

基于电子鼻和电子舌技术对杏种质资源品质性状的遗传多样性分析

马小雪, 章秋平*, 赵海娟, 张玉萍, 徐铭, 刘威生,
刘硕, 刘宁, 张玉君, 刘家成, 王碧君

(辽宁省果树科学研究所, 辽宁熊岳 115009)

摘要:【目的】探究杏香气、滋味等果实品质性状的遗传变异, 筛选优异种质。【方法】利用电子鼻、电子舌以及高效液相色谱等技术对 119 份杏种质资源的果实品质进行评价。【结果】电子鼻的 W5S、W1S、W1W 和 W2W 等 4 个传感器对杏香气响应敏感; 电子舌测定显示酸味和甜味是杏的主要滋味。相关性分析发现电子舌甜味值与可溶性固形物含量、糖组分含量呈显著正相关, 与酸组分含量呈显著负相关。主成分分析显示前 3 个主成分分别代表杏的香气性状、果实滋味性状和酸组分含量性状。结合聚类分析与主成分分析, 认为草滩梅杏等种质在多个果实品质特性方面表现优异。【结论】杏果实品质性状存在丰富的遗传变异; 电子鼻和电子舌可以作为一种快速评价方法鉴定杏香气和滋味。

关键词: 杏; 种质资源; 电子鼻; 电子舌; 多样性

中图分类号: S662.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2024)04-0625-13

Genetic diversity analysis of fruit quality traits using electronic nose and electronic tongue in apricot

MA Xiaoxue, ZHANG Qiuping*, ZHAO Haijuan, ZHANG Yuping, XU Ming, LIU Weisheng, LIU Shuo, LIU Ning, ZHANG Yujun, LIU Jiacheng, WANG Bijun

(Liaoning Institute of Pomology, Xiongyue 115009, Liaoning, China)

Abstract: 【Objective】For a long time, the evaluation of fresh apricot fruit quality has been limited to the limited traits with limited materials, while the evaluation methods are limited to chemical and instrumental methods. The overall and rapid evaluation of apricot fruit quality traits from different groups is lacking. Therefore, we studied the genetic variation of aroma, taste and other fruit quality traits of a large population of apricot using rapid evaluation methods to select specific germplasm resources and provide theoretical basis for genetic improvement of fresh apricot. 【Methods】In this study, 119 samples of apricot germplasm resources, which were sampled for two consecutive years, were used to measure fruit weight, soluble solid content, fruit firmness, the components of soluble sugar and organic acids, aroma and taste. The soluble sugars and organic acids were evaluated by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The aroma of apricot germplasm resources was evaluated by electronic nose technique (PEN3, AIRSENSE, Germany). The fruit taste of apricot was evaluated by electronic tongue technique (SA-402B, INSENT, Japan). The variation coefficient analysis, principal component analysis, correlation analysis and cluster analysis were carried out using Origin 2019 and SPSS 26 software. 【Results】The coefficients of variation (*CV*) of 11 phenotypic traits ranged from 15.81% to 91.23%. The traits included fruit weight (FW), soluble solid content (SSC), fruit firmness (F), soluble sugar contents

收稿日期: 2024-01-26 接受日期: 2024-02-22

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(2023-MS-044); 辽宁省种质创新藏粮于技专项计划(2023020527-JH1/102-02); 国家自然科学基金项目(31972365); 国家园艺作物种质资源基础平台(NICGR2021-056)

作者简介: 马小雪, 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事李、杏种质资源与育种研究。E-mail: 15940760242@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: lbzhangqiuping2@163.com

including sucrose (SUC), glucose (GLU), fructose (FRU) and sorbitol (SOR) and organic acid components, including citric acid (CIT), malic acid (MAL), quinic acid (QUI) and shikimic acid (SHI). The CV of CIT content was the largest, and that of SSC was the smallest. The results of electronic nose measurement showed that the volatile substances of apricot germplasm resources were sensitive to W5S, W1S, W1W and W2W sensors, which indicated that the aroma substances of apricot mainly included sulfide, terpenes and alkanes. The results of electronic tongue determination of flavor substances in apricot germplasm resources showed that sour and sweet taste were the main tastes in apricot fruits. Through correlation analysis, it was found that firmness was significantly correlated with the content of sugar components, but not with the soluble solid content and the acid components content. The sweetness value was positively correlated with soluble solids content, GLU content, FRU content and SOR content, while negatively correlated with QUI, MAL and CIT content. Through principal component analysis (PCA), the contribution rate of the first 7 principal components reached 79.86%. The first principal component (PC1) represented the aroma characteristic of apricot, the second principal component (PC2) represented fruit taste related traits, and the third principal component (PC3) represented acid component content and fruit weight. The contribution rates of PC1, PC2 and PC3 were 28.36%, 17.36% and 12.33%, separately, and the cumulative contribution ratio of them was 58.05%. According to the principal component score table of each apricot variety, the varieties with high PC1 score had higher aroma response value and special fragrance, and Caotanmeixing, Shizixing, Kezilang and Baisaimaiti belonged to this group. A high PC2 score indicated varieties with high firmness, high sugar content, high sweetness, high umami and low acidity, including Harlayne, Ribenxing, Soganci, Maolaxiao, Kezikeximixi *etc.* A high PC3 score indicated a high content of acid components and a small fruit weight, and Huaxianchibangzi, Yingtiao, Sundrop, Betinka and Wangshizhong belonged to this group. According to the cluster analysis, when the genetic distance was 60, the remaining varieties except Caotanmeixing could be divided into two groups: The first group mainly included North China varieties, and the second group included other ecological group varieties. When the genetic distance was 40, group I was further divided into 2 subgroups. The group II could be further divided into four subgroups. Germplasm screening by comprehensive score of principal factors was an important method for objective evaluation on excellent germplasm resources. According to the proportion weight and contribution rate of different traits in each principal component, the score of each principal component and the comprehensive factor score of different varieties were calculated. Among 119 apricot germplasm resources, the top 10 germplasm materials were Caotanmeixing, Kumanti, Guantingerhuang, Tuohutikudayouxi, Mokeyouxi, Stela, Hacihaliloglu, Kezikeximixi, Kalayulüke and Soganci. 【Conclusion】 There are abundant genetic variations in apricot fruit quality traits such as aroma and taste. Electronic nose and electronic tongue can be used as a rapid evaluation method to identify aroma and taste characteristics of apricot. Eight excellent germplasm resources, including Caotanmeixing, Tuohutikudayouxi, Mokeyouxi, Stela, Hacihaliloglu, Kezikeximixi, Kalayulüke and Soganci, were selected to be used as parental materials for genetic improvement for fresh apricot.

Key words: Apricot; Germplasm resources; Electronic nose; Electronic tongue; Genetic diversity

杏 (*Prunus armeniaca* L.) 是一种重要的温带水果, 在中国至少有 3000 a(年) 的栽培历史^[1], 世界杏年产量达 370 万 t^[2]。

在水果种类繁多、新品种层出不穷的形势下, 培

育高品质的杏品种、提高杏果实品质是增强杏在水果市场中市场竞争力的基本要求。目前在国内市场上, 杏品种种类很有限, 以传统的中国地方品种和从国外引进的改良品种为主。以骆驼黄为代表的传统

的中国地方品种虽然风味浓郁,但是成熟后果肉软、外观差、产量不稳定(即商品性差),国外改良品种商品性好但是鲜食品质较差^[3-4]。为了培育出可以兼顾鲜食品质和商品性的新品种,必须要对已有的杏资源进行精细评价,为育种筛选出更多的、新的优良亲本材料。

果实品质包括感官品质(物理特征)和营养品质,营养品质又分为化学成分和功能性物质^[5-6]。杏果实的感官品质主要由果实滋味、香气、颜色和硬度决定^[7-8]。果实滋味主要为甜酸味,主要影响因子是糖和酸组分;果实香气主要影响因子为挥发性芳香物质^[9-10]。目前,评价杏果实香气和滋味主要应用化学分析、气质联用、高效液相色谱这三种检测方法。张丽丽等^[11]利用高效液相色谱法测定5个杏品种的糖和酸,卢娟芳等^[10]利用气质联用(GC-MS)技术对新疆5个杏品种果实发育过程中香气物质的变化及其特征成分进行了评价,这些方法存在费用大、耗时、费力等缺点。基于哺乳动物嗅觉和味觉机制的人工电子鼻和电子舌技术能够快速地评价果实的香气和滋味。电子鼻和电子舌都由传感器、信号处理系统和模块识别系统三部分组成。电子鼻的工作原理是将被测气体吸附在传感器表面,改变传感器的电导率,从而产生不同信号值;电子舌的工作原理是传感器通过类脂膜与样品液体中的物质进行交换,从而得到电学信号^[12]。电子鼻和电子舌在水果品质评价上的应用已有报道,严娟等^[13]利用电子鼻对74份不同品种资源桃果实芳香成分进行评价,筛选出香味独特的品种。李大龙等^[14]利用电子鼻对36个不同品种及同一品种不同发育时期树莓果实香气物质进行评价,认为电子鼻可区别不同成熟度树莓果实,用于树莓果实种质资源香气评价。电子舌技术被应用在柑橘^[15]、菠萝蜜^[16]、荔枝^[17]等水果品质和风味评价上。贾爱军等^[18]对3个杏品种进行电子鼻香气检测,认为不同品种杏果实的主要呈味物质为醇类、萜烯类和芳香族化合物。但截至目前,在较大群体杏资源精细评价上,电子鼻和电子舌应用鲜有报道,在评价杏滋味物质与挥发性物质上也尚无关于电子舌、电子鼻技术与HPLC及气质联用等技术的相关性报道。

系统评价杏果实品质性状的遗传多样性,筛选特异种质,能够加快鲜食杏遗传改良进程。一直以来,杏鲜食品质的评价工作一直局限在少量资源的

有限性状的评价方面,且评价方法局限在化学方法和仪器方法,缺乏不同类群杏果实品质性状的整体、快速评价。笔者对国家李杏种质资源圃(鲃鱼圈)保存的来自国内外不同地区的119份杏种质资源进行了系统的鉴定评价,并探明电子鼻和电子舌快速检测方法的可靠性,筛选出特异杏种质材料,为高品质鲜食杏育种和遗传改良提供可靠依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

119份杏种质资源(表1)均来自国家李杏种质资源圃(鲃鱼圈),所有品种树龄20 a,均以山杏实生苗为砧木。栽培条件及管理水平较为一致。每品种随机选取2~4株树,并采集树冠外围果实进行调查。

1.2 性状调查

1.2.1 基本性状调查 试验于2022年和2023年夏季果实成熟时期进行,连续2 a于果实食用成熟期(指果实底色的绿色大部分褪尽),在树冠外围随机选取30个有代表性的果实。用电子天平称量平均单果质量(FW),用PAL-BX/ACID F5数显糖度计(日本Atago公司生产)测定可溶性固形物含量(SSC),用AGROSTA硬度计测定果实硬度(F)。

1.2.2 糖酸组分的提取和测定 称取果肉20 g,加入超纯水,用匀浆机打成匀浆后无损导入200 mL容量瓶中定容,取20 mL溶液分别置于2个10 mL离心管中备用,分别用于糖和酸组分含量测定。采用Dionex Ultimate 3000型高效液相色谱仪(美国)对糖酸组分含量进行测定,色谱条件和上机方案参照张素敏等^[19]的方法稍加修改。每个品种3次重复。

1.2.3 电子舌检测 每份杏种质样品选取10个果实,取50 g样品放入破壁机,加入150 mL蒸馏水后进行机械匀浆,随后,将混合液放入离心机(德国Eppendorf, Centrifuge 5804R),以3000 r·min⁻¹的速度离心5 min。离心后取上清液过滤,取过滤液进行电子舌测定。

电子舌仪器为SA-402B味觉分析系统(日本IN-SENT公司),采用6种人工脂膜传感器和3种参比电极进行检测,其中包括鲜味(umami)、甜味(sweetness)、咸味(saltiness)、酸味(sourness)、苦味(bitterness)、涩味(astringency)以及丰富性(richness)、苦味回味(aftertaste-B)和涩味回味(aftertaste-A)。测定方法参照任新乐等^[20]的方法。每份样品溶液重复

表 1 119 份杏种质资源的基本信息

Table 1 Basic information of 119 accessions of apricot

编号 名称 No. Name	来源 Origin	编号 名称 No. Name	来源 Origin	编号 名称 No. Name	来源 Origin
1 金妈妈 Jinmama	甘肃兰州 Lanzhou, Gansu	28 山黄杏 Shanhuangxing	北京昌平 Changping, Beijing	55 曲阜白杏 Qufubaixing	山东曲阜 Qufu, Shandong
2 猪皮水 Zhupishui	甘肃兰州 Lanzhou, Gansu	29 黄尖嘴 Huangjianzui	北京房山 Fangshan, Beijing	56 平渡海棠红 Pingduhaitanghong	山东泰安 Tai'an, Shandong
3 兰州大接杏 Lanzhoudajixing	甘肃兰州 Lanzhou, Gansu	30 房山大红杏 Fangshandahongxing	北京房山 Fangshan, Beijing	57 早麦黄 Zaomaihuang	山东泰安 Tai'an, Shandong
4 新水杏 Xinshuixing	宁夏 Ningxia	31 房山白桃 Fangshanbaitao	北京房山 Fangshan, Beijing	58 杨继元 Yangjiyuan	山东泰安 Tai'an, Shandong
5 银川鸡蛋杏 Yinchuanjidanxing	宁夏银川 Yinchuan, Ningxia	32 大白玉巴达 Dabaiyubada	北京海淀 Haidian, Beijing	59 白仁 Bairen	山东烟台 Yantai, Shandong
6 银川桃杏 Yinchuantaoxing	宁夏银川 Yinchuan, Ningxia	33 北安河苹果白 Beianhepingguobai	北京海淀 Haidian, Beijing	60 观音脸 Guanyinlian	山东烟台 Yantai, Shandong
7 银香白 Yinxiangbai	陕西 Shaanxi	34 延庆麦黄 Yanqingmai huang	北京延庆 Yanqing, Beijing	61 艳子半 Yanziban	山东烟台 Yantai, Shandong
8 张公园 Zhanggongyuan	陕西草滩 Caotan, Shaanxi	35 挂甲峪苦核白 Guajiyukuhebai	北京延庆 Yanqing, Beijing	62 苹果杏 Pingguoxing	山东烟台 Yantai, Shandong
9 草滩梅杏 Caotanmeixing	陕西草滩 Caotan, Shaanxi	36 延庆沙金红 Yanqingshajinhong	北京延庆 Yanqing, Beijing	63 太谷沙金红 Taigushajinhong	山西太谷 Taigu, Shanxi
10 草滩曹杏 Caotancoaxing	陕西草滩 Caotan, Shaanxi	37 昌黎水白 Changlishuibai	河北昌黎 Changli, Hebei	64 太谷白水 Taigubaishui	山西太谷 Taigu, Shanxi
11 大荔麦红 Dalimaihong	陕西大荔 Dali, Shaanxi	38 黄甜核 Huangtianhe	河北昌黎 Changli, Hebei	65 蓟县香白 Jixianxiangbai	天津蓟县 Jixian, Tianjin
12 头窝大接杏 Touwodajixing	陕西大荔 Dali, Shaanxi	39 红花接 Honghua jie	河北昌黎 Changli, Hebei	66 中白 Zhongbai	黑龙江友谊 Youyi Farm, Hei- longjiang
13 马串铃 Machuanling	陕西大荔 Dali, Shaanxi	40 硬条 Yingtiao	河北昌黎 Changli, Hebei	67 延边大白杏 Yanbiandabaixing	吉林延边 Yanbian, Jilin
14 大荔桃杏 Dalitaoxing	陕西大荔 Dali, Shaanxi	41 柿子杏 Shizixing	河北广宗 Guangzong, Hebei	68 甜仁小红袍 Tianrenxiaohongpao	辽宁北镇 Beizhen, Liaoning
15 金丝甜仁 Jinsitianren	陕西大荔 Dali, Shaanxi	42 怀来麦黄 Huailaimai huang	河北怀来 Huailai, Hebei	69 苦仁小红袍 Kurenxiaohongpao	辽宁北镇 Beizhen, Liaoning
16 胭脂红杏 Yanzhihongxing	陕西华县 Huaxian, Shaanxi	43 怀来海棠红 Huailaihaitanghong	河北怀来 Huailai, Hebei	70 嘎杏 Gaxing	辽宁东港 Donggang, Liaoning
17 华县迟邦子 Huaxianchibangzi	陕西华县 Huaxian, Shaanxi	44 官厅二黄 Guantingerhuang	河北怀来 Huailai, Hebei	71 孤山杏梅 Gushanxingmei	辽宁东港 Donggang, Liaoning
18 麦子黄 Maizihuang	陕西临潼 Lintong, Shaanxi	45 石片黄 Shipianhuang	河北怀来 Huailai, Hebei	72 沙金红 Shajinhong	辽宁东港 Donggang, Liaoning
19 临潼银杏 Lintongyinxing	陕西临潼 Lintong, Shaanxi	46 馍馍杏 Momoxing	河北景县 Jingxian, Hebei	73 法库银白 Fakuyinbai	辽宁法库 Faku, Liaoning
20 临潼菜籽黄 Lintongcaizihuang	陕西临潼 Lintong, Shaanxi	47 蔚县大接杏 Yuxiandajixing	河北蔚县 Yuxian, Hebei	74 陈屯关爷脸 Chentunguanyelian	辽宁盖州 Gaizhou, Liaoning
21 海东杏 Haidongxing	陕西长安 Chang'an, Shaanxi	48 红火梅子 Honghuomeizi	河北延庆 Yanqing, Hebei	75 水真核 Shuizhenhe	辽宁黑山 Heishan, Liaoning
22 牛角黄 Niujiaruhuang	陕西长安 Chang'an, Shaanxi	49 灵宝1号 Lingbao1hao	河南灵宝 Lingbao, Henan	76 锦西李子杏 Jinxilizixing	辽宁葫芦岛 Huludao, Liaoning
23 包天杏 Baotianxing	陕西 Shaanxi	50 郑州水白 Zhengzhoushuibai	河南郑州 Zhengzhou, Henan	77 水李杏 Shuilixing	辽宁锦西 Jinxi, Liaoning
24 铁八达 Tiebada	北京 Beijing	51 金钢拳 Jingangquan	华北 Huabei	78 伯杏 Boxing	辽宁辽阳 Liaoyang, Liaoning
25 北京水晶 Beijingshuijing	北京 Beijing	52 金杏 Jinxing	内蒙古 Inner Mongo	79 水李子杏 Shuilizixing	辽宁辽阳 Liaoyang, Liaoning
26 红八达 Hongbada	北京 Beijing	53 双仁 Shuangren	内蒙古 Inner Mongo	80 辽阳李子杏 Liaoyanglizixing	辽宁辽阳 Liaoyang, Liaoning
27 硬条京杏 Yingtiao jingxing	北京 Beijing	54 曲阜二黄 Qufuerhuang	山东曲阜 Qufu, Shandong	81 露仁杏 Lourenxing	辽宁凌源 Lingyuan, Liaoning

表1 (续) Table 1 (Continued)

编号 名称 No. Name	来源 Origin	编号 名称 No. Name	来源 Origin	编号 名称 No. Name	来源 Origin
82 小拳杏 Xiaoquanxing	辽宁旅顺 Lüshun, Liaoning	95 克孜克西米西 Kezikeximixi	新疆轮台 Luntai, Xinjiang	108 惠阳白杏 Huiyangbaixing	朝鲜 North Korea
83 大拳杏 Daquanxing	辽宁旅顺 Lüshun, Liaoning	96 佳娜丽 Jianali	新疆轮台 Luntai, Xinjiang	109 朝鲜白杏 Chaoxianbaixing	朝鲜 North Korea
84 盘山云白 Panshanyunbai	辽宁盘山 Panshan, Liaoning	97 乌-9 Wu-9	新疆叶城 Yecheng, Xinjiang	110 Harlayne	加拿大 Canada
85 荷包榛 Hebaozhen	辽宁熊岳 Xiongyue, Liaoning	98 莫克优系 Mokeyouxi	新疆叶城 Yecheng, Xinjiang	111 Stela	捷克 Czech
86 歇马杏 Xiemaxing	辽宁庄河 Zhuanghe, Liaoning	99 大胡安娜 Dahu'anna	新疆叶城 Yecheng, Xinjiang	112 金太阳 Sungold	美国 USA
87 安加娜 Anjiana	新疆和田 Hotan, Xinjiang	100 大库买提 Dakumaiti	新疆叶城 Yecheng, Xinjiang	113 Katy	美国 USA
88 卡巴克西米西 Kabakeximixi	新疆喀什 Kashgar, Xinjiang	101 白赛买提 Baisaimaiti	新疆叶城 Yecheng, Xinjiang	114 Sundrop	美国 USA
89 克孜朗 Kezilang	新疆柯坪 Keping, Xinjiang	102 托乎提库达优系 Tuohutikudayouxi	新疆叶城 Yecheng, Xinjiang	115 信山丸 Xinshanwan	日本 Japan
90 苦曼提 Kumanti	新疆柯坪 Keping, Xinjiang	103 卡拉玉吕克 Kalayulüke	新疆伊犁 Ili, Xinjiang	116 日本杏 Ribexing	日本 Japan
91 毛拉肖 Maolaxiao	新疆柯坪 Keping, Xinjiang	104 大红中沙 Dahongzhongsha	贵州贵阳 Guiyang, Guizhou	117 Soganci	土耳其 Turkey
92 库车1号 Kuche No.1	新疆库车 Kuche, Xinjiang	105 王世中 Wangshizhong	四川泸定 Luding, Sichuan	118 Hacıhaliloglu	土耳其 Turkey
93 库车3号 Kuche No.3	新疆库车 Kuche, Xinjiang	106 晚甜杏 Wantianxing	云南 Yunnan	119 Betinka	捷克 Czech
94 克孜阿恰 Keziaqia	新疆库车 Kuche, Xinjiang	107 源东杏 Yuandongxing	浙江金华 Jinhua, Zhejiang		

测定甜味5次,其他味觉重复测定4次。测定完毕取后3次数据的平均值作为测试结果。

1.2.4 电子鼻检测 PEN3型便携式电子鼻(德国AIRSENSE公司)有10个金属氧化物传感器阵列,分别为:芳香苯类(W1C)、氮氧化物(W5S)、氨类(W3C)、氢气(W6S)、烷烃(W5C)、甲烷(W1S)、萜烯类与硫化氢(W1W)、醇类(W2S)、芳香成分与有机硫化物(W2W)和芳香烷烃(W3S)。

根据果实的大小将杏果实2~5个分成1组(必须填满200 mL的烧杯),放置于200 mL烧杯中,用封口膜封口,于25 °C静置30 min后测定电子鼻数据。测定方法参照严娟等^[13]的方法,稍加改动。进样流量400 mL·min⁻¹,清洗时间为60 s。检测时间为90 s,取稳定状态60~70 s的数据进行分析。每个品种重复测定3次。

1.3 数据分析

利用Origin 2019软件对所有性状的数据进行基本描述统计和聚类分析;利用SPSS 26进行主成分分析和因子分析,通过因子分析得出各个因子的得分,然后利用旋转后的方差贡献率作为总得分系

数,算出各个因子得分的加权总得分,即综合因子得分;利用R语言进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 果实主要性状的描述性统计

对119份杏种质资源果实品质的主要性状进行描述性统计,如图1和表2所示。根据Gokbulut等^[21]应用GC-MS技术对杏果实香气的分析结果,杏果实中主要挥发性物质大致可以划分为酯类、醇类、酮类、萜烯类、醛类、酸类以及内酯类,但不同杏种质间果实的挥发性物质差别较大。电子鼻检测(图1)发现,W5S、W1S、W1W和W2W等传感器响应值均值较大且变异幅度较大,这表明在杏种质资源中挥发性贡献物对W5S、W1S、W1W和W2W等传感器响应敏感,如硫化物、萜烯类化合物及烷烃等,并且这些物质在种质间具有广泛的遗传变异,可能是杏香气的主要挥发性物质。而W1C、W3C、W6S、W5C和W3S传感器响应值变异幅度非常小。

通过图1的箱式图可以看出,味觉值变异幅度都很大,不同品种的有效味觉指标不同,总体来说,

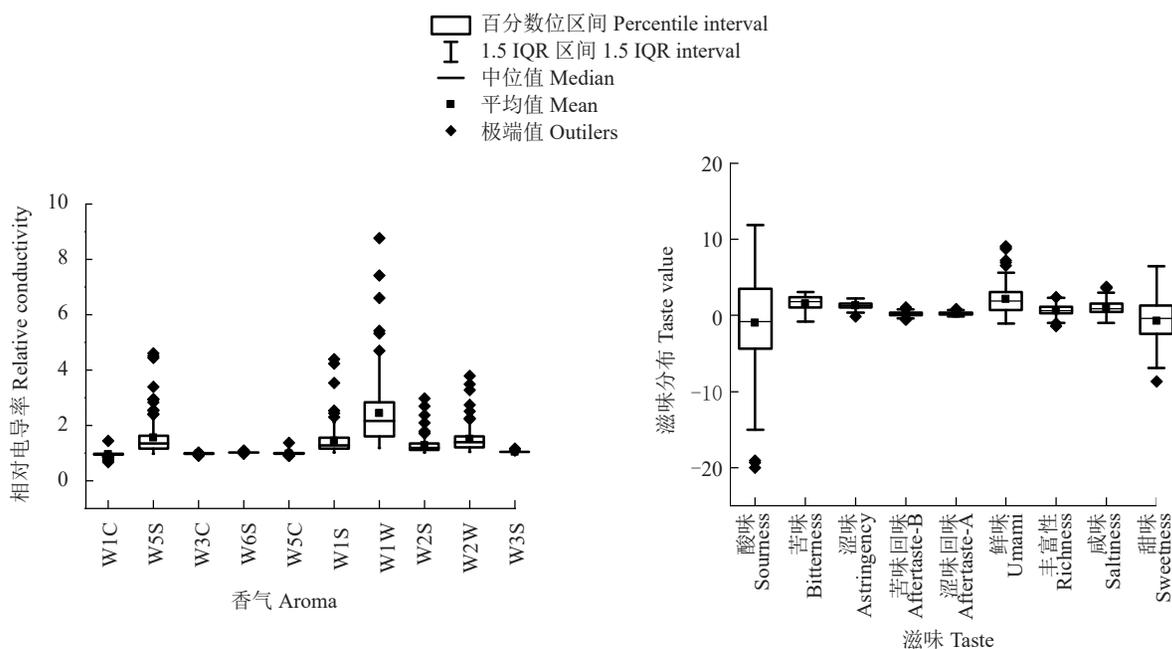


图1 119份杏种质资源香气和滋味分布箱式图

Fig. 1 Box plots of aroma and taste perception attributes of 119 accessions of apricot

表2 119份杏种质资源果实品质相关性状变异系数分析

Table 2 Analysis of coefficient of variation of fruit quality related traits in 119 accessions of apricot

性状 Trait	平均值 Mean	标准差 SD	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	最小值 Min.	最大值 Max.	变异系数 CV/%
单果质量 Fruit mass (FW)/g	77.24	30.40	0.28	-0.74	19.20	153.20	39.36
w(可溶性固形物) Soluble solid content (SSC)/%	14.09	2.23	0.54	0.09	9.70	20.32	15.81
果实硬度 Firmness (F)/(kg·cm ⁻¹)	2.07	0.88	1.02	1.23	0.73	5.27	42.43
w(蔗糖) Sucrose content (SUC)/(mg·g ⁻¹)	38.48	14.56	-0.04	1.15	1.23	91.43	37.83
w(葡萄糖) Glucose content (GLU)/(mg·g ⁻¹)	24.51	10.74	0.69	0.30	3.50	58.98	43.82
w(果糖) Fructose content (FRU)/(mg·g ⁻¹)	14.16	7.10	0.99	0.42	2.63	33.62	50.15
w(山梨醇) Sorbitol content (SOR)/(mg·g ⁻¹)	7.51	6.28	1.57	2.53	0.91	34.15	83.62
w(苹果酸) Malic acid content (MAL)/(mg·g ⁻¹)	7.96	4.16	0.85	0.80	1.41	20.90	52.34
w(柠檬酸) Citric acid content (CIT)/(mg·g ⁻¹)	7.24	6.61	1.64	2.98	1.15	32.55	91.23
w(奎尼酸) Quinic acid content (QUI)/(mg·g ⁻¹)	1.04	0.48	1.30	3.52	0.26	3.21	45.88
w(莽草酸) Shikimic acid content (SHI)/(mg·g ⁻¹)	0.02	0.01	0.94	0.64	0.00	0.06	51.49

酸味、鲜味和甜味分布更为分散,其他味觉值分布相对集中。酸味和甜味是杏果实中的主要滋味,说明不同杏品种滋味品质存在很大差异,主要体现在酸味、鲜味和甜味上。

蔗糖被认为是杏果实中的优势糖组分^[22],杏果实中含量最丰富的有机酸是苹果酸、柠檬酸和奎尼酸^[23]。由表2可以看出,杏果实中可溶性糖含量高顺序为蔗糖、葡萄糖、果糖和山梨醇,杏果实中有机酸含量最高的是苹果酸,其次是柠檬酸。

从表2可以看出,11个表型性状变异系数介于15.81%~91.23%之间,呈现出较大的变异幅度。柠檬酸含量的变异系数最大,为91.23%,变异幅度为

1.15~32.55 mg·g⁻¹。其后依次为山梨醇含量、苹果酸含量、莽草酸含量和果糖含量等性状。杏果实可溶性固形物含量(SSC)的分布范围是9.70%~20.32%,平均值是14.09%;果实硬度分布范围是0.73~5.27,平均值是2.07,这表明在果实鲜品质和贮藏品质等方面具有较大的遗传改良潜力。一般认为,变异系数大于10%表示样本间差异较大^[24]。在本研究中表型性状数据的变异系数均大于10%,表明这119份杏种质资源间存在很大的差异,具有丰富的遗传多样性。

2.2 性状间的相关性分析

通过对119份杏种质资源30个性状的调查数据

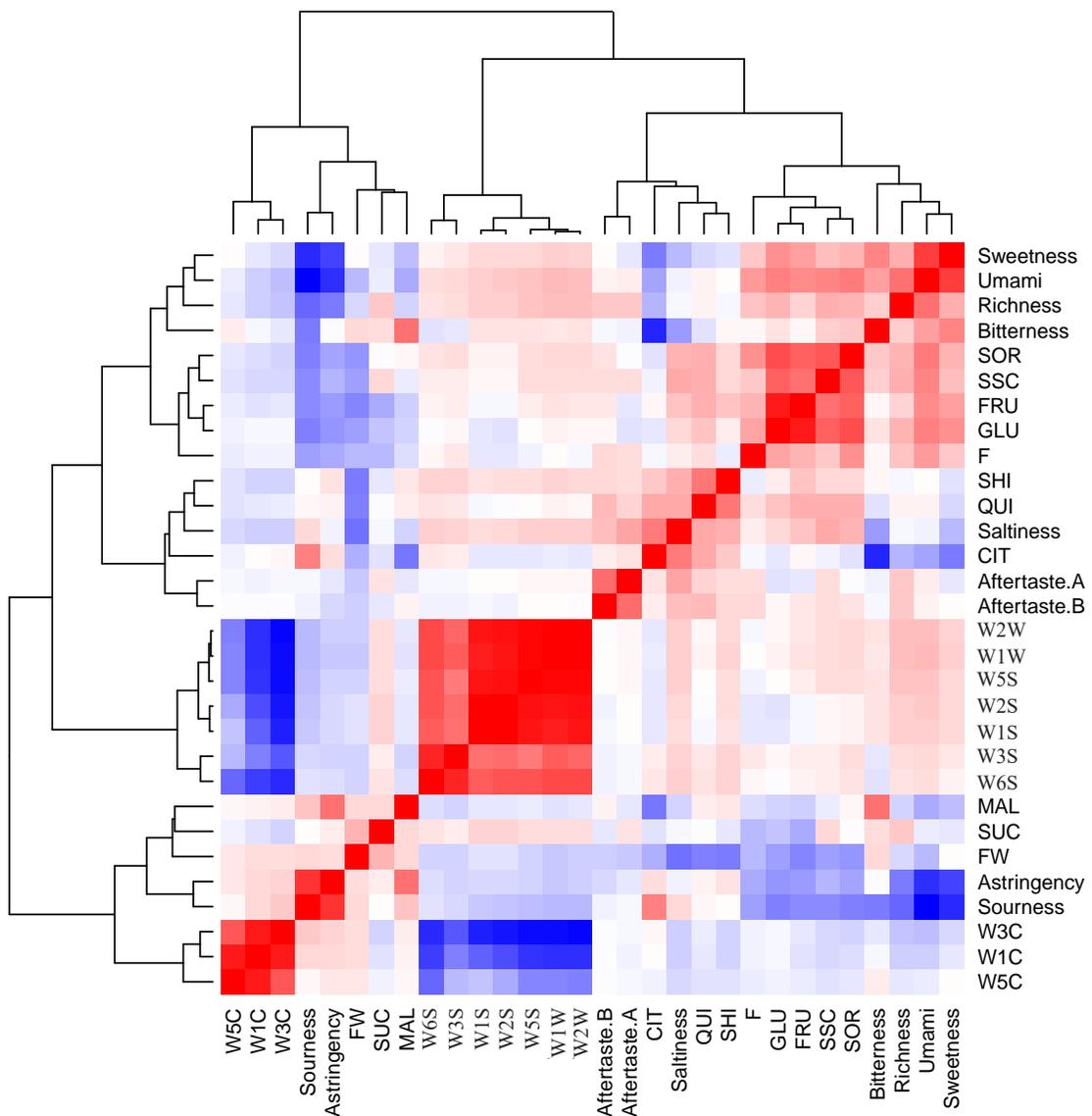
进行相关性分析,由图2可以看出,各性状间存在着不同程度的相关性。果实单果质量与果实硬度、可溶性固形物含量、各组分糖酸含量、大部分味觉值、香气值均呈显著相关,其中,果实单果质量与蔗糖含量、柠檬酸含量呈显著正相关,而与其他性状指标呈显著负相关。

果实硬度与各糖组分含量呈显著相关,其中与蔗糖含量呈显著负相关,与其他组分呈显著正相关,与可溶性固形物含量、各酸组分含量不相关。可溶性固形物含量、各糖组分含量显著相关,与酸组分中除奎宁酸外的各酸组分含量均无显著相关性。

蔗糖含量与果糖、苹果酸含量显著相关,与其他

糖酸组分含量无显著相关关系,柠檬酸与其他酸组分含量均显著相关,而与所有糖组分含量均不相关。苹果酸含量与柠檬酸、蔗糖组分含量显著相关,与其他糖酸组分含量不相关。

味觉值中酸味值、鲜味值、咸味值、甜味值和涩味值与糖酸组分含量等性状有显著的相关性,酸味值与可溶性固形物含量、葡萄糖含量、果糖含量和山梨醇含量呈显著负相关,与苹果酸含量、柠檬酸含量呈显著正相关;甜味值与可溶性固形物含量、葡萄糖含量、果糖含量、山梨醇含量呈显著正相关,与奎宁酸、苹果酸、柠檬酸含量呈显著负相关,说明可以通过电子舌来推断果实各品质相关性水平。



性状缩写见图 1、表 2。Abbreviations of characters are shown in Fig. 1 and Table 2.

图 2 119 份杏种质资源果实品质性状的相关性热图

Fig. 2 A heat map of fruit quality traits in 119 accessions of apricot

2.3 主成分分析

对 119 份杏种质资源的 30 个性状进行主成分分析,结果(表 3)表明,特征值大于 1 的前 7 个主成分解释了 79.86% 的总变量信息。前 3 个主成分 PC1、PC2 和 PC3 的贡献率分别为 28.36%、17.36% 和 12.33%,累积贡献率为 58.04%。由表 4 可知,PC1 特征值是 8.508,特征值绝对值较大的主要是香气传感器响应值。PC2 特征值是 5.207,可溶性固形物含量、糖组分(葡萄糖、果糖、山梨醇)含量、酸味值、涩味值、鲜味值和甜味等 8 个性状的特征值(绝对值)较大。PC3 特征值是 3.699,荷载量较高的性状是单果质量、莽草酸含量、柠檬酸含量、苦味值和咸味值。

表 3 指标总方差分解

Table 3 Total variance of indicators

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution/%	累积贡献率 Cumulative contribution ratio/%
1	8.508	28.358	28.358
2	5.207	17.355	45.714
3	3.699	12.331	58.044
4	2.223	7.410	65.454
5	1.818	6.061	71.515
6	1.269	4.230	75.746
7	1.235	4.116	79.862
8	0.953	3.176	83.038
9	0.923	3.078	86.116
10	0.692	2.308	88.424
11	0.619	2.062	90.486
12	0.545	1.815	92.301
13	0.397	1.324	93.625
14	0.357	1.190	94.815
15	0.315	1.050	95.865
16	0.252	0.840	96.704
17	0.242	0.806	97.510
18	0.164	0.546	98.056
19	0.156	0.520	98.576
20	0.134	0.446	99.022
21	0.079	0.263	99.285
22	0.075	0.249	99.534
23	0.050	0.166	99.700
24	0.039	0.131	99.831
25	0.020	0.066	99.897
26	0.012	0.039	99.936
27	0.011	0.036	99.971
28	0.005	0.016	99.988
29	0.003	0.010	99.997
30	0.001	0.003	100.000

表 4 杏品质相关性状的主成分分析

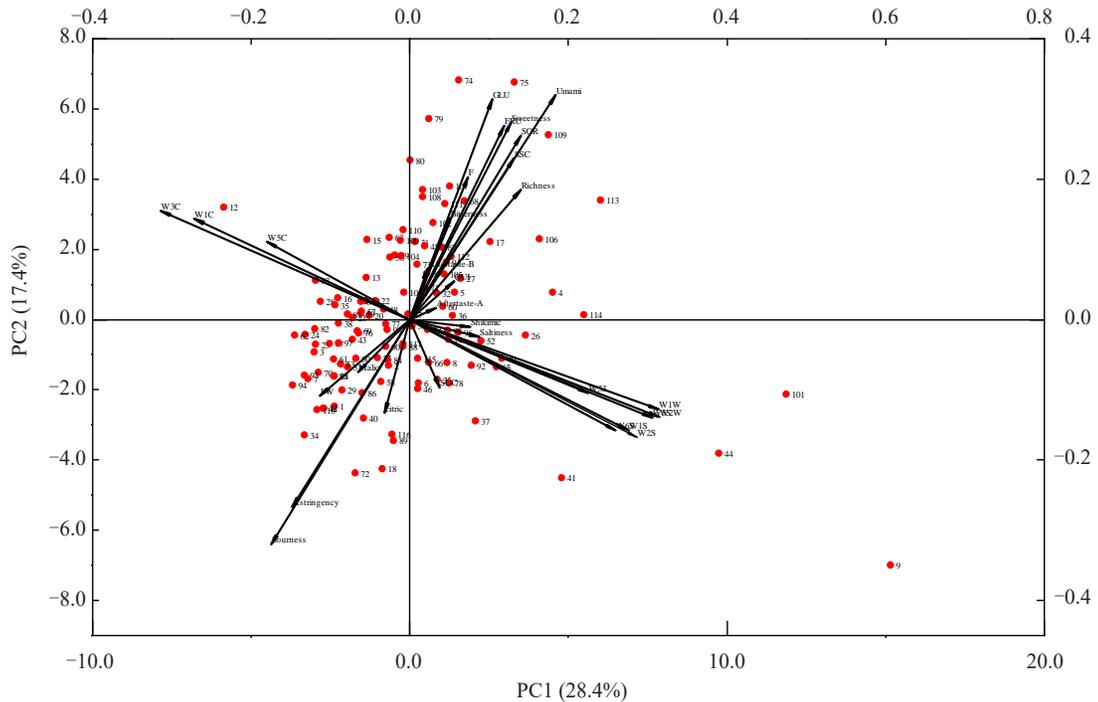
Table 4 Principal component analysis of fruit quality traits of apricot

性状 Traits	主成分 1 PC 1	主成分 2 PC 2	主成分 3 PC 3
单果质量 FW	-0.113	-0.108	-0.337
可溶性固形物 SSC	0.131	0.230	0.131
硬度 F	0.073	0.203	0.074
蔗糖 SUC	0.037	-0.097	-0.126
葡萄糖 GLU	0.104	0.314	0.123
果糖 FRU	0.119	0.275	0.186
山梨醇 SOR	0.140	0.261	0.125
奎尼酸 QUI	0.056	0.055	0.325
苹果酸 MAL	-0.065	-0.074	-0.134
莽草酸 SHI	0.076	-0.011	0.253
柠檬酸 CIT	-0.032	-0.133	0.407
酸味 Sourness	-0.175	-0.320	0.180
苦味 Bitterness	0.051	0.145	-0.321
涩味 Astringency	-0.148	-0.267	0.057
苦味回味 Aftertaste-B	0.023	0.072	0.174
涩味回味 Aftertaste-A	0.033	0.016	0.152
鲜味 Umami	0.183	0.320	-0.100
鲜味丰富度 Richness	0.140	0.184	-0.069
咸味 Saltiness	0.088	-0.025	0.382
甜味 Sweetness	0.128	0.281	-0.227
W1C	-0.272	0.143	-0.003
W5S	0.306	-0.140	-0.048
W3C	-0.314	0.155	0.037
W6S	0.259	-0.157	0.040
W5C	-0.180	0.111	-0.049
W1S	0.275	-0.158	-0.085
W1W	0.313	-0.128	-0.035
W2S	0.287	-0.167	-0.081
W2W	0.314	-0.139	-0.046
W3S	0.225	-0.105	0.035
特征值 Eigenvalue	8.508	5.207	3.699
贡献率 Contribution/%	28.358	17.355	12.331
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	28.358	45.714	58.044

注:性状缩写见图 1、表 2。

Note: Abbreviations of characters are shown in Fig. 1 and Table 2.

由图 3 可知,PC1 得分高代表品种的香气响应值较高,有特殊香味,草滩梅杏、柿子杏、克孜郎、克孜阿恰、白赛买提等品种属于这个分组。PC2 得分高表示含硬肉、糖量高、甜味高、鲜味高和酸味低的品种,包括 Harlayne、日本杏、Soganci、毛拉肖、克孜克西米西、大胡安娜等品种。PC3 得分高表示酸组分含量高、果实个小的品种,属于这个分组的有华县迟椰子、硬条、Sundrop、Betinka 和王世中等品种。



性状缩写见表 1、表 2 和图 1。Abbreviations of characters are shown in Table 1, Table 2 and Fig. 1.

图 3 基于 30 个品质性状的 119 份杏种质资源主成分分析 (PCA)

Fig. 3 Segregation of 119 accessions of apricot according to their quality traits determined by principal component analysis (PCA)

2.4 聚类分析与特异种质筛选

根据 30 个表型性状数据和欧氏距离对 119 份杏种质资源进行聚类分析,由图 4 可以看出,当遗传距离为 60 时,除草滩梅杏外,其余品种可以分为 2 个类群:第 I 个类群主要为华北品种,第 II 个类群是其他生态群品种。

在遗传距离为 40 时,第 I 类群进一步被划分为 2 个亚群。在 I a 亚群中,包含 4 份种质,特征为果个大,果皮光泽度高,硬度大,可溶性固形物含量较低。第 I b 亚群以陕西品种为主,还包括来自山东、辽宁、北京和河北的一些果实硬度较大、滋味偏酸的大果品种。第 II 类群可以进一步被划分为 4 个亚群。第 II a 亚群主要是来自甘肃、北京、山东、辽宁以及新疆,大果型、软肉、含酸量较低的种质。第 II b 亚群由果实香气丰富、果实硬度较低的白杏种质组成,还包含了少量的淡黄色果肉品种。第 II c 亚群以新疆品种为主,这些品种果皮无彩色,果肉颜色淡黄,且可溶性固形物含量较高但硬度较低。第 II d 亚群仅由 5 份种质组成,为新疆有毛品种和 2 个捷克选育品种,可溶性固形物含量较高,果实硬度大。

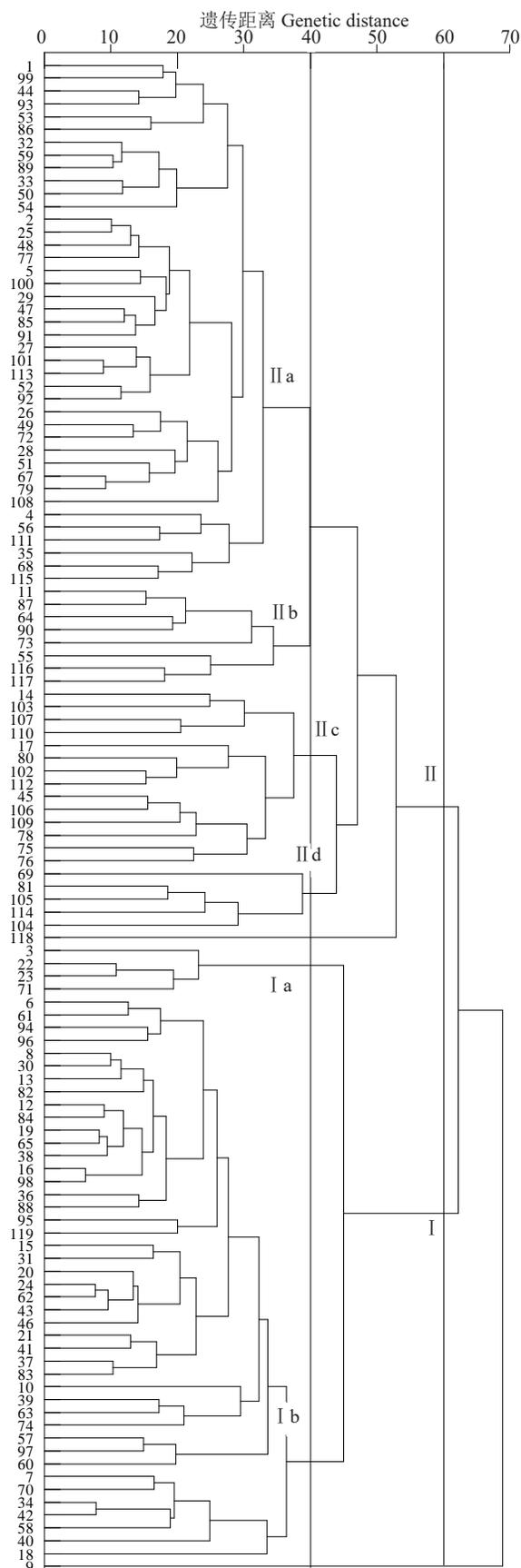
通过主因子综合得分进行种质筛选是客观评价优异种质的一个重要方法^[25]。根据不同性状在各主

成分中占比权重以及贡献率,计算不同品种的各主成分得分和综合因子得分。如表 5 所示,在 119 份杏种质资源果核/仁性状的综合得分中,综合排名前 10 名的种质材料分别为草滩梅杏、苦曼提、官厅二黄、托乎提库达优系、莫克优系、Stela、Hacihaliloglu、克孜克西米西、卡拉玉吕克和 Soganci。这些种质都可以进一步筛选为杏育种的重要亲本材料。

3 讨论

中国普通杏种质资源的遗传多样性丰富,数量性状变异大。笔者在本研究中选择的杏种质资源的单果质量、可溶性固形物含量、果实硬度等性状变异系数在 15.8%~42.4%之间,与赵海娟等^[26]对 219 份普通杏种质资源的评价结果接近。糖酸组分变异系数范围在 37.83%~91.23%之间,变异幅度范围明显高于孙家正^[27]对新疆杏果实酸组分的评价结果。自交不亲和性和长期的驯化可能是杏资源表现出丰富的遗传多样性的主要原因^[28]。广泛的遗传多样性可以为育种的更新提供更多有意义的亲本材料,培育出感官品质更好的新品种。

电子舌检测技术使用人工脂膜传感器,能够客观且数字化地分析样品的苦味、涩味、酸味、咸味、鲜



种质编号见表 1。Accession number are shown in Table 1.

图 4 基于表型性状的树状聚类图

Fig. 4 Dendrogram of cluster analysis based on the phenotype characters in apricot

表 5 119 份杏种质资源综合因子得分

Table 5 PCA scores of 119 accessions of apricot

编号 No.	综合 得分 Scores	编号 No.	综合 得分 Scores	编号 No.	综合 得分 Scores	编号 No.	综合 得分 Scores
1	45.67	31	66.06	61	47.49	91	60.01
2	53.52	32	63.70	62	42.29	92	72.22
3	42.64	33	60.32	63	62.01	93	64.40
4	79.33	34	43.91	64	53.28	94	46.06
5	64.34	35	54.92	65	64.48	95	42.64
6	54.06	36	61.38	66	40.09	96	55.99
7	44.93	37	60.07	67	57.21	97	63.41
8	58.40	38	49.88	68	70.36	98	45.37
9	96.75	39	64.00	69	85.81	99	62.89
10	56.33	40	51.71	70	55.03	100	63.91
11	44.60	41	65.10	71	44.21	101	63.28
12	48.36	42	49.22	72	61.60	102	93.66
13	54.10	43	48.57	73	48.01	103	69.74
14	66.58	44	88.20	74	62.01	104	75.72
15	60.11	45	68.63	75	80.15	105	62.87
16	49.98	46	52.19	76	85.81	106	64.70
17	78.17	47	49.92	77	57.13	107	83.04
18	47.87	48	60.81	78	58.79	108	64.97
19	53.35	49	65.29	79	57.51	109	67.60
20	50.00	50	53.45	80	74.88	110	86.44
21	50.06	51	50.20	81	67.24	111	64.68
22	51.25	52	72.56	82	52.06	112	72.58
23	41.18	53	51.12	83	44.05	113	68.86
24	41.70	54	47.90	84	49.72	114	87.21
25	61.35	55	58.26	85	58.82	115	80.69
26	68.67	56	63.61	86	53.23	116	66.12
27	66.09	57	57.20	87	51.21	117	54.61
28	49.40	58	53.56	88	59.49	118	74.72
29	49.92	59	57.67	89	60.28	119	46.16
30	57.85	60	66.93	90	48.44		

味、甜味等基本味觉特性^[29]。近年来,应用电子舌开展水果品质评价的研究越来越多,在樱桃^[20]、红枣^[30]和甜柿^[29]等水果上发现不同水果的有效味觉不同,笔者在本研究中发现杏的有效味觉主要为酸味和甜味,这与杏滋味的普遍认识一致。通过相关性分析发现酸味值与可溶性固形物含量、葡萄糖含量、果糖含量、山梨醇含量呈显著负相关,与苹果酸、柠檬酸含量呈显著正相关;甜味值与可溶性固形物含量、葡萄糖含量、果糖含量、山梨醇含量呈显著正相关,与奎尼酸含量、苹果酸含量、柠檬酸含量呈显著负相关,说明可以通过电子舌快速评估果实糖酸组分差异。与高效液相色谱法检测糖酸组分相比,电子舌评价杏果实滋味具有省时、便宜的优点。因

此,电子舌快速评价果实品质方法可以在果树种质资源与育种中得到更广泛的应用。

电子鼻测定的不是具体某一种气体的含量,而是分析挥发性气体的整体信息,是一种快速的气体检测方法。截至目前,国内关于电子鼻技术在杏果实检测上的应用研究的报道还很少。笔者在本研究中发现,不同品种杏果实间挥发性物质的差异主要由电子鼻中对W5S、W1S、W1W和W2W等传感器的响应值来反映,主要呈味物质为醇类、萜烯类、氮氧化合物、硫化物和芳香族化合物。这与贾爱军等^[18]对天津蓟县的3个杏品种进行电子鼻香气检测的结果类似。章秋平等^[31]应用气相色谱-质谱(GC-MS)法对3种不同基因型的杏品种果实的挥发性香气物质进行了检测,结果表明杏中主要挥发性物质包括醇类、醛类、酮类、萜烯类、酯类、内酯类和芳香族化合物。其他关于杏香气物质的研究也有相似的检测结果^[21,32]。可以看出电子鼻检测的气体与GC-MS检测的香气组分成分相似,说明可以利用电子鼻快速评价杏果实香气。然而,杏果实香气物质是多种挥发性化合物混合形成的,受某种化合物的嗅觉阈值、挥发性物质的种类和混合比例共同影响^[31]。因此,在下一步研究中,应综合考虑各种因素,对杏果实香气进行更精确的评价。

通过相关性分析,发现果实硬度与可溶性固形物含量不相关,这与Ruiz等^[33]的研究结果一致。同时也发现果实硬度与蔗糖含量呈显著负相关,与葡萄糖、果糖和山梨醇含量呈显著正相关,说明杏资源中存在很多硬度大、可溶性糖组分含量高的材料,这些杏资源可以作为改良中国传统地方品种的育种材料。

通过主成分分析、聚类分析和综合因子得分等统计方法,对杏资源性状进行降维评价,认为草滩梅杏、托乎提库达优系、莫克优系、Stela、Hacihaliloglu、克孜克西米西、卡拉玉吕克和Soganci等8个鲜食杏品种是综合性状表现优良的品种。综合表现得分最高的是草滩梅杏,在陕西和山西北部也称红梅杏,果实颜色艳丽,品质佳,尤其是香气浓郁。本研究中电子鼻评价香气物质结果显示草滩梅杏对7个传感器的响应值都在所有材料中排在第一位,说明草滩梅杏可以作为改善果实香气的潜在亲本材料。除了草滩梅杏外,其余筛选出来的品种来自中国新疆、捷克和土耳其,这些材料的品质性状与传统的中国地方品种差异很大,可以作为鲜食杏育种的亲本材料。

4 结 论

笔者在本研究中首次联合使用电子鼻、电子舌和高效液相色谱对中国普通杏果实品质进行全面评价,结果表明这些性状具有丰富的遗传变异,是杏鲜食品质改良的重要基础;电子鼻和电子舌作为一种快速检测果实香气和滋味的手段,在杏果实品质评价中可以有效应用;从119份杏种质资源中筛选出草滩梅杏、托乎提库达优系、莫克优系、Stela、Hacihaliloglu、克孜克西米西、卡拉玉吕克和Soganci等8份优异种质,这些种质在鲜食杏的遗传改良过程中具有较大潜力。

参考文献 References:

- [1] 章秋平,刘威生.杏种质资源收集、评价与创新利用进展[J].园艺学报,2018,45(9):1642-1660.
ZHANG Qiuping, LIU Weisheng. Advances of the apricot resources collection, evaluation and germplasm enhancement[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45(9):1642-1660.
- [2] 联合国粮农组织数据库[OL]. 2020. <https://www.fao.org/home/en/>.
Food and Agriculture Organization of the United Nations Database (FAOSTAT)[OL]. 2020. <https://www.fao.org/home/en/>.
- [3] 刘威生.最新李、杏新品种(系)简介[J].果农之友,2017(5):4-6.
LIU Weisheng. Introduction of new plum and apricot varieties (lines)[J]. Fruit Growers' Friend, 2017(5):4-6.
- [4] STANLEY J, MARSHALL R, TUSTIN S, WOOLF A. Preharvest factors affect apricot fruit quality[J]. Acta Horticulturae, 2014, 1058:269-276.
- [5] ALSMAIRAT N G, AL-AJLOUNI M G, AYAD J Y, OTHMAN Y A, ST HILAIRE R. Composition of soilless substrates affect the physiology and fruit quality of two strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cultivars[J]. Journal of Plant Nutrition, 2018, 41(18):2356-2364.
- [6] KHASAWNEH A E R, ALSMAIRAT N, OTHMAN Y A, AYAD J Y, ALQUDAH T, LESKOVAR D I. Influence of nitrogen source on physiology, yield and fruit quality of young apricot trees[J]. Journal of Plant Nutrition, 2021, 44(17):2597-2608.
- [7] GURRIERI F, AUDERGON J M, ALBAGNAC G, REICH M. Soluble sugars and carboxylic acids in ripe apricot fruit as parameters for distinguishing different cultivars[J]. Euphytica, 2001, 117(3):183-189.
- [8] PAROLARI G, VIRGILI R, BOLZONI L, CARERI M, MANGIA A. Analysis of sensory and instrumental data on apricot purées with pattern recognition techniques[J]. Analytica Chimica Acta, 1992, 259(2):257-265.
- [9] 于文剑,杨丽,张俊环,姜凤超,张美玲,王玉柱,孙浩元.杏果

- 实风味形成及调控机制研究进展[J]. 果树学报, 2023, 40(12): 2624-2637.
- YU Wenjian, YANG Li, ZHANG Junhuan, JIANG Fengchao, ZHANG Meiling, WANG Yuzhu, SUN Haoyuan. Research progress on the mechanism of flavor formation and regulation in apricot[J]. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40(12): 2624-2637.
- [10] 卢娟芳, 郑惠文, 郑巧, 张秋云, 李文慧, 席万鹏. 新疆杏果实发育过程中香气物质的变化及其特征成分的确定[J]. 园艺学报, 2016, 43(10): 1878-1890.
- LU Juanfang, ZHENG Huiwen, ZHENG Qiao, ZHANG Qiuyun, LI Wenhui, XI Wanpeng. Changes in aroma volatiles of Xinjiang apricot fruit during development and ripening and characterization of key aroma components[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(10): 1878-1890.
- [11] 张丽丽, 刘威生, 刘有春, 刘宁, 张玉萍. 高效液相色谱法测定 5 个杏品种的糖和酸[J]. 果树学报, 2010, 27(1): 119-123.
- ZHANG Lili, LIU Weisheng, LIU Youchun, LIU Ning, ZHANG Yuping. Measurement of sugars, organic acids in 5 apricot cultivars by high performance liquid chromatography[J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(1): 119-123.
- [12] 裘姗姗. 基于电子鼻、电子舌及其融合技术对柑橘品质的检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- QIU Shanshan. Quality determination of citrus fruit using electronic nose, electronic tongue and fusion system[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [13] 严娟, 蔡志翔, 张明昊, 徐子媛, 沈志军, 马瑞娟, 俞明亮. 利用电子鼻评价桃果实香气[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 274-282.
- YAN Juan, CAI Zhixiang, ZHANG Minghao, XU Ziyuan, SHEN Zhijun, MA Ruijuan, YU Mingliang. Evaluation of aroma in peach fruit by electronic nose[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(1): 274-282.
- [14] 李大龙, 郭满雨, 李铁梅, 王泽珉, 宇航, 张鹏, 王佳明, 杨国慧. 利用电子鼻评价树莓果实香气[J]. 东北农业大学学报, 2022, 53(7): 78-87.
- LI Dalong, GUO Xiaoyu, LI Tiemei, WANG Zemin, YU Hang, ZHANG Peng, WANG Jiaming, YANG Guohui. Evaluation of aroma in raspberry fruit by electronic nose[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2022, 53(7): 78-87.
- [15] 徐阳, 洪丹丹, 姜安泽, 朱长青, 孙崇德, 曹锦萍. ‘红美人’柑橘果实大小与风味品质相关性研究[J]. 中国果树, 2022(4): 40-47.
- XU Yang, HONG Dandan, JIANG Anze, ZHU Changqing, SUN Chongde, CAO Jinping. Study on the relationship between the fruit size and the taste quality of ‘Hongmeiren’ citrus[J]. *China Fruits*, 2022(4): 40-47.
- [16] 房一明, 张彦军, 谷凤林, 吴刚, 贺书珍, 谭乐和. 菠萝蜜的营养成分与鉴别比较研究[J]. 热带作物学报, 2014, 35(10): 2088-2092.
- FANG Yiming, ZHANG Yanjun, GU Fenglin, WU Gang, HE Shuzhen, TAN Lehe. Nutritional composition and classification of jackfruit[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2014, 35(10): 2088-2092.
- [17] 乔方, 黄略略, 方长发, 顾亚萍, 张树飞. 不同产区的妃子笑及怀枝荔枝的甜酸滋味物质比较及电子舌分析[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(9): 984-990.
- QIAO Fang, HUANG Luelue, FANG Changfa, GU Yaping, ZHANG Shufei. Comparison of taste-related compounds and analysis using electronic tongue of Feizixiao and Huaizhi lychee fruits from different planting area[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2012, 31(9): 984-990.
- [18] 贾爱军, 郭兴科, 白亚辉, 李岗, 李海川, 陈君然, 胡云峰. 不同品种杏果实品质的评价[J]. 河北果树, 2023(2): 6-9.
- JIA Aijun, GUO Xingke, BAI Yahui, LI Ke, LI Haichuan, CHEN Junran, HU Yunfeng. Evaluation of fruit quality of different varieties of apricot[J]. *Hebei Fruits*, 2023(2): 6-9.
- [19] 张素敏, 杨巍, 王柏松. 5 个露地中晚熟桃品种果实糖酸组分研究[J]. 中国果树, 2022(11): 59-62.
- ZHANG Sumin, YANG Wei, WANG Baisong. Study on sugar and acid components of five mid-late ripening peach cultivars in the field[J]. *China Fruits*, 2022(11): 59-62.
- [20] 任新乐, 李长春, 孙斐, 傅茂润, 韩聪. 基于电子舌和质构仪的不同品种樱桃滋味及质地差异分析[J]. 中国果菜, 2023, 43(2): 66-71.
- REN Xinle, LI Changchun, SUN Fei, FU Maorun, HAN Cong. Analysis on flavor and texture difference of different cherry varieties based on electronic tongue technology and texture analyzer[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2023, 43(2): 66-71.
- [21] GOKBULUT I, KARABULUT I. SPME-GC-MS detection of volatile compounds in apricot varieties[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(2): 1098-1102.
- [22] AYOUR J, BENICHO M, ALAHYANE A, HARRAK H. Relationships between biochemical criteria, volatile compounds, and sensory profiles of ten apricot clones at commercial and consumption ripening stages[J]. *Journal of Food Quality*, 2020, 2020: 1-15.
- [23] BACCICHET I, CHIOZZOTTO R, SPINARDI A, GARDANA C, BASSI D, CIRILLI M. Evaluation of a large apricot germplasm collection for fruit skin and flesh acidity and organic acids composition[J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 294: 110780.
- [24] 郭禄芹, 赵世豪, 朱华玉, 胡建斌, 孙守如, 马长生, 杨路明. 167 份西瓜种质材料的遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(1): 5-11.
- GUO Luqin, ZHAO Shihao, ZHU Huayu, HU Jianbin, SUN Shouru, MA Changsheng, YANG Luming. The genetic diversity analysis of 167 watermelon germplasm[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2018, 31(1): 5-11.
- [25] 于娅, 李艳军, 王飞, 王娜, 霍云龙, 凤桐. 北方地区黄瓜种质资源农艺性状的主成分和聚类分析[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(12): 29-34.

- YU Ya, LI Yanjun, WANG Fei, WANG Na, HUO Yunlong, FENG Tong. Principal component and cluster analysis of agronomic characters on cucumber germplasm resources in Northern China[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2020, 33(12):29-34.
- [26] 赵海娟,刘威生,刘宁,张玉萍,章秋平,刘硕.普通杏(*Prunus armeniaca*)种质资源数量性状的遗传多样性分析[J].果树学报,2014,31(1):20-29.
- ZHAO Haijuan, LIU Weisheng, LIU Ning, ZHANG Yuping, ZHANG Qiuping, LIU Shuo. Genetic diversity analysis for the quantitative traits of common apricot (*Prunus armeniaca*) germplasm[J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(1):20-29.
- [27] 孙家正.南疆栽培杏部分表型性状遗传多样性研究[D].泰安:山东农业大学,2010.
- SUN Jiazheng. Study on genetic diversity of phenotypic traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars in Southern Xinjiang, China[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2010.
- [28] FAUST M, SURÁNYI D, NYUJTÓ F. Origin and dissemination of apricot[J]. *Horticultural Reviews*, 1998, 22:225-266.
- [29] 程文强,龚榜初,吴开云,杨旭,王衍鹏,范金根,滕国新,刘翠玉,徐阳.基于质谱仪与电子舌的甜柿口感品质综合评价[J].果树学报,2022,39(7):1281-1294.
- CHENG Wenqiang, GONG Bangchu, WU Kaiyun, YANG Xu, WANG Yanpeng, FAN Jingen, TENG Guoxin, LIU Cuiyu, XU Yang. Comprehensive evaluation of taste quality of non-astringent persimmon based on texture analyzer and electronic tongue[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39(7):1281-1294.
- [30] 解云,陈邵德罡,蔡文超,高俊,单春会,郭壮,赵慧君.基于电子鼻和电子舌技术对不同品种红枣香气和滋味的差异分析[J].中国酿造,2022,41(12):178-182.
- XIE Yun, CHEN Shaodegang, CAI Wenchao, GAO Jun, SHAN Chunhui, GUO Zhuang, ZHAO Huijun. Aroma and taste differences analysis of different varieties of jujubes based on electronic nose and electronic tongue technology[J]. *China Brewing*, 2022, 41(12):178-182.
- [31] 章秋平,刘威生,刘家成.3种不同基因型杏果实的主要香气物质分析[J].北方果树,2020(4):10-13.
- ZHANG Qiuping, LIU Weisheng, LIU Jiacheng. Analysis of volatile aroma compounds in apricot of different genotypes[J]. *Northern Fruits*, 2020(4):10-13.
- [32] 章秋平,刘威生.杏果实香气物质的研究进展[J].北方果树,2020(3):1-4.
- ZHANG Qiuping, LIU Weisheng. Advances in aroma of apricot fruit[J]. *Northern Fruits*, 2020(3):1-4.
- [33] RUIZ D, EGEA J. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) germplasm[J]. *Euphytica*, 2008, 163(1):143-158.