

# ‘玉露香’与‘新世纪’梨杂交F1代果实品质和香气成分的分析与评价

岳郁<sup>1</sup>, 黄平<sup>1</sup>, 陈虎<sup>2</sup>, 于春亮<sup>3</sup>, 彭建营<sup>1,\*</sup>

(1.河北农业大学园艺学院, 河北省梨工程技术研究中心, 河北保定 071000;

2.河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000; 3.威县农业农村局, 河北邢台 054700)

**摘要:**为探究杂交后代果实与亲本之间的遗传变异并对杂交后代进行综合评价, 选择7个具有发展前景的‘玉露香’和‘新世纪’梨杂交F1代(7-93、8-44、8-176、9-188、9-193、10-101、10-173), 以母本‘玉露香’和畅销的‘秋月’品种为对照, 测定果实单果质量、果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖、可滴定酸、糖酸比、VC及香气成分等品质指标, 同时利用正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares-discrimination analysis, OPLS-DA)对不同品种香气进行差异性评价。结果表明, 7个梨杂交F1代的果实品质存在显著差异, 其中8-44果形指数等于1, 且可溶性固形物和可溶性糖含量最高; 7个梨果实以及‘玉露香’‘秋月’中共含有83种挥发性成分, 其中10-173和8-44的挥发性成分总量最高, 10-173和10-101的挥发性物质总数最多; 梨的主要挥发性成分为醇类、酯类和醛类化合物; OPLS-DA结果表明, 10-101和10-173的挥发性成分组成显著区别于其余株系, 其中10-101与乙酸乙酯和乙酸己酯呈显著正相关, 10-173与辛酸乙酯、 $\alpha$ -法尼烯、反-2-己烯醛呈显著正相关, 同时其含量显著高于其他株系, 从而使得风味更加突出。根据变量重要性投影预测出各个品种间产生差异的42个香气标记物, 香气活性值分析找出了呈现各自特征气味的关键香气, 相关性分析找出梨品质性状与特征香气之间的联系。根据主成分分析结果计算得分并排序, 8-44、10-173、10-101综合排名最高, 果实品质较好。综上所述, 8-44、10-101和10-173可作为7个梨种质资源中具有潜力的梨株系, 为梨新品种选育和推广提供数据参考。

**关键词:**梨; 杂交后代; 果实品质; 气相色谱-质谱联用; 挥发性香气

Analysis and Evaluation of Fruit Quality and Volatile Composition of F1 Hybrids between ‘Yuluxiang’ and ‘Shinseiki’ Pear

YUE Yu<sup>1</sup>, HUANG Ping<sup>1</sup>, CHEN Hu<sup>2</sup>, YU Chunliang<sup>3</sup>, PENG Jianying<sup>1,\*</sup>

(1. College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Hebei Pear Engineering Technology Research Center, Baoding 071000, China;

2. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;

3. Wei County Forest and Fruit Development Service Center, Agriculture and Rural Bureau, Xingtai 054700, China)

**Abstract:** In order to explore the genetic variation between hybrid fruits and their parents and conduct comprehensive evaluation of hybrid fruits, seven promising F1 hybrids (7-93, 8-44, 8-176, 9-188, 9-193, 10-101 and 10-173) between ‘Yuluxiang’ and ‘Shinseiki’ pears, the female parent ‘Yuluxiang’ and the popular cultivar ‘Akizuki’ were evaluated for quality indicators such as single fruit mass, fruit shape index, hardness, soluble solid content, soluble sugar content, titratable acid content, sugar/acid ratio, vitamin C content, and aroma composition. Meanwhile, the differences in aroma among different cultivars were evaluated using orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA). The results showed that there was a significant difference in fruit quality among the seven F1 hybrids, with 8-44 having a fruit shape index equal to 1 and the highest soluble solids and sugar content. Altogether, 83 volatile components were detected from the nine cultivars, of which 10-173 and 8-44 had the highest total amount of volatile components, and 10-173 and 10-101 contained the highest number of volatile compounds. The major aroma components in pears were alcohols, esters, and aldehydes. The OPLS-DA results showed that the aroma components of 10-101 and 10-173 were significantly different from those of the other strains. Fruit quality traits of 10-101 had a significantly positive correlation with ethyl acetate and

收稿日期: 2023-03-24

基金项目: 河北省重点研发计划-现代种业科技专项(20326337D; 21326308D); 河北省现代农业产业技术体系项目(HBCT2021210201)

第一作者简介: 岳郁(1999—)(ORCID: 0009-0004-4641-7116), 女, 硕士, 研究方向为梨种质资源。E-mail: 787408799@qq.com

\*通信作者简介: 彭建营(1965—)(ORCID: 0009-0005-5118-7965), 男, 教授, 博士, 研究方向为果树种质资源、遗传育种、生物技术和分子生物学。E-mail: pjy@hebau.edu.cn

hexyl acetate; fruit quality traits of 10-173 had a significantly positive correlation with ethyl octanoate and  $\alpha$ -farnesene and *trans*-2-hexenal, and their contents were significantly higher than those in the other strains, making the flavor more prominent. According to variable importance in the projection (VIP) results, we predicted 42 aroma markers that differed among varieties, and through odor activity value (OAV) analysis, we identified key volatile compounds that contributed to the characteristic odor of each strain. Through correlation analysis, we identified the association between pear quality traits and characteristic aromas. Principal component analysis (PCA) showed that the comprehensive scores of 8-44, 10-173 and 10-101 had the highest ranking, indicating that they had better fruit quality than the other strains. In summary, 8-44, 10-101, and 10-173 can be regarded as potential pear strains. This study can provide a reference for the breeding and promotion of new pear varieties.

**Keywords:** pear; hybrid offspring; fruit quality; gas chromatography-mass spectrometry; volatile aroma

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230324-239

中图分类号: S661.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2023)24-0277-09

引文格式:

岳郁, 黄平, 陈虎, 等. ‘玉露香’与‘新世纪’梨杂交F1代果实品质和香气成分的分析与评价[J]. 食品科学, 2023, 44(24): 277-285. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230324-239. <http://www.spkx.net.cn>

YUE Yu, HUANG Ping, CHEN Hu, et al. Analysis and evaluation of fruit quality and volatile composition of F1 hybrids between ‘Yuluxiang’ and ‘Shinseiki’ pear[J]. Food Science, 2023, 44(24): 277-285. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230324-239. <http://www.spkx.net.cn>

梨果实酥脆多汁、营养丰富, 同时还具有减缓咳嗽、抗炎等作用, 受到众多消费者的喜爱, 为提升梨的果实品质, 满足不同人群对梨果品的要求, 研究者开始不断培育品质更佳的梨新品种<sup>[1]</sup>。‘玉露香’梨是以‘库尔勒香梨’为母本、‘雪花梨’为父本杂交育成的优质中熟品种, 其果个大, 果形端正, 果面光洁, 具有皮薄、肉细、酥脆多汁、可食率高、含糖量高等诸多优点。‘新世纪’梨是以‘长十郎’梨为母本、‘二十世纪’梨为父本培育的优良中早熟品种<sup>[2]</sup>, 其果实呈苹果状, 皮薄、肉质细脆、味甜, 汁较多, 有香气, 且无明显石细胞。因此将两者选作为父母本进行杂交, 旨在选育出比亲本品种表现更好的新品种。

近年来, 一些学者对梨杂交F1代重要农艺性状相关遗传规律进行了深入研究。董秀娟等<sup>[3]</sup>研究了‘鄂梨2号’与‘华梨2号’杂交后代单果质量、果实硬度和果梗粗度等12个果实品质性状遗传的影响。白冰等<sup>[4]</sup>以‘砀山酥梨’与‘丰水梨’及其正、反交后代群体为研究对象, 连续2 a对亲本及其后代果实的单果质量、横纵径、果形指数、可溶性固形物含量的遗传规律进行研究。赵亚楠等<sup>[5]</sup>以‘苹果梨’与‘八月红’及其210株F1杂交后代为材料, 对其果实大小、果形指数等6个性状的遗传倾向进行调查和研究。随着对梨杂交F1代不断深入研究, 香气也成为梨内在品质的评价指标之一。果实香气是不同气味的挥发性化合物的总称, 既可以提供直观感受, 又对内在风味有重要影响<sup>[6]</sup>。研究人员已经对苹果<sup>[7]</sup>、葡萄<sup>[8]</sup>、柑橘<sup>[9]</sup>的香气进行分析, 而对梨果实香气的研究较少<sup>[10]</sup>。目前, 已有研究表明梨果实中已鉴定出300多种挥

发性物质, 包括酯类、醇类、醛类、烯炔类、酮类等, 果实中香气成分的种类、含量的多少决定着果实的香味<sup>[11]</sup>。刘婉君等<sup>[12]</sup>研究了18个梨品种授粉对鸭梨果实香气成分的影响, 结果表明不同的品种授粉可以显著改善鸭梨果实的香味。向思敏等<sup>[13]</sup>研究表明杂交后代新梨7号果实中挥发性物质的种类与父本早酥梨和母本库尔勒香梨相比有所减少, 其主要挥发性物质与亲本相似, 挥发性物质的总含量高于父本, 但低于母本。

在有关梨种质资源评价的报道中, 对香气指标的研究仅通过嗅觉方式辨别香气的有无, 而利用适当的方法检测和鉴定香气成分, 将其作为一项内在品质指标进行分析评价的报道较少, 因此, 本研究选取7个梨杂交F1代以及母本‘玉露香’和‘秋月’的成熟果实为试材, 对其单果质量、果实横纵径、可溶性固形物和香气物质等指标进行测定。分析比较梨杂交F1代与母本‘玉露香’及‘秋月’之间的经济性状和香气成分差异性, 旨在为‘玉露香’和‘新世纪’梨杂交F1代品质性状评价以及梨香气育种的亲本选择提供科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

材料为2022年8月5日采集的7个梨杂交F1代(7-93、8-44、8-176、9-188、9-193、10-101、10-173)及‘玉露香’(YLX)和‘秋月’(QY)的成熟果实, 供试梨园位于河北邢台威县香花营梨博园基地, 管理正常。每个品种(株系)取5个完整、生长正常、大小均一的果实,

每种梨果实混合后分为3个生物学重复,每次重复包括5个果实。采集后运输至冷库保存,用于后续各项指标的测定。

C<sub>5</sub>~C<sub>25</sub>正构烷烃(色谱纯)、3-壬酮(分析纯)、氯化钠(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

## 1.2 仪器与设备

7890B-7000C气相色谱-质谱联用仪、HP-5MS毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm) 美国Agilent公司; 50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 果实品质性状测定

果实品质的测定主要参考《梨种质资源描述规范和数据标准》,对参试品种(株系)果实的单果质量、果实的横径纵径、果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量、VC含量等品质性状指标进行测定。

### 1.3.2 挥发性香气提取

样品前处理:待测样品采用四分法去除果核和果心后,用液氮研磨成精细粉状,取1 g粉末、1 mL NaCl饱和溶液和10 μL 3-壬酮(0.04 mg/mL)于20 mL的样品瓶内,加入转子,用橡胶隔片(由聚四氟乙烯丁基合成)密封,待进样分析。

顶空进样条件:40 °C水浴条件下预热10 min,再将DVB/CAR/PDMS萃取头插入到顶空瓶口的液体上方,于40 °C磁力搅拌器上萃取吸附40 min,转速800 r/min,取出萃取头后立即插入到气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用仪进样口中,解吸温度240 °C,解吸时间8 min,随后进行GC-MS分析。

### 1.3.3 GC-MS分析条件

GC条件:进样口温度240 °C;载气为高纯He(纯度≥99.999%),流速1.0 mL/min;升温程序:初始温度45 °C,保持1 min,以5 °C/min升至65 °C保持1 min,以1 °C/min升至80 °C,保持1 min,以15 °C/min升至250 °C,保持2 min,运行时间为35 min;不分流进样。

MS条件:采用全扫描模式采集信号;离子源温度230 °C;四极杆温度150 °C;电子能量70 eV;质量扫描范围 $m/z$  30~350,忽略溶剂延迟。

### 1.3.4 挥发性物质的定性定量分析

定性方法:通过对未知化合物GC-MS总离子流色谱图与美国国家标准技术研究所质谱库中的化合物进行对比,仅保留匹配度≥80%的化合物,并结合保留指数(retention index, RI)进行对比定性。

定量方法:采用内标法对样品中挥发性成分进行定量分析,其中3-壬酮作为内标;将3-壬酮单标配制成内标溶液加入到样品中。各组份含量按式(1)计算:

$$\text{各组份含量}(\text{ng/g}) = \frac{\frac{\text{各组份峰面积}}{\text{内标峰面积}} \times \text{内标质量浓度}(\text{mg/L}) \times \text{内标体积}(\mu\text{L}) \times 1000}{\text{样品质量/g}} \quad (1)$$

### 1.3.5 香气活性值(odor activity values, OAV)计算

OAV是指香气成分浓度与该香气阈值浓度之比,表示该香气成分对香气整体的贡献度,当OAV≥1时,表明该香气物质是样品的关键香气化合物。香气阈值是指人们对某种香气物质能感觉到的最小浓度,查阅文献得到香气物质阈值,再根据物质含量计算各香气物质的OAV,按式(2)计算:

$$\text{OAV} = \frac{\text{香气物质含量}(\mu\text{g/kg})}{\text{香气物质阈值}(\mu\text{g/kg})} \quad (2)$$

## 1.4 数据统计分析

利用Excel 2020软件对实验数据进行统计;利用Origin 2020软件对实验数据进行作图;利用Simca14.1软件进行差异性分析;采用SPSS 26.0数据分析软件进行显著性分析、相关性分析和主成分分析(principal component analysis, PCA)。

在PCA前为了消除量纲的影响,需要对所测得的数据进行标准化处理。本实验采用隶属函数法将数据规范至[0, 1]。对每个果实品质指标的衡量标准都有所差异,对于梨果实外观品质,一般认为单果质量、果形指数越大越好;对于梨果实内在品质,认为可溶性固形物含量、果实硬度、VC含量、可溶性糖含量、糖酸比和挥发物含量越大越好,而可滴定酸含量越小越好。因此将9项指标进行分类,分为正向指标(单果质量、果形指数、可溶性固形物含量、果实硬度、VC含量、可溶性糖含量、糖酸比和挥发物含量)和负向指标(可滴定酸含量)。其中正向指标需要正向化处理,按式(3)进行计算,负向指标进行逆向化处理,按式(4)进行计算:

$$U_{in} = \frac{X_{in} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (3)$$

$$U'_{in} = 1 - \frac{X_{in} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} = 1 - U_{in} \quad (4)$$

式中: $U_{in}$ 和 $U'_{in}$ 分别为正相关和负相关指标第 $n$ 个样品第 $i$ 个指标的原始值标准化的隶属函数值; $X_{in}$ 为第 $n$ 个样品第 $i$ 个指标的原始值; $X_{imax}$ 和 $X_{imin}$ 分别为样品组中第 $i$ 个指标的最大原始值和最小原始值。





7个杂交F1代中共检测出74种挥发性成分,包括醇类11种、酯类21种、萜烯8种、醛类7种、酮类7种、呋喃2种和其他化合物18种;‘玉露香’和‘秋月’中共含有34种挥发性成分,包括醇类6种、酯类5种、醛类2种、萜烯3种、醛类6种、酮类3种、呋喃1种和其他化合物8种。从总挥发物含量上看,由大到小依次为10-173>8-44>QY>7-93>9-188>9-193>10-101>Y LX>8-176;从挥发物个数上看,由多到少依次为10-173>10-101>8-176>7-93>9-188>9-193>8-44>Y LX>QY。结果表明,梨的挥发性成分中酯类的种类最多,其次为醇类和醛类;醛类的含量最高,其次是醇类和酯类,三者总含量占到梨中所测得挥发性成分总量的90%以上,由此可知梨中主要挥发性成分为醇类、酯类和醛类化合物。

7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’的成熟果实挥发物类别的数量与比例如表3所示。‘秋月’的醇类物质占比最高,其中正己醇在醇类物质中含量最高;10-101的酯类物质、呋喃类物质中和酮类物质占比最高,其中乙酸乙酯、乙酸己酯、丁酸乙酯在酯类物质中含量最高,2-乙基呋喃在呋喃类物质中含量最高;8-176的萜烯类物质占比最高,其中6,6-二甲基富烯在萜烯类中含量最高;9-188的醛类物质占比最高,己醛和反-2-己烯醛在醛类物质中含量最高。

### 2.3 ‘玉露香’与‘新世纪’梨杂交F1代挥发性成分的差异性分析

#### 2.3.1 正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares-discrimination analysis, OPLS-DA)

如图1所示,10-101在PC1维度与其他株系有显著差异;10-173在PC2维度与其他株系有显著差异;8-44、7-93、9-193和9-188之间差异不显著,但在PC2维度与8-176有显著差异;母本‘玉露香’、‘秋月’以及8-176均在第4象限,差异不显著,但是均显著区别于其他杂交后代。结果表明:梨杂交后代中10-101和10-173的挥发物组成与母本具有较大差异,8-176的挥发性组成与母本差异最小,而‘玉露香’和‘秋月’之间的挥发物组成相似。

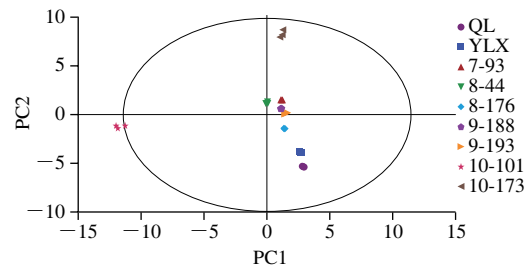


图1 7个梨杂交F1代、‘玉露香’和‘秋月’果实挥发性成分的OPLS-DA

Fig. 1 OPLS-DA plot of volatile components in seven pear F1 hybrids, ‘Yuluxiang’ and ‘Akizuki’

#### 2.3.2 双标载荷图(Biplot)分析

由图2可知,‘秋月’与V37和V55呈显著正相关,V37为酯类化合物,具有丰富的水果香味<sup>[14]</sup>,V55是杧果香气的主要成分,有典型的杧果香味<sup>[15]</sup>;‘玉露香’与V57和V66呈显著正相关,V57具有茶香和草本植物的气味<sup>[16-17]</sup>,V66表现出玫瑰花香和茶香的气味<sup>[18-19]</sup>;10-101与V16和V17呈显著正相关,V16为水果味<sup>[20-21]</sup>,V17为怡人的果香<sup>[22]</sup>;10-173与V29、V41、V50呈显著正相关,V29具有独特的果香味和玫瑰花香<sup>[23-24]</sup>,V41具有乌龙茶的香味<sup>[25]</sup>,V50是新鲜水果的主要挥发物成分,具有典型的葡萄浆果的香味<sup>[26-27]</sup>;其中V29和V41是红香酥梨的特征香气成分<sup>[28]</sup>。

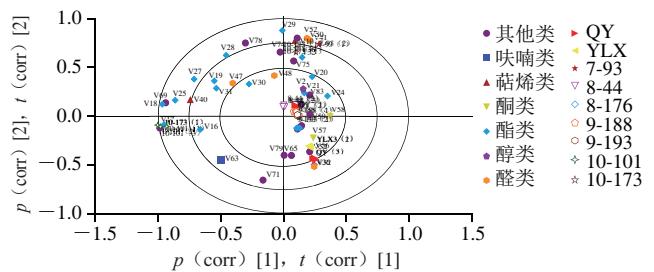


图2 7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’果实挥发性成分Biplot分析

Fig. 2 Biplot analysis of volatile components in seven pear F1 hybrids, ‘Yuluxiang’ and ‘Akizuki’

表3 7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’挥发物类别的数量与比例  
Table 3 Number and proportion of aroma categories in seven pear F1 hybrids, ‘Yuluxiang’ and ‘Akizuki’

挥发物类别	QY		Y LX		7-93		8-44		8-176		9-188		9-193		10-101		10-173	
	种类/个	相对含量/%	种类/个	相对含量/%	种类/个	相对含量/%	种类/个	相对含量/%	种类/个	相对含量/%	种类/个	相对含量/%	种类/个	相对含量/%	种类/个	相对含量/%	种类/个	相对含量/%
醇类	5	49.34	2	15.50	2	14.37	3	27.85	4	21.80	1	8.83	5	17.40	3	14.16	2	18.91
酯类	3	0.47	3	6.47	12	3.95	9	3.25	11	3.94	10	2.20	7	3.93	13	7.06	16	2.80
萜烯类	0	0.00	3	0.39	2	0.04	3	0.26	2	0.86	2	0.38	2	0.47	2	0.14	5	0.58
醛类	4	47.93	4	73.80	3	78.00	3	67.03	4	69.43	4	86.23	5	76.16	4	73.71	4	74.90
酮类	1	0.26	2	0.25	3	0.05	0	0	1	0.06	1	0.02	1	0.01	2	1.50	2	0.19
呋喃类	1	0.53	1	0.20	1	0.27	1	0.30	1	0.11	1	0.10	0	0	1	0.64	0	0
其他类	6	1.47	6	3.39	8	3.31	5	1.31	8	3.80	7	2.23	5	2.03	10	2.79	7	2.62
总和	20	100	21	100	31	100	24	100	31	100	26	100	25	100	35	100	36	100

2.3.3 VIP分析

通过OPLS-DA可看出不同单株(品种)间挥发性成分差异显著,为进一步筛选产生差异影响的重要挥发性物质,以VIP值大于1为指标,最终预测出造成‘玉露香’、‘秋月’与7个梨杂交F1代差异的42个香气标记物(见图3,并在表2中标\*)。其中,V5为8-44独有,具有杏味<sup>[29]</sup>;V7、V8、V9、V33、V72为9-193独有,具有醇酸类气味和典型的梨果味<sup>[30]</sup>;V23为7-93独有,具有乙酸酯类化合物的酯香味<sup>[31]</sup>;V6、V46、V51、V64、V67、V82为8-176独有,具有诸多香气类别的复杂气味,各香气间相辅相成,如咪喃的茶香味<sup>[32]</sup>等;V15、V38、V49、V66为‘玉露香’独有,具有茶的清香和花香<sup>[33]</sup>。

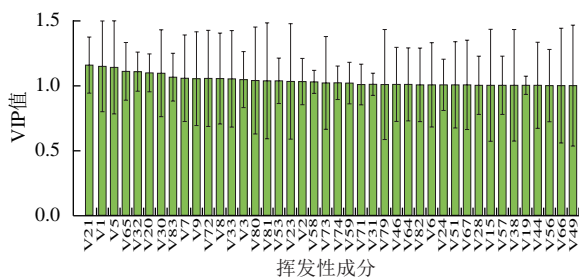


图3 7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’果实挥发性成分VIP分析

Fig. 3 VIP analysis of volatile components in seven pear F1 hybrids, ‘Yuluxiang’ and ‘Akizuki’

2.3.4 挥发性成分的OAV分析

表4 7个杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’果实挥发性成分的OAV分析

Table 4 OAV analysis of volatile components in seven F1 hybrids, ‘Yuluxiang’ and ‘Akizuki’

编号	挥发性化合物	阈值/ (μg/kg)	OAV									
			QY	YLX	7-93	8-44	8-176	9-188	9-193	10-101	10-173	
V3	正己醇	5370	1.25	<1	<1	1.16	<1	<1	<1	<1	<1	<1
V19	乙酸丁酯	66	—	—	<1	—	<1	—	—	<1	<1	
V20	乙酸异戊酯	94	—	—	<1	—	<1	<1	—	—	<1	
V21	乙酸丙酯	2000	—	—	—	—	<1	<1	—	—	<1	
V24	丁酸乙酯	82	—	8.16	3.37	5.05	<1	1.06	1.48	—	4.53	
V28	2-甲基丁酸乙酯	1813	—	—	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
V32	苯甲酸乙酯	1434	—	—	—	—	—	<1	—	—	<1	
V49	癸醛	0.1	—	8.8	—	—	—	—	—	—	—	
V53	(E,E)-2,4-己二烯醛	1.6	5.53	—	—	—	—	—	—	7.78	—	
V56	β-大马烯酮	0.1	—	—	14.8	—	—	—	—	8.9	—	
V57	3-辛酮	70	<1	<1	<1	—	—	—	—	—	—	
V58	甲基庚烯酮	50	<1	<1	<1	—	—	—	—	—	<1	
V64	2-戊基呋喃	5.8	—	—	—	—	1.54	—	—	—	—	

注:—未检出。

为进一步分析挥发性化合物对梨整体香气的贡献,将VIP分析所得造成差异的42个香气标记物进行OAV分

析,结合已有文献报道的香气阈值进行计算,部分物质因其未知的阈值无法获得,未能计算其OAV,最终找到13个香气物质,结果如表4所示。正己醇是‘秋月’和8-44的关键香气物质;丁酸乙酯是‘玉露香’、7-93、8-44、9-188、9-193和10-173的关键香气物质;癸醛是‘玉露香’的关键香气物质;(E,E)-2,4-己二烯醛是‘秋月’和9-193的关键香气物质;β-大马烯酮是7-93和9-193的关键香气物质;2-戊基呋喃是8-176的关键香气物质。

2.4 ‘玉露香’与‘新世纪’梨杂交F1代果实品质性状与特征香气相关性分析

利用SPSS统计分析软件对‘玉露香’和‘新世纪’杂交F1代品质性状与OAV分析得到的13个特征香气进行相关性分析,结果见表5。其中,正己醇和VC含量呈显著正相关,相关系数为0.669;乙酸丁酯和VC含量呈显著负相关,相关系数为-0.762;2-甲基丁酸乙酯和可溶性固形物含量呈显著正相关,相关系数为0.679;2-戊基呋喃和糖酸比呈显著正相关,相关系数为0.756。

表5 7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’果实品质性状与特征成分间的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between fruit quality traits and characteristic components of seven pear F1 hybrids, ‘Yuluxiang’ and ‘Akizuki’

指标	VC含量	可溶性固形物含量	可溶性糖含量	可滴定酸含量	糖酸比
正己醇	0.669*	0.352	0.580	0.290	-0.249
乙酸丁酯	-0.762*	-0.307	-0.232	-0.087	0.242
乙酸异戊酯	-0.528	0.060	-0.342	-0.430	0.444
乙酸丙酯	-0.509	0.185	-0.319	-0.364	0.424
丁酸乙酯	0.130	0.352	0.084	0.658	-0.560
2-甲基丁酸乙酯	-0.069	0.679*	0.366	0.413	-0.362
苯甲酸乙酯	-0.478	0.135	-0.499	0.180	-0.111
癸醛	0.102	-0.104	-0.042	0.321	-0.317
(E,E)-2,4-己二烯醛	0.597	-0.418	-0.189	0.028	-0.182
β-大马烯酮	0.095	-0.226	-0.242	-0.156	-0.005
3-辛酮	0.032	-0.141	-0.054	0.028	-0.106
甲基庚烯酮	0.228	-0.330	-0.164	0.433	-0.359
2-戊基呋喃	-0.419	-0.061	0.024	-0.485	0.756*

注:\*.在0.05水平相关性显著。

2.5 ‘玉露香’与‘新世纪’梨杂交F1代果实内外品质及挥发性成分综合评价

采用SPSS对7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’成熟果实的单果质量、果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量、VC含量、糖酸比、挥发物含量9个品质指标测定数据进行PCA(表6),其中有3个PC特征值大于1,方差贡献率分别为36.79%、22.78%、19.58%,累计贡献率达79.15%,表明此3个PC可作为7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’的成熟果实品质影响的综合评价指标。

表6 PC的特征值、贡献率及累计贡献率

Table 6 Eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates of principal components

PC	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.311	36.79	36.79
2	2.050	22.78	59.57
3	1.762	19.58	79.15

由表7可知, PC1贡献率较大的为挥发物含量和果形指数; PC2中可溶性糖含量贡献最大, 其次为糖酸比和可滴定酸含量; PC3中以可溶性固形物含量和单果质量的影响为主; 根据各成分的贡献率, 表明挥发物含量、果形指数、可溶性糖含量、糖酸比、可滴定酸含量、可溶性固形物含量、单果质量是影响杂交后代果实品质较大的指标。

表7 各品质指标的PC载荷矩阵

Table 7 PC loading matrix of quality indexes

指标	PC1	PC2	PC3
挥发物含量	0.800	-0.166	-0.128
果形指数	0.784	-0.001	0.321
可滴定酸含量	-0.717	0.599	0.154
糖酸比	-0.694	0.593	0.361
可溶性固形物含量	0.648	0.422	0.400
可溶性糖含量	0.491	0.831	0.091
VC含量	0.399	0.450	-0.748
果实硬度	0.059	0.458	-0.708
单果质量	0.488	0.176	0.510

将标准化处理后的性状指标数据带入 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 这3个PC得分数学函数式中, 得到以下公式:

$$Y_1 = 0.268X_1 + 0.43X_2 + 0.032X_3 + 0.356X_4 + 0.27X_5 - 0.394X_6 + 0.219X_7 - 0.381X_8 + 0.44X_9$$

$$Y_2 = 0.123X_1 - X_2 + 0.32X_3 + 0.295X_4 + 0.58X_5 + 0.419X_6 + 0.315X_7 + 0.415X_8 - 0.116X_9$$

$$Y_3 = -0.383X_1 + 0.241X_2 - 0.532X_3 + 0.3X_4 + 0.068X_5 + 0.116X_6 - 0.562X_7 + 0.271X_8 - 0.096X_9$$

由此可以获得7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’的成熟果实的3个PC分数, 综合评价模型是以各主成分的方差贡献率为权重进行构建, 得出梨果实品质综合评价模型:  $Y = 0.01 \times (36.793Y_1 + 22.777Y_2 + 19.577Y_3)$ , 计算出7个杂交F1代株系、‘玉露香’和‘秋月’综合得分和排名, 8-44综合评价最好, 其次为10-173、10-101三者综合排名均高于‘玉露香’与‘秋月’(表8)。

表8 7个杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’果实品质综合评价

Table 8 Comprehensive evaluation of fruit quality of seven F1 hybrids,

‘Yuluxiang’ and ‘Akizuki’

编号	PC得分			综合得分	排名
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$		
QY	-0.29	1.61	-2.42	-0.215	5
YLY	0.47	-0.07	-0.74	0.013	4
7-93	-0.76	0.02	0.26	-0.224	6
8-44	3.69	1.88	0.73	1.930	1
8-176	-2.74	0.56	1.74	-0.538	8
9-188	-1.02	-0.01	0.51	-0.278	7
9-193	-0.95	-1.36	-1.58	-0.971	9
10-101	0.02	-0.44	0.92	0.087	3
10-173	1.58	-2.20	0.59	0.196	2

### 3 讨论

果实品质是影响果实经济价值和竞争力最根本的原因, 诸如果实外在表型、可溶性固形物含量、VC含量、挥发性物质含量等, 这些特征与果实品质密切相关, 其中果实风味是最能凸显果实特色的品质, 主要是通过人的嗅觉和味觉被感知, 可以通过嗅觉感知到的风味物质又被称为特征香气。由于果实香气物质成分复杂、含量低, 选用合适的方法提取、检测和鉴定香气成分对果实香气分析至关重要。本研究利用GC-MS方法, 分析7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’成熟果实的香气成分, 旨在梨新品种选优中增加香气成分指标, 为梨果实品质的综合评价补充新的思路和方法, 使评价更全面, 更综合。

结果表明, 7个梨杂交F1代在果实品质中表现出显著差异, 其中8-44的可溶性固形物含量和可溶性糖含量显著高于母本, 10-173可滴定酸含量也显著高于母本。7个梨杂交F1代以及‘玉露香’和‘秋月’的成熟果实中共含有83种挥发性成分。对比各样品挥发物含量, 除8-176外其余株系均高于母本, 其中10-173和8-44又高于其他株系; 在挥发物总数中所有株系的挥发物总数均高于母本, 10-173和10-101又高于其他株系。由此可看出, 通过杂交育种, 其后代的香气成分含量更为丰富, 风味也更突出。梨中主要挥发物成分为醇类、酯类和醛类化合物, 与张军<sup>[34]</sup>、李杰<sup>[35]</sup>、郑璞帆<sup>[6]</sup>等的研究结果一致。OPLS-DA结果表明, 梨杂交后代中10-101和10-173的挥发物组成与母本具有较大差异, 8-176的挥发性组成与母本差异最小, ‘玉露香’和‘秋月’之间的挥发物组成相似。VIP结果预测出‘玉露香’、‘秋月’与7个梨杂交F1代产生差异的42个香气标记物, 同时通过OAV鉴定出样品各自特征气味的关键香气。10-101与10-173与母本造成差异的原因分别是10-101与乙酸乙酯和乙酸己酯呈显著正相关, 10-173与辛酸乙酯、 $\alpha$ -法尼烯、反式-2-己烯醛呈显著正相关, 同时其含量显著高于其他株系。不同梨果实因其自身的香气物质组成而形成独特的果实香味, 这对于果实品质特色的构建具有重要意义。对‘玉露香’和‘新世纪’杂交F1代品质性状与特征香气进行相关性分析, 找出两者之间的联系。对‘玉露香’与‘新世纪’梨杂交F1代果实内外品质及挥发性成分进行综合评价, 排名高于‘玉露香’和‘秋月’的单株为8-44、10-173、10-101, 因此, 加入香气指标可为梨果实品质综合评价提供思路, 在原有基础上选出风味更突出的果实, 同时也可进一步找出不同单株香气成分之间的差异, 以及造成差异的关键特征香气, 进行综合对比, 为梨杂交后代育种提供新的思路。



## 4 结论

梨杂交F1代中8-44、10-101和10-173梨株系品质较佳,可作为候选品种进一步评价,不同梨株系的挥发性成分差异较大,其特征香气也不同,品质性状优异的梨株系含有的挥发性成分也较为丰富。本研究结果也为梨杂交后代果实香气遗传规律研究、特征香气鉴定提供参考依据。

## 参考文献:

- [1] 赵欣,梁克红,朱宏,等.不同品种梨营养品质及风味物质比较研究[J].食品安全质量检测学报,2020,11(21):7797-7805. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.21.026.
- [2] DEVARAJ R D, JEEPIALLI S P K, XU B J. Phytochemistry and health promoting effects of Job's tears (*Coix lacryma-jobi*): a critical review[J]. Food Bioscience, 2020, 34: 100537. DOI:10.1016/j.fbio.2020.100537.
- [3] 董秀娟,杨晓平,杜威,等.梨F1代果实品质性状遗传规律分析[J].北方园艺,2022(7):23-29. DOI:10.11937/bfy.20213745.
- [4] 白冰,刘伦,秦梦帆,等.砀山酥梨与丰水梨正、反交群体果实性状的遗传特征[J].江苏农业科学,2018,46(16):108-112. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.16.027.
- [5] 赵亚楠,欧春青,王斐,等.梨F<sub>1</sub>代群体果实性状的遗传分析及相关性研究[J].西北农业学报,2018,27(12):1811-1818. DOI:10.7606/j.issn.1004-1389.2018.12.014.
- [6] 郑璞帆,张梅,庞志豪,等.京津冀地区主栽梨品种果实外观特征、营养特性及香气物质分析[J].南开大学学报(自然科学版),2020,53(6):35-42.
- [7] ZHAO P T, YANG Y, WANG X Y, et al. Evolution of typical aromas and phenolic compounds of a red-fleshed apple throughout different fruit developmental periods in Xinjiang, China[J]. Food Research International, 2021, 148: 110635. DOI:10.1016/j.foodres.2021.110635.
- [8] WU Y S, ZHANG W W, YU W J, et al. Study on the volatile composition of table grapes of three aroma types[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 115: 108450. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108450.
- [9] MIYAZAWA N, FUJITA A, KUBOTA K. Aroma character impact compounds in Kinokuni mandarin orange (*Citrus kinokuni*) compared with Satsuma mandarin orange (*Citrus unshiu*)[J]. Biotechnology and Biochemistry, 2010, 74(4): 835-842. DOI:10.1271/bbb.90937.
- [10] 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. DOI:10.13925/j.cnki.gsx.2009.03.007.
- [11] 徐钰清,田路明,曹玉芬,等.梨果肉质地及香气研究进展[J].果树学报,2023,40(4):757-770. DOI:10.13925/j.cnki.gsx.20220487.
- [12] 刘婉君,张莹,张玉星,等.18个品种授粉‘鸭梨’果实品质和香气成分分析与评价[J].食品科学,2022,43(2):294-302. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210130-348.
- [13] 向思敏,刘园,王江波,等.新梨7号及其亲本果皮挥发性物质的比较分析[J].华中农业大学学报,2021,40(5):108-115. DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.05.014.
- [14] 唐杰,龙晓琴,何银,等.赤水晒醋的香气成分分析研究[J].中国调味品,2017,42(10):135-139. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2017.10.029.
- [15] 马小卫,杨颖娣,武红霞,等.杜果种质资源果实香气多样性分析[J].园艺学报,2016,43(7):1267-1274. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2015-0899.
- [16] 钟剑章,韦哲君,王文林,等.油梨叶茶的香气成分与品质特点分析[J].食品研究与开发,2022,43(5):163-169. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2022.05.024.
- [17] DENNIS E G, KEYZERS R A, KALUA C M, et al. Grape contribution to wine aroma: production of hexyl acetate, octyl acetate, and benzyl acetate during yeast fermentation is dependent upon precursors in the must[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(10): 2638-2646. DOI:10.1021/jf2042517.
- [18] 王静,刘相真,王瑾,等.五种绿茶在贮藏期间的香气变化[J].中国茶叶加工,2020,162(4):29-33. DOI:10.15905/j.cnki.33-1157/ts.2020.04.004.
- [19] WELKE J E, NICOLLI K P, HERNANDES K C, et al. Adaptation of an olfactometric system in a GC-FID in combination with GC × GC/MS to evaluate odor-active compounds of wine[J]. Food Chemistry, 2022, 370: 131004. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.131004.
- [20] 蒙秋霞,张丽珍,李阳,等.不同产地‘玉露香’梨品质及香气物质分析[J].中国果树,2020(3):28-33. DOI:10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2020.03.006.
- [21] ZLATIĆ E, ZADNIK V, FELLMAN J, et al. Comparative analysis of aroma compounds in ‘Bartlett’ pear in relation to harvest date, storage conditions, and shelf-life[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 117: 71-80. DOI:10.1016/j.postharvbio.2016.02.004.
- [22] LUO M L, ZHOU X, SUN H J, et al. Insights into profiling of volatile ester and LOX-pathway related gene families accompanying post-harvest ripening of ‘Nanguo’ pears[J]. Food Chemistry, 2020, 335: 127665. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127665.
- [23] 马越,谢国莉,许肇初,等.金珠果梨香气成分GC-MS分析研究[J].食品研究与开发,2018,39(12):138-144. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2018.12.027.
- [24] YOON H S, PARK J M, PARK H, et al. Quality characteristics of Korean domestic commercial white wines[J]. The Korean Journal of Food and Nutrition, 2016, 29(4): 538-546. DOI:10.9799/ksfan.2016.29.4.538.
- [25] 李鑫磊,邓慧莉,钟秋生,等.‘春闰’与‘福云6号’乌龙茶香气组分差异研究[J].茶叶学报,2021,62(3):112-116.
- [26] 李凯,商佳胤,田淑芬,等.‘醉金香’和‘香玉’葡萄果实活性香气成分分析[J].中外葡萄与葡萄酒,2021,238(4):33-39. DOI:10.13414/j.cnki.zwpp.2021.04.007.
- [27] CHEN H, LIU Y Q, CHEN J W, et al. Effects of spontaneous fermentation on microbial succession and its correlation with volatile compounds during fermentation of Petit Verdot wine[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 168: 113890. DOI:10.1016/j.lwt.2022.113890.
- [28] 李美萍,李彩林,王华瑞,等.顶空固相微萃取-气相色谱-嗅闻-质谱联用分析红香酥梨的香气成分[J].食品研究与开发,2020,41(6):130-139. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2020.06.023.
- [29] 魏树伟,林乐红,王少敏.鲁杏6号果实香气顶空固相微萃取气质联用分析[J].落叶果树,2018,50(1):11-12. DOI:10.13855/j.cnki.lygs.2018.01.004.
- [30] 周玮婧,江小明.气相色谱法测定不同香型白酒中醇类与醛类物质含量[J].中国酿造,2017,36(4):180-183. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2017.04.037.
- [31] 张翠英,崔丹瑶,李维,等.高产乙酸酯酿酒酵母菌种的选育与提高白酒酯香物质含量的研究[J].酿酒科技,2018,289(7):92-97. DOI:10.13746/j.njkj.2018166.
- [32] 杨培迪,刘振,赵洋,等.不同茶树品种绿茶干茶色泽及香气分析[J].分子植物育种,2020,18(15):5115-5126. DOI:10.13271/j.mpb.018.005115.
- [33] 张珍珍,杨远帆,孙浩,等.3种清香型铁观音挥发性成分及香味特征[J].集美大学学报(自然科学版),2016,21(3):175-183. DOI:10.19715/j.jmuzr.2016.03.003.
- [34] 张军,李靖靖.梨果实香气物质的研究综述[J].中州大学学报,2020,37(3):123-128. DOI:10.13783/j.cnki.cn41-1275/g4.2020.03.023.
- [35] 李杰,韩继成,杨素苗,等.‘花盖梨’果实香气成分的GC-MS分析[J].河北农业科学,2020,24(5):51-55. DOI:10.12148/hbnykx.20200113.