

王 淑, 郭瑞齐, 赵秋晨, 等. 不同品种玫瑰花及花蕾气味的电子鼻分析[J]. 湖北农业科学, 2024, 63(5): 77-83.

# 不同品种玫瑰花及花蕾气味的电子鼻分析

王 淑, 郭瑞齐, 赵秋晨, 王 平, 孙新茹, 王 萌  
(山东省中医药研究院, 济南 250014)

**摘要:** 以玫瑰花及花蕾为试验材料, 采用电子鼻技术, 通过聚类分析、主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)、正交偏最小二乘法判别分析(Orthogonal Partial Least-squares Discriminant Analysis, OPLS-DA)等多元统计学方法, 研究了不同品种玫瑰花及花蕾的气味特征。结果表明, 14个品种玫瑰花被分为三类, 组间差异标志物为W1W、W5S、W2S, 即无机硫化物、氮氧化合物、醇醚醛酮类, 3种差异标志物的强度大小为1组>2组>3组, 均具有显著差异; 8个品种玫瑰的花蕾被分为三类, 组间差异标志物为W5S、W1W, 即氮氧化合物、无机硫化物, 两种差异标志物的强度大小为1组>2组>3组, 均具有显著差异; 玫瑰花与花蕾的挥发性成分含量存在差异, 大部分玫瑰的花蕾挥发性成分含量高于玫瑰花, 少部分玫瑰花蕾挥发性成分含量低于玫瑰花或成分含量差异不大, 且主要差异标志物为W1W、W5S、W2S、W2W, 即无机硫化物、氮氧化合物、醇醚醛酮类和有机硫化物。通过电子鼻技术可快速有效区分不同品种玫瑰花和花蕾的挥发性成分差异, 可为玫瑰香气研究和质量评价提供参考。

**关键词:** 玫瑰花; 玫瑰花蕾; 气味; 电子鼻

**中图分类号:** S685.12      **文献标识码:** A

**文章编号:** 0439-8114(2024)05-0077-07

**DOI:** 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2024.05.014

**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



## Electronic nose analysis on scent of different varieties of rose flowers and buds

WANG Shu, GUO Rui-qi, ZHAO Qiu-chen, WANG Ping, SUN Xin-ru, WANG Meng  
(Shandong Academy of Chinese Medicine, Jinan 250014, China)

**Abstract:** With rose flowers and buds as test materials, the electronic nose technology was used to investigate the scent characteristics of different varieties of rose flowers and buds through multivariate statistical methods such as cluster analysis, Principal Component Analysis (PCA) and Orthogonal Partial Least-squares Discriminant Analysis (OPLS-DA). The results showed that, 14 varieties of roses were divided into three categories, and the difference markers among the groups were W1W, W5S, and W2S, namely inorganic sulfides, nitrogen oxides, alcohol ether aldehydes and ketones. The intensity of the three difference markers was group 1 > group 2 > group 3, all of which had significant differences. The flower buds of 8 rose varieties were divided into three categories, and the difference markers among the groups were W5S and W1W, that was, nitrogen oxides and inorganic sulfides. The intensity of the two difference markers was group 1 > group 2 > group 3, all of which had significant differences. There were differences in the content of volatile components between rose flowers and buds. Most rose buds had higher content of volatile components than rose flowers, while a few rose buds had lower content of volatile components than rose flowers or had little difference in component contents. The main difference markers were W1W, W5S, W2S and W2W, that was, inorganic sulfides, nitrogen oxides, alcohol-ether aldehydes ketones, and organic sulfides. Electronic nose technology could quickly and effectively distinguish the difference of volatile components of different varieties of rose flowers and buds, and which could provide reference for rose aroma research and rose quality evaluation.

**Key words:** rose flower; rosebud; scent; electronic nose

收稿日期: 2024-02-05

基金项目: 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目“药食同源特色产品创新研发与应用示范”(2021SFGC1205); 山东省 2022 年度中医药新产品研发推广项目“女性特殊生理时期药食同源产品的研发推广”

作者简介: 王 淑(1996-), 女, 山东济南人, 研究实习员, 硕士, 主要从事中药资源与质量控制的研究工作,(电话)18560228023(电子信箱)2896815226@qq.com; 通信作者, 王 萌(1980-), 女, 山东济南人, 副研究员, 在读博士研究生, 主要从事药食同源产品研发及理论研究工作,(电话)18663712080(电子信箱)15262698@qq.com。

玫瑰(*Rosa rugosa* Thunb.)是蔷薇科(Rosaceae)蔷薇属(*Rosa* L.)落叶丛生灌木<sup>[1]</sup>,是中国传统十大名花之一,种植历史悠久。玫瑰花是中医药理论体系中的一味传统中药,其主要功效是行气解郁,活血止痛。玫瑰花中富含挥发性活性成分,在食用、保健、美容等方面也被广泛应用<sup>[2-5]</sup>。玫瑰精油更是被称作“液体黄金”,价格昂贵,具有较高的经济开发价值<sup>[6]</sup>。玫瑰虽然种类繁多,全世界玫瑰种质约有200种,品种数量高达18 000个<sup>[7]</sup>,但只有少部分具有经济开发价值,如国外的大马士革玫瑰、千叶玫瑰、法国玫瑰等,国内的重瓣红玫瑰、苦水玫瑰、丰花玫瑰、紫枝玫瑰等。玫瑰质量与其挥发性成分的种类和含量密切相关,不同品种、不同开放状态的玫瑰中挥发性成分存在差异,这种差异可直接影响玫瑰原料、精油、花露等相关产品的质量。玫瑰花的气味能够反映挥发性成分的差异,是质量评价的重要标准。目前花香质量的评价主要靠传统经验丰富的人完成,但人体嗅觉受主观因素影响较大,结果存在较大差异,准确性较低。因此,寻求一种快速有效、准确度高、切实可行的方法对玫瑰花的气味进行辅助鉴别尤为必要。

气味指纹分析技术(俗称电子鼻技术)是一种新颖的分析、识别和检测复杂嗅味和挥发性成分的人工嗅觉装置,该技术采用气敏型传感器阵列模拟人的嗅觉器官采集样品的气味指纹信息,再用模式识别系统模拟人脑对传感器信号数据进行分析、处理和模式识别,得出有关样品气味的综合判断,具有类似动物鼻的功能<sup>[8-10]</sup>。与色谱仪、光谱仪等化学分析仪器不同的是,电子鼻得到的不是样品中某种或几种成分的定性和定量结果,而是挥发性成分整体信息的指纹数据,测量方法简单快捷、价格低廉。该技术在环境监测<sup>[11-13]</sup>、医药<sup>[14-16]</sup>、食品<sup>[17-19]</sup>等领域均得到了广泛应用,但运用电子鼻对不同品种玫瑰花<sup>[20,21]</sup>及花蕾的香气研究鲜有报道。

为了研究不同品种及不同开放状态的玫瑰气味差异,本研究采用电子鼻技术对14个主流品种的玫瑰花和8个主流品种的玫瑰花蕾进行检测,并对结果进行聚类分析、主成分分析、正交偏最小二乘法判别分析,从气味变化角度对不同品种玫瑰花和花蕾的挥发性成分进行分析,寻找差异性标志物,最后通过综合评价为玫瑰质量评价提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 仪器 ME204E型万分之一电子分析天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司);PEN3型电子

鼻(德国Airsense公司)。

1.1.2 试验材料 试验材料均于2023年5月9日采自山东省济南市平阴县,共采集玫瑰22个样品,包括14个品种的玫瑰花及其中8个品种的玫瑰花蕾。由于采摘时间较晚,部分玫瑰已全部开放没有花蕾,因此14个品种的玫瑰花中只有8个采集到花蕾。玫瑰品种信息如表1所示。

表1 玫瑰花和花蕾来源信息

样品编号	玫瑰品种	时期
S1	千叶玫瑰	花
S2	保加利亚红玫瑰	花
S3	香水玫瑰	花
S4	天鹅黄玫瑰	花
S5	重瓣红玫瑰	花
S6	丰花玫瑰	花
S7	保加利亚白玫瑰	花
S8	重瓣白玫瑰	花
S9	西湖一号玫瑰	花
S10	单瓣红玫瑰	花
S11	西湖二号玫瑰	花
S12	大马士革玫瑰	花
S13	苦水玫瑰	花
S14	和田玫瑰	花
S15	千叶玫瑰	花蕾
S16	保加利亚红玫瑰	花蕾
S17	香水玫瑰	花蕾
S18	天鹅黄玫瑰	花蕾
S19	重瓣红玫瑰	花蕾
S20	丰花玫瑰	花蕾
S21	保加利亚白玫瑰	花蕾
S22	重瓣白玫瑰	花蕾

## 1.2 方法

1.2.1 供试样品制备 共采集14个品种玫瑰花,8个品种玫瑰花蕾。称取新鲜玫瑰花和花蕾各1 g,3次重复,置于30 mL顶空瓶中,密封,室温静置20 min,待测。

1.2.2 试验条件 采样时间1 s/组,预采样时间5 s,清洗时间60 s,传感器归零时间5 s,进样器流速400 mL/min,检测时间120 s。该电子鼻包含10个金属氧化物传感器阵列,传感器阵列及性能描述见表2。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种玫瑰花气味的电子鼻分析

2.1.1 聚类分析 以玫瑰花10个传感器的数据为变量,采用SIMCA 14.1软件进行聚类分析,结果如图1所示,样品可聚为两大类,分别为I类(单瓣红玫瑰、西湖一号玫瑰、西湖二号玫瑰、重瓣红玫瑰、苦

表2 电子鼻传感器阵列

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分,苯类
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化合物灵敏
3	W3C	氨水,对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢气有选择性
5	W5C	烷烃芳香成分
6	W1S	对甲烷等短链烷烃灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇醚醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏,长链烷烃类

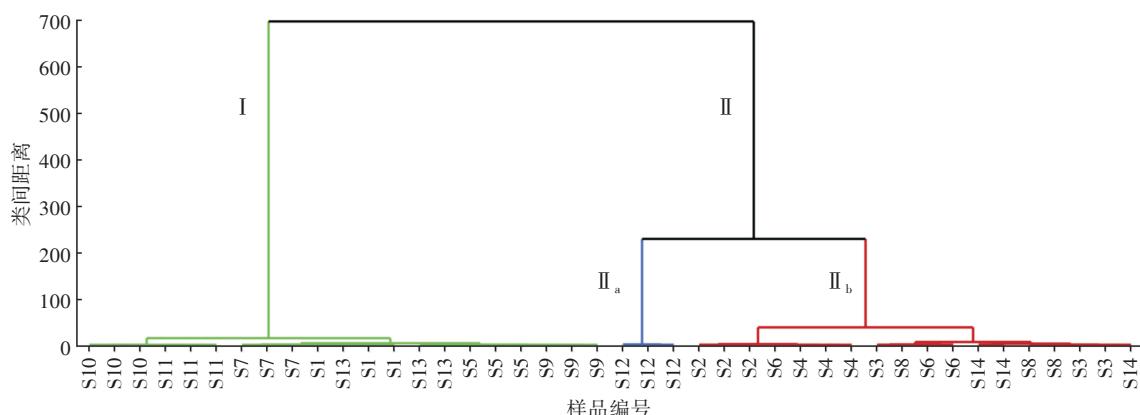


图 1 不同品种玫瑰花的聚类分析

间,为1组;其余玫瑰聚集成两部分,和田玫瑰、丰花玫瑰、重瓣白玫瑰、天鹅黄玫瑰、香水玫瑰、保加利亚红玫瑰分布在一起,为2组;单瓣红玫瑰、西湖一号、西湖二号、重瓣红玫瑰、苦水玫瑰、保加利亚白玫瑰、千叶玫瑰分布在一起,为3组;1组与2组分布在右边象限,3组分布在左边象限。表明不同品种玫瑰花之间存在较大差异,可分为3类,其中1组与2组的差异小于2组与3组的差异,与聚类分析结果基本一致。

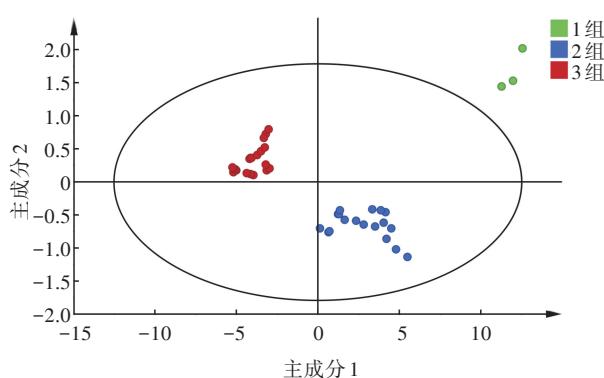


图2 不同品种玫瑰花的PCA分析

2.1.3 正交偏最小二乘法判别(OPLS-DA)分析  
根据聚类分析和PCA分析结果,将玫瑰花样品分为3组进行OPLS-DA分析,大马士革玫瑰为1组,和田

水玫瑰、保加利亚白玫瑰、千叶玫瑰)和Ⅱ类(和田玫瑰、丰花玫瑰、大马士革玫瑰、重瓣白玫瑰、天鹅黄玫瑰、香水玫瑰、保加利亚红玫瑰),Ⅱ类又可聚为Ⅱ<sub>a</sub>类(大马士革玫瑰)和Ⅱ<sub>b</sub>类(和田玫瑰、丰花玫瑰、重瓣白玫瑰、天鹅黄玫瑰、香水玫瑰、保加利亚红玫瑰)。结果表明,不同品种玫瑰花的挥发性成分之间存在较大差异,根据气味可将不同品种玫瑰花分为三大类。

2.1.2 主成分(PCA)分析 以玫瑰花10个传感器的数据为变量,导入SIMCA 14.1软件进行PCA分析,结果如图2所示,大马士革玫瑰超出95%置信区

玫瑰、丰花玫瑰、重瓣白玫瑰、天鹅黄玫瑰、香水玫瑰、保加利亚红玫瑰为2组,单瓣红玫瑰、西湖一号玫瑰、西湖二号玫瑰、重瓣红玫瑰、苦水玫瑰、保加利亚白玫瑰、千叶玫瑰为3组,结果如图3A所示,3组玫瑰花明显区分,其 $R^2X=0.989$ , $R^2Y=0.934$ , $Q^2=0.928>0.500$ ,模型解释度和预测能力均良好;如图3B所示,200次置换检验模型验证 $R^2=-0.041$ , $Q^2=-0.208$ , $Q^2$ 点的回归线与纵轴相交于原点以下,模型具有有效性;如图3C、图3D所示,根据VIP>1并结合载荷图离子加载值越大组间分离能力越强的特点,筛选出区分3组玫瑰的3种差异标志物,影响显著性排序为W1W>W5S>W2S。

2.1.4 数据分析 根据聚类分析、PCA 分析、OPLS-DA 分析结果可知,14 种玫瑰花可分为 3 组,组间差异标志物为 W1W、W5S、W2S,将 3 种差异性标志物进行独立样本  $t$  检验,结果如图 4 所示,3 种差异标志物的强度大小为 1 组 > 2 组 > 3 组,且均具有显著差异。

## 2.2 不同品种玫瑰花蕾气味的电子鼻分析

2.2.1 聚类分析 以玫瑰花蕾 10 个传感器的数据为变量,采用 SIMCA 14.1 软件进行聚类分析,结果如图 5 所示,样品可聚为两大类,分别为 I 类(保加利亚红玫瑰花蕾)和 II 类(丰花玫瑰花蕾、重瓣白玫

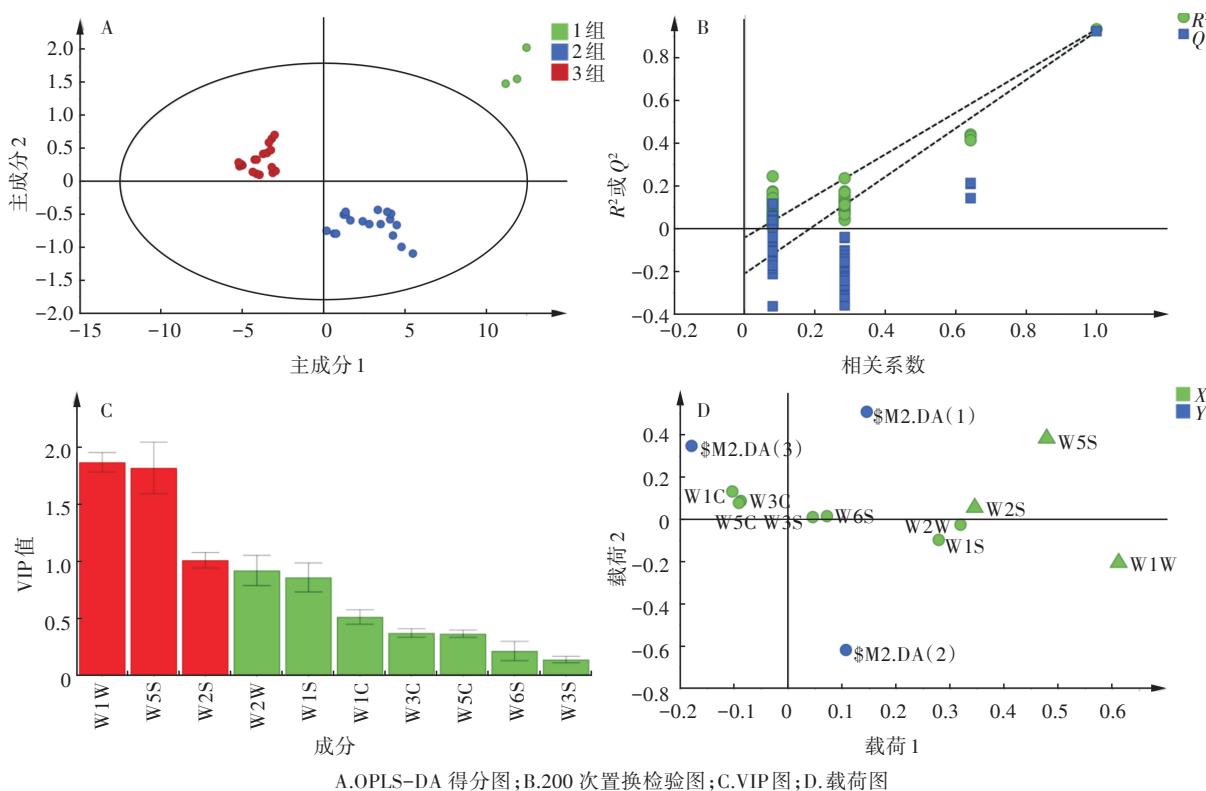


图3 不同品种玫瑰花的OPLS-DA分析

瑰花蕾、天鹅黄玫瑰花蕾、保加利亚白玫瑰花蕾、千叶玫瑰花蕾、香水玫瑰花蕾、重瓣红玫瑰花蕾), II类又可聚为  $\text{II}_a$ 类(丰花玫瑰花蕾)和  $\text{II}_b$ 类(重瓣白玫瑰花蕾、天鹅黄玫瑰花蕾、保加利亚白玫瑰花蕾、千叶玫瑰花蕾、香水玫瑰花蕾、重瓣红玫瑰花蕾)。

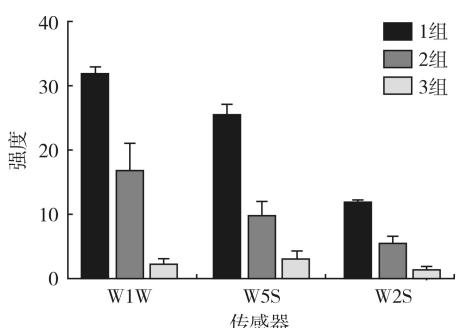


图4 不同品种玫瑰花差异标志物分析

**2.2.2 主成分(PCA)分析** 以玫瑰花蕾10个传感器的数据为变量,导入SIMCA 14.1软件进行PCA分析,结果如图6所示,保加利亚红玫瑰花蕾分布在一起为1组,重瓣白玫瑰花蕾、天鹅黄玫瑰花蕾、保加利亚白玫瑰花蕾、千叶玫瑰花蕾、香水玫瑰花蕾、重瓣红玫瑰花蕾分布在一起为2组,丰花玫瑰花蕾分布在一起为3组,2组与3组距离较近。表明不同品种玫瑰花蕾之间存在较大差异,可分为3类,其中2组与3组差异小于1组与2组差异,与聚类分析结果基本一致。

**2.2.3 正交偏最小二乘法判别(OPLS-DA)分析** 为进一步分析不同品种玫瑰花蕾之间的差异,将玫瑰花蕾10个传感器的数据进行OPLS-DA分析,根据聚类分析和PCA分析结果,将玫瑰花蕾样品分为

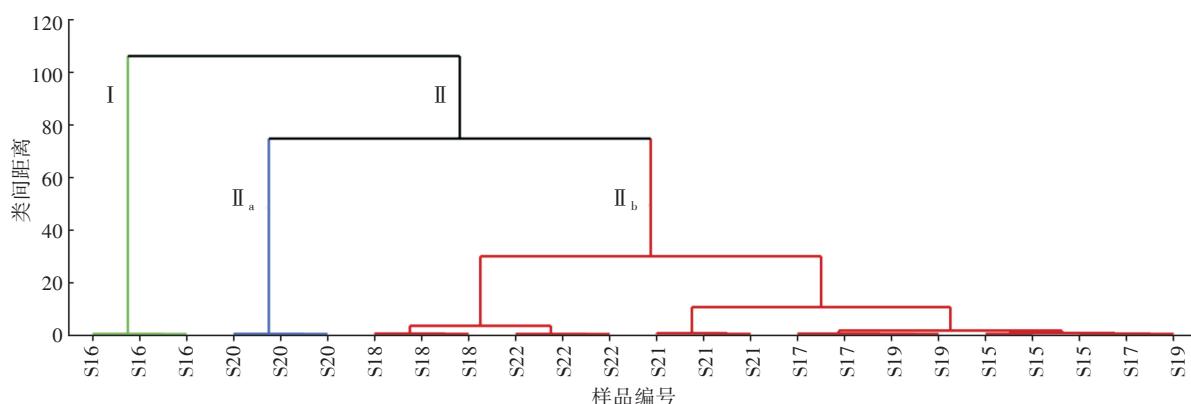


图5 不同品种玫瑰花蕾的聚类分析

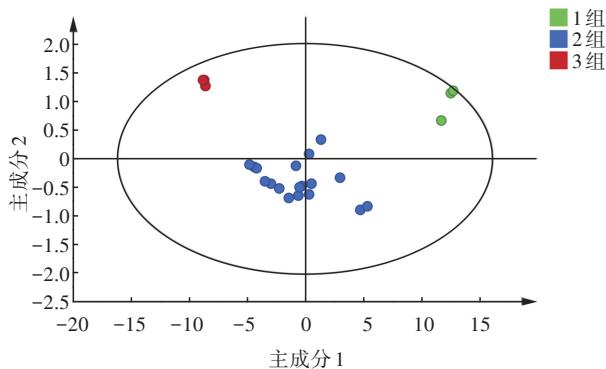


图6 不同品种玫瑰花蕾的PCA分析

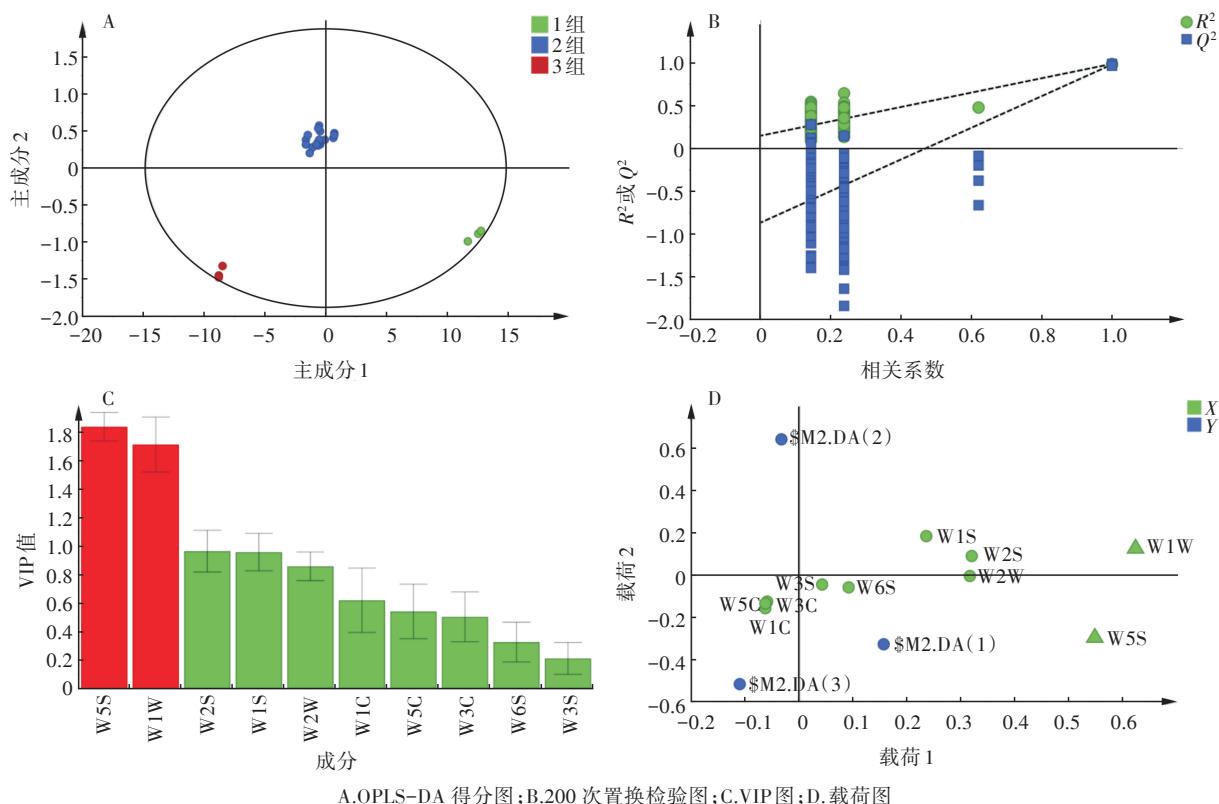


图7 不同品种玫瑰花蕾的OPLS-DA分析

瑰的2种差异标志物,影响显著性排序为W5S>W1W。

#### 2.2.4 数据分析

根据聚类分析、PCA分析、OPLS-DA分析结果可知,8种玫瑰花蕾可分为3组,组间差异标志物为W5S、W1W,将氮氧化合物、无水硫化物差异性标志物进行独立样本t检验,结果如图8所示,两种差异标志物的强度大小为1组>2组>3组,且均具有显著差异。这说明不同品种玫瑰花蕾的挥发性成分之间存在较大差异,根据气味可将不同品种玫瑰花蕾分为三大类。

### 2.3 不同品种玫瑰花与花蕾的差异分析

对8种玫瑰花及花蕾的差异标志物进行分析,发现不同品种玫瑰花与花蕾的挥发性成分存在差异,主要集中在W1W、W5S、W2S、W2W,结果如图9所示。其中重瓣红玫瑰花与花蕾差异标志物为

3组,保加利亚红玫瑰花蕾为1组,天鹅黄玫瑰花蕾、重瓣白玫瑰花蕾、保加利亚白玫瑰花蕾、重瓣红玫瑰花蕾、千叶玫瑰花蕾、香水玫瑰花蕾为2组,丰花玫瑰花蕾为3组,结果如图7A所示,3组玫瑰花蕾明显区分,其 $R^2X=1.000$ , $R^2Y=0.986$ , $Q^2=0.977>0.500$ ,模型解释度和预测能力均良好;如图7B所示,200次置换检验模型验证 $R^2=0.17$ , $Q^2=-0.894$ , $Q^2$ 点的回归线与纵轴相交于原点以下,模型具有有效性;如图7C、图7D所示,根据VIP>1并结合载荷图离子加载值越大组间分离能力越强的特点,筛选出区分3组玫

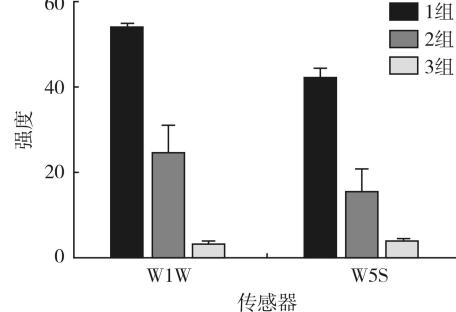


图8 不同品种玫瑰花蕾差异标志物分析

W1W、W5S、W2S、W1S;保加利亚白玫瑰、保加利亚红玫瑰、千叶玫瑰花与花蕾的差异标志物均为W1W、W5S、W2S、W2W;香水玫瑰、天鹅黄玫瑰花与花蕾的差异标志物均为W1W、W5S、W2S。以上6种

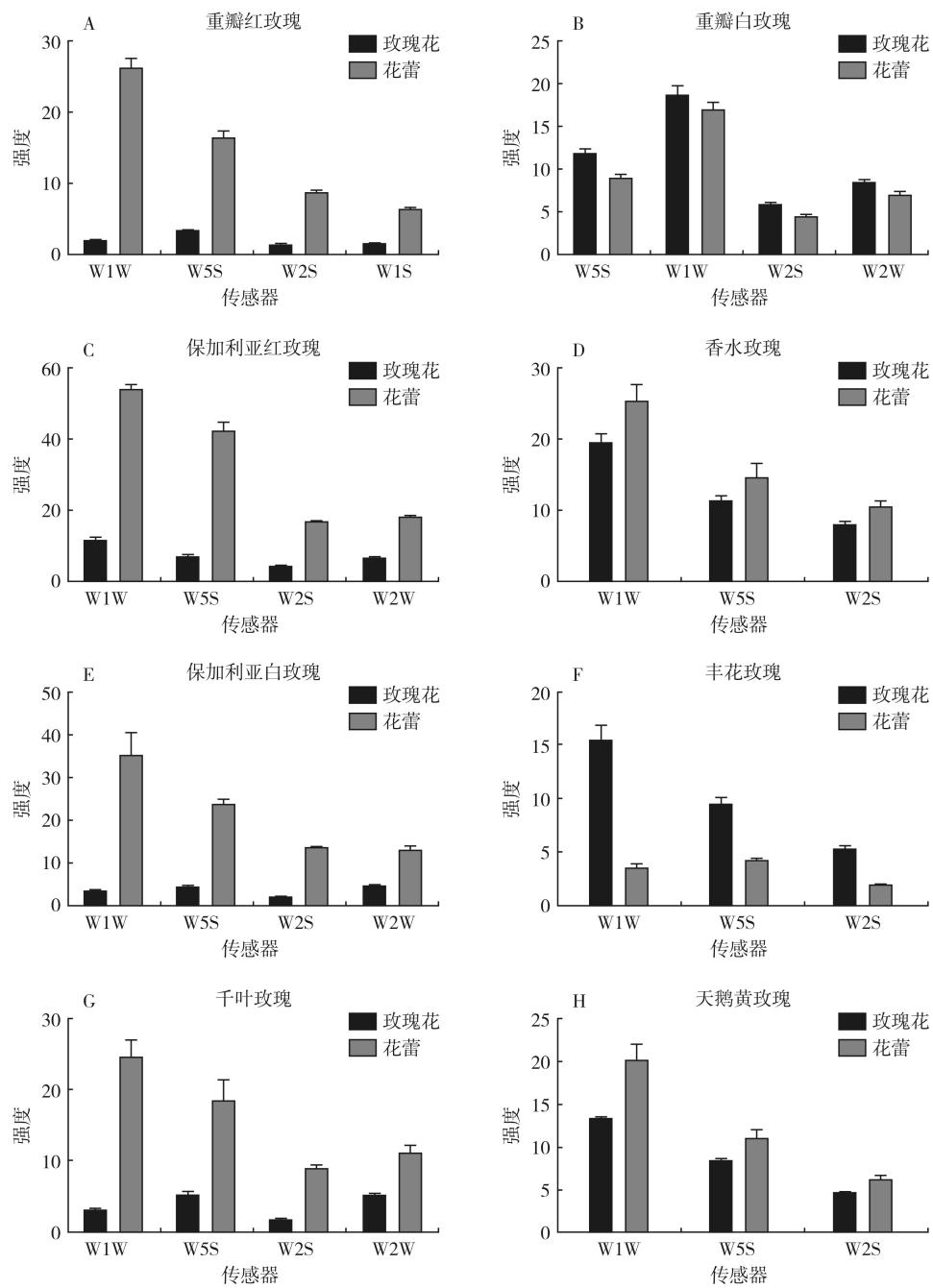


图9 8种玫瑰花与花蕾的差异标志物分析

玫瑰中花蕾差异性标志物的强度均高于玫瑰花。丰花玫瑰花与花蕾的差异标志物为W1W、W5S、W2S，重瓣白玫瑰花与花蕾的差异标志物为W5S、W1W、W2S、W2W，以上2种玫瑰中花朵的差异性标志物强度均高于花蕾。

玫瑰花与花蕾的差异标志物分析结果显示，重瓣红玫瑰、保加利亚红玫瑰、保加利亚白玫瑰、千叶玫瑰、天鹅黄玫瑰、香水玫瑰的花蕾中挥发性成分含量高于花，其中重瓣红玫瑰、保加利亚红玫瑰、保加利亚白玫瑰、千叶玫瑰的花蕾与花之间成分含量差异较大，其次是天鹅黄玫瑰、香水玫瑰。丰花玫瑰、重瓣白玫瑰的花中挥发性成分含量高于花蕾，其中

丰花玫瑰花与花蕾之间成分含量差异较大。

### 3 小结与讨论

本研究收集的14种玫瑰花及8种玫瑰花蕾样品，基本涵盖了目前市场流通的主流玫瑰品种。采用电子鼻气味技术对其挥发性成分的数据分析显示，不同品种的玫瑰花和花蕾的气味信息均存在差异，并可通过此项技术进行分组区分。结果表明，在14种玫瑰花中，传统油用玫瑰品种大马士革玫瑰的气味信息最为丰富。中国原产的主流品种重瓣红玫瑰、丰花玫瑰、苦水玫瑰花的挥发性成分的种类和含量较丰富且相似度高。此项技术对8种玫瑰花蕾也

可进行区分,其中保加利亚红玫瑰的气味信息最为丰富。此外,相同品种的玫瑰花和花蕾中挥发性成分存在显著差异,且多数品种呈花蕾中差异性物质强于花朵的趋势。

电子鼻技术作为一种便捷、快速、无污染的检测方法,具有客观性好、准确快速、方便经济的特点。本研究结果表明此项技术可以快速、便捷地分析不同品种的玫瑰花和花蕾气味信息,并对其进行区分,该方法可以作为玫瑰加工业中辅助香气评定以及质量评价的一种重要技术手段。此外,此技术可以应用于对不同品种玫瑰花从花蕾到花朵的开放全过程气味成分的变化进行跟踪检测,对不同香气成分在植物生长过程中的变化规律进行探索分析。此项技术在玫瑰相关产业中具有较大的使用潜力,更丰富的应用场景有待进一步研究开发。

#### 参考文献:

- [1] 李 雪,闫莎莎,魏 嘉,等.不同品种玫瑰的成分含量及产品研发进展[J].西北民族大学学报(自然科学版),2022,43(4):62-69.
- [2] 王 辉.基于遗传多样性的中国油用玫瑰种质资源分类与评价[D].上海:上海交通大学,2013.
- [3] 郑丽萍.玫瑰花风味杏果糕工艺研究及香气成分分析[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2023.
- [4] 朱婧源.玫瑰花茶[J].河南农业,2022(16):65.
- [5] 田谊红,冯雅玲,王馨怡,等.玫瑰花化学成分质量评价及食用药用的研究进展[J].质量安全与检验检测,2022,32(2):43-46,68.
- [6] 李 慧,白红彤.精油玫瑰资源[J].生命世界,2020(8):44-45,43.
- [7] 王 辉,姚 雷.油用玫瑰国内外发展现状和研究进展[J].香料香精化妆品,2012(2):47-51.
- [8] 刘涛涛,代 悅,于 森,等.基于智能感官分析技术的九蒸九晒大黄饮片气味表征[J].中国实验方剂学杂志,2022,28(20):116-121.
- [9] WANG T S, CHAO Y P, YANG F Z, et al. An E-nose and convolution neural network based recognition method for processed products of Crataegi Fructus [J]. Combinatorial chemistry & high throughput screening, 2021, 24(7):921-932.
- [10] 李 涵,王艳丽,范雪花,等.电子鼻技术应用于白及及其近似饮片快速辨识的可行性分析[J].中国实验方剂学杂志,2023,29(13):157-165.
- [11] 幸小卜.社区厨余垃圾存放阶段恶臭释放特征及环境影响[D].重庆:重庆大学,2022.
- [12] 呼佳宁,张钢锋,林子吟,等.我国恶臭污染防治研究进展[J].应用化工,2023,52(8):2452-2457,2463.
- [13] 蒋森涛,段晓亮,张 东,等.基于GC-MS和快速气相电子鼻对我国东北地区代表性粳米香气组分分析[J].中国粮油学报:1-13 [2024-02-03]. <http://doi.org/10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.000630>.
- [14] 冯文豪,田亮玉,施钧瀚,等.电子鼻技术应用于川贝母真伪及规格辨识的可行性分析[J].中国实验方剂学杂志,2021,27(13):108-118.
- [15] 龚 伟,任 聰,马姗姗,等.基于电子鼻技术的不同品质鹿茸饮片气味特征分析[J].中国现代中药,2023,25(8):1707-1711.
- [16] 赵秋龙,江群艳,严 辉,等.基于超快速气相电子鼻对不同产地枸杞子快速识别及气味差异物质研究[J].南京中医药大学学报,2023,39(6):513-522.
- [17] 李晶晶,胡颖菲,丁 晓,等.近五年电子鼻技术在食品安全的应用进展[J].中国食品卫生杂志,2023,33(5):789-794.
- [18] 徐 泽.电子鼻在果蔬及肉类检测中的应用进展[J].食品安全导刊,2023(16):174-176.
- [19] 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.
- [20] 周 围,王 波,刘倩倩,等.基于电子鼻和GC-MS对不同品种玫瑰“活体”香气的研究[J].香料香精化妆品,2017(2):1-6,72.
- [21] 赵彩芳,许利群,朱燕琳,等.不同品种与贮藏期间玫瑰花香味的电子鼻分析[J].浙江林业科技,2013,33(4):49-53.

(上接第76页)

- [33] DOAIGEY A R, AL-WHAIBI M H, SIDDIQUI M H, et al. Effect of GA3 and 2,4-D foliar application on the anatomy of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedling leaf[J]. Saudi journal of biological sciences, 2013, 20(2):141-147.
- [34] WEN T, DONG L J, WANG L, et al. Changes in root architecture and endogenous hormone levels in two Malus rootstocks under alkali stress[J]. Scientia horticulturae, 2018, 235:198-204.
- [35] ZHANG Y J, LI A, LIU X Q, et al. Changes in the morphology of the bud meristem and the levels of endogenous hormones after low-temperature treatment of different Phalaenopsis cultivars[J]. South African journal of botany, 2019, 125:499-504.
- [36] LI Q, YANG A, ZHANG W H. Higher endogenous bioactive gibberellins and  $\alpha$ -amylase activity confer greater tolerance of rice seed germination to saline-alkaline stress [J]. Environmental and experimental botany, 2019, 162:357-363.
- [37] NAMBARA E, MARION-POLL A. ABA action and interactions in seeds[J]. Trends in plant science, 2003, 8:213-217.
- [38] NOOR A, ZAIF K, Amjad M, et al. Synthetic auxins concentration and application time modulates seed yield and quality of carrot by altering the umbel order [J]. Scientia horticulturae, 2020, 262:109066.
- [39] 廖文燕.金钱松种子贮藏过程中的生理生化变化[D].南京:南京林业大学,2011.
- [40] 杨立学,王海南,张 琳,等.低温层积过程中紫椴种子内源激素含量的变化[J].经济林研究,2012,30(2):15-18.
- [41] 李建军,连笑雅,王 兰.忍冬花蕾延迟开花与内源激素调控研究[J].园艺学报,2019,46(7):1399-1408.
- [42] 苏海兰,周先治,李 希,等.七叶一枝花种子萌发不同阶段贮藏物质及淀粉酶活性变化[J].福建农业学报,2017,32(10):1145-1149.
- [43] 浦 梅,孙永玉,高成杰,等.滇重楼种子内源激素含量与种胚长度和萌发的关系[J].林业科学,2016, 29(2):268-273.
- [44] 张雁明.矮金莲花种子萌发的内源激素调控及其环境响应规律[D].兰州:兰州大学,2018.
- [45] 沈 超.二乔玉兰种子萌发特性及促萌因素解析[D].南京:南京林业大学,2013.