

食盐腌制对油炸罗非鱼风味的影响

赵笑颖,袁桃静,庞一扬,余远江,刘小玲*

(广西大学,轻工与食品工程学院,广西南宁 530004)

摘要:为探究食盐腌制对油炸罗非鱼风味的影响,本研究以蛋白质、脂肪酸、游离氨基酸以及呈味核苷酸含量为考察指标,通过感官评定结合顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)方法分析食盐腌制对油炸罗非鱼可挥发性风味物质以及风味组分间的影响。结果表明,腌制前后的油炸罗非鱼风味变化明显,感官评价结果显示经过食盐腌制处理,油炸罗非鱼油脂味、肉香味增强,土腥味减弱;HS-SPME-GC-MS检测结果显示,食盐腌制过后油炸罗非鱼的可挥发性气味物质中1-辛烯-3-醇相对含量降至4.17%,ROAV值为5.70,(E,E)-2,4-癸二烯醛含量升为5.12%,ROAV值为100,肉香味和油脂味明显增强,土腥味明显降低;食盐腌制处理后油炸罗非鱼蛋白质与脂肪的含量显著降低($P < 0.05$),游离氨基酸与脂肪酸的消耗量增加,分别为38.94 mg/100 g和2.37 mg/g,且呈味氨基酸的占比与不饱和脂肪酸的含量发生显著降低($P < 0.05$),提供鲜味的肌苷酸(Inosinic acid, IMP)和鸟苷酸(Guanlyic acid, GMP)含量显著($P < 0.05$)降低。实验证明食盐腌制对油炸罗非鱼的风味物质及组分影响显著($P < 0.05$),显著降低蛋白质和脂肪的含量,降解形成的挥发性物质显著提高,提高罗非鱼的油脂香、鲜味和肉香味,降低其土腥味和青草味,明显改善罗非鱼的品质。

关键词:感官评定,罗非鱼,食盐腌制,风味,油炸,顶空固相微萃取-气质联用

Effects of Salt Curing on Flavor of Fried Tilapia

ZHAO Xiao-ying, YUAN Tao-jing, PANG Yi-yang, YU Yuan-jiang, LIU Xiao-ling*

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

Abstract: In order to explore the effect of salt pickling on the flavor of fried tilapia, the contents of protein, fatty acid, free amino acid and flavor nucleotides were taken as the inspection indexes, and the effects of salt pickling on volatile flavor substances and flavor components of fried tilapia were analyzed by sensory evaluation combined with headspace solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). The results showed that the flavor of fried tilapia changed obviously before and after pickling, the result of sensory evaluation showed that the oil and meat odor of fried tilapia were enhanced by the salt pickling, and the earthy flavor was weakened. HS-SPME-GC-MS results showed that the relative content of 1-octene-3-ol in volatile odorant of fried tilapia after salt pickling decreased to 4.17%, ROAV value was 5.70, (E, E)-2,4-decadienal contents increased to 5.12%, ROAV value was 100, meat flavor and oil flavor were obviously enhanced, while earthy flavor was obviously reduced. The contents of protein and fat in fried tilapia after salt pickling treatment decreased significantly ($P < 0.05$), the consumption of free amino acids and fatty acids increased to 38.94 mg/100 g and 2.37 mg/g respectively, and the proportion of flavor amino acids and the contents of unsaturated fatty acids decreased significantly ($P < 0.05$), the contents of inosinic acid, IMP) and guanylic acid, GMP), which provide delicate flavor, decreased more obviously. Salt pickling had a significant effect on flavor substances and components of fried tilapia ($P < 0.05$), the contents of protein and fat were obviously reduced, volatile substances formed by degradation were obviously improved, oil flavor, delicate flavor and meat flavor of tilapia were improved, earthy flavor and grass flavor of tilapia were reduced, and the quality of tilapia was obviously improved.

Key words: sensory evaluation; tilapia; salt pickling; flavor substance; frying; headspace solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)19-0266-08

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.19.041

引文格式: 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.

油炸食品因为脂香浓郁以及良好的口感色泽而被消费者所喜爱。罗非鱼是我国三大淡水养殖品种

收稿日期:2020-01-02

作者简介:赵笑颖(1998-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工与安全,E-mail:1915467404@qq.com。

*通讯作者:刘小玲(1972-),女,博士,教授,研究方向:水产品的开发与利用,E-mail:1106133912@qq.com。

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0901003);广西创新驱动专项(桂科AA17204075)。

之一,其肉质细嫩少刺,适宜加工。油炸后的罗非鱼不仅货架期得到了延长,而且风味得到了极大的改善,在油炸过程中,食品形成令人愉悦的风味、口感和质地,从而提高了食品的营养价值^[1-2]。且因其外酥里嫩、色泽金黄、香气浓郁等独特的产品品质尤其受到关注,是罗非鱼主要的深加工产品。食盐腌制是重要的原料保鲜保藏手段,也是一种改进鱼滋味的调味方法。

关于腌制处理对肉制品风味的影响,国内外学者主要开展腌制肉制品风味变化的研究,如丁丽丽等^[3]认为,新鲜海鱼经过腌制处理后,其挥发性物质发生变化。还有部分学者发现腌制风味的产生主要来自于蛋白质和脂肪的降解产生,如 Toldra^[4]发现干腌火腿的特殊风味,是蛋白质和脂肪在内源酶的作用下发生降解反应产生氨基酸和脂肪酸等呈味物质,风味含量增加,氨基酸与脂肪酸含量减少。侯婷婷等^[5]认为挥发性成分主要是蛋白质在酶的作用下发生降解和脂肪酸发生氧化,且降解产物与氧化产物进一步反应所生成。谭汝成^[6]研究认为腌制能够促进前体物质的转化和风味物质的形成,在腌制过程中,脂肪酸发生降解反应产生酮、醛等物质,促进风味的形成。而在腌制对炸制鱼风味的影响上缺乏研究,且对炸制鱼的脂质热降解、美拉德反应等形成风味物质的组分及风味之间的转化规律缺乏深入研究。

因此,本实验通过感官评定结合 GC-MS 的研究方法,探究食盐腌制对油炸罗非鱼的风味及其风味组分的影响,并检测脂肪酸、游离氨基酸以及呈味核苷酸等指标,明确腌制处理后的油炸鱼整体风味的差异以及风味间的变化规律,分析比较油炸罗非鱼在食盐腌制处理下的差异性,探讨新鲜鱼在经过腌制处理后,其风味组分的变化,以期为进一步探讨油炸鱼风味的形成机理以及提高油炸鱼的风味品质提供良好的基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜罗非鱼、食用盐(加碘食盐)、金龙鱼大豆油 广西大学北京华联超市;磺基水杨酸、氯仿、甲醇、NaCl、NaOH、高氯酸、15% 三氟化硼甲醇溶液、石油醚、浓硫酸 上海麦克林生物化学有限公司;其他试剂 国产分析纯试剂。

SZF-06A 自动脂肪测定仪 上海新嘉电子有限公司;SKD-800 自动凯氏定氮仪 上海沛欧分析仪器有限公司;L-8900 全自动氨基酸分析仪 日本日立公司;FJ300-SH 数显高速分散均质机 上海标准模型厂;XJ-6K116 电炸锅 爱思杰电器(深圳)有限公司;Water3 e2695 HPLC 美国 Waters 公司;Agilent 7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 选取净重在 500 g 的鲜活罗非鱼宰杀,去除鳃、内脏和鱼鳞,清洗干净,吸取多余水分,在两侧肌肉部位划 2~3 道切口,选取新鲜鱼肉进

行处理。实验设置为四组,分别为:新鲜罗非鱼(X_1);用 2% (质量比) 食盐腌制 1 h 的腌制罗非鱼(X_2);将样品 X_1 和样品 X_2 置于 180 °C 的大豆油中油炸 3 min,沥去油分,得到新鲜炸制罗非鱼(Y_1) 和腌制炸制罗非鱼(Y_2)。将各样品处理完成后置于 -20 °C 冰箱备用,用于分析测定样品的气味及其组成成分。

1.2.2 感官评价 参照相关文献[7-8]方法进行调节,对油炸罗非鱼的气味特征感官词进行整合,主要分为油脂香、金属味、肉香味、土腥味、鲜味、青草味。由实验室内的随机 12 名同学组成感官评定小组。感官小组首先对气味代表物质进行熟悉,油脂香(壬醛)、金属味(七水合硫酸亚铁)、肉香味(2-甲基-3-巯基咪喃)、土腥味(三甲胺)、鲜味(谷氨酸钠)、青草味(己醛),熟悉后让感官小组采用 6 点间隔强度法(0 = 无,5 = 极强)对不同的样品进行描述性感官分析,取平均值绘制风味剖面图。

1.2.3 顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)分析 取 2.00 g 样品按照 1:3 (g/mL) 的料液比加入饱和食盐水,在冰水浴中匀浆,将匀浆液移入顶空进样瓶中,置于 4 °C 冷藏冰箱内,于 4 h 内进行检测^[9-10]。

顶空瓶在 60 °C 的磁力加热搅拌器中平衡进样瓶 10 min,使用三合一萃取头(50/30 μ m DVB/CAR/PDMS)(已在 250 °C 时老化 30 min),插入顶空瓶中吸附 30 min 后,再次取出迅速插入 GC 进样口解析 5 min,进行 GC-MS 分析检测。

色谱柱:DB-WAX 弹性毛细管柱(60 m \times 0.25 mm,0.25 μ m);进样口温度:250 °C;载气(He)流量:1.0 mL/min;升温程序:柱初温:35 °C 保持 5 min,以 4 °C/min 的速度升至 240 °C 保持 8 min。质谱条件:EI 离子源温度 150 °C,质量扫描范围 45~550 u,扫描速率 0.220 s/scan,电子能量 70 eV。选择 NIST 14.0 谱库检索结果匹配度大于 80% 的化合物作为物质鉴定依据,同时采用峰面积归一方法计算其相对含量。

1.2.4 关键挥发性物质评定方法 关键挥发物质的确定:采用相对香气活度值法(relative odor activity value, ROAV)^[11], $ROAV_{max} = 100$ 作为样品风味贡献最大的组分;对其他香气成分则有:

$$ROAV_i \approx 100 \times \frac{C_i}{C_{max}} \times \frac{T_{max}}{T_i}$$

式中, C_i 、 T_i :分别为各挥发性物质的相对百分含量和相对应的感觉阈值; C_{max} 、 T_{max} :分别为对样品总体风味贡献最大组分的相对百分含量和相对应的感觉阈值。

1.2.5 蛋白质的测定 参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准—食品中蛋白质的测定》^[12]。称取样品 2.5 g 至消化管内,加入 0.2 g 硫酸铜、3 g 硫酸钾以及 10 mL 的浓硫酸于消化炉内进行消化,炉内温度达到 420 °C,继续消化 1 h,取出冷却后,于自动凯氏定氮仪进行加液、蒸馏和滴定,并记录数据。

1.2.6 游离氨基酸的测定 参照乔凯娜等^[13]进行稍加修改。称取 2.00 g 样品,添加 5% 的磺基水杨酸溶

液 10 mL, 低温匀浆, 振荡摇匀, 在 4 °C 的环境下浸提 3 h, 12000 r/min 下离心 20 min, 得到上清液, 上清液过滤 (孔径 0.22 μm 的滤膜), 滤液备用。使用氨基酸全自动分析仪上机测定。

1.2.7 脂肪的测定 参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准-食品中脂肪的测定》^[14]。称取样品 2.5 g, 准确至 0.001 g。使用恒重后的索氏抽提瓶内, 加入石油醚至瓶内容积的三分之二处, 进行水浴加热, 抽提 6~10 h。抽提结束后, 取下接收瓶, 回收石油醚, 至瓶内溶剂剩余 1~2 mL 时在水浴上蒸干, 再于 100 ± 5 °C 干燥 1 h, 放干燥器内冷却 0.5 h 后称量。

1.2.8 游离脂肪酸的测定 参考部分文献^[15-17]进行稍加修改。取 5.00 g 样品于烧杯中, 加入 15 mL 氯仿-甲醇 (2:1 v/v) 溶液进行匀浆, 匀浆液使用氯仿-甲醇 (2:1 v/v) 溶液定容至 50 mL, 静置 1 h 后过滤, 滤液添加 0.2 倍体积的生理盐水, 在 5000 r/min 的情况下离心 20 min, 得到下层液体, 使用氮吹仪浓缩去除易挥发有机溶剂, 得到油脂。

称取鱼油 0.1~0.2 g, 加入 1 mol/L 的 NaOH-CH₂OH 溶液 3 mL, 在水浴锅中水浴 30 min 至油珠消失 (60 °C), 冰水冷却, 加入 15% 三氟化硼甲醇溶液 2 mL, 水浴 5 min (60 °C), 冷却后加正己烷 2 mL, 饱和食盐水 2 mL, 振荡摇匀, 分液漏斗进行分液, 取上层液体, 添加适量无水硫酸钠进行脱水, 过 0.22 μm 有机膜上机待测。

色谱条件: HP-5MS (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm) 弹性石英毛细管柱, 载气为高纯氮; 升温程序: 初始温度 150 °C, 保持 2 min, 以 5 °C/min 升温至 200 °C, 再以 10 °C/min 升温至 280 °C, 保持 5 min; 进样温度 300 °C; 载气流量 1 mL/min; 分流比 100:1; 进样量 1 μL; 溶剂延迟 5 min。质谱条件: EI 离子源温度 230 °C, 四极杆温度 150 °C, 电子能量 70 eV。通过美国国家标准与技术研究院谱库检索, 对脂肪酸进行定性, 按峰面积归一化法确定其质量分数, 以相对百分含量表示。

1.2.9 呈味核苷酸的测定 参考于 SC/T 3048-2014《鱼类鲜度指标 K 值的测定-高效液相色谱法》^[18]进行稍加修改。称取腌制后鱼块样品约 3.0 g, 按料液比 1:3 (m:v) 加入超纯水, 静止 25 min, 4 °C 下 6000 r/min 离心 10 min, 取上清液 5 mL, 加入 15 mL 8% 高氯酸溶液, 静置 10 min, 4 °C 下 6000 r/min 离心 10 min, 将上清液转移至 100 mL 容量瓶中, 再用 15 mL 8% 高氯酸溶液洗涤残渣两次, 离心, 上清液合并至容量瓶中。用 10 mol/L NaOH 溶液调节 pH 至中性。然后用 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 上机测定。

色谱条件: 高效液相色谱柱 Agilent C18 (4.6 mm × 250 mm, 5 μm); 进样量: 10 μL; 柱温: 25.0 °C; 检测波长: 254 nm; 流动相: A 为 0.02 mol/L 磷酸二氢钾溶液 + 0.02 mol/L 磷酸氢二钾溶液 (pH6.0); 梯度洗脱: 0~6 min, A 为 98%, B 为 2%; 6~10 min, A 降至 95%, B 升至 5%; 10~14 min, A 降至 85%, B 升至 15%; 14~18 min, A 升至 90%, B 降至 10%; 18~25 min, A 升至 95%, B 降至 5%。

1.3 数据处理

每组实验均进行三次平行, 并记录数据。数据的处理, 使用 SPSS 25.0 对数据的标准误差进行分析, 采用均值 ± 标准差来表示; 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 油炸罗非鱼的感官评定结果

通过风味剖面感官分析法对不同处理的样品风味进行整体评价。由图 1 可知, 不同样品间的风味强度和特征差异明显。与新鲜罗非鱼相比, 腌制罗非鱼油脂香和鲜味增强, 土腥味减弱; 炸制后, 与新鲜罗非鱼相比, 新鲜炸制罗非鱼的油脂味、鲜味和肉香味明显增强, 土腥味和青草味减弱。与腌制罗非鱼比较, 腌制炸制罗非鱼油脂香、鲜味和肉香味提高, 金属味、土腥味和青草味减弱, 说明油炸处理可明显提高鱼的肉香味、油脂味并降低土腥味、青草味。腌制炸制罗非鱼与新鲜炸制罗非鱼相比, 其油脂香、鲜味和肉香味更浓郁, 新鲜炸制罗非鱼的金属味和土腥味比腌制炸制罗非鱼明显, 这说明腌制处理可以有效的提高炸制鱼的油脂味、肉香味和鲜味, 降低其土腥味, 腌制处理对改善油炸罗非鱼的风味起到促进作用。

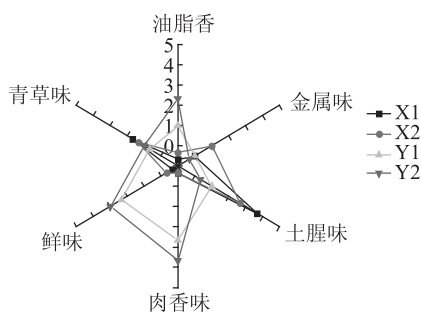


图 1 不同样品的感官评定雷达图

Fig.1 Sensory evaluation radar graph of different Samples

2.2 GC-MS 分析

2.2.1 挥发性成分分析 通过 GC-MS 检测, 对不同样品的挥发性物质进行分类统计, 如表 1 所示。从表中可以得出, 4 个样品间挥发性物质种类与含量均存在差异。腌制罗非鱼和新鲜罗非鱼相比, 其挥发性化合物种类增多, 由 36 种增至 41 种, 且挥发性化合物相对含量增加至 73.64%, 其变化较为明显的是醛类物质、酮类物质, 与丁丽丽等^[3]的研究结果基本一致。腌制罗非鱼与腌制炸制罗非鱼的挥发性化合物分别为 73.64% 和 99.26%, 含量增加了二十五个百分点, 且以醛类、酮类和酯类含量增加为主。腌制炸制罗非鱼挥发性化合物 (99.26%) 较新鲜炸制罗非鱼 (89.79%) 增加了近十个百分点, 且同样以醛类、醇类、酮类和酯类的含量增加为主。腌制后的罗非鱼在油炸条件下, 挥发性化合物含量及种类增加更加明显。综上所述, 腌制处理可增加罗非鱼中挥发性化合物种类及含量, 尤其在油炸条件下, 腌制处理的效果会更加明显。

2.2.2 关键性风味物质的分析 挥发性物质一般被

表1 挥发性物质种类
Table 1 Types of volatile substances

化合物种类	X ₁ (新鲜罗非鱼)		X ₂ (腌制罗非鱼)		Y ₁ (新鲜炸制罗非鱼)		Y ₂ (腌制炸制罗非鱼)	
	数量	相对含量 (%)	数量	相对含量 (%)	数量	相对含量 (%)	数量	相对含量 (%)
醇类	7	19.26	8	16.27	8	21.11	8	22.17
醛类	8	29.92	11	37.29	11	45.30	11	51.42
烃类	9	10.98	9	9.39	9	8.05	10	6.86
酮类	6	3.75	7	5.75	8	10.52	8	14.04
酯类	2	0.17	3	1.06	3	1.44	3	2.03
其他	4	4.87	3	3.88	3	3.37	3	2.74
总量	36	68.95	41	73.64	42	89.79	43	99.26

表2 关键性风味物质
Table 2 Crucial Flavor Substances

序号	化合物名称	相对含量 (%)				气味阈值 (μg/kg)	ROAV 值				气味描述
		X ₁ (新鲜罗非鱼)	X ₂ (腌制罗非鱼)	Y ₁ (新鲜炸制罗非鱼)	Y ₂ (腌制炸制罗非鱼)		X ₁ (新鲜罗非鱼)	X ₂ (腌制罗非鱼)	Y ₁ (新鲜炸制罗非鱼)	Y ₂ (腌制炸制罗非鱼)	
1	1-己醇	3.39	-	-	-	250	0.13	-	-	-	水果味
2	1-辛烯-3-醇	10.72	9.41	6.05	4.17	1	100	24.67	11.90	5.70	蘑菇、土腥味
3	戊醛	2.02	-	6.76	7.69	12	1.57	-	1.44	0.88	果香味
4	己醛	7.57	9.57	10.23	11.13	4.5	15.69	5.58	4.47	3.38	青草味
5	3-甲基丁醛	0.02	0.03	0.26	0.38	0.2	0.93	0.39	2.56	2.60	苹果味、焦糖味
6	壬醛	10.66	9.49	2.13	1.19	1	99.44	24.88	4.19	1.63	油脂味、青草味
7	庚醛	7.45	7.44	4.18	3.18	3	23.17	6.50	2.74	1.45	鱼腥味
8	苯乙醛	1.67	1.31	0.38	0.21	4	3.89	0.86	0.19	0.07	花香、果香
9	辛醛	0.13	2.54	0.03	0.03	0.7	1.73	9.51	<0.1	0.06	油脂味
10	(E)-2-癸烯醛	-	1.35	0.17	0.15	0.3	-	11.80	1.11	0.68	蘑菇味、青草味
11	(E,E)-2,4-癸二烯醛	-	2.67	3.56	5.12	0.07	-	100.00	100.00	100.00	脂肪味、肉香味、青草香
12	(E,E)-2,4-庚二烯醛	-	-	10.45	12.39	10	-	-	2.05	1.69	肉香味
13	2-乙基呋喃	0.13	0.27	0.84	1.32	2.3	0.53	0.31	0.72	0.78	焦糖味
14	甲苯	3.02	1.92	0.86	0.43	200	0.14	<0.1	<0.1	<0.1	化学刺激味
15	2-戊基呋喃	7.29	6.17	4.13	2.08	6	11.33	2.70	1.35	0.47	泥土、金属味
16	2,3-辛二酮	0.98	1.57	-	-	2.52	3.63	1.63	-	-	黄油味
17	2-十一烷酮	1.95	2.14	7.89	10.45	7	2.60	0.80	2.22	2.04	脂肪香
18	乙酸乙酯	-	0.79	1.29	1.74	5	-	0.41	0.51	0.48	果香、醚香
19	三甲胺	1.82	1.49	0.48	0.26	0.5	33.96	7.81	1.89	0.71	鱼腥味

认为是风味的决定性因素,通过 GC-MS 得出的挥发性物质定性定量分析,结合各物质的气味阈值以及气味特征,计算 ROAV 值。通过文献[11]查阅可知,ROAV ≥ 1 时,该挥发性物质为样品的关键风味物质;0.1 ≤ ROAV < 1 时,该挥发性物质对样品的总体风味起辅助作用。因此对 ROAV 值进行筛选,将 ROAV > 0.1 的挥发性物质进行汇总,如表 2 所示。

从表 2 中可知,新鲜罗非鱼中贡献最大的是 1-辛烯-3-醇,具有蘑菇和土腥的特征气味,是新鲜罗非鱼的关键风味成分,在新鲜罗非鱼中 ROAV 值相对较高的还有壬醛(油脂味、青草味)、三甲胺(鱼腥味)和庚醛(鱼腥味),因此新鲜罗非鱼总体呈现出强烈的腥味。新鲜罗非鱼经过腌制处理后,1-辛烯-3-醇的 ROAV 值降低,土腥味减弱,但仍是腌制罗非鱼的关键风味成分;(E,E)-2,4-癸二烯醛的 ROAV 值升高,且在腌制罗非鱼中贡献最大,提供脂肪味、肉香味和青草味,使得腌制罗非鱼的脂肪味增强,青草味(壬醛)和鱼腥味(三甲胺)降低,腌制罗非鱼相

对于新鲜罗非鱼,脂肪味增强,土腥味和青草味减弱。

新鲜罗非鱼和腌制罗非鱼经过油炸处理后,新鲜炸制罗非鱼的(E,E)-2,4-癸二烯醛的 ROAV 值升高,也是新鲜炸制罗非鱼中贡献最大的风味成分,1-辛烯-3-醇的 ROAV 值明显降低。并且,新鲜炸制罗非鱼多了(E,E)-2,4-庚二烯醛,赋予炸制鱼肉香味,因此,新鲜炸制罗非鱼相较于新鲜罗非鱼,其油脂味、肉香味明显增强,土腥味明显减弱。腌制罗非鱼经过油炸处理发生了相似的变化,(E,E)-2,4-癸二烯醛也是腌制炸制罗非鱼的关键风味成分,且腌制炸制罗非鱼中的三甲胺(鱼腥味)不再是关键风味成分(ROAV 值 < 1),对腌制炸制罗非鱼的整体风味起到修饰的作用,说明腌制油炸罗非鱼的腥味更低。综上所述,腌制处理可明显改善炸制罗非鱼的风味,且其各样品间风味成分的变化以及气味贡献的变动与感官评定的结果相符。

由表 2 可知,腌制处理可以引起油炸鱼风味的

变化,其中4个样品间风味成分变化较为明显的有1-辛烯-3-醇、(E,E)-2,4-癸二烯醛、壬醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、三甲胺、庚醛和己醛等。研究表明^[19-20]可得,油酸可以通过氧化降解反应生成壬醛、庚醛等醛类物质,亚油酸经过自动氧化作用产生己醛、2,4-癸二烯醛和2,4-庚二烯醛等物质,花生四烯酸第12位碳上的氢过氧化物裂解产生的辛烯基团与氧反应生成辛烯基氧自由基再进一步反应可生成1-辛烯-3-醇。除此之外,三甲胺可以通过蛋白质降解产生,部分风味物质可以通过核苷酸降解或降解产物与氨基酸协同作用产生。因此,腌制处理对油炸鱼风味的影响与氨基酸、脂肪酸和呈味核苷酸间的变化有关。

2.3 腌制对油炸罗非鱼蛋白质和氨基酸的影响

2.3.1 腌制对蛋白质含量的影响结果 蛋白质是肉中的主要成分,具有广泛的功能特性,可与盐、水分等成分协同,在肉制品中的品质、感官、风味的形成中发挥重要作用^[21]。由图2可知,4个样品的蛋白质含量存在显著差异($P < 0.05$),腌制罗非鱼与新鲜罗非鱼的蛋白质含量分别为159.51和171.53 mg/g,经过腌制处理,蛋白质含量降低。原因可能是腌制过程中,鱼肉内的NaCl含量上升,鱼肉的渗透压增强,水的溶解作用使鱼肉中的蛋白质在腌制过程中析出增强,并且蛋白质在自身降解酶的作用下发生降解反应,产生肽和氨基酸,蛋白质含量下降^[22]。然而经过油炸处理后,蛋白质含量升高,与杨毅青^[23]的研究一致。

2.3.2 腌制对游离氨基酸的影响结果 不同样品游离氨基酸的含量变化,如表3。呈味氨基酸主要分为鲜味氨基酸和甜味氨基酸,如天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸。鲜味氨基酸主要提供鱼肉的天然风味,保持其鲜度^[24]。经过腌制处理后,腌制罗非鱼的游离氨基酸总量高于新鲜罗非鱼。

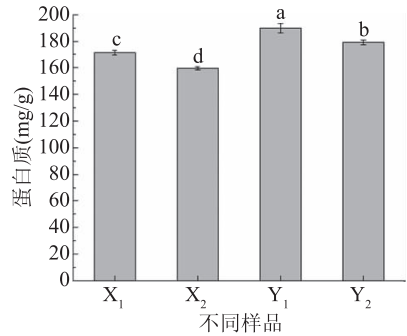


图2 不同样品的蛋白质含量差异

Fig.2 Protein difference of different samples

注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$);图3~图4同。

Toldra^[4]关于火腿的研究表示,在腌制过程中,蛋白质在氨肽酶的作用下发生降解,产生氨基酸,造成氨基酸含量有所提升。腌制罗非鱼的呈味氨基酸的占比增加,高于新鲜罗非鱼的67.56%,说明腌制处理能够增强罗非鱼的风味。经过油炸处理的新鲜炸制罗非鱼和腌制炸制罗非鱼,其氨基酸含量相较于新鲜罗非鱼、腌制罗非鱼减少,说明鱼样经过油炸处理,氨基酸含量降低,高温条件下氨基酸发生降解、美拉德等反应^[22]。腌制罗非鱼相较于新鲜罗非鱼经过油炸处理后,其氨基酸含量减少更为显著(38.94 mg/100 g),表示腌制罗非鱼经过油炸处理会减少氨基酸含量。

2.4 腌制对油炸罗非鱼脂肪和脂肪酸的影响

2.4.1 腌制对脂肪含量的影响结果 脂肪是肉与肉制品的一种重要指标,能够影响风味、嫩度以及适口性^[25]。4个样品的脂肪含量存在显著性差异($P < 0.05$)。新鲜罗非鱼腌制处理后,脂肪含量显著($P < 0.05$)降低。可能是由于食盐的添加,使得鱼肉的渗透压增大,水分发生迁移现象,营养物质流失,伴随着脂肪的降解,致使脂肪含量降低^[23]。然而经

表3 不同样品的游离氨基酸

Table 3 Free amino acid of different samples

氨基酸	呈味情况	X ₁ (新鲜罗非鱼) (mg/100 g)	X ₂ (腌制罗非鱼) (mg/100 g)	Y ₁ (新鲜炸制罗非鱼) (mg/100 g)	Y ₂ (腌制炸制罗非鱼) (mg/100 g)
天冬氨酸 Asp	鲜/酸(+)	3.69 ± 1.17 ^b	4.45 ± 0.10 ^a	3.36 ± 2.63 ^c	3.13 ± 0.18 ^d
苏氨酸 Thr	甜/腥(+)	8.31 ± 0.03 ^a	8.06 ± 2.11 ^b	7.63 ± 1.96 ^c	7.31 ± 0.49 ^d
丝氨酸 Ser	甜(+)	4.47 ± 0.68 ^b	4.71 ± 0.07 ^a	3.68 ± 1.14 ^c	3.61 ± 0.19 ^c
谷氨酸 Glu	鲜/酸(+)	9.61 ± 1.25 ^b	9.86 ± 0.51 ^a	8.41 ± 0.83 ^c	7.57 ± 0.72 ^d
甘氨酸 Gly	甜(+)	95.93 ± 0.07 ^b	96.48 ± 1.11 ^a	88.78 ± 0.73 ^c	87.47 ± 0.17 ^d
丙氨酸 Ala	甜/腥(+)	37.11 ± 0.44 ^a	36.67 ± 1.06 ^b	34.14 ± 2.94 ^c	33.11 ± 0.29 ^d
缬氨酸 Val	甜/苦(-)	3.53 ± 1.30 ^b	3.79 ± 0.62 ^a	3.14 ± 3.04 ^c	2.79 ± 1.03 ^d
甲硫氨酸 Met	苦/甜/硫(-)	1.89 ± 2.11 ^b	2.15 ± 2.46 ^a	1.23 ± 2.10 ^d	1.49 ± 1.18 ^c
异亮氨酸 Ile	苦(-)	2.53 ± 0.14 ^b	2.93 ± 0.22 ^a	2.17 ± 0.01 ^d	2.32 ± 0.09 ^c
亮氨酸 Leu	苦(-)	3.64 ± 0.95 ^b	4.02 ± 0.79 ^a	3.16 ± 0.78 ^c	3.59 ± 0.28 ^b
酪氨酸 Tyr	苦(-)	8.84 ± 1.13 ^a	7.85 ± 1.02 ^b	3.60 ± 1.17 ^c	3.35 ± 0.78 ^d
苯丙氨酸 Phe	苦(-)	2.56 ± 2.71 ^a	2.00 ± 1.90 ^b	1.93 ± 2.23 ^b	1.79 ± 0.18 ^c
赖氨酸 Lys	甜/苦(-)	24.47 ± 0.03 ^b	25.67 ± 2.58 ^a	19.89 ± 1.84 ^c	17.39 ± 0.94 ^d
组氨酸 His	苦(-)	13.70 ± 3.19 ^a	13.67 ± 0.28 ^a	10.92 ± 2.26 ^b	10.67 ± 1.16 ^c
精氨酸 Arg	甜/苦(-)	11.14 ± 2.94 ^a	10.35 ± 0.01 ^b	9.95 ± 1.19 ^c	8.54 ± 1.62 ^d
脯氨酸 Pro	甜/苦(-)	4.09 ± 2.01 ^b	4.58 ± 1.14 ^a	4.16 ± 0.99 ^b	4.17 ± 0.28 ^b
总量 total		235.51 ± 3.13 ^b	237.24 ± 2.91 ^a	206.15 ± 3.08 ^c	198.30 ± 1.14 ^d
呈味氨基酸百分比(%)		67.56 ± 1.37 ^c	71.70 ± 1.19 ^a	67.53 ± 2.01 ^c	70.82 ± 0.74 ^b

注:呈味氨基酸包含天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸;同行肩标小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$);表4同。

表4 不同样品的游离脂肪酸
Table 4 Free fatty acid of different samples

脂肪酸	X ₁ (新鲜罗非鱼) (mg/g)	X ₂ (腌制罗非鱼) (mg/g)	Y ₁ (新鲜炸制罗非鱼) (mg/g)	Y ₂ (腌制炸制罗非鱼) (mg/g)
肉豆蔻酸(C14:0)	0.32 ± 0.01 ^b	0.53 ± 0.06 ^a	0.27 ± 0.02 ^b	0.31 ± 0.03 ^b
棕榈酸(C16:0)	1.24 ± 0.14 ^a	0.88 ± 0.16 ^c	0.98 ± 0.17 ^b	0.64 ± 0.09 ^d
硬脂酸(C18:0)	0.36 ± 0.11 ^{ab}	0.40 ± 0.04 ^a	0.32 ± 0.13 ^b	0.31 ± 0.15 ^b
花生酸(C20:0)	0.06 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.02 ^a	0.02 ± 0.01 ^a	0.01 ± 0.01 ^a
ΣSFA	1.98 ± 0.27 ^a	1.85 ± 0.63 ^b	1.59 ± 0.70 ^c	1.27 ± 0.28 ^d
棕榈油酸(C16:1n6)	1.03 ± 0.38 ^b	1.55 ± 0.18 ^a	0.84 ± 0.25 ^c	0.83 ± 0.38 ^c
油酸(C18:1n9)	-	1.39 ± 0.29 ^a	0.17 ± 0.51 ^c	0.75 ± 0.48 ^b
ΣMUFA	1.03 ± 0.38 ^c	2.94 ± 1.28 ^a	1.01 ± 0.94 ^c	1.58 ± 0.18 ^b
亚油酸(C18:2n6)	0.95 ± 0.17 ^b	1.39 ± 0.27 ^a	0.78 ± 0.07 ^c	0.84 ± 0.29 ^c
亚麻酸(C18:3n6)	0.05 ± 0.04 ^a	0.05 ± 0.04 ^a	-	-
二十碳二烯酸(C20:2n6)	0.06 ± 0.02 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.05 ^a	0.03 ± 0.01 ^a
花生四烯酸(C20:4n6)	0.15 ± 0.12 ^c	0.17 ± 0.13 ^c	0.36 ± 0.09 ^a	0.28 ± 0.03 ^b
二十碳五烯酸(C20:5n3)	-	0.37 ± 0.28 ^b	0.17 ± 0.06 ^c	0.45 ± 0.27 ^a
ΣPUFA	1.21 ± 1.02 ^d	2.03 ± 1.12 ^a	1.34 ± 0.93 ^c	1.6 ± 0.17 ^b
总量	4.22 ± 0.79 ^c	6.82 ± 1.79 ^a	3.94 ± 0.84 ^d	4.45 ± 0.27 ^b

注:-表示未检出。

过油炸处理后,含量均显著($P < 0.05$)升高,与文献[26-27]结果相似。

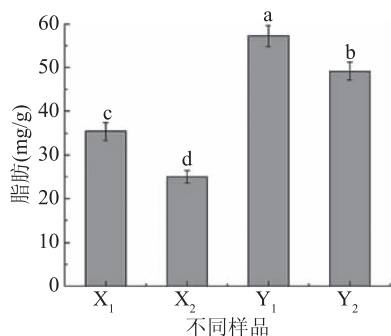


图3 不同样品的脂肪差异

Fig.3 Fat differences of different samples

2.4.2 腌制对游离脂肪酸的影响结果 脂肪酸的氧化降解是肉风味形成的重要途径。脂质中的不饱和脂肪酸(UFA)组成是影响脂质热降解和氧化降解的重要因素^[28]。由表4可知,经过腌制处理后,食盐促进脂肪的降解,产生脂肪酸,脂肪酸的含量升高,腌制罗非鱼的脂肪酸含量(6.82 mg/g)高于新鲜罗非鱼的脂肪酸含量(4.22 mg/g),不饱和脂肪酸的含量显著提高。经过油炸处理,比较腌制罗非鱼与腌制炸制罗非鱼,或新鲜罗非鱼与新鲜炸制罗非鱼可以得出,油炸后脂肪酸含量降低。因为油炸热处理加快脂肪酸的降解,产生挥发性化合物^[29],且腌制炸制罗非鱼脂肪酸含量和不饱和脂肪酸含量显著($P < 0.05$)减少。说明腌制处理能够有效地促进油炸鱼的脂肪酸降解。

2.5 腌制对油炸罗非鱼呈味核苷酸的影响

鲜味是一种复杂的综合味觉。三磷酸腺苷(Adenosine Triphosphate, ATP)及其分解产物是水产动物肌肉核苷酸的主要成分,鱼死后鱼肉内ATP依次降解为腺苷二磷酸(Adenosine Diphosphate, ADP)、腺苷

酸(Adenosine Monophosphate, AMP)、肌苷酸(Inosinic acid, IMP)等,对鱼肉的鲜味做出重大贡献^[30]。

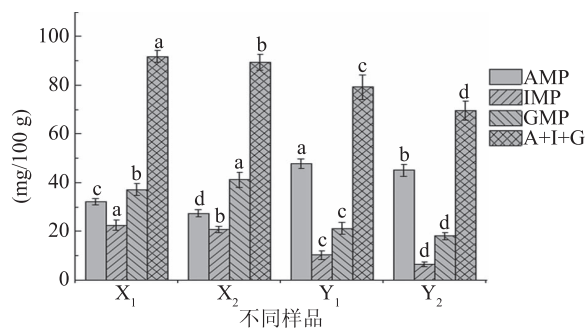


图4 不同样品的呈味核苷酸差异

Fig.4 Flavor nucleotide difference of different samples

在食品滋味中,GMP与IMP是鲜味的主要呈味成分,AMP具有压制苦味的作用,同时具有增强甜味和咸味的效果^[31-32]。如图4,腌制罗非鱼的AMP和IMP含量均低于新鲜罗非鱼,可能是因为经过腌制处理,鱼体内的AMP在关键酶的作用下,发生降解,产生GMP,IMP和核糖核苷酸通过去磷酸化作用或者ATP脱氨基降解作用,产生核糖,核糖参与美拉德反应产生风味物质^[33],因而腌制罗非鱼GMP的含量高于新鲜罗非鱼。研究表明^[32],添加食盐,使ATP的降解加快,经过生物化学反应产生合成GMP的中间物质,使GMP的含量升高,鲜味增加。新鲜罗非鱼和腌制罗非鱼经过油炸处理后,AMP显著($P < 0.05$)增加,IMP和GMP均减少,与Xu等^[34]的研究结果相似。因为高温处理,核苷酸过度降解产生AMP,使AMP的含量升高。与腌制罗非鱼相比,腌制炸制罗非鱼的IMP和GMP消耗量分别为14.36、23.10 mg/100g,而与新鲜罗非鱼相比,新鲜炸制罗非鱼的IMP和GMP消耗量相对较低,分别为12.25、15.94 mg/100g。综上,食盐腌制处理对呈味核苷酸的消耗起到了促进的作用。

3 结论

食盐腌制对罗非鱼风味及风味组分有显著影响 ($P < 0.05$)。食盐腌制处理后,罗非鱼的脂肪和蛋白质含量显著降低 ($P < 0.05$),脂肪酸和氨基酸的含量明显增加,分别为 6.82 mg/g 和 237.24 mg/100 g ,其中影响风味的游离氨基酸和不饱和脂肪酸含量以及提供鲜味的 GMP 含量明显上升,有少量提供肉香味的 (E, E)-2,4-癸二烯醛 (2.67%) 等醛类物质形成,而提供鱼腥味的 1-辛烯-3-醇 (ROAV = 24.67) 和三甲胺 (ROAV = 7.81) 明显降低,致使罗非鱼鲜味增加,肉香味提升。炸制处理对罗非鱼风味及风味组分有显著影响 ($P < 0.05$),炸制处理后,罗非鱼的游离氨基酸和不饱和脂肪酸含量降低,降解产生的挥发性物质相对含量变化明显,其中具有肉香和脂肪香的 (E, E)-2,4-癸二烯醛和 (E, E)-2,4-庚二烯醛含量增加,ROAV 值明显提高,炸制罗非鱼的肉香和脂肪香明显增加;1-辛烯-3-醇和壬醛含量和 ROAV 值降低,炸制罗非鱼的鲜味增加,土腥味降低。食盐腌制对炸制罗非鱼风味有显著影响 ($P < 0.05$)。腌制炸制罗非鱼与腌制罗非鱼和新鲜炸制罗非鱼进行比较,产生的挥发性物质的种类增至 43 种,含量显著增至 99.26%,其中 (E, E)-2,4-癸二烯醛含量分别增加至 5.12%,ROAV 值为最高,腌制炸制罗非鱼的肉香和脂肪香更为突出;三甲胺含量降低,ROAV 值降低至 0.71 (ROAV < 1),仅起到修饰作用,因此,腌制炸制罗非鱼的鲜味更明显,鱼腥味更低。

综上所述,食盐腌制对炸制罗非鱼的风味物质及组分有显著影响 ($P < 0.05$),显著降低蛋白质和脂肪的含量,降解形成的挥发性物质明显提高,不仅提高了罗非鱼的油脂香、鲜味和肉香味,而且降低了罗非鱼的土腥味和青草味,对罗非鱼的品质具有明显的改善效果。

参考文献

[1] Dominguez R, Gomez M, Fonseca S, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat [J]. Meat Science, 2014, 97 (2): 223-230.

[2] Domínguez R, Gómez M, Fonseca S, et al. Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 58(2): 439-445.

[3] 丁丽丽, 吴燕燕, 李来好, 等. 咸带鱼加工过程挥发性风味成分的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(24): 208-212.

[4] Toldra F. Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products [J]. Meat Science, 1998, 49: S101-S110.

[5] 侯婷婷, 刘鑫, 崔福顺, 等. 低钠发酵肉制品理化特性及风味分析[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 126-130, 205.

[6] 谭汝成. 腌腊鱼制品生产工艺优化及其对风味影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.

[7] 谢恬, 王丹, 马明娟, 等. OAV 和 GC-O-MS 法分析五香驴肉风味活性物质[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 123-128.

[8] 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.

[9] Giri A, Osako K, Ohshima T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631.

[10] 刘奇, 郝淑贤, 李来好, 等. 鲟鱼不同部位挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 142-145.

[11] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374.

[12] 国家卫生和计划生育委员会. 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准-食品中蛋白质的测定 GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[13] 乔凯娜, 段雯, 王琳涵, 等. 酶对热反应红烧风味香精滋味的的影响[J]. 精细化工, 2020, 37(2): 323-331.

[14] 国家卫生和计划生育委员会. 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准-食品中脂肪的测定 GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[15] Folch J. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.

[16] 钱宗耀, 曹晓倩, 王成. 气质联用法分析鱼油胶囊中脂肪酸组成[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(6): 44-45, 53.

[17] 王甜, 孙世萍, 王丽, 等. 气质联用法分析鲢鱼与鳙鱼中脂肪酸组成[J]. 现代农业科技, 2018(13): 251-252.

[18] 中华人民共和国农业部. 鱼类鲜度指标 K 值的测定-高效液相色谱法: SC/T 3048-2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.

[19] Shahidi F. Flavor of meat and meat products—an overview [M]. Boston, MA: Springer US. Flavor of Meat and Meat Products, 1994: 1-3.

[20] Domínguez R, Gómez M, Fonseca S, et al. Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 58(2): 439-445.

[21] Visessanguan W, Benjakul S, Riebroy S, et al. Changes in composition and functional properties of proteins and their contributions to Nham characteristics [J]. Meat Science, 2004, 66(3): 579-588.

[22] Andrés A, Rodríguez-Barona S, Barat J M, et al. Salted cod manufacturing: influence of salting procedure on process yield and product characteristics [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(4): 467-471.

[23] 杨毅青. 贮藏和加工工艺对三种淡水鱼品质及氯霉素残留的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2014.

[24] Lee G H, Suriyaphan O, Cadwallader K R. Aroma components of cooked tail meat of American lobster (*Homarus americanus*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(9): 4324-4332.

[25] 程翰茗, 符绍辉, 于福满, 等. 不同腌制工艺对鸡胸肉品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(7): 2241-2247.

[26] 马瑞雪, 高天, 宋蕾, 等. 响应面法优化调理鸡排水油混

(下转第 278 页)

- [6] Lee M J, Chung I M, Kim H, et al. High resolution LC-ESI-TOF-mass spectrometry method for fast separation, identification, and quantification of 12 isoflavones in soybeans and soybean products[J]. Food Chemistry, 2015, 176(6): 254-262.
- [7] Dejan Z Orčić, Neda M Mimica - Dukić, Marina M Francišković, et al. Antioxidant activity relationship of phenolic compounds in *Hypericum perforatum* L [J]. Chemistry Central Journal, 2011, 5(1): 34-40.
- [8] Xu Lu, Du Bin, Xu Baojun. A systematic, comparative study on the beneficial health components and antioxidant activities of commercially fermented soy products marketed in China[J]. Food Chemistry, 2015(2): 174-179.
- [9] 蒋立文, 廖卢燕, 刘嘉, 等. 浏阳豆豉挥发性成分的研究[J]. 中国酿造, 2011, 35(5): 131-133.
- [10] 石聪, 李世瑞, 李跑, 等. 基于高通量测序浏阳豆豉不同发酵阶段微生物多样性分析[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(2): 27-39.
- [11] 全国信息与文献标准化技术委员会第6分委员会. GB/T 23788-2009 保健食品中大豆异黄酮的测定方法 高效液相色谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [12] 汪雁, 金光明, 钱立生, 等. 离子液体提取构树叶总黄酮的工艺[J]. 化工进展, 2016, 35(2): 328-331.
- [13] 冯立娟, 尹燕雷, 焦其庆, 等. 不同石榴品种果实酚类物质及抗氧化活性研究[J]. 核农学报, 2015, 30(4): 710-718.
- [14] 苗永美, 孙佳琦, 徐荣华, 等. 广东石豆兰多糖的提取工艺及其抗氧化活性[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(5): 779-785.
- [15] 周文红, 郭咪咪, 李秀娟, 等. 大豆异黄酮提取及其生物转化的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2019(5): 37-42.
- [16] Hur S J, Lee S Y, Kim Y C, et al. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods[J]. Food Chemistry, 2014, 160C(10): 346-356.
- [17] 孙君明, 孙宝利, 韩粉霞, 等. 快速检测大豆籽粒中十二种异黄酮组分的 HPLC 方法[J]. 中国农业科学, 2009(7): 244-251.
- [18] Youn-Soo Cha, Ji-Ae Yang, Hyang-Im Back, et al. Visceral fat and body weight are reduced in overweight adults by the supplementation of Doenjang, a fermented soybean paste [J]. Nutrition Research & Practice, 2012, 6(6): 520-526.
- [19] 颜瑞, 王恬. 大豆异黄酮抗氧化作用研究进展[J]. 家畜生态学报, 2010, 31(4): 96-100.
- [20] 宋永生, 张炳文, 郝征红, 等. 发酵处理对豆豉抗氧化活性影响的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 263-267.
- [21] 索化夷, 骞宇, 卢露, 等. 永川豆豉传统发酵过程中的大豆异黄酮变化[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 270-273.
- [22] Zhi Shuaichang, Lan Hui, Bao Yali, et al. progress of β -glucosidase from microorganisms [J]. Advances in Microbiology, 2018, 7(2): 79-86.
- [23] Ginjom I R, D' Arcy, Bruce R, Caffin N A, et al. Phenolic contents and antioxidant activities of major Australian red wines throughout the wine making process [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(18): 10133-10142.
- [24] 朱怡霖, 张海生, 杨淑芳, 等. 18 种大豆多酚含量组成及抗氧化活性分析[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1): 241-245.
- [25] 王露. 番石榴叶活性多酚组分快速鉴别及发酵释放与转化机制[D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 3-6.
- [26] 赵晓佳, 李易聪, 王秀伶. 大豆异黄酮微生物转化研究进展[J]. 微生物学报, 2020, 60(2): 211-226.
- [27] 韩婷, 程钢, 刘莹, 等. β -葡萄糖苷酶以及益生菌生物转化大豆异黄酮糖苷的研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 333-337.
- [28] 罗羽羽, 王倩. 发芽和蒸煮处理对 4 种常见豆类的酚类物质和抗氧化活性的影响(英文)[J]. 金陵科技学院学报, 2015, 31(4): 61-66.
- [29] Lu Yalong, Li Wenfeng, Yang Xingbin. Soybean soluble polysaccharide enhances absorption of soybean genistein in mice [J]. Food research international (Ottawa, Ont), 2018, 10(54): 273-279.
- [30] De-Jun Y E, Zhan-Wang H. Research on optimization of fermentation conditions of Douchi polysaccharide [J]. China Condiment, 2014, 39(1): 47-49.
- [31] 周芳, 索化夷. 永川豆豉发酵过程中抗氧化活性变化及影响因素分析[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 15-19.
- [32] Chung Shil Kwak, Mee Sook Lee, Sang Chul Park. Higher antioxidant properties of Chungkookjang, a fermented soybean paste, may be due to increased aglycone and malonylglycoside isoflavone during fermentation [J]. Nutrition Research, 2007, 27(11): 719-727.
- [33] 胡奇杰, 朱佳茜, 陈褚建, 等. 太湖蟹加工过程中呈味核苷酸变化规律研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(22): 102-104.
- [34] Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some L- α -amino acids and 5'-nucleotides[J]. J Food Sci, 1971, 36(6): 846-849.
- [35] Xu Y S, Chen Y P, Cao Y Q, et al. Effect of steam cooking on textural properties and taste compounds of shrimp (*Metapenaeus ensis*) [J]. Food Science and Technology Research, 2016, 22(1): 75-81.

(上接第 271 页)

合油炸工艺[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(8): 128-134.

[27] Yagua C V, Moreira R G. Physical and thermal properties of potato chips during vacuum frying [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(2): 272-283.

[28] Ba H, Ryu K S, Lan N T K, et al. Influence of particular breed on meat quality parameters, sensory characteristics, and volatile components[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(3): 651-658.

[29] Elmore J S, Campo M M, Enser M, et al. Effect of lipid composition on meat-like model systems containing cysteine, ribose, and polyunsaturated fatty acids[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(5): 1126-1132.

[30] Saito T, Arai K I, Matsuyoshi M. A new method for estimating the freshness of fish [J]. Nihon Suisan Gakkaishi, 1959, 24(9):

749-750.

[31] Qiu W, Chen S, Xie J, et al. Analysis of 10 nucleotides and related compounds in *Litopenaeus vannamei* during chilled storage by HPLC-DAD [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 67: 187-193.

[32] 胡奇杰, 朱佳茜, 陈褚建, 等. 太湖蟹加工过程中呈味核苷酸变化规律研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(22): 102-104.

[33] Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some L- α -amino acids and 5'-nucleotides[J]. J Food Sci, 1971, 36(6): 846-849.

[34] Xu Y S, Chen Y P, Cao Y Q, et al. Effect of steam cooking on textural properties and taste compounds of shrimp (*Metapenaeus ensis*) [J]. Food Science and Technology Research, 2016, 22(1): 75-81.