

‘星都 1 号’和‘星都 2 号’草莓及其亲本果实挥发性物质的分析

张运涛^{1,2}, 王桂霞², 董静², 周慧轶¹, 孔瑾¹, 韩振海¹

(¹ 中国农业大学园艺植物研究所, 北京 100193; ² 北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093)

摘要: 【目的】研究草莓的特征香味成分的异同和遗传趋势, 为草莓的香味育种提供依据。【方法】以草莓品种‘星都 1 号’和‘星都 2 号’及其母本‘全明星’和父本‘丰香’4 个品种为试材, 采用顶空固相微萃取和气相色谱—质谱联用技术, 分析各自果实香气成分。【结果】‘星都 1 号’的挥发物质共 50 种, 香味物质有己酸甲酯、己酸乙酯、丁酸甲酯、丁酸乙酯、辛酸甲酯、辛酸乙酯和己酸异戊酯等; ‘星都 2 号’的挥发物质共 71 种, 主要香味物质与姊妹系‘星都 1 号’非常类似。‘全明星’的挥发物质共 55 种, 主要有丙酮、乙酸-1-甲基-乙酯、1-辛醇、己酸乙酯和丁酸甲酯等; ‘丰香’的挥发物质共 43 种, 主要有己酸乙酯、橙花叔醇、1-辛醇、己酸甲酯、辛酸乙酯、乙酸辛酯和己酸异戊酯等。‘星都 1 号’和‘星都 2 号’中丁酸甲酯、丁酸乙酯、己酸甲酯、己酸乙酯和己酸异戊酯受到父母本的共同影响。香味醇类(橙花叔醇、沉香醇和 1-辛醇)在‘丰香’中含量最高, ‘星都 1 号’、‘星都 2 号’和‘全明星’含量均较低。母本挥发物中丙酮和乙酸-1-甲基-乙酯含量最高, 两个后代居中, 父本中没有检测到这两种物质。【结论】己酸甲酯、己酸乙酯、丁酸甲酯、丁酸乙酯和己酸异戊酯受到父母本的共同影响, 丙酮和乙酸-1-甲基-乙酯主要来自母本遗传。香味醇在父本中含量高, 母本和后代含量低。

关键词: 草莓; 品种; 亲本; 香气成分

Analysis of Volatile Components in Strawberry Cultivars ‘Xingdu 1’ and ‘Xingdu 2’ and Their Parents

ZHANG Yun-tao^{1,2}, WANG Gui-xia², DONG Jing², ZHOU Hui-yi¹, KONG Jin¹, HAN Zhen-hai¹

(¹Institute of Horticultural Plants, China Agricultural University, Beijing 100193; ²Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100093)

Abstract: 【Objective】 The objective of the study was to compare the difference and genetic trends of volatiles in ‘Xingdu 1’ and ‘Xingdu 2’ strawberry cultivars with their parents. 【Method】 The volatile components were analyzed by head space-solid phase microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry. 【Result】 A total of 50 compounds were identified, including hexanoic acid methyl ester and hexanoic acid ethyl ester, butanoic acid methyl ester, and butanoic acid ethyl ester, octanoic acid methyl ester and octanoic acid ethyl ester, Isomyl hexanoate in ‘Xingdu 1’ cultivar. There were similar aroma compounds, a total of 71 compounds in ‘Xingdu 2’. A total of 55 volatiles were identified, including acetone, acetic acid 1-methylethyl ester, 1-octanol, hexanoic acid ethyl ester and butanoic acid methyl ester in ‘Allstar’. A total of 43 volatiles were identified, including hexanoic acid methyl ester nerolidol, 1-octanol, hexanoic acid methyl ester and octanoic acid ethyl ester, acetic acid octyl ester in ‘Toyonoka’. Hexanoic acid methyl ester and hexanoic acid ethyl ester, butanoic acid methyl ester, and butanoic acid ethyl ester and isomyl hexanoate in twins might linked to their parents. The quantity of nerolidol, linalool and 1-octanol in ‘Toyonoka’ was the highest, but lower in ‘Xingdu 1’ and ‘Xingdu 2’ and Allstar. Acetone, acetic acid 1-methylethyl ester in ‘Xingdu 1’ and ‘Xingdu 2’ originally came from ‘Allstar’ because there was the highest contents of the two compounds in ‘Allstar’, nor in ‘Toyonoka’. 【Conclusion】 Hexanoic

收稿日期: 2007-11-08; 接受日期: 2008-05-28

基金项目: 北京市政府定向购买科技服务项目 (20060303)

作者简介: 张运涛 (1963-), 男, 河北馆陶人, 研究员, 博士研究生, 研究方向为草莓育种和栽培。Tel: 010-82592157; Fax: 010-62598744; E-mail: zhytao1963@126.com

acid methyl ester and hexanoic acid ethyl ester, butanoic acid methyl ester, and butanoic acid ethyl ester and isomyl hexanoate in twins might linked to their parents. Acetone, acetic acid 1-methylethyl ester originally came from matrilinear inheritance. There were higher concentration of fragrance alcohols in ‘Toyonoka’, lower concentrations in ‘Allstar’ and ‘Xingdu 1’ and ‘Xingdu 2’.

Key words: Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.); Cultivars; Parents; Fragrance

0 引言

【研究意义】怡人的香气是优质鲜草莓的最重要特征,香气浓淡是衡量草莓品种好坏的最重要指标^[1]。在中国草莓生产中一般由日本品种和欧美品种两大类组成。一般而言,日本品种甜度高,香气浓,但不耐贮运,抗病性差;来自欧美的草莓品种果个大,产量高,硬度大,耐贮运,抗病性强,但酸度高,香味淡^[2,3]。‘丰香’和‘全明星’是中国草莓生产中的主栽品种,前者香甜可口,味浓,后者偏酸,香味淡。

‘星都 1 号’和‘星都 2 号’是从全明星×丰香杂交后代中选出的新品种,它们的糖度和香味品质优于母本,果个、硬度、抗病性好于父本,‘星都 1 号’的香味浓于‘星都 2 号’,但是它们的香味品质均未达到‘丰香’的水平^[4,5]。研究草莓亲本和后代之间香味成分的差异,可以探求草莓香味的遗传趋势,对草莓香味育种有指导意义。【前人研究进展】香气是由挥发性物质通过鼻腔壁黏液细胞的受体接收到的。而香气的浓淡受挥发物质的种类和组成的影响^[6]。目前草莓中已经有 360 多种挥发性物质被鉴定出来^[7,8],其中,酯类占的比重最大,萜类和硫化物虽然含量很少,但是对草莓的特征香气有重要作用^[8]。Perez 等^[9]根据香气性质把挥发物分 3 类,即果香味特征的丁酸甲酯、丁酸乙酯、乙酸丁酯、己酸甲酯、己酸乙酯等;生味特征的己烷、2-己烯、乙酸己酯、己醇;甜味物质呋喃酮。Carrasco 等^[10]研究了‘凤梨’草莓和‘弗吉尼亚’草莓杂交后代香味特征的遗传和香味成分。遗传力最高的化合物是 2-甲基乙酸丁酯、己-3-烯-1-醇,遗传力最低的是呋喃醇、乙酸丁酯和丁酸乙酯。在葡萄^[11,12]、香瓜^[13]、玫瑰^[14]和香稻^[15-19]上也有关于香味遗传的报道。【本研究切入点】‘丰香’品种是日本草莓中香味最突出的代表,‘全明星’是典型的欧美品种,‘星都 1 号’和‘星都 2 号’是中国草莓科技工作者选育出的新品种,许多学者对草莓香味的种类、发生机制和影响因子均进行了研究,但关于草莓亲本和后代之间香味的遗传特点研究报道较少。【拟解决的关键问题】本试验选用香味浓的‘丰香’和味淡的‘全明星’及其杂交后代‘星都 1 号’和‘星都 2 号’

草莓的果实为试材,通过气相色谱-质谱联用仪检测草莓挥发物的种类和相对含量,确定它们特征香味物质的异同点。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2005 年 5~6 月在北京市农林科学院林业果树研究所国家草莓资源圃进行。选取露地栽培的‘丰香’、‘全明星’、‘星都 1 号’和‘星都 2 号’全红期的新鲜样品 500 g,速冻于-40℃冰箱中待测。

1.2 草莓挥发物成分检测

1.2.1 SPME 取样 取样前先将固相微萃取头在气相色谱进样口老化 2 h,老化温度 250℃。选取充分成熟的草莓果实 8.3 g,打浆,迅速将其装入样品瓶内,上部留有约 2 cm 左右的空间,加盖封口。将老化好的萃取头插入样品瓶顶空部分,萃取 40 min,萃取温度为室温,然后将萃取头抽出插入气质联用仪,于 250℃解吸 1 min,进行 GC-MS 检测分析。

1.2.2 GC-MS 分析条件 岛津 GCMS-QP5050A GC-MS 气质联用仪。毛细管柱(DB-5MS):30 m×0.25 mm;膜厚度 0.25 μm;载气为 He;流速 1 ml·min⁻¹;进样量 0.5 μl;程序升温:60℃保持 2 min,以 8℃·min⁻¹升温到 220℃,保持 20 min。进样口温度 250℃;EI 离子源电子能量 70 eV,质量范围 30~550 amu。

未知化合物质谱图经计算机检索同时与 NIST library 和 Wiley library 两个质谱库相匹配,并结合人工图谱解析及资料分析对‘丰香’、‘全明星’、‘星都 1 号’和‘星都 2 号’4 个草莓品种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。

2 结果与分析

2.1 ‘星都 1 号’和‘星都 2 号’草莓与亲本挥发物质的比较

对‘星都 1 号’和‘星都 2 号’草莓与母本‘全明星’、父本‘丰香’的果实挥发物测定表明,4 个品种共检测到挥发物 118 种。‘星都 1 号’共 50 种,其中酯类 36 种(占 72.00%),醇 5 种(10.00%),酮 4 种(8.00%),醛 2 种(4.00%),酸 1 种(2.00%),

其它挥发物 2 种 (4.00%)；‘星都 2 号’共 71 种，其中酯类 38 种 (53.52%)，醇 8 种 (11.27%)，酮 4 种 (5.63%)，醛 4 种 (5.63%)，酸 3 种 (4.23%)，其它挥发物 14 种 (19.72%)；‘全明星’共 55 种，其中酯类 25 种 (45.45%)，醇 9 种 (16.36%)，酮 4 种 (7.27%)，醛 4 种 (7.27%)，酸 5 种 (9.09%)，其它挥发物 8 种 (14.55%)；‘丰香’共 43 种，其中酯类 28 种 (65.11%)，醇 3 种 (6.98%)，酮 3 种 (6.98%)，醛 2 种 (4.65%)，酸 4 种 (9.30%)，其它挥发物 3 种 (6.98%) (表)。综上所述，在 4 个品种的各自挥发物中，主要挥发物是酯类 (45.45%~72.00%)，这进一步说明了酯类在草莓香味中的重要性。

2.2 ‘星都 1 号’和‘星都 2 号’与亲本特征香味物质的比较

同前人在其它草莓品种上研究结果类似^[9,20]，己酸乙酯和己酸甲酯，丁酸乙酯和丁酸甲酯在 4 个品种的香味中均起重要作用。此外，它们的特征香味物质还有辛酸甲酯、辛酸乙酯和己酸异戊酯及其它酯类 (‘全明星’己酸异戊酯含量 0.39%)，‘星都 2 号’的特征香味物质与姊妹系‘星都 1 号’非常类似。它们己酸甲酯和己酸乙酯的相对含量更接近父本‘丰香’，而高于母本‘全明星’，父本‘丰香’丁酸乙酯含量高，丁酸甲酯含量低 (0.33%)，‘全明星’正好相反 (丁酸乙酯含量 0.28%)，两个姊妹系这两种物质含量高于亲本。‘星都 1 号’和‘星都 2 号’含有的辛酸甲酯、辛酸乙酯和己酸异戊酯可能受父本‘丰香’的影响较大。香味醇类 (橙花叔醇、沉香醇和 1-辛醇) 在父本‘丰香’中含量最高，‘星都 1 号’和‘星都 2 号’这 3 种醇的含量均低于 1%，母本‘全明星’除 1-辛醇含量较高外，其它两种醇的含量较低。星都 2 号二氢-5-庚基-2 (3H)-呋喃酮的含量较高，在父母本和‘星都 1 号’中呋喃酮的含量均较低。‘全明星’的挥发物中丙酮和乙酸-1-甲基-乙酯含量最高，‘星都 1 号’和‘星都 2 号’草莓中含量较高，在父本‘丰香’中没有检测到这两种物质。由此可见，这两种物质主要受母系遗传的影响。2-甲基丁酸和己酸在‘全明星’草莓上含量较高，乙酸酰胺、戊醛、2-氟代乙酰胺和 r-十二内酯 (0.96%) 是父本‘丰香’草莓特有的挥发物。

3 讨论

酯类是草莓香味中起作用最大的一类化合物，本

试验也进一步证明了这一点。但是，酯种类和浓度的不同，其香味类型和浓淡也不一样。己酸甲酯和己酸乙酯具有菠萝的果香味，丁酸甲酯和丁酸乙酯有苹果香气，低浓度时有香蕉和菠萝的果香味，辛酸甲酯有柑橘的香气和酒香，辛酸乙酯有类似白兰地的香气并有甜味，己酸异戊酯有很强的苹果、香蕉和菠萝的果香味^[21,22]。从 4 个品种所含酯的种类和浓度可以看出，姊妹系‘星都 1 号’和‘星都 2 号’具有类似的香型，由于前者酯的相对含量较高，这可能是‘星都 1 号’香味较‘星都 2 号’更浓的主要原因^[4,5]。

许多研究表明，酯类香味成分的生物合成前体是氨基酸、糖和脂质等，并且这些成分转化为酯类的合成路线也已经清楚，乙酰转移酶 (AAT) 和乙醇脱氢酶 (ADH) 在合成过程中起关键作用^[23~26]。氨基酸、糖类和脂质先转化为酸、醛或醇，然后再转化为酯，其中，酸和醇可以直接在 AAT 的作用下进行转化，而醛则必须先转化为酸或醇后才能再转化为酯。在醛与醇的转化过程需要有 ADH 的参与，ADH 存在于醇和醛之间的内在转换，并为酯和其它成分的合成提供前体^[6,24]。

乙酰转移酶 (AAT) 是酯合成的关键酶，此酶能催化由乙酰-CoA 向乙醇转移一个酰基的酯化反应，此反应中不同的底物来源影响着酯的种类^[25]。通过 PTR-MS 对草莓挥发物光谱和乙酰转移酶 (AAT) 平行性生化分析，发现 AAT 基因表达、AAT 总活性和果中的相关酯类有一定关系^[25]。有人设计了 12 个杂交组合研究了香稻的香味遗传，发现有些组合由两个隐性基因通过互补作用控制着香味，有些是显性基因控制，有些组合抑制基因对香味起着作用^[15~19]。

‘丰香’品种不但有高含量的己酸甲酯和己酸乙酯、辛酸甲酯和辛酸乙酯及己酸异戊酯，而且橙花叔醇、沉香醇和 1-辛醇的含量也非常高。橙花叔醇有苹果和玫瑰的香气，沉香醇有玫瑰和橙花的香气，1-辛醇有蔷薇的清香^[21,22]。姊妹系‘星都 1 号’和‘星都 2 号’这 3 种醇的含量较低，‘全明星’草莓不但香味酯的量低，香味醇的量也低；‘丰香’草莓香味酯和香味醇的量均高。这可能是‘丰香’草莓香味最浓，‘星都 1 号’和‘星都 2 号’香味居中，‘全明星’草莓香味最淡的主要原因。由于丙酮香味较淡^[21]，乙酸乙酯类具有较高的味阈值^[2]，因此，在‘全明星’、‘星都 1 号’和‘星都 2 号’草莓品种中，这些挥发物的含量虽然高，但是，它们对草莓香味的贡献率可能较小。由于小分子脂肪酸多有不愉快的气味，所以，

表 ‘星都 1 号’ 和 ‘星都 2 号’ 与父母本各类挥发物成分的比较

Table Comparison of a part of volatiles in ‘Xingdu 1’ and ‘Xingdu 2’ with their parents

化合物类别 Categories	化合物名称 Compounds	相对含量 Relative content (%)			
		‘全明星’ ‘Allstar’	‘丰香’ ‘Toyonoka’	‘星都 1 号’ ‘Xingdu 1’	‘星都 2 号’ ‘Xingdu 2’
酯类 Esters	(+/-)-2-甲基丁酸甲酯 Butanoic acid 2-methyl-, methyl ester, (+/-)-	-	-	1.86	0.79
	(E)-己酸-2-己烯酯 Hexanoic acid, 2-hexenyl ester, (E)-	-	-	-	0.50
	乙酸-1-甲基-乙酯 Acetic acid, 1-methylethyl ester	17.05	-	1.81	3.29
	丁酸-1-甲基-乙酯 Butanoic acid, 1-methylethyl ester	-	-	2.72	0.95
	丁酸-1-甲基-己酯 Butanoic acid, 1-methylhexyl ester	-	-	0.71	0.86
	丁酸-1-甲基-辛酯 Butanoic acid, 1-methyloctyl ester	-	0.98	-	-
	己酸-1-甲基-乙酯 Hexanoic acid, 1-methylethyl ester	-	-	2.31	0.86
	乙酸-2-乙基-己酯 Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	-	-	0.73	1.74
	丁酸-2-乙基-己酯 n-Butyric acid, 2-ethylhexyl ester	-	-	-	1.33
	己酸-2-乙基-己酯 Hexanoic acid, 2-ethylhexyl ester	-	-	-	0.78
	2-甲基丁酸乙酯 Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	-	-	1.25	-
	2-甲基丁酸辛酯 Butanoic acid, 2-methyl-, octyl ester	-	0.68	-	-
	己酸-2-甲基丙酯 Hexanoic acid, 2-methylpropyl ester	-	1.25	-	-
	3-甲基丁酸乙酯 Butanoic acid, 3-methyl-, ethyl ester	-	-	0.61	-
	丁酸-3-甲基丁酯 Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	-	-	0.70	-
	3-甲基丁酸辛酯 Butanoic acid, 3-methyl-, octyl ester	-	1.33	-	-
	乙酸-7-甲基-4-辛酯 4-Octanol, 7-methyl-, acetate	-	-	0.50	-
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	-	-	6.95	4.51
	乙酸己酯 Acetic acid, hexyl ester	-	0.56	-	0.60
	乙酸甲酯 Acetic acid, methyl ester	-	-	5.76	-
	乙酸辛酯 Acetic acid, octyl ester	0.54	3.69	-	-
	丁酸乙酯 Butanoic acid, ethyl ester	-	1.42	5.35	3.36
	丁酸己酯 Butanoic acid, hexyl ester	0.74	0.75	-	1.68
	丁酸甲酯 Butanoic acid, methyl ester	1.77	-	6.25	5.89
	丁酸辛酯 Butanoic acid, octyl ester	0.99	2.73	-	-
	己酸乙酯 Hexanoic acid, ethyl ester	1.89	21.61	22.87	11.94
	己酸己酯 Hexanoic acid, hexyl ester	-	1.72	-	0.77
	己酸甲酯 Hexanoic acid, methyl ester	1.08	5.27	9.89	5.35
	己酸异戊酯 Isopentyl hexanoate	-	3.68	1.85	1.49
	己酸辛酯 Hexanoic acid, octyl ester	-	1.68	-	-
	辛酸乙酯 Octanoic acid, ethyl ester	1.16	4.64	1.76	2.22
	辛酸甲酯 Octanoic acid, methyl ester	0.73	2.78	1.43	0.80
	癸酸乙酯 Decanoic acid, ethyl ester	-	0.65	-	-
酮类 Ketones	3-甲基乙酸-1-丁酯 1-Butanol, 3-methyl-, acetate	-	-	0.54	-
	4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮 3(2H)-Furanone, 4-methoxy-2,5-dimethyl-	0.57	-	-	-
	5-己基二氢-2(3H)-呋喃酮 2(3H)-Furanone, 5-hexyldihydro-	-	-	0.90	2.15
	二氢-5-辛基-2(3H)-呋喃酮 gamma Dodecalactone	-	0.96	-	-
	丙酮 Acetone	37.39	-	8.81	10.31
醇类 Alcohols	(E)-3,7,11-三甲基-1,6,10 十二碳三烯-3-醇	-	14.28	-	0.80
	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-				
	1-辛醇 1-octanol	3.43	11.45	-	-
	2-乙基-1-己醇 1-hexanol, 2-ethyl-	-	-	-	0.74
	3,7-二甲基-1-辛醇 1-octanol, 3,7-dimethyl-	-	-	-	0.69
	沉香醇 Linalool	-	3.47	0.50	-
酸类 Acids	2-甲基丁酸 Butanoic acid, 2-methyl-	1.54	-	-	-
	乙酸酐代甲酸 Acetic acid, anhydride with formic acid	-	0.62	-	3.69
	己酸 Hexanoic acid	1.36	-	-	-
醛类 Aldehydes	戊醛 Pentanal	-	-	-	2.95
其它物质 Others	丙醚 Propyl ether	-	-	-	0.68
	2-氟代乙酰胺 Acetamide, 2-fluorine	-	-	-	2.03
	乙酸酰肼 Acetic acid, hydrazide	-	-	-	3.31

表中数据表示相对含量 $\geq 0.50\%$ Data in the Table represent relative content $\geq 0.50\%$

高含量的 2-甲基丁酸和己酸可能是导致‘全明星’草莓风味差的另一原因。

橙花叔醇、沉香醇同橙花醇、香叶醇、香茅醇一样,都属于萜烯类化合物,在许多植物香味中起重要作用。它们可能有相同的生物合成途径,在玫瑰(*Rosa damascene*)上研究表明,牻牛儿焦磷酸酯先生成香叶醇,再转化成香茅醇和其它单萜类衍生物,这些香味物质常以配糖体的形式存在花瓣内^[26]。Magali 等^[14]研究发现,在两个亲本和 107 个杂交后代中,只有一个亲本和 57 株后代测出了橙花醇和香茅醇类化合物,推断这些物质可能按 1:1 出现分离。在野生和栽培草莓香味形成过程中,人们已分离出与酯、单萜和倍半萜生物合成有关的基因^[27]。

r-十二内酯类是桃香气成分的重要物质^[22],本试验只在‘丰香’中检测到 r-十二内酯(0.96%),它对‘丰香’草莓的香味可能也有一定的作用。

除了酯类和醇类外,呋喃在鲜草莓的香味中也起重要作用。呋喃类挥发物在‘星都 2 号’草莓品种中含量高,其它 3 个品种含量低。目前为止,人们对呋喃的生物合成机制了解还很少。研究表明,糖尤其是果糖可能是呋喃生物合成的前体物^[28]。Sanz 等^[7]指出呋喃可能是由戊糖磷酸途径的中间产物合成的,6-磷酸-果糖可能就是前体物。给草莓组培细胞添加 D-6-脱氧果糖刺激了呋喃葡萄糖苷的生成,这表明它是呋喃合成的前体物。尽管人们认为呋喃合成是酶促反应,但迄今为止尚未纯化此酶。

4 结 论

‘星都 1 号’和‘星都 2 号’特征香味物质非常类似,己酸甲酯、己酸乙酯、丁酸甲酯、丁酸乙酯、辛酸甲酯、辛酸乙酯和己酸异戊酯等酯类受到父母本的共同影响。‘全明星’的主要挥发物有丙酮、乙酸-1-甲基-乙酯、1-辛醇、己酸乙酯和丁酸甲酯等;‘丰香’的挥发物主要有己酸乙酯、橙花叔醇、1-辛醇、己酸甲酯、辛酸乙酯、乙酸辛酯和己酸异戊酯等。香味醇类(橙花叔醇、沉香醇和 1-辛醇)在‘丰香’中含量最高,除 1-辛醇外,‘全明’其它醇类含量较低,‘星都 1 号’和‘星都 2 号’醇的含量也低,因此,醇含量高的品种作父本时,醇的遗传传递力较低。母本挥发物质中丙酮和乙酸-1-甲基-乙酯含量最高,两个后代居中,父本中没有检测到这两种物质,这两种挥发物主要来自母系遗传。

References

- [1] 张运涛,董 静,王桂霞. 草莓香味的形成和香味育种. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1039-1044.
Zhang Y T, Dong J, Wang G X. Formation of aroma volatiles in strawberry fruit and aroma breeding. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1039-1044. (in Chinese)
- [2] 张运涛,鲁韧强. 草莓研究进展(一). 北京: 中国农业出版社, 2002: 3-7, 305-306.
Zhang Y T, Lu R Q. *Advance of Strawberry Research [I]*. Beijing: China Agricultural Press, 2002: 3-7, 305-306. (in Chinese)
- [3] 张运涛,雷家军. 草莓研究进展(二). 北京: 中国林业出版社, 2006: 28-33.
Zhang Y T, Lei J J. *Advance of Strawberry Research [II]*. Beijing: China Forestry Press, 2006: 28-33. (in Chinese)
- [4] 王桂霞,张运涛,董 静,张利喜. 草莓耐贮藏新品种星都 1 号的选育 中国果树, 2007, (6): 6-7.
Wang G X, Zhang Y T, Dong J, Zhang L X. Breeding of new storable strawberry cultivar ‘Xingdu 1’. *China Fruits*, 2007, (6): 6-7. (in Chinese)
- [5] 王桂霞,张运涛,董 静,张利喜. 草莓品种‘星都 2 号’. 园艺学报, 2007, 34(3): 798.
Wang G X, Zhang Y T, Dong J, Zhang L X. New early ripening strawberry cultivar ‘Xingdu 2’. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(3): 798. (in Chinese)
- [6] Forney C F, Kalt W, Jordan M A. The composition of strawberry aroma is influenced by cultivar, maturity, and storage. *HortScience*, 2000, 35(6): 1022-1026.
- [7] Sanz C, Richardson D G, Perez A G. 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone and derivatives in strawberries during ripening. *American Chemistry Society Symposium Service*, 1995, 59: 268-275.
- [8] Forney C F, Jordan M A. Effect of harvest maturity, storage, and cultivar on strawberry fruit aroma volatiles. *HortScience*, 1995, 30: 818. (Abstract)
- [9] Perez A G, Rios J J, Sanz C. Aroma components and free amino acids in strawberry variety Chandler during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40: 2232-2235.
- [10] Carrasco B, Hancock J F, Beaudry R M, Retamales J B. Chemical composition and inheritance patterns of aroma in *Fragaria ananassa* and *Fragaria virginiana* progenies. *HortScience*, 2005, 40 (6): 1649-1650.
- [11] Failla O, Brancadoro L, Rossoni M, Scienza A. Aromatic substance in grape berries. *Informatore Agrario Supplemento*, 2006, 62: 6-10.
- [12] Costantini L, Battilana J, Moser S, Emanuelli F, Segala C. Genetic

- basis of aromas in grape. *Informatore Agrario Supplemento*, 2006, 62: 16-18.
- [13] Manriquez D, El-Sharkawy I, Flores F B. Two highly divergent alcohol dehydrogenases of melon exhibit fruit ripening-specific expression and distinct biochemical characteristics. *Plant Molecular Biology*, 2006, 61(4/5): 675-685.
- [14] Magali C M, Frederic J, Philippe H, Sylvie B. Fragrance heritability in hybrid tea roses. *Scientia Horticulturae*, 2007, 113: 177-181.
- [15] Mahalingam L, Nadarajan N. Inheritance of scentedness in two-line rice hybrids. *International Rice Research Notes*, 2005, 30(1): 13-14.
- [16] Kole P C. Inheritance of aroma in rice. *Acta Agronomica Hungarica*, 2005, 53(4): 439-441.
- [17] Dartey P K A, Asante M D, Akromah R. Inheritance of aroma in two rice cultivars. *Agricultural and Food Science Journal of Ghana*, 2006, 5: 375-379.
- [18] Nguyen L H, Yoshihashi T, Wakil A S, Hirata Y. Sensory test for aroma and quantitative analysis of 2-acetyl-pyrroline in Asian aromatic rice varieties. *Plant Production Science*, 2006, 9(3): 294-297.
- [19] Sarawgi A K, Rita B. Inheritance pattern of aroma in some rice cultivars. *Crop Improvement*, 2006, 33(1): 39-42.
- [20] Perez A G, Sanz C, Olias J M. Aroma quality evaluation of strawberry cultivars in southern Spain. *Acta Horticulturae*, 1997, 439: 337-340.
- [21] 阚建全. 食品化学. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 330-344.
Kan J Q. *Food Chemistry*. Beijing: China Agricultural University Press, 2002: 330-344. (in Chinese)
- [22] 丁耐克. 食品风味化学. 北京: 中国轻工业出版社, 1996: 199.
Ding N K. *Food Flavor Chemistry*. Beijing: China Light Industry Press, 1996: 199. (in Chinese)
- [23] Perez A G, Rios J J, Sanz C L, Olias J M. Partial purification and some properties of alcohol acyltransferase from strawberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1993, 41: 462-466.
- [24] Yamashita I, Iino K, Nemoto Y. Studies on flavor development in strawberries. biosynthesis of volatile alcohol and ester from aldehyde during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1977, 25: 1165-1168.
- [25] Carbone F, Mourgues F, Biasioli F, Gasperi F. Development of molecular and biochemical tools to investigate fruit quality traits in strawberry elite genotypes. *Molecular Breeding*, 2006, 18(2): 127-142.
- [26] Oka N, Ohishi H, Hatano T, Hornberger M. Aroma evolution during flower opening in *Rosa damascena* Mill. *Z. Naturforsch*, 1999, 54: 889-895.
- [27] Aharoni A, Verstappen F W A, Bouwmeeste H J, Beekwilder J. Fruit flavor formation in wild and cultivated strawberry. *Acta Horticulturae*, 2005, 682(1): 233-236.
- [28] Zebetakis I, Holden M A. Strawberry flavour: Analysis and biosynthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1997, 74: 421-434.

(责任编辑 曲来娥)