料酒腌制对油炸罗非鱼风味的变化分析

赵笑颍，秦雅莉，沈圆圆，尹航，刘小玲

（广西大学轻工与食品工程学院，广西南宁 530004）

摘要：本研究采用感官评定、电子鼻和顶空气相色谱-离子迁移谱（HS-GC-IMS）探究不同料酒（啤酒、白酒、黄酒）腌制罗非鱼，比较其油炸后的风味差异，并对其挥发性物质进行比较分析。结果表明，感官评定显示，料酒腌制后的油炸罗非鱼相较于未腌制的样品，其酒香味、肉香味明显增强，金属味、中药味和土腥味明显减弱。电子鼻检测出氮氧化合物、甲基类和醛酮类是油炸罗非鱼的重要的挥发性物质，且不同料酒腌制的油炸罗非鱼挥发性成分明显不同。GC-IMS 共检测出 49 种物质，鉴定出壬醛、呋喃、己醛、苯甲醛、2-己酮、1-辛烯-3-醇、丙酸乙酯、(E)-2-丁烯醛为所有样品的共有物质，总体呈现出油脂香、果香味、叶香味、土腥味。不同料酒腌制后的油炸鱼均能检测出壬醛、己醛、己酮和戊醇，酒香味和肉香味增强，腥味减弱。然而，具有辛辣味道的物质(E)-2-戊烯醛和 4,4-二甲基庚烷仅在白酒腌制的油炸罗非鱼和黄酒腌制的油炸鱼检测出来，说明白酒腌制和黄酒腌制对油炸鱼的风味有负面作用。而啤酒腌制能够有效增强油炸鱼的肉香味，降低土腥味。结合感官评定分析，啤酒腌制对提升油炸罗非鱼风味效果最佳。本研究结果为改善油炸罗非鱼的加工工艺提供了数据基础和理论参考。

关键词：油炸罗非鱼；料酒；风味物质；电子鼻；顶空气相色谱-离子迁移谱（HS-GC-IMS）

文章篇号：1673-9078(2021)03-233-240 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.3.0733

Analysis of Cooking Wine Pickling on Flavor of Fried *Tilapia*

ZHAO Xiao-ying, QIN Ya-li, SHEN Yuan-yuan, YIN Hang, LIU Xiao-ling

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In this study, sensory evaluation, electronic nose detection and headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) analysis were performed to investigate the deep-fried tilapia pre-marinated with different cooking wines (beer, white liquor and yellow liquor), and compare the flavor differences post deep-frying, and analyze the volatile compounds. The results of sensory evaluation showed that compared with the unmarinated fish sample, the wine aroma and meat flavor of the deep-fried tilapias pre-marinated with a cooking wine were significantly enhanced, while the metallic smell, traditional Chinese medicine smell and earthy odor were significantly weakened. The electronic nose detection revealed that nitrogen oxides, methyls, aldehydes and ketones were important flavor components of deep-fried tilapia, with the volatile components of deep-fried tilapias pre-marinated with different cooking wines being significantly different. A total of 49 substances were detected by GC-IMS, with nonaldehyde, furan, hexanal, benzaldehyde, 2-hexanone, 1-octene-3-ol, ethyl propionate, (E)-2-butenal being the common substances in all analyzed samples (which exhibited oily, fruity, leafy and earthy odors). Nonanal, hexanal, hexanone and pentanol were detected in deep-fried fish pre-marinated with different cooking wines, with their wine aroma and meat flavor being enhanced while the fishy smell being weakened. However, the pungent substances, (E)-2-pentenal and 4,4-dimethylheptane, were detected only in the deep-fried fish pre-marinated with white liquor and yellow liquor, indicating that the marination with white liquor and yellow liquor had negative effects on the flavor of deep-fried fish. The meat flavor and earthy smell were effectively enhanced and reduced, respectively, for the deep-fried fish pre-marinated with beer. Combined with sensory evaluation, the flavor of deep-fried tilapia was enhanced effectively after the marination with beer. The results of this study provide a data basis and theoretical reference for improving the processing of deep-fried tilapia.

引文格式：

赵笑颍,秦雅莉,沈圆圆,等.料酒腌制对油炸罗非鱼风味的变化分析[J].现代食品科技,2021,37(3):233-240

ZHAO Xiao-ying, QIN Ya-li, SHEN Yuan-yuan, et al. Analysis of cooking wine pickling on flavor of fried *Tilapia* [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 233-240

收稿日期：2020-08-04

基金项目：国家重点研发计划项目（2018YFD0901003）

作者简介：赵笑颍（1998-），女，硕士，研究方向：食品加工与安全

通讯作者：刘小玲（1972-），女，博士，教授，研究方向：海洋水产资源开发与营养风味健康

Key words: deep-fried tilapia; cooking wine; flavor compounds; electronic nose; headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS)

罗非鱼（*Tilapia*）属热带性鱼类，其肉质鲜美，营养丰富，在我国南方地区广泛养殖[1]。目前，淡水鱼常用的加工方式主要包括水煮、热蒸和油炸等。通过热加工方式，鱼肉的外形、营养和风味物质会根据一系列的化学反应发生变化[2,3]。随着生活节奏的加快，油炸方便食品深受广大消费者的喜爱。并且食品经过油炸，色泽和风味发生很大的变化。研究者对草鱼、鳗鱼和罗非鱼等淡水鱼等油炸处理做了大量的研究[4-6]。然而，鱼肉存在固有的腥味令消费者难以接受，经过油炸后的鱼肉虽风味得到了极大的改善，但自身的腥味仍然存在，为了更好的保留鱼肉的特殊风味且去腥，本实验采用料酒腌制，对新鲜鱼进行加工处理。

料酒具有去腥、增香、杀菌等功效，专门用于烹饪调味，在我国已有很久的使用历史。近几十年来，啤酒、白酒和黄酒等均能用作料酒，使烹饪的菜肴口味更加鲜美。白酒中所含有较高的乙醇能使肉类中具有腥味的蛋白和胺类物质挥发掉，且不破坏肉的蛋白和酯类，达到去腥、调香和防腐的目的[7,8]。啤酒因为其独特的苦味和香味，经过啤酒腌制的肉制品，具有淡淡的啤酒香，且滋味独特，被广大消费者喜爱[9,10]。黄酒具有口感清爽、营养丰富和香气浓郁的特点，是我国古老的酒类之一[11]。使用黄酒对肉制品进行腌制处理，黄酒中的部分呈味物质与肉制品的风味前体物质发生反应，生成挥发性风味物质，赋予肉制品独特的风味[12]。目前，已有学者研究了料酒对肉制品挥发性风味的影响。陈丽艳[13]等人以糟鹅为原料，发现通过白酒腌制，糟鹅的风味物质明显增多。Lou[14]采用黄酒酒糟对鸭肉进行腌制处理，发现通过酒糟腌制的鸭肉呈现更丰富的脂质氧化香气，使鸭肉呈现出更特殊的香气。经过啤酒腌制的阳朔啤酒鱼[15]，由于其独特的风味，而成为广西壮族自治区的特色食品。然而，鲜少有人研究不同料酒腌制对水产品风味的影响。

本实验采用电子鼻技术和顶空气相离子迁移谱(HS-GC-IMS)对比分析不同料酒对油炸罗非鱼产生的风味进行分析，同时通过感官评价对不同料酒腌制的油炸罗非鱼的整体香气轮廓进行分析，为进一步改进油炸鱼的加工工艺提供实验基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜罗非鱼，食用盐（加碘食盐），金龙鱼大豆油，购于广西大学北京华联超市。

1.2 仪器与设备

XJ-6K116 电炸锅，爱思杰电器（深圳）有限公司；PEN3 便携式电子鼻，德国 AIRSENSE 公司；FlavourSpec1H1-00053FlavourSpec®型气相色谱-离子迁移谱，德国 GAS 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 原料处理

选取净重 500 g 的鲜活罗非鱼宰杀、去除鳃、内脏和鱼鳞等，清洗干净。用 2%（质量比）的食盐和 5%（质量比）不同的料酒[16]（白酒、啤酒、黄酒）分别腌制 1 h 后，置于 180 ℃的大豆油中油炸 3 min，沥去油分，得到实验样品。未经过料酒腌制的油炸鱼样品作为空白样品。将所有样品置于-20 ℃冰箱备用，用于分析分析测定样品。

1.3.2 感官评价

参考部分文献[17,18]略作修改，对料酒腌制的油炸罗非鱼的气味特征感官词进行整合，分为脂肪味、金属味、中药味、土腥味、肉香味、焦糖味、霉味、酒香。选取 10 人组成小组，对油炸罗非鱼进行感官评价。感官评价小组首先对气味代表物质进行熟悉，油脂味（壬醛）、金属味（七水合硫酸亚铁）、中药味（中药包）、土腥味（三甲胺）、肉香味（2-甲基-3-巯基呋喃）、焦糖味（麦芽酚）、霉味（2-甲基异莰醇）、酒香（乙醇）。熟悉后参考表 2 的打分标准，采用 6 点间隔强度法（0=无、5=极强）对不同的油炸罗非鱼进行描述性感官分析，进行打分。

表 1 料酒的产品信息

Table 1 Product information of cooking wines

品牌	品种	厂家	酒精度	生产日期	特征
漓泉	啤酒	燕京啤酒(桂林漓泉)股份有限公司	3.5%	2019/10/14	清爽型
桂林三花酒	白酒	桂林三花酒股份有限公司	52%	2019/9/28	米香型
花雕酒	黄酒	绍兴三江酒厂	15%	2019/11/18	半干型

表 2 油炸罗非鱼感官评定标准

Table 2 Standards of sensory evaluation for fried *Tiapia*

项目	脂肪味	肉香味	酒香味	焦糖味	土腥味	金属味	中药味	霉味
不存在	0	0	0	0	0	0	0	0
刚好识别	1	1	1	1	1	1	1	1
弱	2	2	2	2	2	2	2	2
中等	3	3	3	3	3	3	3	3
强	4	4	4	4	4	4	4	4
很强	5	5	5	5	5	5	5	5

1.3.3 电子鼻分析

根据文献[19]参照。称取 3.0 g 样品置于顶空瓶中，然后将顶空瓶用螺旋帽密封，使用 PEN3 型电子鼻进行分析。检测时间为 340 s，清洗时间为 200 s，进样流量为 300 mL/min；载气流速为 300 mL/min。传感器响应信号在 150 s 后稳定，选取在其响应值相对稳定的时间点进行分析。

1.3.4 顶空气相离子迁移谱（HS-GC-IMS）分析

顶空气相离子迁移谱（HS-GC-IMS）[20,21]参照，取 2.0 g 样品以 1:3（g/mL）的料液比加入饱和食盐水置于 20 mL 顶空进样瓶中，密闭封口后上机检测。顶空萃取条件：振荡器温度：50 ℃，振荡速度：500 r/min，振荡时间：8 min，进样针温度：50 ℃，进样量：100 μL。离子迁移谱条件：进样口温度：60 ℃，载气：N_2（纯度≥99.999%），色谱柱温度：40 ℃，色谱柱流量：50 mL/min。漂移管温度：50 ℃，漂移气流量：250 mL/min。通过比较 GC-IMS Library 中的标准物质对挥发性化合物进行定性。

1.4 数据分析

使用仪器配套的分析软件 LAV（Laboratory Analytical Viewer）和三款插件以及 GC×IMS Library Search。运用分析软件 LAV 对特征风味物质进行定性分析；运用 Reporter 插件构建挥发性化合物的差异图谱，Gallery 插件生成挥发性有机物指纹图谱。数据的处理，使用 Excel 对数据进行整理；使用 Origin 2018 进行图表的绘制处理。

2 结果与分析

2.1 感官评定分析料酒腌制对油炸罗非鱼的影响

通过对不同的油炸罗非鱼风味感官剖面分析，得到图 1。如图所示，不同油炸罗非鱼间的风味强度和特征性差异明显。相较于空白样品，料酒腌制的油炸罗非鱼，其金属味、中药味和土腥味明显减弱，而酒香味、肉香味增强，说明料酒能明显改变油炸罗非鱼的风味。白酒腌制样品的酒香味、脂肪味和焦糖味明显高于其他样品，其中的酒香味最明显，说明白酒对油炸罗非鱼的酒香味贡献更大，这可能是白酒中的酒精含量过高的原因[22]。黄酒腌制样品与其余酒样品比较，其霉味、焦糖味和金属味提高，土腥味减弱，这是由于黄酒不仅含有酒精，而且含有呈味的氨基酸，对改善油炸鱼风味有一定的效果[23]。啤酒腌制的油炸罗非鱼，其脂肪味和肉香味最高，金属味、中药味、土腥味和霉味最低，可能是因为啤酒含有酒精，但酒精含量较低，酒精具有去除食物异味，诱导食物香味的作用[24]。并且啤酒含有多种氨基酸、维生素以及糖类，可以去腥、增香[25]。因此，可知料酒腌制对油炸罗非鱼的风味起到明显的改善作用，且料酒的不同对油炸罗非鱼的风味影响不同。其中啤酒腌制的油炸罗非鱼肉香味明显最高，白酒腌制的油炸罗非鱼酒香味最为显著；黄酒腌制的油炸罗非鱼霉味明显高于其他样品。

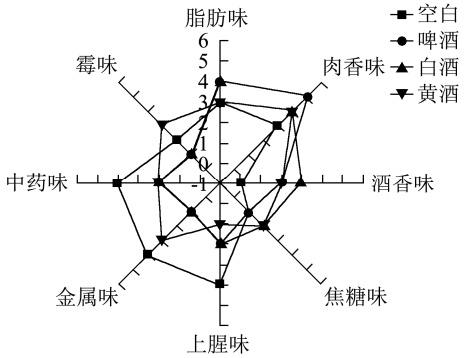


图 1 不同料酒腌制的油炸罗非鱼的感官评定剖面图

Fig.1 Sensory evaluation profile graph of fried *Tilapias* pickled with different cooking wine

2.2 电子鼻分析料酒腌制对油炸罗非鱼的影响

2.2.1 不同料酒腌制油炸罗非鱼的传感器响应值分析

电子鼻是一个可以获得与样品挥发性化合物相关信息且对对油炸罗非鱼中风味进行表征的感官分析仪器[26,27]。采用电子鼻对不同料酒腌制油炸罗非鱼的整体气味进行分析，不同样品的 10 个传感器响应值分别取平均值后，绘制成传感雷达图。如图 2 所示，相对于空白样品，料酒腌制的油炸罗非鱼的传感器 W1W、W5S、W1S、W2W 和 W2S 普遍增高，其中 W1W 对无机硫化物敏感、W5S 对氮氧化合物敏感、W1S 对甲基类敏感、W2W 对有机硫化物敏感而 W2S 对醇醛酮类敏感，说明料酒腌制提高油炸罗非鱼的氮氧化合物、硫化物、甲基类和醛酮类等挥发性成分。从图中可知，白酒腌制的油炸罗非鱼相较于黄酒和啤酒腌制，其中 W1W（无机硫化物）、W5S（氮氧化合物）、W1S（甲基类）、W2W（有机硫化物）和 W2S（醇醛酮）的响应值较高，与刘芳[28]的研究结果相似，酒精度数升高，挥发性物质的含量增加。且其中的 W5S（氮氧化合物）响应值最高。而黄酒腌制的油炸罗非鱼传感器 W1W（无机硫化物）、W5S（氮氧化合物）、W1S（甲基类）、W2W（有机硫化物）和 W2S（醇醛酮）的响应值，普遍高于啤酒腌制，低于白酒腌制，且甲基类化合物在黄酒腌制的油炸罗非鱼中含量较高。说明黄酒腌制对油炸罗非鱼中的甲基类物质影响最大。而啤酒腌制的油炸罗非鱼中传感器 W1S（甲基类）响应值最高。说明料酒腌制能够明显提高油炸罗非鱼的部分挥发性物质。

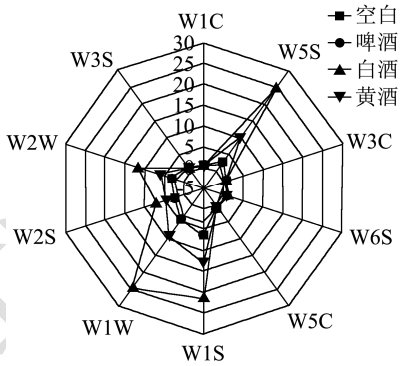


图 2 不同料酒腌制的油炸罗非鱼的传感器雷达图分析

Fig.2 Analysis of Sensor radar diagram of fried *Tilapias* pickled with different cooking wine

2.2.2 不同料酒腌制油炸罗非鱼的 PCA 以及 LDA 分析

主成分分析(PCA)是将所提取的电子鼻传感器信息进行转换和降维的一种数据分析方法，一般总贡献率大于 85%便能较好地反映全部特征[29,30]。如图 3 所示，第一、第二主成分的总贡献率为 99.91%，超过了 85%，说明两个主成分能够很好的反应油炸罗非鱼的主要特征信息。如图 3 可知，从同个样品之间的距离上看，空白、啤酒和黄酒腌制样品的数据点最为集中，而白酒腌制的数据点离散度较高，说明空白、啤酒和黄酒腌制样品的自身整体风味轮廓接近，而白酒腌制样品自身的差异性较大。从不同样品之间的距离上看，4 个样品在横坐标上能够明显分开，说明第一主成分能够明显区分 4 个样品。在纵坐标上，白酒样品与其他 3 个样品距离较近，说明 4 个样品间的风味存在相似性。

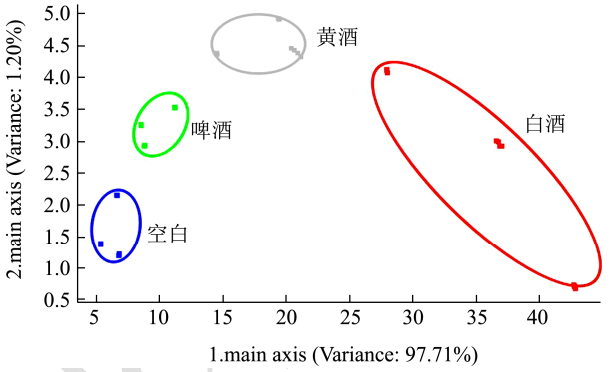


图 3 不同料酒腌制的油炸罗非鱼的 PCA 图

Fig.3 PCA chart of fried *Tilapias* pickled with different cooking wine

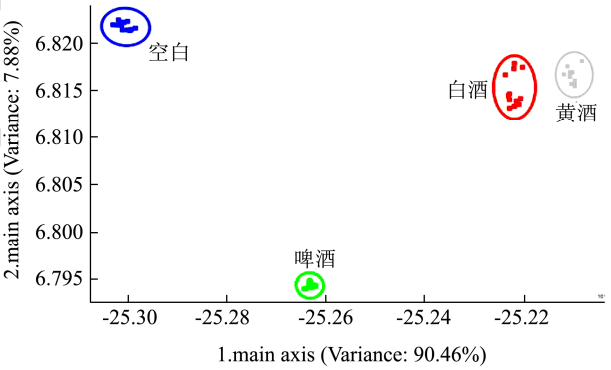


图 4 不同料酒腌制的油炸罗非鱼的 LDA 图

Fig.4 PCA chart of fried *Tilapias* pickled with different cooking wine

LDA 与 PCA 相比，更能增大同一类别内的分布，提高分类的精确性[31]。如图 4 的 LDA 图分析，第一主成分贡献率为 90.46%，第二主成分贡献率为 7.88%，总贡献率 98.34%。两个主成分能够很好的反应原始数据的主要特征信息。从图中的椭圆区域的距离看，样品间的距离较大，样品间的差异性较明显。结合 PCA 图和 LDA 图，空白、白酒、啤酒和黄酒腌制的油炸罗非鱼能够得到很好的区分，说明不同料酒腌制的油炸罗非鱼风味组分有较大的差异。

2.3 顶空气相离子迁移谱（HS-GC-IMS）分析

料酒腌制对油炸罗非鱼风味的影响

2.3.1 不同料酒腌制油炸罗非鱼的二维图谱分析

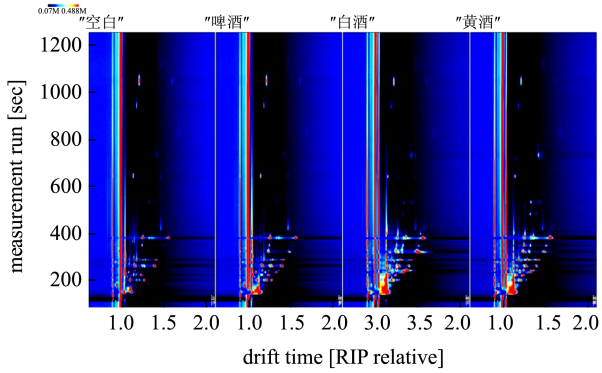


图 5 不同料酒腌制的油炸罗非鱼对应的 GC-IMS 二维谱图

Fig.5 GC-IMS two dimensional spectra of fried *Tilapias* pickled with different cooking wine

通过 GC-IMS Laboratory Analytical Viewer 软件的 Reporter 插件程序制作出不同油炸罗非鱼的二维图谱，如图 5 所示，从左到右依次是空白样品、啤酒腌制样品、白酒腌制样品和黄酒腌制样品。图谱可以直观的比较不同油炸罗非鱼的风味物质差异。如图 5 所示，横坐标表示漂移时间，纵坐标表示反应离子峰，离子峰附近的红点均表示样品的挥发性物质，颜色的深浅表示挥发性物质浓度的大小[32]。由图 5 可知，料酒腌制的油炸罗非鱼与空白样品相比，挥发性物质的含量和种类增多，并有部分挥发性物质消失。与项怡[33]的研究结果相似，添加料酒腌制，气味物质发生较大的变化。其中白酒腌制样品和黄酒腌制样品的挥发性物质变化更明显。为进一步更直观地对比不同样品挥发性物质的差异，选取信号峰进行指纹图谱比对。

2.3.2 不同料酒腌制油炸罗非鱼的指纹图谱分析

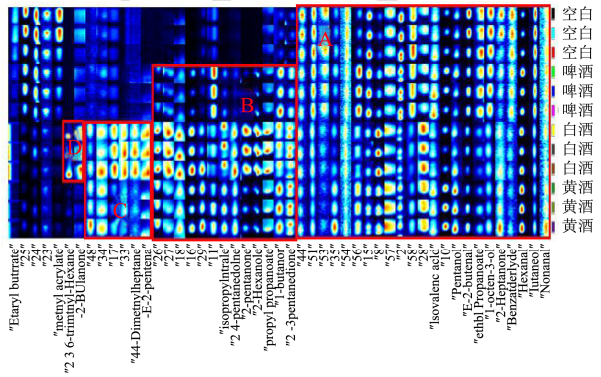


图 6 不同料酒腌制的油炸罗非鱼挥发性物质的指纹图谱

Fig.6 Fingerprint of volatiles of fried *Tilapias* pickled with different cooking wine

根据特征峰的选取原则，将不同的挥发性物质对应的特征峰进行分类排序。由图 6 可知，共检测出 49 种物质，定性的有 23 种物质。该图横坐标为为不同的挥发性成分，已定性的用其名称表示；未定性的物质用编号表示。纵坐标显示不同的样品的名称，从上至下分别表示空白样品，啤酒样品、白酒样品以及黄酒样品。其中，每一横行代表的是一次检测样品所选取的全部信号峰，每一纵列代表的是同一挥发性成分在不同样品中的信号峰[34]。

根据图 6 和表 3 可知，区域 A，包括挥发性物质壬醛、呋喃、己醛、苯甲醛、己酮、1-辛烯-3-醇、丙酸乙酯、(E)-2-丁烯醛、2-庚酮、戊醇和异戊酸，这几类挥发性物质在所有样品中均能检测出来，总体呈现出油脂香、果香味、叶香味、土腥味等。但是经过料酒腌制的油炸罗非鱼苯甲醛、1-辛烯-3-醇、丙酸乙酯、(E)-2-丁烯醛和异戊酸含量降低，壬醛、己醛、己酮和戊醇含量增加，呈现的土腥味和果香味降低，脂肪味和酒香味增强。在前人的研究中，使用料酒腌制，其腥味物质明显减少[35]。区域 B 为料酒腌制样品的共同挥发性物质，包括 2,3-戊二酮、1-丁醇、丙酸丙酯、2-戊酮、2,4-戊二酮和硝酸异丙酯。其中 2-戊酮、2,4-戊二酮和硝酸异丙酯在白酒腌制样品中的含量较高，在啤酒腌制样品中的含量较低，所呈现的辛辣味在白酒腌制的样品中更突出。区域 C 中，已知的挥发性组分(E)-2-戊烯醛和 4,4-二甲基庚烷在白酒腌制和黄酒腌制的样品中被检测出来，且在白酒腌制样品含量较高。这两种物质主要提供刺激性气味，所以白酒腌制增强油炸罗非鱼的刺激性气味。区域 D 中，已知的挥发性物质 2-丁酮、2,3,5-三甲基己烷和丙烯酸甲酯仅在白酒腌制的样品中检测出来。综上所述，白酒腌制样品的挥发性物质种类多且含量较高，但多为呈现辛辣味的挥发性物质。黄酒腌制样品的挥发性物质含量仅次于白酒腌制，同样，产生大量令人不愉快的味道。而啤酒腌制的挥发性物质含量相对较少，但主要提供油脂味、肉香味和酒香味。王一涵[36]等人发现，啤酒含有低醇和大量的麦芽多酚，对某些腥味物质不仅有溶解及挥发性能，且可与酮类物质和有机酸发生反应，生成香气物质。而白酒因为高浓度的乙醇含量，产生较大的酒糟味。吴涛[37]的研究表示，通过黄酒进行腌制处理，会产生刺鼻的黄酒味，令人感到不适，与实验结果一致。综上所述，不同的料酒腌制对油炸罗非鱼的风味的影响明显不同，与电子鼻的检测结果相符。结合感官评定分析，啤酒对提高油炸罗非鱼风味效果最佳。

表 3 GC-IMS 对不同料酒腌制的油炸罗非鱼的挥发性物质的定性分析

Table 3 Volatiles identified in fried *Tilapias* pickled with different cooking wine by GC-IMS

序号	化合物名称	Compounds	CAS 号	分子号	RI	Rt(sec)	Dt(RIPrel)	呈味特征
1	2-丁酮	2-butanone	C78933	C_4H_8O	679.8	238.278	1.1713	辛辣味
2	丙烯酸甲酯	methyl acrylate	C96333	$C_4H_6O_2$	602.5	197.378	1.2719	辛辣味
3	己醛	Hexanal	C66251	$C_6H_{12}O$	807.3	381.599	1.2623	果、木、草
4	1-辛烯-3-醇	1-octene-3-ol	C3391864	$C_8H_{16}O$	950.1	645.442	1.1527	土腥味
5	丁酸乙酯	Ethyl butyrate	C105544	$C_6H_{12}O_2$	759.2	365.317	1.1612	果香
6	2,3,5-三甲基己烷	2,3,5-trimethyl-hexane	C1069530	C_9H_20	776.2	340.343	1.2163	刺激性
7	(E)-2-戊烯醛	(E)-2-pentenal	C1576870	C_5H_8O	642.0	215.397	1.1291	-
8	2-戊酮	2-pentanone	C107879	$C_5H_{10}O$	723.5	277.393	1.1259	辛辣味
9	4,4-二甲基庚烷	4,4-Dimethylheptane	C1068195	C_9H_20	805.2	378.808	1.365	-
10	2,4-戊二酮	2,4-pentanedione	C123546	$C_5H_8O_2$	905.3	542.062	1.1198	刺激气味
11	1-丁醇	1-butanol	C71363	$C_4H_{10}O$	652.7	221.103	1.182	特殊味
12	硝酸异丙酯	isopropylnitrate	C1712647	$C_3H_7NO_3$	841.9	431.374	1.3447	愉快味
13	丙酸丙酯	propyl propanoate	C106365	$C_6H_{12}O_2$	801.1	373.272	1.1605	醇香
14	2,3-戊二酮	2,3-pentanedione	C600146	$C_5H_8O_2$	728.3	282.51	1.2912	奶油、焦糖
15	1-己酮	1-Hexanone	C591786	$C_6H_{12}O$	782.0	347.853	1.5153	芳香味
16	呋喃	furaneol	C3658773	$C_6H_8O_3$	835.4	421.607	1.4774	果、草、土
17	1-庚酮	1-Heptanone	C110430	$C_7H_{14}O$	890.1	512.409	1.2608	果香
18	异戊酸	Isovaleric acid	C503742	$C_5H_{10}O_2$	713.6	267.242	1.4454	刺激酸败味
19	戊醇	Pentanol	C71410	$C_5H_{12}O$	652.7	221.103	1.1804	-
20	(E)-2-丁烯醛	(E)-2-butenal	C123739	C_4H_6O	781.1	346.698	1.3488	醚味、刺激味
21	丙酸乙酯	ethyl propanoate	C105373	$C_5H_{10}O_2$	710.7	264.367	1.1612	果香、奶油香
22	苯甲醛	Benzaldehyde	C100527	C_7H_6O	950.0	645.092	1.4701	坚果、杏仁
23	壬醛	Nonanal	C124196	$C_9H_{18}O$	670.9	232.122	1.3335	油脂、青草

3 结论

本实验利用不同的技术手段分析不同料酒腌制的油炸罗非鱼风味的差异性。采用感官评定得出料酒腌制的油炸罗非鱼酒香味、肉香味明显增强，金属味、中药味和土腥味明显减弱。不同料酒腌制的油炸罗非鱼风味特征差异显著，不同料酒腌制的油炸罗非鱼肉香味最大。相较于白酒或黄酒腌制，啤酒腌制的肉香味较强。通过电子鼻传感器信号得出氮氧化合物、甲基类和醛酮类是油炸罗非鱼的重要的呈香物质。主成分分析（PCA）和线性判别分析（LDA）可以将 4 个样品明显区分，发现不同料酒腌制的油炸罗非鱼挥发性成分存在明显差异。其中 3 种料酒腌制油炸鱼的甲基类化合物响应值最高。GC-IMS 共检测出 49 种物质，定性的有 23 种物质，鉴定出壬醛、呋喃、己醛、苯甲醛、2-己酮、1-辛烯-3-醇、丙酸乙酯、(E)-2-丁烯醛、戊醇和异戊酸为 4 个样品的共有物质，并得到不同料酒腌制油炸罗非鱼的差异图谱和指纹图谱，对分析不同样品的差异性更直观和准确，三种油炸鱼中的氮氧化合物、醛酮类、酯类和甲基类化合物种类增多，与电子鼻的响应值变化规律相符。料酒腌制后的油炸鱼能检测出壬醛、己醛、己酮和戊醇，酒香味和肉香味增强，腥味减弱。腌制过程中，具有辛辣味道的挥发性物质(E)-2-戊烯醛和 4,4-二甲基庚烷在白酒和黄酒腌制样品中检测出，表现出明显的辛辣味，对油炸鱼的风味有负面影响，而啤酒腌制能够有效增强油炸鱼的肉香味，降低其土腥味。然而结合感官评定综合分析可知，啤酒对提高油炸罗非鱼的风味影响效果最佳。本研究通过结合感官评定分析不同料酒腌制油炸罗非鱼的风味，为改善油炸鱼的加工工艺提供理论依据。

参考文献

[1] 边昊,陈柏宇,杜金晶,等.罗非鱼加工副产物速酿鱼露发酵过程中呈味物质分析[J].食品与发酵工业,2020,46(13):255-261

BIAN Hao, CHEN Bai-yu, DU Jin-jing, et al. Analysis of flavor compounds in the fermentation process of instant fish sauce, a by-product of *Tilapia* processing [J]. Food and

Fermentation Industry, 2020, 46(13): 255-261

[2] 胡吕霖.烹饪对鲟鱼蛋白质氧化及消化性的影响研究[D].杭州:浙江大学,2018
HU Lv-lin. Effect of cooking on protein oxidation and digestibility of sturgeon [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018

[3] 陈惠,刘焱,李志鹏,等.热加工对草鱼鱼肉品质及风味成分的影响[J].食品与机械,2017,33(9):53-58,68
CHEN Hui, LIU Yan, LI Zhi-peng, et al. Effects of thermal processing on quality and flavor components of grass carp [J]. Food and Machinery, 2017, 33(9): 53-58, 68

[4] 李锐,孙祖莉,李来好,等.不同热加工方式对罗非鱼片食用品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(14):127-135
LI Rui, SUN Zu-li, LI Lai-hao, et al. Effects of different thermal processing methods on the edible quality of *tilapia* fillets [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(14): 127-135

[5] 贡慧,杨震,刘梦,等.秋刀鱼热加工后挥发性风味成分变化的分析[J].肉类研究,2017,31(1):25-31
GONG Hui, YANG Zhen, LIU Meng, et al. Analysis of volatile flavor components of saury after hot processing [J]. Meat Research, 2017, 31(1): 25-31

[6] 陈小培,罗未,李钰琪,等.即食油炸尖尾鳗鱼丝的工艺研究[J].浙江海洋大学学报:自然科学版,2018,37(4):40-46
CHEN Xiao-pei, LUO Wei, LI Yu-qi, et al. Study on the technology of instant fried shredded eel [J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science Edition, 2018, 37(4): 40-46

[7] Prajapatij B, Nair B. The History of Fermented Foods, In: Handbook of Fermented Functional Foods [M]. Boca Raton, CRC Press, 2003, 1-25

[8] Istrati D, Ionescu A, Vizireanu C, et al. The tenderization of bovine biceps femoris muscle using marinades on the basis of wine [J]. Romanian Biotechnological Letters, 2012, 17(6): 7787-7795

[9] 朱晓.三得利集团啤酒及啤酒风味饮料发明专利技术综述[J].食品安全导刊,2019,19:70-71
ZHU Xiao. Summary of patent technology of beer and beer-flavored beverages in Suntory group [J]. Food Safety Guide, 2019, 19: 70-71

[10] 韩永红.气相色谱-质谱联用技术分析啤酒麦芽中的挥发性风味物质[J].中外酒业·啤酒科技,2018,7:1-6
HAN Yong-hong. Analysis of volatile flavor compounds in beer malt by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chinese and Foreign Wine Industry Beer Science and Technology, 2018, 7: 1-6

[11] Qing-Yi Lu, Ru-Po Lee, Jianjun Huang, et al. Quantification of bioactive constituents and antioxidant activity of Chinese yellow wine [J]. Academic Press, 2015, 44: 86-92

[12] 王瑞花,陈健初,叶兴乾,等.黄酒对猪肉炖煮过程挥发性风味物质变化的影响[J].现代食品科技,2015,31(12):406-415
WANG Rui-hua, CHEN Jian-chu, YE Xing-qian, et al. The effect of yellow wine on the changes of volatile flavor compounds during pork stewing [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(12): 406-415

[13] 陈丽艳,潘道东,雒宏琳,等.白酒腌制对糟鹅肌原纤维蛋白结构和滋味物质形成的影响[J].食品工业科技,2017,38(12):81-86
CHEN Li-yan, PAN Dao-dong, LUO Hong-lin, et al. The effect of liquor curing on the structure and flavor substance formation of myofibrillar protein of bad geese [J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(12): 81-86

[14] Lou X W, Zhang Y B, Sun Y Y, et al. The change of volatile compounds of two kinds of vinasse-cured ducks during processing [J]. Poultry Science, 2018, 97(7): 2607-2617

[15] 江树.阳朔的啤酒鱼[J].中国三峡,2018,258(11):118-119
JIANG Shu. Beer fish in Yangshuo [J]. Three Gorges, China, 2018, 258 (11): 118-119

[16] 张金晖,赵钜阳,李华烨,等.预腌制配料对大麻哈鱼肉品质的影响[J].中国调味品,2019,44(3):26-30
ZHANG Jin-hui, ZHAO Ju-yang, LI Hua-ye, et al. Effect of pre-cured ingredients on meat quality of salmon [J]. Chinese Seasoning, 2019, 44(3): 26-30

[17] 张晶晶,王锡昌,施文正.白姑鱼和小黄鱼肉中挥发性风味物质的鉴定[J].食品科学,2019,40(14):206-213
ZHANG Jing-jing, WANG Xi-chang, SHI Wen-zheng. Identification of volatile flavor compounds in white croaker and small yellow croaker [J]. Food Science, 2019, 40(14): 206-213

[18] 赵笑颖,袁桃静,庞一扬,等.食盐腌制对油炸罗非鱼风味的影响[J].食品工业科技,2020,41(19):266-272,278
ZHAO Xiao-ying, YUAN Tao-jing, PANG Yi-yang, et al. Effect of salt pickling on flavor of fried *Tilapia* [J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(19): 266-272, 278

[19] Capone S, Tufariello M, Francioso L, et al. Aroma analysis by GC/MS and electronic nose dedicated to Negroamaro and Primitivo typical Italian Apulian wines [J]. Sensors and Actuators, 2013, 179: 259-269

[20] Vautz W, Baumbach J I, Jung J. Beer fermentation control

using ion mobility spectrometry-results of a pilot study [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2006, 112(2): 157-164

[21] 杨俊超,杨杰,曹树亚,等.气相色谱-离子迁移谱联用技术的影响因素研究[J].现代科学仪器,2018,1:55-59
YANG Jun-chao, YANG Jie, CAO Shu-ya, et al. Study on influencing factors of gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. Modern Scientific Instruments, 2018, 1: 55-59

[22] 侯玉瑞.别用白酒代替料酒[J].农产品加工,2014,11:68-69
HOU Yu-rui. Don't use liquor instead of cooking wine [J]. Agricultural Products Processing, 2014, 11: 68-69

[23] 王存厚.谈黄酒派生出的料酒及作用[J].中国酒,2002, 6:62-63
WANG Cun-hou. Talking about cooking wine derived from yellow rice wine and its function [J]. Chinese Liquor, 2002, 6: 62-63

[24] 郑捷,杨潞潞,高建忠,等.腌制工艺对泥鳅鱼骨及其罐头感官品质的影响[J].食品工业,2017,38(1):76-80
ZHENG Jie, YANG Lu-lu, GAO Jian-zhong, et al. Effect of pickling technology on sensory quality of loach bones and canned food [J]. Food Industry, 2017, 38(1): 76-80

[25] 王妍.料酒的调味增香机理[J].中国调味品,2005,7:32-34
WANG Yan. Flavoring and flavoring mechanism of cooking wine [J]. Chinese Seasoning, 2005, 7: 32-34

[26] 蒋立文,谢艳华,李跑,等.HS-SPME/GC-MS 和电子感官技术分析毛霉型豆豉发酵过程中风味品质[J].核农学报,2020, 34(7):1497-1506
JIANG Li-wen, XIE Yan-hua, LI Pao, et al. Analysis of flavor quality during fermentation of *Muco*r-type Douchi by HS-SPME/GC-MS and electronic sensory technology [J]. Journal of Nuclear Agronomy, 2020, 34(7): 1497-1506

[27] Peris M, Escuder-Gilabert L. A 21st century technique for food control: electronic noses [J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 638(1): 1-15

[28] 刘芳,杨康卓,张建敏,等.基于电子鼻和气质联用技术的浓香型白酒分类[J].食品与发酵工业,2020,46(2):73-78
LIU Fang, YANG Kang-zhuo, ZHANG Jian-min, et al. Classification of Luzhou-flavor liquor based on electronic nose and GC-MS [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(2): 73-78

[29] Xu-Hui H, Xu Z, Zeng-Hui C, et al. Fresh and grilled eel volatile fingerprinting by e-nose, GC-O, GC-MS and GC×GC-QTOF combined with purge and trap and solvent-assisted flavor evaporation [J]. Food Research International, 2019, 115: 32-43

[30] 任东旭,刘辉,赵悦,等.电子鼻 PCA 分析方法对鸡汤品质分析研究[J].食品科技,2013,38(4):294-301
REN Dong-xu, LIU Hui, ZHAO Yue, et al. Analysis of chicken soup quality by electronic nose PCA [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(4): 294-301

[31] 曹森,赵成飞,马风伟,等.基于电子鼻和 GC-MS 评价不同采收期天麻的芳香品质[J].北方园艺,2019,19:87-94
CAO Sen, ZHAO Cheng-fei, MA Feng-wei, et al. Evaluation of aroma quality of *Gastrodia elata* Blume in different harvest periods based on electronic nose and GC-MS [J]. Northern Horticultural Science, 2019, 19: 87-94

[32] Gerhardt N, Birkenmeier M, Sanders D, et al. Resolution-optimized headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) for non-targeted olive oil profiling [J]. Analytical & Bioanalytical Chemistry, 2017, 409(16): 3933-3942

[33] 项怡,李洪军,徐明悦,等.甲鱼脱腥方法的研究[J].肉类工业, 2015,9:30-35
XIANG Yi, LI Hong-jun, XU Ming-yue, et al. Study on the deodorization method of soft-shelled turtle [J]. Meat Industry, 2015, 9: 30-35

[34] 王熠瑶,张烝彦,孙俊,等.基于 GC-IMS 技术分析糙米储藏过程中风味物质变化[J].食品与发酵工业,2020,46(6): 250-255
WANG Yi-yao, ZHANG Yi-yan, SUN Jun, et al. Analysis of changes of flavor substances in brown rice during storage based on GC-IMS technology [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(6): 250-255

[35] 廖涛,杨玉平,白婵,等.白鲢鱼体内腥味物质的脱除方法研究[J].食品研究与开发,2018,39(21):49-58
LIAO Tao, YANG Yu-ping, BAI Chan, et al. Study on the method of removing fishy smell from silver carp [J]. Food Research and Development, 2018, 39(21): 49-58

[36] 王一涵,刘学军.淡水鲫鱼脱腥试验的比较研究[J].肉类工业,2013,12:29-32
WANG Yi-han, LIU Xue-jun. Comparative study on deodorization test of freshwater crucian carp [J]. Meat Industry, 2013, 12: 29-32

[37] 吴涛,茅林春.天然复合脱腥保鲜液对草鱼的脱腥保鲜效果[J].湖北农业科学,2009,48(10):2543-2547
WU Tao, MAO Lin-chun. The deodorization and preservation effect of natural compound deodorization and preservation solution on grass carp [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2009, 48(10): 2543-2547