

电子鼻和电子舌技术在五倍子蜂蜜风味识别中的应用

邓梦青, 袁扬, 赵恬, 王胤晨, 张定红, 张锦华*

(贵州省畜牧兽医研究所, 贵州贵阳 550005)

摘要: 为实现不同产地五倍子蜂蜜的快速识别, 采用德国 AIRSENSE 公司的 PEN3 型电子鼻系统和日本 INSENT 公司的味觉分析系统对贵州 12 个不同地区五倍子蜂蜜进行检测, 通过主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)、线性判别分析 (Linear Discriminant Analysis, LDA)、传感器区分贡献率 (Loadings) 分析等, 从气味和滋味方面对不同产地五倍子蜂蜜进行识别。不同产地的五倍子蜂蜜在电子鼻 PCA 分析、LDA 分析中第一和第二主成分贡献率之和分别为 99.90%、87.05%, Loadings 分析发现气味差异主要来自于无机硫化物类、氮氧化物类、有机硫化物类、醇醚醛酮类等; 在电子舌 PCA 分析中第一和第二主成分贡献率之和为 99.35%, 通过雷达图离散程度可知, 不同地区五倍子蜂蜜在酸味、甜味、苦味上的差异较大。电子鼻和电子舌技术均能区分不同产地的五倍子蜂蜜, 可用于今后蜂蜜的鉴别分析中。

关键词: 五倍子蜂蜜; 电子鼻; 电子舌; 主成分分析 (PCA)

文章编号: 1673-9078(2023)09-270-278

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.9.1519

Application of Electronic Nose and Electronic Tongue Technology in Flavor Identification of *Rhus chinensis* Honey

DENG Mengqing, YUAN Yang, ZHAO Tian, WANG Yincheng, ZHANG Dinghong, ZHANG Jinhua*

(Guizhou Animal Husbandry and Veterinary Research Institute, Guiyang 550005, China)

Abstract: In order to realize rapid identification of *Rhus chinensis* honey from different regions, the *Rhus chinensis* honey from 12 different regions in Guizhou province was tested by the PEN3 electronic nose system of AIRSENSE in Germany and the taste analysis system of INSENT in Japan. Principal component analysis (PCA), linear discriminant analysis (LDA) and Loadings analysis were used to identify *Rhus chinensis* honey from different producing areas in terms of smell and taste. In the electronic nose PCA analysis and LDA analysis, the contribution rates of the first and second main components of *Rhus chinensis* honey from different regions were 99.90% and 87.05%, respectively. Loadings analysis found that the odor differences were mainly from inorganic sulfides, nitrogen oxides, organic sulfides, alcohols, ethers, aldehydes, ketones, etc. The sum of contribution rates of the first and second principal components was 99.35% in electronic tongue PCA analysis. According to the dispersion degree of radar map, there were significant differences in sour, sweet and bitter taste of *Rhus chinensis* honey in different regions. Both the electronic nose and the electronic tongue technology can distinguish *Rhus chinensis* honey from different origin, which can be used in the identification analysis of honey in the future.

Key words: *Rhus chinensis* honey; electronic nose; electronic tongue; principal component analysis (PCA)

引文格式:

邓梦青,袁扬,赵恬,等.电子鼻和电子舌技术在五倍子蜂蜜风味识别中的应用[J].现代食品科技,2023,39(9):270-278

DENG Mengqing, YUAN Yang, ZHAO Tian, et al. Application of electronic nose and electronic tongue technology in flavor identification of *Rhus chinensis* honey [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(9): 270-278

收稿日期: 2022-11-29

基金项目: 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑[2020]1Y110 号; 黔科合支撑[2019]2290 号; 黔科合支撑[2023]一般 018; 黔科合成果[2022]一般 006); 国家重点研发计划项目 (2022YFD1601703); 观山湖区科技计划项目 (观科合同[2022]04 号)

作者简介: 邓梦青 (1994-), 女, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 蜂学及蜂产品加工, E-mail: 959836534@qq.com

通讯作者: 张锦华 (1973-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 特种经济动物, E-mail: 420506337@qq.com

五倍子树, 又称盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill.), 漆树科植物, 是重要的蜜源植物。在我国, 该树产量占世界产量的 90%以上, 产地主要集中在贵州、四川、湖北等省份^[1-4], 开花时间为八月至九月份。蜜蜂采集五倍子花蜜, 酿造出的五倍子蜂蜜为独具特色的中草药蜜, 然而蜂蜜的品质与蜜源植物、产地环境、气候等密切相关, 不同产地的蜂蜜在品质和风味上存在一定差异。目前国内暂无对五倍子蜂蜜气味和滋味的鉴别研究^[5], 行业内多以看颜色、闻气味等较为主观的

感官评价方法来鉴别蜂蜜种类、判别真假等,有失客观性、准确性和重复性。电子鼻技术是一种根据仿生学原理模拟人类嗅觉系统的人工智能电子仪器^[6,7],能够识别简单与复杂的气味,检测样本整体信息后通过主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)、线性判别分析(Linear Discriminant Analysis, LDA)、传感器区分贡献率(Loadings)分析对数据进行解析,能通过挥发性气味识别不同物质。近年来电子鼻技术主要应用于酒类、制药、食品等领域^[8-10],并在风味分析^[11,12]、掺假检测^[13,14]、种类鉴别^[15,16]等方面取得了一定进展。

电子鼻的应用能够克服人为主观评价、重复性差等问题。电子舌技术,是一种能够快速检测液体样本信息的仪器^[17,18],能够模拟人的味觉感受系统,当样本与人工脂膜传感器相互作用时发生的膜电势变化,可以反映样本的滋味特点,实现对不同蜂蜜之间味道的识别^[19,20]。滋味在食品开发中具有重要作用,就食品的接受度和依从性而言,口味是决定市场成功与否的主要因素之一^[21],通过味觉分析装置能够准确识别食品滋味,为筛选或开发出更易于接受的食品节约成本。

因此,本文从五倍子蜂蜜的气味、滋味方面进行检测分析,运用电子鼻、电子舌技术对12个不同地区的五倍子蜂蜜气味进行识别,以期建立快速、可靠的方法来鉴别不同地区五倍子蜂蜜,为蜂蜜的种类鉴别及蜂蜜产地溯源提供参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料与设备

1.1.1 材料

五倍子蜂蜜收集于贵州省12个不同地区的蜂场,各个蜂场以五倍子为主要蜜源且无其他大量蜜源植物开花的天然山林;所有样品均来自一线蜂农,为自然

成熟的封盖蜜。样品采集后立即保存于4℃冰箱,直至检测。具体信息见表1。

表1 五倍子蜂蜜样品信息

Table 1 Information of *Rhus chinensis* honey sample

样品编号	蜂蜜名称	产地	生产日期
R1	五倍子蜂蜜	台江县	2021年9月
R2	五倍子蜂蜜	开阳县	2021年9月
R3	五倍子蜂蜜	桐梓县	2021年9月
R4	五倍子蜂蜜	福泉市	2021年9月
R5	五倍子蜂蜜	习水县	2021年9月
R6	五倍子蜂蜜	正安县	2021年9月
R7	五倍子蜂蜜	息烽县	2021年9月
R8	五倍子蜂蜜	凤冈县	2021年9月
R9	五倍子蜂蜜	纳雍县	2021年11月
R10	五倍子蜂蜜	息烽县	2021年6月
R11	五倍子蜂蜜	松桃县	2021年9月
R12	五倍子蜂蜜	贵阳市	2021年9月

1.1.2 主要设备

德国AIRSENSE公司的电子鼻系统(PEN3),传感器组成见表2;日本INSENT公司的味觉分析系统(TS-5000Z),该系统能采集到的味道见表3。

表2 电子鼻传感器

Table 2 Electronic nose sensor

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香成分,苯类灵敏
2	W5S	对氮氧化合物灵敏
3	W3C	对氨类,芳香成分灵敏
4	W6S	对氢化物有选择性
5	W5C	对烷烃芳香成分灵敏
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	对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃类灵敏

表3 电子舌传感器

Table 3 Electronic tongue sensor

传感器名称	可评价的味道	
	基本味(相对值)	回味(CPA)值
鲜味传感器(AAE)	鲜味(如氨基酸等物质引起)	鲜味丰富度(可持续感知的鲜味)
咸味传感器(CT0)	咸味(如食盐等无机盐引起)	无
酸味传感器(CA0)	酸味(如醋酸、柠檬酸等引起)	无
甜味传感器(GL1)	甜味(糖或糖醇产生的甜味)	无
苦味传感器(C00)	苦味(低浓度下被感知为丰富性)	苦味回味(如咖啡等食品的苦味)
涩味传感器(AE1)	涩味(低浓度下感知为刺激性回味)	涩味回味(如红酒等呈现的涩味)

1.2 方法

1.2.1 感官评价

参照食品安全国家标准《蜂蜜》(GB 14963-2011)^[22]和《进出口蜂蜜检验规程》(SN/T 0852-2012)^[23]中的方法对蜂蜜样品进行感官评价。

1.2.2 电子鼻技术

分别称取 2 g 蜂蜜至 100 mL 烧杯中,用双层保鲜膜将其密封后于室温下静置 30 min,再将电子鼻进样针头插入样品中进行测定。电子鼻检测参数设置:采集蜂蜜样品的时间为 1 s/组;味觉传感器自清洗时间为 80 s,归零时间为 5 s;蜂蜜样品准备时间为 5 s;进样流量为 400 mL/min;分析时间为 80 s。每个蜂蜜样品重复测定 3 次。

1.2.3 电子舌技术

准确称取 15 g 蜂蜜置于 300 mL 烧杯中,加入 85 g 温度为 40 ℃的纯水。使用磁力搅拌器搅拌 10 min 冷却至室温。加入 50 g 的基准液(使最终稀释后得到的样品溶液中,蜂蜜经 10 倍稀释,基准液占比为 1/3),用玻璃棒充分搅拌,混合均匀后的溶液,即为待测样品溶液。 V_r 表示基准电势,测量的是参比溶液, V_s 表示蜂蜜样品电势, V_r' 表示用参比溶液清洗蜂蜜样品残留后的电势, V_s-V_r 值可用于检测酸、甜、苦、鲜、咸味; $V_r'-V_r$ 值可用于检测苦、涩、鲜味的回味。每个蜂

蜜样品进行 3 次重复。

1.2.4 数据分析

电子鼻原始数据用其系统自带的软件 Winmuster (Version 1.6.2) 进行 PCA、LDA、Loadings 分析;电子舌原始数据用其系统自带的软件 Taste sensing system TS-5000Z analysis Application (Version 1.7.0) 进行 PCA 分析、Excel 进行雷达图分析。

2 结果与讨论

2.1 感官评价结果与分析

不同地区五倍子蜂蜜色泽上除R6为深色、R10颜色为浅琥珀色外,均为琥珀色;滋味上除R2、R4地区五倍子蜂蜜酸味较重,R10、R11地区五倍子蜂蜜无酸味外,普遍入口微酸、回味甘甜圆润;气味上均有五倍子特有的芳香味,R6地区蜂蜜明显比其他地区花香味浓郁,R1、R5、R9地区蜂蜜花香味较浓,而R10地区香气较淡;常温时均为粘稠流体状,低温下易结晶,呈细腻的沙粒状。正常视力下均无可见幼虫、蜡屑等其他杂质(表4)。从色泽、滋味、气味、状态等感官评价中,能大致对五倍子蜂蜜进行区分,但对样品间的差异大小并未十分清晰,无法精准比较和分类。利用现代电子仪器设备对蜂蜜滋味和气味进行数字化、可视化对于蜂蜜品种的鉴定区分、溯源等具有重要作用。

表 4 不同地区五倍子蜂蜜样品感官评价结果

Table 4 Sensory evaluation results of <i>Rhus chinensis</i> honey samples from different regions				
样品	感官指标			
	色泽	滋味、气味	状态	杂质
R1	琥珀色	微酸、甜润; 芳香味较浓	常温下呈粘稠流体状, 低温下结晶呈细腻的沙粒状	无杂质; 色泽均一通透
R2	琥珀色	酸味较重、甘甜; 芳香味		
R3	琥珀色	微酸、甘甜; 芳香味		
R4	琥珀色	酸味较重、甘甜; 芳香味		
R5	琥珀色	微酸、甘甜; 芳香味较浓		
R6	深色	微酸、甘甜; 芳香味浓郁		
R7	琥珀色	微酸、甘甜; 芳香味		
R8	琥珀色	微酸、甘甜; 芳香味		
R9	浅琥珀色	微酸、甘甜; 芳香味较浓		
R10	琥珀色	无酸味、甘甜; 芳香味较淡		
R11	琥珀色	无酸味、甜润; 芳香味		
R12	琥珀色	微酸、甘甜; 芳香味		

2.2 电子鼻测试结果与分析

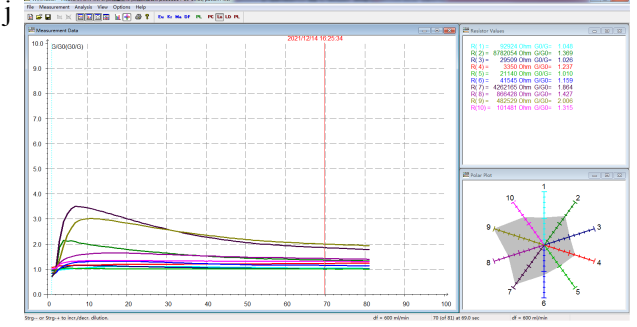
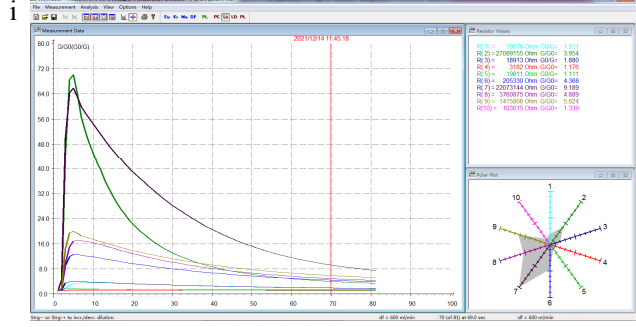
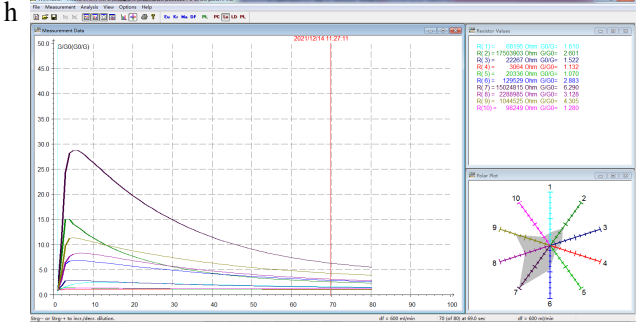
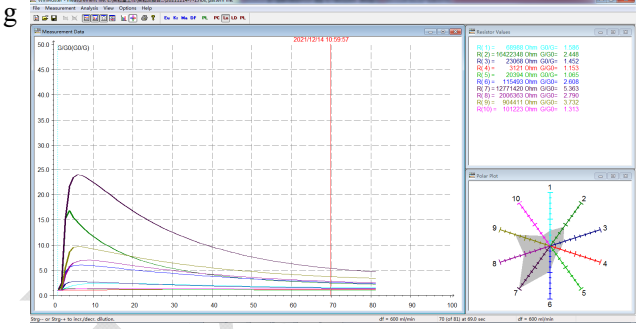
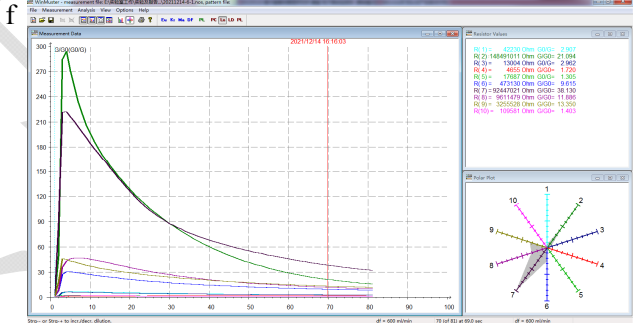
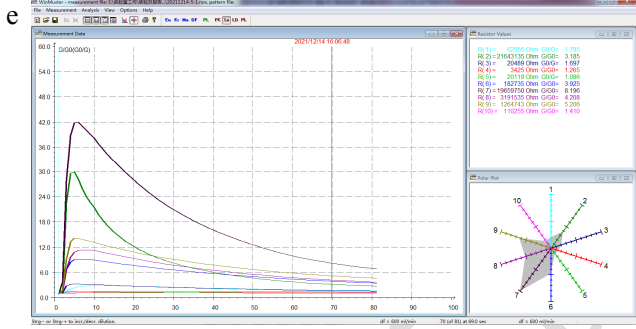
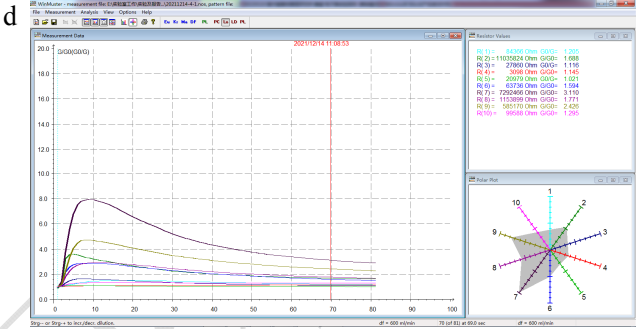
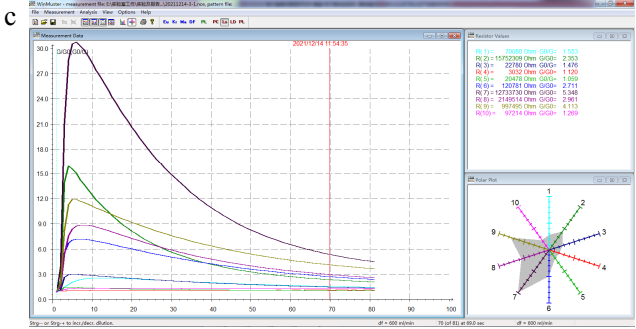
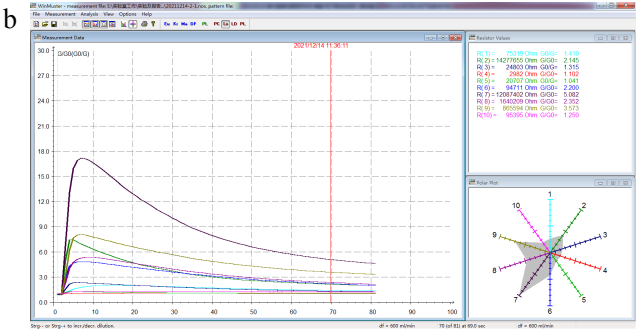
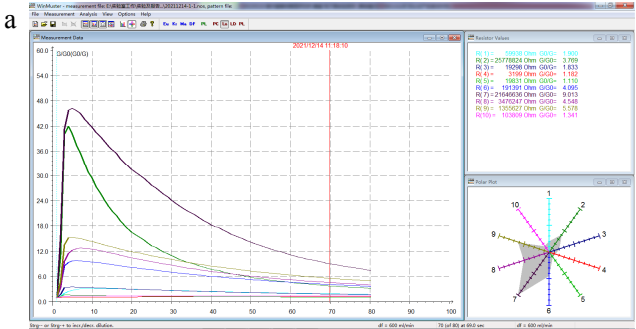
2.2.1 电子鼻对不同地区五倍子蜂蜜的信号响应

12个地区五倍子蜂蜜在电子鼻系统中的响应结果如图1所示。从原始信号可以看出电子鼻对不同地区的

五倍子蜂蜜有明显的应答。前10 s时响应值较高是因为蜂蜜在密封过程中形成了较高的顶空浓度,达到峰值后,逐渐趋于平稳。从图中可以看出,R6地区五倍子蜂蜜气味最浓郁,前10 s时G/G0 (G0/G) 值最高接近 300.00; R9、R1、R5、R3地区五倍子蜂蜜气味较浓,

响应值在30.00~70.00之间; R4、R11、R10地区的蜂蜜
气味较弱, 响应值在10.00以内。在70s左右响应值趋于
稳定时, 除R6响应值最高接近40.00外, 其余地区均低

于10.00, 不同地区的同种蜂蜜在气味表现上具有一定的
差异。



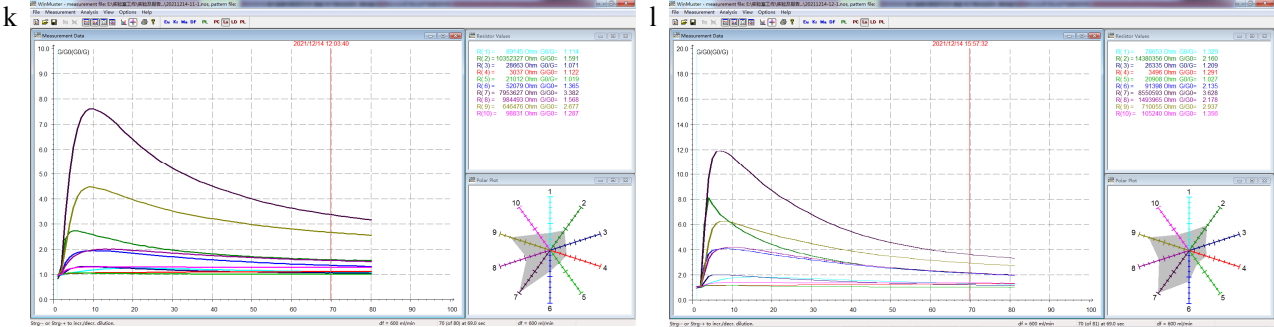


图1 电子鼻对12个地区五倍子蜂蜜的信号响应情况

Fig.1 Signal response of electronic nose to *Rhus chinensis* honey from 12 regions

注：图 a-l 分别为 R1-R12 地区五倍子蜂蜜在电子鼻中的信号响应值。每图左边为整个测试过程中传感器的响应值曲线，右上为 69 s 时传感器的响应值，右下为 69 s 时传感器响应值的雷达图。

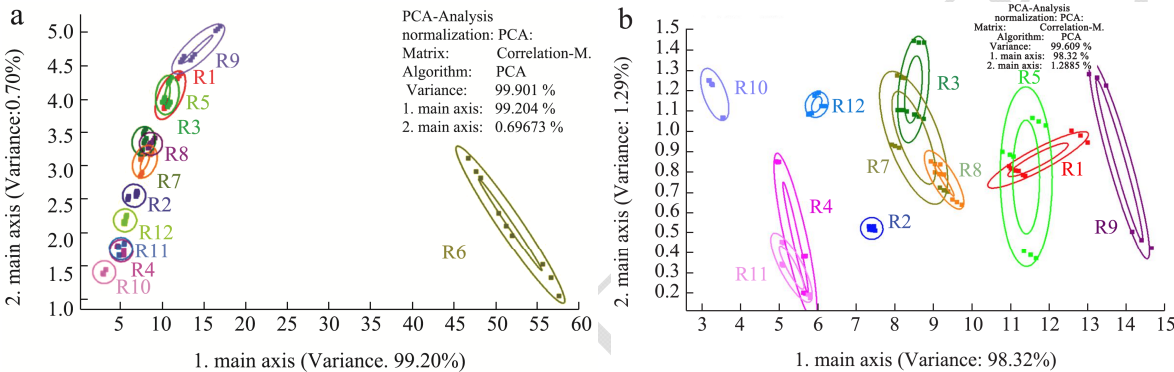


图 2 不同地区五倍子蜂蜜样品的 PCA 主成分分析及贡献率表

Fig.2 PCA principal component analysis and contribution rate table of *Rhus chinensis* honey samples from different regions

注：图 a 为 12 个地区五倍子蜂蜜主成分分析及贡献率表；图 b 为除去 R6 后，11 个地区五倍子蜂蜜的主成分分析及贡献率表。

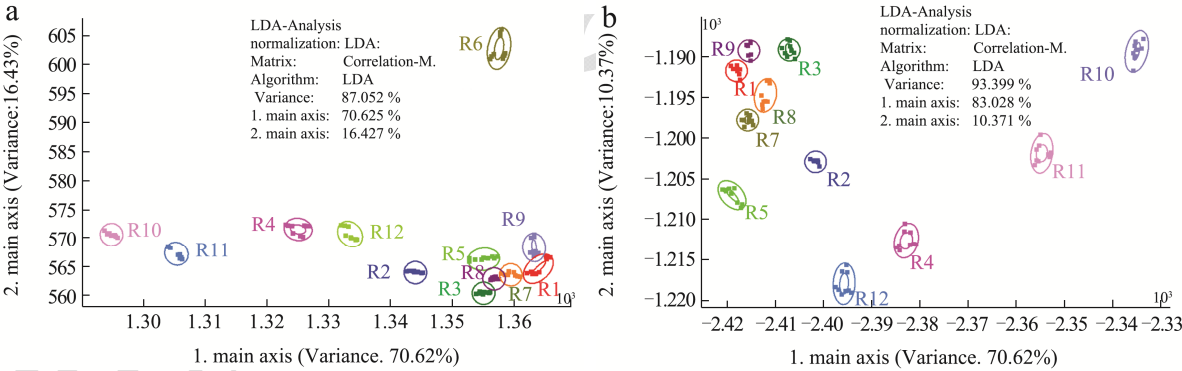


图 3 不同地区五倍子蜂蜜的 LDA 线性判别分析及贡献率表

Fig.3 LDA linear discriminant analysis and contribution rate table of *Rhus chinensis* honey in different regions

注：图 a 为 12 个地区五倍子蜂蜜 LDA 线性判别分析及贡献率表；图 b 为除去 R6 地区后，11 个地区五倍子蜂蜜 LDA 线性判别分析及贡献率表。

2.2.2 不同地区五倍子蜂蜜气味上的差异比较

由于不同地区的五倍子蜂蜜风味不一致，为更好的分析其中的差异，采集 70 s~72 s 的特征响应值，对样品进行 PCA、LDA、Loadings 分析。

2.2.2.1 PCA 主成分分析

从图 2 可以看出，第一和第二主成分贡献率之和达到 99.00% 以上，说明这两种主成分能够涵盖五倍子蜂蜜样品大部分的原始数据信息。第一主成分和第二

主成分贡献率分别为 99.20%、0.70%，去掉 R6 地区后分别为 98.32%、1.29%。可见，不同地区五倍子蜂蜜样品之间的差异主要表现在第一主成分上。从样本在图中的分布可见 12 个蜂蜜样品在气味上差异明显，结合前面传感器的响应情况可知，其中 R6 地区的气味最强，与其他样品间距较大，能够被很好的区分（图 2a）。将 R6 去掉后，其余 11 个地区的五倍子蜂蜜样品气味上的差异在 PCA 中表现的更为明显，可以

看出 R4、R11、R3、R7、R8、R1、R5 地区部分重叠, 区分度较低, 可能是以上地区五倍子蜂蜜风味较相似; R10、R12、R2、R9 与其他地区互不重叠, 能得到较好的区分(图 2b)。

2.2.2.2 LDA 线性判别分析

LDA 线性判别分析中两个主成分的贡献率达到 85.00%以上, 这两个主成分基本上代表了样品的原始数据信息。缩小组内的差异后 12 个蜂蜜样品之间的差异更为明显, 其中 R6 地区依然与其他样品的差异明显。将 R6 地区去掉后, 11 个不同地区五倍子蜂蜜样品之间均得到了明显的区分。说明不同地区的五倍子蜂蜜能被电子鼻区分开。

2.2.2.3 Loadings 分析

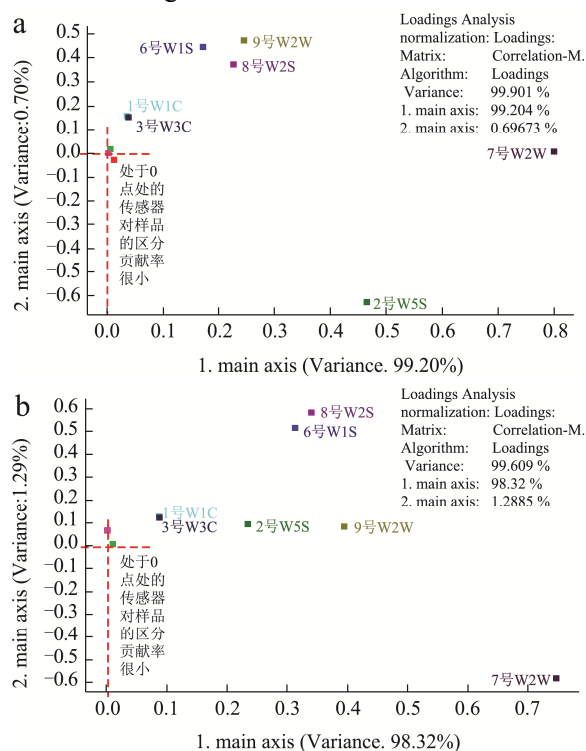


图4 不同地区五倍子蜂蜜传感器区分贡献率分析图

Fig.4 Analysis of contribution rate of *Rhus chinensis* honey sensor in different regions

注: (a) 为 12 个地区五倍子蜂蜜传感器区分贡献率分析图; (b) 为除去 R6 后, 11 个地区五倍子蜂蜜传感器区分贡献率分析图。

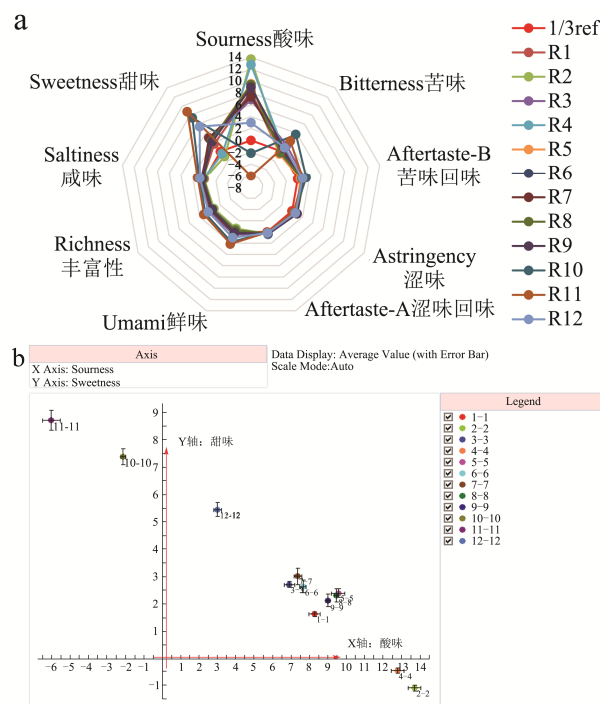
Loadings 与 PCA 分析法基于同一种算法, 但不同的是, PCA 分析法的研究对象为样品, 而 Loadings 分析法的研究对象为传感器, 通过分析可以考察在检测过程中电子鼻主要通过哪类气体(传感器)来区分不同地区的五倍子蜂蜜样品。从图 4 可见, 对第一主成分贡献最大的为 7 号传感器 W1W (对无机硫类物质响应敏感), 其次为 2 号传感器 W5S (对氮氧化合

物敏感), 9 号传感器 W2W (芳香成分, 对有机硫化物敏感) 对第二主成分贡献最大。将 R6 地区去掉后, 第一主成分贡献最大的同样为 7 号传感器 W1W, 而对第二主成分贡献最大的为 8 号传感器 W2S (对醇醚醛酮类灵敏)。说明电子鼻可以根据不同地区五倍子蜂蜜不同的气味特点将其区分, 且可以看出不同地区的五倍子蜂蜜气味上的差异主要集中在 7、2、9、8 这些传感器对应的气味成分上。

2.3 电子舌测试结果与分析

2.3.1 电子舌对不同地区五倍子蜂蜜的味觉响应值

从雷达图(图5a)可见, 不同地区的五倍子蜂蜜在酸味、甜味、苦味上差异较大。通过味觉分析比较发现不同地区五倍子蜂蜜的酸味和甜味具有一定的规律性, 比较可见酸味较大的样品其甜味则较小(图5b), 如其中R2、R4地区蜂蜜的酸味较强, 甜味小, 样品R10、R11和R12三个地区蜂蜜的甜味明显但酸味则相对较小。R10、R11和R12三个地区的五倍子蜂蜜咸味、鲜味和丰富性较强, 而R1~R9地区蜂蜜的咸味、鲜味和丰富性的数值非常接近, 差值均在1个刻度以下(图5c)。苦、涩味和苦味回味不是很大, 苦味值在-1.00~1.00之间, 涩味和涩味回味均在0.00~1.00之间, 样品间的差异在1个刻度以下, 其中R3、R11和R10的蜂蜜苦味值最为突出, 且R10的苦味和苦味回味均最大(图5d)。说明不同地区的同种蜂蜜滋味会因产地环境条件的不同而存在差异。



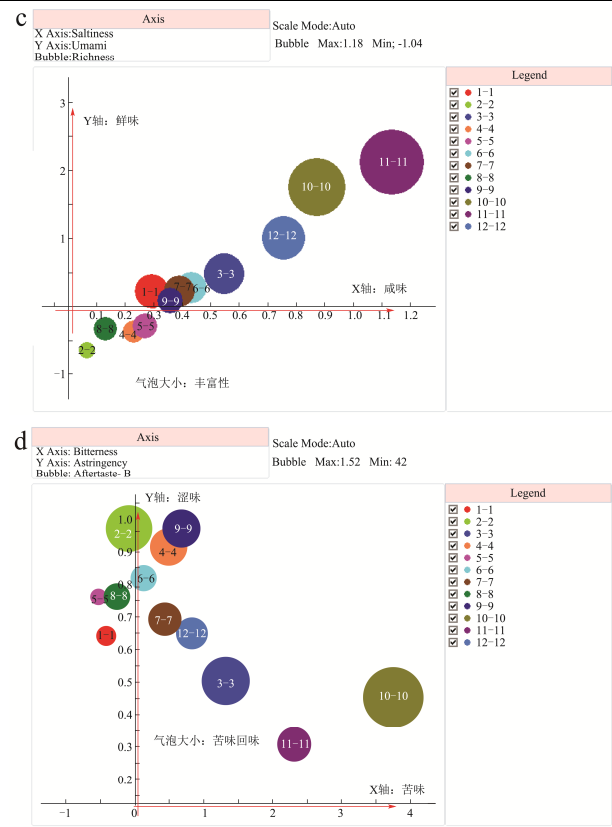


图5 五倍子蜂蜜雷达图及味觉分析图

Fig.5 Radar and taste analysis of *Rhus chinensis* honey

注：（a）为以RefSol 参比溶液为基准的五倍子蜂蜜雷达图；（b）为五倍子蜂蜜酸味和甜味散点图；（c）为五倍子蜂蜜鲜味、咸味和丰富性气泡图；（d）为五倍子蜂蜜苦味、涩味和苦味回味气泡图。

2.3.2 PCA 主成分分析

从图6可见，第一和第二主成分贡献率之和达到99.35%，即这两种主成分同样能够涵盖五倍子蜂蜜样品大部分的原始数据信息，其中第一主成分的贡献率为97.84%，第二主成分的贡献率为1.51%，两种主成分可以反映出五倍子蜂蜜的整体滋味，且样品之间的差异主要表现在第一主成分上。12个地区的五倍子蜂蜜在图中均无交叉重叠，说明电子舌技术能够通过滋味将不同地区的五倍子蜂蜜区分开。

综上，电子鼻和电子舌能通过气味和滋味上的差异将不同地区的同种蜂蜜进行区分。蜂蜜成分复杂，随着蜜源植物、产地、蜂蜜品种等的不同而有所差异^[24]。同种蜜源蜂蜜由于产地不同，蜂蜜中黄酮类、酚酸类、矿物质等成分含量上的差异，会影响蜂蜜的色泽、滋味、气味等^[25]，如澳大利亚石楠蜜中黄酮含量为2.12 mg/100 g，而葡萄牙石楠蜜中则为60~500 μg/100 g^[26]；不同采集地的同种蜂蜜，其酚酸含量亦不同，如Yao等^[27]发现澳洲茶树蜜（*Leptospermum polygalifolium*）中酚酸含量为5.14 mg/100 g，而新西

兰茶树蜜（*Leptospermum scoparium*）中酚酸含量为14.0 mg/100 g；蜂蜜中的矿物质主要来源于花蜜，与蜜源植物生长的土壤和大气具有很大的关系，孙艳等^[28]通过ICP-MS对不同地区椴树蜜中的矿物质元素进行检测，发现不同地区椴树蜜元素含量存在差异。R6地区颜色较深、花香味浓郁可能与蜂蜜中多酚类物质含量较高有关。目前主要通过高效液相色谱（High Performance Liquid Chromatography, HPLC）、气相色谱-质谱联用仪（Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS）、中红外光谱（Mid Infrared, MIR）、电感耦合等离子体发射光谱仪（Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES）、火焰原子吸收光谱仪（Flameless Atomic Absorption Spectrometry, FAAS）等方法^[29]寻找蜂蜜中黄酮类、酚酸类、糖类、微量元素等特征性标志物对蜂蜜种类及产地进行鉴别，相对于电子鼻和电子舌技术，上述方法复杂且成本较高，因此运用电子鼻和电子舌技术对蜂蜜品种进行鉴别、产地进行识别等具有一定的应用前景，我国陈芳等^[30]、裴高璞等^[31]、张艳平^[32]、贾洪锋等^[33]已将电子鼻、电子舌技术应用于蜂蜜鉴别、掺假蜂蜜的识别等，根据电子鼻和电子舌对风味和滋味识别的特点，还可将其用于蜂蜜饮品等食品适配性的研究^[34]，通过调整原料比例，改变食品风味，满足不同人群的需求。

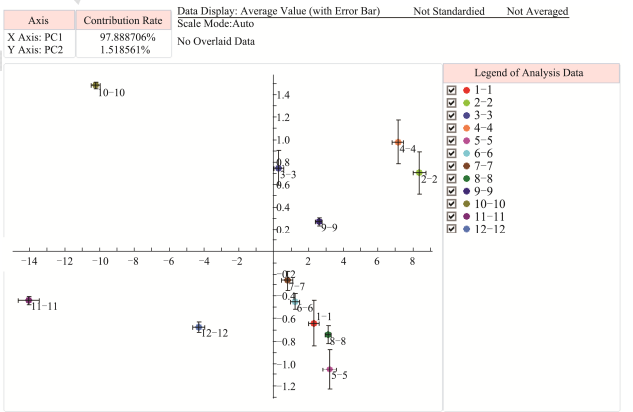


图6 五倍子蜂蜜味觉PCA主成分分析

Fig.6 PCA analysis of *Rhus chinensis* honey taste

3 结论

国家标准中笼统的感官要求使得蜂蜜的感官评价难以有明确的标准，不同产地同蜜种蜂蜜之间的差别，无法通过感官指标将其精准区分。结合电子鼻和电子舌技术对不同地区的五倍子蜂蜜进行鉴别分析，结果表明电子鼻技术采用PCA分析时第一和第二主成分贡献率之和达到99.00%以上，这两种主成分涵盖了五倍子蜂蜜的大部分原始数据信息，但R4、R11、R3、

R7、R8、R1、R5 地区蜂蜜气味较相似, 区分度较低; R10、R12、R2、R9 地区与其他地区互不重叠, 区分度较好; 采用 LDA 分析时, 第一和第二主成分贡献率之和达到 87.05%, 除去 R6 地区, 其余地区在图中均无交叉重叠, 能区分不同地区的五倍子蜂蜜; 通过 Loadings 分析可以看出, 对 12 个不同地区的五倍子蜂蜜响应值分析发现 7 号、2 号、9 号、8 号传感器等对第一主成分/第二主成分贡献较大, 说明不同地区的五倍子蜂蜜气味上的差异主要是在无机硫类物质、氮氧化合物、有机硫化物、醇醚醛酮类等物质上。电子舌技术通过 PCA 分析时, 第一和第二主成分贡献率之和达到 99.35%, 且在 PCA 分析图中均无交叉重叠, 说明电子舌技术能将不同地区的五倍子蜂蜜区分开, 且通过电子舌雷达图离散程度可以看出, 不同地区五倍子蜂蜜在酸味、甜味、苦味上的差异较大。

根据上述结果, 说明电子鼻和电子舌技术能够根据气味及滋味上的差异, 将不同地区的五倍子蜂蜜进行区分。相较于感官评价该方法更客观, 相较于 HPLC、GC-MS 等方法更加快速、简便, 可用于蜂蜜的种类识别、蜂蜜产地溯源以及蜂蜜食品适配性研究等。

参考文献

- [1] 郭顺悦. 红花蜜和五倍子蜜中特征性成分鉴定及指纹图谱建立[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [2] 龚力, 赵元, 严晟, 等. 不同产地五倍子的质量评价[J]. 湖南中医药大学学报, 2021, 41(2): 247-251.
- [3] 张雅丽. 五倍子没食子酸的制备、抑菌作用及机理研究[D]. 陕西: 陕西师范大学, 2013.
- [4] 李志国, 杨文云, 夏定久. 中国五倍子研究现状[J]. 林业科学研究, 2003, 16(6): 760-767.
- [5] 顾雪竹, 李先端, 钟银燕, 等. 蜂蜜的现代研究及应用[J]. 中国实验方剂学杂志, 2007, 13(6): 70-73.
- [6] 缪璐, 何善廉, 莫佳琳, 等. 电子鼻技术在朗姆酒分类识别中的应用研究[J]. 广西糖业, 2016, 4: 24-33.
- [7] Calvini R, Pigani L. Toward the development of combined artificial sensing systems for food quality evaluation: a review on the application of data fusion of electronic noses, electronic tongues and electronic eyes [J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(2): 577.
- [8] Rodríguez Méndez M L, De Saja J A, González-Antón R, et al. Electronic noses and tongues in wine industry [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2016, 4: 81.
- [9] 王俊斐, 张露平, 张运民, 等. 基于电子鼻技术鉴别不同产地半夏药材[J]. 现代中药研究与实践, 2021, 35(1): 1-3, 8.
- [10] Baldwin E A, Bai J, Plotto A, et al. Electronic noses and tongues: applications for the food and pharmaceutical industries [J]. *Sensors (Basel)*, 2011, 11(5): 4744-4766.
- [11] Summerson V, Gonzalez Viejo C, Pang A, et al. Assessment of volatile aromatic compounds in smoke tainted cabernet sauvignon wines using a low-cost e-nose and machine learning modelling [J]. *Molecules*, 2021, 26(16): 5108.
- [12] 刘建林, 孙学颖, 张晓蓉, 等. GC-MS 结合电子鼻/电子舌分析发酵羊肉干的风味成分[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5): 348-354.
- [13] 刘鑫, 牟柏德, 鞠铭, 等. 基于 SPME-GC-MS, 电子鼻, 电子舌技术联用对不同替代盐干腌火腿风味成分表征[J]. 食品科学, 2022, 43(6): 246-256.
- [14] Dymerski T, Gębicki J, Wardencki W, et al. Application of an electronic nose instrument to fast classification of polish honey types [J]. *Sensors (Basel)*, 2014, 14(6): 10709-10724.
- [15] Bodor Z, Kovacs Z, Rashed M S, et al. Sensory and physicochemical evaluation of acacia and linden honey adulterated with sugar syrup [J]. *Sensors (Basel)*, 2020, 20(17): 4845.
- [16] 陈晓明, 初叶心, 乔江涛, 等. 蜂蜜品种识别和掺假鉴别的研究进展[J]. 食品工业, 2020, 41(2): 225-230.
- [17] 贾春琪, 杜艳红, 聂建光, 等. 基于电子舌对不同类型白酒味觉的研究[J]. 酿酒科技, 2022, 6: 105-108.
- [18] Gupta H, Sharma A, Kumar S, et al. E-tongue: a tool for taste evaluation [J]. *Recent Pat Drug Deliv Formul*, 2010, 4(1): 82-89.
- [19] Oroian M, Paduret S, Ropciuc S. Honey adulteration detection: Voltammetric e-tongue versus official methods for physicochemical parameter determination [J]. *J Sci Food Agric*, 2018, 98(11): 4304-4311.
- [20] Ciursa P, Oroian M. Voltammetric e-tongue for honey adulteration detection [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(15): 5059.
- [21] 李建军, 董倩倩, 赵一, 等. 基于电子鼻和电子舌技术对不同金银花酒的鉴别分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(11): 308-312.
- [22] GB 14963-2011, 蜂蜜[S].
- [23] SN/T 0852-2012, 进出口蜂蜜检验规程[S].
- [24] 魏颖. 蜂蜜国家标准探讨[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(10): 5.
- [25] 孙长波, 张晶. 蜂蜜化学成分研究概况[J]. 农业与技术, 2014, 34(8): 243, 248.
- [26] Yao L, Jiang Y, Singanusong R, et al. Phenolic acids and abscisic acid in Australian Eucalyptus honeys and their potential for floral authentication [J]. *Food Chemistry*, 2004,

- 86(2): 169-177.
- [27] Yao L, Datta N, Tomas-Barberan F A, et al. Flavonoids, phenolic acids and abscisic acid in Australian and New Zealand *Leptospermum* honeys [J]. Food Chemistry, 2003, 81(2): 159-168.
- [28] 孙艳,徐大江,翟凤云,等.基于ICP-MS测定蜂蜜矿物质元素进行蜂蜜产地溯源[J].中国蜂业,2020,71(9):59-62.
- [29] 丁磊,梁爱心,望玲,等.蜂蜜品质及其测定技术[J].中国蜂业, 2022,73(11):41-44.
- [30] 陈芳,黄玉坤,苑阳阳,等.基于电子鼻无损鉴别掺假蜂蜜[J]. 西华大学学报(自然科学版),2018,37(5):56-60.
- [31] 裴高璞,史波林,赵镭,等.典型掺假蜂蜜的电子鼻信息变化特征及判别能力[J].农业工程学报,2015,31(S1):325-331.
- [32] 张艳平.基于伏安型电子舌的蜂蜜鉴别[D].吉林:东北电力大学,2014.
- [33] 贾洪锋,李维,段丽丽,等.电子舌对掺入果葡糖浆掺假蜂蜜的识别[J].食品与机械,2015,31(4):68-71.
- [34] 牟心泰,杜险峰.电子鼻与电子舌在食品行业的应用[J].现代食品,2020,5:118-119,126.