

尹航,周文红,白云霞,等. 基于电子鼻、气相-离子迁移谱(GC-IMS)法分析广西螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲风味 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 281-288. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070197

YIN Hang, ZHOU Wenhong, BAI Yunxia, et al. Analysis of the Flavor of Guangxi Luosi-Noodle and Luosi-Hot-Pot by Electronic Nose and Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(9): 281-288. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070197

· 分析检测 ·

# 基于电子鼻、气相-离子迁移谱 (GC-IMS) 法分析广西螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲风味

尹 航,周文红,白云霞,刘小玲\*  
(广西大学轻工与食品学院,广西南宁 530000)

**摘 要:** 本文采用气相离子-迁移谱联用技术 (gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS), 结合电子鼻分析方法, 对市场上 12 个具有代表性的螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲进行检测, 通过 LAV 软件对样品挥发性物质的主成分、指纹图谱、相似度加以分析。电子鼻分析显示, 螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲挥发性物质差异主要源自氮氧化物、甲基类化合物; GC-IMS 结果显示, 三组样品共发现 134 个挥发性组分 (volatile organic compounds, VOCs), 在已定性的 38 个 VOCs 中, 有 33 种物质均在螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲检测到, 造成差异的 5 个物质来自醛类和酯类; 电子鼻和 GC-IMS 分析结果均表明, 螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲 VOCs 相似, 相似度得分达到同类食品标准。研究表明, GC-IMS 不仅可以通过“指纹”准确直观地分析样品共同及差异特征, 而且可通过相似度得分具体量化样品之间的差异大小, 此方法在样品风味差异分析中具有优势, 但受限于定性普库不全, 目前仍需结合其他成熟的风味研究方法。

**关键词:** 螺蛳粉, 螺蛳鸭脚煲, 气相离子迁移谱, 风味

中图分类号: TS254.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)09-0281-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070197

## Analysis of the Flavor of Guangxi Luosi-Noodle and Luosi-Hot-Pot by Electronic Nose and Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS)

YIN Hang, ZHOU Wenhong, BAI Yunxia, LIU Xiaoling\*

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530000, China)

**Abstract:** This paper used gas chromatography-ion mobility spectrometry(GC-IMS)and electronic nose analysis to analyze 12 representative Luosi-noodle and Luosi-hot-pot in the market. The main components, fingerprints and similarity of volatile substances in the samples were analyzed by LAV software. According to the analysis of electronic nose, the difference of volatile matter between Luosi-noodle and Luosi-hot-pot were nitrogen oxides and methyl compounds. The result of GC-IMS showed that volatile organic compounds (VOCs) were found in three groups of samples. In 38 qualitative VOCs, 33 compounds were detected both existed in Luosi-noodle and Luosi-hot-pot. 5 compounds were from aldehydes and esters. The results of electronic nose and GC-IMS analysis showed that Luosi-noodle and Luosi-hot-pot had the same VOCs, and the similarity score reached the same food standard, and the similarity score showed that they belonged to the same food category. Research showed that GC-IMS could not only accurately and intuitively analyze the similarities and differences of the samples through “fingerprints”, but also quantify the differences between samples according to the degree of similarity. This method has advantages in the analysis of the flavor difference of sample, but there is a lack of qualitative sampling, it still needs to be combined with other mature flavor research methods.

收稿日期: 2020-07-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0400105)。

作者简介: 尹航 (1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程, E-mail: 18845452666@163.com

\* 通信作者: 刘小玲 (1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全, E-mail: 13877173857@163.com。

**Key words:** Luosi-noodle; Luosi-hot-pot; gas chromatography-Ion mobility spectrometry (GC-IMS); flavor

螺蛳粉是广西柳州一种地方特色的小吃,是广西当地居民主要的快餐食品。近年来,柳州螺蛳粉因其独特的风味及营销模式迅速红遍全国,2018年柳州螺蛳粉从地方小吃迅速发展成为近80亿元产值规模的民族特色食品产业<sup>[1]</sup>。尽管螺蛳粉快速成为网红食品,但对其开展的基础研究和应用技术研究仍然非常有限,仅限于对食材、配方、加工工艺步骤等方面的应用研究<sup>[2-3]</sup>。尽管螺蛳粉的地方标准的建立对螺蛳粉的质量有了一定的评价和控制依据,但其风味上的评价过多依赖于感官描述。不同产品间可能因原料工艺等的不同而产生品质的差异,造成产品品质稳定性难以控制。

近年来,餐饮店的螺蛳鸭脚煲也深受消费者欢迎,成为步螺蛳粉之后极具潜力进行工业化转型的特色民族食品。这两类产品都以广西地方特色的食材——酸笋以及螺蛳(石螺)为主要原料,产品风味上呈现鲜、咸、酸、辣、烫等特征。螺蛳鸭脚煲和螺蛳粉两者加工所用食材相近,但其制作工艺、原辅料配比、食材处理等方式有一定差别,从而导致两者在风味感受上既相似又有差异。目前关于螺蛳鸭脚煲研究几乎为空白,从而制约了此类产品的标准化及工业化生产。

气相离子-迁移谱联用技术(gas chromatography-Ion mobility spectrometry, GC-IMS)是近年来开始在食品行业得到应用的新型风味研究的分析方法。GC-IMS具有方法简单、灵敏度高、选择性强、检测过程高效快速等特点<sup>[4-5]</sup>,得到越来越多研究者的青睐,已经在食品质量、货架期、掺伪、原产地保护等方面的检测中得到应用<sup>[6-10]</sup>,如 Garrido-Delgado 等<sup>[11]</sup>使用 GC-IMS 技术对橄榄油质量评估。

为准确描述和评价螺蛳粉、螺蛳鸭脚煲等此类具有“螺蛳”风味的产品的风味特征,本研究团队通过市场调研和问卷调查,寻找到消费者评价度高的螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲品牌作为样品。采用电子鼻、GC-IMS 技术对样品进行分析,确定其中挥发性物质的构成,并通过 GC-ISM 主成分分析、指纹图谱比对,建立螺蛳风味“指纹”,为螺蛳风味产品研发及生产标准建立检测指标;通过分析螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲风味差异,为螺蛳鸭脚煲工业化工艺和配方设计可否借鉴已成熟的螺蛳粉工业化生产工艺提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

根据课题组的调研问卷分析(问卷内容包括螺蛳粉、螺蛳鸭脚煲的特殊风味、关键原辅料、品牌嗜好性等问题,通过问卷星软件在网络发布,共回收404份有效答卷,了解消费者对螺蛳风味食品的认知情况),从消费者评价度最佳的餐饮螺蛳粉和工业化螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲中采样,共采集12个代表性产

品,其基本信息如表1所示。

表1 采集样品信息  
Table 1 Information of collected samples

样品代码	样品品名	类别	品牌
LN-A1	螺蛳粉	餐饮产品	粉之都
LN-A2	螺蛳粉	餐饮产品	爱民
LN-A3	螺蛳粉	餐饮产品	柳玉南
LN-A4	螺蛳粉	餐饮产品	五角星
LN-B1	螺蛳粉	工业产品	螺霸王
LN-B2	螺蛳粉	工业产品	华A
LN-B3	螺蛳粉	工业产品	韩太
LN-B4	螺蛳粉	工业产品	好欢螺
LY-C1	螺蛳鸭脚煲	餐饮产品	老表记
LY-C2	螺蛳鸭脚煲	餐饮产品	柳玉南
LY-C3	螺蛳鸭脚煲	餐饮产品	五角星
LY-C4	螺蛳鸭脚煲	餐饮产品	螺霸王

PEN3 电子鼻 德国 AIRSENSE 公司; FlavourSpec®食品风味分析仪含 CTC 自动顶空进样器、Laboratory Analytical Viewer(LAV) 分析软件、GC × IMS Library Search 软件及软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库 德国 G.A.S 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 样品的前处理 餐饮螺蛳粉样品(A):从当地餐饮店带回实验室,用纱布滤除残渣,取汤汁,待冷却至室温进行检测;工业化螺蛳粉样品(B):参考产品食用方法煮制,用纱布滤除残渣,取汤汁,待冷却至室温进行检测;螺蛳鸭脚煲样品(C):从当地餐饮店带回实验室,用纱布滤除残渣,取汤汁,待冷却至室温进行检测。

1.2.2 电子鼻分析方法 用顶空瓶从12个样品中抽取气体进行检测。参照邝格灵等<sup>[12]</sup>的方法,稍作修改。样品间隔时间1s,清洗时间60s,归零时间10s,样品准备时间5s,测定时间200s,载气流速200 mL/min,进样流量200 mL/min,平行测定两次。电子鼻传感器信息为W1C(对芳香成分、苯类化合物灵敏)、W5S(对氮氧化物灵敏)、W3C(对芳香成分、氨类化合物灵敏)、W6S(对氢化物灵敏)、W5C(对短链烷烃芳香成分灵敏)、W1S(对甲基类化合物灵敏)、W1W(对硫化物灵敏)、W2S(对醇类、醛酮类灵敏)、W2W(对有机硫化物灵敏)、W3S(对长链烷烃灵敏)。

1.2.2.1 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的风味分析 将传感器检测到的原始数据导出,通过 Origin 9.0 软件制作雷达图。

1.2.2.2 基于电子鼻方法的螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的主成分分析(Principal Component Analysis, PCA) 通过电子鼻自带的 PCA 插件生成。

1.2.3 GC-IMS 分析方法 参考 Gallegos 等<sup>[13]</sup>方

法,略加修改。取 1 mL 样品至 20 mL 顶空进样瓶,设置 1 组平行对照,准备进样。孵化温度 60 ℃,孵化时间 10 min,进样方式为顶空进样,进样体积 500  $\mu$ L,进样针温度 65 ℃,加热方式为振荡加热,振荡速度 500 r/min,不分流,清洗时间 5 min。

色谱柱: FS-SE-54-CB-1; 石英毛细管柱(15 m  $\times$  0.53 mm, 0.5  $\mu$ m); 色谱柱温度: 50 ℃; 载气: N<sub>2</sub>(纯度  $\geq$  99.999%); 载气流速: 初始流速 0~2 min, 2 mL/min; 2~10 min, 2~20 mL/min; 10~20 min, 20~100 mL/min; 20~30 min, 100~150 mL/min; 分析时间 30 min。

漂移管长度: 98 mm; 管内线性电压: 500 V/cm; 漂移管温度: 45 ℃; 漂移气: N<sub>2</sub>(纯度  $\geq$  99.999%); 漂移气流量: 150 mL/min; 放射源:  $\beta$  射线(氚, <sup>3</sup>H); 离子化模式, 正离子。

### 1.2.3.1 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 VOCs 二维谱图

样品检测生成的原始数据通过 GC-IMS 自带的 LAV 软件制作 VOCs 二维谱图。

### 1.2.3.2 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 VOCs 定性

通过 GC-IMS Library Search 软件与内置的 NIST 2014 气相保留指数数据库与 G.A.S 的 IMS 迁移时间数据库二维定性。

### 1.2.3.3 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 VOCs 指纹图谱特征分析

样品检测生成的原始数据通过 GC-IMS 自带的 LAV 软件的 Gallery 插件制作指纹图谱。

### 1.2.3.4 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 VOCs 相似度分析

样品检测生成的原始数据通过 GC-IMS 自带的 LAV 软件的 Gallery 插件中的 Matching Analytics 插件分析 VOCs 相似度。

### 1.2.3.5 基于 GC-IMS 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 PCA 分析

样品检测生成的原始数据通过 GC-IMS 自带的 LAV 软件的 PCA 插件分析样品主成分。

## 1.3 数据处理

采用 Excel 2019、Origin 9.0 软件对数据进行统计和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 电子鼻对螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的风味响应

#### 2.1.1 螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲的雷达图

图 1 为餐饮螺蛳粉、工业螺蛳粉、螺蛳粉鸭脚煲三组样品的电子鼻响应雷达图。

由图 1 可知,电子鼻对三组样品有明显响应,其中工业螺蛳粉与餐饮螺蛳粉雷达图轮廓相似,说明工业螺蛳粉气味仿真程度高。螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲的雷达图有一定差异,差异主要体现在 2 个传感器 W5S(对氮氧化物灵敏), W1S(对甲基类化合物灵敏),说明螺蛳鸭脚煲与螺蛳粉的主要差异来自氮氧化物、甲基类化合物。大部分风味食品中都会存在甲基类化合物,其中甲基吡嗪类化合物是影响食品风味的关键化合物<sup>[14-16]</sup>。螺蛳鸭脚煲在 W1S 的响应值明显高于螺蛳粉,而两者大部分原料和制作工艺相

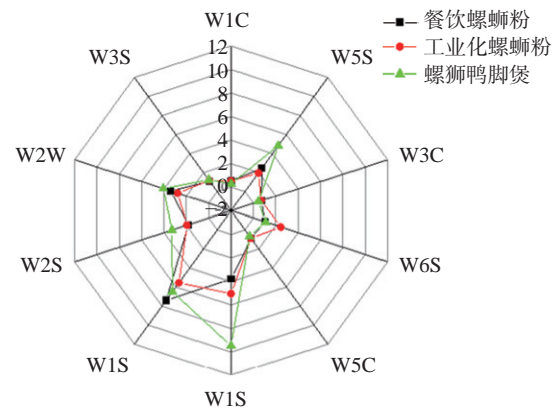


图 1 电子鼻检测螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的风味雷达图

Fig.1 The radar fingerprint of Luosi-noodle and Luosi-hot-pot by E-nose

注:图中餐饮螺蛳粉、工业化螺蛳粉、螺蛳鸭脚煲的电子鼻响应值分别为三组内样品响应值的平均值。

似,差异的来源可能来自螺蛳鸭脚煲独有的鸭脚、芋头、紫苏等食材造成的。

#### 2.1.2 基于电子鼻方法的 PCA

餐饮螺蛳粉、工业螺蛳粉、螺蛳粉鸭脚煲三组样品的 PCA 见图 2。

PC1 和 PC2 贡献率分别为 74.31% 和 13.73%, 总贡献率为 88.04%, 说明主成分可以很好的反映样品的挥发性气味特征。如图 2 所示, A、B 两组差异不明显, 8 个样品中有 6 个样品聚集在一起(分别是 A1、A2、A3、B1、B2、B3), 说明大部分餐饮螺蛳粉与工业螺蛳粉样品的挥发性组分相似。A、B 两组与 C 组分类相对明显, 可以明显区别出是两类产品。第一主成分中, C 与 B 的部分样品相似(如 B4、C3), 但螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲整体样品有一定差异, 说明螺蛳鸭脚煲与螺蛳粉具有一定相似性, 但仍存在差异。

## 2.2 GC-IMS 法分析螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲风味特征

#### 2.2.1 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 GC-IMS 分析

图 3 为螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 GC-IMS 二维谱图, 纵坐标为 GC 分离时 VOCs 的保留时间, 横坐标为 IMS 分离 VOCs 相对于反应离子峰的漂移时间。反应离子峰右侧的每一个斑点代表一种 VOCs, 蓝色为背景, 红色代表物质成分, 颜色越深表示含量越高。通过对比相同 Rt(保留时间)和 Dt(漂移时间)区域 VOCs 差异反映出样品间的挥发性化合物差异。

由图 3 所示, 三组样品的 VOCs 通过 GC-IMS 得到了很好的分离, 可以明显地看出样品间 VOCs 的差异。在 12 个样品的二维谱图中共发现 134 个斑点, A 组与 B、C 两组的差异集中在 RT150~300 s 之间, C 组与 A、B 两组的差异集中在 RT300~500 s 之间。

#### 2.2.2 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 VOCs 定性

通过 GC-IMS 内置的 NIST2014 气相保留指数数据库与 G.A.S 的 IMS 迁移时间数据库二维定性, 在 12 个样品中共检测到的 134 个挥发性物质(包含同分异构

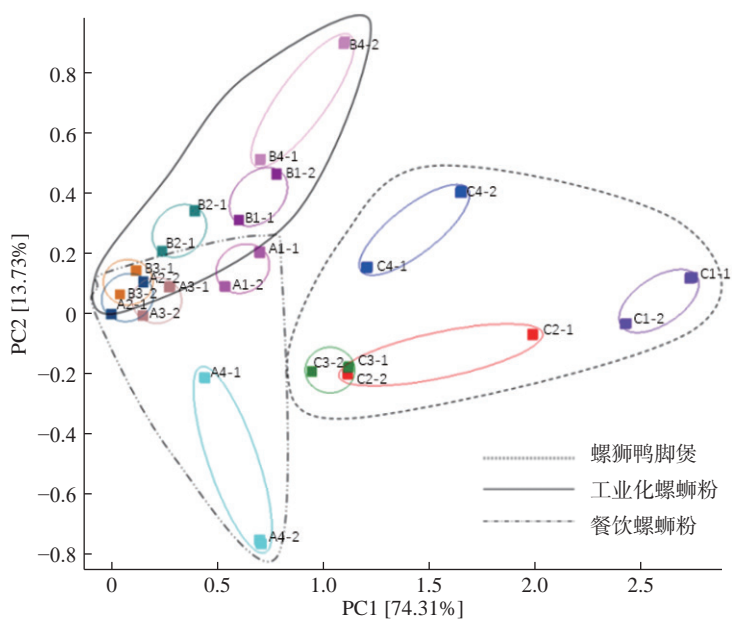


图 2 样品的主成分分析图

Fig.2 Principal component analysis of the samples

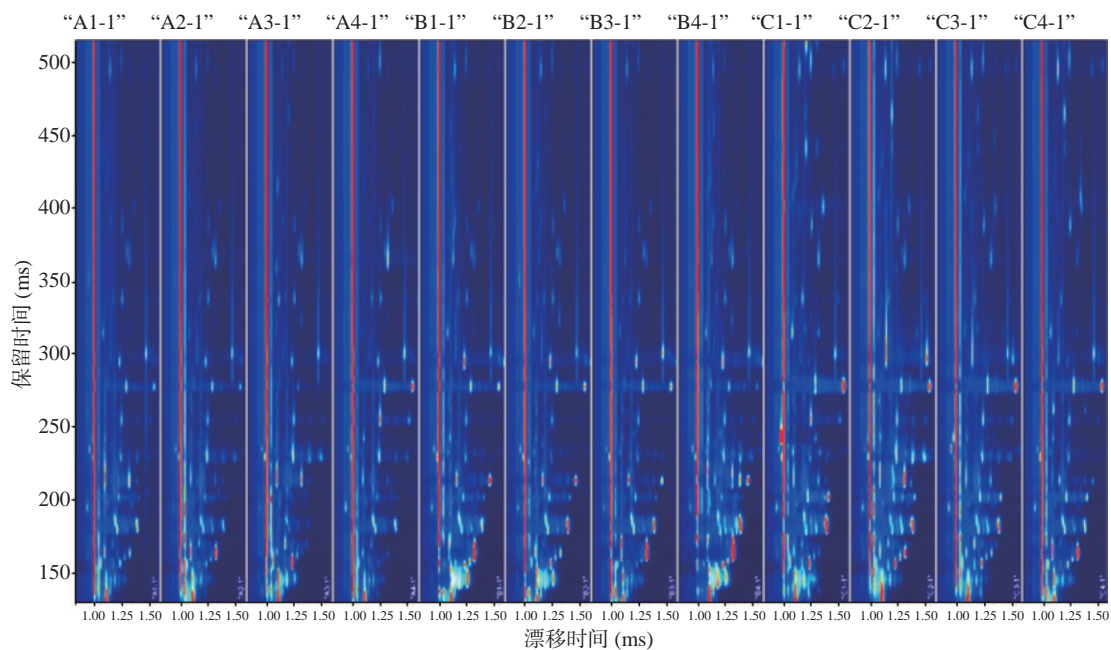


图 3 样品的 GC-IMS 二维谱图比较

Fig.3 Comparison of two-dimensional GC-IMS spectra of samples

注: 从左到右依次为 LN-A1、LN-A2、LN-A3、LN-A4、LN-B1、LN-B2、LN-B3、LN-B4、LY-C1、LY-C2、LY-C3、LY-C4; 纵坐标代表 Rt, 横坐标代表 Dt。

体), 共定性 38 种挥发性物质。由表 2 可见, 样品定性的挥发性物质, 包含醇类 12 种; 酮类 8 种; 醛类 7 种; 酯类 6 种; 硫化物 1 种; 烃类 2 种; 吡嗪 1 种; 酚类 1 种。

由表 2 可知, 在已定性的 38 中化合物中, 其中有 33 种化合物均在 12 个样品中检测到, 造成差异的 5 个物质来自醛类、酯类化合物。

三组样品中共定性出醛类 7 种。己醛是一种带有刺激性气味化合物, 在 A、B 均检测到, 而 C 没有, 类似于己醛这种分子含量较小的醛类通常是由脂质

氧化产生的<sup>[17-18]</sup>。也有研究证明, 己醛是由腐败菌产生<sup>[19-20]</sup>。差异的来源可能来自螺蛳粉中特有的炸豆皮、炸花生等易氧化的食材, 也可能来自酸笋等发酵食材的加工处理方式不同。

三组样品共定性酯类 6 种, 样品间 VOCs 差异主要来自酯类化合物。酯类一般是组成酒风味的重要物质, 其中己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯被称为中国白酒风味构成中四大主要酯类<sup>[21-23]</sup>。三组样品均检测到丁酸乙酯, 而乙酸乙酯只在工业化螺蛳粉样品中发现。在我国大部分传统菜肴处理原

表 2 全部样品的 GC-IMS 挥发性组分定性  
Table 2 Qualitative analysis of GC-IMS volatile components of all samples

分类	编号	名称	气味描述	三组样品挥发性组分构成			
				A	B	C	
醇类	1	苯乙醇	玫瑰	+	+	+	
	2	2-乙基己醇	甜味、花香	+	+	+	
	3	1-辛烯-3-醇	蘑菇、薰衣草、玫瑰	+	+	+	
	4	苜醇	杏仁	+	+	+	
	5	正己醇	清新果香	+	+	+	
	6	2-己烯醇M	未成熟果实	+	+	+	
		2-己烯醇D		+	+	+	
	7	1-戊醇M	杂醇油气味	+	+	+	
		1-戊醇D		+	+	+	
	8	3-甲基-3-丁烯-1-醇M	一种无刺激性气味	+	+	+	
		3-甲基-3-丁烯-1-醇D		+	+	+	
	9	乙醇	酒味、刺激性辛辣	+	+	+	
	10	正丁醇	酒味	+	+	+	
	11	桉叶油醇	樟脑样香气和清凉味	+	+	+	
	12	异丁醇	刺激性、特殊气味	+	+	+	
13	2-庚酮	梨香	+	+	+		
14	环己酮	泥土气息	+	+	+		
15	2-己酮	刺激性气味	+	+	+		
酮类	16	2-戊酮M	酒、丙酮味	+	+	+	
		2-戊酮D		+	+	+	
	17	2-丁酮M	丙酮味、特殊辛辣气味	+	+	+	
		2-丁酮D		+	+	+	
	18	2,3-丁二酮	稀释后呈奶油香气	+	+	+	
	19	丙酮	芳香气味	+	+	+	
	20	2,3-戊二酮	奶油、焦糖	+	+	+	
	醛类	21	苯甲醛M	杏仁	+	+	+
			苯甲醛D		+	+	+
		22	苯乙醛	类风信子香气、水果甜香	+	+	+
23		己醛M	刺激性气味	+	+	-	
		己醛D		+	-	-	
24		异丁醛	刺激性气味	+	+	+	
25		戊醛	特殊香味	+	+	+	
26		异戊醛	恶心的气息、稀释后有水果香气	+	+	+	
27	3-甲硫基丙醛	酱香、洋葱香、红烧肉香	+	+	+		
酯类	28	乙酸异戊酯M	香蕉气味	+	+	-	
		乙酸异戊酯D		+	+	-	
	29	异戊酸乙酯M	水果香气	+	+	-	
		异戊酸乙酯D		+	+	-	
	30	乙酸丁酯M	果香	-	+	-	
		乙酸丁酯D		-	+	-	
	31	乙酸乙酯M	水果香味	+	+	+	
		乙酸乙酯D		+	+	+	
	32	丙酸乙酯M	菠萝香味	-	+	-	
		丙酸乙酯D		-	+	-	
33	丁酸乙酯M	甜果香、浓度高有脂肪臭味	+	+	+		
	丁酸乙酯D		+	+	+		
其他	34	$\alpha$ -蒎烯	松节油、干燥木材、树脂香气	+	+	+	
	35	$\beta$ -蒎烯		+	+	+	
	36	2-甲基吡嗪	坚果香、霉香、烤香、壤香	+	+	+	
	37	二甲基二硫	恶臭	+	+	+	
	38	对甲苯酚	芳香气味	+	+	+	

注:表中M代表单体,D代表多聚体;“+”代表检测到化合物,“-”代表没有检测到化合物;A代表A1、A2、A3、A4共检测到的挥发性组分;B代表B1、B2、B3、B4共检测到的挥发性组分;C代表C1、C2、C3、C4共检测到的挥发性组分。

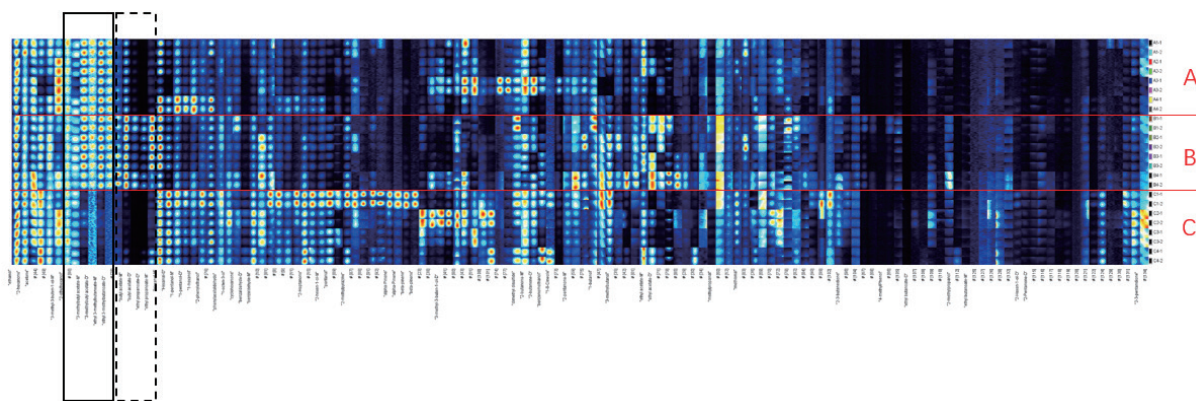


图 4 三组样品的 Gallery Plot 图

Fig.4 Gallery Plot of three groups of samples

注: 每个样品设置 1 组平行, 每 2 行分别代表同一个样品, 从上至下; 每 2 行分别代表 A 组: LN-A1、LN-A2、LN-A3、LN-A4; B 组: LN-B1、LN-B2、LN-B3、LN-B4; C 组: LY-C1、LY-C2、LY-C3、LY-C4。

材料或煮制工艺中有加入酒的习惯, 除了有去腥提鲜的功效, 还可以在风味物质间相互结合的过程中贡献特殊风味<sup>[24]</sup>。由于螺蛳粉、螺蛳鸭脚煲在制作中涉及肉制品, 并且螺蛳粉工厂也将白酒作为酱料的原料, 一些酯类物质可能来自于料酒和白酒。

2.2.3 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 VOCs 指纹图谱特征分析 图 4 是利用仪器 FlavourSpec®系统自带 LAV 软件内置的 Gallery Plot 插件所建立的 12 个样品的 GC-IMS 二维谱图(图 3)中 VOCs 的指纹图谱。指纹图谱可以直观的对比不同样品间挥发性有机物的差异, 可以用于产品风味特征对比、是否符合风味标准、鉴别真伪等。每一行代表一个样品, 每一列代表一种化合物。

在指纹图谱中可以看出 A、B、C 三组样品风味明显不同, 且大致可按组分类; 实线方框区域为螺蛳粉的特征风味物质, 包含异戊酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸丁酯等, 乙酸丁酯在 A 组样品中的含量较少; 虚线方框区域为 B 组的特征风味物质, 包含乙酸丁酯、丙酸乙酯等。

2.2.4 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 VOCs 相似度分析 LAV 软件的 Gallery Plot 插件可以根据指纹图谱数据进行样品间相似度分析, 相似度分数和相交颜色深浅代表样品间 VOCs 的相似程度, 满分为 100 分。相似度分析图见图 5、样品相似度得分见表 3。

如图 5 所示。大部分螺蛳粉样品相交的颜色较深, 说明比较相似。除个别样品, 螺蛳鸭脚煲样品的组内和组间的相似性比较差。

如表 3 所示, 相似度在 60 左右可以被认为是同一类样品, 相似度在 80 以上被认为极为相似的样品, 相似度在 90 以上被认为是同一样品<sup>[25]</sup>。餐饮螺蛳粉组内样品 VOCs 的相似度非常高, 相似得分均为 79, 工业化螺蛳粉样品 VOCs 的相似度也很高, 相似得分均在 75.5, 说明各品牌螺蛳粉的特征风味一致, 各品牌风味有非常高的相似度。餐饮螺蛳粉与工业化螺蛳粉的相似得分为 73.1, 可以被认为是非常相

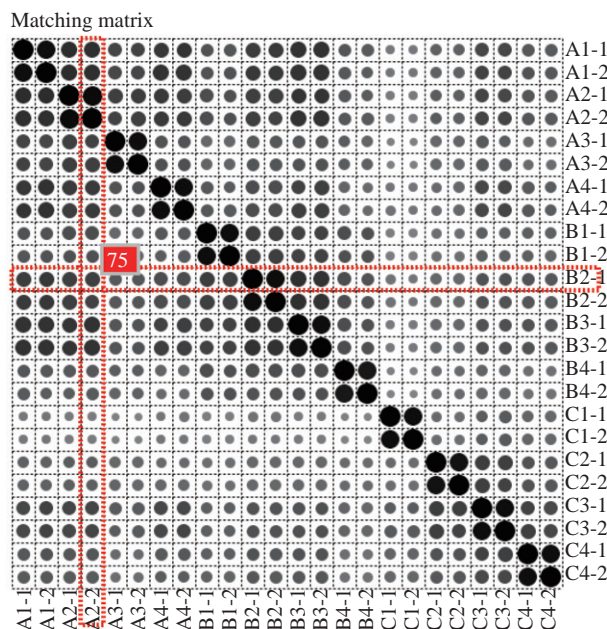


图 5 基于 GC-IMS 数据的样品相似度分析

Fig.5 Sample similarity analysis by GC-IMS

似的样品, 说明工业化螺蛳粉可以很好地还原餐饮螺蛳粉的风味特征。而螺蛳鸭脚煲组内样品 VOCs 相似度得分在 60 左右, 说明各品牌螺蛳鸭脚煲的特征风味不明显, 品牌间风味差异大。螺蛳鸭脚煲与螺蛳粉相似度得分为 58, 可以定义为同一类样品, 说明螺蛳鸭脚煲与螺蛳粉风味相似, 可以将螺蛳鸭脚煲与螺蛳粉归为“螺蛳风味”食品。

2.2.5 基于 GC-IMS 螺蛳粉和螺蛳鸭脚煲的 PCA 分析 利用 LAV 软件对三组样品进行主成分分析, 结果如图 6 所示。

从图 6 中可知, 12 个样品的平行组差异较小, 且可以直观地区分 A、B、C 三组样品, 对比电子鼻的 PCA 结果(图 2)可以看出, GC-IMS 在检测样品 VOCs 差异方面更加灵敏和稳定。A 组与 B 组样品聚集度高, C 组样品聚集度较差, 说明 A、B 两组内样品主成分相似, C 组内样品主成分差异较大; 第一

表 3 样品的相似度得分  
Table 3 similarity score of sample

LN-A1	LN-A2	LN-A3	LN-A4	LN-B1	LN-B2	LN-B3	LN-B4	LY-C1	LY-C2	LY-C3	LY-C4	
97	82	78	80	72	75	79	70	53	57	74	57	LN-A1
	96	79	79	73	75	75	71	51	59	69	56	LN-A2
		95.5	76	70	73	72	70	49	58	64	51	LN-A3
			98	71	76	76	72	55	57	65	53	LN-A4
				95	77	74	74	53	54	62	51	LN-B1
					96	77	75	55	57	61	52	LN-B2
						94.5	76	52	53	60	57	LN-B3
							99	48	52	56	54	LN-B4
								98	55	58	57	LY-C1
									99	66	61	LY-C2
										95.5	67	LY-C3
											97.5	LY-C4

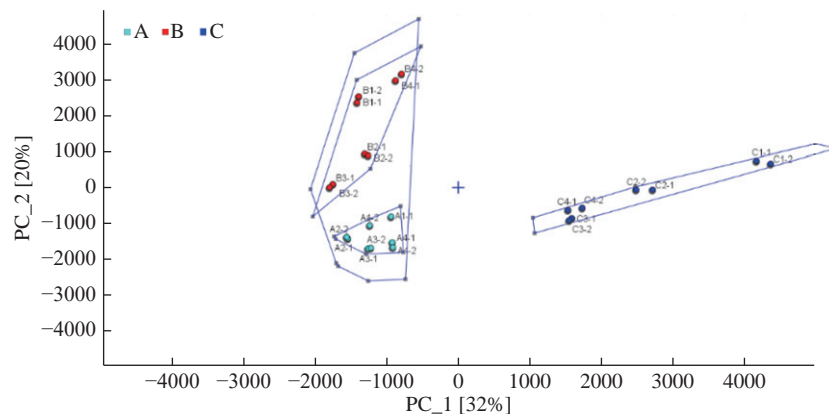


图 6 基于 GC-IMS 数据的样品主成分分析

Fig.6 Principal component analysis of samples by GC-IMS

主成分中, A、B 样品非常相似, C 与 A、B 有明显差异。结合第二主成分, A、B 两组相对于 C 组来说, 亦可分为一类, 但 A、B 两组仍存在一定的差异性, 说明工业化生产工艺对螺蛳粉风味存在影响。结合指纹图谱和相似度分析结果, GC-IMS 在 PCA 分析结果中也同样得出了餐饮螺蛳粉与工业螺蛳粉风味高度相似。

### 3 结论

通过电子鼻和 GC-IMS 实验结果可以看出, 在样品差异性分析中, GC-IMS 通过指纹图谱、PCA、指纹图谱和相似度分析的方法可以更直观、更灵敏的展示出样品的差异。在定性分析中, GC-IMS 虽然可以精准定性 VOCs, 但受限于谱库不全, 分析效果较为局限。电子鼻可以通过传感器对不同类挥发性化合物的灵敏度不同, 将样品整体 VOCs 进行分类分析, 研究发现螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲 VOCs 差异主要来自氮氧化物和甲基类化合物。

广西螺蛳粉从餐饮小吃转型为工业化产品的过程中, 产品的风味能得到有效保持, 风味保真性较好; 不同品牌的工业化螺蛳粉具有高度一致性, 解决了传统食品向工业化转化中的标准化问题。螺蛳鸭脚煲产品尽管也是一个具有发展潜力的餐饮产品, 目前还未呈现出一致性的典型风味特征, 其工业化技术开发

中仍需要深入探讨其风味特征及风味形成机制, 为进一步实现该产品工业化奠定理论基础。

### 参考文献

- [1] 钟寰, 贺亮军, 陈婧. 从街边小店到上亿产值广西柳州螺蛳粉小米粉成就大产业[J]. 农业工程技术, 2018, 38(21): 49-50.
- [2] 杨伟军. 柳州螺蛳粉的生产工艺技术研究[J]. 食品工业, 2017, 38(8): 80-83.
- [3] 邱思, 刘中科, 黄姝洁. 柳州螺蛳粉汤料制备工艺特点及方法研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(3): 115-117.
- [4] 葛含光, 张民, 崔颖, 等. 离子迁移谱技术及其在食品检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(2): 391-398.
- [5] 谢景丽, 李元景, 陈志强, 等. 离子迁移谱及其联用技术在食品检测中的应用[J]. 现代食品, 2018(6): 100-106.
- [6] Garrido-Delgado R, Mercader-Trejo F, Sielemann S, et al. Direct classification of olive oils by using two types of ion mobility spectrometers[J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 696(1-2): 108-115.
- [7] Arroyo-Manzanares N, Martin-Gomez A, Jurado-Campos N, et al. Target vs spectral fingerprint data analysis of Iberian ham samples for avoiding labelling fraud using headspace - gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Chemistry, 2018, 246: 65-73.
- [8] 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): 269-274.

- [9] 肖冬来,张迪,黄小菁,等.香菇挥发性风味成分的气相色谱-离子迁移谱分析[J].福建农业学报,2018,33(3):309-312.
- [10] 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.
- [11] Garrido-Delgado R, Mar Dobao-Prieto M, Arce L, et al. Ion Mobility spectrometry versus classical physico-chemical analysis for assessing the shelf life of extra virgin olive oil according to container type and storage conditions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(8): 2179-2188.
- [12] 邝格灵,王新宇,李树,等.基于电子鼻与气相色谱-质谱联用区分不同陈酿期恒顺香醋风味物质的差异性[J].食品科学,2019,41(12):228-233.
- [13] Gallegos J, Garrido-Delgado R, Arce L, et al. Volatile metabolites of goat cheeses determined by ion mobility spectrometry. potential applications in quality control[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(7): 1699-1709.
- [14] 张世仙,余永华,张素英. GC-MS 分析自制豆豉中挥发性风味化合物的研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(7): 101-104.
- [15] 海绪成. 焦香麦芽特征风味及其在焙焦过程中变化规律研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2019.
- [16] 高晓玲. 花生中香味成分的研究与分析[J]. 生物技术世界, 2012, 10(2): 41-43.
- [17] Rabe S, Krings U, Berger R G. Influence of oil-in-water emulsion characteristics on initial dynamic flavour release[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(11): 1124-1133.
- [18] 吴娜,王锡昌,陶宁萍,等.动物源食品中脂质氧化降解对香气物质形成的作用[J].中国食品学报,2016,16(7):209-215.
- [19] Casaburi A, Nasi A, Ferrocino I, et al. Spoilage-related activity of carnobacterium maltaromaticum strains in air-stored and vacuum-packed meat[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2011, 77(20): 7382-7393.
- [20] Argyri A A, Mallouchos A, Panagou E Z, et al. The dynamics of the HS/SPME-GC/MS as a tool to assess the spoilage of minced beef stored under different packaging and temperature conditions[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 193: 51-58.
- [21] 戴奕杰,李宗军,田志强,等.酱香型白酒的轮次酒以及“二次制曲”过程中的风味物质分析[J].食品研究与开发,2019,40(19):24-32.
- [22] 马宇,黄永光.清酱香型白酒挥发性风味组分及香气特征[J].食品科学,2019,40(20):241-248.
- [23] 孙菲菲.优良猕猴桃酒酵母优选及猕猴桃酒香气调控技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [24] Yao S, Zhai L, Xin C, et al. Scopulibacillus daqui sp nov., a thermophilic bacterium isolated from high temperature daqui[J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2016, 66(11): 4723-4728.
- [25] 张铭杰.油浸蒜泥加工工艺及其保藏的研究[D].泰安:山东农业大学,2019.