

刘泽祺, 江伟烽, 邓溪瞳, 等. 不同脱腥方法对鸡肝风味物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 258–266. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100084

LIU Zeqi, JIANG Weifeng, DENG Yitong, et al. Effects of Different Deodorization Methods on Volatile Flavor Compounds in Chicken Liver[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 258–266. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100084

· 分析检测 ·

不同脱腥方法对鸡肝风味物质的影响

刘泽祺¹, 江伟烽², 邓溪瞳¹, 梁芷芊¹, 陈柏熙¹, 谭荣杰¹, 吴绍宗^{1,3}, 曾宪军², 郑 华^{1,3,*}

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642;

2. 广州市江丰实业股份公司, 广东广州 510450;

3. 畜禽产品精准加工与安全控制国家地方联合工程中心, 广东广州 510450)

摘 要: 为研究不同脱腥方法鸡肝中风味物质的变化, 采用感官评定、电子鼻与顶空固相微萃取-气质联用 (headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 技术, 分析了不同脱腥方法的生熟鸡肝样品的挥发性风味物质。结果表明: 姜酒浸泡、 β -环状糊精包埋和酵母发酵均能显著降低生样品腥味值 ($P<0.05$); 电子鼻响应值雷达图显示, 组成鸡肝整体气味主要是硫化物、芳香成分和醇、醛酮类物质, 姜酒浸泡能改变鸡肝原本的气味轮廓, 且采用主成分分析 (PCA) 能较好区分各样品; HS-SPME-GC-MS 共检出了 124 种挥发性风味物质, 经姜酒浸泡和酵母发酵后, 鸡肝中醛类物质含量均明显降低, 多种致腥物质含量均明显下降。鸡肝熟化后, 苯甲醛构成了鸡肝的主体风味, 姜酒浸泡组中的乙醇含量明显高于对照组和酵母发酵组, 是鸡肝熟化后保持较好风味的因素。研究表明, 姜酒浸泡和酵母发酵能较好地改善鸡肝风味。

关键词: 鸡肝, 脱腥, 电子鼻, 顶空固相微萃取-气质联用, 风味物质分析

中图分类号: TS251.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)13-0258-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100084

本文网刊:



Effects of Different Deodorization Methods on Volatile Flavor Compounds in Chicken Liver

LIU Zeqi¹, JIANG Weifeng², DENG Yitong¹, LIANG Zhiqian¹, CHEN Baixi¹, TAN Rongjie¹, WU Shaozong^{1,3}, ZENG Xianjun², ZHENG Hua^{1,3,*}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Guangzhou Kwangfeng Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510450, China;

3. National Local Joint Engineering Center for Precision Processing and Safety Control of Livestock and Poultry Products, Guangzhou 510450, China)

Abstract: To investigate the changes of flavor compounds of chicken liver by different deodorization methods, the volatile flavor compounds of raw and cooked chicken liver samples were analyzed by sensory evaluation, electronic nose and headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). The results showed that deodorization methods of ginger juice/alcohol immersion, β -cyclodextrin embedding and yeast fermentation could significantly reduce the odor value ($P<0.05$). The radar chart of electronic nose response value showed that the overall odor of chicken liver was mainly sulfide, aromatic components, alcohols, aldehydes and ketones. Deodorization by immersing liver into ginger juice/alcohol could change the original flavor contour of chicken liver, and principal component analysis (PCA) could better distinguish each sample. A total of 124 volatile flavor compounds were detected by HS-SPME-GC-MS. After deodorization process of ginger juice/alcohol immersion and yeast fermentation, the contents of aldehydes and many odorous compounds in chicken liver decreased significantly. After the chicken liver was cooked, benzaldehyde was the

收稿日期: 2021-10-13

基金项目: 2022 年广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目 (2022KJ128), 畜禽产品精准加工与安全控制国家地方联合工程研究中心 (发改高技 [2016] 2203 号)。

作者简介: 刘泽祺 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 畜禽产品加工与控制, E-mail: 954193984@qq.com。

* 通信作者: 郑华 (1966-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 家禽屠宰、家禽及肉制品产品开发, E-mail: 951524011@qq.com。

main flavor of chicken liver. The ethanol content in ginger juice/alcohol immersion group was obviously higher than that of control group and yeast fermentation group, which was the factor to maintain good flavor after cooking. The paper suggested that ginger juice/alcohol immersion and yeast fermentation could better improve the flavor of chicken liver.

Key words: chicken liver; deodorization; electronic nose; headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS); analysis of flavor compound

鸡肝(chicken liver)是家鸡体内的重要器官, 占鸡体重约 2.5%。鸡肝营养丰富, 以蛋白质(约 16.6%)、脂肪(约 4.8%)、碳水化合物、维生素和矿物质为主^[1]。现代肉鸡加工行业中, 鸡肝作为肉副产品, 因有令人不愉快的腥味而普遍让人难以接受, 成为低值产品流向市场, 多以直接烹食为主, 不能满足行业发展的需要^[2-4]。因此, 研究鸡肝脱腥方法是目前迫切需要解决的难题。

新鲜肝脏离体后, 蛋白质分解和脂质氧化产生大量醇醛酮类、胺类、低级脂肪酸和硫化物等有机物^[5], 阈值大多较低, 人类嗅觉容易感知, 使其感官品质严重下降, 而新鲜肝脏本没有明显腥味^[6]。Im 等^[6]的研究表明, 含血猪肝与去血猪肝气味稍有差别, 后者没有明显的金属腥和鱼腥味。肝脏含有大量与蛋白质结合的铁元素, 蛋白质降解时被释放而产生金属腥味^[7]。现有脱腥方法主要有三类: 物理法(吸附法、感官掩蔽法、包埋/微胶囊法等)、化学法(酸碱盐处理法、抗氧化剂法、美拉德反应法等)和生物法(发酵法)^[8]。Yu 等^[9]对比研究了 β -环状糊精包埋和酵母发酵对豪猪肝腥味的去除效果, 发现酵母发酵能更有效减轻豪猪肝腥味。Li 等^[10]采用酵母发酵、活性炭吸附和 β -环状糊精包埋对罗非鱼酶解液脱腥, 结果表明, 酵母发酵的脱腥效果最佳。但采用不同脱腥方法处理鸡肝的研究鲜有报道。化学法因溶剂残留而未被广泛应用, 物理法和生物法由于安全可靠、脱腥效果较好而被广泛应用于水产品 and 肉类的脱腥中。

电子鼻(electronic nose)是一种新兴的食品风味分析技术, 它由具有部分特异性的电子化学传感器阵列和适当的模式识别系统组成, 能够识别简单或复杂的气味^[11]。与感官评定相比, 电子鼻能准确高效地提供样品整体气味信息, 已被多领域所应用^[12-13]。电子鼻结合感官评定与顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术, 能弥补电子鼻数据只能提供样品整体气味信息的缺陷, 实现挥发性物质的定性定量分析^[14]。崔方超等^[15]采用电子鼻和 GC-MS 技术分析了柠檬酸、碳酸氢钠和酵母处理的草鱼脱腥前后的挥发性风味物质变化, 发现 3 种脱腥剂均有效减少草鱼肉的挥发性风味物质。谢章斌等^[16]利用 GC-MS 结合 GC-O 鉴定出鹅肥肝中的 41 种挥发性风味物质, 其中, 6 种是鹅肥肝风味的主要贡献物质。

本文以鸡肝为实验材料, 用姜酒浸泡(ginger juice/alcohol immersion)、 β -环状糊精包埋(β -cyclodextrin embedding)和酵母发酵(yeast fermentation)处理鸡肝, 以无处理鸡肝为对照(control check), 对

4 组样品进行腥味评价和感官评定, 挑选效果较好的脱腥方法, 结合电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 分析其挥发性风味物质, 旨在探究不同脱腥方法的脱腥机制及挥发性风味物质的变化, 为鸡肝综合利用和深加工产品开发提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

冷冻鸡肝 广州江丰实业股份有限公司; 新鲜生姜 华南农业大学三角市; 蒸馏酒 酒精度 96% vol, 波兰伏特加老酒厂; β -环状糊精 郁南县永光环状糊精有限公司; 高活性面包干酵母 安琪酵母股份有限公司; 葡萄糖 食品级, 汕头市乐万家食品工业有限公司。

PEN3 电子鼻 德国 Airsense 公司; GCMS-QP 2010 ULTRA 气质联用仪 日本岛津株式会社; SPME 手动进样器(50/30 μ m DVB/CAR/PDMS 萃取头) 美国 Supelco 公司; DK-8D 电热恒温水浴锅 上海一恒科技有限公司; TLE204E/02 分析天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; LC-EA6S 电磁炉 广东顺德忠臣电器有限公司; DY89-II 型电动玻璃匀浆机 宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备

1.2.1.1 样品前处理 冷冻鸡肝在 4 $^{\circ}$ C 冰箱中过夜解冻(12 $\pm$ 2)h, 去除可见杂质后清水洗净。姜酒浸泡: 切成 0.6~0.8 cm 的条状; 对照组、 β -环状糊精包埋组、酵母发酵组: 2000 r/min 匀浆 30 s, 间隔 10 s 后, 再以同样转速匀浆 30 s, 为生鸡肝浆, 均于 4 $^{\circ}$ C 冰箱保存备用。

1.2.1.2 姜酒浸泡(GA) 姜酒脱腥液的制备: 参考赵萍等^[17]的方法并修改。称取 16.0 g 去皮碎生姜, 加入 400 mL 6%vol 酒精(96%vol 蒸馏酒稀释), (30 $\pm$ 1) $^{\circ}$ C 静置浸出 30 min, 用纱布滤去碎生姜, 封膜, 4 $^{\circ}$ C 保存备用。

样品制备: 在 50.0 g 条状鸡肝中加入 150 mL 姜酒脱腥液, 封膜, (30 $\pm$ 1) $^{\circ}$ C 浸泡 30 min, 弃去脱腥液, 用滤纸吸干表面水分, 2000 r/min 匀浆 30 s, 间隔 10 s 后, 再以同样转速匀浆 30 s, 封膜, 于 4 $^{\circ}$ C 冰箱保存待测, 记为 GA-r。

1.2.1.3 β -环状糊精包埋(β -CD) 在 50.0 g 生鸡肝浆中加入 1.0 g(2%)的 β -环状糊精, 搅打混匀, 封膜, (30 $\pm$ 1) $^{\circ}$ C 包埋 20 min, 于 4 $^{\circ}$ C 冰箱保存待测, 记为 β -CD-r。

1.2.1.4 酵母发酵(YF) 酵母活化液制备:参考黄可欣^[18]的方法,取12 g高活性干酵母,加入200 mL无菌水,添加0.6 g葡萄糖(30±2)℃下活化30 min,用血球板法计数每mL酵母活化液中活酵母数为 1.0×10^9 个·mL⁻¹,稀释至 1.0×10^7 个·mL⁻¹,备用。样品制备:50.0 g生鸡肝浆中加入5 mL 10^7 个·mL⁻¹酵母活化液,搅打混匀,封膜,(30±1)℃发酵60 min,于4℃冰箱保存待测,记为YF-r。

1.2.1.5 熟样品制备 按照1.2.1.1~1.2.1.4的方法制备生样品(对照组生样品匀浆后封膜,(30±1)℃静置30 min,于4℃冰箱保存待测,记为CK-r),于85℃下水浴至中心温度75℃后冷却至室温,4℃冰箱保存待测,分别记为CK-c、GA-c、β-CD-c、YF-c。

1.2.2 腥味评价与感官评定 腥味感官评定小组人员由10位经过培训的食品专业人员组成,生熟样品分别进行腥味评价、感官评定,分别以腥味值、感官评分表示,剔除最高分和最低分,结果均取8个评分的平均值,均保留2位小数。腥味值与感官评分标准参考张海燕等^[19]和张森等^[20]并作修改,如表1、表2。

表1 不同脱腥方法的鸡肝生样品腥味值评分标准

Table 1 Evaluation standard of odor value of raw chicken liver samples by different deodorization methods

腥味程度	无腥味	略有腥味	弱腥味	腥味一般	腥味较重	腥味重
评分值	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

表2 不同脱腥方法的鸡肝熟样品感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation standard of cooked chicken liver samples by different deodorization methods

指标	评价标准	分值(分)
腥味 (60分)	无腥味或几乎无腥味	46~60
	略有腥味至有轻微腥味	31~45
	有轻微腥味至有中度腥味	16~30
	有中度腥味至腥味重	0~15
风味 (40分)	鸡肝特有风味适中,无异味	31~40
	鸡肝特有风味适中,略有异味	21~30
	鸡肝特有风味过浓或过淡,有轻微臭鸡蛋气味或异味	11~20
	鸡肝特有风味过浓或过淡,有明显臭鸡蛋气味或异味	0~10

1.2.3 电子鼻分析 分别取10.0 g样品于30 mL顶空瓶中,升温至(25±2)℃检测。电子鼻条件:载气为洁净空气,内部流量400 mL/min,进样流量400 mL/min,样品分析时间100 s,传感器清洗时间60 s,归零时间10 s。每个样品平行测定3次。PEN3电子鼻传感器分别为W1C(芳香成分,苯类)、W5S(氮氧化合物)、W3C(芳香成分,氨类)、W6S(氯化物)、W5C(短链烷烃芳香成分)、W1S(甲基类)、W1W(硫化物)、W2S(醇醛酮类)、W2W(芳香成分,有机硫化物)、W3S(长链烷烃)。

1.2.4 顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS) HS-SPME条件:分别取10.0 g样品于30 mL

顶空瓶中,(45±2)℃预热15 min,将手动进样器刺穿顶空瓶盖橡胶圈并推出老化的50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头,(45±2)℃顶空吸附30 min,收回萃取头后取出,迅速插入GC进样口,250℃解吸3 min。

GC条件:DB-5MS毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);载气He,流速1.0 mL/min,不分流;进样温度250℃;升温程序:起始温度40℃,保持3 min,5℃/min升到90℃,不保持,10℃/min升到230℃,保持7 min。到90℃,不保持,10℃/min升到230℃,保持7 min。

MS条件:离子化方式EI;电子能量70 eV;发射电流80 μA;接口温度250℃;离子源温度230℃;扫描质量范围35~450 m/z。

采用仪器自带的NIST11质谱数据库检索,对各组分定性,保留匹配指数(SI)大于80(最大值100)的挥发性风味成分。根据峰面积归一化法进行定量,得出各挥发性风味物质的相对含量。

1.3 数据处理

采用Excel 2019处理数据(计算平均值及标准差),SPSS Statistics 26进行ANOVA单因素方差分析,运用Duncan检验进行显著性分析($P<0.05$),Origin 2021进行作图,实验重复进行3次。采用电子鼻自带软件WinMuster进行主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 不同脱腥方法对鸡肝腥味值与感官评分的影响

鸡肝生熟样品的腥味评价与感官评定结果如图1所示。脱腥后,GA-r(2.01)、β-CD-r(3.32)、YF-r(3.07)的生鸡肝腥味值均显著低于CK-r(3.99)($P<0.05$),说明3种方法对生鸡肝脱腥效果均有显著影响。与CK-c(67.87)相比,GA-c(75.75)感官评分值显著提高($P<0.05$),但β-CD-c(68.25)无显著差异($P>0.05$),生鸡肝经过姜酒浸泡后,姜汁中的辛香物质充分渗透至鸡肝组织中,经匀浆后组织结构被破坏,辛香物质的释放有效掩盖了鸡肝腥味^[17];β-环状糊精能包埋小分子腥味物质^[10],推测其同时也包埋了部分鸡肝的固有风味物质;酵母利用鸡肝中的糖原,

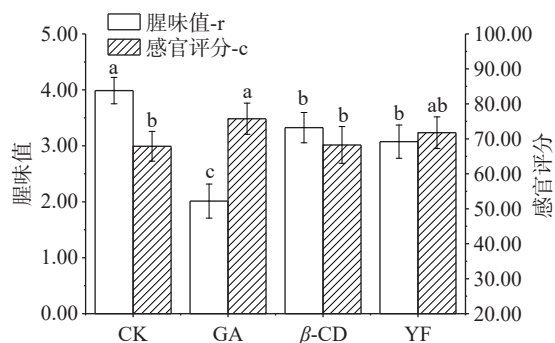


图1 不同脱腥方法对鸡肝生熟样品的腥味与感官的影响

Fig.1 Effects of different deodorization methods on odor and sensory of raw and cooked chicken liver samples

注:同一指标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

依靠自身生物酶的作用将其转化为酒精等具有愉悦香气的物质,或可能通过其代谢途径,将致腥物质转化成非致腥物质^[21]。3种脱腥方法均使生鸡肝腥味值显著下降($P<0.05$)。姜酒浸泡引入的酒精和辛香物质即使经过熟化处理,仍有较多保留于熟鸡肝中,同时,姜酒脱腥液中的成分为鸡肝熟化时生成良好风味物质提供了更多可能性,使其风味显著优于对照组($P<0.05$)。综合分析结果看,初步确定姜酒浸泡和酵母发酵对鸡肝脱腥具有较好的效果。

2.2 不同脱腥方法鸡肝的电子鼻分析

2.2.1 不同脱腥方法鸡肝的响应值雷达图分析

相应的挥发性气体分子能改变电子鼻传感器的电阻率 G 而改变响应值 $G/G_0 (G_0/G)$, 其大小与挥发性气体浓度呈正相关^[22]。与响应值曲线相比, 响应值雷达图可以更直观地反映出各样品的气味轮廓和各传感器对样品的区分程度^[15,23]。如图 2, 分析 90 s 时的传感器响应值。不同脱腥方法的鸡肝样品中, 响应值较高的传感器均为 W1W(硫化物)、W2W(芳香成分, 有机硫化物)、W5S(氮氧化合物)、W2S(醇醛酮类)和 W1S(甲基类)。其中, GA 组响应值最高的传感器为 W1W 和 W5S, 其他 3 组样品响应值最高的传感器均为 W1W 和 W2W, 且从总体看, GA 组的传感器响应值明显比其他 3 组样品高, 可能原因是姜酒脱腥液中的挥发性风味物质渗透到鸡肝组织及细胞中, 引入并促进鸡肝风味物质的溶出^[17]。此外, 熟鸡肝样品的传感器响应值普遍更高, 说明蛋白质、脂肪等物质发生了降解, 形成小分子物质^[24], 且相互之间可能会发生反应, 产生更多挥发性氮氧化合物和含硫化合物等。

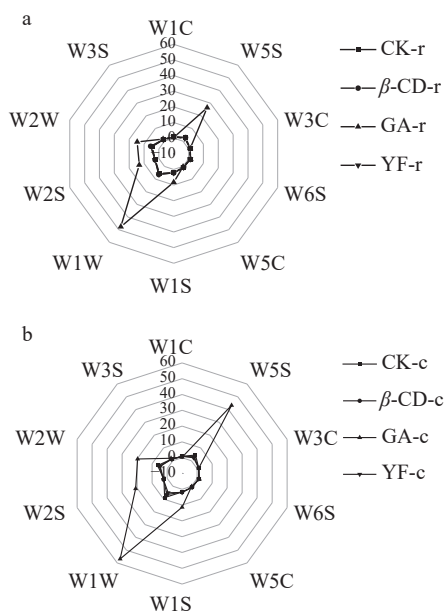


图 2 不同脱腥方法的鸡肝生熟样品的电子鼻响应值雷达图
Fig.2 Radar chart of electronic nose response value of raw and cooked chicken liver samples with different deodorization methods
注: 图中 a、b 分别代表生、熟样品; 图 3 同。

由图 2 可知, GA 法改变了鸡肝原有的气味轮

廓, 这些挥发性化合物对应的传感器对鸡肝气味轮廓影响程度为: $W1W>W5S>W2W\approx W2S>W1S$, 进一步说明了其主要脱腥机理为外源挥发性风味物质(硫化物、氮氧化合物、有机硫化物、醇醛酮和烃类)的渗透^[17]。熟化后, 鸡肝蛋白质变性凝固, 小分子的挥发性物质可能被截留在变性蛋白质的网状结构中, 当绞碎熟鸡肝时, 鸡肝固有风味物质、姜酒中的风味物质以及熟化过程中产生的风味物质被大量释放, 使致腥物质对鸡肝风味贡献不明显。而硫化物通常被认为是肉制品不良风味贡献较大的物质之一^[25], 这也可能导致该组 W1W 和 W2W 响应值远大于其它 3 组。由于 GA 组鸡肝的响应值过大, 在图 2 中难以区分 CK 组、 β -CD 组和 YF 组, 因此移除 GA 组数据, 通过 PCA 进一步分析其它 3 组。

2.2.2 不同脱腥方法鸡肝的主成分分析(PCA)

GA 组鸡肝样品受到姜酒的影响而与其他样品的气味差异明显(图 2); 在 PCA 分析时, 去掉 GA 组, 仅分析 CK 组、 β -CD 组和 YF 组鸡肝样品。如图 3 所示, 3 组生样品的 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 83.64% 和 16.33%, 两者之和为 99.97%(>90%); 熟样品的 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 99.84% 和 0.16%, 两者之和为 100.00%(>90%); 均能充分反映样品的整体气味信息, 各组数据点互不交叉重叠, 表明电子鼻能良好区分 3 组样品。在 PC1 上, 可见生样品, β -CD-r 和 YF-r 均明显比 CK-r 高, 说明脱腥处理后增加了风味中的主要成分, 而第二主成分 PC2 可能是鸡肝腥味, CK-r 与 β -CD-r 相近, 酵母发酵组的脱腥效果较好, 与感官评定结果一致。3 组熟样品在 PC1 和 PC2 上均差异较大, 说明处理改变了鸡肝的风味。

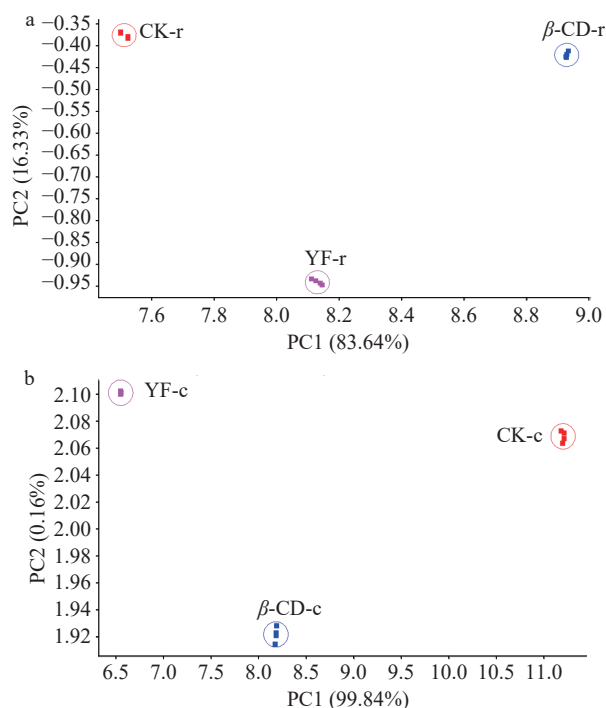


图 3 不同脱腥方法的鸡肝生熟样品的 PCA 图
Fig.3 PCA diagram of raw and cooked chicken liver samples with different deodorization methods

结合雷达图的分析结果,生样品中 PC1 主要反映硫化物和氮氧化合物,PC2 主要反映有机硫化物和芳香成分;熟样品中 PC1 主要反映硫化物和氮氧化合物,PC2 主要反映醇醛酮类和甲基类化合物。熟化后,CK-c、 β -CD-c 和 YF-c 的硫化物和氮氧化合物的含量均略微提高,但 β -CD-c 和 YF-c 明显低于 CK-c;而有机硫化物和芳香成分呈负增长,这可能是使 β -CD-c 和 YF-c 组熟样品腥味脱除的主要原因。综合感官评定的结果,选择 CK、GA 与 YF 3 组进行 HS-SPME-GC-MS 分析。

2.3 不同脱腥方法鸡肝的 HS-SPME-GC-MS 分析

CK、GA 和 YF 生熟样品检出物质如表 3。由表 3 可知,所有样品中共检测出 124 种挥发性风味物质,CK-r、CK-c、GA-r、GA-c、YF-r、YF-c 各检出 33、29、59、27、45、32 种挥发性风味物质。姜酒浸泡和酵母脱腥后,生样品中挥发性风味物质种类均有所增加,姜酒浸泡主要通过加入外源风味物质掩蔽鸡肝腥味,酵母发酵可能主要通过生物合成和分解而产生多种风味物质。不同脱腥方法改变了鸡肝原有的风味特性,体现在挥发性风味物质种类和含量的变化上^[26]。

表 3 不同脱腥方法的鸡肝生熟样品 GC-MS 结果分析

Table 3 GC-MS analysis of raw and cooked chicken liver samples with different deodorization methods

类别	序号	保留时间 (min)	挥发性化合物	相对含量(%)						香气描述
				CK-r	CK-c	GA-r	GA-c	YF-r	YF-c	
醇类	1	1.631	乙醇	—	—	75.49	14.64	—	—	酒香味、刺激辛辣味
	2	3.921	异戊醇	5.09	—	2.12	—	16.02	—	特殊臭味、不愉快
	3	11.060	1-辛烯-3-醇	—	1.47	0.07	—	0.10	—	蘑菇味、土腥味
	4	11.780	2-辛醇	1.52	—	0.17	—	0.52	—	特殊臭味
	5	12.644	(E,Z)-3,6-壬二烯-1-醇	—	—	—	1.14	—	0.98	
	6	12.728	桉叶油醇	—	—	1.62	—	—	—	樟脑味、清凉味
	7	12.785	苯甲醇	—	—	—	—	0.18	—	芳香气味
	8	12.88	4-乙基环己醇	—	0.06	—	—	—	—	
	9	12.919	3,5-辛二烯-2-醇	—	—	—	—	—	0.34	
	10	13.812	(E)-2-辛烯-1-醇	—	0.16	—	0.36	—	0.48	愉快果蔬清香
	11	14.898	1-甲基环庚醇	0.16	0.59	0.25	—	—	3.21	
	12	14.963	苯乙醇	0.10	—	0.12	—	1.03	—	清甜玫瑰香气
	13	16.290	壬醇	0.18	0.11	—	—	0.08	0.11	花果香、脂蜡味
	14	16.330	2-苄醇	—	—	0.14	—	—	—	樟脑、薄荷味
	15	17.550	3,4-二甲基环己醇	—	0.18	—	0.37	—	0.46	
	16	18.043	异辛醇	—	0.03	—	—	—	—	
	17	18.058	(E)-2-十一烯醇	—	—	—	0.22	—	—	油脂味、花香
	18	21.125	月桂醇	—	—	—	—	0.02	—	紫罗兰香
醛类			小计	7.05	2.60	79.98	16.73	17.95	5.58	
	1	2.672	3-甲基丁醛	37.19	—	0.55	—	32.35	—	刺激辛味、苹果香
	2	3.165	戊醛	—	—	—	—	—	0.09	
	3	5.376	己醛	1.84	18.35	—	3.57	0.45	11.52	鱼腥味、青草味
	4	8.456	庚醛	—	0.56	—	0.12	—	0.38	青草味、果香味
	5	8.604	3-甲硫基丙醛	—	—	—	—	—	0.53	强烈恶臭
	6	10.378	苯甲醛	19.05	68.08	9.63	62.14	11.95	65.03	苦杏仁、櫻桃和坚果香气
	7	11.785	辛醛	—	0.56	—	0.81	—	0.82	青草味、果香
	8	13.045	苯乙醛	1.06	—	0.13	—	0.69	—	花果香
	9	13.525	(E)-2-辛烯醛	—	0.28	—	0.38	—	0.60	脂肪、肉腥味
	10	14.779	壬醛	1.93	1.56	0.18	3.11	0.35	—	鱼腥、油脂味
	11	16.036	(E)-2-壬烯醛	—	0.13	—	—	—	—	鸡肉腥香、脂肪味
	12	16.725	(Z)-4-癸烯醛	—	0.06	—	—	—	0.23	鸡肉腥香、脂肪味
	13	16.961	癸醛	0.22	0.19	—	0.27	0.08	—	柑橘、脂肪香
	14	17.241	β -环柠檬醛	—	0.13	0.04	0.41	0.06	—	清凉果香
	15	17.974	2-十一烯醛	—	—	—	—	—	0.19	
	16	18.070	柠檬醛a	—	—	0.05	—	—	—	
	17	18.098	2-苯基巴豆醛	—	—	—	—	0.06	—	霉味
	18	18.519	(E,E)-2,4-癸二烯醛	—	0.04	—	0.14	—	0.20	
	19	18.720	十一醛	0.08	—	—	—	0.02	—	玫瑰花香、脂蜡味
	20	20.240	月桂醛	0.17	—	—	—	0.02	—	脂肪味
			小计	61.54	89.94	10.58	70.95	46.03	79.59	

续表 3

类别	序号	保留时间 (min)	挥发性化合物	相对含量(%)						香气描述
				CK-r	CK-c	GA-r	GA-c	YF-r	YF-c	
酮类	1	2.150	2-丁酮	—	0.25	—	—	—	—	丙酮味
	2	3.331	3-羟基-2-丁酮	—	—	0.62	—	3.90	—	奶油味
	3	8.115	1-溴-3-苯基-1-丙酮	—	—	—	—	0.55	—	
	4	9.774	2,2-二甲基-3-庚酮	—	—	0.23	—	—	—	
	5	10.943	1-辛烯-3-酮	—	0.07	—	—	—	—	
	6	11.202	2,3-辛二酮	—	3.00	—	7.35	—	10.15	脂肪、奶油味
	7	11.346	2-辛酮	2.52	—	0.47	—	1.10	—	霉味、蘑菇味
	8	12.790	2,2,6-三甲基环己酮	—	0.06	—	—	—	—	奶油、果香
	9	14.241	2-甲基-3-辛酮	—	—	—	—	—	0.27	
	10	14.438	2-壬酮	—	—	0.08	—	—	—	
	11	14.512	(E)-4-壬酮	—	—	0.03	—	—	—	
	12	15.240	5-乙酰基四氢呋喃-2-酮	—	—	0.03	—	—	—	
	13	15.772	1,6,6-三甲基-8-恶唑环 [3.2.1]辛烷-2-酮	—	0.04	—	—	—	—	
	14	15.788	樟脑	—	—	0.07	—	—	—	刺激性芳香味
	15	20.475	紫罗兰酮	—	—	—	—	—	0.03	紫罗兰香
	16	20.772	香叶基丙酮	—	—	—	—	0.02	0.05	花香
	17	21.250	β -紫罗兰酮	—	0.14	—	—	0.03	0.33	桂花香
	18	23.475	13-烯-1-十四酮	—	—	—	—	—	0.01	
酸类			小计	2.52	3.56	1.53	7.35	5.60	10.84	
	1	3.246	乙酸	—	—	—	0.20	—	0.13	刺激性醋味
	2	6.610	异戊酸	0.74	2.72	0.09	—	0.17	0.98	刺激性酸败味
	3	16.053	苯甲酸	—	—	0.05	—	—	—	安息香
	4	16.235	辛酸	—	—	0.04	—	—	—	脂肪味、汗臭味
	5	26.615	棕榈酸	—	—	0.62	—	—	—	
	6	28.452	亚油酸	—	—	0.05	—	—	—	
	7	28.521	油酸	—	—	0.18	—	—	—	猪油味
	8	28.826	硬脂酸	—	—	0.25	—	—	—	脂肪味
			小计	0.74	2.72	1.25	0.20	0.17	1.11	
	1	1.350	丙氨酸乙酯	—	—	—	—	—	0.01	
	2	5.432	异丁酸丁酯	—	—	0.48	—	—	—	苹果、菠萝香
	3	6.842	2-甲基丁酸乙酯	—	—	0.25	—	—	—	苹果、菠萝香
	4	6.992	异戊酸乙酯	—	—	0.33	0.14	—	—	苹果香
	5	7.498	己基甲酸氯	—	—	0.76	—	—	—	
	6	8.740	4-羟基丁酸内酯	—	—	0.12	—	—	—	芳香气味
	7	11.666	正己酸乙酯	—	—	0.24	—	—	—	曲香、菠萝香
	8	14.522	2-乙基丁酸烯丙酯	—	—	—	0.34	—	0.36	醚香、果香、油脂味
酯类	9	14.612	庚酸乙酯	—	—	0.07	—	—	—	菠萝香
	10	15.935	(Z)-4-辛烯酸乙酯	—	—	0.06	—	—	—	苹果香
	11	15.979	10-甲基十一烷-3-烯-4-内酯	—	—	—	—	—	0.31	
	12	16.285	氯甲酸正壬基酯	—	—	—	0.28	—	—	
	13	16.770	辛酸乙酯	—	—	0.45	0.38	—	—	白兰地酒香
	14	18.506	壬酸乙酯	—	—	0.11	—	—	—	花果香
	15	20.005	癸酸乙酯	—	—	0.39	0.19	—	—	果香、酒香
	16	21.970	二氢猕猴桃内酯	—	—	—	—	0.03	0.09	香豆素香、麝香
	17	22.617	月桂酸乙酯	—	—	0.06	—	—	—	未熟果味
	18	22.623	油酸乙酯	—	—	—	—	0.02	—	
	19	24.598	(E)-4-癸烯酸乙酯	—	—	0.04	—	—	—	皮革味
	20	24.894	十五酸乙酯	—	—	0.04	—	—	—	
	21	25.632	邻苯二甲酸二异丁酯	0.24	—	0.04	—	0.06	—	芳香味
	22	26.603	1,2-邻苯二甲酸丁酯异癸酯	0.19	—	—	—	—	—	
	23	26.744	9-十六碳烯酸乙酯	—	—	0.06	—	—	—	花香
	24	26.946	棕榈酸乙酯	—	—	0.22	—	—	—	蜡香、脂肪味
	25	28.842	1-亚油酸单甘油酯	—	—	—	0.09	—	—	

续表 3

类别	序号	保留时间 (min)	挥发性化合物	相对含量(%)						香气描述
				CK-r	CK-c	GA-r	GA-c	YF-r	YF-c	
烃类	26	28.919	油酸乙酯	—	—	0.13	—	—	—	
			小计	0.43	0	3.85	1.42	0.11	0.77	
	1	2.288	三氯甲烷	11.05	—	—	—	3.19	—	特殊气味
	2	4.538	甲苯	2.00	—	—	—	—	—	特殊芳香味
	3	7.133	乙苯	0.75	—	—	—	—	—	芳香味
	4	7.493	对二甲苯	3.33	—	—	—	—	—	芳香味
	5	7.505	6,6-二甲基富烯	—	—	—	—	0.81	—	
	6	9.312	2-甲基噻唑烷	—	—	0.19	—	—	—	
	7	9.474	2-蒎烯	—	—	—	—	0.09	—	松木、树脂气味
	8	9.488	蒎烯	0.16	—	0.04	—	—	—	松木、树脂气味
	9	9.995	莰烯	0.14	—	0.07	—	0.07	—	樟脑香
	10	10.910	左旋- β -蒎烯	1.28	—	—	—	0.06	—	松脂味
	11	12.464	邻甲基异丙基苯	0.47	0.12	0.13	—	0.17	—	
	12	12.625	右旋 α -二烯	3.61	0.99	0.76	—	1.39	—	鲜花香、甜橙香
	13	13.532	3-萜烯	0.27	—	0.06	—	0.14	—	松木香
	14	14.294	萜品油烯	0.18	—	—	—	0.08	—	柠檬味
	15	14.304	(+)-4-萜烯	—	—	0.03	—	—	—	
	16	15.981	1-甲基-顺-1,2-环氧环辛烷	—	—	—	0.29	—	—	
	17	16.572	甘菊蓝	0.22	—	0.04	—	0.11	—	
	18	16.867	十二烷	—	0.04	—	—	—	—	
	19	16.870	十一烷	—	—	—	—	0.02	—	
	20	18.197	2-甲基-4-丁基辛烷	—	—	0.03	—	—	—	
	21	18.200	4,6-二甲基十二烷	0.07	—	—	—	0.04	—	
	22	18.300	1-碘辛烷	—	—	—	0.06	—	0.07	
	23	18.947	1-氯-二十七烷	0.11	—	—	—	—	—	
	24	20.116	十四烷	—	—	—	—	0.08	—	
	25	20.319	7-十四烯	—	0.03	—	—	0.03	—	
	26	20.487	α -柏木烯	—	—	—	—	0.03	—	
	27	21.268	姜黄素	—	—	0.10	—	—	—	辛香味
	28	21.451	(-)-姜烯	—	—	0.11	—	—	—	辛香味
	29	21.470	十五烷	—	—	—	—	0.02	—	
	30	23.897	二十烷	—	—	—	0.03	—	0.03	
	31	25.063	二十四烷	—	—	—	—	0.04	—	
	32	25.064	2,6,10,14-四甲基十六烷	0.11	—	0.04	0.03	—	0.04	
			小计	23.75	1.18	1.60	0.41	6.37	0.14	
其他	1	1.656	2-氨基异丙醚	—	—	—	—	22.40	—	
	2	8.513	甲氧基苯基胍	3.97	—	1.18	2.94	1.37	1.97	
			小计	3.97	0	1.18	2.94	23.77	1.97	

注: “—”表示未检出;挥发性化合物的香气描述主要来自<http://www.ichemistry.cn>和<http://www.flavornet.org/flavornet.html>。

CK-r 中以醛类(61.54%)物质为主,其次为烃类(23.75%)和醇类(7.05%),共占 CK-r 总挥发性风味物质的 92.34%。醛类中含量最多的是 3-甲基丁醛(37.19%)、苯甲醛(19.05%),其次是壬醛(1.93%)、己醛(1.84%)和苯乙醛(1.06%)。壬醛、己醛、(E)-2-辛烯醛等存在于多种水产品中,有令人不愉快的草腥味和脂肪味,对水产品的腥味具有重要贡献。这是产生鸡肝腥味的重要原因^[10,27]。烃类物质中的卤代烃也可能对鸡肝特殊风味有一定贡献^[28]。醇类中主要为异戊醇(5.09%)和 2-辛醇(1.52%),两者均有令人不愉快的特殊臭味,多数饱和醇阈值高,而不饱和醇通常阈值较低,可能对鸡肝的不良风味稍有贡献^[29]。

由于姜酒中物质的加入,GA-r 中挥发性风味物

质种类明显增加。与 CK-r(7.05%)相比,GA-r 醇类物质含量(79.98%)增加最明显,除乙醇外,桉叶油醇和 2-蒎醇赋予其清凉的薄荷香气,也对其风味有一定贡献;酯类物质种类增加较多,含量由 0.43% 增加到 3.85%,可能是由乙醇与鸡肝中的有机酸发生反应而形成,它们大多具有柔和的花果清香,能掩盖鸡肝不良风味^[30]。相反,醛类物质含量由 61.54% 大幅下降到 10.58%,其中 3-甲基丁醛和苯甲醛的含量大幅下降,己醛和壬醛含量均有所降低,从而减轻了鸡肝腥味;烃类物质中增加的姜黄素和(-)-姜烯等生姜特征风味物质赋予了特殊辛香味,表明姜酒浸泡对鸡肝脱腥有明显效果。

由于酵母的发酵,YF-r 中醇类物质含量增加,部

分醇类如 2-辛醇和壬醇等均有所减少, 但异戊醇的含量却大量增加, 且产生了 1-辛烯-3 醇, 广泛存在于水产品 and 动物食品, 被认为是鱼腥味和不良风味的代表物质^[31], 可能是多不饱和脂肪酸分解或碳水化合物通过酶的作用还原产生^[32]。醛类中, 3-甲基丁醛、苯甲醛、己醛和壬醛含量均有所降低。酵母发酵对生鸡肝脱腥有较好效果, 但综合感官评定与电子鼻结果, 其脱腥效果不如姜酒浸泡。

肉类熟化后的风味物质来源于蛋白质、碳水化合物、脂质和维生素等非挥发性物质, 美拉德反应、脂质氧化分解、维生素降解以及一些物质与美拉德反应产物的相互作用对熟肉风味的产生起重要作用^[33]。3 组熟样品中的挥发性风味物质种类均减少。醛类物质变化最明显, 3 组样品的醛类物质含量均增加到 70% 以上, 特别是苯甲醛, 3 组熟样品苯甲醛含量达到了 60% 以上, 这可能是熟鸡肝固有的主体风味物质。其生成机理极其复杂, 可能是由芳香族氨基酸发生美拉德反应 Strecker 降解后形成, 也可能由脂质氧化或较大分子的烃类分解而成的小分子物质发生成环反应, 再经取代和氧化形成^[21,33]。此外, 熟化过程可以去除部分不良风味, 如 3-甲基丁醛在 3 组熟样品中均没有检出。而酮类物质在熟化后也呈增长趋势, 其中 2,3-辛二酮呈脂肪和奶油香味, 能改善鸡肝的总体风味。鸡肝熟化时, 其含有的少量亚铁肌红蛋白被氧化成高铁肌红蛋白, 后者能加速脂质氧化产生多种醛酮类物质, 导致鸡肝风味发生较大变化^[34]。醇类物质比熟化前含量均减少, 其中异戊醇和 2-辛醇未检出, 但被认为是致腥物质的 1-辛烯-3-醇^[27], 在 GA-c、YF-c 中未检出, 说明姜酒浸泡法和酵母发酵法对熟化鸡肝脱腥效果较好。

3 结论

采用姜酒浸泡、酵母发酵和 β -环状糊精包埋对鸡肝进行脱腥。结果表明, β -环状糊精包埋可能同时包埋了鸡肝腥味和固有风味。电子鼻能较好区分对照组和 3 种脱腥鸡肝, 与感官评定结果一致。GA-c 和 YF-c 的感官评分较高。采用 HS-SPME-GC-MS 分别检测了 CK-r(33 种)、CK-c(29 种)、GA-r(59 种)、GA-c(27 种)、YF-r(45 种)、YF-c(32 种) 样品, 共检测出 124 种挥发性风味成分。分析发现, 脱腥前, 鸡肝中可能的致腥物质主要为醛类(3-甲基丁醛、苯甲醛、壬醛、己醛、(E)-2-辛烯醛)、烃类(三氯甲烷)和醇类(异戊醇和 2-辛醇)。姜酒浸泡后, 醇类和酯类物质含量明显增加, 而醛类物质(3-甲基丁醛、苯甲醛、己醛和壬醛)含量明显降低; 酵母脱腥后, 2-辛醇和壬醇等含量也明显降低。所有熟化鸡肝中苯甲醛含量均明显增加, 判断为熟鸡肝的主体风味物质, 但其具体生成途径有待进一步研究。姜酒浸泡组熟化后残留的乙醇是鸡肝熟化后保持较好风味的因素。研究表明, 姜酒浸泡能明显改善鸡肝的风味, 脱腥效果较好, 酵母发酵次之, 为促进鸡肝的综合利用提供

了参考。

参考文献

- [1] ZOU Y, SHAHIDI F, SHI H B, et al. Values-added utilization of protein and hydrolysates from animal processing by-product livers: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 110: 432–442.
- [2] XIONG G Y, CHEN X, GAO X Q, et al. Comparison on the emulsion properties of normal colour and discolouration fresh chicken liver[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2020, 19(1): 551–559.
- [3] 王立, 张坤, 陈琳, 等. 动物肝脏蛋白资源开发利用的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 311–315. [WANG L, ZHANG K, CHEN L, et al. Research progress in development and utilization of animal liver protein resources[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(19): 311–315.]
- [4] MULLEN A M, ÁLVAREZ C. Offal: Types and composition[J]. *Encyclopedia of Food and Health*, 2016: 152–157.
- [5] 邓雨娇, 张定堃, 刘倩, 等. 动物药腥臭气味形成机制及掩蔽技术研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(10): 2353–2359. [DENG Y J, ZHANG D K, LIU Q, et al. Progress on formation and taste-masking technology of stench of animal medicines[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2020, 45(10): 2353–2359.]
- [6] IM S, HAYAKAWA F, KURATA T. Identification and sensory evaluation of volatile compounds in oxidized porcine liver[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(2): 300–305.
- [7] XIONG G, GAO X, ZHENG H, et al. Comparison on the physico-chemical and nutritional qualities of normal and abnormal colored fresh chicken liver[J]. *Animal Science Journal*, 2017, 88(6): 893–899.
- [8] 胡苑, 施文正, 卢瑛. 鱼类腥味去除技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(5): 282–287. [HU Y, SHI W Z, LU Y. Recent advances on deodorization technology of fishy odors[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(5): 282–287.]
- [9] YU X P, CHEN L, SHENG L, et al. Volatile compounds analysis and off-flavors removing of porcupine live[J]. *Food Science and Technology Research*, 2016, 22(2): 283–289.
- [10] LI Y H, ZHOU W, CAO Y P, et al. Analysis of volatile components of *Tilapia* enzymolysis solution after different deodorization treatments[J]. *Earth and Environmental Science*, 2020, 571(1): 012121.
- [11] GARDNER J W, BARTLETT P N. A brief history of electronic noses[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 1994, 18(1-3): 210–211.
- [12] 付湘晋, 许时婴, 王璋, 等. 电子鼻检测白鲢鱼腥味[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2010, 36(3): 316–321. [FU X J, XU S Y, WANG Z, et al. Determination of off-flavors in silver carp mince using electronic nose[J]. *Journal of Zhejiang University (Agricultural & Life Science)*, 2010, 36(3): 316–321.]
- [13] 李翠翠, 李永丽. 近五年来电子鼻在食品检测中的应用[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(11): 11–13. [LI C C, LI Y L. The application of electronic nose in food inspection during the last five years[J]. *Cereals & Oils*, 2020, 33(11): 11–13.]
- [14] WU S L, YANG J, DONG H, et al. Key aroma compounds of Chinese dry-cured Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*)

- and their potential metabolic mechanisms[J]. *Food Chemistry*, 2021, 342: 128381.
- [15] 崔方超, 李婷婷, 杨兵, 等. 电子鼻结合 GC-MS 分析草鱼脱腥前后风味变化[J]. *食品科学*, 2014, 35(20): 126-130. [CUI F C, LI T T, YANG B, et al. Flavor compounds of fresh and deodorized grass carps as determined by electronic nose combined with GC-MS[J]. *Food Science*, 2014, 35(20): 126-130.]
- [16] 谢章斌, 范亚苇, 邓泽元, 等. SDE 联合 GC-MS 与 GC-O 分析鹅肥肝挥发性风味物质[J]. *食品科学*, 2011, 32(24): 220-223. [XIE Z B, FAN Y W, DENG Z Y, et al. Analysis of volatile compounds in Foie Gras by SDE, GC-MS and GC-O[J]. *Food Science*, 2011, 32(24): 220-223.]
- [17] 赵萍, 陈小华, 刘俊霞, 等. 生姜/料酒脱腥过程中大鲵肝挥发性有机物动态变化[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(24): 164-172. [ZHAO P, CHEN X H, LIU J X, et al. Dynamic changes of volatile organic compounds in giant salamander (*Andrias davidianus*) liver during ginger/cooking wine deodorization[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(24): 164-172.]
- [18] 黄可欣. 牡蛎酶解液挥发性风味成分分析及脱腥工艺研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020. [HUANG K X. Study on analysis of volatile compounds of oyster enzymatic hydrolysate and its deodorization process[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.]
- [19] 张海燕, 吴燕燕, 李来好, 等. 响应面法优化海鲈鱼片脱腥工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(11): 143-149. [ZHANG H Y, WU Y Y, LI L H, et al. Optimized deodorization process of *Lateolabrax japonicus* fillets by response surface methodology[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(11): 143-149.]
- [20] 张森, 杨凯, 张佳敏, 等. 响应面法优化银鳕鱼脱腥工艺[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(12): 178-184. [ZHANG M, YANG K, ZHANG J M, et al. Optimization of deodorization technology for cod by using response surface methodology[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(12): 178-184.]
- [21] GAO R C, LI X, LIU H J, et al. Optimization of removal of off-odor in mullet (*Channa Argus*) head soup by yeast using response surface methodology and variations of volatile components during fermentation[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(11): e15920.
- [22] 张沙沙, 罗晓莉, 曹晶晶, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析松茸减压贮藏过程中挥发性风味成分变化[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(14): 243-248. [ZHANG S S, LUO X L, CAO J J, et al. Analysis of the changes in volatile flavor components during hypobaric storage of *Tricholoma matsutake* using electronic nose combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(14): 243-248.]
- [23] 孙达锋, 胡小松, 张沙沙. 电子鼻结合气相-离子迁移谱联用技术分析兰茂牛肝菌气调贮藏期间挥发性风味物质的变化[J/OL]. *食品工业科技*: 1-12 [2021-10-04]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021070297>. [SUN D F, HU X S, ZHANG S S. Changes in volatile compounds of *Lanmaoa asiatica* during controlled atmosphere storage using electronic nose combined with gas chromatography-ion mobility spectroscopy[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*: 1-12 [2021-10-04]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021070297>.]
- [24] ESTEVEZ M, VENTANAS S, RAMIREZ R, et al. Analysis of volatiles in porcine liver pates with added sage and rosemary essential oils by using SPME-GC-MS[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(16): 5168-5174.
- [25] 吴吉玲, 黄一珍, 姜鹏飞, 等. 排序法在大西洋鲭鱼脱腥工艺筛选中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(23): 73-79. [WU J L, HUANG Y Z, JIANG P F, et al. Application of ranking test in screening of *Atlantic Mackerel* (*Scomber scombrus*) deodorization process[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(23): 73-79.]
- [26] 苏怡, 姜启兴, 夏文水. 不同脱腥方法对鲟鱼肉脱腥效果的比较研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(10): 138-146. [SU Y, JIANG Q X, XIA W S. Comparison of effects of different deodorization methods on deodorizing sturgeon fish (*Acipenser sinensis*) [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(10): 138-146.]
- [27] 党连魁. 蒸制中华绒螯蟹在冷藏过程中腥味变化及控制技术的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019. [DANG L K. Research on the variations and control technology of fishy odor for the steamed Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) during cold storage[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.]
- [28] 王晓君, 夏杨毅, 张丹, 等. 不同脱腥方法对兔肉脱腥效果的比较[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(5): 205-212, 179. [WANG X J, XIA Y Y, ZHANG D, et al. Comparison of different deodorization methods for deodorizing rabbit meat[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(5): 205-212, 179.]
- [29] 余远江, 庞一扬, 袁桃静, 等. 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[J/OL]. *食品工业科技*: 1-17 [2021-10-04]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030193>. [YU Y J, PANG Y Y, YUAN T J, et al. Analysis of flavor characteristics of five aquatic raw materials based on electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*: 1-17 [2021-10-04]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030193>.]
- [30] 潘晓倩, 周慧敏, 李素, 等. 卤牛肉贮藏过程中气味活性化合物变化及异味分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(22): 240-248. [PAN X Q, ZHOU H M, LI S, et al. Changes in odor-active compounds during storage and analysis of off-flavor substances in stewed marinated beef[J]. *Food Science*, 2021, 42(22): 240-248.]
- [31] THIANSILAKUL Y, BENJAKUL S, RICHARDS M P. Effect of myoglobin from Eastern little tuna muscle on lipid oxidation of washed Asian seabass mince at different pH conditions[J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(2): C242-249.
- [32] LU Q, LIU F, BAO J. Volatile components of American silver carp analyzed by electronic nose and MMSE-GC-MS-O[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, 43(11): e13006.
- [33] KHAN M I, JO C, TARIQ M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors-A systematic review[J]. *Meat Science*, 2015, 110: 278-284.
- [34] BARON C P, ANDERSEN H J. Myoglobin-induced lipid oxidation: A review[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(14): 3887-3897.