

基于HS-SPME-GC-MS分析循环熬制卤水对风味熟制小鱼干风味的影响

周晓, 周劲松, 刘特元, 蒋立文, 刘洋, 尹世鲜, 荣智兴, 陈欢

Analysis of the Effects in the Flavor Anchovy during Circulating Boiling Brine Based on HS-SPME-GC-MS

ZHOU Xiao, ZHOU Jinsong, LIU Teyuan, JIANG Liwen, LIU Yang, YIN Shixian, RONG Zhixing, and CHEN Huan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110245>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

电子鼻结合顶空固相微萃取-气质联用法分析微生物脂肪酶对猪肉风味的影响

Analysis of the effect of microbial lipase on pork flavor by electronic nose combination HS-SPME-GC-MS

食品工业科技. 2017(22): 246-252 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.22.048>

基于电子鼻、HS-GC-IMS和HS-SPME-GC-MS分析五种水产原料的风味特征

Analysis of Flavor Characteristics of Five Aquatic Raw Materials Based on Electronic Nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS

食品工业科技. 2021, 42(19): 106-117 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030193>

基于电子鼻和气质联用评价煮制方式对香菇汤挥发性风味物质的影响

Effect of Cooking Methods on Volatile Flavor Compounds in *Lentinus edodes* Soups Analyzed by Electronic Nose and SPME-GC-MS

食品工业科技. 2020, 41(20): 6-11,19 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.20.002>

不同储藏条件下玉米挥发性成分研究

Analysis of Volatile Components of Corn under Different Storage Conditions

食品工业科技. 2020, 41(16): 252-258,265 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.16.040>

杜氏盐藻挥发性物质的HS-SPME-GC-MS分析

Analysis of volatile compounds in *Dunaliella Salina* with HS-SPME-GC-MS method

食品工业科技. 2017(01): 304-307 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.01.053>

基于电子鼻和HS-SPME-GC-MS技术解析乌牛早茶的挥发性风味物质

Volatile Flavor Compounds of Different Wu Niuzao Leaves and Different Heating Temperatures Based on Electronic Nose and GC-MS

食品工业科技. 2018, 39(14): 223-230 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.14.042>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

周晓,周劲松,刘特元,等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析循环熬制卤水对风味熟制小鱼干风味的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 320-328. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110245

ZHOU Xiao, ZHOU Jinsong, LIU Teyuan, et al. Analysis of the Effects in the Flavor Anchovy during Circulating Boiling Brine Based on HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 320-328. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110245

· 分析检测 ·

基于 HS-SPME-GC-MS 分析循环熬制卤水对风味熟制小鱼干风味的影响

周晓¹,周劲松^{2,3},刘特元^{2,3},蒋立文¹,刘洋^{1,*},尹世鲜^{2,3},荣智兴^{2,3},陈欢^{2,3}

(1.湖南农业大学食品科学技术学院,湖南长沙 410128;

2.劲仔食品集团股份有限公司,湖南岳阳 414000;

3.湖南省健康休闲食品工程技术研究中心,湖南岳阳 414000)

摘要: 本文研究了卤料包循环熬制对熟制小鱼干风味的影响。采用电子舌研究经第一锅卤水卤制的成品风味小鱼干 A 和第五锅卤水卤制的成品风味小鱼干 B 的风味差异。通过电子鼻和顶空固相微萃取-气质联用 (Headspace solid-phase microextraction-mass spectrometry coupled with gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 对 A、B 样品中的挥发性化合物进行分析。结果表明: 电子舌中, 经第五锅卤水油炸卤制后的风味小鱼干 B 在鲜味、苦味和咸味更强。从电子鼻结果来看, A、B 样品的差异主要体现在 W2W (有机硫类)、W1S (甲烷短链烷烃类气体) 和 W1W (硫化物) 传感器上, 前两者在小鱼干 B 中有所减少, 而 W1W (硫化物) 则有所增加。通过 GC-MS 从两种产品中共检测出 62 种挥发性物质: A 样品中检测出了 45 种物质, B 样品中检测出了 54 种物质。共同检测到的物质有 36 种, 其中相对含量较高的主体风味物质包括芳樟醇、茴香烯、乙酸芳樟酯和 4-烯丙基苯甲醚等在风味小鱼干 B 中含量更高。综上, 卤水的循环熬制有利于促进小鱼干中有益挥发性风味物质的生成以及香辛料中风味物质的融出。这可为后续风味熟制小鱼干的技术优化提供理论支持。

关键词: 风味小鱼干, 电子舌, 电子鼻, 顶空固相微萃取-气质联用, 挥发性物质

中图分类号: S986.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)19-0320-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110245



本文网刊:

Analysis of the Effects in the Flavor Anchovy during Circulating Boiling Brine Based on HS-SPME-GC-MS

ZHOU Xiao¹, ZHOU Jinsong^{2,3}, LIU Teyuan^{2,3}, JIANG Liwen¹, LIU Yang^{1,*}, YIN Shixian^{2,3}, RONG Zhixing^{2,3}, CHEN Huan^{2,3}

(1.College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2.Jin Zai Food Group Co., Ltd., Yueyang 414000, China;

3.Hunan Engineering and Technology Research Center of Healthy Snack Food, Yueyang 414000, China)

Abstract: To investigate the effect of cyclic boiling of the brine pack on the flavor of brine fried anchovy, the electronic tongue was used to investigate the difference in taste between the sample A (fried anchovy brined in the first-use brine) and sample B (fried anchovy brined in brine after recycling for 5 times). The volatile compounds in samples A and B were analyzed by electronic nose and HS-SPME-GC-MS. The results showed that, in the E-tongue, the taste of sample B was stronger in umami, bitterness and saltiness than sample A. For the E-nose, the differences between samples A and B were mainly in the W2W (organic sulfurs), W1S (methane short chain alkane gas) and W1W (sulfide) sensors, with the first two decreasing but W1W (sulfide) increasing in sample B. A total of 62 volatile substances were detected by GC-MS: 45 substances were detected in sample A and 54 substances were detected in sample B. Thirty-six substances were detected in

收稿日期: 2022-11-24

作者简介: 周晓 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: 3073539116@qq.com。

* 通信作者: 刘洋 (1990-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: fs_ly@163.com。

both samples, among which the relatively high content of main flavor substances including linalool, trans-anethole, linalool acetate and 4-allyl anisole were higher content in fried anchovy B. In summary, the cyclic boiling of brine was beneficial in promoting the production of beneficial volatile flavors in fried anchovy and the expression of volatile flavor components of the spices. This would provide the theoretical support for technical optimization of brine fried anchovy.

Key words: anchovy; electronic tongue technique; electronic nose technique; HS-SPME-GC-MS; volatile compounds

风味熟制小鱼干是我国特色口味鱼制品, 鲜美可口、热值较低、食用方便, 其是将小海鱼通过油炸、卤制、调味、包装、杀菌等工序加工而成, 基于华文劲仔牵头制定的《风味熟制小鱼干》团体标准, 产品盐度较低(不超过 3%)。小海鱼营养丰富, 含有丰富的蛋白质、不饱和脂肪酸、氨基酸以及钾、钙、镁和锌等多种人体所需的矿物质元素, 是深受消费者喜爱的一种休闲食品。熟制风味小鱼干产业近年来发展迅猛, 产业链扩增迅速, 产业群聚集在湖南、重庆、云南、江西等地区。据不完全统计, 近年来熟制风味小鱼干的销售年增长率在 10% 以上, 消费量呈现出稳定的持续上涨趋势。此外, 全国范围内熟制风味小鱼干的年产值超过 100 亿元, 获证生产企业已超过千家, 企业数量和产量规模仍在逐年增加^[1]。

油炸卤制是风味熟制小鱼干加工过程中风味物质产生的重要步骤, 且其中香辛料是卤水中关键风味物质的重要来源。目前国内外对卤水的风味研究多集中于卤水单次熬制过程中产品的品质变化和加工阶段香辛料主效成分的释放规律^[2-3] 以及不同香辛料中挥发性物质的研究^[4-5]。艾有伟等^[6] 采用 HPLC 分析发现胡椒碱、桂皮醛、橙皮苷、辣椒素、丁香酚等香辛料主效成分在鸭脖卤制过程中含量均呈现出降低的趋势。袁华伟等^[7] 采用 HS-SPME-GC-MS 鉴定了 6 种香辛料中的风味物质, 确定了反式茴香脑、 α -姜烯、芳樟醇、对-甲氧基肉桂酸乙酯、桂皮醛、二烯丙基三硫醚为主要挥发性化合物。吴丽香等^[8] 通过 HS-SPME-GC-MS 分离鉴定不同加工阶段秋刀鱼的挥发性成分, 得到其香气特征为肉香和油脂香, 共检出 63 种挥发性成分, 其中醛类是主要的风味物质。卤水是风味小鱼干加工过程影响风味成分的最主要因素, 而卤料循环利用是工业化生产中普遍采用的卤制方法, 传统观念认为经多次循环熬制使用后的卤水对产品风味具有较大贡献, 但其内在机理目前尚不清晰。

基于此, 为了明晰风味熟制小鱼干在实际生产中卤水循环熬制对产品风味的影响, 本研究采用电子舌和电子鼻法结合 HS-SPME-GC-MS 技术对经过循环熬制卤水油炸卤制后的小鱼干风味变化进行研究, 为后续风味熟制小鱼干的生产技术优化提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

风味熟制小鱼干样品 原料为海洋小鲷鱼, 共 2 个样品, 取自同一天经第一锅卤水和第五锅卤水对

油炸冷却小鱼干进行卤制后制成的成品小鱼干, 样品编号为 A 和 B, 由湖南劲仔食品集团股份有限公司提供; KCl、KOH、NaCl、酒石酸、乙醇、HCl 分析纯, 上海国药集团化学试剂有限公司。

AUY220 分析天平 日本岛津公司产品; 50/30 μ m DVB/CAR/PDM 萃取头、萃取瓶 美国 SUPELCO 公司; TS-5000Z 电子舌、PEN3 电子鼻 北京盈盛恒泰科技有限责任公司产品; 7890B 5977 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS) 安捷伦科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 风味小鱼干生产工艺 小鱼干浸泡→清洗→油炸(210 $^{\circ}$ C/4 min)→摊凉→卤制(90~100 $^{\circ}$ C/50 min)→摊凉→拌料→真空包装→高温杀菌(120 $^{\circ}$ C/15~20 min)→成品

现有生产车间的卤包补料方式为:

第一锅卤水: 原始卤包 3 包; 第二锅: 新卤包 1 包+第一锅卤水时用的 3 包卤包; 第三锅: 新卤包 1 包+第二锅卤水时用的 4 包卤包, 依次后推。直至第 5 锅开始原始卤包卤包都使用了 5 锅, 卤水趋于稳定状态。故设计两个对照组, 采用第 1 锅和第 5 锅的卤水对小鱼干分别进行油炸卤制。

取样方法: 采用五点随机取样法, 分别取经第一锅卤水和第五锅卤水油炸卤制的小鱼干成品, 置于样品柜常温保存备用。

1.2.2 电子舌分析 取 30 g 样品与 150 mL 纯水混合均匀, 均质 1 min, 后于 3000 r/min 下离心 10 min, 取上清液进行测试。试剂溶液和各样品溶液温度均保持室温。味觉传感器和参比电极共清洗 222 s, 平衡 30 s, 样品测量 30 s, 回味测量 30 s。本次试验通过鲜味、咸味、酸味、苦味和涩味五个传感器对风味小鱼干 A 和 B 进行测试。每个小鱼仔样品重复测定 3 次, 其中标样为无味点, 即参比溶液的输出值。参比溶液由 KCl 和酒石酸组成, 味觉值的无味点均为 0(标样数值是参比溶液的味觉值, 以此为基准, 当样品的味觉值低于标样时说明样品无该味道, 反之则有)。电子舌传感器对应的基本味道及回味见表 1。

1.2.3 电子鼻分析 样品处理方法: 采用直接顶空吸气法。准确称取样品 3 g 置于 100 mL 烧杯中, 振荡混匀后封口, 静置 10 min 后测量。传感器清洗时间为 120 s, 信号稳定后进行分析, 以 105~107 s 的信号作为电子鼻分析的时间点, 每个样品平行测定 3 次。

测定条件: 进样流速为 400 mL/min; 样品准备时间为 5 s; 采样时间为 1 s; 传感器自清洗时间为 120 s;

表1 TS-5000Z 电子舌的传感阵列

Table 1 Model TS-5000Z electronic tongue sensor array

| 传感器名称 | 基本味道 | 回味 | 标样味觉值 |
|------------|----------------------------|---------------|-------|
| 鲜味传感器(AAE) | 鲜味(氨基酸、核酸引起的鲜味) | 可持续感知的鲜味 | 0.02 |
| 咸味传感器(CT0) | 咸味(食盐等无机盐引起的咸味) | 无 | -0.01 |
| 酸味传感器(CA0) | 酸味(醋酸、柠檬酸、酒石酸等引起的酸味) | 无 | -0.17 |
| 苦味传感器(C00) | 苦味(苦味物质引起的味道,在低浓度下被感知为丰富性) | 啤酒、咖啡等一般食品的苦味 | -0.09 |
| 涩味传感器(AE1) | 涩味(涩味物质引起的味道,低浓度下感知为刺激性回味) | 茶、红酒等呈现的涩味 | 0.02 |

传感器归零时间为 10 s; 分析采样时间为 120 s。

数据处理: 本实验在对每个样品的数据采集过程中, 通过查看每个传感器响应信号的变化曲线、每个时间点的信号值及星型雷达图来考察各个传感器在实验分析过程中的响应情况。根据每个传感器对某一类特征气体响应剧烈, 从而确定样品分析过程中样品的主要挥发性特征气体。电子鼻传感器对应的性能描述见表 2。

表2 电子鼻传感器性能描述

Table 2 Performance description of electronic nose sensor

| 阵列序号 | 金属氧化物传感器名 | 性能描述 |
|-------|-----------|----------------|
| MOS1 | W1C | 芳香成分 |
| MOS2 | W5S | 灵敏度大, 对氮氧化物很灵敏 |
| MOS3 | W3C | 氨水, 对芳香成分灵敏 |
| MOS4 | W6S | 主要对氢气有选择性 |
| MOS5 | W5C | 烷烃芳香成分 |
| MOS6 | W1S | 对短链烷烃灵敏 |
| MOS7 | W1W | 对硫化物灵敏 |
| MOS8 | W2S | 对乙醇灵敏 |
| MOS9 | W2W | 芳香成分, 对有机硫化物灵敏 |
| MOS10 | W3S | 对烷烃灵敏 |

1.2.4 SPME-GC-MS 分析条件 SPME 方法: 首先将萃取头(50/30 μm DVB/CAR/PDM)在 GC 进样口老化 30 min; 分别取 1 g 已经过前处理的风味小鱼干样品置于 15 mL 顶空瓶中, 用橡胶垫片迅速封口。置于 70 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅预热 30 min, 将已老化的萃取头穿过密封垫插入顶空进样瓶内, 缓慢推出纤维头, 露出纤维头距离样品表面约 10 mm, 顶空吸附 30 min 后插入 GC 进样口解吸 5 min。

GC 条件: 采用 CD-WAX 石英毛细管柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm); 载气为高纯氦气(He), 气体流速为 1 mL/min; 不分流进样。柱温 50 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 200 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 240 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min。

MS 条件: 接口温度 220 $^{\circ}\text{C}$, 离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$, 四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$; 离子化方式为 EI; 电子能量 70 eV, 质量扫描范围 45~500 m/z。

定性定量方法: 选择 NIST 20 质谱数据库对各个谱峰进行定性分析, 筛选匹配度小于 80% 的物质, 选择匹配度最高的物质作为定性结果。通过 CAS 号在 <http://search.ichemistry.cn> 网站上查询中英文

名称。使用面积归一化法计算各成分的相对百分含量。

1.3 数据处理

利用 Origin 2021 对数据进行绘图分析, 使用 Excel 进行数据统计。

2 结果与分析

2.1 两种不同批次卤水产品的电子舌结果分析

电子舌以多传感阵列为基础, 通过对样品的整体特征响应信号强弱的感知, 从而达到模拟识别和定量定性分析的效果。电子舌传感器具有选择性, 可以简单、方便、快速无损地检测未知液体的整体滋味特征^[9-10]。从图 1 可知, 两种风味小鱼干样品风味轮廓几乎重叠, 说明其滋味十分相似。其中风味小鱼干 A、B 的酸味得分分别为-39.28 和-39.94, 涩味得分分别为-2.88 和-2.93, 均小于标样味觉值(酸味: -0.17; 涩味: 0.02), 因此, 风味小鱼干无味点以下的项目是涩味和酸味, 其有效评价指标为鲜味、苦味和咸味, 且 B 的得分均高于 A。卤水循环熬制过程中由于可溶性物质, 氯化钠、蛋白质和脂肪等含量不断上升, 水分蒸发, 导致其浓度增大^[11], 其中的小分子物质通过扩散作用渗透到小鱼干中, 导致小鱼干 B 具有更浓郁的口感。

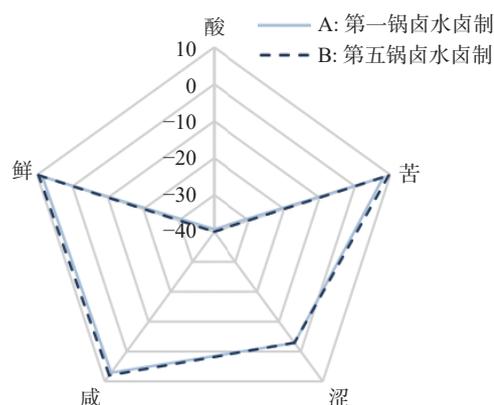


图1 以参比溶液为标准的两个样品雷达图

Fig.1 Radar chart of sample with reference solution as standard

2.2 两种不同批次卤水产品的电子鼻结果分析

电子鼻是一个电化学传感系统, 可以通过模拟人类嗅觉, 对食品中复杂的挥发性成分进行快速分析和检测, 具有准确, 灵敏和客观等优势^[12]。两种风味熟制小鱼干的气味感应强度图如图 2 所示, 样品在传感器 W2W 和 W1S 的响应值最强, 其次是 W1W

和 W5S, 故有机硫化物、短链烷烃, 硫化物以及氮氧化合物是其中的主要挥发性物质。进一步从整体上分析, 两种样品整体气味轮廓相似。此外, 从响应值差异度来看, 不同风味小鱼干的样品气味差异重点表现在 W2W(芳香成分, 有机硫化物)、W1S(甲烷短链烷烃类气体)和 W1W(硫化物)传感器对应的气味类型上。前两者的响应强度在小鱼干 B 中出现明显降低, 和冯廷闯等^[13] 研究一致, 卤水循环熬制后有机硫化物等刺激性气味减少。W1W(硫化物)可能与卤水重复利用过程中, 游离氨基酸含量不断升高^[14], 油炸卤制过程中游离氨基酸分解产生的硫化氢附着到了小鱼干上有关, 导致小鱼干 B 中的硫化物含量升高。

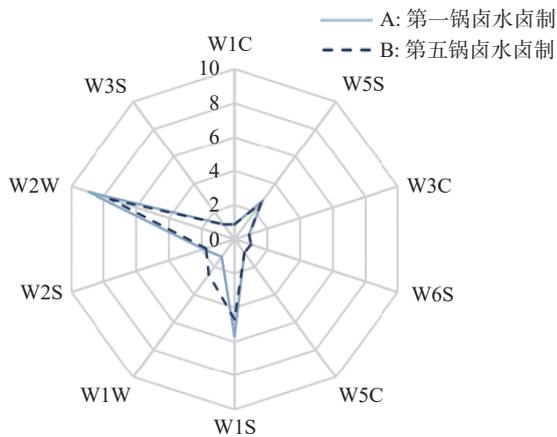


图 2 风味熟制小鱼干电子鼻挥发物特征雷达图

Fig.2 Radar map of flavor anchovy electronic nasal volatiles

2.3 两种不同批次卤水产品挥发性成分差异

HS-SPME-GC-MS 通过萃取针吸附提取样品中

的挥发性化合物后经过 GC-MS 不同升温程序缓慢释放从而区分出不同的挥发性化合物, 根据响应程度生成总离子色谱图, 通过与 GC-MS 谱库中的物质进行对比, 从而鉴定出各种挥发性化合物。从总离子色谱图(图 3)可以直观地看到风味熟制小鱼干经循环熬制的卤水油炸卤制后的各物质峰的变化情况, 整体比较相似, 说明其物质组成类似, 但含量上有所差异。如编号 1 和 2 峰面积较大, 是最明显的两个物质峰。1 对应的是茴香烯, 在两种样品中含量最高, 且 B 中的含量高于 A。在保留时间 28~30 min 之间的 2 号峰为乙酸芳樟酯, 在 B 中的含量明显高于 A。说明经过五次循环熬制后, 小鱼干中的烯烃和酯类物质发生了主要的变化。

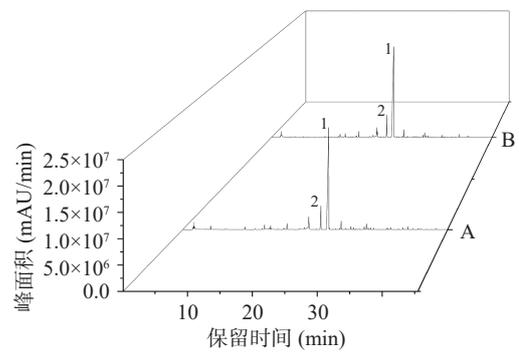


图 3 GC-MS 检测风味熟制小鱼干的总离子色谱图

Fig.3 GC-MS detection of total ion chromatogram of anchovy

风味熟制小鱼干经循环熬制卤水油炸卤制后共检测出 62 种物质(表 3), 其中风味熟制小鱼干 A 中检出了 45 种, B 中中检出了 54 种, 共同检测到的物质有 36 种, 包括醇类、醛类、烃类、酯类、酚类、酸

表 3 不同卤制条件下风味熟制小鱼干中挥发性成分的组成及相对含量

Table 3 Composition and relative content of volatile components in anchovy with different brine conditions

| 序号 | 分类 | 物质名称 | 相对含量(%) | | 共同检出 |
|----|-----|------------------|---------|------|------|
| | | | A | B | |
| 1 | 醇类 | 桉叶油醇 | 0.15 | 0.16 | 4 |
| 2 | | 芳樟醇 | 1.15 | 1.28 | |
| 3 | | 4-萜烯醇 | 0.32 | 0.40 | |
| 4 | | α -松油醇 | 0.25 | 0.12 | |
| 5 | | (S)-1,2-丙二醇 | - | 0.10 | |
| 6 | 醛类 | 异戊醛 | - | 0.02 | 3 |
| 7 | | 苯甲醛 | - | 0.24 | |
| 8 | | 己醛 | - | 0.04 | |
| 9 | | 苯乙醛 | 0.04 | 0.04 | |
| 10 | | 壬醛 | - | 0.04 | |
| 11 | | 反式肉桂醛 | - | 0.02 | |
| 12 | | 2,4-癸二烯醛 | 0.08 | 0.15 | |
| 13 | | 正十五碳醛 | 0.07 | 0.04 | |
| 14 | | α -苯烯 | - | 0.05 | |
| 15 | | 月桂烯 | 0.25 | 0.18 | |
| 16 | 烯烃类 | α -萜品烯 | 0.08 | 0.10 | 10 |
| 17 | | (R)-异香芹烯 | 0.69 | 0.80 | |
| 18 | | 反式- β -罗勒烯 | - | 0.03 | |

续表 3

| 序号 | 分类 | 物质名称 | 相对含量(%) | | 共同检出 |
|----|-----|--|---------|-------|------|
| | | | A | B | |
| 19 | | 萘品烯 | 0.13 | 0.14 | |
| 20 | | 茴香烯 | 79.90 | 80.12 | |
| 21 | | α -姜黄烯 | 0.45 | 0.39 | |
| 22 | | α -姜油烯 | 0.43 | 0.53 | |
| 23 | | 1-石竹烯 | - | 0.16 | |
| 24 | | B-倍半水芹烯(β) | 0.26 | 0.26 | |
| 25 | | 罗勒烯 | 0.05 | 0.05 | |
| 26 | | α -石竹烯 | 0.10 | 0.07 | |
| 27 | | 玟烯 | 0.05 | - | |
| 28 | | 2,4-二甲基庚烷 | - | 0.01 | |
| 29 | | 正戊烷 | - | 0.04 | |
| 30 | | 二酚基丙烷 | - | 0.04 | |
| 31 | | 十五烷 | 0.86 | 0.66 | |
| 32 | 烷烃类 | 1-碘十二烷 | 0.02 | 0.03 | 4 |
| 33 | | 十七烷 | 0.05 | 0.05 | |
| 34 | | 2,6,10,14-四甲基十五烷 | 0.04 | 0.05 | |
| 35 | | 4,5-二甲基壬烷 | - | 0.04 | |
| 36 | | 4,7-二甲基十一烷 | 0.04 | - | |
| 37 | | 甲酸萘品酯 | 0.21 | - | |
| 38 | | γ -丁内酯 | - | 0.02 | |
| 39 | | 乙酸芳樟酯 | 4.80 | 5.72 | |
| 40 | 酯类 | 乙酸松油酯 | - | 0.23 | 4 |
| 41 | | 5-甲基-2-(1-甲基乙炔基)-4-己烯-1-醇乙酸酯 | 0.09 | 0.08 | |
| 42 | | 乙酸橙花酯 | 0.13 | 0.11 | |
| 43 | | 己二酸二辛酯 | 0.18 | 0.03 | |
| 44 | | 乙基麦芽酚 | 2.99 | 1.85 | |
| 45 | 酚类 | 丁香酚 | 1.78 | 1.78 | 3 |
| 46 | | 异丁香酚 | 0.06 | 0.07 | |
| 47 | | 乙酸 | - | 0.16 | 3 |
| 48 | 酸 | 棕榈酸 | 0.39 | 0.45 | |
| 49 | | 肉豆蔻酸 | 0.04 | 0.05 | |
| 50 | | 硬脂酸 | 0.06 | 0.08 | |
| 51 | | 氨基甲酸铵 | 0.03 | - | |
| 52 | | 顺-2-(2-戊烯基)呋喃 | 0.20 | - | |
| 53 | | 2-乙酰基吡嗪 | 0.88 | - | |
| 54 | | Cyclobutane-1,1-dicarboxamide, N,N'-di-benzoyloxy- | 0.08 | - | |
| 55 | | cis-muurolo-3,5-diene | 0.06 | - | |
| 56 | 其他 | 甲酰胺 | - | 0.06 | |
| 57 | | 2-乙基呋喃 | 0.05 | 0.02 | 6 |
| 58 | | Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)- | 0.04 | 0.05 | |
| 59 | | 4-烯丙基苯甲醚 | 1.96 | 2.26 | |
| 60 | | 对甲氧基苯基丙酮 | 0.10 | 0.10 | |
| 61 | | α -香柠檬素 | 0.20 | 0.18 | |
| 62 | | 1-(3-甲基-2-丁烯氧基)-4-(1-丙烯基)苯 | 0.21 | 0.28 | |

注：“-”代表没有检出。

和其他类。小鱼干中挥发性物质的相对含量和数量如图 4 所示。

由图 4 可知, 2 种样品中各挥发性组分相对含量由大到小的排序均为烯烃类>酯类>酚类>其他类>醇类>烷烃类>酸>醛类, 且 2 种样品中烯烃类物质相对含量均在 79% 以上, 远高于其他各类别。顾明月等^[15] 分析不同循环熬制次数的香辛料中包挥发性风

味物质得出烯烃类物质含量最高, 与本研究结果相一致。从挥发性化合物的数量来看, 风味小鱼干 B 中检测出的挥发性物质数量有所增加, 包括烯烃类(2 种), 烷烃类(3 种), 酯类(1 种), 醇类(1 种), 醛类(5 种), 酸(1 种), 可能与循环使用卤水中残留的前四次油炸卤制小鱼干时溶出的可溶性蛋白、非氨基酸类物质、游离脂肪酸等鱼类营养物质^[14] 在高温的条

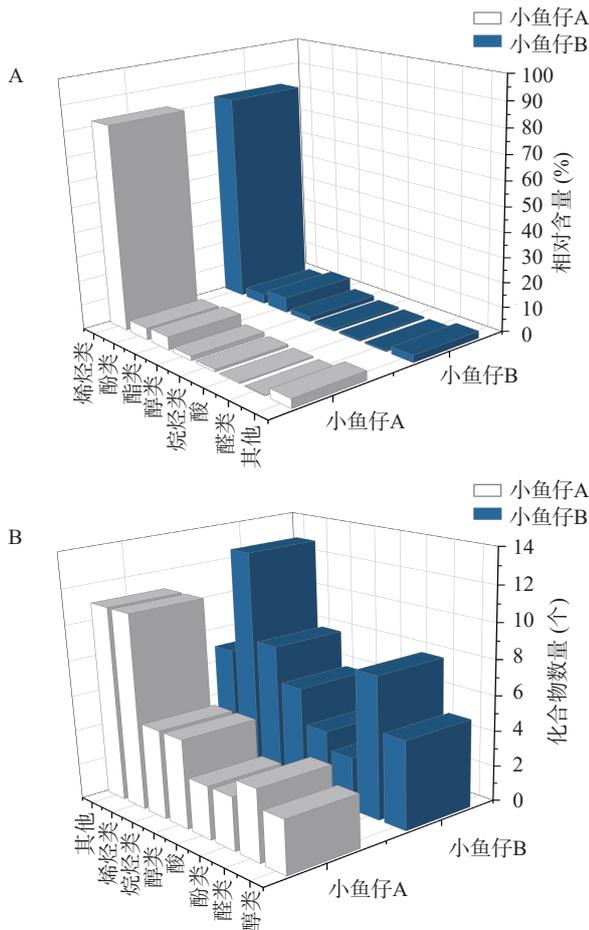


图 4 风味熟制小鱼干中挥发性物质的相对含量(A)和数量(B)

Fig.4 Relative content (A) and quantity (B) of volatile substances in anchovy

件下发生的美拉德反应、氨基酸和肽的热解以及脂质的氧化降解等反应有关。其中脂质的氧化反应一般是肉类在加热过程中由脂质氧化而产生一系列的香气物质,此反应常有醛类、酮类、酯类、醇类等香气物质的产生。

2.3.1 酯类挥发性风味物质含量分析 酯类主要包括脂肪氧化产物,是指酸与醇发生酯化反应生成的一类有机化合物^[16]。风味小鱼干 A、B 中共检出 6 种酯类物质,共有物质的 4 种物质中,乙酸芳樟酯相对含量最高,分别为 4.80% 和 5.72%。乙酸芳樟酯具有令人愉悦的花椒油木香、果香和薰衣草香^[17]。回锅肉中卤制过程中挥发性物质分析表明,其来源除了与香辛料中花椒直接提供的风味外,也与脂肪氧化产物乙酸与芳樟醇反应有关^[18]。随着熬制时间的加长,风味熟制小鱼干 B 中酯类物质的数量和含量都出现了一定的增加,推测与卤水循环使用过程中,不断高温熬制造成的醇醛之间发生的相互作用产生的酯类物质有关。

2.3.2 酚类挥发性风味物质含量分析 酚类物质是芳烃的含羟基衍生物,对肉制品的风味影响较大,可以增强肉的醇厚感和烟熏香^[19]。风味小鱼干 A、B 中均检出乙基麦芽酚、丁香酚和异丁香酚,这与风

味小鱼干加工过程中风味物质的变化研究相符合^[1]。有研究发现酚类物质是一些香料植物的主要成分^[20],刘营营等在加入丁香的莲藕泡菜中检测出了丁香酚等物质^[21],且在加工过程中会转移到产品中,从而增加产品的风味。顾明月等的研究结果表明,丁香酚在卤水中熬制 1 次后相对含量达到最大值并趋于稳定^[13],由表 3 可知,丁香酚在 A、B 中的相对含量没有差异,与其研究结果一致,表明卤水循环熬制对丁香酚的释放没有显著影响。

2.3.3 醇类挥发性风味物质含量分析 醇类物质可以给人带来愉悦感,对肉制品香气的贡献虽不如醛类明显,但在整体风味的形成中也发挥着关键作用^[22]。一般来源于肉制品加工过程的不饱和脂肪的氧化,其中不饱和醇类阈值较低,是重要的挥发性风味物质。风味熟制小鱼干中共检出 5 种醇类物质,包括桉叶油醇、4-萜烯醇、 α -松油醇、(S)-1,2-丙二醇和芳樟醇,其中起主要作用的是芳樟醇。桉叶油醇是草果中的主要成分,OAV 值较大,范围在 20.89~303.44,呈现微微的草药味。4-萜烯醇天然存在于松节油、薰衣草油和多种水果中,伴有花椒香、淡淡的土壤香和草木清香,在红花椒和青花椒中均有报道^[23]。 α -松油醇天然存在于桂叶、肉蔻中,呈丁香花味,随着香辛料的循环熬制出现了一定程度的降低,而在风味熟制小鱼干 B 中新增了(S)-1,2-丙二醇,该物质无毒无味,可能来源于香辛料循环熬制过程中香料或其他物质的转化。小鱼干 A、B 中芳樟醇的相对含量分别为 1.15% 和 1.28%。芳樟醇天然存在于芳樟油、芫荽子油、香柠檬油、橙花和橙叶油中,随着卤水的循环熬制,从花椒、生姜等香料中不断析出,具有铃兰香、柑橘香和玫瑰香^[24],导致经第五锅卤水油炸卤制后的小鱼干 B 中的相对含量高于经第一锅卤水油炸卤制后的小鱼干 A。

2.3.4 醛类挥发性风味物质含量分析 醛类物质多表现为花香和果香,气味浓烈,阈值普遍较低。相比风味小鱼干 A 样品,B 中醛类物质新增了 5 种:苯甲醛、己醛、壬醛、异戊醛和反式肉桂醛。苯甲醛是由苯丙氨酸 Strecker 降解生成,是肉桂中的主要醛基物质,具有肉桂辛香,坚果香和水果香^[25]。己醛已被鉴定普遍存在于海水鱼和淡水鱼中^[26],主要来自于 ω -6 不饱和脂肪酸的氧化^[27],浓度较低时呈清香和草香味,而高浓度时会产生酸败刺鼻的味道。低浓度的壬醛具有柑橘及玫瑰香味,主要来自油酸的氧化,阈值较低^[28]。赵凤等^[29]发现壬醛是发酵鲟鱼加工过程中的关键性风味物质。异戊醛浓度较低时具有苹果香和巧克力香味,叶梦宇等^[30]实验结果证明异戊醛是辣椒油中的关键香味贡献物质。反式肉桂醛大量存在于肉桂等植物体内,有特殊的肉桂芳香气味。小鱼干 B 中所检测出的苯甲醛,异戊醛和反式肉桂醛可能来自卤水中香辛料包循环熬制所释放出来。己醛和壬醛是由亚油酸、花生四烯酸、亚麻酸和油酸的氧

化降解产生的,研究发现鸡肉中的香味与亚麻油酸和亚麻酸的含量密切相关,亚油酸的自氧化作用产生了1,3-氢过氧化物和9-氢过氧化物,前者裂解生成己醛,后者断裂生成2,4-癸二烯醛^[31]。

2.3.5 酸、烃类和酮类挥发性风味物质含量分析
酸类物质通常源于脂肪的水解和氧化,赋予肉品特殊的口感和风味。和小鱼干A对比,小鱼干B中酸类物质的种类和含量均有所增加,推测与第五锅卤水中脂肪在长时间高温熬制下降解产生各种酸类物质有关,其中某些物质随着卤水的循环熬制再次渗透进肉中造成其含量升高。徐燕等^[31]研究表明,蒸煮过程中鸡肉及香辛料中的脂类物质因受热而溶入卤水中,脂质热降解可生成呋喃、游离脂肪酸、醛、有机酸等大量风味物质。

烃类物质主要来自脂肪酸的烷氧基的裂解。在两种样品中检出量较高,但由于通常阈值较低,对风味贡献较小。茴香烯为风味熟制小鱼干中主要烃类物质,相对含量分别为79.90%和80.21%。廖林等^[16]研究发现,鲜肉中存在的主要烃类物质为茴香烯,来源于香辛料中的茴香,对肉类风味具有一定的修饰作用。小鱼干B中茴香烯的轻微增加可能与卤料包中的茴香长时间高温循环熬制有关。

酮类物质性质稳定,一般表现出不同程度的花香,大多数呈现脂肪味和焦燃味,其阈值一般高于同分异构体的醛^[32]。通常被认为是在烷烃降解、脂质氧化和仲醇脱氢过程中形成的副产物^[33]。在两种样品中只检测出了对甲氧基苯基丙酮,相对含量为

0.10%,对风味小鱼干的风味影响不大。

2.3.6 其他挥发性风味物质含量分析 其他类物质主要是呋喃、吡嗪和醚类物质。呋喃类物质通常伴随着强烈的肉味,具有极低的气味阈值^[34]。吡嗪类物质通过含氮物质在美拉德反应中生成,但由于其阈值较大^[16],因此对风味小鱼干风味贡献不大。风味熟制小鱼干A、B中都含有醚类物质,4-烯丙基苯甲醚俗称草蒿脑,存在于香辛料中的茴香,具有茴香、药香、薄荷、辛香等风味,随着香辛料包的循环熬制不断释放出来,导致其在B中含量有所上升。

2.4 两种熟制小鱼干中香辛料挥发性风味物质成分差异

香辛料是卤水熬制过程中的主要添加料,其中含有的挥发性风味物质及色素对肉制品的风味形成起着重要的作用,且在熬制过程中卤水中的香料以及肉中的蛋白质、脂肪发生氧化分解等产生的赋香物质可增加肉品的香气。八角,茴香,桂皮,花椒,山奈、孜然等是香辛料包的主要成分。从表4可以看出,熟制小鱼干A、B中分别检出16种和19种来源于香辛料中的挥发性成分,且B中挥发性物质的数量和相对含量都有所增加。在电子舌结果中,小鱼干B中的苦味较强,可能与循环熬制卤水中的苦味伴随着香辛料中挥发性风味物质增加有关。而芳樟醇、4-萜烯醇、乙酸芳樟酯、丁香酚和草蒿脑作为主体风味物质,除丁香酚外,其余四种物质的相对含量都出现了一定程度的增长,说明长时间熬制加工会促进香辛料中挥发性风味物质的融出^[34]。而 α -松油

表4 风味熟制小鱼干中与香辛料相关的挥发性风味物质含量分析

Table 4 Analysis of the content of volatile flavor substances associated with aromatic spices in flavor brine fried anchovy

| 序号 | 挥发性成分 | 相对含量(%) | | 物质来源及风味特征 ^[5,7,35] | |
|----|------------------|---------|------|-------------------------------|----------------|
| | | A | B | | |
| 1 | 桉叶油醇 | 0.15 | 0.16 | 八角、花椒、山奈 | 草药香 |
| 2 | 芳樟醇 | 1.15 | 1.28 | 八角、桂皮、花椒、茴香、生姜 | 铃兰香、柑橘香和玫瑰香 |
| 3 | 4-萜烯醇 | 0.32 | 0.40 | 八角、桂皮、花椒、山奈 | 胡椒香 |
| 4 | α -松油醇 | 0.25 | 0.12 | 八角、花椒、生姜、山奈 | 丁香花香 |
| 5 | 月桂烯 | 0.25 | 0.18 | 八角、桂皮、孜然 | 花草香,清淡的香脂香气 |
| 6 | 萜品烯 | 0.21 | 0.24 | 八角、花椒、生姜、山奈 | 柑橘和柠檬似香气 |
| 7 | α -石竹烯 | 0.10 | 0.07 | 八角 | 木香、柑橘香和温和的丁香香气 |
| 8 | 罗勒烯 | 0.05 | 0.05 | 八角、花椒 | 淡淡的丁香花香 |
| 9 | α -姜黄烯 | 0.45 | 0.39 | 生姜 | 清淡的花草香 |
| 10 | 反式- β -罗勒烯 | - | 0.03 | 山奈 | 淡淡的丁香花香 |
| 11 | 茨烯 | 0.05 | - | 花椒、生姜、山奈、茴香 | 淡淡的薄荷香气 |
| 12 | 十五烷 | 0.86 | 0.66 | 花椒、山奈 | - |
| 13 | 十七烷 | 0.05 | 0.05 | 山奈 | - |
| 14 | 乙酸芳樟酯 | 4.80 | 5.72 | 花椒 | 青苦香味和花果香 |
| 15 | 丁香酚 | 1.78 | 1.78 | 大蒜、花椒 | 温和的辛香 |
| 16 | 苯甲醛 | - | 0.24 | 八角 | 肉桂辛香,坚果香和水果香 |
| 17 | 苯乙醛 | 0.04 | 0.04 | 八角 | 花香 |
| 18 | 己醛 | - | 0.04 | 八角、花椒、孜然、桂皮 | 清香和草香 |
| 19 | 壬醛 | - | 0.04 | 孜然、桂皮 | 柑橘及玫瑰香味 |
| 20 | 草蒿脑 | 1.96 | 2.23 | 八角、桂皮、山奈、茴香 | 茴香、药香、薄荷和辛香 |

注:“-”代表没有检出。

醇、月桂烯、 α -姜黄烯、 α -石竹烯和茨烯等出现了一定程度的减少,可能由于香辛料在熬制过程中物质发生了挥发或氧化反应所导致,如向老汤迁移或向空气中逸散。

3 结论

本研究通过电子舌,电子鼻结合 HS-SPME-GC-MS 对经第一锅卤水和第五锅卤水油炸卤制后的风味小鱼干 A 和 B 的滋味及风味特征进行了测定。结果表明:经第一锅卤水卤制后的风味小鱼干 B 表现出更加浓郁的口感,卤水循环熬制过程中可溶性物质浓度增大,其中的小分子物质通过扩散作用渗透到小鱼干中,导致其鲜味、咸味和苦味得分均高 A。电子鼻结果中 A、B 小鱼干的整体风味轮廓相似。通过 GC-MS 共检测出 62 种物质,A、B 样品分别检测出了 45 种和 54 种,两种样品中各挥发性组分相对含量排序均为烯炔类>酯类>酚类>其他类>醇类>烷烃类>酸>醛类。循环熬制卤水在高温的条件下发生美拉德反应、氨基酸和肽的热解以及脂质的氧化降解,产生醛类、酮类、酯类、醇类等香气物质,造成小鱼干 B 中的挥发性风味物质增加。从与香辛料相关的挥发性风味物质的结果可以看出,长时间熬制加工会促进香辛料中挥发性风味物质的融出。综合来看,卤水的循环使用有利于促进小鱼干中有益挥发性风味物质的生成以及香辛料中风味物质的融出。本研究为后续风味熟制小鱼干的卤制工艺研究和优化提供理论依据。

参考文献

[1] 尹含靓,肖何,邓高文,等.基于 HS-SPME-GC-MS 分析风味鱼仔加工过程中风味物质的变化[J].中国调味品,2022,47(3):80-13. [YIN H L, XIAO H, DENG G W, et al. Analysis of the changes in volatile flavor components of Flavored Fish Larvae during processing by HS-SPME-GC-MS[J]. China Condiment, 2022, 47(3): 80-13.]

[2] 胡海. 酱卤鸭制品卤制过程的辣度及品质[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2018. [HU H. Pungency and quality attributes of pot-stewed duck during marinating[D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2018.]

[3] XI J, ZHAN P, TIAN H, et al. Effect of spices on the formation of VOCs in Roasted Mutton based on GC-MS and principal component analysis[J]. Journal of Food Quality, 2019, 2019(15): 1-11.

[4] SILVIS I C J, LUNING P A, KLOSSE N, et al. Similarities and differences of the volatile profiles of six spices explored by proton transfer reaction mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 318-327.

[5] 尹含靓,肖何,邓高文,等.基于 GC-IMS 技术分析不同香辛料水煮液的风味物质组成差异[J].食品工业科技,2021,42(17):278-284. [YIN H L, XIAO H, DENG G W, et al. Based on GC-IMS technology to analyze the difference in flavor composition of different spice boiling liquids[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17): 278-284.]

[6] 艾有伟,侯温甫,张浩,等.香辛料主效成分在酱卤制品卤制过程中变化规律研究[J].食品工业,2018,39(8):191-194. [AI Y W, HOU W F, ZHANG J, et al. Research on change rule of main effective compositions of spices in sauce bitter product during pro-

cessing[J]. Food Industry, 2018, 39(8): 191-194.]

[7] 袁华伟,尹礼国,徐洲,等.SPME/GC-MS 联用分析六种香辛料挥发性成分[J].中国调味品,2018,43(9):151-159. [YUAN H W, YIN L G, XU Z, et al. Analysis of volatile components in six spices by SPME/GC-MS[J]. China Condiment, 2018, 43(9): 151-159.]

[8] 吴丽香,张雯,童秋霞,等.即食秋刀鱼加工过程中挥发性成分变化规律[J].食品与机械,2021,37(9):29-36. [WU L X, ZHANG W, TONG Q X, et al. Study on the variation of volatile components of ready-to-eat pacific saury (*Cololabis saira*) during processing[J]. Food and Machinery, 2021, 37(9): 29-36.]

[9] ISMAIL I, HWANG Y H, JOO S T. Low-temperature and long-time heating regimes on non-volatile compound and taste traits of beef assessed by the electronic tongue system[J]. Food chemistry, 2020, 320: 126656-126656.

[10] ZHEQI Z, JIAOLONG J, MINGWU Z, et al. Flavor profile analysis of instant and traditional Lanzhou beef bouillons using HS-SPME-GC/MS, electronic nose and electronic tongue[J]. Bioengineering, 2022, 9(10): 582-582.

[11] 吴俊师,刘巧瑜,陈俊文,等.重复卤制对卤汁品质的影响[J].中国调味品,2021,46(7):70-75. [WU J S, LIU Q Y, CHEN J W, et al. Effect of repeated marinating on the quality of marinade[J]. China Condiment, 2021, 46(7): 70-75.]

[12] 许凌云,刁钢,石小亮,等.基于 SPME-GC-MS 技术结合电子鼻电子舌分析不同热处理牛乳风味的差异[J].中国食品卫生杂志,1-15[2022-11-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3156.R.20221011.1504.040.html>. [XU L Y, DIAO G, SHI X L, et al. Analysis of flavor difference of milk with electronic nose and electronic tongue based on SPME-GC-MS[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 1-15[2022-11-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3156.R.20221011.1504.040.html>.]

[13] 冯廷闯,符漫,熊英梅,等.基于电子舌、电子鼻和 GC-MS 分析襄阳大头菜新、老卤水滋味和挥发性物质[J].中国酿造,2021,40(11):49-54. [FENG T C, FU M, XIONG Y M, et al. Analysis of taste and volatile compounds in new and old brine of Xi-angyang mustard root based on electronic tongue, electronic nose and GC-MS[J]. China Brewing, 2021, 40(11): 49-54.]

[14] 杨慧,张帆,文新年,等.卤制小龙虾卤水品质变化规律研究[J].湖南农业科学,2020(8):79-81,87. [YANG H, ZHANG F, WEN X N, et al. Study on the change rule of brine quality for marinated crayfish (*Procambarus clarkia*) [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2020(8): 79-81,87.]

[15] 顾明月,盖圣美,崔晓莹,等.循环煮制对德州扒鸡香辛料包挥发性风味物质的影响[J].食品安全质量检测学报,2019,10(15):4905-4913. [GU M Y, GAI S M, CUI X Y, et al. Effect of circulating cooking on volatile flavor compounds in Dezhou braised chicken spices packets[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2019, 10(15): 4905-4913.]

[16] 廖林,贺雅非,刘悦,等.基于 HS-SPME-GC-MS 的卤烤兔肉丁加工过程中挥发性风味物质变化分析[J/OL].食品与发酵工业:1-11[2022-11-21]. doi:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.029062. [LIAO L, HE Z F, LIU Y, et al. Analysis of volatile flavor substances during processing of halogen roast rabbit meat based on HS-SPME-GC-MS[J/OL]. Food and Fermentation Industries: 1-11 [2022-11-21]. doi:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.029062.]

[17] JI Y, LI S, HO C T. Chemical composition, sensory properties and application of Sichuan pepper (*Zanthoxylum genus*) [J]. Food Science and Human Wellness, 2019, 8(2): 115-125.

[18] 白婷,替博文,汪正熙,等.回锅肉不同加工阶段的风味特征

- 分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(8): 244-257. [BAI T, ZAN B W, WANG Z X, et al. Flavor components in different processing stages of twice-cooked pork[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(8): 244-257.]
- [19] 田越, 常铭元, 梁晓琳, 等. 陇西腊羊肉卤制过程中挥发性成分的分析[J/OL]. 中国食品卫生杂志: 1-12 [2022-11-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3156.R.20220728.0908.002.html>. [TIANY, CHANG M Y, LIANG X L, et al. Volatile components of Longxi Cured Mutton in the marinating process[J/OL]. *Chinese Journal of Food Hygiene*: 1-12 [2022-11-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3156.R.20220728.0908.002.html>.]
- [20] EISENBRAND G, COHEN S M, FUKUSHIMA S, et al. FEMA GRAS assessment of natural flavor complexes: Eucalyptus oil and other cyclic ether-containing flavoring ingredients[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2021, 155: 112357-112357.
- [21] 刘营营, 范莹莹, 石佳宁, 等. 香辛料对莲藕泡菜挥发性风味成分和理化性质的影响[J]. *轻工学报*, 2021, 36(5): 34-41. [LIU Y Y, FAN Y Y, SHI J N, et al. Effects of spices on the volatile flavor components and physical and chemical properties of lotus root kimchi[J]. *Journal of Light Industry*, 2021, 36(5): 34-41.]
- [22] WANG Y, SONG H, ZHANG Y, et al. Determination of aroma compounds in pork broth produced by different processing methods[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2016, 31(4): 319-328.
- [23] 陈茜, 陶兴宝, 黄永亮, 等. 花椒香气研究进展[J]. 中国调味品, 2018, 43(1): 189-194. [CHEN Q, TAO X B, HUANG Y L, et al. Research progress on the aroma of Chinese prickly ash[J]. *China Condiment*, 2018, 43(1): 189-194.]
- [24] 周慧敏, 张顺亮, 郝艳芳, 等. HS-SPME-GC-MS-O 结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(2): 218-226. [ZHOU H M, ZHANG S L, HAO Y F, et al. Analysis of major flavor components of Tuotuo Pork by HS-SPME-GC-MS-O combined with electronic nose[J]. *Food Science*, 2021, 42(2): 218-226.]
- [25] 葛孟甜, 李肖婵, 林琳, 等. 我国四个地区河蟹蟹肉挥发性物质的比较[J]. 中国调味品, 2019, 44(4): 16-22. [GE M T, LI X C, LIN L, et al. Comparison of volatile compounds in Crab meat from four regions in China[J]. *China Condiment*, 2019, 44(4): 16-22.]
- [26] 王珏, 林亚楠, 马旭婷, 等. 鲑鱼干制过程中风味物质及风味活性物质分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(9): 269-278. [WANG J, LIN Y N, MA X T, et al. Analysis of volatile compounds and odor-active compounds in Dried Mackerel[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2019, 19(9): 269-278.]
- [27] 尹乐斌, 杨莹, 陈浩, 等. 固相微萃取-气质联用法测定湘派豆干老卤挥发性风味物质变化[J]. 中国调味品, 2021, 46(8): 147-154. [YIN L B, YANG Y, CHEN H, et al. Determination of volatile flavor components in Xiangpai dried tofu brine by solid-phase microextraction and mass spectrometry[J]. *China Condiment*, 2021, 46(8): 147-154.]
- [28] QIN Z, PANG X, CHEN D, et al. Evaluation of Chinese tea by the electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry: Correlation with sensory properties and classification according to grade level: Tea-from bushes to mugs: composition, stability and health aspects[J]. *Food Research International*, 2013, 53(2): 864-874.
- [29] 赵凤, 许萍, 曾诗雨, 等. 鲟鱼传统发酵过程中挥发性风味物质的分析评价[J]. *食品科学*, 2019, 40(10): 236-242. [ZHAO F, XU P, ZENG S Y, et al. Analysis of volatile compounds in fermented sturgeon[J]. *Food Science*, 2019, 40(10): 236-242.]
- [30] 叶梦宇, 王嘉昊, 徐怀德, 等. 油温对辣椒油品质的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 124-127, 132. [YE M Y, WANG J H, XU H D, et al. Effect of oil temperature on the quality of chili pepper oil[J]. *China Condiment*, 2022, 47(1): 124-127, 132.]
- [31] 徐燕, 董华发, 王晓明, 等. 鸡的品种和蒸煮次数对白切鸡卤水的营养成分和风味影响研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 279-287. [XU Y, DONG H F, WANG X M, et al. Effects of chicken kinds and stewing times on the nutritional ingredients and flavor of White-Cut Chicken Brine[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2022, 43(1): 279-287.]
- [32] TOMAC A, COVA M C, NARVAIZ P, et al. Texture, color, lipid oxidation and sensory acceptability of gamma-irradiated marinated anchovy fillets[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2015, 106: 337-342.
- [33] DENG S, LIU Y, HUANG F, et al. Evaluation of volatile flavor compounds in bacon made by different pig breeds during storage time[J]. *Food Chemistry*, 2021, 357: 129765-129765.
- [34] RASINSKA E, RUTKOWSKA J, CZARNIECKA R E, et al. Effects of cooking methods on changes in fatty acids contents, lipid oxidation and volatile compounds of rabbit meat[J]. *Food Science & Technology*, 2019, 110: 64-70.
- [35] 刘江, 朱大军, 李洪亮, 等. SPME/GC-MS 分析火锅中常见 6 种香辛料挥发性成分物质[J]. 中国调味品, 2022, 47(5): 178-182. [LIU J, ZHU D J, LI H L, et al. SPME/GC-MS analysis on volatile components of six common spices in Hot Pot[J]. *China Condiment*, 2022, 47(5): 178-182.]