

电子鼻结合HS-SPME-GC-MS技术解析贵州主产区红酸汤香气成分

陆敏¹, 陈菊¹, 王雪雅¹, 殷勇¹, 孙小静¹, 李文馨¹, 何建文^{1*}

(贵州省农业科学院 贵州省辣椒研究所, 贵州 贵阳 550006)

摘要: 利用电子鼻结合顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术检测红酸汤样品的挥发性风味成分, 通过测色仪测定红酸汤的颜色参数, 采用正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA)构建模型, 研究贵州主产区红酸汤的香气成分构成及差异。基于气味活度值(OAV)和变量投影重要性(VIP)值筛选关键风味物质(OAV>1)和关键差异风味物质(OAV>1且VIP>1)。结果表明, 4种红酸汤样品的L*值、a*值、b*值存在显著差异(P<0.05)。电子鼻分析结果表明, 4种红酸汤样品具有相似的风味轮廓, 但其挥发性风味物质有所差异, 对硫化物、芳香类化合物电子鼻响应值最高, 基于电子鼻响应值的主成分分析(PCA)及线性判别分析(LDA)能够有效区分不同产区红酸汤样品。通过HS-SPME-GC-MS从4种红酸汤样品中共检测出132种挥发性风味物质, 其中3个及以上红酸汤样品共有的香气物质26种。红酸汤样品中筛选出9种关键风味物质和2种关键差异风味物质。

关键词: 红酸汤; 贵州主产区; 电子鼻; 顶空固相微萃取-气质联用; 香气成分

中图分类号: TS201.3

文章编号: 0254-5071(2024)11-0231-06

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2024.11.036

引文格式: 陆敏, 陈菊, 王雪雅, 等. 电子鼻结合HS-SPME-GC-MS技术解析贵州主产区红酸汤香气成分[J]. 中国酿造, 2024, 43(11): 231-236.

Analysis of aroma components of red sour soup from main producing areas of Guizhou using electronic nose combined with HS-SPME-GC-MS

LU Min¹, CHEN Ju¹, WANG Xueya¹, YIN Yong¹, SUN Xiaojing¹, LI Wenxin¹, HE Jianwen^{1*}

(Chili Pepper Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

Abstract: The volatile flavor components of the red sour soup were determined by electronic nose and headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). The color parameters of the red sour soup were detected by colorimeter, and the model was constructed using orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA) to study the aroma composition and differences of red sour soup samples from main producing areas of Guizhou. Key flavor substances (OAV>1) and key differential flavor substances (OAV>1 and VIP>1) were screened based on odor activity value (OAV) and variable importance in the projection (VIP) value. The results showed that there were significant differences in L* value, a* value and b* value of 4 red sour soup samples (P<0.05). The electronic nose analysis results showed that the 4 red sour soup samples had similar flavor profiles, but their volatile flavor compounds were different, and the electronic nose response values for sulfides and aromatic compounds were the highest. Principal component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA) based on electronic nose response values could effectively distinguish red sour soup samples from different producing areas. A total of 132 volatile flavor compounds in 4 red sour soup samples were detected by HS-SPME-GC-MS, among them, 26 aroma compounds were shared by 3 or more red sour soup samples. 9 key flavor substances and 2 key differential flavor substances were screened from red sour soup samples.

Key words: red sour soup; main producing areas of Guizhou; electronic nose; headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry; aroma component

贵州红酸汤作为独具民族特色的发酵类调味品, 具有清香色红、酸辣协调、爽口回味浓的特点和开胃健脾、降低胆固醇、维持机体酸碱平衡的功效, 近年来市场规模逐年扩增^[1]。黔东南、黔南地区作为红酸汤的起源地和主产区, 其红酸汤特有风味浓郁, 品质优良, 具有研究价值。目前, 常见的风味特征分析手段包括顶空固相微萃取-气质

联用(headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)技术、气相色谱-离子迁移谱联用(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)技术、电子鼻(electronic nose, EN)等^[2-5]。LIU N等^[6]利用GC-IMS研究发现, 分离强化、混合强化和自然发酵三种发酵方法制备红酸汤挥发性风味物质有所

收稿日期: 2024-04-15

修回日期: 2024-07-08

基金项目: 贵州省农科院青年科技创新工程项目(黔农科院青年科技基金[2021]34号); 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2022]重点016号); 贵州省基础研究计划(自然科学类)项目(黔科合基础-ZK[2024]一般535); 贵州省普通高等学校青年科技人才成长项目(黔教合KY[2022]027号); 国家特色蔬菜产业技术体系项目(CARS-24-G-24); 贵州省辣椒产业技术体系(GZLJCYJSTX-04)

作者简介: 陆敏(1991-), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为食品加工与安全。

***通讯作者:** 何建文(1982-), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为辣椒种质资源创制及品质评价。

不同,其中混合强化发酵红酸汤的特征风味物质主要为丁酸甲酯、乙酸异丁酯、乙酸己酯和芳樟醇氧化物等。DUAN F X等^[2]利用HS-SPME-GC-MS分别检测凯里红酸汤中的辣椒酱和番茄酱特征风味物质,发现其辣椒酱中共有98种挥发性有机化合物,番茄酱中则有77种。WU W Y等^[3]联合GC-IMS和电子鼻检测技术发现番茄酸汤牛肉的特征挥发性风味物质是2-甲基丙酸乙酯、醋酸异戊酯、丁酸异丁酯、丙酸异丁酯、苯甲醛和2-丁酮,同时在不同蒸煮时间(5 min、10 min和15 min)下,番茄酸汤牛肉的香气特征会产生不同的电子鼻传感器响应曲线。何扬波等^[4]利用GC-IMS和电子鼻检测技术发现严重瓮臭味样品、轻微瓮臭味样品和普通样品风味差异显著($P<0.05$),丁酸和醛类物质的浓度变化可能是红酸汤瓮臭味产生的重要原因。杨进军等^[5]利用电子鼻结合HS-SPME-GC-MS技术发现红酸汤的气味形成比较复杂,不同品牌的红酸汤在气味上差异较大。目前,HS-SPME-GC-MS结合电子鼻检测技术广泛应用于米饭^[6-7]、茶叶^[8-10]、食用菌^[11-12]、食用油^[13-14]、枣类^[15-16]等方面,但在有关红酸汤的香气物质解析方面研究较少。

发酵成熟的红酸汤半成品经过炒制、调味、杀菌等加工后即可售卖,对市售红酸汤风味起决定性作用。本研究从红酸汤主产区贵州省黔东南苗族侗族自治州和黔南布依族苗族自治州收集到4种已发酵成熟的红酸汤半成品,利用测色仪检测其色泽参数,通过电子鼻和HS-SPME-GC-MS技术解析自然发酵条件下4种红酸汤半成品挥发性香气物质,采用正交偏最小二乘法判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)构建模型,并结合香气活度值(odor activity value, OAV)和变量投影重要性(variable importance in projection, VIP)值筛选其关键风味物质(OAV>1)和关键差异风味物质(OAV>1且VIP>1),以期为贵州红酸汤风味解析、品质提升提供参考。

1 材料与方

1.1 材料与试剂

红酸汤半成品:于2021年5月采集自贵州省黔东南苗族侗族自治州某企业样品2份,编号为A、B;黔南布依族苗族自治州某企业样品2份,编号为C、D。用无菌采样袋密封,于4℃冷藏,备用。

二辛醇(色谱纯):上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

Agilent GC6890-5975I MS气相色谱-质谱联用仪、HP-5MS毛细管色谱柱(30 m×250 μm×0.25 μm);美国安捷伦科技(中国)有限公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取纤维头:美国Supelco公司;USP2194 Ultra Scan PRO测色仪:美国Hunter Lab公司;PEN3型便携式电子鼻传感器:德国Airsense公司;L18-Y66九阳静音真空高速破壁机:九阳股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 红酸汤的制备

新鲜辣椒、西红柿洗净沥干水分后,加入一定比例的食盐、香辛料、酒等,辣椒、西红柿按照一定比例混匀发酵6~12个月打碎或分开发酵3~9个月后,辣椒、西红柿再按照一定比例混匀打碎,进行二次发酵得到红酸汤半成品。

1.3.2 红酸汤颜色参数的测定

采用测色仪测定红酸汤的颜色参数,每组数据3个平行测定。 L^* 值表示明亮度,正数表示偏白,负数表示偏黑。 a^* 值表示红绿度,正数表示偏红,负数表示偏绿。 b^* 值表示黄蓝度,正数表示偏黄,负数表示偏蓝。

1.3.3 电子鼻测定

用注射器准确称取5.0 g红酸汤样品于20 mL顶空进样瓶底部,静置20 min后,插入电子鼻探头吸取顶端空气,测定挥发性风味物质。电子鼻的设置参数为:样品间隔时间1 s,清洗时间120 s,归零时间10 s,样品准备时间5 s,测定时间240 s,载气流速300 mL/min,进样流量300 mL/min。传感信号在237 s后基本稳定,选定采集信号时间为239 s、240 s,每个样品重复3次。利用电子鼻自带的Win Muster软件对数据进行主成分分析(principal component analysis, PCA)及线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)。不同传感器的性能描述见表1。

表1 电子鼻系统传感器类型及性能描述
Table 1 Type and performance description of electronic nose system sensor

阵列序号	传感器名称	传感物质类型
1	W1C	芳香类
2	W5S	氮化合物
3	W3C	芳香类、氨类
4	W6S	氢化物
5	W5C	烷烃、芳香类
6	W1S	烷烃
7	W1W	硫化物
8	W2S	醇类、醛酮类
9	W2W	芳香类、有机硫化物
10	W3S	烷烃(甲烷等)

1.3.4 挥发性风味物质检测

样品前处理:将红酸汤样品加入5 μL质量浓度为5 mg/mL二辛醇作为内标后,盖塞密封备用。

自动顶空固相微萃取进样条件:顶空瓶置于60℃、200 r/min条件下热平衡8 min,萃取纤维头插入顶空瓶距样品面约5 mm,顶空萃取40 min,取出萃取头插入到GC进样口中,并在250℃解吸5 min,进行GC-MS测定。

气相色谱条件:HP-5MS毛细管色谱柱(30 m×250 μm×0.25 μm);进样口温度250℃;升温程序为40℃(2 min),

3 °C/min上升至85 °C后(16.5 min), 1.8 °C/min上升至152 °C(37.22 min), 然后20 °C/min上升至200 °C(2.4 min), 3 °C/min上升至250 °C(17.67 min), 最后以10 °C/min上升至280 °C(3 min); 以高纯氦气(He)(99.999%)为载气, 载气流速为1.2 mL/min, 不分流进样。

质谱条件: 电子电离(electronic ionization, EI)源, 离子源温度230 °C; 四极杆温度150 °C, 电子能量70 eV; 扫描范围20~500 m/z。

定性及定量方法: 与美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology, NIST)光谱数据库比对并鉴定, 仅保留正、反匹配度>85%的化合物。通过内标法计算得到各挥发性组分含量, 其计算公式如下:

$$C_i = \frac{C_s \times V \times A_i}{A_s \times m}$$

式中: C_i 为待测挥发性组分含量, $\mu\text{g/g}$; C_s 为二辛醇质量浓度, mg/mL ; V 为二辛醇体积, μL ; A_i 为待测挥发性组分的色谱峰面积; A_s 为内标的色谱峰面积; m 为酸汤样品质量, g 。

关键风味物质的筛选: 香气活度值(OAV)能反映单个香气化合物对主体香气化合物的贡献度, 以测得的挥发性风味物质质量浓度 C_i 与其气味阈值的比值计算OAV。OAV>1表明香气化合物对红酸汤香气有重要贡献, 是关键风味物质。

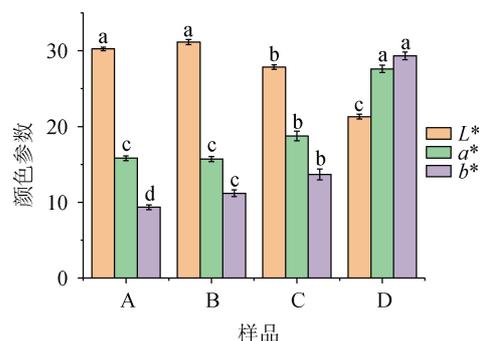
1.3.5 数据处理

采用Excel 2019进行数据处理; SPSS Statistics 26.0统计分析; Origin 2018软件用于绘制红酸汤色差图; 利用电子鼻自带的Win Muster软件对数据进行PCA和LDA; SIMCA 14.1软件分析绘制OPLS-DA得分图、置换检验图, 并利用OAV和VIP值筛选关键差异风味物质(OAV>1且VIP>1)。

2 结果与分析

2.1 不同产区红酸汤样品颜色参数分析

色泽是红酸汤最重要的表观属性, 是红酸汤品质评价的重要指标之一, 4种红酸汤样品的颜色参数测定结果见图1。由图1可知, 4种红酸汤样品的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值存在显著差异($P<0.05$), 其中 L^* 值从高到低依次为样品B>A>C>D; a^* 值从高到低依次为样品D>C>A>B; b^* 值从高到低依次为样品D>C>B>A。样品A的 L^* 值较高, b^* 值最低, 明亮度较强但偏橘红色; 样品B的 L^* 值最高, a^* 值最低, 明亮度较强; 样品C色泽较差, 整体呈较浅红色, 明亮度较弱; 样品D的 L^* 值最低, a^* 值、 b^* 值最高, 颜色鲜艳。4种样品的色泽差异可能主要与不同企业所用西红柿和辣椒品种不同及加工后产品的氧、酸性条件不同有关^[17]。辣椒等原料本身所含类胡萝卜素类型不同, a^* 值较高的样品所含色素可能以辣椒红素、辣椒玉红素为主, b^* 值较高的样品所含色素可能以紫黄素、玉米黄素、叶黄质为主^[18]。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

图1 不同产区红酸汤样品颜色参数测定结果

Fig. 1 Determination results of color parameters of red sour soup samples from different producing areas

2.2 不同产区红酸汤样品香气成分电子鼻分析

电子鼻检测4个红酸汤样品香气成分响应值雷达图见图2。由图2可知, 4个红酸汤样品在电子鼻上的主要响应传感器均为W5S、W1C、W2W、W2S、W1W, 但不同样品间的响应值不同, 其中样品B响应值明显高于其他3个样品, 样品A与样品C的响应值相近, 样品D响应值最低。说明4种红酸汤样品具有相似的风味轮廓, 但在具体风味化合物的种类和含量上有一定差异。4个样品中W1W和W2W的响应值均显著高于其他传感器($P<0.05$), 表明4个红酸汤样品均对硫化物和芳香类化合物响应值最高, 这与林莉等^[19]的研究结果相似。红酸汤中的二烯丙基硫化物等有机硫化物一般是来源于发酵前期添加的大蒜等辅料, 其嗅觉阈值较低, 为 $0.22 \mu\text{g/L}$ ^[20-21], 因此响应值高。

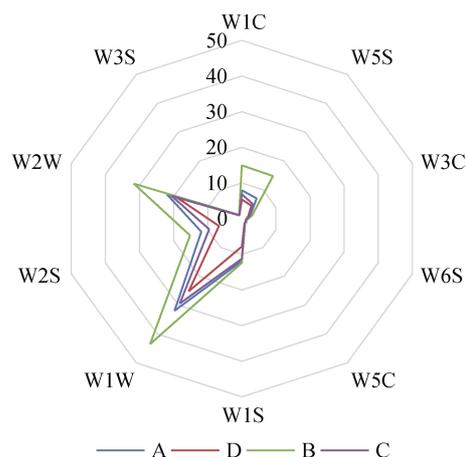


图2 不同产区红酸汤样品香气成分电子鼻分析响应值雷达图

Fig. 2 Radar map of response values of aroma components in red sour soup samples from different producing areas analyzed by electronic nose

4种红酸汤样品中电子鼻传感器响应值的PCA、LDA结果见图3。由图3A可知, 第一主成分(PC1)的方差贡献率为92.42%, 第二主成分(PC2)的方差贡献率为5.87%, 第一

主成分的贡献率远高于第二主成分,2个主成分累计方差贡献率为98.29%,通常总贡献率超过85%表明试验方法的可行性,贡献率越大,越能最大限度地反映样本最原始的信息^[6],说明4个红酸汤样品的绝大部分风味信息基本包含,且风味差异主要由第一主成分决定。在PC1中,传感器W1W探测到的硫化物类化合物贡献最大,在PC2中,W1S、W2S分别探测到的烷烃化合物和醇类、醛酮类贡献最突

出。由图3B可知,不同产地的红酸汤样品有明显的区分,其中样品B和样品C有交集,说明二者挥发性风味物质具有部分相似性。由图3C可知,线性判别因子一、二主成分的方差贡献率分别为92.42%和1.11%,总方差贡献率为93.53%,4个红酸汤样品距离较远,表明基于电子鼻响应值的主成分分析(PCA)及线性判别分析(LDA)能够有效区分不同产区红酸汤样品。

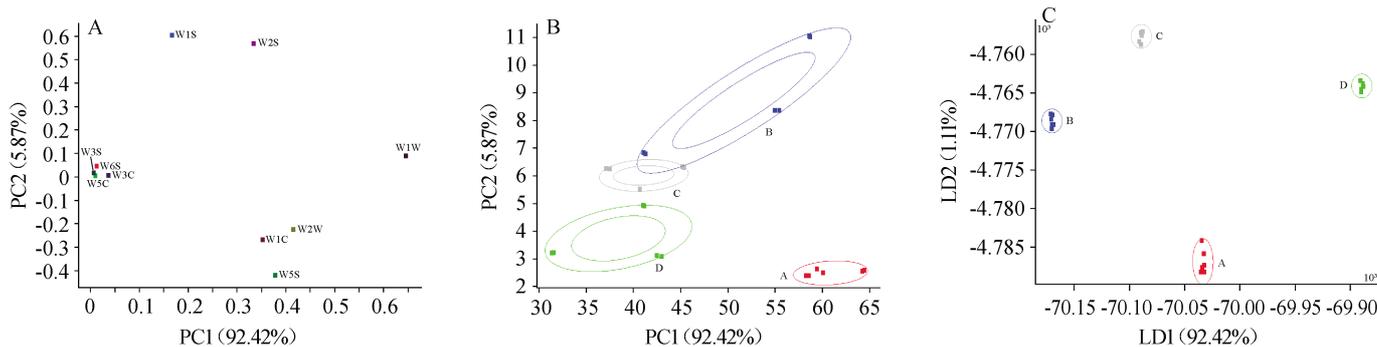


图3 不同产区红酸汤样品中香气成分电子鼻分析传感器响应值主成分分析载荷图(A)、得分图(B)及线性判别分析(C)

Fig. 3 Loading diagram (A), score plot (B) of principal component analysis and linear discriminant analysis (C) of response values of electronic nose sensor for aroma components in red sour soup samples from different producing areas

2.3 HS-SPME-GC-MS测定红酸汤样品的挥发性风味化合物

2.3.1 不同产区红酸汤样品的挥发性风味化合物

采用HS-SPME-GC-MS测定红酸汤样品的挥发性风

味化合物,结果见表2。由表2可知,4个红酸汤样品共检测出132种挥发性风味物质,包括醇类14种,醛类2种,酸类16种,酯类28种,烃类39种,苯环类18种,酚类8种,酮类3种,杂环类2种,其他类2种。

表2 3个及以上红酸汤样品共有的挥发性风味化合物GC-MS分析结果

Table 2 Analysis results of common volatile flavor compounds in 3 or more red sour soup samples

序号	种类	保留时间/ min	化合物	含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
				A	D	B	C
1	醇类	42.35	苯甲醇	—	1.22±0.29ab	0.89±0.06b	1.37±0.2a
2	醛类	22.82	苯基丙醇水合物	4.98±0.16c	27.75±4.10a	10.78±0.76b	—
3		19.43	乙酸	5.41±0.41b	—	11.71±2.48a	10.65±1.26a
4		24.13	丙酸	—	4.69±0.84a	3.87±1.00a	5.17±0.29a
5	酸类	41.32	己酸	22.26±0.35b	62.60±8.36a	—	3.19±0.45c
6		59.09	棕榈油酸	7.04±0.75a	2.85±0.81bc	4.62±0.48b	2.59±1.45c
7		60.81	苯甲酸	1.22±0.63c	66.58±12.06a	0.47±0.16c	43.00±7.89b
8		69.03	棕榈酸	14.33±7.57a	14.87±9.05a	6.88±1.76a	4.90±0.8a
9		8.08	3-侧柏烯	1.06±0.35ab	0.95±0.31ab	—	1.81±0.98a
10		8.24	β -蒎烯	2.88±0.3a	0.99±0.16bc	—	1.96±1.49ab
11		8.56	γ -松油烯	0.69±0.31a	0.27±0.07ab	—	0.75±0.42a
12		9.19	1,5-二甲基-6-亚甲基螺[2.4]庚烷	6.74±0.16a	4.41±0.43a	0.13±0.22b	5.32±3.51a
13	烃类	9.57	反-水合松烯	10.83±9.38a	12.69±0.91a	—	14.23±0.66a
14		17.31	十六烷	3.90±3.86a	—	0.81±0.04a	1.80±0.51a
15		34.40	姜烯	145.07±24.25a	40.53±13.95bc	—	68.72±45.67b
16		33.58	γ -Maaliene	10.29±3.8a	4.43±0.62ab	—	5.35±4.9ab
17		44.15	螺[2.4]庚-4,6-二烯	15.44±0.64b	8.28±0.97c	28.79±2.34a	33.57±5.52a
18		15.05	乳酸乙酯	4.11±0.13b	—	5.76±0.33a	1.96±0.09c
19	酯类	58.20	棕榈酸甲酯	2.77±0.82a	4.53±0.72a	3.17±0.52a	3.70±1.62a
20		59.97	十六烷酸丙酯	—	3.47±0.04b	12.57±0.14a	2.77±0.95b

续表

序号	种类	保留时间/ min	化合物	含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
				A	D	B	C
21		61.41	顺式-11-十八烯酸甲酯	—	3.24±0.79b	0.73±0.27c	4.50±0.44a
22		63.12	亚麻酸甲酯	1.06±0.23a	0.78±0.01b	—	0.57±0.13b
23		63.30	油酸丙酯	—	1.79±0.26b	3.23±0.11a	1.23±0.27c
24		64.21	反式-9,12-十八烯酸丙酯	—	7.87±5.56b	15.23±1.19a	8.24±1.44b
25		65.34	亚麻酸乙酯	28.16±4.43a	5.57±4.02b	9.12±0.58b	5.36±1.23b
26	其他	62.73	亚麻酰氯	52.77±6.84a	48.8±18.77a	55.89±3.47a	41.09±7.58a

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.01$);“—”表示未检出。下同。

2.3.2 关键风味物质的筛选

通过OAV可以评价红酸汤中特征风味化合物的组成及贡献。通常OAV>1可判定该物质为关键风味物质,OAV越大,对红酸汤整体风味的贡献就越大。对3个及以上红酸汤样品共有26种挥发性风味化合物进行OAV分析,结果见表3。

表3 3个及以上红酸汤样品共有的关键风味物质

Table 3 Key flavor substances shared by 3 or more red sour soup samples

关键风味化合物	阈值/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	气味描述	OAV			
			A	D	B	C
丙酸	2.19	刺激性气味	—	2.14	1.77	2.36
己酸	0.89	奶酪、酸臭味	25.01	70.33	—	3.59
苯甲酸	1	苯或甲醛味	1.22	66.58	0.47	43.00
乙酸	0.013	酸味	415.92	—	901.03	819.53
棕榈酸	10	脂肪味	1.43	1.49	0.69	0.49
β -蒎烯	0.18	树脂、松脂	16.02	5.48	—	10.89
反-水合桉烯	9.2	—	1.18	1.38	—	1.55
十六烷	0.5	—	7.80	—	1.62	3.60
棕榈酸甲酯	2	—	1.38	2.26	1.59	1.85
乳酸乙酯	0.005	朗姆酒、水果和奶油	822.64	—	1 152.64	392.68

注:相对气味活度阈值数据主要来源于《化合物嗅觉阈值汇编》。

由表3可知,红酸汤中含有10种关键风味物质。由于4个样品中均检测到不同含量的苯甲酸,作为最常见的防腐剂,

其是企业后期发酵过程中人为添加。因此,红酸汤样品中共筛选出9种关键风味物质。

酸类物质包括丙酸、己酸、苯甲酸、乙酸、棕榈酸,其中乙酸的OAV最高,为415.29~901.03,己酸的OAV为3.59~70.33,丙酸的OAV为1.77~2.36,丙酸、己酸、乙酸具有强烈的酸味,是构成红酸汤风味的重要组成^[22],可降低肠道pH,增强营养物质的吸收^[23]。棕榈酸可能来自于红酸汤中添加的辅料。烃类物质包括松脂气味的 β -蒎烯、反-水合桉烯、十六烷, β -蒎烯的OAV为5.48~16.02,反-水合桉烯的OAV为1.18~1.55,十六烷的OAV为1.62~7.80。酯类物质包括棕榈酸甲酯、乳酸乙酯,是红酸汤中重要的呈香物质,其中乳酸乙酯OAV最高,为392.68~1 152.64,主要赋予红酸汤朗姆酒、水果和奶油香。

2.4 正交偏最小二乘法判别分析筛选不同产区红酸汤样品的关键差异风味物质

对红酸汤中9种关键风味物质进行OPLS-DA,结果见图4。由图4A可知,自变量拟合指数 $R^2X=0.974$,因变量拟合指数 $R^2Y=0.991$,模型的预测指数 $Q^2=0.743$,表示该模型可以反映99.1%的数据,模型拟合性较好。4个红酸汤样品位于OPLS-DA得分散点图上三个区域,区分度较好。由图4B可知,OPLS-DA模型的可靠性经过200次交叉置换检验, R^2 和 Q^2 保留度均小于1.0, Q^2 回归线与纵坐标的相交点在0点以下,表明模型验证有效,模型对数据不存在过拟合。

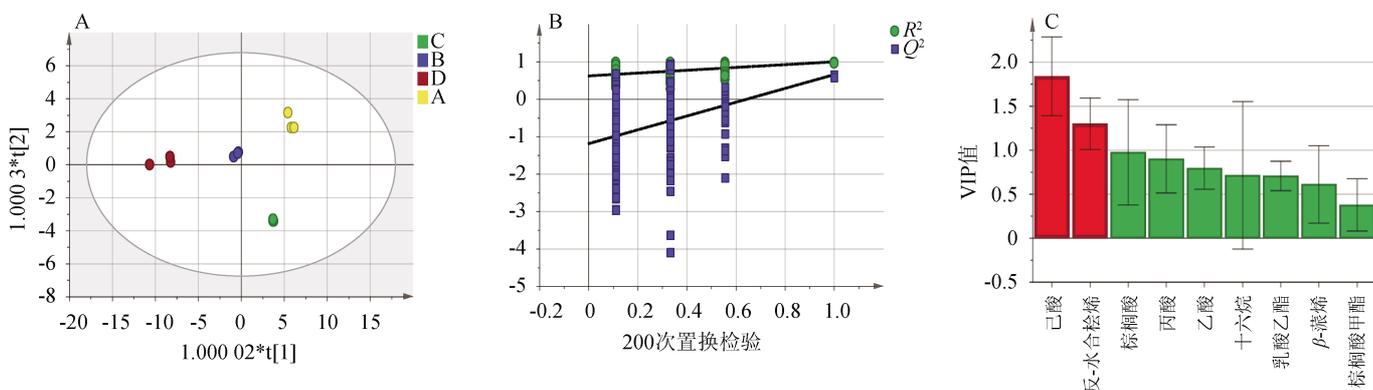


图4 不同产区红酸汤样品关键风味物质正交偏最小二乘法判别分析(A)、200次置换检验结果(B)和变量投影重要性值(C)

Fig. 4 Orthogonal partial least square discriminant analysis (A), 200 permutation test results (B), and variable importance in projection value (C) of key flavor substances in red sour soup samples from different producing areas

VIP值可量化OPLS-DA的每个变量对红酸汤样品分类的贡献度,当VIP>1视为关键差异风味物质^[24-25]。由图4C可知,在9种关键风味化合物中,筛选出2种关键差异风味物质(VIP>1且OVA>1),分别为己酸、反-水合桉烯,这2种物质是区分不同产区红酸汤样品的关键化合物。己酸闻起来似奶酪、酸臭味,是红酸汤中较重要的一种短链脂肪酸,对其风味组成具有重要作用,也是合成己酸乙酯、己酸甲酯的前提物质。反-水合桉烯的风味目前鲜有相关研究报道。

3 结论

本研究利用测色仪测定贵州主产区黔南州和黔东南州4种红酸汤样品(A、B、C、D)的色泽,电子鼻结合HS-SPME-GC-MS技术检测其挥发性风味成分,研究4种红酸汤的香气成分构成及差异。结果表明,4种红酸汤样品的色泽存在显著差异($P<0.05$)。通过电子鼻系统检测到4个红酸汤样品均对硫化物、芳香类化合物响应值最高,但每种样品香气组成有所差异。利用HS-SPME-GC-MS,结合OAV、OPLS-DA、VIP值分析,4个红酸汤样品共检测出132种挥发性风味物质,筛选出3种及以上红酸汤样品共有的香气物质26种。筛选出关键香气物质(OAV>1)9种及关键差异香气物质(OAV>1且VIP>1)2种。在此基础上,后续研究将进一步扩大样品收集量,明确贵州主产区红酸汤的香气组成、含量及差异,为优质红酸汤产品的开发奠定基础。

参考文献:

[1] LIU N, HU Y, QIN L K, et al. Flavor and quality characteristics of Guizhou red sour soup prepared by different artificially fortified fermentation methods[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2023, 186: 115247.

[2] DUAN F X, LUO Y, LI D F, et al. Kaili Red sour soup: Correlations in composition/microbial metabolism and flavor profile during post-fermentation[J]. *Food Chem*, 2024, 435: 137602.

[3] WU W Y, WANG X Y, HU P, et al. Research on flavor characteristics of beef cooked in tomato sour soup by gas chromatography-ion mobility spectrometry and electronic nose[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2023, 179: 114646.

[4] 何扬波,李咏富,钟定江,等. 电子鼻和气相离子迁移谱技术比较瓮臭味及正常红酸汤的风味差异[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(14): 216-221.

[5] 杨进军,胡金祥,王林,等. 气质联用技术结合电子鼻分析红酸汤挥发性风味差异[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(14): 234-242.

[6] 于明,毛红艳,祖力皮牙·买买提,等. HS-SPME-GC-MS结合电子感官技术分析新疆抓饭的挥发性物质[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(12): 311-322.

[7] 关丽娜,叶国栋,张敏,等. 籼稻米饭关键香气成分鉴定及感官特性形成分析[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2024, 50(3): 431-442, 454.

[8] 邵淑贤,徐梦婷,林燕萍,等. 基于电子鼻与HS-SPME-GC-MS技术对不同产地黄观音乌龙茶香气差异分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(4): 232-239.

[9] 徐梦婷,谷梦雅,陈静,等. 基于代谢组学的‘金牡丹’和‘金观音’高香红茶风味品质解析[J]. *食品科学*, 2024, 45(19): 150-161.

[10] 马懿,禹潇,魏鑫,等. 发酵型猕猴桃红茶酒品质及风味感官分析[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(12): 265-274.

[11] 包陈力根,关淳博,辛明航,等. HS-SPME-GC-MS结合电子鼻分析烘烤对大球盖菇挥发性风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(14): 226-233.

[12] 张扬,集贤,谷旭东,等. 气相色谱-离子迁移谱技术(GC-IMS)在食用菌领域的应用前景分析[J]. *中国食用菌*, 2023, 42(6): 1-5.

[13] 于立志,刘奇琳,周聪麟. 基于电子鼻与HS-SPME-GC-MS技术的武夷茶区3种茶叶籽油挥发性香气成分的比较分析[J]. *中国粮油学报*, 2024, 39(6): 189-196.

[14] 吴思雨,谢萱,刘雨雯,等. 基于电子鼻、HS-SPME-GC-MS和HS-GC-IMS评价不同制油工艺对大豆油品质及风味的影响[J]. *食品科学*, 2024, 45(4): 183-196.

[15] 黄贵元,赵海娟,高阳,等. 基于HS-SPME-GC-MS和电子鼻技术对干枣及其不同提取物挥发性成分分析[J]. *食品科学*, 2022, 43(10): 255-262.

[16] 党昕,刘军,姚凌云,等. GC-MS结合GC-O、电子鼻评价不同预处理方式对沙枣风味的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(6): 327-335.

[17] 谢章荃,高静. 果蔬色泽在热加工和非热加工技术中的变化研究进展[J]. *现代食品科技*, 2024, 40(5): 299-312.

[18] 李丽缘,吴丽丽,黄湖荣,等. 辣椒野生型与果色突变体果实不同发育阶段色泽比较与品质分析[J]. *食品科学*, 2024, 45(9): 16-21.

[19] 林莉,董玮,周婵,等. 黔东南地区5种市售鱼酱酸的品质特性及风味特征[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(13): 246-256.

[20] 程玉娇,李贵节,翟雨淋,等. 食品中挥发性硫化物的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(4): 229-235.

[21] 平洪睿,王亚萍,陈佳妮,等. 贵州苗族、水族红酸汤滋味与香气差异分析[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(8): 273-283.

[22] 张东亚. 红酸汤发酵工艺优化及品质控制研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.

[23] 袁野,李云成,孟凡冰,等. 贵州红酸汤研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2022, 35(6): 19-23.

[24] 韩乃瑄,马成莹,李敏,等. 电子鼻和GC-IMS联用分析不同条件发酵山楂糯米酒的香气成分[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-14[2024-07-03]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038437>.

[25] 曾庆军,周鸿翔,曾佳佳,等. 赤水河流域不同产区酱香白酒挥发性风味物质差异分析[J]. *中国酿造*, 2023, 42(10): 65-72.