

# 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

何扬波<sup>1</sup>,李咏富<sup>1,\*</sup>,钟定江<sup>2</sup>,段召燕<sup>3</sup>,梁倩<sup>1</sup>,石彬<sup>1</sup>,龙明秀<sup>1</sup>,田竹希<sup>1</sup>

(1.贵州省农科院现代农业发展研究所,贵州贵阳 550006;

2.麻江明洋食品有限公司,贵州凯里 557603;

3.贵州金农辐照科技有限公司,贵州贵阳 550006)

**摘要:**本研究以红酸汤作为研究对象,采用感官评价、电子鼻和气相离子迁移谱技术对严重瓮臭、轻微瓮臭和正常红酸汤样品的风味差异进行分析。结果显示:经感官评价及电子鼻的主成分、线性判别分析后发现3种红酸汤风味差异较大,瓮臭是导致差异出现的主要原因。采用气相离子迁移谱技术,从3种酸汤中共检测到确切的顶空风味组分64种,包括酸(6种)、醇(14种)、醛(8种)、酯(19种)、酮(8种)、吡嗪(3种)、单萜(2种)、醚(2种)、硫化物(2种)等9类化合物。其中,丁酸、戊酸、2-甲基丙酸和己醛、苯甲醛在瓮臭味酸汤(Y1)中的离子峰体积分别为20515.80、1860.73、2413.18、6274.68和668.61,显著区别于其他2种酸汤样品(Y2和Y3),可能是导致瓮臭味样品与其他酸汤样品风味差异的原因。

**关键词:**红酸汤,瓮臭味,电子鼻,气相迁移谱

## Analysis on the Flavor Difference of Red Sour Soup Including Urn Odor and Normal Flavor Samples with Electronic Nose and Gas Chromatography-Ion Mobility Spectroscopy

HE Yang-bo<sup>1</sup>, LI Yong-fu<sup>1,\*</sup>, ZHONG Ding-jiang<sup>2</sup>, DUAN Zhao-yan<sup>3</sup>,  
LIANG Qian<sup>1</sup>, SHI Bin<sup>1</sup>, LONG Ming xiu<sup>1</sup>, TIAN Zhu-xi<sup>1</sup>

(1. Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development,

Guizhou Academy of Agricultural Science, Guiyang 550006, China;

2. Majiang Mingyang Food Co., Ltd., Kaili 557603, China;

3. Guizhou Jinnong Radiation Technology Co., Ltd., Guiyang 550006, China)

**Abstract:** Red sour soup was used as the research object in the study. Sensory evaluation, electronic nose and gas chromatography-ion mobility spectroscopy (GC-IMS) were used to analyze the difference of flavor between serious, slight and normal samples. The results showed that there were significant differences among the three kinds of red sour soup by sensory evaluation, principal components and linear discriminant analysis of electronic nose, and urn odor was the main reason for the differences. A total of 64 flavor components were detected and identified in three sour soups. The identified compounds include 9 components such as acids (6), alcohols (14), aldehydes (8), esters (19), ketones (8), pyrazines (3), monoterpenes (2), ethers (2), sulfides (2). Among them, the ion peak volume of butyric acid, valeric acid, 2-methylpropionic acid, hexanal and benzaldehyde were 20515.80, 1860.73, 2413.18, 6274.68 and 668.61 respectively in the urn odor sample (Y1), which were significantly different from the other two soup samples (Y2 and Y3) and which might be the cause of the flavor difference between the urn odor sample and other sour soup samples.

**Key words:** red sour soup; odor of urn; electronic nose; gas chromatography-ion mobility spectroscopy (GC-IMS)

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)14-0216-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.14.035

引文格式: 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红酸汤及正常样品的风味差异[J].

食品工业科技, 2020, 41(14): 216-221, 227.

收稿日期: 2019-09-18

作者简介: 何扬波(1990-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工与储藏, E-mail: 18945045441@163.com。

\* 通讯作者: 李咏富(1985-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: liyongfu1985@163.com。

基金项目: 贵州省农业科学院青年科技基金(黔农科院青年基金[2018]72号); 贵州省特色农产品辐照保鲜与加工工程技术研究中心(黔科合人才平台字[2016]5203号)。

红酸汤由鲜红辣椒、西红柿等原料经破碎加盐发酵而得,是贵州少数民族地区一种介于发酵调味料和发酵蔬菜之间的传统食品。经多年发展,已被中国食品协会认定为贵州特色,成为与“麻辣”和“清汤”齐名的三大火锅底料之一<sup>[1]</sup>。作为调味品,风味特征是与营养价值和感官质地一样重要的质量评价指标<sup>[2]</sup>。然而,与风味特征重要性不相对称的是红酸汤研究多集中于微生物区系及特征性成分分析,风味研究极少见诸报道<sup>[3-7]</sup>。目前,仅徐莉等<sup>[8]</sup>分析了不同乳酸菌对酸汤挥发性物质的影响,得出酸味是酸汤产品主体风味的结论。除了主体风味,不良风味对红酸汤品质也具有重要影响。“瓮臭味”则是红酸汤中广泛存在的一种不良风味。然而,由于企业人、财、物、技等条件限制以及国内外其他科研机构对其关注度较低,红酸汤“瓮臭味”更多低停留于民间说辞,其气味成分组成与正常酸汤样品的差异尚无相关研究。

食品风味组分分析包括提取和分析两个步骤。风味组分的提取主要有水蒸气蒸馏、固相微萃取等方法;风味组分检测则包括电子鼻、气相色谱联用质谱(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC/MS)、气相色谱吸闻(Gas Chromatography-Olfactometry, GC-O)等技术<sup>[9]</sup>。红酸汤作为发酵食品家族的一员,发酵茶<sup>[10]</sup>、发酵鱿鱼<sup>[11]</sup>、酸菜<sup>[12]</sup>、腐乳<sup>[13]</sup>等发酵食品的研究方法也可借鉴使用。不过,上述检测方法均需对样品进行较长时间前处理,特征性风味组分丢失风险较高。因此,前处理简单、灵敏度高、检测速度快则成为红酸汤“瓮臭味”组分分析的关键所在。目前,离子迁移谱作为一种气相分离技术正受到越来越多关注,其通过气相离子迁移率来表征各种不同的化学物质,具有高灵敏度、快速响应、二维分离和痕量分析等检测特点也符合红酸汤样品风味组分比较研究的技术需求<sup>[14-18]</sup>。

本研究以贵州红酸汤为研究对象,采用电子鼻和气相离子迁移谱技术,对瓮臭味和正常红酸汤样品的风味组分进行定性和相对定量分析,以期对红酸汤瓮臭味的风味组成进行初步探究,为优化贵州红酸汤的风味奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

红酸汤样品 由麻江明洋食品有限公司提供,

发酵期为3~4个月,包括严重瓮臭味红酸汤(Y1)、轻微瓮臭味红酸汤(Y2)、普通红酸汤(Y3)。

电子鼻系统 德国 AIRSENSE 公司;FlavourSpec<sup>®</sup> 气相离子迁移谱(GC-IMS)联用仪 德国 G.A.S 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 感官评价 感官评价参考秦蓝等<sup>[19]</sup>研究并调整:准确称取10 g三种红酸汤样品于具塞顶空瓶中,60℃水浴20 min后备用。感官评价邀请10名实验人员参加,所有参与人员均按照国标 GB/T 16291.1-2012 中相关规定进行培训<sup>[19]</sup>。感官评价方法采用定量描述评价,对所有红酸汤样品的酸味、辣味、咸味、瓮臭味(异味)进行评分;整体风味采用评分采用10点制,0~2表示相应风味可有可无;2~4表示相应风味较弱;4~6分表示风味强度中等;6~8分表示相关风味较强;8~10则表明相关风味特别强烈。

1.2.2 电子鼻分析 分别准确称取1.0 g红酸汤样品于顶空瓶中,60℃水浴20 min后备用。气味指纹分析条件:采样时间间隔为1 s,传感器自清洗时间为40 s,传感器归零时间为10 s,样品准备时间为5 s,分析采样时间为120 s,进样流量为400 mL/min。电子鼻系统的传感器类型及性能描述情况详见表1。

1.2.3 气相离子迁移色谱仪分析 分别取1.0 g红酸汤置于20 mL顶空进样瓶。自动顶空进样单元:进样体积:200 μL;孵化时间:20 min;孵化温度:60℃。FlavourSpec<sup>®</sup> 条件:色谱柱:石英毛细柱(Rtx-Wax 30 m×0.53 mm×1.00 μm);分析时间:60 min;柱温:60℃;载气流量:0~2 min,2 mL/min;2~20 min,2~50 mL/min;20~50 min,50 mL/min;漂移气流量:150 mL/min;IMS温度45℃;进样针温度65℃。

### 1.3 数据处理

采用设备配置的 Laboratory Analytical Viewer 分析软件及 GC×IMS Library Search Software 软件对红酸汤中的风味组分进行数据采集及定性分析;Gallery Plot 插件则被用于样品指纹图谱比对。文章中数据之间的差异显著性采用方差分析中的单因素方差分析,在95%的置信度下检验测定结果间的差异性。

## 2 结果与分析

### 2.1 红酸汤样品感官评价

经过培训的感官评价人员对不同红酸汤样品的

表1 电子鼻系统传感器类型及性能描述

Table 1 Sensor type and performance description of electronic nose system

阵列序号	传感器名称	代表物质种类	性能描述
1	W1C	Aromatic	芳香成分-苯类
2	W5S	Broadrange	灵敏度大,对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	Aromatic	芳香成分灵敏,氨类
4	W6S	Hydrogen	主要对氢化物有选择性
5	W5C	Arom-aliph	短链烷烃芳香成分
6	W1S	Broad-methane	对甲基类灵敏
7	W1W	Sulphur-organic	对硫化物灵敏
8	W2S	Broad-chlor	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	Sulph-chlor	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	Methane-aliph	对长链烷烃灵敏

表2 不同红酸汤感官评定结果

Table 2 Sensory evaluation results of different red sour soup

样品	酸味	辣味	咸味	瓮臭味(不良风味)
Y1	5.75 ± 2.05	4.75 ± 1.49	6.25 ± 1.49	7.50 ± 1.41
Y2	7.13 ± 0.99	6.00 ± 1.51	6.88 ± 1.46	5.13 ± 2.47
Y3	7.88 ± 1.25	7.50 ± 1.20	7.00 ± 1.07	2.25 ± 1.98

酸味、辣味、咸味、瓮臭味(不良风味)及代表产品综合嗅闻体验的整体风味进行评品,具体结果见表2。

结果显示,红酸汤样品 Y1、Y2 和 Y3 在酸味、咸味方面的感官评分差异较小,辣味、瓮臭味(不良风味)差异较大。其中,Y1 样品的酸味、辣味、咸味在 3 种样品中感官评价得分最低,表现为中等偏弱,瓮臭味(不良风味)感官体验明显,达到了感官评分体系中的较强水平。Y2 和 Y3 样品中的瓮臭味则较弱,尤其是普通红酸汤样品(Y3),瓮臭味体验处于可有可无状态。由此表明,对 3 种红酸汤样品而言,瓮臭味是导致样品间风味差异的主要原因。

## 2.2 红酸汤样品电子鼻分析

为进一步阐述红酸汤 Y1、Y2 和 Y3 之间的区别,本研究引入了电子鼻系统对其加以分析。图 1~图 3 分别表示了电子鼻系统对 3 种样品的主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)、线性判别分析(Linear Discriminant Analysis, LDA)和载荷分析(Loadings Analysis, LOA)。

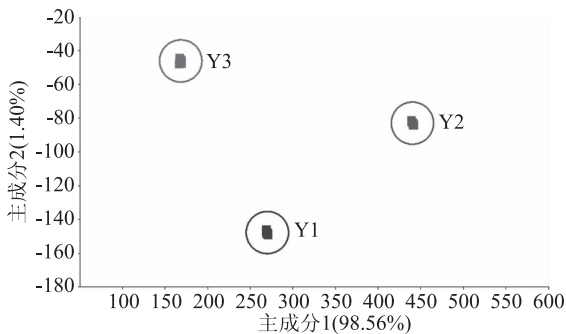


图1 电子鼻对3种红酸汤样品的PCA分析图

Fig.1 PCA analysis of three red acid soup samples by electronic nose

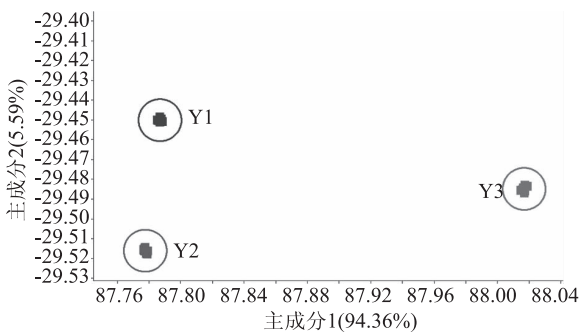


图2 电子鼻对红酸汤样品的LDA分析图

Fig.2 LDA analysis of red acid soup samples by electronic nose

在 PCA 分析图中,第一、二主成分的贡献率分别为 98.56% 和 1.40%,两个主成分的区别贡献率之和为 99.96%,基本代表了 3 种红酸汤样品的主要信息特

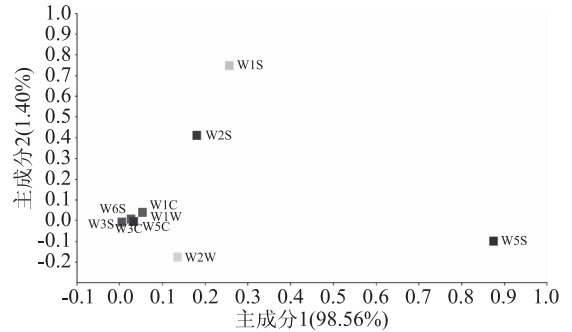


图3 电子鼻对红酸汤样品的LOA分析图

Fig.3 LOA analysis of red acid soup samples by electronic nose

征。图 1 中,3 种样品在第一和第二主成分上均完全分开。另外,将电子鼻系统采集到的数据进行 LDA 分析发现,在第一、二主成分分别为 94.36% 和 5.59%,总区分度贡献率为 99.95% 的结果中,红酸汤样品 Y3 与 Y1 和 Y2 在第一主成分上完全分开,但 Y1 与 Y2 高度重合,表明 Y2 样品中可能有部分瓮臭味(不良风味)组分存在。如图 3,传感器 W5S 探测到的氮氧化物类在第一主成分贡献最大,传感器 W1S 和 W2S 对第二主成分的贡献最突出。

## 2.3 不同风味红酸汤样品的气相离子迁移谱分析

红酸汤中含有的风味组分经气相色谱分离后,以气态分子形式被离子源软电离后进入线性漂移电场并进行二次分离,不同离子到达检测电极的先后顺序存在差异,可通过峰高、峰面积和相对迁移时间来实现样品中风味组分的分析。如图 4 所示,左侧红色竖线为反应离子峰(RIP),RIP 两侧的每一个点代表一种挥发性有机物,白色表示浓度较少,红色表示浓度较大,颜色越深表示浓度越大。结果表明,3 种红酸汤样品的顶空成分在预设实验条件下得到了有效分离,所有样品的风味组分在 2500 s 内完成了气相分离,离子迁移时间约为 7.81 ms。在离子迁移谱图上选取信号峰并将其标记,通过气相离子迁移谱自带的 Library Search 软件进行组分分析,最终从 3 种红酸汤样品中明确鉴定到风味组分 64 种。其中,酸类物质 6 种,醇类 14 种,醛类 8 种,酯类 19 种,酮类 8 种,吡嗪类 3 种,烯类 2 种,醚类 2 种,硫化物类 2 种,具体结果详见表 3。

## 2.4 不同红酸汤风味组分差异分析

不同酸汤样品之间的差异分析通过 GC-IMS 内置的 PCA 及 Gallery Plot 插件完成。同时,为了对指纹图谱进行量化描述,论文中还引入了 GC-IMS 检测到的红酸汤风味组分的离子峰体积。PCA 分析结果显示,主成分 1 和主成分 2 的贡献率之和为

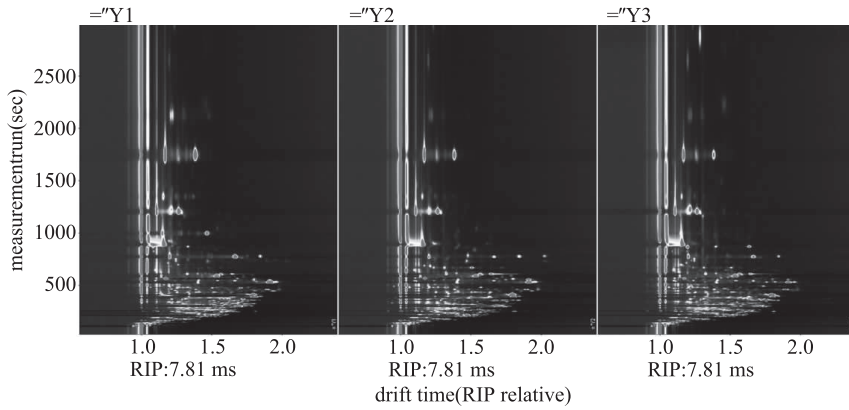


图4 不同红酸汤样品气相离子迁移谱图

Fig.4 Gas-phase ion migration spectra of different red soup samples

表3 不同红酸汤样品中风味组分信息表

Table 3 Information table of flavor components in different red acid soup samples

count	compound	Formula	M <sub>w</sub>	RI	Rt[sec]	Dt [RIP rel]	Y1	Y2	Y3
酸类									
1	己酸 (Hexanoic acid)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	1834.2	2887.061	1.2865	719.75 ± 89.79 <sup>b</sup>	783.21 ± 5.41 <sup>b</sup>	4958.92 ± 209.76 <sup>a</sup>
2	戊酸 (pentanoic acid)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.1	1742.7	2122.969	1.2212	1860.73 ± 75.08 <sup>a</sup>	1107.82 ± 232.13 <sup>b</sup>	975.01 ± 51.96 <sup>b</sup>
3	丁酸 (Butanoic acid, M)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.1	1684.2	1744.528	1.171	10760.41 ± 601.90 <sup>a</sup>	10212.48 ± 672.16 <sup>a</sup>	8389.71 ± 309.78 <sup>b</sup>
4	丁酸 (Butanoic acid, D)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.1	1683.6	1740.923	1.3837	9755.39 ± 2508.81 <sup>a</sup>	7949.73 ± 1903.92 <sup>a</sup>	4621.38 ± 441.04 <sup>b</sup>
5	丙酸 (propionic acid, M)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74.1	1575.6	1211.105	1.109	4790.29 ± 0.22 <sup>b</sup>	5144.93 ± 32.36 <sup>a</sup>	4386.61 ± 68.03 <sup>c</sup>
6	丙酸 (propionic acid, D)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74.1	1574.7	1207.501	1.2664	6122.30 ± 416.22 <sup>a</sup>	6204.85 ± 383.48 <sup>a</sup>	5155.54 ± 234.72 <sup>b</sup>
7	乙酸 (acetic acid)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60.1	1486.4	897.539	1.1593	7053.24 ± 55.13 <sup>a</sup>	6781.42 ± 211.05 <sup>a</sup>	6732.85 ± 485.78 <sup>a</sup>
8	2-甲基丙酸 (2-Methylpropanoic acid, M)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.1	1607.7	1349.248	1.1561	2053.45 ± 116.51 <sup>a</sup>	1389.70 ± 180.00 <sup>b</sup>	1278.51 ± 22.68 <sup>b</sup>
9	2-甲基丙酸 (2-Methylpropanoic acid, D)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.1	1607.7	1349.248	1.3718	359.73 ± 32.63 <sup>a</sup>	202.08 ± 59.79 <sup>b</sup>	122.74 ± 4.90 <sup>c</sup>
醇类									
1	芳樟醇 (Linalool)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	154.3	1579.4	1226.995	1.2176	2485.90 ± 98.36 <sup>b</sup>	1660.95 ± 75.63 <sup>c</sup>	3639.30 ± 121.99 <sup>a</sup>
2	2-辛醇 (2-octanol)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	130.2	1445.3	781.965	1.8466	789.10 ± 26.10 <sup>b</sup>	1160.49 ± 97.76 <sup>a</sup>	627.03 ± 56.22 <sup>c</sup>
3	1-己醇 (1-Hexanol, M)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	102.2	1372.1	611.832	1.3271	541.07 ± 1.95 <sup>c</sup>	679.98 ± 12.38 <sup>a</sup>	608.40 ± 10.07 <sup>b</sup>
4	1-己醇 (1-Hexanol, D)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	102.2	1372.1	611.832	1.6445	501.89 ± 20.65 <sup>c</sup>	1072.60 ± 56.67 <sup>a</sup>	803.54 ± 8.46 <sup>b</sup>
5	(E)-3-己烯醇 ((E)-3-hexenol)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1338.5	548.057	1.5438	290.69 ± 5.10 <sup>b</sup>	80.71 ± 8.25 <sup>c</sup>	465.53 ± 16.09 <sup>a</sup>
6	1-戊醇 (1-Pentanol)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88.1	1267.4	438.171	1.5142	292.97 ± 2.11 <sup>c</sup>	586.30 ± 10.15 <sup>a</sup>	405.69 ± 0.75 <sup>b</sup>
7	3-甲基-1-丁醇 (3-Methyl-1-butanol)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88.1	1222.7	383.467	1.5091	910.11 ± 13.69 <sup>c</sup>	1845.04 ± 26.79 <sup>a</sup>	1276.19 ± 34.55 <sup>b</sup>
8	2-己醇 (2-Hexanol)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	102.2	1174	333.921	1.5764	104.42 ± 4.82 <sup>a</sup>	42.37 ± 3.99 <sup>b</sup>	36.63 ± 2.37 <sup>b</sup>
9	乙醇 (Ethanol)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46.1	943.1	194.709	1.1446	2105.71 ± 47.93 <sup>a</sup>	2050.36 ± 53.91 <sup>a</sup>	2070.10 ± 86.99 <sup>a</sup>
10	(Z)-六角-3-烯醇 ((Z)-Hex-3-enol)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1400.5	672.648	1.5093	154.69 ± 11.32 <sup>c</sup>	1230.31 ± 7.66 <sup>a</sup>	556.48 ± 85.51 <sup>b</sup>
11	1-丁醇 (1-Butanol)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74.1	1158.6	320.162	1.3861	268.90 ± 3.84 <sup>c</sup>	761.42 ± 12.48 <sup>a</sup>	438.16 ± 2.32 <sup>b</sup>
12	2-甲基-1-丙醇 (2-Methyl-1-propanol)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74.1	1104	277.638	1.3662	480.34 ± 13.20 <sup>c</sup>	1033.63 ± 5.58 <sup>a</sup>	720.83 ± 0.70 <sup>b</sup>
13	2-戊醇 (2-pentanol)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88.1	1120.1	289.235	1.4185	132.33 ± 4.83 <sup>c</sup>	491.66 ± 0.24 <sup>a</sup>	449.45 ± 11.47 <sup>b</sup>
14	1-丙醇 (1-Propanol)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	60.1	1050	243.69	1.2705	435.33 ± 4.82 <sup>a</sup>	511.51 ± 4.56 <sup>a</sup>	488.61 ± 18.76 <sup>a</sup>
15	2-丁醇 (2-Butanol)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74.1	1033.8	234.86	1.3315	1964.33 ± 2.33 <sup>b</sup>	2162.87 ± 1.18 <sup>a</sup>	2169.56 ± 6.81 <sup>a</sup>
醛类									
1	柠檬醛 (Citral)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	152.2	1808.6	2649.183	1.1995	1433.13 ± 27.57 <sup>c</sup>	1742.02 ± 53.74 <sup>b</sup>	2016.64 ± 97.62 <sup>a</sup>
2	苯甲醛 (Benzaldehyde, M)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	106.1	1518	998.137	1.1495	2674.09 ± 12.28 <sup>a</sup>	1261.81 ± 66.93 <sup>c</sup>	1492.67 ± 7.82 <sup>b</sup>
3	苯甲醛 (Benzaldehyde, D)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	106.1	1519.4	1002.761	1.4669	3600.59 ± 40.45 <sup>a</sup>	183.33 ± 17.07 <sup>c</sup>	297.30 ± 12.89 <sup>b</sup>
4	糠醛 (Furfural)	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	96.1	1478.8	875.089	1.3326	530.53 ± 21.30 <sup>a</sup>	100.88 ± 14.70 <sup>b</sup>	127.97 ± 4.71 <sup>b</sup>
5	庚醛 (Heptanal)	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	114.2	1133.7	299.618	1.689	3498.50 ± 39.92 <sup>a</sup>	2032.55 ± 62.00 <sup>b</sup>	1617.76 ± 25.33 <sup>c</sup>
6	己醛 (Hexanal)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1098.3	273.722	1.5601	668.61 ± 7.64 <sup>a</sup>	487.15 ± 12.92 <sup>b</sup>	264.10 ± 7.85 <sup>c</sup>
7	丁醛 (Butanal)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.1	911.6	183.815	1.2878	980.39 ± 2.54 <sup>a</sup>	1080.75 ± 7.33 <sup>a</sup>	1129.82 ± 6.41 <sup>a</sup>
8	丙醛 (Propanal)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.1	784.3	151.389	1.1434	1505.58 ± 5.60 <sup>a</sup>	1501.55 ± 24.58 <sup>a</sup>	1569.94 ± 3.46 <sup>a</sup>
酯类									
1	辛酸乙酯 (Ethyl octanoate)	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	172.3	1425.7	732.029	1.4725	453.12 ± 17.67 <sup>a</sup>	572.54 ± 15.46 <sup>a</sup>	156.24 ± 10.05 <sup>c</sup>
2	乳酸乙酯 (Ethyl lactate)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	118.1	1361.1	589.984	1.5363	5639.15 ± 17.31 <sup>b</sup>	5196.85 ± 186.03 <sup>c</sup>	6483.12 ± 58.48 <sup>a</sup>
3	庚酸乙酯 (ethyl heptanoate)	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	158.2	1330.5	533.989	1.9168	7285.00 ± 32.92 <sup>a</sup>	5736.58 ± 63.40 <sup>b</sup>	2944.90 ± 108.85 <sup>c</sup>
4	乙酸己酯 (hexyl acetate)	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	144.2	1275.3	448.938	1.9351	401.31 ± 2.55 <sup>a</sup>	299.61 ± 6.75 <sup>b</sup>	150.62 ± 9.78 <sup>c</sup>
5	己酸乙酯 (Ethyl hexanoate)	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	144.2	1248.4	413.775	1.7988	4562.17 ± 43.14 <sup>c</sup>	7275.94 ± 37.25 <sup>a</sup>	6051.40 ± 21.49 <sup>b</sup>
6	己酸甲酯 (Methyl hexanoate)	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1200.8	360.014	1.678	582.99 ± 13.55 <sup>b</sup>	704.77 ± 10.55 <sup>a</sup>	259.57 ± 11.12 <sup>c</sup>
7	乙酸戊酯 (pentyl acetate)	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1166.6	327.195	1.7828	280.71 ± 0.55 <sup>a</sup>	54.51 ± 3.05 <sup>c</sup>	80.89 ± 0.54 <sup>b</sup>
8	戊酸乙酯 (ethyl pentanoate)	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1149.1	312.061	1.6765	1601.49 ± 20.53 <sup>c</sup>	2398.96 ± 50.08 <sup>a</sup>	2006.01 ± 2.40 <sup>b</sup>
9	乙酸丁酯 (butyl acetate)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	1083.9	264.121	1.6222	1206.65 ± 45.91 <sup>a</sup>	703.92 ± 223.92 <sup>b</sup>	707.43 ± 20.67 <sup>b</sup>
10	丁酸乙酯 (Ethyl butanoate)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	1044.8	240.814	1.5659	1299.08 ± 16.55 <sup>a</sup>	1084.26 ± 5.55 <sup>a</sup>	892.39 ± 45.03 <sup>b</sup>
11	2-甲基丁酸甲酯 (methyl 2-methylbutanoate)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	1023.7	229.668	1.5459	573.05 ± 1.67 <sup>a</sup>	392.95 ± 6.75 <sup>b</sup>	397.89 ± 25.74 <sup>b</sup>

续表

count	compound	Formula	M <sub>w</sub>	RI	Rt[ sec ]	Dt [ RIP rel ]	Y1	Y2	Y3
12	乙酸异丁酯( Isobutyl acetate)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	1023.2	229.415	1.6128	254.15 ± 3.36 <sup>c</sup>	526.75 ± 10.62 <sup>b</sup>	625.30 ± 15.55 <sup>a</sup>
13	3-甲基丁酸乙酯( Ethyl 3-methylbutanoate)	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1075.9	259.054	1.6562	208.50 ± 8.00 <sup>a</sup>	104.85 ± 0.26 <sup>b</sup>	245.80 ± 0.38 <sup>a</sup>
14	乙酸丙酯( propyl acetate)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.1	986.6	212.188	1.4779	2655.79 ± 9.33 <sup>a</sup>	2159.21 ± 12.99 <sup>c</sup>	2399.38 ± 6.82 <sup>b</sup>
15	丙酸乙酯( ethyl propanoate)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.1	967.4	204.082	1.452	2248.96 ± 10.58 <sup>b</sup>	3056.31 ± 13.86 <sup>a</sup>	2368.17 ± 8.12 <sup>b</sup>
16	乙酸乙酯( Ethyl acetate)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.1	891.3	177.482	1.3359	3221.94 ± 0.09 <sup>a</sup>	1345.22 ± 0.20 <sup>b</sup>	3139.98 ± 8.10 <sup>a</sup>
17	乙酸异戊酯( Isoamyl acetate)	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1135.2	300.833	1.7481	681.05 ± 4.92 <sup>c</sup>	955.54 ± 69.64 <sup>b</sup>	1267.47 ± 4.61 <sup>a</sup>
18	乙酸仲丁酯( sec-butyl acetate)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	997.4	217.004	1.5939	1219.30 ± 6.44 <sup>c</sup>	4168.14 ± 4.04 <sup>a</sup>	2227.53 ± 0.43 <sup>b</sup>
19	甲酸乙酯( Ethyl formate)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74.1	834.5	162.259	1.1888	3040.30 ± 0.47 <sup>b</sup>	2159.21 ± 24.08 <sup>c</sup>	4186.56 ± 32.36 <sup>a</sup>
酮类									
1	2-辛酮( 2-Octanone)	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	128.2	1299.5	483.933	1.3317	135.95 ± 0.42 <sup>b</sup>	845.04 ± 36.88 <sup>a</sup>	924.38 ± 21.85 <sup>a</sup>
2	环己酮( Cyclohexanone)	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	98.1	1315	508.179	1.1614	81.37 ± 10.13 <sup>a</sup>	73.86 ± 22.47 <sup>a</sup>	75.17 ± 11.20 <sup>a</sup>
3	3-辛酮( 3-Octanone)	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	128.2	1296	478.678	1.7099	703.87 ± 14.15 <sup>a</sup>	34.34 ± 2.55 <sup>b</sup>	43.66 ± 2.71 <sup>b</sup>
4	2-庚酮( 2-Heptanone)	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	114.2	1194.1	353.249	1.6279	109.13 ± 2.01 <sup>a</sup>	26.63 ± 1.11 <sup>c</sup>	83.46 ± 4.38 <sup>b</sup>
5	己烷-2-酮( Hexan-2-one)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1081.5	262.601	1.5025	222.67 ± 10.85 <sup>a</sup>	94.20 ± 38.17 <sup>b</sup>	180.12 ± 7.38 <sup>a</sup>
6	4-甲基-2-戊酮( 4-Methyl-2-pentanone)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1012.5	224.095	1.4767	1488.54 ± 5.18 <sup>a</sup>	808.26 ± 14.79 <sup>b</sup>	812.72 ± 7.90 <sup>b</sup>
7	2-丁酮( 2-Butanone)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.1	910.8	183.562	1.2455	299.64 ± 6.59 <sup>b</sup>	894.07 ± 15.06 <sup>a</sup>	795.48 ± 9.90 <sup>a</sup>
count	compound	Formula	MW	RI	Rt[ sec ]	Dt [ RIP rel ]	Y1	Y2	Y3
8	丙酮( Acetone)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.1	811.3	156.963	1.1153	1539.54 ± 5.95 <sup>a</sup>	904.79 ± 6.44 <sup>c</sup>	1131.93 ± 7.21 <sup>b</sup>
吡嗪类									
1	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪( 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine)	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub>	136.2	1443.3	776.601	1.6664	4552.49 ± 0.49 <sup>a</sup>	1288.67 ± 266.67 <sup>c</sup>	2307.75 ± 146.01 <sup>b</sup>
2	2-乙基-6-甲基吡嗪( 2-ethyl-6-methylpyrazine)	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	122.2	1349.2	567.487	1.1771	3012.85 ± 3.67 <sup>a</sup>	1867.52 ± 2.74 <sup>b</sup>	1306.04 ± 24.48 <sup>c</sup>
3	2,5-二甲基吡嗪( 2,5-Dimethylpyrazine)	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	108.1	1295.5	477.94	1.5065	224.60 ± 8.64 <sup>a</sup>	33.22 ± 0.05 <sup>c</sup>	44.27 ± 1.49 <sup>b</sup>
单萜类									
1	α-蒎烯( alpha-Pinene)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	136.2	1063.4	251.454	1.6691	255.93 ± 3.33 <sup>b</sup>	148.59 ± 0.82 <sup>c</sup>	348.13 ± 17.38 <sup>a</sup>
2	柠檬烯( Limonene)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	136.2	1173.6	333.516	1.217	196.06 ± 4.05 <sup>b</sup>	48.84 ± 2.26 <sup>c</sup>	277.94 ± 10.66 <sup>a</sup>
醚类									
1	高顺式玫瑰醚( cis-rose oxide)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	154.3	1345.5	560.645	1.8032	466.46 ± 6.34 <sup>b</sup>	570.03 ± 4.56 <sup>a</sup>	280.53 ± 14.93 <sup>c</sup>
2	1,8-桉叶素( 1,8-cineole)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	154.3	1213.3	373.093	1.7238	622.54 ± 4.90 <sup>b</sup>	50.21 ± 0.90 <sup>c</sup>	772.71 ± 26.01 <sup>a</sup>
硫化物类									
1	二烯丙基二硫化物( diallyl disulfide, D)	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S <sub>2</sub>	146.3	1478.9	875.258	1.635	224.48 ± 5.42 <sup>b</sup>	130.61 ± 6.45 <sup>c</sup>	1738.11 ± 78.52 <sup>a</sup>
2	二烯丙基二硫化物( diallyl disulfide, M)	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S <sub>2</sub>	146.3	1477.1	870.184	1.1985	50.65 ± 6.03 <sup>b</sup>	51.42 ± 2.04 <sup>b</sup>	1127.42 ± 131.18 <sup>a</sup>
3	二烯丙基硫醚( Diallyl sulfide)	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S	114.2	1164.2	325.09	1.1212	26.52 ± 3.39 <sup>c</sup>	60.80 ± 4.67 <sup>b</sup>	403.53 ± 34.37 <sup>a</sup>

注:表中右侧三列数据为 Y1、Y2 和 Y3 三种样品检测到的风味组分离子峰体积,同一行不同字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

97.00%, 样品风味组分的所有数据降维之后所得的综合变量可在二位空间表达原有变量的绝大部分信息。组内实验结果分布集中,说明同种样品的分析具有良好的重现性;组间实验结果差异明显,表明 3 种酸汤风味组成差异显著,详见图 5。通过对指纹图谱及检测到的各组分的离子峰体积分析可知:在瓮臭味样品中,酸类物质中的戊酸(1860.73)、丁酸(20515.80)、2-甲基丙酸(2413.18),醛类物质中的苯甲醛(6274.68)、己醛(668.61),吡嗪类物质中的 3-乙基-2,5-二甲基吡嗪(4552.49)、2-乙基-6-甲基吡嗪(3012.85)、2,5-二甲基吡嗪(224.60)等物质的离子峰体积均大于轻微瓮臭味及正常红酸汤样品,而大多数的酯类、醇类物质的离子峰体积则在普通红酸汤中。具体结果详见表 3 及图 6。

### 3 讨论与结论

贵州红酸汤作为一种区域性的特色调味品,风味是其重要质量指标。为了全面地分析瓮臭味红酸汤和普通红酸汤的风味差异,本研究采用感官评价、电子鼻系统及具有前处理简单、分离能力强、灵敏度高<sup>[20]</sup>特点的顶空气相离子迁移谱技术对不同红酸汤样品进行了分析。结果表明,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。通过顶空气相离子迁移谱技术,3 种酸汤中共检测到明确的风味组分 64 种,包括酸(6 种)、醇(14 种)、醛(8 种)、酯(19 种)、酮(8 种)、吡嗪(3 种)、单萜(2 种)、醚(2

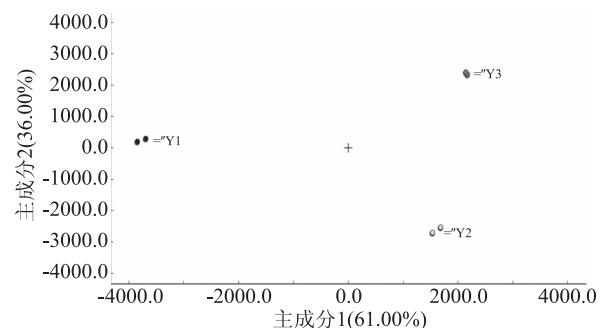


图 5 GC-IMS 对 3 种酸汤样品的 PAC 分析

Fig.5 PCA analysis of three red acid soup samples by GC-IMS

种)、硫化物(2 种)等 9 类化合物,与徐莉等通过气相质谱技术(GC-MS)从自然发酵红酸汤中检测到的风味组分数(55 种)相接近<sup>[8]</sup>。酸、醇、醛、酯、酮作为红酸汤中种类最多的 5 种化合物,醇类和酯类在瓮臭味酸汤中浓度均低于普通样品,酸类物质中的丁酸在严重瓮臭味(Y1)和轻度瓮臭味(Y2)样品中表现出较高浓度,其离子峰体积达到了 20515.80 和 18162.21,远高于普通样品(Y3)中的 13011.09。资料显示,丁酸是一种具有酸臭味的化学组分,在奶酪等发酵乳制品中较为常见<sup>[21]</sup>。因而,红酸汤中丁酸浓度异常可能是导致瓮臭味发生的原因之一。另外,本研究中检测到的酮类物质和含硫化合物多为芳香

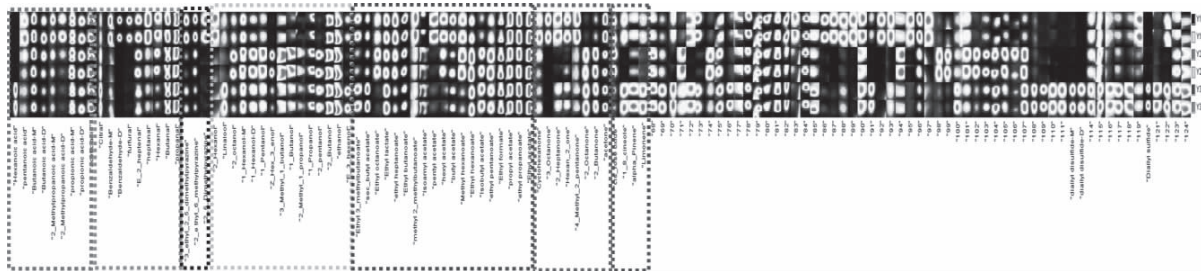


图6 不同红酸汤样品总体气相离子迁移谱指纹图谱

Fig.6 Fingerprint of gas-phase ion mobility spectrum in different red acid soup samples

注:图中每一行为一个样品,由其所含全部挥发性有机物信号峰组成;每一列为同一保留时间及漂移时间下的有机物(不同样品中相同的物质)的信号峰。红色区域为酸类物质;绿色区域为醛类物质;黑色区域为吡嗪类物质;橙色区域为醇类物质;紫色区域为酯类物质;蓝色区域为酮类物质;红棕色区域为醚类和单萜类物质。各组分对应位置的颜色深浅代表相应组分的含量高低。

性风味,吡嗪类主要产生坚果类香气。单萜类化合物离子峰体积较小,表明其含量较低,可能由西红柿中的组分经微生物次级代谢合成<sup>[18-19]</sup>。通过对指纹图谱和离子峰体积进行比较,醛类物质中的苯甲醛和己醛在瓮臭味酸汤中的浓度远高于轻微翁臭味及正常酸汤样品。相关研究表明:食品中醛类物质含量过高会导致不良风味的产生<sup>[22-25]</sup>。由此推测醛类物质的浓度变化也可能是红酸汤瓮臭味产生的重要原因。另外,气相离子迁移谱法对红酸汤风味组分的研究仍有较多局限,需要在未来的工作中通过气相嗅觉色谱和质谱等技术对其继续探索<sup>[26]</sup>。

### 参考文献

[1] 曾荣妹,韩琳,黄平.贵州红酸汤火锅调料的研究进展及工业化进程[J].食品与发酵科技,2014,50(5):72-75.  
 [2] 苗志伟,官伟,刘玉平.酱中挥发性风味物质的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(8):390-397.  
 [3] 张璇.贵州“红酸汤”半成品中微生物区系的研究[D].重庆:西南大学,2011.  
 [4] 后立琼.苗族酸汤中乳酸菌的分离鉴定及发酵动力学模型研究[D].雅安:四川农业大学,2012.  
 [5] 邹大维.凯里红酸汤营养成分分析与研究[J].中国调味品,2015,40(5):129-132.  
 [6] 熊瑛,寻颖颖,孙棣,等.高效液相色谱法测定酸汤中的有机酸[J].中国调味品,2012,37(7):71-73.  
 [7] 余越,黄先静,贺旭,等.4种贵州红酸汤中醛反式番茄红素的提取及含量测定[J].中国调味品,2017,42(4):129-133.  
 [8] 徐俐,戴岳宗.乳酸菌对酸汤挥发性物质的影响[J].食品科学,2008,29(11):505-509.  
 [9] 毛海立,代文,杨艳.发酵食品的风味物质及其检测方法研究进展[J].广州化工,2017,45(18):10-14.  
 [10] Ji Hyun Kim, Jae Yoon Cha, Tai Sun Shin, et al. Volatile flavor components of blended tea with fermented tea and herbs [J]. Prev Nutr Food Sci, 2018, 23(3): 245-253.  
 [11] Ledan Huang, Zufang Wua, Xiaoqian Chen, et al. Characterization of flavour and volatile compounds of fermented squid using electronic nose and HPMS in combination with GC-MS [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 760-770.

[12] Wu C, Zheng J, Huang J, et al. Reduced nitrite and biogenic amine concentrations and improved flavor components of Chinese sauerkraut via co-culture of *Lactobacillus plantarum* and *Zygosaccharomyces rouxii* [J]. Annals of Microbiology, 2014, 64(2): 847-857.  
 [13] Xie C, Zeng H, Wang C, et al. Volatile flavour components, microbiota and their correlations in different sufu, a Chinese fermented soybean food [J]. Journal of Applied Microbiology, 2018, 125(6): 1761-1773.  
 [14] 程沙沙,陈创,王卫国,等.一种基于离子迁移谱的气相色谱检测器及其应用[J].色谱,2011,29(9):901-907.  
 [15] 杨俊超,曹树亚,杨柳.气相色谱与离子迁移谱仪联用的研究[J].现代仪器与医疗,2014,20(3):20-24.  
 [16] Karpas Z. Ion mobility spectrometry: A personal retrospective [J]. International Journal for Ion Mobility Spectrometry, 2012, 15(1): 1-8.  
 [17] Borsdorf H, Mayer T, Zarejousheghani M, et al. Recent developments in ion mobility spectrometry [J]. Applied Spectroscopy Reviews, 2011, 46(6): 472-521.  
 [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 16291.1-2012 感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则 第1部分:优选评价员[S].北京:中国标准出版社,2019.  
 [19] 秦蓝,李风华,田怀香,等.鸡精调味料人工感官评价与电子鼻感官分析的相关性研究[J].食品与机械,2014,30(4): 11-13.  
 [20] 王辉,田寒友,李文采,等.基于顶空气相色谱-离子迁移谱技术的冷冻猪肉贮藏时间快速判别方法[J].食品科学,2019,40(2):277-282.  
 [21] 郑晓吉,刘飞,任全路,等.基于SPME-GC-MS法比较新疆哈萨克族不同居住区奶酪风味差异[J].食品科学,2018,39(8):83-89.  
 [22] Carrau F M, Medina K, Boido E, et al. De novo synthesis of monoterpenes by *Saccharomyces cerevisiae*, wine yeasts [J]. FEMS Microbiology Letters, 2010, 243(1): 107-115.  
 [23] Yoo S K, Day D F. Bacterial metabolism of  $\alpha$ - and  $\beta$ -pinene and related monoterpenes by *Pseudomonas* sp. strain PIN [J]. Process Biochemistry, 2002, 37(7): 739-745.

(下转第227页)

hyperspectral imaging for prediction of springiness of fresh chicken meat [J]. *Food Analytical Methods*, 2015, 8 (2): 380-391.

[5] 张玉斌, 邵晶晶, 刘金鑫, 等. 天然抗氧化剂对冷却藏羊肉贮藏过程中脂质氧化影响的研究 [J]. *肉类工业*, 2017 (12): 13-18.

[6] Grotta L, Castellani F, Palazzo F, et al. Treatment optimisation and sample preparation for the evaluation of lipid oxidation in various meats through TBARs assays before analysis [J]. *Food Analytical Methods*, 2017, 10 (6): 1870-1880.

[7] Wu X, Song X, Qiu Z, et al. Mapping of TBARs distribution in frozen-thawed pork using NIR hyperspectral imaging [J]. *Meat Science*, 2016, 113: 92-96.

[8] Xiong Z, Sun D, Pu H, et al. Non-destructive prediction of thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) value for freshness evaluation of chicken meat using hyperspectral imaging [J]. *Food Chemistry*, 2015, 179: 175-181.

[9] 李莹, 张伟敏, 黄海珠, 等. 国内外猪肉质量快速无损检测技术的研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2017, 38 (20): 208-213.

[10] 朱亚东, 何鸿举, 王慧, 等. 近红外光谱技术应用于生鲜禽肉质量检测的研究进展 [J]. *食品科学*, 2019: 1-11.

[11] Talens P, Mora L, Morsy N, et al. Prediction of water and protein contents and quality classification of Spanish cooked ham using NIR hyperspectral imaging [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117 (3): 272-280.

[12] 龚艳, 汤晓艳, 王敏, 等. 近红外光谱法对鸡肉品种的快速无损鉴别 [J]. *食品科学*, 2015, 36 (16): 148-152.

[13] 蒋圣启. 近红外高光谱联用 Stepwise 算法快速无接触评估冷鲜鸡肉色泽及嫩度 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40 (13): 125-133.

[14] 王正伟, 王家云, 王松磊, 等. 基于 VIS/NIR 高光谱成像技术检测鸡肉嫩度 [J]. *食品科技*, 2015, 40 (11): 270-274.

[15] Jia B, Yoon S, Zhuang H, et al. Prediction of pH of fresh chicken breast fillets by VNIR hyperspectral imaging [J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 208: 57-65.

[16] 王辉, 田寒友, 邹昊, 等. 短波近红外光谱快速无损检测

生鲜鸡肉胆固醇含量 [J]. *肉类研究*, 2016, 30 (3): 29-32.

[17] Khulal U, Zhao J, Hu W, et al. Nondestructive quantifying total volatile basic nitrogen (TVB-N) content in chicken using hyperspectral imaging (HSI) technique combined with different data dimension reduction algorithms [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 1191-1199.

[18] 李文采, 刘飞, 田寒友, 等. 基于高光谱成像技术的鸡肉菌落总数快速无损检测 [J]. *肉类研究*, 2017, 31 (3): 35-39.

[19] 王名星. 基于嗅觉可视化和近红外光谱技术的鸡肉中假单胞菌快速识别研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2017.

[20] Cheng W, Sun D, Cheng J. Pork biogenic amine index (BAI) determination based on chemometric analysis of hyperspectral imaging data [J]. *LWT*, 2016, 73: 13-19.

[21] He H, Sun D. Selection of Informative spectral wavelength for evaluating and visualising enterobacteriaceae contamination of salmon flesh [J]. *Food Analytical Methods*, 2015, 8 (10): 2427-2436.

[22] He H, Sun D. Toward enhancement in prediction of *Pseudomonas* counts distribution in salmon fillets using NIR hyperspectral imaging [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 62 (1): 11-18.

[23] 熊振杰. 基于高光谱成像技术的鸡肉品质快速无损检测 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.

[24] He H, Sun D, Wu D. Rapid and real-time prediction of lactic acid bacteria (LAB) in farmed salmon flesh using near-infrared (NIR) hyperspectral imaging combined with chemometric analysis [J]. *Food Research International*, 2014, 62: 476-483.

[25] Liu L, Ngadi M O. Predicting intramuscular fat content of pork using hyperspectral imaging [J]. *Journal of Food Engineering*, 2014, 134: 16-23.

[26] Chen Y, Sun D, Cheng J, et al. Recent advances for rapid identification of chemical information of muscle foods by hyperspectral imaging analysis [J]. *Food Engineering Reviews*, 2016, 8 (3): 336-350.

[27] 汪希伟. 基于光谱成像的猪肉新鲜度检测方法 [D]. 南京: 南京林业大学, 2014.

(上接第 196 页)

[25] Foster T J. The MSCRAMM family of cell-wall-anchored surface proteins of gram-positive cocci [J]. *Trends in Microbiology*, 2019, 27 (11): 927-941.

(上接第 221 页)

[24] Moio L, Addeo F. Grana Padano cheese aroma [J]. *Journal of Dairy Research*, 1998, 65 (2): 317-333.

[25] Raffaella Di Cagno, Rosalinda F. Surico, Annalisa Paradiso, et al. Effect of autochthonous lactic acid bacteria starters on health-promoting and sensory properties of tomato juices [J].

[26] 文华, 裴晓方, 占利, 等. 洗必泰 MIC 作用下大肠杆菌和金黄色葡萄球菌 SDS-PAGE 图谱的变化 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2003, 13 (5): 586-588.

*International Journal of Food Microbiology*, 2009, 128 (3): 473-483.

[26] Song H, Liu J. GC-O-MS technique and its applications in food flavor analysis [J]. *Food Research International*, 2018, 114 (7): 187-198.

传播科研知识, 共享科技成果