

8个草莓品种(系)果实特征香气成分比较分析

王娟^{1,2a}, 孙瑞^{2,3a}, 王桂霞^{2,3}, 常琳琳^{2,3}, 孙健^{2,3},
钟传飞^{2,3}, 董静^{2,3}, 张运涛^{1,2,3*}, Detlef. ULRICH⁴

¹北京农学院植物科学技术学院, 北京 102206; ²北京市林业果树科学研究院, 北京 100093;

³北京市草莓工程技术研究中心, 北京 100093; ⁴德国农业部朱利叶斯·库恩研究所 06484)

摘要:【目的】以8个不同的草莓品种(系)为试材,分析草莓果实香气成分特点和差异,探索影响草莓香气的主要挥发性物质,为品质特性研究和香味育种提供理论依据。【方法】采用感官分析和浸入式搅拌棒吸附萃取-气相色谱质谱法(Imm-SBSE-GC-qMS),并结合主成分分析(Principal component analysis, PCA),对供试草莓品种(系)的香气成分进行检测鉴定和比较分析。【结果】8个草莓品种(系)中共检测出挥发性物质46种,其中共有成分23种,γ-癸内酯在‘京桃香’中相对浓度最高,达259.25。2,5-二甲基-4-甲氧基-3(2H)-咪唑酮(DMMF)和沉香醇是构成‘玫瑰公主’(10-30-47)中香气的主成分。‘白雪公主-15’(w74-15)和‘白雪公主-6’(w74-6)的菠萝香气由独有成分2-甲基丁酸甲酯和特征香气物质丁酸甲酯、乙酸苄酯、丁酸乙酯、己酸甲酯、己酸乙酯、(E)-2-己烯醛、DMMF等共同作用形成。【结论】γ-癸内酯、丁酸甲酯、丁酸乙酯、己酸甲酯、DMMF、沉香醇、(E)-2-己烯醛是供试草莓品种(系)的主要特征香气物质。γ-癸内酯对‘京桃香’桃香味的形成起决定性作用。

关键词: 草莓(*Fragaria×ananassa* Duch.); 香味分析; 搅拌棒吸附萃取-气相色谱质谱法; PCA

中图分类号: S668.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)08-0967-10

A comparative analysis on fruit characteristic aroma compounds in eight strawberry varieties (strains)

WANG Juan^{1,2a}, SUN Rui^{2,3a}, WANG Guixia^{2,3}, CHANG Linlin^{2,3}, SUN Jian^{2,3}, ZHONG Chuanfei^{2,3},
DONG Jing^{2,3}, ZHANG Yuntao^{1,2,3*}, Detlef. ULRICH⁴

(¹Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; ²Beijing Academy of Forestry and Pomology Sciences, Beijing 100093, China; ³Beijing Engineering Research Center for Strawberry, Beijing 100093, China; ⁴Julius Kühn-Institute (JKI), Germany)

Abstract: 【Objective】Aroma substances play a key role in the flavor formation of strawberry fruits. Pleasant aroma is one of the most important characteristics of high-quality fresh strawberry and makes the berry more attractive and competitive. An analysis of aroma compounds in strawberry helps us to understand the pathway of aroma formation and identify the special compounds related to particular aroma. The results can be used in strawberry breeding aimed to improving fruit quality. 【Methods】In this study, aroma compounds of eight strawberry varieties were analyzed, including six varieties bred by Beijing Academy of Forestry and Pomology Sciences, one from the USA and one from Japan, of which 6 were red fruit type and 2 were white fruit type. The domestic varieties were ‘Jintaoxiang’, ‘Rose Princess’ (tentative name)(10-30-47), ‘Xiangshan Princess’ (tentative name)(09-30-20), ‘Yuquan Princess’ (Tentative name) (09-30-36), ‘Snow White -15’ (tentative name, white fruit type) (w74-15) and ‘Snow White -6’ (tentative name, white fruit type) (w74-6). The other two varieties, ‘Benihoppe’ from Japan and ‘Sweet Charlie’ from the USA, are currently the most widely cultivated strawberry varieties in Chi-

收稿日期: 2018-03-09 接受日期: 2018-05-31

基金项目: 北京市粮经作物产业创新团队(BAIC09-2018); 林果种质创新与育种(KJCX2-170111); 国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”重点专项(2016YFE0112400); 北京市科技专项(Z161100005016111)

作者简介: 王娟, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为草莓香气分析和育种。Tel: 18800117832, E-mail: 1246943102@qq.com。a为共同第一作者。

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 18810122266, E-mail: zhytao1963@126.com

na. All varieties were cultivated employing routine field management and pest and disease control. Fresh fruit samples were collected at maturity. Samples were analyzed using immersion stir bar absorptive extraction-gas chromatography quadrupole mass spectrometry (Imm-SBSE-GC-qMS), combined with the sensory evaluation by sniffing and tasting. The aroma type and the core compounds of each variety were identified and the relationship among these varieties were analyzed using Principal Component Analysis (PCA). **【Results】** According to the scores evaluated by sensory test, the 8 strawberry varieties could be divided into three grades: grade with extraordinarily strong aroma, grade with strong aroma and aromatic grade. The results of GC-qMS analysis showed that totally 46 types of volatile substances were detected in the tested varieties. Among these compounds, 23 were esters (50%), 7 alcohols (15.22%), 6 ketones, 6 aldehydes (10.87%) and 4 acids (8.70%). 36-40 types of aroma compounds were detected for each variety and 23 were common in all. The relative concentration of γ -decalactone was extremely high in 'Jingtaoxiang' (259.25), which accounted for 79.52% of the total relative concentration of esters. In 'Rose Princess' (10-30-47), linalool (relative concentration 30.36) was the main ingredient. Among all the varieties, 'Rose Princess' (10-30-47) had the strongest rose fragrance, which was related to the ester type and content, fragrance alcohol (especially linalool) and furan class substrates. The relative concentrations of linalool and DMMF accounted for 82.08% and 79.54% of the alcohols and the ketones, respectively, while the two volatile aroma substances exceeded 50% of the total concentration of the main aromatic compounds important for the fragrance of rose. The two white fruit selections, 'Snow White-15' (w74-15) and 'Snow White-6' (w74-6), had unique compounds of methyl 2-methyl butyrate and methyl benzoate, the former having a pineapple aroma. In 'Xiangshan Princess' (09-30-20) and 'Yuquan Princess' (09-30-36), which were the F1 progenies of 'Yanxiang' \times 'Benihoppe', the volatile compounds were similar to those in 'Benihoppe'. They all had the highest relative concentrations of acids, accounting for 36.47%-44.44% of the total relative concentration of volatile substances. The distance interval of 'Yuquan Princess' (09-30-36) and 'Benihoppe' was smaller in the scores plot of PCA, and both had flower fragrance. Their aroma compounds were similar, and the aroma heredity was thus relatively stable. The ethyl 2-methylbutyrate and 2-heptanol were undetected in 'Benihoppe', which were the unique volatile compound in 'Xiangshan Princess' (09-30-20) found in this study. It might be influenced by the parent 'Yanxiang'. There might also be a genetic variation after hybridization responsible for new aroma substances. **【Conclusion】** In conclusion, γ -decalactone, methyl butanoate, ethyl butanoate, methyl hexanoate, 2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone (DMMF), linalool and (*E*)-2-hexenal were the main aroma substances in the eight strawberry varieties (strains). Esters were the most active aroma compounds in strawberry. 'Jingtaoxiang' showed the highest total volatile compounds concentration, and γ -decalactone contributed a lot to its aroma formation. The aroma of 'Xiangshan Princess' (09-30-20) was not only influenced by the male parent 'Benihoppe' with flower fragrance, but also affected by the female parent 'Yanxiang', which should be further studied. The pineapple aroma of 'Snow White-15' (w74-15) and 'Snow White-6' (w74-6) was supposed to be formed by the interaction of characteristic compounds of methyl butanoate, ethyl butanoate, methyl 3-methylbutanoate, methyl 3-methylbutanoate, methyl hexanoate, ethyl hexanoate, DMMF, (*E*)-2-hexenal and especially the unique substance of methyl 2-methylbutanoate. Furthermore, it is suggested that γ -decalactone, DMMF and (*E*)-2-hexenal play important roles in strawberry aroma, which should be further studied.

Key words: Strawberry (*Fragaria* \times *ananassa* Duch.); Flavor analysis; Imm-SBSE-GC-qMS; PCA

香气是人们通过嗅觉可以感觉到的挥发性气味物质,它与水果的品质、加工特性及营养价值密切相关,是吸引消费者和增强竞争力的重要因素^[1]。近几年草莓生产作为发展最快的新兴水果产业之一,已经成为许多地区农村经济的支柱产业。由于各地环境条件、栽培模式以及消费者需求不同,不同国家选育的草莓品种在品质方面都具有各自的特点。日本品种甜度高,香气浓,但不耐贮运,抗病性差;而欧美品种果个大,产量高,抗病性强,耐贮运,但酸度高,香味淡^[2]。我国栽培草莓品种大多引自日本和欧美国家,近几年结合了日本和欧美草莓品质特点的国产品种也陆续培育出来,如‘京藏香’‘京桃香’等,产量高、果形好、风味独特浓郁,受到了消费者的好评^[3]。随着人们对草莓的品质要求越来越高,草莓香气也得到消费者越来越多的关注,香气成分分析成了研究热点之一,这对提高草莓果实品质、加快育种进程及深化加工具有重要意义。

前人在甜瓜^[4]、葡萄^[5]、苹果^[6]、梨^[7]、杏^[8]、番石榴^[9]等果树的果实风味方面进行了较多研究。田长平等^[7]对梨不同品种果实的香味物质进行鉴定,发现商熟期时梨的醛类物质含量最高,其次为醇类和酯类物质。己醛、1-己醇及乙酸己酯等特征香气成分为梨新品种品质评价和选育的重点。周浓等^[9]发现番石榴中酯类和醛类物质占挥发性物质总量的85.06%,对珍珠番石榴的风味以及香味有重要贡献。草莓也被认为具有丰富的香气物质,综合国外研究成果发现:栽培草莓和野生草莓果实中共含有360多种挥

发物成分,主要包括酯类、酮类、醇类、醛类和酸类以及硫化物等。尽管芳香成分总含量只占果实鲜质量的0.001%~0.01%,但对草莓果实品质有着重要的影响^[10]。其中,普遍认为酯类和呋喃类是决定鲜草莓香味的主要成分^[11-13]。我国目前对草莓的香气研究主要集中在对品种的香气成分测定和比较分析方面^[14],对香气类型的鉴别和特征香味物质之间的关系研究较少。

笔者以8个具有不同香味特点的草莓品种(系)为材料进行对比分析,通过感官评价和浸入式搅拌棒吸附萃取-气相色谱质谱法(Imm-SBSE-GC-qMS),进行香气成分测定和比较分析,着重挖掘参与品种(系)特征香气形成的关键成分,鉴定出芳香味浓的优良品种(系),为后期草莓香味的遗传规律研究、改良草莓香气品质、培育新品种以及种质资源的保存和利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料及取样

试验在北京市林业果树科学研究院进行,8个供试草莓品种(系)包括国产优良品种‘京桃香’、红果优系‘玫瑰公主’(暂定名)(10-30-47)、“香山公主”(暂定名)(09-30-20)和‘玉泉公主’(暂定名)(09-30-36),白果优系‘白雪公主-15’(暂定名)(w74-15)和‘白雪公主-6’(暂定名)(w74-6),还有我国生产上的主栽品种‘红颜’和‘甜查理’。各品种(系)来源、色泽、香气浓郁程度和芳香类型各异(详见表1,表

表1 8个草莓品种(系)的来源及亲本

Table 1 Source and parents of eight strawberry varieties (strains)

品种(系) Varieties (strains)	亲本 Parents	来源 Origins
红颜 Benihoppe	章姬×幸香 Akihime×Sachinoka	日本 Japan
甜查理 Sweet Charlie	FL80-456×Pajaro	美国 United States
京桃香 Jingtaoxiang	达赛莱克特×章姬 Darselect×Akihime	北京林业果树科学研究院
香山公主(09-30-20) Xiangshan Princess	燕香×红颜 Yanxiang×Benihoppe	Beijing Academy of Forestry and Pomology Sciences
玉泉公主(09-30-36) Yuquan Princess	燕香×红颜 Yanxiang×Benihoppe	
玫瑰公主(10-30-47) Rose Princess	燕香×粉红熊猫 Yanxiang×Pink Panda	
白雪公主-15(w74-15) Snow White -15	实生选种 Seedling selection	
白雪公主-6(w74-6) Snow White -6	实生选种 Seedling selection	

2)。采用设施栽培,2016年9月定植在温室内,进行常规的田间管理和病虫害防治。于成熟期采集新鲜草莓样品各约1500g,取其中1000g去萼片的样品置于搅拌机中,加入18.6%(m/v)的NaCl搅拌成饱和

匀浆,将其置于离心管中,每个样品3个重复,由德国朱利叶斯库恩研究所的研究员Detlef. ULRICH协助常温运输到德国生态化学研究所进行检测。剩余500g用于感官鉴定分析。

1.2 草莓香气质量感官评价方法

感官评价测定在北京市林业果树科学研究院实验室内进行。由5位对草莓的风味非常熟悉、富有评审经验的评审员组成鉴定小组。评审时,将不同草莓品种(系)果实清洗干净,并进行编号装盘,保持通风和适当的温度。评审员采用鼻嗅和品尝的方式进行鉴定,每次品尝后需用清水漱口,并清洗样品盘,而后给出各品种(系)的综合评分和感受到的特殊芳香类型。鉴定分为5个等级:特浓、较浓、有、较平淡、无(采用定量评分法,10~8分:草莓香气特浓,7.9~6分:草莓香气较浓,5.9~4分:草莓有香气,3.9~2分:草莓香气较淡,1.9~0分:几乎没有草莓香气)。最终取5位评审员的平均分作为各品种(系)的最后得分。

1.3 Imm-SBSE-GC-qMS 分析法

1.3.1 草莓香气成分萃取 将预先准备好装有饱和匀浆的离心管以 $4\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度离心 $30\ \text{min}$,取 $100\ \text{mL}$ 上清液与 $10\ \mu\text{L}$ 内标物[0.1% (ϕ)2,6-二甲基-5-庚烯-2醇溶解在乙醇中]混合。每一个样品,取3个顶空瓶,分别加入 $3\ \text{g NaCl}$ 和 $10\ \text{mL}$ 上清液,用包括隔膜在内的磁性卷曲帽密封, $4\ ^\circ\text{C}$ 保存。同时,将不含固体 NaCl 的 $8\ \text{mL}$ 饱和均质样品放入空玻璃瓶中,用浸渍 SBSE 进行挥发性分离。将涂有聚二甲基硅氧烷(PDMS)的搅拌棒($0.5\ \text{mm}\times 10\ \text{mm}$)置于液体中,室温下 $350\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 搅拌 $45\ \text{min}$ 。从草莓汁中取出后,用纯净水冲洗搅拌棒,滤纸擦干,然后转移到玻璃管中进行热解吸和随后的 GC 分析^[15]。

1.3.2 GC-qMS 参数条件 热解析装置和冷喷射系统的参数如下:热解析温度 $250\ ^\circ\text{C}$,冷凝阱温度 $-150\ ^\circ\text{C}$,热解析不分流,冷进样系统以 $15\ \text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 分流。GC-MS 检测使用美国安捷伦 6890N 气相色谱仪和 5975B 的四级杆质谱仪。

色谱分析条件:色谱柱使用 ZB-Wax 毛细管柱 ($30\ \text{m}\times 0.25\ \text{mm}\times 0.5\ \mu\text{m}$),载气体为氦,流速 $1.1\ \text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$;升温程序: $45\ ^\circ\text{C}$ 保持 $3\ \text{min}$,温度梯度以 $3\ ^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升到 $210\ ^\circ\text{C}$,保持 $30\ \text{min}$ 。质谱分析条件:接口温度 $250\ ^\circ\text{C}$,电子轰击(EI)离子源,电子能量 $70\ \text{keV}$,扫描方式:全扫描。所有的样品均进行了3次重复分析。

1.3.3 数据处理 数据处理使用软件 Chrom Stat 2.6,将抽取的原始数据(保留时间和峰面积百分比报告数据)输入 Chrom Stat 2.6,采用安捷伦公司执

行软件包(版本: Rev.B.02.01.-SR1 [260])。由 Chrom Stat 2.6 得出的色谱图被分成 200 个时间间隔,每一个时间间隔代表分析集的至少一个色谱图中的一个峰(物质),峰值检测值设置为噪声的 10 倍。获取的数值作为原始数据(计数的峰值区域)给出,由于标准化的样本制备,也可描述为相对浓度。统计测试使用软件 STATISTICA 7.1。

1.4 PCA 主成分分析法

以 8 个草莓品种(系)中挥发性物质的百分比为数据源进行主成分分析,根据主成分在 PCA 得分图上的距离来确定挥发性物质与各品种(系)香气形成的相关性。

2 结果与分析

2.1 草莓风味品质感官检测比较分析

通过 5 位评审员对 8 个品种(系)的感官测试,表明不同品种(系)草莓样品间感官评分存在差异(表 2)。根据感官评分可将其分为 3 类:香味特浓的有 3 个品种(系):‘京桃香’‘红颜’和‘香山公主’(09-30-20);香味较浓的有 4 个品种(系):‘玫瑰公主’(10-30-47)‘玉泉公主’(09-30-36)‘白雪公主-15’(w74-15)和‘白雪公主-6’(w74-6);有香味的有 1 个品种(系):‘甜查理’。其中‘京桃香’的接受度最高,感官评分为 9.6 分,口感香甜,具有特别浓的桃香味;

表 2 8 个草莓品种(系)果实感官鉴定结果
Table 2 Sensory evaluation of the eight strawberry varieties (strains)

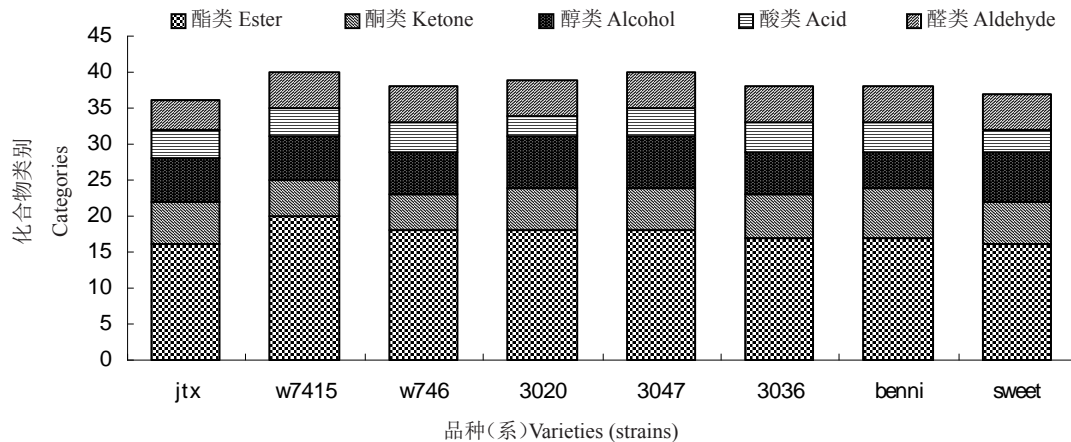
品种(系) Varieties (strains)	果色 Fruit color	风味 Flavour	芳香类型 Aroma type	香气评分 Aroma score
京桃香 Jingtaoxiang	红 Red	甜 Sweet	桃香 peach aroma	9.6
红颜 Benihoppe	红 Red	酸甜 Sour sweet	花香 Flower aroma	9.4
香山公主(09-30-20) Xiangshan Princess	红 Red	酸甜 Sour sweet	果香 Fruit aroma	8.6
玫瑰公主(10-30-47) Rose Princess	红 Red	酸甜 Sour sweet	玫瑰香 Rose aroma	7.8
玉泉公主(09-30-36) Yuquan Princess	红 Red	酸甜 Sour sweet	花香 Flower aroma	7.6
白雪公主-15(w74-15) Snow White -15	白 White	甜 Sweet	菠萝香 Pineapple aroma	7.4
白雪公主-6(w74-6) Snow White -6	白 White	酸甜 Sour sweet	菠萝香 Pineapple aroma	6.8
甜查理 Sweet Charlie	红 Red	酸甜 Sour sweet	清香 Fresh aroma	5.4

‘红颜’次之,口感酸甜,有花香味,具体的芳香类型较模糊;以‘红颜’为亲本的‘香山公主’(09-30-20)和‘玉泉公主’(09-30-36)中,‘香山公主’(09-30-20)感官评分比‘玉泉公主’(09-30-36)高1分,且前者果香味比较明显,而后者与亲本‘红颜’的花香类型相似;‘白雪公主-15’(w74-15)比‘白雪公主-6’(w74-6)的香味更浓。‘玫瑰公主’(10-30-47)有独特的玫

瑰香气。‘甜查理’草莓风味淡,口感酸。

2.2 不同品种(系)香气物质种类比较分析

通过GC-MS检测分析,8个不同品种(系)的样品中共检测出46种挥发性化合物,包括酯类23种(50.00%),醇类7种(15.22%),酮类和醛类各6种(10.87%),酸类4种(8.70%)(图1)。其中有25种为共有成分(表3),分别是乙酸乙酯、丁酸甲酯、丁酸



jtx. 京桃香; benni. 红颜; sweet. 甜查理; 3020. 香山公主(09-30-20); 3036. 玉泉公主(09-30-36); 3047. 玫瑰公主(10-30-47); w7415. 白雪公主-15(w74-15); w746. 白雪公主-6(w74-6)。下同。

jtx. Jingtaoxiang; benni. Benihoppe; sweet. Sweet Charlie; 3020. Xiangshan Princess (09-30-20); 3036. Yuquan Princess(09-30-36); 3047. Rose Princess (10-30-47); w7415. Snow White -15(w74-15); w746. Snow White -6(w74-6)。The same below.

图1 8个草莓品种(系)香气成分分类比较

Fig. 1 Aroma compositions detected in the eight strawberry varieties (strains)

乙酯、3-甲基丁酸甲酯、3-甲基丁酸乙酯、 γ -癸内酯、己酸乙酯、己酸甲酯、 γ -十二内酯、2-乙基己基水杨酸酯、2-戊酮、苯乙酮、DMMF、(E)-2-己烯醇、1-辛烯-3-醇、呋喃甲醇、沉香醇、松油醇、2-甲基丁酸、己酸、辛酸、糠醛、(E)-2-己烯醛、己醛、苯甲醛。

从总的挥发性化合物来看,‘白雪公主-15’(w74-15)和‘玫瑰公主’(10-30-47)的挥发性化合物种类最多,都检测出40种,占总检测物质种类的86.96%。‘京桃香’中挥发性化合物种类最少,仅有36种。从挥发性物质分类来看,在所有品种(系)中酯类物质最多,均达15~20(33%~43%)种;酸类物质种类最少,仅3~4种(4%~7%)。‘红颜’与其子代相比,醛类物质减少了1种,‘香山公主’(09-30-20)中酯类、醇类分别增加1、2种,‘玉泉公主’(09-30-36)中醇类增加1种。‘白雪公主-15’(w74-15)比‘白雪公主-6’(w74-6)的酯类增加1种,其余物质种类相同。

2.3 不同品种(系)香气物质相对浓度比较分析

由表3可以看出,‘京桃香’香气物质相对总浓

度最高,‘白雪公主-6’(w74-6)香气物质相对总浓度最低。酯类在草莓果实中占主要的挥发性成分,酸类次之。在‘京桃香’、‘白雪公主-15’(w74-15)、‘白雪公主-6’(w74-6)、‘甜查理’、‘玫瑰公主’(10-30-47)5个品种(系)中,酯类相对浓度最高,占有挥发性物质相对总浓度的45.54%~68.13%。结合附表1,分析发现 γ -癸内酯在‘京桃香’‘甜查理’中相对总浓度高达259.25、160.61,占酯类物质相对总浓度的79.52%、69.57%。2-甲基丁酸甲酯和苯酸甲酯是白果优系‘w74-15’和‘w74-6’的独有成分。‘红颜’及其后代‘香山公主’(09-30-20)、‘玉泉公主’(09-30-36)中酸类物质相对浓度最高,占有挥发性物质相对浓度的36.47%~44.44%。

酮类物质对草莓香气形成也有重要作用,相对浓度仅次于酸类和酯类,DMMF在所有品种(系)中相对浓度较高,是草莓果实中主要的香气成分^[6]。醇类和醛类物质虽然所含种类不多,但对草莓香气的形成具有重要影响。醇类物质在‘玫瑰公主’

表 3 8个草莓品种(系)果实香气成分的相对浓度

Table 3 Relative concentrations of aroma compounds in the eight strawberry varieties (strains)

化合物类别 Categories	化合物 Compounds	品种(系)Varieties (strains)							
		京桃香 Jingtao-xiang	白雪公主- 15(w74-15) Snow White -15	白雪公主- 6(w74-6) Snow White -6	香山公主 09-30-20 Xiangshan Princess	玫瑰公主 10-30-47 Rose Princess	玉泉公主 09-30-36 Yuquan Princess	红颜 Benihoppe	甜查理 Sweet Charlie
酯类 Ester	乙酸乙酯 Ethyl acetate	1.47	4.91	1.36	4.85	3.35	1.69	1.25	2.34
	乙酸-1-甲基乙酯 1-methylethyl acetate	0.28	0.36	1.04	0.59	-	-	0.45	-
	丁酸甲酯 Methyl butanoate	27.39	61.71	54.87	33.18	54.92	14.66	47.60	24.84
	2-甲基丁酸甲酯 Methyl 2-methylbutanoate	-	0.48	0.87	-	-	-	-	-
	3-甲基丁酸甲酯 Methyl 3-methylbutanoate	2.60	13.68	20.18	3.23	1.13	4.86	1.06	1.31
	丁酸乙酯 Ethyl butanoate	8.35	27.07	7.59	23.99	22.16	6.20	8.87	14.48
	1-甲基乙酯丁酯 1-methylethyl butanoate	-	-	0.57	-	-	-	0.37	-
	2-甲基丁酸乙酯 Ethyl 2-methylbutanoate	-	0.98	-	0.59	-	-	-	-
	3-甲基丁酸乙酯 Ethyl 3-methylbutanoate	1.82	5.05	2.05	4.74	0.97	3.78	0.99	1.79
	乙酸丁酯 Butyl acetate	0.30	0.91	-	0.67	4.80	1.07	0.13	0.74
	乙酸异戊酯 3-methylbutyl acetate	0.57	1.76	1.22	0.75	0.94	1.01	-	0.32
	己酸乙酯 Ethyl hexanoate	1.04	5.23	0.33	6.17	5.70	1.28	0.32	4.57
	己酸甲酯 Methyl hexanoate	4.68	11.17	3.40	14.98	12.95	6.89	8.80	8.89
	乙酸己酯 Hexyl acetate	-	0.63	-	0.73	6.40	1.11	-	0.29
	(E)-乙酸-2-己烯酯 (E)-2-hexenyl acetate	-	0.99	1.10	-	0.81	-	-	-
	乙酸苄酯 Phenylmethyl acetate	-	52.49	13.54	1.38	1.70	0.80	0.76	0.90
	邻氨基苯甲酸甲酯 Methyl anthranilate	0.36	-	0.24	0.39	0.88	0.30	1.44	-
	苯酸甲酯 Methyl benzoate	-	1.56	0.80	-	-	-	-	-
	2-乙基己基水杨酸酯 2-ethylhexyl salicylate	1.58	1.89	2.06	1.86	2.09	1.42	1.85	1.66
	烟盐酸甲酯 Methyl nicotinate	4.38	-	-	-	1.12	1.28	1.35	1.94
γ-辛内酯 γ-octalactone	1.05	0.27	-	1.38	0.71	1.18	0.86	0.85	
γ-癸内酯 γ-decalactone	259.25	4.26	1.39	3.61	2.42	2.79	1.47	160.61	
γ-十二内酯 γ-decalactone	12.47	16.40	4.21	10.09	4.18	7.73	3.14	7.72	
酮类 Ketone	甲基-异丁基酮 Methyl isobutyl ketone	2.15	-	-	1.92	0.35	5.38	1.21	0.65
	2-庚酮 2-heptanone	1.60	-	-	15.09	4.26	2.54	7.82	1.80
	2-戊酮 2-pentanone	1.64	1.13	1.71	2.19	2.25	1.17	4.02	1.15
	苯乙酮 Acetophenone	1.18	0.90	1.65	1.74	1.77	1.71	2.10	1.14
	6-甲基-5-庚烯 6-methyl-5-heptenone	0.41	0.27	0.48	0.13	-	0.59	0.15	0.32
	4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮 2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)- furanone (mesifuran)	41.41	26.52	12.44	32.42	33.55	13.02	14.78	22.93
	醇类 Alcohol	2-庚醇 2-heptanol	-	-	-	2.45	0.13	-	-
(E)-2-己烯醇 (E)-2-hexenol	0.28	0.95	1.21	0.39	0.70	0.70	0.85	0.57	
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	0.15	0.80	1.27	0.45	0.97	0.23	0.63	0.65	
己醇 Hexanol	0.30	0.65	0.70	0.41	1.06	0.60	-	0.52	
呋喃甲醇 Furanmethanol	1.59	1.08	1.23	1.30	1.19	1.09	1.58	1.16	
沉香醇 Linalool	11.20	19.42	10.05	6.96	30.36	12.58	13.87	9.10	
松油醇 Terpineol	6.89	4.59	1.93	0.66	2.58	4.86	1.94	4.78	
酸类 Acid	2-甲基丁酸 2-methylbutanoic acid	2.98	1.31	1.51	4.76	4.21	2.21	1.97	1.76
	乙酸 Acetic acid	0.33	0.18	0.32	-	0.14	0.16	0.27	-
	己酸 Hexanoic acid	57.94	13.98	10.08	113.81	40.65	87.33	72.78	28.53
	辛酸 Octanoic acid	3.90	1.24	0.45	18.41	1.18	10.23	9.33	7.14
醛类 Aldehyde	糠醛 Furfural	1.35	0.98	1.16	1.50	1.80	1.99	1.58	1.18
	壬醛 Nonanal	-	1.23	0.42	0.68	0.68	0.93	0.30	1.29
	(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	12.61	25.19	27.88	5.68	13.41	14.71	9.16	15.44
	(E)-2-庚烯醛 (E)-2-heptenal	-	0.97	2.02	-	0.15	-	0.29	-
	己醛 Hexanal	1.44	1.23	1.13	1.20	1.68	0.79	0.88	1.19
	苯甲醛 Benzaldehyde	0.14	3.58	2.75	1.91	9.10	4.02	5.07	0.44

注:“-”未发现或不存在。

Note:“-”. Not found or not exist.

(10-30-47)中相对总浓度最高,其沉香醇的相对浓度为30.36,是主要的香气组成成分。多数醛类具有类似青草味的典型气味^[7],从表4可以看出,醛类

物质在白果优系的相对总浓度最高,‘甜查理’次之,结合表1发现,(*E*)-2-己烯醛是主要的香气组成成分。

表4 8个草莓品种(系)香气物质相对浓度比较

Table 4 Comparison of relative concentrations of aroma compounds in the eight strawberry varieties (strains)

化合物类别 Categories	相对总浓度 Relative total concentration							
	京桃香 Jingtaoxiang	白雪公主-15 (w74-15) Snow White-15	白雪公主-6 (w74-6) Snow White-6	香山公主 (09-30-20) Xiangshan Princess	玫瑰公主 (10-30-47) Rose Princess	玉泉公主 (09-30-36) Yuquan Princess	红颜 Benihoppe	甜查理 Sweet Charlie
酯类 Ester	327.59	211.80	116.82	113.18	127.23	58.05	80.71	232.51
酮类 Ketone	48.39	28.82	16.28	53.49	42.18	24.41	30.08	27.99
醇类 Alcohol	20.41	27.49	16.39	12.62	36.99	20.06	18.87	16.91
酸类 Acid	68.15	16.71	12.36	136.98	46.18	99.93	84.35	37.43
醛类 Aldehyde	15.54	33.18	35.36	10.97	26.82	22.44	17.28	19.54
总和 Sum	480.08	318.00	197.21	327.24	279.40	224.89	231.29	334.38

2.4 不同品种(系)主要香气物质主成分分析

以不同品种(系)的草莓香气物质种类及其相对浓度为数据源,进行主成分分析,结果如图2。在PCA模型中,PC1(30.39%)和PC2(21.27%)累计方差贡献为51.66%。能够反映样本的大部分信息,因

此选取两个主成分(PC1-PC2)进行分析。由图2可以看出,不同品种(系)的草莓分别聚集在PCA得分图的不同区域。根据其距离间隔的大小与香气成分的相关性分为4类。第一类为‘京桃香’、‘红颜’、‘玉泉公主’(09-30-36)、‘甜查理’,位于得分图左上

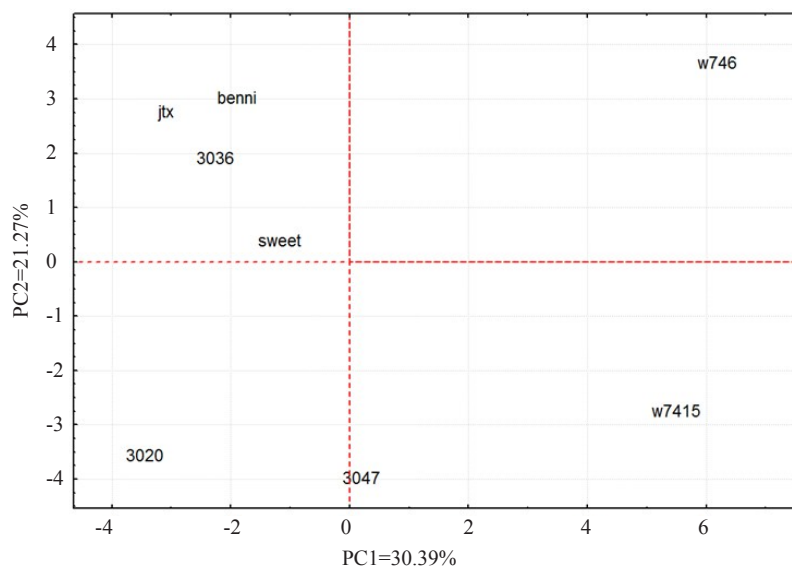


图2 8个草莓品种(系)PCA得分

Fig. 2 Scores plot of PCA of the eight strawberry varieties (strains)

方,距离间隔较小,表明相似性较大;第二类为两个白果优系‘白雪公主-15’(w74-15)、‘白雪公主-6’(w74-6),位于得分图同侧,一个在右侧上方区域,一个在右侧下方区域,在第二主成分上两样本间间距较大,挥发性物质组成与物质相对浓度差异较大;第三类为‘玫瑰公主’(10-30-47),位于得分图下方;第四类为‘香山公主’(09-30-20),位于得分图的左

下方,与第一类距离较远,表明与其香气成分具有明显的差异。

3 讨论

草莓被认为是香味物质种类最为丰富的水果之一,不同挥发性物质给予果实不同的感官特性,在鲜食草莓产生的许多挥发物中,只有部分物质对草莓

香气和风味起主要作用^[18-19]。本试验通过对8个不同草莓品种(系)的感官测定、挥发性物质检测及主成分分析,发现酯类在所有品系中挥发性物质种类最多,内酯类和甲基酯类物质在大多数品种中相对浓度最高,醇类、醛类和呋喃类物质对特殊香气的形成也有重要的影响。

根据香气的浓郁程度,8个草莓品种(系)可分为特浓、较浓、有香味3个等级。不同等级中各物质相对浓度差异较大,其芳香类型各异。‘京桃香’中的 γ -癸内酯相对含量极为显著,占挥发性物质总浓度的54.00%,呈愉快的桃子香气^[20],与感官评价结果相一致。在凤梨草莓杂交后代果实香气研究中表明, γ -癸内酯是果实桃香味主成分之一,并且FaFAD1参与 γ -癸内酯的合成与调控,与 γ -癸内酯的含量有显著的相关性,能增加草莓的桃香味^[21]。与此同时,该基因也是佛罗里达大学草莓育种计划中关注的重点之一,目前已在FaFAD1位点上开发出了高通量的SNP和SSR分子标记,并建立了检测体系,可用于草莓育种中桃香味性状的筛选^[22]。陈美霞^[23]在杏果实风味组成及遗传特性研究中也发现 γ -癸内酯、 γ -十二内酯等特征香气成分的变异系数超过了100,含有这些成分的株系在后代中被选择机会大。本研究中‘京桃香’是具有桃香味的特异品种,高浓度的 γ -癸内酯和一定量的 γ -十二内酯对桃香味起决定性作用,对挥发性香气物质的分子标记开发和香味育种具有重要价值。

‘玫瑰公主’(10-30-47)中独特的玫瑰香味在所有品种(系)中较明显,其香味不但取决于酯的种类和含量,且与香味醇(特别是沉香醇)和呋喃类物质有关。沉香醇和DMMF的相对浓度分别占醇类和酮类物质的82.08%、79.54%,超过了相对总浓度的50%,对‘玫瑰公主’(10-30-47)的特征香味起重要作用。其中,沉香醇主要由草莓的橙花叔醇合成酶1(*F. ananassa Nerolidol Synthase*, FaNES1)催化合成,其余的NES相关酶的作用很小^[24]。且FaNES1在成熟的栽培草莓中表现出高表达,可以以牻牛儿基二磷酸(*geranyl diphosphate*, GPP)为底物,催化生成该物质。DMMF是由DMHF转化而来,具有鲜草莓的典型果香,是主要的甜味物质,也是草莓主要的芳香成分^[25]。

‘香山公主’(09-30-20)、“玉泉公主”(09-30-36)是从‘燕香’×‘红颜’杂交F1群体中选育出来的优良

品系。在挥发性物质组成方面与‘红颜’存在有多相似之处,但感官评价有所差异。从芳香类型来看,‘红颜’和‘玉泉公主’(09-30-36)都具有花香味,在PCA主成分分析中也可看出,‘玉泉公主’(09-30-36)相比‘香山公主’(09-30-20),前者与亲本‘红颜’的距离更近,其挥发性物质相对总浓度相差较小,物质组成和相对浓度相关性较高。由此推断‘玉泉公主’(09-30-36)的香味形成与亲本‘红颜’的影响较大,遗传较稳定。‘香山公主’(09-30-20)的感官果香味与亲本‘红颜’的花香味差异较大,测定比较发现‘香山公主’(09-30-20)中含有的2-甲基丁酸乙酯、2-庚醇在‘红颜’中未检测到,是其特有成分,可能受亲本‘燕香’遗传的影响,也可能是由于杂交后遗传变异产生新的特征香气物质。在感官评价上‘香山公主’(09-30-20)比‘玉泉公主’(09-30-36)的香气更浓,受挥发性物质相对浓度的影响较大,‘香山公主’(09-30-20)所含酸类和酯类的相对浓度是‘红颜’和‘玉泉公主’(09-30-36)的1.4~1.9倍。据报道,酸类物质在一定范围内具有果香味^[26];高含量的酯类物质也可以呈现出令人愉悦的“果香味”^[27]。因此,我们认为这两个优系的香气浓郁度受特征香气物质种类和相对浓度的共同影响,而芳香类型的差异还需结合亲本‘燕香’的香气成分进行下一步研究。

目前,白果草莓品种还比较稀少,相关研究大多偏向于基本的生理指标和栽培技术方面,对香气成分组成研究较少^[28]。本试验中‘白雪公主-15’(w74-15)和‘白雪公主-6’(w74-6)的感官评价都具有较浓的菠萝香气,特征性明显。检测分析发现2-甲基丁酸甲酯和苯酸甲酯是其独有成分,且前者会挥发产生菠萝香气。己酸甲酯、己酸乙酯、丁酸甲酯、丁酸乙酯、乙酸苄酯、沉香醇、DMMF、(E)-2-己烯醛等物质相对浓度较高,大多成分都具有果香味和清香味,对香气贡献较大。综合来看,白果优系强烈而独特的菠萝风味由独有成分2-甲基丁酸甲酯和果香为特征的其他酯类化合物以及部分醛类、酮类化合物等共同作用形成。

张运涛等^[29]对33个欧美品种的香气成分分析得出‘甜查理’的香气物质主成分是辛酯类和沉香醇,其感官测定表现为较浓香气。1-辛醇、 γ -癸内酯、己酸乙酯和己酸甲酯、辛酸乙酯和辛酸甲酯、辛基酯类(丁酸辛酯和乙酸辛酯)是构成‘甜查理’草莓特征香味的重要成分^[30]。本研究在‘甜查理’中只检

测到 γ -癸内酯、己酸乙酯、己酸甲酯和沉香醇四种重要成分,其中 γ -癸内酯相对浓度较高,但未发现与‘京桃香’或‘玫瑰公主’类似的桃香气或花香气息,其所含物质成分与感官评价的香味类型有所差异。其原因可能是草莓果实香气的形成是一个动态过程,各类香味成分通过融合、叠加、掩盖等相互作用共同呈现。香气成分组成随着果实的成熟,其种类和相对含量也会发生变化,同时还受到地理环境条件、栽培措施和成熟度等诸多因素的影响^[31]。在‘甜查理’香气形成过程中,随着果实的成熟,部分挥发性物质未发生融合而被其他类物质所掩盖,所以表现出香气较淡,特征香气不明显。

4 结 论

通过8个品种(系)的分析检测,‘京桃香’中 γ -癸内酯是主要的桃香呈味物质,相对浓度最高;‘玫瑰公主’(10-30-47)中沉香醇和DMMF是玫瑰香味的主成分;菠萝味的白果优系由独有成分2-甲基丁酸甲酯和特征香气物质丁酸甲酯、乙酸苄酯、丁酸乙酯、己酸甲酯、己酸乙酯、(E)-2-己烯醛、DMMF等共同作用形成。其中,丁酸甲酯、丁酸乙酯、(E)-2-己烯醛、 γ -癸内酯、DMMF、沉香醇等物质的相对浓度在草莓中比较高,对这些物质进行深入研究,在后代中选育其高含量的品种或株系具有很大潜力,是香味育种的重要途径。

参考文献 References:

- [1] 闫忠心,鲁周民,刘坤,焦文月,赵佳奇.干制条件对红枣香气品质的影响[J].农业工程学报,2011,27(1):389-392.
YAN Zhongxin, LU Zhoumin, LIU Kun, JIAO Wenyue, ZHAO Jiaqi. The influence of dry conditions on aroma quality of red dates[J]. Nuclear Science and Techniques, 2011, 27(1): 389-392.
- [2] 张运涛,王桂霞,董静,周慧轶,孔瑾,韩振海.‘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[J].中国农业科学,2008,41(10):3208-3213.
ZHANG Yuntao, WANG Guixia, DONE Jing, ZHOU Huiyi, KONG Jin, HAN Zhenhai. Analysis of volatile compounds in strawberry cultivars ‘Xingdu 1’ and ‘Xingdu 2’ and their parents[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(10): 3208-3213.
- [3] 祝宁,齐长红,康永,蔡连卫,刘民.京香系列草莓特征特性及其在北京昌平地区的表现[J].新优品种,2017(10):74-76.
ZHU Ning, QI Changhong, KANG Yong, CAI Lianwei, LIU Min. Characteristics of strawberry characteristics and its performance in Chang Ping region of Beijing[J]. New Superior Variety, 2017(10): 74-76.
- [4] 赵光伟,徐志红,孔维虎,张健,徐永阳.3个甜瓜品种果实香气成分的HS-SPEM/GC-MS比较分析[J].果树学报,2015,32(2):259-266.
ZHAO Guangwei, XU Zhihong, KONG Weihu, ZHANG Jian, XU Yongyang. Analysis of aromatic compounds in three melon cultivars (*Cucumis melo* L.) by solid phase microextraction with GC-MS[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(2): 259-266.
- [5] 何明茜.葡萄香气物质在两类杂交群体中的遗传规律[D].武汉:华中农业大学,2013.
HE Mingqian. Inheritance of grape(*Vitis vinifera*) aroma compounds in two type interbreeding populations [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [6] 王立霞,冀晓昊,安萌萌,张宗营,王艳廷,王传增,吴玉森,吴树敬,陈学森.几个功能型苹果优株果实风味品质的评价[J].果树学报,2014,31(5):753-759.
WANG Lixia, JI Xiaohao, AN Mengmeng, ZHANG Zongying, WANG Yanting, WANG Chuanzeng, WU Yusen, WU Shujing, CHEN Xuesen. Evaluation on apple fruit flavor quality of several functional superior apple strains[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5): 753-759.
- [7] 田长平,魏景利,刘晓静,王娜,王海波,孙家正,李登涛,陈学森.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.
TIAN Changping, WEI Jingli, LIU Xiaojing, WANG Na, WANG Haibo, SUN Jiazheng, LI Dengtao, CHEN Xuesen. GC-MS analysis of fruit aromatic compounds of pear cultivars originated from different species of *Pyrus*[J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(3): 294-299.
- [8] 尹艳雷,苑兆和,冯立娟,招雪晴,王金政,王超.不同杏品种果实发育期间香气成分的GC-MS分析[J].果树学报,2010,27(3):337-343.
YIN Yanlei, YUAN Zhaohe, FENG Lijuan, ZHAO Xueqing, WANG Jinzheng, WANG Chao. GC-MS analysis of aromatic compounds in different developmental period of apricot cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(3): 337-343.
- [9] 周浓,杨锡洪,解万翠,莫星忧,高倩.‘珍珠’番石榴的营养成分与挥发性风味特征分析[J].食品与机械,2016,32(2):37-40.
ZHOU Nong, YANG Xihong, XIE Wancui, MO Xingyou, GAO Qian. Analysis of nutrition and volatile flavor of guava fruit (*Psidium guajava* L.)[J]. Food & Machinery, 2016, 32(2): 37-40.
- [10] 张运涛,雷家军.草莓研究进展II[M].北京:中国林业出版社,2006:28-33.
ZHANG Yuntao, LEI Jiajun. Advance of strawberry research II [M]. Beijing: China Forestry Press, 2006: 28-33.
- [11] 张运涛,董静,王桂霞.草莓香味的形成和香味育种[J].中国农业科学,2004,37(7):1039-1044.
ZHANG Yuntao, DONG Jing, WANG Guixia. Formation of aroma volatiles in strawberry fruit and aroma breeding [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1039-1044.
- [12] JACKSON J F, LINSKENS H F, INMAN R B. Molecular meth-

- ods of plant analysis(Vol.21), Analysis of taste and aroma [M]. Berlin Heidelberg: Springer -Verlag, 2002: 7-28.
- [13] 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 [J]. HortScience, 2005, 40 (6): 1649-1650.
- [14] 张运涛, 雷家军, 王桂霞. 草莓研究进展 V [M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 72-77.
ZHANG Yuntao, LEI Jiajun, WANG Guixia. Advance of strawberry research V [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017: 72-77.
- [15] ULRICH D, OLBRICHT K. A search for the ideal flavor of strawberry - comparison of consumer acceptance and metabolite patterns in *Fragaria* × *ananassa* Duch. [J]. Journal of Applied Botany and Food Quality, 2016, 89 (2): 223-234.
- [16] FORENY C F, KALT W, JORDAN M A. The composition of strawberry aroma is influence by cultivar, maturity, and storage [J]. HortScience, 2000, 35(6): 1022-1026.
- [17] 朱虹, 陈玉芬, 李雪萍, 李军, 韩冬芳, 陈维信. 顶空固相微萃取-气质联用分析香蕉的香气成分 [J]. 园艺学报, 2007, 34(2): 485-488.
ZHU Hong, CHEN Yufen, LI Xueping, LI Jun, HAN Dongfang, CHEN Weixin. Determination of volatiles in harvested banana fruit by HS-SPME and GC-MS [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(2): 485-488.
- [18] 阚建全. 食品化学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 330-344.
KAN Jianquan. Food chemistry [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2002: 330-344.
- [19] 丁耐克. 食品风味化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996: 199.
DING Naik. Food flavor chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1996: 199.
- [20] 刘树文. 合成香料技术手册 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
LIU Shuwen. Synthetic perfume technical manual [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000.
- [21] 苏畅, 张兆斌, 任大明, 杜毅, 陈洪. 丙位癸内酯及其相应羧基酸对 *Yarrowia lipolytica* 菌株生长的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(4): 15-16.
SU Chang, ZHANG Zhaobin, REN Daming, DU Yi, CHEN Hong. Effects of γ -decalactone and its corresponding hydroxy acids on the growth of the *Yarrowia lipolytica* strain [J]. Food and Fermentation Industry, 2005, 31(4): 15-16.
- [22] NOH Y H, LEE S, WHITAKER V M, CEARLEY K R, CHA J S. A high-throughput marker-assisted selection system combining rapid DNA extraction high-resolution melting and simple sequence repeat analysis: strawberry as a model for fruit crops [J]. Journal of Berry Research, 2017, 7(1): 23-31.
- [23] 陈美霞. 杏果实风味物质的组成及其遗传特性的研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.
CHEN Meixia. Studies of the inheritance and constituents of flavor in apricot (*Armeniaca vulgaris* L.) [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2005.
- [24] 张运涛. 草莓研究进展 (三) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 3-9.
ZHANG Yuntao. Advance of strawberry research III [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 3-9.
- [25] FLAMENT I, DEBONNEVILLE C, FURRER A. Volatile constituents of roses: characterization of cultivars based on the headspace analysis of living flower emissions [J]. Bioactive Volatile Compounds from Plants, 1993, 525: 269-281.
- [26] 谭伟, 唐晓萍, 董志刚, 李晓梅. 4 个无核鲜食葡萄品种及其亲本果实香气成分分析 [J]. 果树学报, 2015, 32(2): 440-447.
TANG Wei, TANG Xiaoping, DONG Zhigang, LI Xiaomei. Analysis on fruit aromatic compounds of four seedless grape and their parents [J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(2): 440-447.
- [27] 张娜, 赵恒, 阎瑞香. 不同草莓香气成分贮藏过程中变化的研究 [J]. 食品科技, 2015, 40(12): 286-289.
ZHANG Na, ZHAO Heng, YAN Ruixiang. Changes of different varieties of strawberry aroma compounds during storage [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(12): 286-289.
- [28] 明晓. 中国草莓属野生资源及白草莓育种初探 [D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
MING Xiao. Study on the wild resources of *Fragaria* in China and the breeding of white strawberry [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
- [29] 张运涛, 王桂霞, 董静, 钟传飞, 常琳琳, 王丽娜. 33 个欧美草莓品种果实挥发性物质的分析 [J]. 果树学报, 2011, 28(3): 438-442.
ZHANG Yuntao, WANG Guixia, DONG Jing, ZHONG Chuanfei, CHANG Linlin, WANG Lina. Analysis of volatile compounds in 33 euramerican strawberry cultivars [J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(3): 438-442.
- [30] 张运涛, 王桂霞, 董静, 崔凤芝, 许雪峰, 韩振海. 草莓 5 个品种的果实香气成分分析 [J]. 园艺学报, 2008, 35(3): 433-437.
ZHANG Yuntao, WANG Guixia, DONG Jing, CUI Fengzhi, XU Xuefeng, HAN Zhenhai. Analysis of aroma compounds in five strawberry cultivars [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(3): 433-437.
- [31] AUBERT C, GÜNATA Z, AMBID C, BAUMES R. Change in physicochemical characteristics and volatile constituents of yellow and white fleshed nectarines during maturation and artificial ripening [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(10): 3083-3091.