

基于电子鼻技术的樱花花香测定方法的建立

熊青青¹, 范俊俊², 马敬泽¹, 张往祥^{1,3}

(1. 南京林业大学 林草学院, 江苏 南京 210037; 2. 金陵科技学院 园艺园林学院, 江苏 南京 210038;
3. 扬州小苹果园艺有限公司, 江苏 扬州 225200)

摘要: 【目的】为建立基于电子鼻技术的樱花花香快速检测方法, 应用于樱花种质鉴定。【方法】以山樱花 *Cerasus serrulate* 为试材, 采用正交设计, 分析不同顶空平衡时间、样品量、花期和采样时间对电子鼻测定樱花花香的影响, 筛选最佳测定参数, 并利用山樱花、东京樱花 *Cerasus yedoensis* 和日本晚樱 *Cerasus serrulata* var. *lannesiana* 等3种樱花种质进行效果验证。【结果】传感器 W1C、W5S、W1S、W1W、W2W 和 W3S 对樱花香气组响应值较大, 其他传感器响应值较小 ($G/G_0 \approx 1$)。不同因素下电子鼻传感器的响应值差异显著, 各因素对电子鼻传感器响应影响大小依次为: 花期 > 样品量 > 采样时间 > 顶空平衡时间。根据高响应值, 确定电子鼻测定樱花花香的最佳组合为 $A_2B_4C_3D_2$, 即在 12:00 采集盛开时期的花朵 4 g, 在顶空平衡 30 min 后测定。基于最佳电子鼻测定参数, 结合主成分分析 (PCA) 及线性判别分析 (LDA), 进行不同樱花种质区分发现, PCA 及 LDA 分析均较好地实现了不同樱花种质区分, 且 LDA 法的区分度高于 PCA 法的区分度 (LDA 法区分度 = 1; PCA 法区分度 = 0.677 ~ 0.974), LDA 法区分效果优于 PCA 法。载荷因子 Loading 分析发现, 传感器 W1W、W2W、W5S、W1S、W2S 和 W3S 对第一主成分起正向贡献作用, W6S 对第二主成分起主要正向贡献作用, 表明烷烃类与氮氧化合物及硫化物类可能是区分樱花种质香型的主要成分。【结论】电子鼻测定樱花花香的最佳参数为在 12:00 采集盛开时期的花朵 4 g, 在顶空平衡 30 min 后测定, 结合 LDA 法进行不同种质区分, 区分度较高 (区分度 = 1)。

关键词: 樱花; 电子鼻; 花香; 正交试验; 种质鉴定

中图分类号: S685.99

文献标志码: A

文章编号: 1003—8981(2024)03—0281—08

Establishment of determination method of cherry blossom fragrance based on electronic nose technology

XIONG Qingqing¹, FAN Junjun², MA Jingze¹, ZHANG Wangxiang^{1,3}

(1. College of Forestry and Grass, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;
2. College of Horticulture, Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038, Jiangsu, China;
3. Yangzhou Little Apple Horticulture Co., Ltd., Yangzhou 225200, Jiangsu, China)

Abstract: 【Objective】In order to establish a rapid detection method of cherry blossom fragrance based on electronic nose technology and apply it to cherry blossom germplasm identification. 【Method】*Cerasus serrulate* was used as the test material, and orthogonal design was used to analyze the effects of different headspace balance time, sample size, flowering period and sampling time on the determination of cherry blossom fragrance by electronic nose, and to screen the best determination parameters. Three cherry germplasm, namely, *C. serrulate*, *C. yedoensis* and *C. serrulata* var. *lannesiana*, were used to verify the effect. 【Result】Sensors W1C, W5S, W1S, W1W, W2W and W3S had larger response values to cherry blossom aroma components, while other sensors had smaller response values ($G/G_0 \approx 1$). The

收稿日期: 2024-04-06

基金项目: 扬州市科技计划项目 (YZ2022044); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32201622); 江苏高校“青蓝工程”资助项目。

第一作者: 熊青青 (xqq2568356675@163.com), 硕士研究生。通信作者: 张往祥 (malus2011@163.com), 教授, 博士, 博士研究生导师。

引文格式: 熊青青, 范俊俊, 马敬泽, 等. 基于电子鼻技术的樱花花香测定方法的建立 [J]. 经济林研究, 2024, 42(3): 281-288.

XIONG Q Q, FAN J J, MA J Z, et al. Establishment of determination method of cherry blossom fragrance based on electronic nose technology [J]. Non-wood Forest Research, 2024, 42(3): 281-288.

response value of electronic nose sensor was significantly different under different factors, and the order of influence of each factor on the response of electronic nose sensor was flowering period > sample size > sampling time > headspace balance time. According to the high response value, it was determined that the best combination of electronic nose for measuring the fragrance of cherry blossoms was $A_2B_4C_3D_2$, that was, 4 g of flowers in full bloom were collected at 12:00, and measured after 30 min of headspace balance. Based on the best electronic nose measurement parameters, combined with principal component analysis (PCA) and linear judgment analysis (LDA), different cherry germplasm were distinguished. It was found that PCA and LDA analysis could distinguish different cherry germplasm well, and the discrimination degree of LDA method was higher than that of PCA method (LDA method discrimination degree=1; The discrimination degree of PCA method was 0.677-0.974), and the discrimination effect of LDA method was better than PCA method. The load factor of Loading analysis showed that sensors W1W, W2W, W5S, W1S, W2S and W3S had positive contributions to first principal component, and W6S had a main positive contribution to the second principal component. It showed that alkanes, nitrogen oxides and sulfides might be the main components to distinguish the fragrance types of cherry germplasm. 【Conclusion】 The best parameters for measuring the fragrance of cherry blossoms by electronic nose are as follows: 4 g of blooming flowers are collected at 12: 00, and measured after 30 min of headspace balance, and different germplasm are distinguished by LDA method, with high discrimination (discrimination=1).

Keywords: cherry blossoms; electronic nose; flower fragrance; orthogonal experiment; germplasm identification

植物花香是园林植物的重要性状之一,也是植物吸引昆虫授粉的重要表现信号,更是评价观赏植物和鲜花的重要质量指标^[1-2]。通常,人们对植物香型的研究主要通过顶空固相微萃取、气相色谱-质谱联用技术和感官评价法。这些方法已经被运用于矮牵牛 *Petunia hybrida*^[3]、柚 *Citrus maxima*(Burm.) Merr^[4] 和野茉莉 *Styrax japonicus*^[5] 等芳香植物的鉴定和分析。但是大多数挥发性物质在花朵中含量极低,不能被人们的嗅觉所感知,因此感官评价法具有主观性极强的缺点。气相色谱-质谱联用技术对花成分的定性和定量分析精度高,但也存在仪器维护费用高、运行成本高、样品预处理分析时间长等局限性^[6]。

电子鼻是一种嗅觉模拟测试工具,通常由一系列非特异性、交叉反应的化学传感器组成,能对气味进行客观的感知、分析和判断。电子鼻技术具有不需要有机溶剂、测量时间短、灵敏度高、易于维护和检测费用低等优点^[7]。张正武等^[8]利用电子鼻对陇南34个花椒 *Zanthoxylum bungeanum* 品种进行了区分。潘雁红等^[9]通过研究发现8种竹笋 *Bambuseae species* 能够通过电子鼻被准确地区分开来。此外,电子鼻技术在花香^[10-11]、茶叶^[12]、果实品质^[13-14]、肉制品^[15]等方面均有应用。

樱花是樱属 *Cerasus* Mill. 植物的总称,属于蔷薇科 *Rosaceae* 李亚科 *Prunoideae*。樱花作为闻名世界的观赏植物,种类丰富、分布广泛、花期集中、观赏价值高。目前国内学者对樱花的研究

报道主要集中在育种^[16-17]、胁迫^[18]、抗氧化能力^[19]及其致病性研究^[20],而对于花香的研究暂无报道。

因此,本研究以山樱花 *Cerasus serrulate* 为试材,采用正交设计,分析不同顶空平衡时间、样品量、花期和采样时间对电子鼻测定樱花花香的影响,筛选最佳测定参数。基于最佳参数,开展基于电子鼻技术的不同樱花的种质鉴定分析。以期建立基于电子鼻技术的樱花花香气味快速测定方法应用于樱花种质鉴定,也为其他香源植物的香型分析提供共性技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省南京市南京林业大学(31°52'11.10"N, 118°46'5.53"E),属北亚热带湿润气候,四季分明,雨量充沛,土壤肥沃。年均降水日数为117 d,年均降水量1 106 mm,相对湿度76%,无霜期237 d。

1.2 植物材料

试验材料为3种具有不同表型性状的樱花,均采自南京林业大学校园内多年生栽培群体。其中东京樱花 *Cerasus yedoensis* 为伞形总状花序,有花3~4朵,先叶开放,花瓣数5,花色为粉红色;山樱花为伞房总状花序,有花2~3朵,花叶同放,花瓣数5,花色为白色;日本晚樱 *Cerasus serrulata* var. *lannesiana* 为伞形花序,有花3~5朵,花叶同放,花瓣数20~45,花色为紫红色。于

2023 年 3 ~ 4 月选择晴天进行采样。选择生长健壮、无机械损害和病虫害、树形大小基本一致的植株。采摘着色均匀的花朵立即放置聚乙烯密封袋内混匀花样后带至实验室内，在室温条件下进行检测。

1.3 试验仪器

PEN3 型便携式电子鼻（德国 AIRSENSE 公司），该电子鼻含有 10 个金属氧化物传感器，不同的传感器对不同的化学成分有不同的响应值。各传感器的类型及性能如表 1 所示。

表 1 电子鼻传感器阵列及其类型 Table 1 Electronic nose sensor arrays and their types		
传感器序号 No.	传感器名称 Sensor name	性能 Performance
1	W1C	对芳香型化合物敏感
2	W5S	对氮氧化物敏感
3	W3C	对氨类、芳香型化合物敏感
4	W6S	对氢气敏感
5	W5C	对烷烃、芳香型化合物敏感
6	W1S	对甲烷敏感
7	W1W	对硫化物、萜烯类敏感
8	W2S	对乙醇、部分芳香型化合物敏感
9	W2W	对有机硫化物敏感
10	W3S	对烷烃敏感

1.4 试验方法

1.4.1 电子鼻分析条件

电子鼻检测采用顶空抽样的方法^[8]。电子鼻测定参数设置为内部流量 180 mL/min，进样流量 180 mL/min，样品间隔 1 s，清洗时间 60 s，自动调零时间 5 s，样品准备时间 5 s，测量时间 70 s。

1.4.2 基于电子鼻技术的樱花花香最佳测定条件筛选

以多年生山樱花为试材，为确定电子鼻检测樱花花香的最佳测定参数，采用 $L_{16}(4^4)$ 正交试验设计，共设计顶空平衡时间、样品量、花期和采样时间 4 个因素，每个因素 4 个水平，正交试验的因素与水平见表 2。处理 1 ~ 16 分别是 $A_1B_1C_1D_1$ 、 $A_1B_2C_2D_2$ 、 $A_1B_3C_3D_3$ 、 $A_1B_4C_4D_4$ 、 $A_2B_1C_2D_3$ 、 $A_2B_2C_1D_4$ 、 $A_2B_3C_4D_1$ 、 $A_2B_4C_3D_2$ 、 $A_3B_1C_3D_4$ 、 $A_3B_2C_4D_3$ 、 $A_3B_3C_1D_2$ 、 $A_3B_4C_2D_1$ 、 $A_4B_1C_4D_2$ 、 $A_4B_2C_3D_1$ 、 $A_4B_3C_2D_4$ 、 $A_4B_4C_1D_3$ ，每个处理 3 个重复。

1.4.3 基于电子鼻技术的樱花种质鉴定

以东京樱花、山樱花和日本晚樱为研究对象，基于电子鼻检测樱花花香的最佳测定参数，利用电子鼻技术对不同樱花花香的挥发性成分进行鉴定分析。

表 2 正交试验的因素和水平 Table 2 Factors and levels of orthogonal experiments				
水平 Level	顶空平衡时间(A) Headspace balance time /min	样品量(B) Sample size /g	花期(C) Florescence	采样时间 (D) Sample time
1	15	1	大蕾	09:00
2	30	2	初开	12:00
3	45	3	盛开	15:00
4	60	4	盛开末期	18:00

1.5 数据分析

在使用电子鼻检测樱花样品时，取响应曲线平稳阶段（65 ~ 67 s）的平均值作为样品分析的时间点。使用 PEN3 自带的 Winmuster 数据处理软件、SPSS26 软件和 Origin2021 软件进行方差分析、主成分分析（PCA）、载荷分析（Loadings）及线性判别分析（LDA），利用 Excel 软件进行其他分析，采用 Origin2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 基于电子鼻技术的樱花花香测定条件筛选

2.1.1 不同处理樱花花香的电子鼻雷达图分析

图 1 是基于电子鼻技术对山樱花 16 个处理的樱花香气组成成分响应值构建的雷达图。从图 1 可以看出，10 个传感器对樱花香气组分的响应存在显著差异（ $P < 0.01$ ），响应值 ‘G/G₀ 值’ 分布于 0.9 ~ 29 之间。W1C、W5S、W1S、W1W、W2W

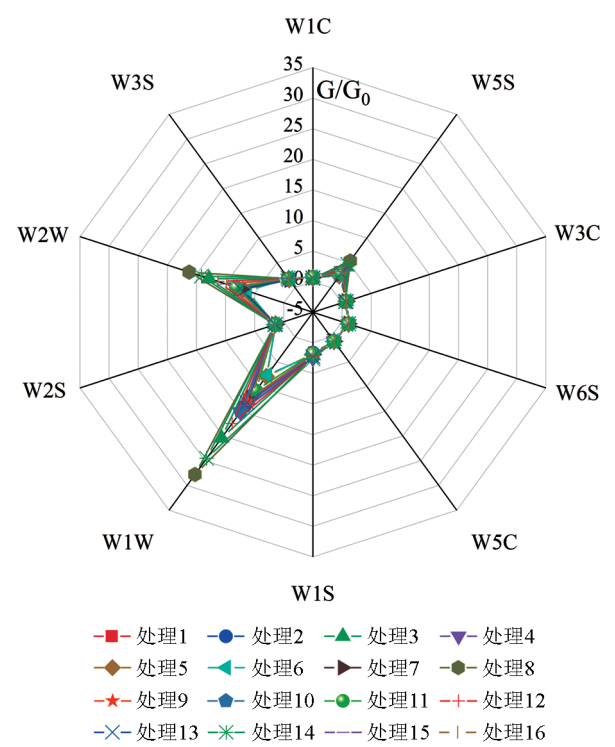


图 1 不同处理山樱花花香雷达图
Fig. 1 Radar images of cherry blossom fragrance under different treatments

和 W3S 传感器对樱花香气组分响应值较大, 响应值从高到低依次为 W1W、W2W、W5S、W1S、W3S、W1C, 其余传感器对樱花香气组分响应值较小 (G/G_0 值 ≈ 1)。因此, 优选出 W1C、W5S、W1S、W1W、W2W 和 W3S 传感器进行数据提取与分析。

2.1.2 不同因素对电子鼻响应特性的影响

不同因素对电子鼻各传感器 (W1C、W5S、W1S、W1W、W2W 和 W3S 传感器) 的影响见表 3。从表 3 可知, 不同因素对电子鼻测定樱花花香的影响差异显著, 对电子鼻传感器的响应影响从大

到小依次是不同花期、样品量、采样时间, 在不同顶空平衡时间因素下电子鼻各传感器响应值极差均最小。从各因素的不同水平看, 在不同顶空平衡时间因素中, 水平 1、4 高于水平 2、3; 样品量中水平 4 的电子鼻各传感器响应值显著高于其他水平, 水平 1、2、3 差异不显著; 在不同花期因素下, 除了 W1S 传感器之外, 其余传感器在水平 3 时的响应值高于其他水平, 且与其他水平差异极显著; 采样时间中各水平差异不显著。说明电子鼻对盛开时期的樱花花朵且样品量为 4 g 时响应较大。

表 3 不同因素对电子鼻传感器响应特性的影响[†]
Table 3 Effects of different factors on the response characteristics of electronic nose sensors

传感器 Sensor	水平 Level	顶空平衡时间 Headspace balance time /min	样品量 Sample size /g	花期 Florescence	采样时间 Sample time
W1C	1	1.564 7 a	1.537 1 b	1.464 1 b	1.642 6 a
	2	1.562 4 a	1.524 1 b	1.474 7 b	1.543 4 b
	3	1.505 4 a	1.496 4 b	1.741 4 a	1.543 4 b
	4	1.602 5 a	1.677 4 a	1.554 7 b	1.505 6 b
	极差 R	0.097 1	0.181	0.277 3	0.137
W5S	1	3.370 9 a	2.758 3 c	2.842 6 b	3.496 6 a
	2	3.267 2 a	3.281 6 b	3.049 2 b	3.562 2 a
	3	3.087 a	3.231 7 b	4.313 6 a	3.127 9 b
	4	3.412 8 a	3.866 3 a	2.932 4 b	2.951 1 b
	极差 R	0.325 8	1.108	1.471	0.611 1
W1S	1	2.120 2 a	2.043 8 b	1.984 5 bc	2.144 1 a
	2	2.076 a	1.978 8 b	1.932 3 c	2.047 4 a
	3	2.009 3 a	1.933 b	2.159 7 ab	2.001 a
	4	2.079 7 a	2.329 5 a	2.208 7 a	2.092 6 a
	极差 R	0.110 9	0.396 5	0.276 4	0.143 1
W1W	1	15.499 4 a	11.582 9 c	10.735 8 c	16.545 3 a
	2	13.962 1 a	15.183 6 b	13.213 6 b	16.476 8 a
	3	13.881 2 a	14.158 8 b	21.409 3 a	13.756 5 b
	4	15.685 2 a	18.102 7 a	13.669 2 b	12.249 5 b
	极差 R	1.804	6.519 8	10.673 5	4.295 8
W2W	1	9.153 6 b	7.527 9 c	7.860 9 c	9.900 1 a
	2	9.181 5 b	9.101 3 b	8.991 7 b	9.999 3 a
	3	8.905 8 b	9.440 7 b	12.914 8 a	9.335 6 a
	4	10.208 4 a	11.379 4 a	7.681 9 c	8.214 3 b
	极差 R	1.302 6	3.851 5	5.232 9	1.785
W3S	1	1.731 5 a	1.646 3 b	1.758 3 a	1.727 1 ab
	2	1.713 2 a	1.718 6 ab	1.698 ab	1.699 2 ab
	3	1.697 5 a	1.703 9 ab	1.765 2 a	1.661 1 b
	4	1.728 4 a	1.801 9 a	1.649 2 b	1.783 2 a
	极差 R	0.034	0.155 6	0.116	0.122 1

[†] 同列中相同英文字母表示差异性不显著 ($P > 0.05$), 不同英文字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。
The same letters in the same column mean no significant difference ($P > 0.05$), and different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.1.3 不同处理樱花花香主成分分析

图 2 是基于山樱花香气的电子鼻数据 (W1C、W5S、W1S、W1W、W2W 和 W3S 传感器响应值

G/G_0) 构建的主成分分析图 (PCA)。第一主成分 PC1 的贡献率为 71.7%, 第二主成分 PC2 的贡献率为 20.8%, 总贡献率达到 92.5%, 说明第一、

第二主成分能很好地反映供试样品的整体信息。从图 2 可以看出, 3、6、8 和 14 号处理组合与其他处理组合的样本点没有重叠, 由此可以区分出 3、6、8 和 14 号处理。结合图 1 可知 8 号处理各传感器的响应值显著高于其他处理, 且与其他处理差

异极显著。因此, 8 号处理, 即 $A_2B_4C_3D_2$ 处理组合 (在 12: 00 采集盛开时期的樱花花朵 4 g, 在顶空平衡 30 min 后进行电子鼻测定) 的表现最优, 为电子鼻快速测定樱花香气的最优组合。

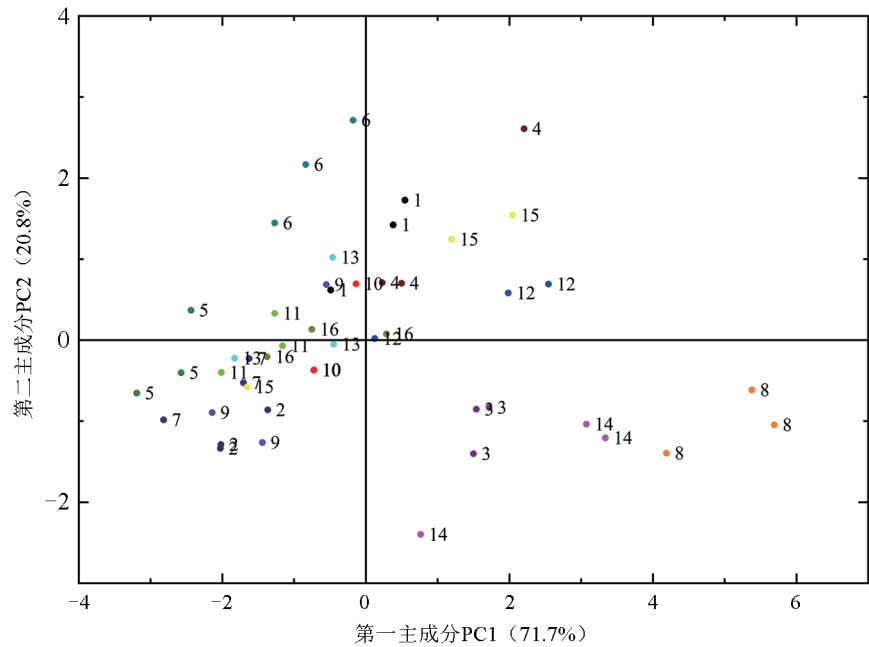


图 2 不同处理的樱花花朵香气的 PCA 分析
Fig. 2 PCA analysis of the aroma of cherry blossom flowers treated with different methods

2.2 基于电子鼻技术的樱花种质区分
2.2.1 基于主成分分析和线性判别分析法的樱花种质区分

采用 PCA 和 LDA 法对 3 种樱花进行分析 (图 3), 从图 3 可以看出, 不同种樱花的样本点没有重叠, 每种樱花样本点均有特定的分布区域。PCA 结果显示第一主成分 PC1 的贡献率为 99.33%, 第二主成分 PC2 的贡献率为 0.49%, 这两个主要成

分解释了总方差的 99.82% (图 3A), 不同种质区分度达到 0.677 ~ 0.974。从 LDA 分析结果可以看出 (图 3B), 判别式 LD1 和判别式 LD2 的贡献率分别为 75.30% 和 23.95%, 总贡献率达到 99.25%, 稍低于 PCA 的总贡献率 (99.82%), 但不同种质区分度为 1 高于 PCA 分析的区分度, 并且从 LDA 分析图中发现, 每种樱花样本点相比于 PCA 样本点更为集中。

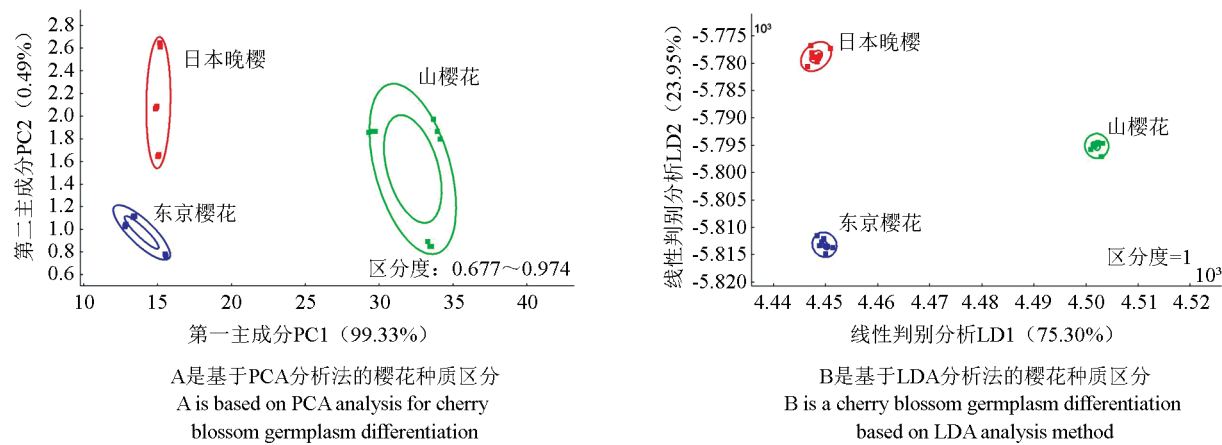


图 3 不同樱花电子鼻传感器响应值的 PCA 分析和 LDA 分析
Fig. 3 PCA and LDA analysis of response values of different cherry blossom electronic nose sensors

2.2.2 载荷分析

为了进一步确认电子鼻传感器对樱花花香挥发性成分响应值的贡献大小, 利用载荷分析 (Loadings) 分析传感器在当前条件下的相对重要性。从图 4 可以看出, 第一主成分 PC1 的贡献率为 82.4%, 第二主成分 PC2 的贡献率为 11.0%, 总贡献率为 93.4%。传感器 W1W、W2W、W5S、W1S、W2S 和 W3S 对第一主成分起正向贡献作用,

W6S 对第二主成分起主要正向贡献作用。W1C、W3C、W5C 传感器在第一主成分和第二主成分上均起负向贡献作用。W1S 和 W3S 主要是对烷烃类的物质有较强的敏感度, W5S、W1W 和 W2W 主要是对氮氧化合物及硫化物有主要的贡献力度 (表 1)。这表明烷烃类、氮氧化合物及硫化物类可能是区分樱花种与品种香型的主要成分。

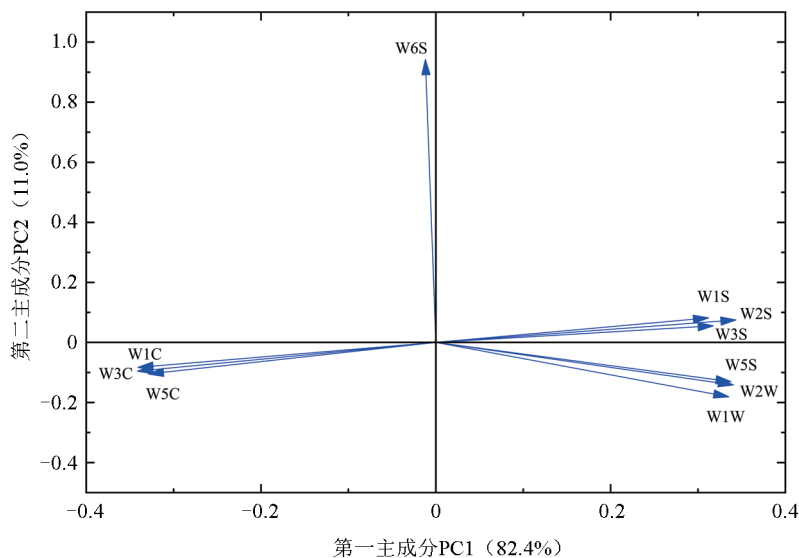


图 4 不同樱花电子鼻传感器响应值的 Loading 分析
Fig. 4 Loading analysis of response values of different cherry blossom electronic nose sensors

3 结论与讨论

本研究基于电子鼻技术, 以山樱花为试材, 采用雷达图对电子鼻传感器响应值进行评价, 发现 W1C、W5S、W1S、W1W、W2W 和 W3S 传感器对樱花香气组分响应值较大, 其他传感器响应值较小, G/G_0 值 ≈ 1 , 并依此对传感器阵列进行了优化。通过正交试验极差分析和方差分析发现, 不同因素对电子鼻测定樱花花香的影响是差异显著的, 各因素对电子鼻传感器响应影响大小依次为: 花期>样品量>采样时间>顶空平衡时间; 从各因素的不同水平来看, 顶空平衡时间和样品量在水平 4 时显著高于其他水平 (顶空平衡时间=60 min; 样品量=4 g), 在花期中除 W1S 传感器外均在水平 3 时响应值显著高于其他水平 (花期=盛花期), 采样时间中各水平差异不显著; 根据高响应值确定电子鼻测定樱花花香的最佳组合为 $A_2B_4C_3D_2$, 即在 12: 00 采集盛开时期的花朵 4 g, 在顶空平衡 30 min 后进行电子鼻测定。

基于最佳测定参数, 利用山樱花、东京樱花和日本晚樱等三种樱花种质进行效果验证。基于电子鼻技术对不同樱花挥发性成分进行检测, 大多数

传感器对高浓度的挥发性成分的反应值有明显的线性对应关系。通过 PCA 分析和 LDA 分析发现基于最佳测定参数利用电子鼻技术进行樱花种质区分是可行的, 3 种樱花区分均显著, 且 LDA 的区分度为 1 高于 PCA 分析的区分度 (0.677~0.974)。LDA 分析的总贡献率为 99.25% 稍低于 PCA 分析的总贡献率 99.82%, 但从 LDA 分析图中发现, 每种樱花样本点相比于 PCA 样本点更为集中, 并且样本点间并无重叠部分, 说明 LDA 分析法更适用于樱花种质的区分, 与曾辉^[21]使用电子鼻区分不同品种苹果的结果一致。通过 Loadings 分析发现, 传感器 W1W、W2W、W5S、W1S、W2S 和 W3S 对第一主成分起正向贡献作用, W6S 对第二主成分起主要正向贡献作用, 表明烷烃类、氮氧化合物及硫化物类可能是区分樱花种质香型的主要成分。范俊俊^[22]采用电子鼻技术对 108 份海棠种质开展海棠香型成分研究, 分析发现烷烃类与氮氧化合物及硫化物类可能是区分海棠种与品种两群体的香气的主要作用成分, 与本研究结果一致。

随着樱花新品种选育工作的不断深入, 樱花新品种的数量不断增加, 樱花的表型性状存在丰

富变异^[23]。传统的根据形态特征来进行樱花种质鉴定难度越来越大。花香被誉为花卉的“灵魂”，是花卉“形、色、香”三要素之一，是评价花卉品质的重要依据，并有可能在花卉植物的抗逆性中起着关键作用^[24]。花香挥发性成分主要由烷烃类、烯类、醇类、酮类、醛类、醚类、酯类及芳香族化合物等组成^[25]。每一种花香挥发物都具有其独特的气味，它们以不同的结合方式、浓度以及比例使每一种樱花具有独特的香味，因此花香也被认为是种质区分的重要依据^[26]。但香气成分鉴定的技术还不够成熟，目前气相色谱-质谱联用技术在花香测定上比较广泛^[27]。气相色谱-质谱联用技术对花成分的定性和定量分析精度高，但也存在仪器维护费用高、运行成本高、样品预处理分析时间长等局限性，而电子鼻正好克服了这个缺点。电子鼻是一种嗅觉模拟测试工具，可以对气味进行客观地感知、分析和判断。电子鼻技术具有不需要有机溶剂、测量时间短、灵敏度高、易于维护和检测费用低等优点^[7]。该技术已经被应用于区分不同的花椒品种^[8]和竹笋品种^[9]，鉴定果实品质^[14]，鉴别绿茶成分^[12]和花香成分^[10]以及区分具有不同气味强度的海棠类群^[22]。这表明，该技术在花香分类和鉴定领域是可行的。

由于试验种质收集数量有限，本研究仅选用了 3 种樱花作为研究对象，样本量较少，在后续的研究中将其作为重点改进部分，扩大樱花品种检测数量，构建基于电子鼻技术的樱花花香“指纹图谱”，以期为樱花种质鉴定提供参考，也为其他香源植物的香型分析提供共性技术参考。

参考文献:

- MAFFEI M E, GERTSCH J, APPENDINO G. Plant volatiles: Production, function and pharmacology[J]. Natural Product Reports, 2011, 28(8): 1359-1380.
- PICHWESKY E, GERSHENZON J. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2002, 5(3): 237-243.
- 郝瑞杰, 张忠强, 杨姝婷, 等. 不同矮牵牛品种花香成分差异分析研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2022, 42(1): 59-68.
- HAO R J, ZHANG Z Q, YANG S T, et al. Analysis and study on the difference of floral composition of different *Petunia* varieties[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2022, 42(1): 59-68.
- 郑云云, 黄锐敏, 陈美卿, 等. 固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术对黄金蜜柚天然花香成分的分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(14): 4602-4607.
- ZHENG Y Y, HUANG R M, CHEN M Q, et al. Analysis of natural floral components of golden honey pomelo by solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2020, 11(14): 4602-4607.
- 曹媛媛, 贾斐斐, 吴岐奎, 等. 野茉莉属 6 个树种不同时期花香成分分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(4): 48-56.
- CAO Y Y, JIA F F, WU Q K, et al. Analysis of floral compositions of six species of *Jasminum* in different periods[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2019, 43(4): 48-56.
- 陈梓豪. 稻谷储藏品质变化规律及预测模型的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
- CHEN Z H. Study on the change law and prediction model of rice storage quality[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2022.
- 方芳, 田孜敬, 王耀耀, 等. 基于电子鼻气味指纹图谱快速鉴别茶籽油[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(11): 211-217.
- FANG F, TIAN Z J, WANG Y Y, et al. Rapid identification of tea seed oil based on electronic nose odor fingerprint[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2023, 38(11): 211-217.
- 张正武, 王勃, 林云, 等. 基于电子鼻技术的陇南花椒品种区分[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 188-193.
- ZHANG Z W, WANG B, LIN Y, et al. Differentiation of *Zanthoxylum bungeanum* varieties in Longnan based on electronic nose technology[J]. Non-wood Forest Research, 2019, 37(4): 188-193.
- 潘雁红, 何秋中, 叶晓丹, 等. 电子鼻在竹笋种类识别中的应用[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(3): 495-499.
- PAN Y H, HE Q Z, YE X D, et al. Application of electronic nose in bamboo shoot species identification[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2016, 33(3): 495-499.
- 蔡科羽, 冯成玉, 许绍怿, 等. 单花鸢尾不同时期的花香成分[J]. 东北林业大学学报, 2023, 51(8): 53-58.
- CAI K Y, FENG C Y, XU S Y, et al. Volatile components in different flowering stages of *Iris uniflora*[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2023, 51(8): 53-58.
- 孙俊明, 田可新, 姜倩, 等. 葡萄风信子花香的电子鼻分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2023, 43(2): 9-16.
- SUN J M, TIAN K X, LOU Q, et al. Electronic nose analysis of the floral fragrance of grape *Hyacinthus orientalis*[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2023, 43(2): 9-16.
- 王宝怡, 王培强, 李晓晗, 等. 基于电子鼻技术对不同季节山东绿茶香气的分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 284-289, 259.
- WANG B Y, WANG P Q, LI X H, et al. Analysis of aroma of Shandong green tea in different seasons based on electronic nose technology[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 284-289, 259.
- 张丹丹, 李千惠, 范俊俊, 等. 观赏海棠果实香气电子鼻检

- 测[J]. 北方园艺,2018(19):88-93.
- ZHANG D D, LI Q H, FAN J J, et al. Electronic nose detection of fruit aroma of ornamental begonia[J]. Northern Horticulture, 2018(19):88-93.
- [14] 赵秀洁, 吴海伦, 潘磊庆, 等. 基于电子鼻技术预测草莓采后品质[J]. 食品科学, 2014,35(18):105-109.
- ZHAO X J, WU H L, PAN L Q, et al. Prediction of postharvest strawberry quality based on electronic nose technology[J]. Food Science, 2014,35(18):105-109.
- [15] 张四喆, 贾文坤, 马洁, 等. 一种高效的冷鲜肉新鲜度检测工具—电子鼻[J]. 分析试验室, 2019,38(7):878-884.
- ZHANG S Z, JIA W S, MA J, et al. An efficient tool for detecting the freshness of cold meat—electronic nose[J]. Analytical Laboratory, 2019,38(7):878-884.
- [16] 郭宏, 胡晓敏, 朱军, 等. 樱花新品种‘好运来’[J]. 园艺学报, 2023,50(S1):167-168.
- GUO H, HU X M, ZHU J, et al. A new cherry blossom variety ‘Haoyunlai’[J]. Journal of Horticulture, 2023,50(S1):167-168.
- [17] 马小民, 陈媛媛, 张荣, 等. 樱花新品种‘漫天红’[J]. 园艺学报, 2023,50(S1):169-170.
- MA X M, CHEN Y Y, ZHANG R, et al. A new cherry blossom variety ‘Mantianhong’[J]. Acta Horticultural Sciences, 2023,50(S1):169-170.
- [18] 陆日惠, 徐力兴, 周晓星, 等. 淹水胁迫对福建山樱花幼苗生长和光合特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2022,44(4):871-881.
- LU R H, XU L X, ZHOU X X, et al. Effects of flooding stress on the growth and photosynthetic characteristics of *Sakura fujianensis* seedlings[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2022,44(4):871-881.
- [19] 欧阳莎莎, 曹受金, 熊颖, 等. 不同樱花花瓣色值和花色素测定及抗氧化能力分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2024,44(2):166-173,183.
- OUYANG S S, CAO S J, XIONG Y, et al. Determination of petal color and anthocyanin and analysis of antioxidant capacity of different cherry blossoms[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2024,44(2):166-173,183.
- [20] 侯世星, 胡娜, 张继明, 等. 染井吉野樱花腐烂病原菌鉴定及其致病性研究[J]. 中国农学通报, 2022,38(35):76-82.
- HOU S X, HU N, ZHANG J M, et al. Identification and pathogenicity of pathogen of cherry blossom rot in Yoshino[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022,38(35):76-82.
- [21] 曾辉. 不同品种苹果特征香气的表征与识别[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- ZENG H. Characterization and identification of characteristic aroma of different apple varieties[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016.
- [22] 范俊俊. 观赏海棠花朵香型分析与判别模型构建[D]. 南京: 南京林业大学, 2019.
- FAN J J. Analysis and discrimination model construction of flower scent intensity type of flowering crabapple[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2019.
- [23] 王志杨, 禹霖, 柏文富, 等. 湖南平江幕阜山迎春樱桃群落结构与物种多样性[J]. 中南林业科技大学学报, 2023,43(2):93-101.
- WANG Z Y, YU L, BAI W F, et al. Community structure and species diversity of cherry trees in Mufu Mountain, Pingjiang, Hunan[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2023,43(2):93-101.
- [24] 杨祎凡, 周婷, 范俊俊, 等. 基于切花应用的观赏海棠品种评价与筛选[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019,43(4):70-76.
- YANG Y F, ZHOU T, FAN J J, et al. Evaluation and screening of ornamental begonia varieties based on the application of cut flowers[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2019,43(4):70-76.
- [25] 李莹莹. 花香挥发物的主要成分及其影响因素[J]. 北方园艺, 2012(6):184-187.
- LI Y Y. The main components of floral volatiles and their influencing factors[J]. Northern Horticulture, 2012(6):184-187.
- [26] Díaz-Fernández Á, Díaz-Losada E, Cortés-Diéguez S. Approach to the chemotaxonomic characterization of traditional cultivation grape varieties through their varietal aroma profile[J]. Foods, 2022,11(10):1427.
- [27] 焦芳, 孙国峰, 李丽芳, 等. 萱草杂交后代及其亲本香气成分分析[J]. 园艺学报, 2023,50(7):1495-1504.
- JIAO F, SUN G F, LI L F, et al. Analysis of aroma components in hybrids of *Hemerocallis fulva* and their parents[J]. Acta Horticultural Sciences, 2023,50(7):1495-1504.

[本文编校: 赵 坤]