

利用电子鼻评价桃果实香气

严娟, 蔡志翔, 张明昊, 徐子媛, 沈志军, 马瑞娟, 俞明亮

(江苏省农业科学院果树研究所 / 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京 210014)

摘要: 为了明确不同桃品种资源果实香气差异, 对桃果实香气评价和品质改良提供参考, 本研究利用电子鼻系统对桃品种资源果实整果香气进行测定和区分。通过 PEN 3.5 电子鼻系统采集 74 份不同品种资源桃果实芳香成分并得到了不同传感器的响应值, 采用主成分 (PCA)、线性判别法 (LDA) 和负荷加载 (LO) 方法分析数据。LO 分析结果显示, 硫化氢 (W1W)、氮氧化物类 (W5S)、甲烷类 (W1S)、芳香成分与有机硫化物 (W2W) 传感器对供试桃果实香气的评价起主要作用; 结合 PCA 和区分度值表明白花水蜜、脆保、春冠、奉罐 1 号、菊黄和红肉桃 1 号与其他供试品种资源的香气区别较大; LDA 可将不同果实生育期桃较好区分, 长、中、短不同果实生育期桃甲烷类和芳香成分与有机硫化物传感器响应值差异显著 ($P < 0.05$); LDA 可将硬肉类型 (肉质绵) 与其他 4 种肉质类型桃 (不溶质、硬溶质、软溶质和硬质) 区分开, 且硬肉类型与其他 4 种肉质类型桃甲烷类传感器响应值差异显著 ($P < 0.05$); LDA 无法区分不同肉色的桃, 且各传感器响应值差异不显著。结果表明, 生育期长短对桃果实香气有明显影响; 硬肉类型桃香气较独特; 不同肉色桃香气接近。

关键词: 桃; 果实香气; 电子鼻; 果实生育期; 肉质; 果肉颜色

Evaluation of Aroma in Peach Fruit by Electronic Nose

YAN Juan, CAI Zhi-xiang, ZHANG Ming-hao, XU Zi-yuan, SHEN Zhi-jun, MA Rui-juan, YU Ming-liang

(*Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014*)

Abstract: In order to provide reference for peach fruit evaluation and quality improvement, the aroma components were evaluated using the electronic nose system PEN 3.5 in the fruit of 74 peach varieties. The response values from different sensors were recorded, followed by the analysis of PCA, LDA and LO. LO analysis results showed that four sensors W1W (hydrogen sulfide), W1S (methane compounds), W5S (nitrogen oxides) and W2W (aromatic components and organic sulfides) played a major role in the evaluation of the aroma of the tested peach fruit. PCA results and discrimination values indicated that the aromas of six varieties BaihuaShuimi, Cuibao, Springcrest, Fengguan 1, Ju Huang and Hongroutao 1 were observed with obvious differences with those of other tested varieties. LDA results were differing in peaches with different fruit development periods, i.e., the methane compounds, aromatic components and organic sulfides were significantly different ($P < 0.05$). With the LDA results, the peaches with flesh texture wooliness (soft) were identified with significant difference ($P < 0.05$) from the other four flesh types (non-melting, hard melting, soft melting, and stony hard). However, LDA was not applied to discriminate flesh colors. The results indicated that: 1) the period of fruit development represented a significant effect on the aroma of peach fruit, 2) peaches with wooliness flesh texture have unique aromas, and 3) the aromas from peaches with different flesh colors are detected without a significant difference.

Key words: peach; fruit aroma; electronic nose; fruit development period; flesh texture; flesh color

收稿日期: 2020-06-16 修回日期: 2020-07-01 网络出版日期: 2020-07-23

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200616002>

第一作者研究方向为桃种质资源收集、评价与利用, E-mail: yanjuanjaas@aliyun.com

通信作者: 俞明亮, 研究方向为桃种质资源与新品种选育, E-mail: mly1008@aliyun.com

基金项目: 农业农村部物种保护项目 (19190156); 国家科技资源共享服务平台项目 (NHGRC2020-NH16)

Foundation projects: Species Conservation Project of Ministry of Agriculture and Rural Affairs (19190156), National Crop Germplasm Resources Infrastructure in China (NHGRC2020-NH16)

香气是桃果实品质的主要指标之一,也是直接影响消费者购买意向的果实性状之一。桃品种资源丰富、类型多样、香气各异,评价和筛选出具有独特香气的品种资源具有较大的实践应用价值。近年,果实香气评价已成为桃品种资源深入评估和优异品种资源发掘的重要内容^[1-5]。

香气分析研究相对复杂,对所用评价技术和仪器要求甚高。20 世纪末传感器技术快速发展,具有高检测精度的电子鼻问世,开辟了无损检测水果香气的新领域。相较气相色谱法(GC)和气相色谱/质谱联用技术(GC/MS),电子鼻具有无损检测的绝对优势,其测定结果接近市场消费者接触水果的第一嗅觉感受,具有更直接和实际的应用价值。在国内外,研究人员已将电子鼻应用到蓝莓^[6]、枣^[7]、荔枝^[8]、柿子^[9]等果实香气的评价。

早在 21 世纪初,意大利学者 Corrado 等^[10]就提出利用电子鼻对桃果实香气进行评价具有可行性和实用性。但是,至今电子鼻仍仅集中应用在检测和评估栽培品种桃果实成熟度^[11-12]、贮藏品

质^[13-17]、果实新鲜度^[18]和瘀伤^[19]等领域,较少应用在桃品种资源果实香气的品质评价、比较和区分^[3, 20-21]。

本研究采用电子鼻对 74 份桃品种资源果实香气进行评价,探究了不同果实成熟期、肉质类型、果肉颜色的桃果实香气差异情况,筛选出香气独特的种质。本研究结果可为桃香气评价提供基础数据,为理论研究、育种和生产实践提供材料和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

74 份供试桃来自江苏省农业科学院国家果树种质南京桃资源圃,桃品种特性见表 1。品种多样性较丰富,涵盖了 3 种果肉颜色(白、黄和红)、5 种果实肉质(不溶质、硬溶质、软溶质、绵和硬质)^[22-23]。于 2019 年 5 月底至 8 月底上午采摘,采摘后立即带回实验室(温度控制在 25 ℃),每个品种选取完整无损的、成熟度(9 成,即果皮底色完全转变)和大小基本一致的 9 个果实进行测定。

表 1 桃品种资源果实特性

Table 1 Fruit characteristics of the peach varieties used in this study

品种 Variety	来源地 Origin	果实生育期 (d) Fruit development period	果肉 颜色 Flesh color	肉质 Flesh texture	品种 Variety	来源地 Origin	果实生育期 (d) Fruit development period	果肉 颜色 Flesh color	肉质 Flesh texture
五月火 Mayfire	美国	70	黄	硬溶质	银河 Galaxy	美国	103	白	硬溶质
立夏红 Lixiahong	中国	70	黄	硬溶质	冰白桃 Bingbaitao	意大利	103	白	硬溶质
早红露 Zaohonglu	中国	70	白	软溶质	脆保 Cuibao	中国	103	白	硬溶质
早露蟠桃 Zaolupantao	中国	74	白	软溶质	美国红蟠桃 Red flat peach	美国	105	白	硬溶质
晖雨露 Huiyulu	中国	74	白	软溶质	TX4F244C	美国	114	黄	不溶质
京春 Jingchun	中国	74	白	软溶质	新白凤 Xinbaifeng	中国	114	白	硬溶质
早丰甜 Zaofengtian	中国	75	黄	硬溶质	美婷 Meiting	中国	117	黄	硬溶质
春冠 Springcrest	美国	75	黄	硬溶质	农林 89 Nonglin 89	日本	117	白	硬溶质
砂激 2 号 Shajierhao	中国	80	白	软溶质	云龙桃 Yunlongtao	中国	117	白	硬溶质
麦香 Maixiang	中国	80	白	软溶质	124 蟠桃 124 pantao	中国	117	白	软溶质
早乙女 Zaoyinv	日本	80	白	软溶质	农神 Saturn	美国	117	白	硬溶质
庆丰 Qingfeng	中国	80	白	软溶质	中油 20 号 Zhongyou 20	中国	118	白	硬溶质

表 1(续)

品种 Variety	来源地 Origin	果实生育期 (d) Fruit development period	果肉 颜色 Flesh color	肉质 Flesh texture	品种 Variety	来源地 Origin	果实生育期 (d) Fruit development period	果肉 颜色 Flesh color	肉质 Flesh texture
白香露 Baixianglu	中国	80	白	软溶质	谷玉 Guyu	美国	118	黄	硬溶质
华光 Huaguang	中国	81	白	硬溶质	西山蟠桃 Xishanpantao	中国	119	白	硬溶质
扬州早甜桃 Yangzhouzaotiantao	中国	81	白	绵	霞脆 Xiacui	中国	120	白	硬质
中油 14 号 Zhongyou14	中国	82	白	硬溶质	金霞蟠桃 J inxiapantao	中国	120	黄	硬溶质
TX4C199	美国	82	黄	硬溶质	吊枝白 Diaozhibai	中国	120	白	绵
佛罗里达冠 Flordacrest	美国	84	黄	硬溶质	奉罐 1 号 Fengguan 1	中国	125	黄	不溶质
日本 86	日本	84	白	软溶质	常州白花 Changzhoubaihua	中国	126	白	硬溶质
筑波 86					湖景蜜露 Hujingmilu	中国	126	白	硬溶质
小克瑞姆森 Crimsonbaby	美国	84	黄	硬溶质	夏乙女 Natsuotome	日本	126	白	硬溶质
佛罗里达王 Flordaking	美国	84	黄	不溶质	金莹 Jinying	中国	127	黄	不溶质
紫金红 1 号 Zijinhong 1	中国	84	黄	硬溶质	西洋黄肉 Early Crawford	美国	127	黄	硬溶质
江津 IV2-9 Jiangjin IV2-9	中国	84	白	硬溶质	罐桃 5 号 Kanto 5	日本	128	黄	不溶质
大红袍 - 新 Dahongpao-xin	中国	87	红	绵	金童 7 号 Babygold 7	美国	128	黄	不溶质
小红袍 Xiaohongpao	中国	87	红	绵	罐桃 14 号 Kanto 14	日本	128	黄	不溶质
红桃 Hongtao	中国	87	红	绵	奉化玉露 (早) Fenghuayulu (early)	中国	131	白	软溶质
半斤桃 Banjintao	中国	87	红	绵	奉化玉露 (晚) Fenghuayulu (late)	中国	131	白	软溶质
咸阳红肉 Xianyanghongrou	中国	87	红	绵	白花水蜜 Baihuashuimi	中国	131	白	硬溶质
红肉桃 1 号 Hongroutao1	中国	87	红	绵	锦园 Jinyuan	中国	135	黄	硬溶质
神农红肉 Shennonghongrou	中国	87	红	绵	菊黄 Juhuang	中国	135	黄	不溶质
金霞早油蟠 Jinxiazaoyoupan	中国	88	黄	硬溶质	霞晖 8 号 Xiahui 8	中国	135	白	硬溶质
曲靖甜桃 Qujingtiantao	中国	94	红	绵	佛尔都娜 Fortuna	美国	135	黄	不溶质
沪油 004 Huyou 004	中国	94	黄	硬溶质	晚湖景 Wanhujing	中国	138	白	硬溶质
金陵黄露 Jinlinghuanglu	中国	94	黄	硬溶质	日本白桃 Ribembaitao	日本	138	白	硬溶质
北京一线红 Beijingyixianhong	中国	96	红	绵	龙华水蜜 Longhuashuimi	中国	140	白	硬溶质
瑞蟠 2 号 Ruipan 2	中国	98	白	硬溶质	有名白桃 Yougmemg	韩国	145	白	硬质
佛罗里达阳 Flordaglo	美国	98	白	硬溶质					

1.2 电子鼻检测

本研究使用德国 AIRSENSE 公司 PEN3.5 型便携式电子鼻, 该电子鼻包含芳香苯类 (W1C)、氮氧化物 (W5S)、氨类 (W3C)、氢气 (W6S)、烷烃 (W5C)、甲烷 (W1S)、硫化氢 (W1W)、乙醇 (W2S)、芳香成分与有机硫化物 (W2W) 和芳香烷烃 (W3S) 10 个金属氧化物传感器阵列。当传感器接触到样品挥发物后, 电导率 G 发生改变, 与初始电导率 G_0 的比值 G/G_0 (相对电导率) 也随之变化。响应气体浓度越大, G/G_0 的值越偏离 1 (大于或者小于 1); 如果浓度低于检出限或者没有感应气体, 则 G/G_0 的值接近甚至等于 1。记录 10 个不同传感器 G/G_0 比值, 进一步统计分析。

将桃果实整果 3 个一组放置于 2000 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。挥发性气体以 400 mL/min 流速通过采集管, 到达电子鼻的传感器通道内, 传感器响应值发生改变, 气体排出。每次检测结束后都对传感器进行清洗和标准化, 清洗时间为 60 s。检测时间为 60 s, 取 45~50 s 处 1~3 个稳定信号作为分析的时间点。每个品种重复测定 3 次。

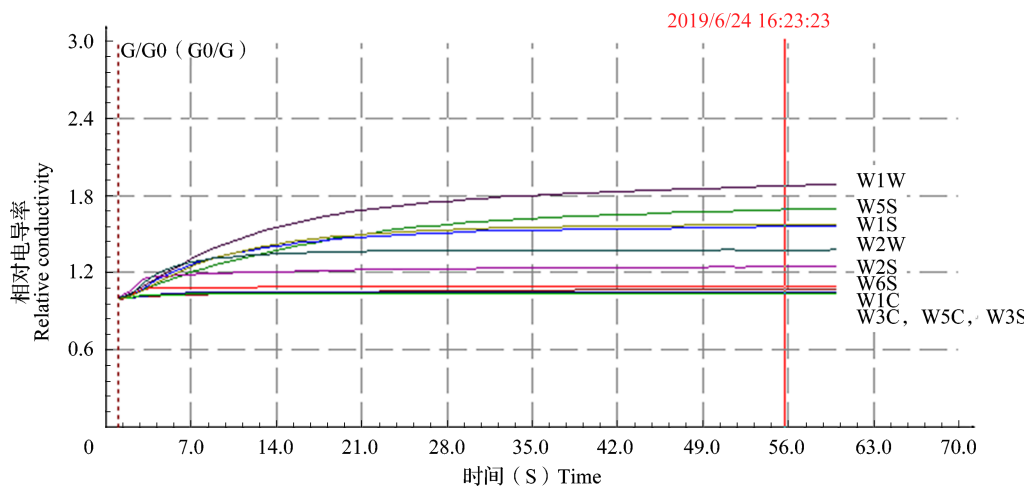
1.3 数据分析

利用 PEN3.5 自带的 WinMuster 软件和 IBM SPSS Statistics 22 软件对数据进行采集、测量和分析。采用的主要分析方法为主成分分析法 (PCA)、线性判别法 (LDA) 和负荷加载分析法 (LO); 并且将供试品种按果实生育期、果肉颜色和果实肉质分类型进行线性判别法 (LDA) 分析; 利用 SPSS 软件进行不同类型桃各传感器响应值的差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 电子鼻对桃芳香特征的响应图

对桃果实进行电子鼻检测分析, 获得电子鼻 10 个传感器的响应图 (图 1)。图中每一条曲线代表着一个传感器, 曲线上的点代表着桃的芳香成分通过传感器通道时, 相对电阻率 (G/G_0) 随检测时间的变化情况。由图 1 可看出, 相对电阻率刚开始时较低, 随着挥发物在传感器表面富集, 传感器电阻比不断地增大, 最后趋于平缓, 达到一个稳定的状态。电子鼻对桃的芳香成分均有明显的响应, 并且每一个传感器的响应有差异。综合而言, W1W (硫化氢)、W5S (氮氧化物类)、W1S (甲烷类)、W2W (芳香成分, 有机硫化物) 较其他传感器有更高的相对电阻率值。



W1W: 硫化氢类传感器; W5S: 氮氧化物类传感器; W1S: 甲烷类传感器; W2W: 芳香成分与有机硫化物类传感器; W2S: 乙醇传感器; W6S: 氢气传感器; W1C: 芳香苯类传感器; W3C: 氨类传感器; W5C: 烷烃传感器; W3S: 芳香烷烃传感器。下同

W1W: sensor of hydrogen sulfide; W5S: sensor of NOx compounds; W1S: sensor of methane compounds; W2W: sensor of Organic sulfide; W2S: sensor of broad-alcohol; W6S: sensor of hydrogen; W1C: sensor of aromatic benzene; W3C: sensor of ammonia; W5C: sensor of arom-aliph; W3S: sensor of methane-aliph. The same as below

图 1 传感器对金陵黄露桃香气的响应图

Fig. 1 The aroma values detected by 10 sensors in cv. Jinlinghuanglu

2.2 结合区分度平均值和 PCA 分析筛选特异香味品种

基于 PCA 分析, 得到每个品种与其他品种的

区分度值不等, 说明各品种间香气差异程度不同; 利用每个品种与其他品种的区分度值取平均, 得到各品种与其他所试品种的平均区分度值在 0.1~0.9

之间,平均区分度值越大,表示该品种的香气特异性大;通过平均区分度值按 0.1 大小为间隔分为 8 级,统计每级别的品种数,计算各级别品种数占所试品种总数得到区分度平均值频次分布图(图 2),由图

可以看出,68% 的品种区分度平均值在 0.4~0.7 区间范围,区分度不高;15% 的品种与其他品种差异大,区分度平均值在 0.7 以上,其中,白花水蜜、脆保和春冠与其他品种的区分度最大,区分度平均值在 0.8 以上。

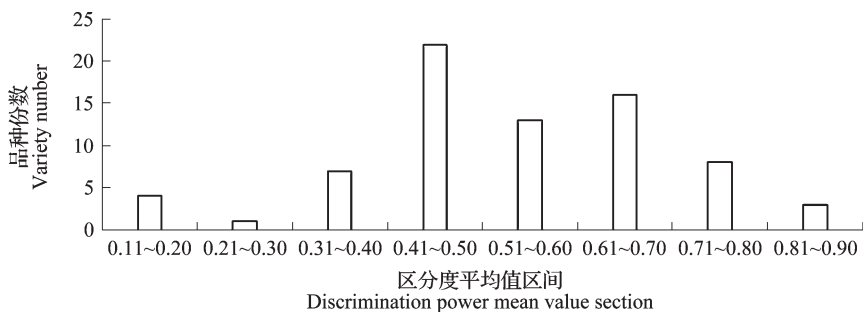
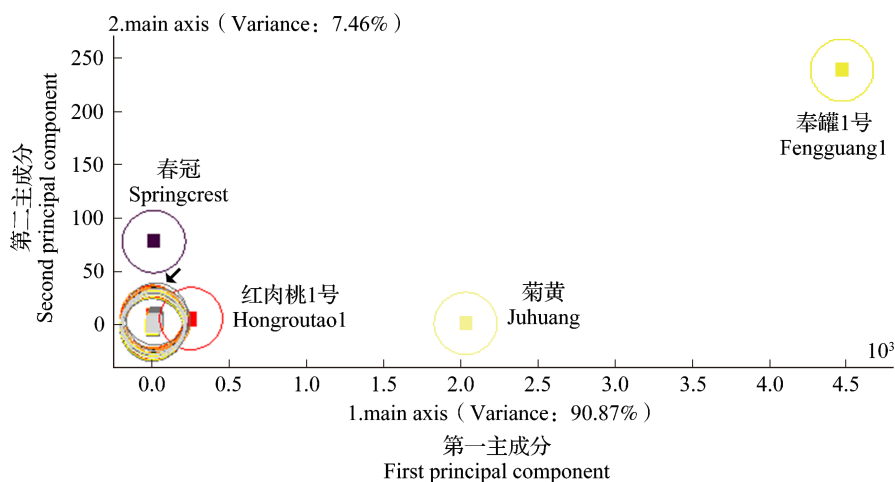


图 2 不同品种桃区分度平均值频次分布图

Fig. 2 Discrimination power mean value frequency distribution for tested peach varieties

从图 3 可以看出,在 PCA 分析中,第一主成分 PC1 和第二主成分 PC2 的贡献率分别为 90.87% 和 7.46%,总贡献率为 98.33%,主要是第一主成分对品种区分起作用。虽然供试品种类型多样,但是从图 3 中主成分 PC1 和 PC2 两个主

轴上整体来看,大部分品种桃区域互相重叠,不能完全区分开来,但能较好区分出部分香气特异的品种。结合 PCA 的第一和第二主成分,区分度高的品种依次为奉罐 1 号、菊黄、春冠和红肉桃 1 号。



箭头所指示的重叠部分是其余 70 份品种的重叠图

The overlapping area indicated by the arrow is the overlapping map of the other 70 varieties

图 3 不同品种桃的 PCA 分析

Fig. 3 PCA analysis for tested peach varieties

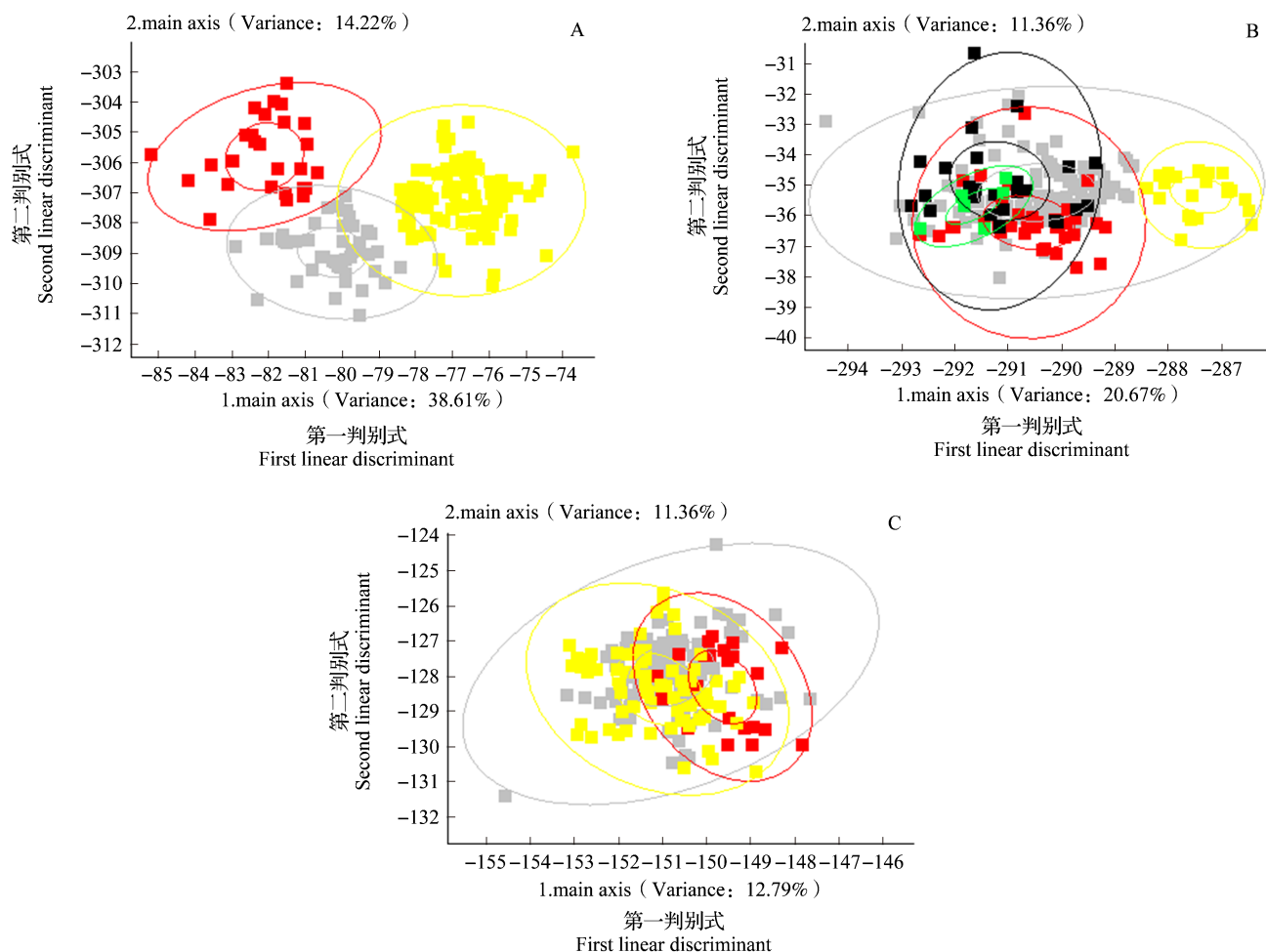
2.3 LDA 区分不同类型桃品种的电子鼻响应值

图 4A 为基于果实生育期长短的判别分析,可以看出判别式 LDA1 和判别式 LDA2 的贡献率分别为 38.61% 和 14.22%,总贡献率为 52.83%,可解释 50% 以上的变异;根据 LDA1 和 LDA2 得出一定的变化规律,即用 LDA 能够大致区分出不同生育期类型桃品种,生育期与 LDA1 有较好的相关趋势,随着判别式 LDA1 延伸至远端,分

别依次集中分布生育期长、中、短的桃品种资源;各传感器响应值的差异显著性检验显示,不同果实生育期桃甲烷类、芳香成分与有机硫化物传感器响应值差异显著($P < 0.05$)。图 4B 为基于果实肉质的判别分析,可以看出判别式 LDA1 和判别式 LDA2 的贡献率分别为 20.67% 和 11.36%,总贡献率为 32.03%,仅能解释 30% 以上的变异;根据 LDA1 和 LDA2 无法区分出不同肉质类型桃品

种,仅硬肉桃较明显区别于其他各品种,集中在判别式 LDA1 最远端;各传感器响应值的差异显著性检验显示,硬肉类型与其他 4 种肉质类型桃甲烷类传感器响应值差异显著 ($P<0.05$),而其他 4 种肉质类型桃相互间各传感器响应值均没有显著差异。图 4C 为基于果实肉色的判别分析,可以看出判别

式 LDA1 和判别式 LDA2 的贡献率分别为 12.79% 和 11.36%,总贡献率为 24.15%,仅能解释 20% 以上的变异;根据 LDA1 和 LDA2 无法区分出不同肉色类型桃品种;各传感器响应值的差异显著性检验显示,不同肉色桃各传感器响应值差异均不显著。



不同颜色代表不同类型桃。A: 黄色 - 果实生育期短, 灰色 - 果实生育期中, 红色 - 果实生育期长; B: 灰色 - 硬溶质, 红色 - 软溶质, 黄色 - 硬肉, 黑色 - 不溶质, 绿色 - 硬质; C: 灰色 - 白肉, 黄色 - 黄肉, 红色 - 红肉

Colors indicating different peach types. A: yellow-Fruit development period short, grey-Fruit development period mid, red-Fruit development period long; B: grey-hard melting, red-soft melting, yellow-Wooliness, black-non-melting, green-stony hard; C: grey-white flesh, yellow-yellow flesh, read-red flesh

图 4 按成熟期、肉质和果肉颜色区分的供试桃的 LDA 分析图

Fig. 4 LDA analysis for tested peach varieties with different fruit harvest maturity dates, flesh textures and colors

2.4 LO 分析传感器贡献率

利用 LO 分析可以帮助区分当前模式下传感器的相对重要性。图 5 为 LO 传感器贡献率分析 (总贡献率为 98.16%)。如果传感器的响应值接近于零,则该传感器的识别力可以被忽略;而如果某一传感器的响应值较高,则说明该传感器的识别力较强。从图 5A 可以看出, W1S 传感器 (对甲烷类物质最为灵敏) 对第一主成分贡献率最大, W5S 传

感器 (对氮氧化物类物质最为灵敏) 对第二主成分贡献率比较大, W1W (对硫化氢最为灵敏) 和 W2W (对芳香成分, 有机硫化物最为灵敏) 对第一和第二主成分贡献率都较大。为了印证该 4 种传感器区分桃气味的贡献度, 只选择该 4 种传感器进行实验, 结果见图 5B, 可以解释 98.43% 的总贡献率, 说明供试桃品种香气可主要由该 4 种传感器区分。

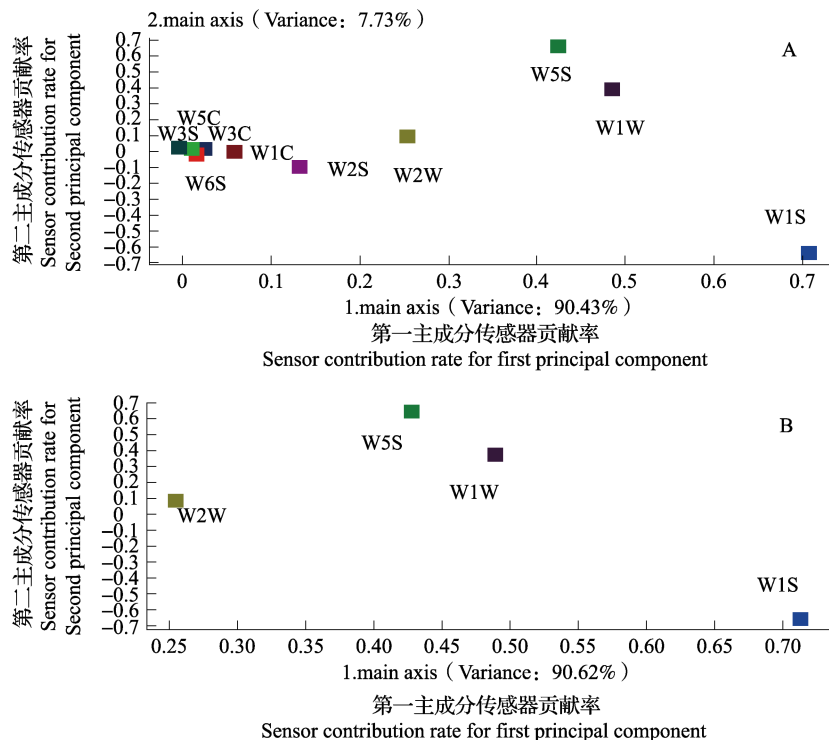


图5 LO 传感器区分贡献率分析结果图

Fig. 5 LO analysis for tested peach varieties

3 讨论

电子鼻技术在桃果实检测的应用,目前主要集中在采收成熟度和采后贮藏品质变化的评估。电子鼻可以较好地揭示桃果实在发育期和储藏期的生理变化规律,并区分出不同成熟度、不同贮藏时间以及不同腐烂程度的桃果实^[14-17],还能有效识别大片桃种植区块的果实发育阶段^[12]。这些研究为精确判断桃的采收时期和货架期的新鲜度提供了重要的依据,提示了电子鼻无损检测的重要性和广泛的应用前景。但是迄今为止,基于电子鼻技术、从资源评价筛选角度对不同品种桃香气进行系统的比较研究鲜有报道,仅有少量研究有所涉及。本研究通过不同种质间的区分度值大小、主成分分析(PCA)和线性判别法(LDA)分析表明,供试74份桃大多数品种间不能较好地地区分,但可将一些香味独特的品种区分开来,如白花水蜜、脆保、春冠、奉罐1号、菊黄和红肉桃1号,这些品种可作为香气机理研究和育种实践的较好材料。

桃果实在发育期、成熟期、贮藏期等各阶段所散发的香气组分有变化,因此针对评价样品的不同,对桃香气识别起主要作用的传感器也有所不同。如对久保水蜜桃采后货架期内的芳香成分进行检测分

析时,传感器W1S(甲烷)、W2S(乙醇)、W2W(硫化氢类)起到了较大的作用^[15];对不同储藏时间下朝晖水蜜桃芳香成分进行检测分析时,传感器W1S(甲烷)、W2S(乙醇)、W5C(烷烃、芳香型化合物)起主要作用^[16];但在评价Earlymaycrest、Maycrest、春冠和Silver Rome成熟度时,传感器(W5S(氮氧化物)、W2S(乙醇)和W1S(甲烷))可以解释所有的变异贡献度,而且仅需要W5S即可将样品鉴定为未熟、成熟和完熟^[14]。本研究结果显示,对处于成熟期的供试74份桃种质,传感器W1W(硫化氢)、W1S(甲烷类)、W5S(氮氧化物类)、W2W(芳香成分,有机硫化物)可以解释98.43%的总贡献率,其香气可由该四种传感器区分。

苏明申等^[20]研究发现基于电子鼻的无损检测能较好呈现桃果实香气品质的差异;进一步对39份不同品种桃进行研究,得出通过电子鼻测定挥发物,可以区分6、7、8、9月份品种的结论^[3]。本研究结果与其一致,证实了果实不同发育期类型与香气有较明显的相关性,利用电子鼻能区分不同发育期长短的桃。这可能是由于果实发育时间不同,所处环境,如光照等不同,导致果实芳香组分和含量以及其他影响香气的代谢物组分的差异,而本研究结果显示长、中、短不同果实生育期桃甲烷类和氮氧化物

类传感器响应值差异显著 ($P<0.05$), 推断不同生育期桃香气差异主要由甲烷类和芳香成分与有机硫化物类物质的代谢差异引起的, 具体发挥作用的挥发性组分需进一步通过 GC-MS 进行测定分析。

桃的肉质类型可以分为软溶质、硬溶质、不溶质、绵和硬质^[22-23]。本研究初步发现电子鼻可将 74 份桃品种中的硬肉桃(肉质绵)区分出来, 与其他 4 种肉质类型桃(不溶质、硬溶质、软溶质和硬质)甲烷类传感器响应值差异显著 ($P<0.05$); 而其他 4 种肉质类型的品种的各传感器响应值相互间均没有显著差异, 即香气差别不明显。在长期的资源评价中, 硬肉类型作为桃演化历史中较早的品种类型, 其香气具有一定的独特性, 初步判断受甲烷类物质影响明显, 今后可进行针对性的研究。

Rui 等^[21]通过 GC-MS 和电子鼻联合检测发现, 电子鼻可以将红肉桃和白肉桃很好区分。本研究结果与该结论有出入, 电子鼻无法将供试 74 份桃中不同肉色的品种区分开。本研究成果在长期品种资源的评价工作中发现, 通过牙齿破碎作用, 黄肉桃, 特别是罐藏黄桃具有区别于其他类型桃的独特香气。在本研究中, 由于研究对象为整果, 电子鼻并未将多数黄肉桃明显地与白肉桃和红肉桃区分开来, 但是筛选到的与大部分品种香气差异较大的黄肉桃占有 3 份, 包括奉罐 1 号、菊黄和春冠。基于此, 证明整果的香气和破碎后果肉的香气会有差异, 为了达到全面地对桃种质果实香气评价和对比区分, 可进一步对种质果实剖开处理, 再进行电子鼻检测。

芳香物质组成和含量是反应桃香气的决定性因素, 同时其他果肉品质指标, 包括糖、酸、酚、色素, 甚至是果皮细胞结构等均可对香气的表征产生影响。在今后的香气评价中, 结合各种手段, 包括 HPLC、LC/MS、GC-MS 和电子鼻等, 将所有可能影响香气的品质指标进行测定和综合分析, 是精确评价桃种质香气的有效途径。

参考文献

- [1] Wang Y, Yang C, Li S, Yang L, Wang Y, Zhao J, Jiang Q. Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS. *Food Chemistry*, 2009, 116(1): 356-364
- [2] 连建国, 林群, 刘美艳, 王传增, 张艳敏, 陈学森. 几个晚熟桃品种香气成分的 GC-MS 分析. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2010, 41(4): 503-507
Lian J G, Lin Q, Liu M Y, Wang C Z, Zhang Y M, Chen X S. GC-MS analysis of volatile constituents in some late-maturing peach cultivars fruits. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition*, 2010, 41(4): 503-507
- [3] Su M S, Zhang B, Ye Z W, Chen K S, Guo J, Gu X J, Shen X J. Pulp volatiles measured by an electronic nose are related to harvest season, TSS concentration and TSS/TA ratio among 39 peaches and nectarines. *Scientia Horticulturae*, 2013, 150: 146-153
- [4] Zhu J C, Xiao Z B. Characterization of the key aroma compounds in peach by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements and sensory analysis. *European Food Research and Technology*, 2019, 245(1): 129-141
- [5] Peng B, Yu M L, Zhang B B, Xu J L, Ma R J. Differences in PpAAT1 activity in high-and low-aroma peach varieties affect γ -decalactone production. *Plant Physiology*, 2020, 182: 2065-2080
- [6] Kraujalytė V, Venskutonis P R, Pukalskas A, Česonienė L, Daubaras R. Antioxidant properties, phenolic composition and potentiometric sensor array evaluation of commercial and new blueberry (*Vaccinium corymbosum*) and bog blueberry (*Vaccinium uliginosum*) genotypes. *Food Chemistry*, 2015, 188: 583-590
- [7] Hui G, Jin J, Deng S, Ye X, Zhao M, Wang M, Ye D. Winter jujube (*Zizyphus jujuba* mill.) quality forecasting method based on electronic nose. *Food Chemistry*, 2015, 170: 484-491
- [8] Xu S, Lü E, Lu H, Zhou Z, Wang Y, Yang J, Wang Y. Quality detection of litchi stored in different environments using an electronic nose. *Sensors*, 2016, 16(6): 852
- [9] Zhang W, Pan L, Zhao X, Tu K. A study on soluble solids content assessment using electronic nose: persimmon fruit picked on different dates. *International Journal of Food Properties*, 2016, 19(1): 53-62
- [10] Corrado D N, Antonella M, Eugenio M, Emanuela P, Roberto P, Lorena C, Stefano C, Arnaldo D. Electronic nose based investigation of the sensorial properties of peaches and nectarines. *Sensors and Actuators B*, 2001, 77(1): 561-566
- [11] 张鑫, 齐玉洁, 杨夏, 贾惠娟. 利用电子鼻技术评价桃果实成熟度的研究. *华南农业大学学报*, 2012, 33(1): 23-27
Zhang X, Qi Y J, Yang X, Jia H J. Evaluation of maturity of peach by electronic nose. *Journal of South China Agricultural University*, 2012, 33(1): 23-27
- [12] Voss H G J, Ayub R A, Jr S L S. Peach growth cycle monitoring using an electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 163: 104858
- [13] Infante R, Faruqi M, Meneses C. Monitoring the sensorial quality and aroma through an electronic nose in peaches during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008, 88(12): 2073-2078
- [14] Simona B, Susanna B, Anna S, Saverio M, Ilaria M. Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 47(2): 181-188
- [15] 江琳琳, 潘磊庆, 屠康, 杨虹贤, 钱钊, 韩东海. 基于电子鼻对水蜜桃货架期评价的研究. *食品科学*, 2010, 31(12): 229-232
Jiang L L, Pan L Q, Tu K, Yang H X, Qian Z, Han D H. Freshness evaluation of juicy peach by electronic nose. *Food*

- Science, 2010, 31 (12): 229-232
- [16] 马淑凤,王周平,丁占生,王利强,徐化能. 应用电子鼻技术对水蜜桃储藏期内品质变化的研究. 食品与生物技术学报, 2010, 29 (3): 390-394
- Ma S F, Wang Z P, Ding Z S, Wang L Q, Xu H N. Study on the quality of juicy peaches during store using an electronic nose. Journal of Food and Biotechnology, 2010, 29 (3): 390-394
- [17] Wei X, Zhang Y C, Wu D, Wei Z B, Chen K S. Rapid and non-destructive detection of decay in peach fruit at the cold environment using a self-developed handheld electronic-nose system. Food Analytical Methods, 2018, 11 (11): 2990-3004
- [18] Hui G H, Wu Y L, Ye D D, Ding W W, Zhu L S, Wang L Y. Study of peach freshness predictive method based on electronic nose. Food Control, 2012, 28 (1): 25-32
- [19] 朱娜,潘磊庆,毛淑波,吴林蔚,屠康. 基于电子鼻判别桃果实瘀伤的研究. 南京农业大学学报, 2013, 36 (1): 137-141
- Zhu N, Pan L Q, Mao S B, Wu L W, Tu K. Non-destructive detection of peach bruise by e-nose. Journal of Nanjing Agricultural University, 2013, 36 (1): 137-141
- [20] 苏明申,张波,叶正文,申济源,李宏义,陈昆松. 基于电子鼻无损检测技术的桃果实香气研究. 果树学报, 2012, 29 (5): 99-103
- Su M S, Zhang B, Ye Z W, Shen J Y, Li H Y, Chen K S. Non-destructive detection of peach (*Prunus persica*) fruit volatiles using an electronic nose. Journal of Fruit Trees, 2012, 29 (5): 99-103
- [21] Rui X, Liu X H, Wei C Y, Yang C, Liu H R, Cao X M, Wu D, Zhang B, Chen K S. E-Nose and GC-MS reveal a difference in the volatile profiles of white- and red-fleshed peach fruit. Sensors, 2018, 18 (3): 765
- [22] 曾文芳,王志强,牛良,潘磊,丁义峰,鲁振华,崔国朝. 桃果实肉质研究进展. 果树学报, 2017, 34 (11): 1475-1482
- Zeng W F, Wang Z Q, Niu L, Pan L, Ding Y F, Lu Z H, Cui G C. Research process on peach fruit flesh texture. Journal of Fruit Science, 2017, 34 (11): 1475-1482
- [23] 王力荣,朱更瑞. 桃种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2005: 47
- Wang L R, Zhu G R. Descriptors and data standard for peach (*Prunus persica* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2005: 47