香型、花香型等。随着科学技术的发展,在甜瓜中已经鉴定出超过240种挥发性成分^[10]。周莉等^[11]研究表明不同变种甜瓜的成熟性状及其香气特征共同决定了果实品质的差异性及多样性,在跃变类型甜瓜果实中酯类物质含量普遍高于非跃变类型,而在非跃变类型果实中醛类物质含量普遍高于跃变类型。徐伟欣等^[12]对不同变种甜

瓜果实成熟期的理化性状进行分析,表明醇类物质含量与其他成熟性状的关联度最高,其次是呼吸速率、乙烯释放速率、黄化、脱落、香气总量及非乙酸酯类含量等。

甜瓜果实的香气特征是影响消费者选择的主要因素之一,因此针对香气品质的育种也成为育种家的目标之一。迄今,对于不同变种甜瓜杂交后代中香气组成特征及主要香气物质的变化研究尚鲜见有报道。为探索不同变种类型甜瓜中香气物质组成特征及其在杂交后代中的变化,本研究采用气相色谱质谱联用技术(GC-MS)对4个甜瓜变种及其4个杂交组合成熟果实的香气成分进行了测定,并对其进行主成分分析,以期为甜瓜种质资源香气特征的评价及品质育种提供技术方法和理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

本研究选用了4个性状差异很大的甜瓜(*Cucumis melo* L.)变种香瓜、硬皮甜瓜、冬甜瓜和越瓜,以及它们的4个杂交组合(表1)。其中,甜宝属于香瓜变种,为薄皮甜瓜类型,平均单果重只有375 g,可溶性固形物含量为13.1%;Charentais属于硬皮甜瓜变种,厚皮甜瓜,为典型的呼吸跃变类型,在成熟的3~5 d内果实会迅速黄化、脱落、果肉软化,橘红色果肉,可溶性固形物含量为10.9%;哈密瓜类

表1 实验材料

Table 1 Materials used in the experiment

材料 Accession	代码 Code	DPH/d	FW/g	Brix/%	变种 Variety	类型 Type
甜宝 Tianbao	TB	33c	375e	13.1a	香瓜 <i>C. melo</i> var. <i>makuwa</i> Makino	薄皮甜瓜 Oriental sweet melon
Charentais	Cha	41b	520d	10.9b	硬皮甜瓜 <i>C. melo</i> var. <i>cantalupensis</i> Naud.	欧洲类型 Cantaloupe
八棱脆 Balengcui	BLC	31c	643c	3.7d	越瓜 <i>C. melo</i> var. <i>conomon</i> Makino	菜瓜 Oriental melon
皇后 Queen	Queen	51a	1 435a	12.8a	冬甜瓜 <i>C. melo</i> var. <i>inodorus</i> Naud.	哈密瓜类型 Hami
Charentais×Tianbao	Cha×TB	35c	518d	9.9b		
Balengcui×Charentais	BLC×Cha	34c	600c	8.1c		
Queen×Charentais	Queen×Cha	42b	1 177b	9.8b		
Charentais×Queen	Cha×Queen	42b	1 235b	12.0a		

注:DPH. 果实开花到采收的时间;FW. 单果重;Brix. 可溶性固形物含量;同一列不同小写字母表示材料间在0.05水平上的显著性差异。

Note: DPH. Days from pollination to harvest; FW. Fruit weight; Brix. Soluble solid content of flesh. Different letters in the same column mean significant differences among materials at 0.05 level.

型的皇后属于冬甜瓜变种,平均单果重亦最大(1 435 g),果肉浅橘色,可溶性固形物含量为12.8%,为典型的非呼吸跃变类型,成熟缓慢,果实发育期长达51 d;与以上3个材料差异最大的是属于越瓜变种的八棱脆,为菜瓜类型,多用于腌渍食用,可溶性固形物含量仅有3.7%。用这4个变种配制的4个杂交组合中,组合3和组合4为相同父母本的正反交,用于观察甜瓜果实香气特征的变化。

1.2 实验方法

实验材料于2012年3~7月种植于天津大学北辰区实验基地大棚中,每个材料种植20株,采用单蔓整枝,吊蔓、微灌栽培方式,在果实生理成熟期采样,测定果实的成熟性状及香气成分,每个处理测定3个单瓜。

1.2.1 香气成分的测定 采用固相微萃取方法(SPME),取样前先将固相微萃取头(美国 Supleco公司的100 μm 固相微萃取头 PDMS)在气相色谱进样口老化2 h(老化温度250 $^{\circ}\text{C}$)。将甜瓜果实中间部分果肉打浆,4层纱布过滤后离心,取8 mL果汁放入15 mL的顶空瓶,添加2.8 g分析盐NaCl,60 $^{\circ}\text{C}$ 萃取30 min,用气相色谱质谱联用仪(GC-MS)进行检测分析。

GC-MS分析条件:使用美国 Finnigan公司Trace GC-MS气质联用仪,安捷伦科技公司HP-INNOWAX(30 m \times 250 μm \times 0.25 μm)色谱柱进行气相测定,进样口温度230 $^{\circ}\text{C}$ 下解析5 min,升温程序为40 $^{\circ}\text{C}$ 保持2 min,以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至95 $^{\circ}\text{C}$,然后以2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至160 $^{\circ}\text{C}$,再以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至230 $^{\circ}\text{C}$ 保持2 min,载气为氦气。

1.2.2 呼吸速率及乙烯释放速率的测定 将甜瓜材料放置于密封干燥器中静置2 h,然后用便携式二氧化碳测定仪测定顶空气体中二氧化碳的浓度,计算其呼吸速率;抽取20 mL气体,用岛津GC-2010气相色谱仪检测气体中乙烯含量,检测条件为火焰离子检测器(FID),进样口温度110 $^{\circ}\text{C}$,柱温80 $^{\circ}\text{C}$,检测器温度110 $^{\circ}\text{C}$,载气(N_2)流速35 mL/min,根据所测的峰面积来计算乙烯释放速率。测定方法参照文献[11]。

2 结果与分析

2.1 甜瓜不同变种及其杂交组合成熟果实香气组成特征分析

芳香物质的组成和含量是衡量甜瓜品质的重要指标^[13]。本研究采用GC-MS分析方法,测定了4

个甜瓜不同变种材料及其4个杂交组合在果实成熟时期的香气物质组成,共检测到了167种香气物质,主要包括乙酸酯类、非乙酸酯类、醇类、醛类、酮类、含硫化合物及其它类物质,其它类物质主要有烯、醚、酸、烷、呋喃、萘和酚类等。以上各类香气物质相对含量见表2。

从表2可以看出,这4个亲本材料香气组成差异很大。除了八棱脆菜瓜外,酯类物质是甜瓜果实的主要香气成分,尤其以非乙酸酯(NAEPC)占有的比例最大。典型呼吸跃变类型的Charentais成熟果实中酯类物质含量最高(92.38%),其中非乙酸酯含量达78.23%,而其醇类物质(AloPC)和醛类物质(AIPC)的含量则最低,分别为4.20%和0.20%。与之形成鲜明对照的是八棱脆菜瓜,酯类物质含量仅20.55%,远低于其它3个变种材料,而醛类物质含量却高达48.22%,分别是Charentais、甜宝、皇后的241倍、29.4倍、8.8倍。醇类物质含量在八棱脆和皇后中无显著性差异,分别为27.01%和28.65%,其远高于Charentais(4.20%)和甜宝(9.45%)。

在4个杂交组合的F₁果实中,酯类物质含量居于双亲之间,且偏向于高亲值;醛类物质含量均与低亲值无显著性差异。醇类物质含量除了在组合1中略低于低亲值外,在其它3个组合中均介于双亲之间。另外,4个组合F₁果实中含硫化合物含量(SPC)均介于双亲之间。而酮类物质(KPC)和其他类物质含量(OASPC),在亲本和杂交F₁代之间未显示出规律性的变化。厚皮甜瓜皇后与Charentais的正反交F₁代皇后×Charentais和Charentais×皇后组合中乙酸酯(AEPC)和醇类这两类物质的含量表现趋势相同,均介于亲本之间并偏向呼吸跃变类型的Charentais;香气总峰面积(TPA,香气物质总量)、香气种类数、其他类物质含量以及含硫化合物含量等在这2个亲本的正反交组合中表现趋势亦相同。

香气物质总量及香气种类在不同变种及杂交组合间也均存在着不同幅度的变化。典型呼吸跃变类型的Charentais香气浓郁,香气物质总量最高(1.58×10^9),而薄皮甜瓜甜宝的香气种类数最多(达71种);菜瓜八棱脆的香气物质总量和种类数均最低,分别为 3.65×10^8 和35种,哈密瓜类型的皇后介于中间。4个杂交组合中,组合1(Charentais×甜宝)、组合3(皇后×Charentais)和组合4(Charentais×皇后)的果实中的香气物质总量均介于亲本之间,且组合3和组合4中香气物质总量偏向高亲值。而由差

表 2 4个甜瓜变种及杂交组合果实成熟时期香气物质相对含量

Table 2 The relative contents of aromatic components in four combinations of melon at harvest stage

组合 Combination	材料 Accession	TPA	Num	相对含量 Relative content/%								
				AEPC	NAEPC	AloPC	AlPC	KPC	SPC	OASPC	EPR	RR
组合 1 Combination 1	Cha	1.58E+09b	58c	14.15b	78.23a	4.20d	0.20d	0.60c	4.13c	2.70e	74.7a	7.2a
	TB	7.20E+08d	71a	11.09c	53.02d	9.45c	1.64c	0.25d	9.73a	24.55a	19.6e	2.8c
	Cha×TB (F ₁)	1.09E+09c	53d	11.90c	77.71a	2.74e	0.13d	1.45a	5.85b	6.07b	48.1c	4.8b
组合 2 Combination 2	BLC	3.65E+08f	35e	1.90e	18.65e	27.01a	48.22a	0.71c	0.95e	3.51d	27.5d	0.6d
	Cha	1.58E+09b	58c	14.15b	78.23a	4.20d	0.20d	0.60c	4.13c	2.70e	74.7a	7.2a
	BLC×Cha (F ₁)	2.91E+09a	52d	6.84d	75.40a	12.41b	0.17d	0.00e	3.55c	5.17c	18.5e	0.1e
组合 3 Combination 3	Queen	5.44E+08e	61bc	7.99d	53.84d	28.65a	5.50b	1.91a	0.83e	2.11e	4.0f	0.9d
	Cha	1.58E+09b	58c	14.15b	78.23a	4.20d	0.20d	0.60c	4.13c	2.70e	74.7a	7.2a
	Queen×Cha (F ₁)	1.53E+09b	59c	22.13a	61.58c	10.02bc	0.08d	1.07b	3.29c	5.12c	64.2b	0.7d
组合 4 Combination 4	Cha	1.58E+09b	58c	14.15b	78.23a	4.20d	0.20d	0.60c	4.13c	2.70e	74.7a	7.2a
	Queen	5.44E+08e	61bc	7.99d	53.84d	28.65a	5.50b	1.91a	0.83e	2.11e	4.0f	0.9d
	Cha×Queen (F ₁)	1.53E+09b	65b	10.85c	70.78b	10.82bc	0.57d	0.69c	2.68d	6.29b	63.7b	3.0c

注:TPA. 香气总峰面积(香气物质总量,采用科学计数法);Num. 香气种类数;AEPC. 乙酸酯含量;NAEPC. 非乙酸酯含量;AloPC. 醇类物质含量;AlPC. 醛类物质含量;SPC. 含硫化合物含量;KPC. 酮类物质含量;OASPC. 其他类物质含量;RR. 呼吸速率($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);EPR. 乙烯释放速率($\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)。同一列不同小写字母表示材料间在0.05水平上的显著性差异;下同。

Note: TPA. Total peak area(Total content of aromatic components, expressed in scientific notation); Num. Number of aromatic components; AEPC. Acetate esters percentage composition; NAEPC. Non-acetate esters percentage composition; AloPC. Alcohols percentage composition; AlPC. Aldehydes percentage composition; SPC. Sulfur compounds percentage composition; KPC. Ketones percentage composition; OASPC. Other aroma substances percentage composition; RR. Respiration rate ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); EPR. Ethylene production rate ($\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$). Different letters in the same column mean significant differences among materials at 0.05 level. The same as below.

异最大的2个材料杂交而来的组合2(八棱脆×Charentais)的香气总量显著高于其双亲,大约分别是亲本八棱脆和Charentais的近8和2倍,表现出超亲的特征;对于香气种类,组合4果实中香气种类数高于双亲,表现出超亲的特征,其余组合果实的香气种类数均介于两亲本之间。

2.2 甜瓜果实香气组成的主成分分析

不同变种类型的甜瓜果实在成熟时,其乙烯释放速率、呼吸强度等差异很大,它们与香气特征之间可能存在一定联系^[5,14]。本研究对各供试材料成熟果实的呼吸速率和乙烯释放速率也进行了测定(表2),并与其它香气指标一起进行了主成分分析,得到的主成分因子载荷表见表3。

由表3可以看出,前3个主成分的累积贡献率达到了77.80%。其中,PC1解释了43.37%的贡献率,主要与甜瓜果实中酯类物质含量(NAEPC, AEPC)、香气种类数(Num)及含硫化合物含量(SPC)呈正相关(载荷值为0.853~0.647),与醇类物质(AloPC)和醛类物质(AlPC)的含量呈负相关(载荷值为-0.921,-0.871);PC2则主要与其他类物质含量(OASPC)呈正相关(载荷值为0.930),与乙烯释放速率呈负相关(载荷值为-0.561)。

在图1,A中,典型呼吸跃变类型的Charentais

表 3 甜瓜果实香气组成主成分因子载荷表

Table 3 Contribution percentages and characters associated with the first three principal components of aroma

性状 Character	主成分因子载荷值 Factor loading values of principal component		
	PC1	PC2	PC3
AloPC	-0.921	0.064	0.101
AlPC	-0.871	0.042	-0.071
NAEPC	0.853	-0.323	-0.128
AEPC	0.711	-0.242	0.316
Num	0.690	0.367	0.321
RR	0.606	-0.187	0.289
OASPC	0.328	0.930	0.053
SPC	0.647	0.691	0.040
EPR	0.521	-0.561	0.071
KPC	-0.236	-0.373	0.803
TPA	0.483	-0.299	-0.769
方差贡献率 Variance contribution rate/%	43.37	20.21	14.22

因其酯类物质尤其是非乙酸酯类物质含量及乙烯释放速率显著高于其他材料,从而位于PC1的正向与PC2的负向区域。八棱脆和皇后由于醛类及醇类物质含量较高而位于PC1的负轴方向,尤其是八棱脆中醛类物质含量最高,位于PC1的最负向,其杂交

组合八棱脆×Charentais 则主要沿 PC1 分布于亲本之间;正反交组合皇后×Charentais 和 Charentais×皇后均分布于 PC1 的正向与 PC2 的负向区域,均介于双亲之间。甜宝位于 PC2 的最负向,该材料成熟果实中的其它类物质含量显著高于其它材料;杂交组合 Charentais×甜宝主要沿 PC2 分布,并位于双亲之间,但更接近母本 Charentais。

PC3 解释了 14.22% 的贡献率(表 3),主要与酮类物质含量(KPC)呈正相关(载荷值为 0.803),与香气总峰面积(TPA)呈负相关(载荷值为 -0.769)。杂交组合八棱脆×Charentais 的香气总峰面积显著高于其它材料,且未检测到酮类物质,因此位于 PC3 的最负向;组合 Charentais×甜宝的香气总峰面积也介于双亲之间,但酮类物质含量显著高于双亲,位于双亲的上方;组合皇后×Charentais 沿 PC3 位于双亲之间,其香气总峰面积和酮类物质的含量均表现为介于亲本之间;组合 Charentais×皇后中酮类物质含量和香气总峰面积均与 Charentais 无显著性差异,但酮类物质含量低于组合皇后×Charentais,分布于双亲下方区域接近 Charentais(图 1,B)。

2.3 甜瓜不同变种及杂交组合果实中特征性香气成分分析

甜瓜的香气成分是复杂的挥发性化合物的混合物,不同类型甜瓜具有多种特征效应化合物^[15-17]。根据主成分分析结果,从 167 中香气成分中选列出在不同变种及其杂交组合成熟果实中表现出差异的部分香气成分(表 4)。

首先,属于硬皮甜瓜变种的 Charentais 为典型的呼吸跃变类型,在成熟时伴随乙烯急剧升高,果实迅速黄化、脱落,果肉变软。用该材料配制的 4 个组

合 F₁ 果实均表现出不同程度的呼吸跃变(表 2)。其果实中香气成分主要以小分子酯类物质为主,包括 2-甲基丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯及丁酸乙酯,相对含量分别为 15.63%、10.58%、10.01% 和 7.79%,远高于其它 3 个变种果实中的含量(0~6.47%);在 4 个杂交后代果实中这几种小分子酯类含量大部分表现为中间值,只有 Charentais×甜宝中的丁酸乙酯和 Charentais×皇后中的乙酸己酯的含量高于 Charentais。苯乙酸乙酯在 Charentais 虽然相对含量较低(0.87%),但除了在皇后中检测到微量(0.13%)外,在其它 2 个变种中未检测到,在 3 个杂交组合中可以检测到少量(0.16%~0.50%)。由此可看出这些酯类物质,尤其是小分子酯类与甜瓜果实的呼吸跃变有着较紧密的联系,使甜瓜果实呈现浓郁的香甜气味^[17]。

其次,典型的非呼吸跃变类型皇后果实中检测出非常突出的九碳醇类化合物:(Z)-3-壬烯-1-醇(17.07%)和(E,Z)-3,6-壬二烯-1-醇(7.88%),相对含量远远高于其它 3 个变种,在与 Charentais 正反交组合中这 2 种醇类均表现出中间偏低值。Kourkoutous^[10]在属于冬甜瓜变种的 HoneyDew 中测得较高的九碳醇类物质含量,是其特征性香气物质,或者可以认为这类九碳化合物是冬甜瓜变种的特征香气成分。

再次,上述主成分分析结果显示高的醇醛类化合物含量和低的酯类化合物含量使得属于越瓜变种的八棱脆远远偏离其它 3 个变种材料。表 4 中丰富的不饱和九碳醛醇类化合物含量成为八棱脆的特征性物质,如(E,Z)-2,6-壬二烯醛、(E)-6-壬烯醛、(E)-2-壬烯醛、壬醛、(6Z)-壬烯-1-醇和 1-壬醇的相

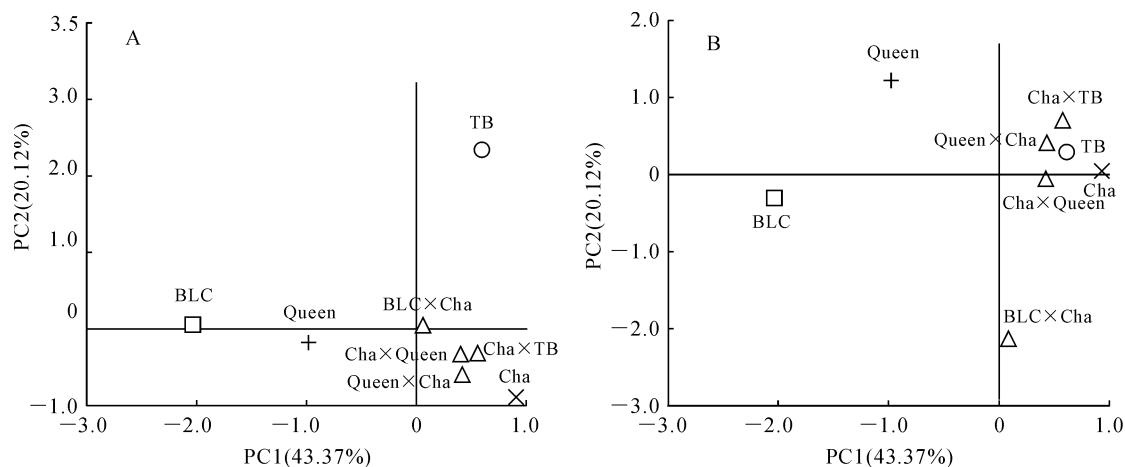


图 1 甜瓜果实香气组成等性状主成分分析

Fig. 1 Principal component plots of aroma volatile characteristics of melon

表4 甜瓜不同变种及杂交组合的特征性香气成分含量
Table 4 Characteristic aroma volatile in nature fruit from differential varieties and crossing combinations of melon

Name of the main aroma components 主要香气成分名称	主要香气成分含量 Main aroma components/%								
	Retention time/min 保留时间	Cha	TB	Cha×TB	BLC	BLC×Cha	Queen	Queen×Cha	Cha×Queen
丁酸乙酯 Ethyl butanoate	5.83	7.79	0.87	9.89	3.61	1.55	4.30	0.86	
2-甲基丁酸乙酯 Ethyl 2-methyl-butanoate	6.28	15.63		1.02	1.59	0.06	3.99		
己酸乙酯 Ethyl hexanoate	13.75	10.58	0.27	3.29	1.71	1.54	1.18	4.47	0.41
乙酸己酯 Hexyl acetate	16.38	10.01	6.47	6.08	2.26	6.42	5.22	9.76	12.60
壬醛 Nonanal	22.43		0.25	0.13	3.17		4.10	0.08	
(E)-6-壬烯醛 (E)-6-nonenal	26.02		0.45		13.46			0.10	
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	30.71			10.19				0.28	
(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-nonadienal	33.31			19.68	0.17		0.19		
乙基(+-)-3-乙酰氨基丁酸酯 Ethyl (+)-3-acetoxybutyrate	33.38	1.07	0.26	0.59		0.33	0.05	0.47	
烯丙基甲基硫醚 Sulfide,allyl methyl	35.08		9.28	1.95		1.42	0.29	1.56	1.11
2,4-二乙酰氨基戊烷 2,4-diacetoxypentane	36.13		1.56	0.71	0.28	0.83	0.41	0.46	0.55
1-壬醇 1-nonal	36.4		0.35		7.37	0.57	1.54	0.63	0.40
(Z)-3-壬烯-1-醇 (Z)-3-nonen-1-ol	37.21		0.88		1.65		17.07	3.40	2.91
(6Z)-壬烯-1-醇 (6Z)-nonen-1-ol	38.38		0.18		9.02	2.73		0.75	
(E,Z)-3,6-壬二烯-1-醇 (E,Z)-3,6-nonadien-1-ol	39.48	0.23	1.27		1.68	8.32	7.88	3.41	3.32
苯乙酸乙酯 Benzeneacetic acid,ethyl ester	40.58	0.87		0.50		0.16	0.17	0.14	
己二酸-二(2-甲基丙基)酯 Hexanedioic acid,bis(2-methylpropyl) ester	48.92		0.28		1.50	0.16	0.13		
丁香酚 Eugenol	49.42		4.29	0.87		0.13		0.41	0.49
二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	51.54		0.19			0.38	0.19	0.21	

注:表中数据为基于总峰面积的平均相对百分含量。

Note: Data in table were average of relative area percentage on a total peaks area basis.

对含量分别高达 19.68%、13.47%、10.19%、3.17%、9.02% 和 7.37%，而它们除了部分在甜宝和皇后中检测出较低的量外 (0.10%~1.54%)，在 Charentais 中均未检测出来。在这两个极端类型的杂交组合 (八棱脆 \times Charentais) F_1 果实中，醛类化合物含量倾向于父本 Charentais 的表现，相对含量为 0~0.17%。

同时，表 3 的主成分分析结果显示，其它类物质含量 (OASPC) 是香瓜变种材料甜宝的一个主要特征。从表 4 可以看到甜宝中烯丙基甲基硫醚、丁香酚和 2,4-二乙酰氧基戊烷的相对含量分别为 9.28%、4.29% 和 1.56%，显著高于其它材料几倍到几十倍不等。这或许是导致甜宝中其它物质含量 (包括烯、醚、酸、烷、呋喃、萘、酚类及含硫化合物) 以及香气种类数显著高于其它 3 个变种材料的主要原因。烯丙基甲基硫醚、丁香酚和 2,4-二乙酰氧基戊烷这 3 种成分在 Charentais 中均未检测到，在两者的杂交组合 (Charentais \times 甜宝) 果实中亦含量甚低 (0.71%~1.95%)。

另外，从表 4 中还观察到二氢猕猴桃内酯仅在桔色果肉的 Charentais、皇后及其杂交组合中检测到 (0.19%~0.38%)，该化合物是类胡萝卜素的降解产物之一，对甜瓜果实风味具有重要影响。有研究报道相对于白色和绿色果肉，在桔色果肉的甜瓜中含有较丰富的类胡萝卜素^[20]，本研究测定结果可以说明桔色果肉甜瓜中的高类胡萝卜素含量是果实中二氢猕猴桃内酯产生的重要物质基础。

3 讨 论

关于香气物质的遗传研究，在葡萄上有根据加性-显性与环境互作的遗传模型对其具体香气成分的遗传效应进行分析的报道^[18-19]。甜瓜上关于品质性状的遗传研究主要集中在含糖量和果实颜色等性状上。对甜瓜果实香气物质的研究多是不同学者对不同类型甜瓜果实的香气分别进行研究。而甜瓜变种类型丰富，不同变种间差异很大，对多个变种甜瓜的香气特征进行系统分析的研究报道较少^[11-12]，对不同变种杂交后代中香气组成的变化规律的研究更是尚未见报道。本研究中的 4 个变种甜瓜材料在香气总峰面积、种类数及香气组成特征上表现出很大差异，对 4 个变种及 4 个杂交组合成熟果实中香气组成等 11 个性状的主成分分析结果显示，酯类物质含量、醛类物质含量、醇类物质含量以及其他类物质

含量等可以显著区别这 4 个不同的甜瓜变种；这些香气类物质含量在不同变种间的杂交 F_1 果实中表现趋势不同；主成分 PC1 和 PC2 使得 4 个杂交组合位于亲本的中间，但主成分 PC3 的与香气总峰面积 (TPA) 的负相关，使得八棱脆 \times Charentais 组合远远偏离亲本及其它组合。在本研究选用的 4 个亲本材料中，八棱脆和 Charentais 表现的差异最大，或许是由于这个原因使其杂交组合 F_1 表现出超亲现象。

本研究中 4 个不同变种甜瓜的香气组成特征差异较大，Charentais 的香气成分以小分子的酯类为主；八棱脆菜瓜则含有丰富的九碳醇醛类化合物；皇后中香气成分主要 (Z)-3-壬烯-1-醇和 (E,Z)-3,6-壬二烯-1-醇等醇类物质；甜宝中烯丙基甲基硫醚、2,4-二乙酰氧基戊烷和丁香酚的含量显著高于其它材料。有研究报道酯类化合物是跃变型甜瓜的主要芳香物质，尤其是非乙酸酯类，而醛类化合物则是非跃变型品种的主要芳香物质^[21]，本研究结果也证实了这一点。但是本研究在材料 Charentais 中检测到的酯类物质主要是 2-甲基丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、丁酸乙酯及苯乙酸乙酯，与 Obando-Ulloa^[21] 在跃变型甜瓜果实报道的乙酸丙酯、乙酸丁酯、乙酸甲酯、乙酸己酯和乙酸苄酯有所不同，这可能是由于所选用的品种不同而导致的。本研究中在变种越瓜材料八棱脆中检测到丰富的不饱和九碳醇醛类化合物为其特征性物质，该结果与徐伟欣等^[12] 在同为越瓜变种的一窝猴菜瓜中的测定结果一致。这类物质的高含量和酯类物质的低含量协同作用，使得八棱脆表现出典型的黄瓜清香味。另外，本研究在八棱脆中检测到很高的 (E,Z)-2,6-壬二烯醛含量 (19.68%)，这也证实了 Perry^[22] 的研究结论，即九碳醇醛类化合物，尤其是 (E,Z)-2,6-壬二烯醛可能是导致甜瓜 (冬甜瓜变种) 中黄瓜味道的重要影响化合物。

不同类型的香气类物质在不同变种的杂交后代中表现趋势不同。大部分的酯类化合物含量在 F_1 代果实中居于双亲之间，且偏向于高亲值，这与呼吸跃变性状表现一致。而醛类、醇类以及其它类化合物含量在 F_1 代均表现为接近低亲值。上述遗传表现对于甜瓜育种中亲本的选配具有现实指导意义。如果想培育香气浓郁的甜瓜品种，亲本之一酯类含量要尽可能高，而另外一个亲本的醛类及醇类含量则尽量低；相反，如果欲培育适合糖尿病人食用的甜瓜品种，则 2 个亲本的酯类含量均要相对降低。

参考文献:

- [1] WEN L X(文乐欣),ZHOU L(周 莉),LIU L(刘 莉),et al. Multivariate analysis on bioagronomical traits of *Cucumis melo* L. germplasm[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*(华北农学报),2011,26(S2):37—42(in Chinese).
- [2] LIU L,KAKIHARA F,KATO M. Characterization of six varieties of *Cucumis melo* L. based on morphological and physiological characters,including shelf-life of fruit[J]. *Euphytica*,2004,135(3):305—313.
- [3] BEAULIEU J C. Volatile changes in cantaloupe during growth,maturation and in stored fresh-cuts prepared from fruit harvested at various maturities[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*,2006,131(1):127—139.
- [4] FERNANDEZ-TRUJILLO J P,OBANDO J,MARTINEZ J A,et al. Climacteric and non-climacteric behavior in melon fruit:2. Linking climacteric pattern and main postharvest disorders and decay in a set of near-isogenic lines[J]. *Postharvest Biology and Technology*,2008,50(2—3):125—134.
- [5] AMARO A L,BEAULIEU J C,GRIMM C C,et al. Effect of oxygen on aroma volatiles and quality of fresh-cut cantaloupe and honeydew melons[J]. *Food Chemistry*,2012,130(1):49—57.
- [6] LIU L(刘 莉),KAKIHARA F(柿原文香),KATO M(加藤正弘). Differences of shelf-life in some melons including six varieties of *Cucumis melo* L. [J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报),2004,31(6):817—819(in Chinese).
- [7] GOFF S A,KLEE H J. Plant volatile compounds:Sensory cues for health and nutritional value[J]. *Science*,2006,311(5 762):815—819.
- [8] LEWINSOHN E,SITRIT Y,BAR E,et al. Carotenoid pigmentation affects the volatile composition of tomato and watermelon fruits,as revealed by comparative genetic analyses[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,2005,53(8):3 142—3 148.
- [9] MA Y K,HU X S,CHEN J,et al. The effect of freezing modes and frozen storage on aroma,enzyme and micro-organism in Hami melon [J]. *Food Science and Technology International*,2007,13(4):259—267.
- [10] 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.
- [11] ZHOU L(周 莉),LIU L(刘 莉),LIU X(刘 翔),et al. Diversity analysis of aroma and other mature fruit characters among different varieties of *Cucumis melo* L. [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*(华北农学报),2013,28(3):102—108(in Chinese).
- [12] XU W X(徐伟欣),LIU L(刘 莉),SHE J H(余建华),et al. Key properties that determine differential fruit quality of melon varieties [J]. *Food Science*(食品科学),2014,35(9):33—37(in Chinese).
- [13] ESCRIBANO S,SANCHEZ F J,LAZARO A. Establishment of a sensory characterization protocol for melon (*Cucumis melo* L.) and its correlation with physical-chemical attributes:indications for future genetic improvements[J]. *European Food Research and Technology*,2010,231(4):611—621.
- [14] QIAN Z W(潜宗伟),TANG X W(唐晓伟),WU ZH(吴 震),et al. Comparison of the aromatic compounds and nutritional quality among different types of melon fruits[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*(中国农学通报),2009,25(12):165—171(in Chinese).
- [15] BEAULIEU J C,GRIMM C C. Identification of volatile compounds in cantaloupe at various developmental stages using solid phase micro-extraction[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,2001,49(3):1 345—1 352.
- [16] AUBERT C,BOURGER N. Investigation of volatiles in charentais cantaloupe melons (*Cucumis melo* var. *cantalupensis*). Characterization of aroma constituents in some cultivars[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,2004,52(14):4 522—4 528.
- [17] SAFTNER S,ABBOTT J A,LESTER G,et al. Sensory and analytical comparison of orange-fleshed honeydew to cantaloupe and green-fleshed honeydew for fresh-cut chunks[J]. *Postharvest Biology and Technology*,2006,42(2):150—160.
- [18] LI K(李 坤),GUO X W(郭修武),XIE H G(谢洪刚),et al. The analyses of inheritance of aroma components in progenies of selfing and crossing combination of grape[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报),2005,32:218—221(in Chinese).
- [19] LI J M(李记明),HE P CH(贺普超). Inheritance of aroma components in *Vitis* interspecific Crossings[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报),2002,29(1):9—12(in Chinese).
- [20] IBDAH M,AZULAY Y,PORTNOY V,et al. Functional characterization of *CmCCD1*,a carotenoid cleavage dioxygenase from melon[J]. *Phytochemistry*,2006,67(15):1 579—1 589.
- [21] OBANDO-ULLOA J M,MORENO E,GARCIA-MAS J,et al. Climacteric or non-climacteric behavior in melon fruit 1. Aroma volatiles [J]. *Postharvest Biology and Technology*,2008,49(1):27—37.
- [22] PERRY P L,WANG Y,LIN J M. Analysis of honeydew melon(*Cucumis melo* var. *inodorus*) flavor and GC-MS/MS identification of (E,Z)-2,6-nonadienyl acetate[J]. *Flavour and Fragrance Journal*,2009,24(6):341—347.

(编辑:裴阿卫)