

丁怡萱, 周婷, 廖月琴, 等. 两种炸制方式对带鱼品质及风味的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 244-253. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030023

DING Yixuan, ZHOU Ting, LIAO Yueqin, et al. Influence of Two Frying Methods on the Quality and Flavor of Hairtail[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 244-253. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030023

· 工艺技术 ·

两种炸制方式对带鱼品质及风味的影响

丁怡萱¹, 周婷¹, 廖月琴¹, 林慧敏^{1*}, 张宾^{1*}, 邓尚贵¹, 周小敏²

(1. 浙江海洋大学食品与药学院, 浙江舟山 316022;

2. 浙江兴业集团有限公司, 浙江舟山 316022)

摘要:以带鱼为研究对象, 比较分析油炸和空气炸两种炸制方式对带鱼理化特性、微观结构、游离氨基酸、脂肪酸和挥发性成分的影响。结果表明: 在相同炸制温度(190℃)下, 随着炸制时间的增加, 两种炸制方式处理的带鱼水分含量和出品率均呈下降趋势, 硬度和咀嚼性均呈上升趋势, 油炸后的带鱼红度得到明显提高, 亮度有所下降, 空气炸后的带鱼外皮保存较为完好, 亮度无显著性变化($P>0.05$), 结合感官评定和基础理化特性得出, 190℃下油炸7 min、空气炸24 min, 此时带鱼综合品质最好。后续对这两个炸制工艺参数处理的带鱼进行比较发现, 油炸带鱼的肌纤维束间隙较大且发生断裂, 空气炸带鱼的肌纤维束排列紧密且有序; 空气炸带鱼中必需氨基酸与总氨基酸之比高达45.41%, 属于优质蛋白, 而油炸低于40%; 空气炸带鱼中二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸含量显著高于油炸带鱼($P<0.05$); 两种炸制方式处理的带鱼中挥发性风味物质的含量及种类存在不同程度的差异。综上所述, 两种炸制方式处理的带鱼品质及风味存在一定的差异, 为炸制带鱼的加工方式提供了理论参考。

关键词:带鱼, 油炸, 空气炸, 微观结构, 品质, 挥发性风味物质

中图分类号: TS254.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)24-0244-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030023

本文网刊:



Influence of Two Frying Methods on the Quality and Flavor of Hairtail

DING Yixuan¹, ZHOU Ting¹, LIAO Yueqin¹, LIN Huimin^{1*}, ZHANG Bin^{1*}, DENG Shanggui¹, ZHOU Xiaomin²

(1. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Zhejiang Xingye Group Co., Ltd., Zhoushan 316022, China)

Abstract: The effects of deep-frying and air-frying on physicochemical characteristics, microstructure, free amino acids, fatty acids and volatile components of hairtail were analyzed. The results showed that under the same frying temperature (190 °C), with the increasing of the frying time, the moisture content and production rate of hairtail decreased, but hardness and chewiness increased. The redness of deep-frying hairtail improved significantly, but brightness decreased. The skin of air-frying hairtail was kept intact and there was no significant change in the brightness ($P>0.05$). Combining sensory assessment and physicochemical characteristics, under 190 °C deep-frying for 7 min and the air-frying for 24 min were selected. Further researchs found that the myofiber bundle gap in deep-frying hairtail was large and fractured, but the air-frying hairtail was closely arranged and orderly. The ratio of essential amino acid to total amino acid in air-frying hairtail was up to 45.41%, which belonged to high quality protein, while deep-frying samples was less than 40%. The eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) of air-frying hairtail were significantly higher than that of deep-frying sample ($P<0.05$). The content and species of volatile flavor substances in the hairtail differed to different degrees. To sum up, there were some differences in the quality and flavor between air-frying and deep-frying hairtail, which would provide a

收稿日期: 2022-03-02

基金项目: 国家重点研发计划资助(2020YFD0900900); 浙江省“万人计划”科技创新人才培养项目(2020R52027)。

作者简介: 丁怡萱(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品精深加工, E-mail: dyxdhhy@163.com。

* 通信作者: 林慧敏(1979-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水产品精深加工, E-mail: linhuixiaomin@126.com。

张宾(1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品精深加工, E-mail: zhangbin@zjou.edu.cn。

theoretical reference for the processing method of fried hairtail.

Key words: hairtail; deep fried; air fried; microstructure; quality; volatile flavor substances

带鱼(*Trichiurus haumela*)是我国沿海地区发展海洋经济最重要的鱼类之一,年捕获量约 91 万 t。它是东太平洋常见的底栖商品海鱼,因含有丰富的脂肪、蛋白质被称为高脂鱼类。此外,带鱼因具备肉质细腻、鱼身无细刺,容易被人体消化吸收且营养价值高、风味足、口感好等特点而深受消费者的喜爱^[1]。

油炸加热能够改善食品风味,赋予食品外脆里嫩的口感和特有的金黄色泽,有效杀灭鱼肉中的腐败菌从而延长产品的货架期,深受年轻人的追捧^[2]。然而油炸食品属于高热量、高油脂加工制品,过量食用易引起肥胖、高血脂、心血管疾病等,同时油炸食品中,晚期糖基化终末产物等有害物质含量的增加,会导致心血管疾病和致癌风险的发生^[3]。高温循环空气炸的出现有望弥补这一缺陷,其利用热循环将密闭容器内的食物迅速加热成熟,一方面可在一定程度上减少油脂的含量,另一方面又能保留炸制食品原有的丰富滋味及口感。赵文字等^[4]研究表明空气炸处理后的高白鲑鱼块脂肪含量低于传统油炸,且挥发性风味物质、游离氨基酸以及呈味核苷酸与传统油炸相似。Yu 等^[5]研究表明,相比起传统油炸,空气炸后的鱼糜水分含量更高且具有相似的质构特性。

本研究旨在探讨带鱼在传统油炸与空气炸过程中肌肉的水分、色泽、质构、感官、微观结构、游离氨基酸、脂肪酸及风味的变化,对比两种炸制方式对带鱼品质及风味的影响。这对研发低脂、健康的热加工方式及开发带鱼相关产品有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜东海带鱼 约 0.5 kg/条,购于浙江舟山国际水产城,将鲜带鱼样品置于装有冰块的保温箱内,1 h 内运回实验室;氨基酸标准混合溶液 和光纯药工业株式会社。

HD9741 空气炸锅 新安电器(深圳)有限公司;商用电炸炉 佛山市德玛仕网络科技有限公司;CR-10 型便携式色差仪 日本柯尼卡美能达公司;HD-3A 型水分活度测定仪 常州德社精密仪器有限公司;MS-Pro 型物性测试仪 美国 FTC 公司;CF-16RN 高速冷冻多用途离心机 日本日立公司;MDF-U53V 型超低温冰箱 日本 Sanyo 公司;Flavour-Spec®风味分析仪 德国 G.A.S.公司;LA8080 氨基酸自动分析仪 日本株式会社日立高新技术公司;JSM-6490LV 扫描电镜 日本 Jeol 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理 将去头去尾的带鱼用自来水清洗,去除内脏、黑膜及血痕,再切成约 6 cm×4 cm×1.5 cm 大小的鱼块备用。

1.2.2 带鱼炸制方法 前期通过预实验,确认选取油炸 190 ℃-3、5、7、9 min,空气炸 190 ℃-12、16、20、24 min 为炸制工艺参数。

油炸:将 3 L 新鲜大豆油加入油炸锅中,待到油温达到 190 ℃,将带鱼段放入锅中分别炸制 3、5、7、9 min,沥干表面多余的油,放置在空气中冷却至室温。

空气炸:空气炸锅在 190 ℃ 下预热 5 min,将带鱼段放入锅中分别加热 12、16、20、24 min 后,取出放置在空气中冷却至室温。

1.2.3 指标测定

1.2.3.1 色差的测定 采用色差仪,对炸制带鱼块表面中心部位的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值进行测定,每组测 3 个平行,取平均值。

1.2.3.2 质构特性的测定 采用 TPA 模型进行测试:选取分段好的带鱼,测试探头为 P/50,测试速度为 1.0 mm/s,样品变形为 30%,保持时间为 3 s。采用 FTC-PRO 软件从每个样品产生的力-时间曲线中,计算带鱼肌肉组织硬度和咀嚼性。

1.2.3.3 出品率的测定 称取油炸前新鲜带鱼段的质量为 m_a ,吸油纸擦净炸制后带鱼段表面油脂,称取质量为 m_b 。按下式计算出品率:

$$\text{出品率}(\%) = \frac{m_b}{m_a} \times 100$$

式中:W 为出品率,%; m_a 为熟化前质量,g; m_b 为熟化后质量,g

1.2.3.4 水分含量和水分活度的测定 参照 GB 5009.3-2016^[6] 中 105 ℃ 干燥恒质量法测定样品中的水分含量;参照 GB 5009.238-2016^[7] 采用水分活度仪测定水分活度。

1.2.3.5 感官评定 邀请 10 名通过感官评定培训的食品专业学生(男生 5 人,女生 5 人)组成感官评定小组,评定过程采用双盲法,感官评价标准见表 1。

1.2.3.6 微观结构 将处理好的带鱼段(新鲜、油炸、空气炸)去皮处理成 0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm 左右切片,2.5% 戊二醛固定 4 h 后,利用磷酸缓冲液(1 mol/L)漂洗以防止固定残留物;再利用乙醇(30%、50%、70%、80%、100%)梯度脱水,每次 10 min;随后利用乙酸异戊酯置换,50% 一次,100% 两次。最后将切片放入二氧化碳临界点干燥器中干燥,随后对其喷金。在电压为 20 kV 下放大 250 倍,用扫描电子显微镜观察其微观结构。

1.2.3.7 游离氨基酸含量及脂肪酸的测定 游离氨基酸的测定:取适量三种带鱼(新鲜带鱼、油炸带鱼、空气炸带鱼)样品,加入 0.02 mol/L 盐酸溶解并定容。净化:分别加入 5 mL 甲醇,5 mL 水,对 C_{18} 前

表1 感官评定标准
Table 1 Sensory assessment criteria

项目	评分标准	评分(分)
色泽	色泽红褐或焦黄, 均匀	8~10
	色泽淡黄, 较均匀	5~7
	色泽偏浅, 不够均匀	1~4
质地	鱼肉紧实, 酥脆完整	8~10
	鱼肉较紧实, 较酥脆有少量破损	5~7
	鱼肉松散, 不酥脆破损严重	1~4
风味	有炸制带鱼的特征风味, 无异味	8~10
	炸制带鱼的特征风味稍差, 稍有腥味, 有轻微焦糊、苦味等异味	5~7
	没有炸制带鱼的特征风味, 腥味重, 焦糊味、苦味等异味重	1~4
口感	肉质柔嫩, 软硬适中, 有嚼劲	8~10
	肉质较柔嫩, 偏软或偏硬, 嚼劲不够	5~7
	肉质粗糙, 太软或太硬, 无嚼劲	1~4
总可接受性	易接受	8~10
	可以接受	5~7
	不可接受	1~4

处理小柱进行活化, 随后加入 2.5 mL 样品, 再加 1.5 mL 0.02 mol/L 盐酸, 过柱后的样品用 0.02 mol/L 盐酸定容到 5 mL, 过 0.45 μm 滤膜后采用氨基酸分析仪进行测定。脂肪酸的测定: 采用 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定》^[8] 中的气相色谱法。

1.2.3.8 挥发性风味化合物的测定 采用 GC-IMS 对三种带鱼(新鲜带鱼、油炸带鱼、空气炸带鱼)样品挥发性有机物进行分析。将带鱼样品切碎, 称取 2.0 g 置于 20 mL 顶空进样瓶中, 60 $^{\circ}\text{C}$ 孵化 20 min 后进样测试, 孵化转速为 500 r/min; 进样针温度为 85 $^{\circ}\text{C}$; 进样体积为 500 μL 。

GC 条件: 色谱柱温度: 60 $^{\circ}\text{C}$; 运行时间: 25 min; 载气: N_2 (纯度 $\geq 99.999\%$); 载气流速: 0~2 min, 2 mL/min; 2~10 min, 2~10 mL/min; 10~20 min, 10~100 mL/min; 20~25 min, 100~150 mL/min。

IMS 条件: 温度: 45 $^{\circ}\text{C}$; 漂移气流速: 150 mL/min (N_2 , 纯度 $\geq 99.999\%$)。

利用 NIST 数据库和 IMS 数据库对挥发性有机物定性分析。

1.3 数据处理

采用 Origin 2017、SPSS Statistics 19.0 软件进行作图及数据分析, 结果表示为平均值 \pm 标准偏差(采用 ANOVA 方差分析法分析显著性差异水平, $P < 0.05$)。采用仪器配套的软件 LAV(Laboratory Analytical Viewer)、GC \times IMS Library Search(德国 GAS 公司)分析得出样品中挥发性有机物的差异图谱。

2 结果与分析

2.1 比较两种炸制方式对带鱼色泽的影响

色泽是反映炸制食品好坏的重要品质, 由表 2 可知, 油炸时间对带鱼表面色泽有明显影响, 带鱼表

面色泽亮度 L^* 值和黄度 b^* 值呈下降趋势, 红度 a^* 值呈上升趋势。随着油炸时间的延长, 油炸带鱼表面色泽加深且偏红, 这是由于美拉德反应和焦糖化反应产生有色物质以及脂质氧化的影响^[9], 表面亮度 L^* 值呈显著下降趋势($P < 0.05$), 与高温导致鱼肉脱水从而对光的反射减少有关^[10]。随着空气炸时间的延长, 空气炸带鱼表面亮度 L^* 值无显著变化($P > 0.05$), 这是由于空气炸处理对带鱼表皮保存较为完好, 这也弥补了油炸后带鱼表皮严重损失的缺点。有研究表明, 不良色泽和风味与低品质有关^[11], 过度炸制会使美拉德反应进入第 3 阶段, 产生类黑色素, 导致鱼肉颜色变黑, 消费者的接受度下降^[12], 因此带鱼炸制时间不宜过长。

表2 不同炸制条件对带鱼表面色泽的影响
Table 2 Influence of different frying conditions on the color of the surface of the hairtail

炸制方式	油炸时间(min)	L^*	a^*	b^*
油炸	3	50.63 \pm 0.55 ^a	2.97 \pm 1.01 ^b	25.31 \pm 2.43 ^a
	5	47.17 \pm 0.46 ^b	2.34 \pm 1.02 ^b	18.92 \pm 0.85 ^b
	7	32.15 \pm 2.26 ^d	8.10 \pm 1.57 ^a	21.42 \pm 1.82 ^a
	9	38.06 \pm 0.90 ^c	8.04 \pm 2.71 ^a	18.83 \pm 1.49 ^b
	12	76.17 \pm 14.43 ^a	-5.26 \pm 1.01 ^c	3.51 \pm 0.03 ^c
空气炸	16	80.85 \pm 0.61 ^a	-3.62 \pm 0.91 ^b	3.31 \pm 0.16 ^c
	20	76.98 \pm 1.05 ^a	-1.39 \pm 0.30 ^a	8.90 \pm 0.62 ^a
	24	78.40 \pm 0.74 ^a	-3.37 \pm 0.46 ^b	4.89 \pm 0.64 ^b

注: 同列不同小写字母表示相同指标间具有显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 比较两种炸制方式对带鱼质构特性的影响

质构能够对食物的物理特性和感官质量进行客观评价, 通过质构仪可以对炸制带鱼的硬度、咀嚼性等物理特性进行量化, 蛋白质的三维结构和肌纤维组织被破坏程度是影响质构特性的主要因素^[13]。不同炸制条件下带鱼质构特性的变化如图 1 所示, 在相同炸制温度下, 炸制时间较短时(油炸 5 min 之内, 空气炸 20 min 内), 油炸与空气炸带鱼样品的硬度和咀嚼性无显著性差异($P > 0.05$), 这是因为此时肌原纤维蛋白还未完全发生变性。油炸 7 min 后带鱼的硬度高达 3112 g、咀嚼性高达 39.56 mj, 空气炸 24 min 后带鱼的硬度高达 3761.50 g、咀嚼性高达 65.36 mj, 其硬度和咀嚼性均显著上升($P < 0.05$), 分析其原因, 带鱼在高温条件下, 随着炸制时间的增加, 蛋白质变性程度也随之增加, 胶原蛋白收缩与肌动球蛋白脱水缩合的共同作用, 导致肌纤维组织遭到破坏, 结构变得紧密^[14], 水分迅速蒸发流失, 炸制的带鱼肉质变硬且有嚼劲^[12]。然而炸制过度会导致其严重脱水、硬壳过厚且肉质过硬^[15], 口感不佳; 炸制时间过短, 肉质不熟、松软, 腥味重, 因此炸制时间不宜过短或过长。

2.3 比较两种炸制方式对带鱼出品率的影响

由图 2 可知, 两种炸制方式处理的带鱼出品率下降趋势一致, 炸制时间对带鱼出品率有显著影响($P < 0.05$), 随着炸制时间的延长, 蛋白变性程度增

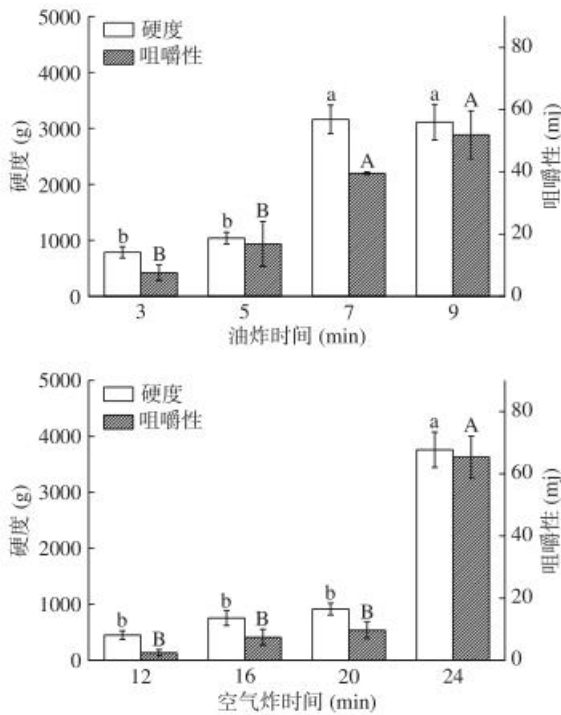


图 1 不同炸制条件对带鱼 TPA 的影响

Fig.1 Influence of different frying conditions on TPA of hairtail

注: 不同小写字母表示炸制带鱼硬度差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示炸制带鱼咀嚼性差异显著 ($P < 0.05$)。

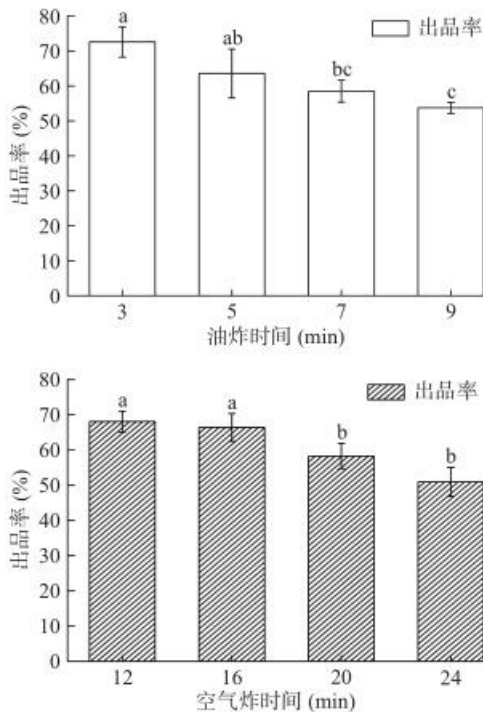


图 2 不同炸制条件对带鱼出品率的影响

Fig.2 Influence of different frying conditions on the production rate of hairtail

注: 不同小写字母表示同样品组内差异显著 ($P < 0.05$)。

大^[14], 持水力下降, 出品率下降。当带鱼处于高温条件下蛋白质发生变性, 肌束膜结构被破坏, 肌纤维与肌纤维间的压力和张力变大, 从而导致肌纤维收缩程

度变大, 且蛋白质疏水基团的暴露降低了对水分的束缚力^[16-17], 使其锁水能力下降, 最终导致水分迅速流失, 同时还伴随着小分子蛋白质、少量脂肪等汁液的溶出^[18], 导致油炸损失率增加, 出品率降低。结合图 3 可知, 出品率与水分含量均呈下降趋势, 这也进一步说明了水分迅速流失是出品率下降最主要的原因。

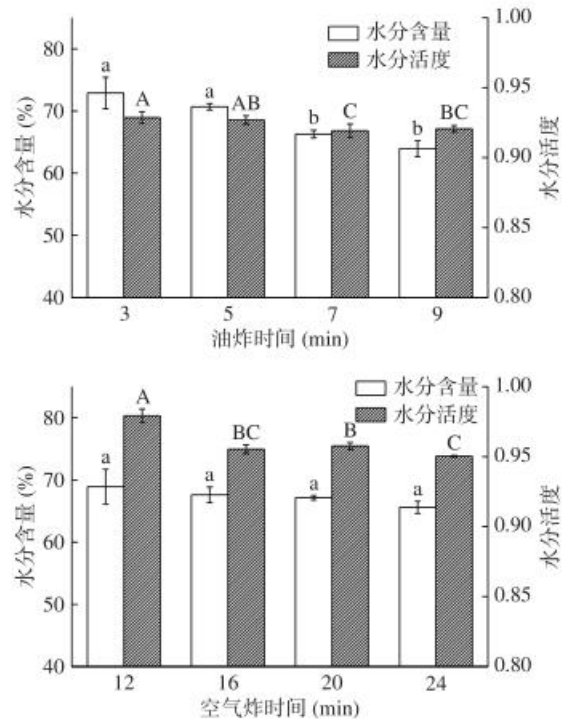


图 3 不同炸制条件对带鱼水分含量和水分活度的影响

Fig.3 Influence of different frying conditions on the moisture content and moisture activity of the hairtail

注: 不同小写字母表示炸制带鱼水分含量差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示炸制带鱼水分活度差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 比较两种炸制方式对带鱼水分含量及水分活度的影响

由图 3 可知, 随着炸制时间的不断增加, 两种炸制方式处理的带鱼, 其水分含量均呈下降趋势。其中, 油炸带鱼的水分含量下降较空气炸明显, 分析其原因, 在油炸过程中, 带鱼与大豆油之间发生快速传热及传质^[19-20], 油脂渗入导致其内部气压下降, 水分随之蒸发流失。在油炸带鱼后期, 水分含量趋于平稳无显著性差异 ($P > 0.05$), 一方面可能是油炸后的带鱼外壳渗透率低, 不利于水分的进入; 另一方面可能是在油炸过程中, 更多的油脂进入鱼肉的孔隙中阻碍了内部水分的渗出^[21]。空气炸带鱼的水分含量下降速率低于油炸带鱼, 这可能是空气炸过程中, 鱼肉肌原纤维蛋白受高温影响程度大于油炸, 表面迅速变性形成硬壳, 在一定程度上阻止了水分的外流^[22]。

引起食品腐败变质的原因之一是微生物的繁殖, 降低水分活度可以在一定程度上延缓或抑制微生物的生长从而延长食品的货架期^[23-24], 由图 3 可知, 经过两种炸制方式处理后, 油炸带鱼的水分活度下降

速率低于空气炸带鱼,这是由于带鱼在油中的传热比空气快,同时油脂可以通过毛细管作用进入肌肉内部,从而代替蒸发的水分进入鱼肉的孔隙中^[25-26],因此,适当延长炸制时间从而降低水分活度有利于炸制带鱼的贮藏。空气炸带鱼的水分活度偏高,可能是由于在空气炸初期,带鱼表皮水分迅速蒸发减少从而形成硬壳^[22],随着炸制时间的延长,炸制带鱼内部水分向外迁移受到阻碍,可通过适当缩短炸制温度从而降低水分活度。

2.5 比较两种炸制方式对带鱼感官评价的影响

由图 4 可知,随着炸制时间的增加,评定人员对油炸带鱼的喜爱度也呈上升趋势,产品的色泽、质地、风味、口感及整体可接受度得分均增大。结合感官评价和其他基础理化指标(水分含量、水分活度、色泽、出品率、质构)可知,在炸制温度相同的条件下,炸制时间过短时,带鱼的水分含量偏高、颜色偏

浅,质地过软、不够酥脆且有腥味,不易被消费者所接受;炸制时间过长时,带鱼的水分含量偏低、颜色偏暗,外形严重收缩、质地过硬、咀嚼性差且有焦糊味。当传统油炸时间为 7 min 时,油炸带鱼的色泽金黄、口感酥脆且具有浓郁的油炸食物特有风味;当空气炸时间为 24 min 时,空气炸带鱼的侧面金黄、表皮保存较为完整、无油腻感、口感适中。综上所述,可得出传统油炸 7 min 和空气炸 24 min 处理后的带鱼品质更佳。后续对这两个炸制工艺参数(油炸 190 ℃-7 min、空气炸 190 ℃-24 min)处理的带鱼的微观结构、游离氨基酸、脂肪酸与挥发性风味物质进一步进行比较与分析。

2.6 比较两种炸制方式对带鱼微观结构的影响

新鲜带鱼、油炸带鱼(190 ℃-7 min)及空气炸带鱼(190 ℃-24 min)的肌肉微观结构(纵切面和横切面)如图 5 所示。与新鲜带鱼整齐有序且紧密的肌

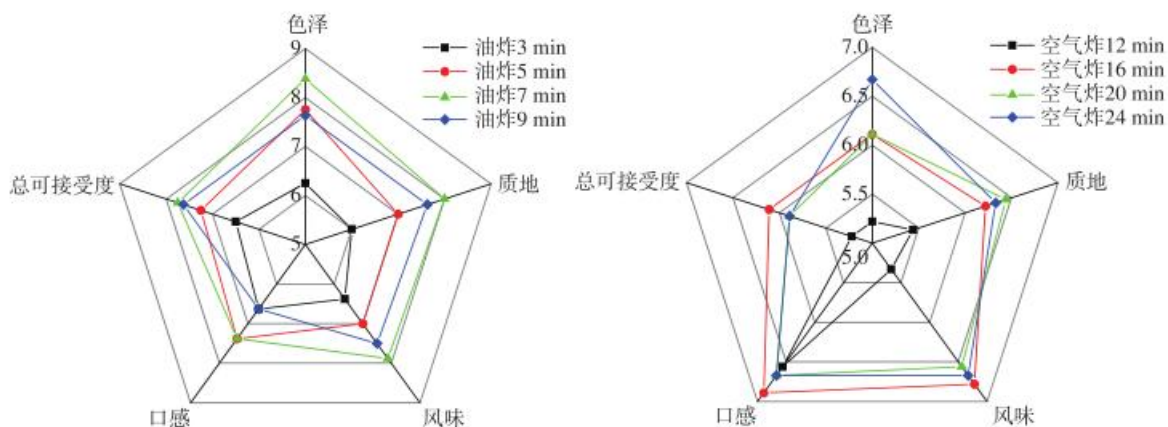


图 4 不同炸制条件对带鱼感官评价的影响

Fig.4 Influence of different frying conditions on the sensory evaluation of hairtail

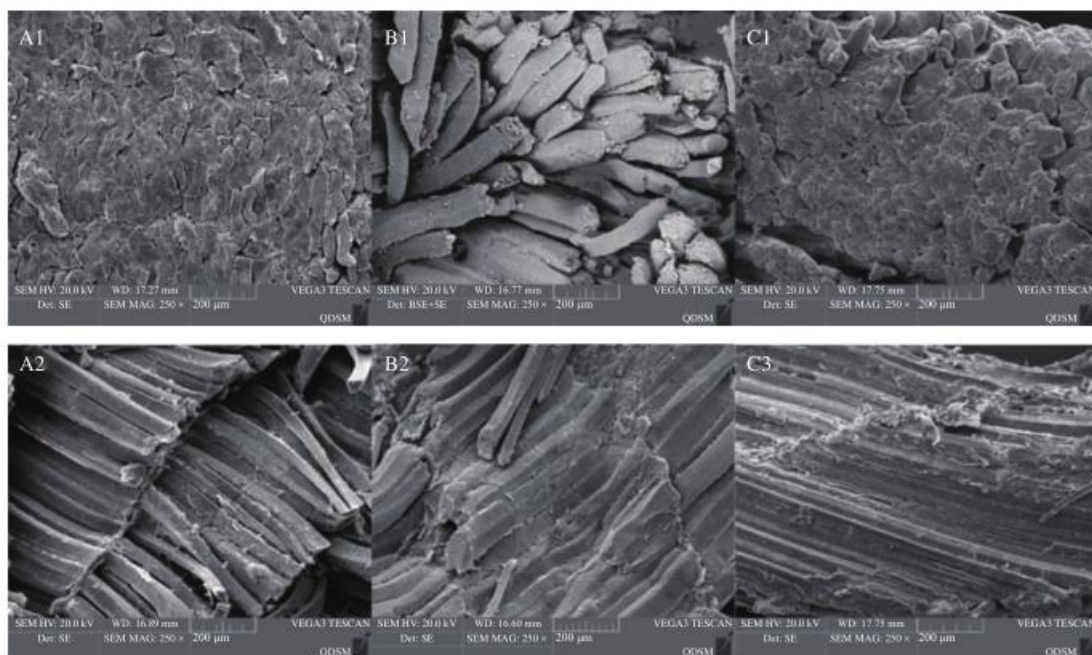


图 5 不同炸制条件对带鱼微观结构的影响

Fig.5 Influence of different frying conditions on the microstructure of hairtail
注: A 为新鲜带鱼; B 为油炸带鱼; C 为空气炸带鱼; 1 为横切面, 2 为纵切面。

纤维束排列相比, 油炸带鱼肌纤维束的密度显著下降、有序性遭到破坏且肌纤维发生部分断裂, 分析其原因, 肌内膜和肌束膜从肌纤维表面剥离下来, 相邻的肌内膜发生严重收缩并紧密粘靠在一起, 导致肌纤维间变得疏松^[27], 肌纤维表面出现一些不规则颗粒化物质, 可能是肌束膜出现的轻微颗粒化现象^[28]或是肌纤维细胞内的一些肌浆蛋白溶出物^[27]。与油炸带鱼相反, 经空气炸处理后, 带鱼的肌纤维间致密性增强且排列有序, 可能是由于炸制时间过长, 热处理强度随之增大, 肌束膜中主要成分(胶原蛋白)进一步降解, 凝胶化加剧, 导致其结构被严重破坏, 部分肌束发生崩塌并相互黏在一起, 结缔组织变性形成凝胶, 空隙被凝胶和其他微粒物质填补起来^[28-29], 组织结构空隙小从而对油脂的渗入有一定的阻碍作用, 这也可能是空气炸带鱼油脂含量少的原因之一。

2.7 比较两种炸制方式对带鱼游离氨基酸、脂肪酸的影响

2.7.1 两种炸制方式对带鱼游离氨基酸含量与组成分析 由表 3 可知, 新鲜带鱼、油炸带鱼和空气炸带鱼均检测出 17 种氨基酸, 其中包括 10 种非必需氨基酸(NEAA)和 7 种人体必需氨基酸(EAA), 虽然三种带鱼游离氨基酸的种类一致, 但相同氨基酸的含量存在不同程度的差异。由图 6 可知, 与新鲜带鱼相比, 油炸带鱼的总游离氨基酸(TFAA)含量下降, 空气炸带鱼的 TFAA 含量上升且显著高于油炸带鱼 ($P<0.05$)。

表 3 不同炸制条件下带鱼的游离氨基酸含量(mg/g 干基)
Table 3 Free amino acid content of hairtail under different frying conditions (mg/g dry basis)

氨基酸	新鲜带鱼	油炸带鱼	空气炸带鱼
天冬氨酸 Asp	0.114±0.020 ^a	0.045±0.010 ^b	0.043±0.015 ^b
苏氨酸 Thr	0.409±0.013 ^a	0.197±0.072 ^c	0.360±0.067 ^b
丝氨酸 Ser	0.274±0.031 ^a	0.167±0.030 ^b	0.224±0.035 ^a
谷氨酸 Glu	0.542±0.063 ^a	0.363±0.015 ^b	0.431±0.037 ^a
甘氨酸 Gly	0.421±0.027 ^a	0.268±0.036 ^b	0.397±0.054 ^{ab}
丙氨酸 Ala	1.176±0.122 ^a	0.982±0.052 ^{ab}	1.175±0.082 ^a
胱氨酸 Cys	0.008±0.001 ^a	0.0037±0.002 ^b	0.006±0.002 ^a
缬氨酸 Val	0.305±0.015 ^a	0.215±0.015 ^b	0.266±0.026 ^a
蛋氨酸 Met	0.193±0.012 ^a	0.086±0.029 ^b	0.130±0.014 ^{ab}
异亮氨酸 Ile	0.131±0.014 ^a	0.096±0.019 ^b	0.110±0.005 ^a
亮氨酸 Leu	0.323±0.016 ^a	0.216±0.019 ^c	0.284±0.006 ^b
酪氨酸 Tyr	0.142±0.012 ^a	0.108±0.013 ^b	0.130±0.014 ^a
苯丙氨酸 Phe	0.065±0.005 ^a	0.053±0.003 ^b	0.069±0.004 ^a
赖氨酸 Lys	2.134±0.278 ^{ab}	0.534±0.122 ^b	2.167±0.207 ^a
组氨酸 His	0.200±0.006 ^a	0.156±0.018 ^b	0.174±0.037 ^{ab}
精氨酸 Arg	0.061±0.025 ^a	0.044±0.005 ^b	0.053±0.018 ^{ab}
脯氨酸 Pro	0.731±0.035 ^a	0.242±0.007 ^b	0.722±0.057 ^a
EAA/TFAA(%)	46.130±1.667 ^a	36.783±1.973 ^b	45.414±1.109 ^a
EAA/NEAA(%)	85.721±5.746 ^a	58.262±4.938 ^b	83.234±3.721 ^a

注: 同行不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$); EAA/TFAA: 必需氨基酸/总游离氨基酸; EAA/NEAA: 必需氨基酸/非必需氨基酸。

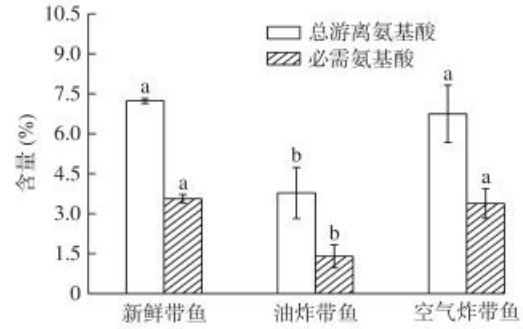


图 6 不同处理方式对带鱼总游离氨基酸和必需氨基酸的影响

Fig.6 Effects of different treatments on total free amino acids and essential amino acids of hairtail

注: 不同小写字母表示同指标组间差异显著($P<0.05$); 图 7 同。

EAA 含量代表了食物中蛋白质营养价值的高低^[30], 油炸和空气炸后带鱼的 EAA 含量均有所下降, 说明带鱼的营养价值在油炸过程中遭到破坏。据 FAO/WHO 报道^[31], EAA/TAA 的值在 40% 左右, EAA/NEAA 的值在 60% 以上, 表明蛋白质属于优质蛋白, 空气炸带鱼符合 FAO/WHO 的理想模型, 属于优质蛋白。油炸和空气炸带鱼中丙氨酸和赖氨酸含量最高, 胱氨酸含量最低, 丙氨酸作为典型的甜味氨基酸, 对油炸带鱼的鲜美风味有一定促进作用, 赖氨酸在促进人体生长发育、增强机体免疫力、缓解焦虑等方面都具有积极的营养学意义^[32]。

带鱼肌肉中的氨基酸组成与含量对肉品的风味有一定的影响, 由图 7 可知, 油炸和空气炸带鱼中均检出 4 类呈味氨基酸, 其含量大小为甜味类氨基酸 > 苦味类氨基酸 > 鲜味类氨基酸。油炸带鱼中的甜味氨基酸含量显著高于新鲜带鱼和空气炸带鱼, 这是因为油炸带鱼中丙氨酸的含量显著高于其他两种 ($P<0.05$), 与韩旭等^[33]的研究结果相似, 油炸后白乌鱼和鲫鱼中丙氨酸含量显著高于新鲜样品。丙氨酸能够与肌苷酸和鸟苷酸等配伍产生鲜味相乘作用, 对带鱼的鲜味有一定的增强作用^[34], 这也是油炸带鱼味道鲜甜、受消费者喜爱的原因之一。

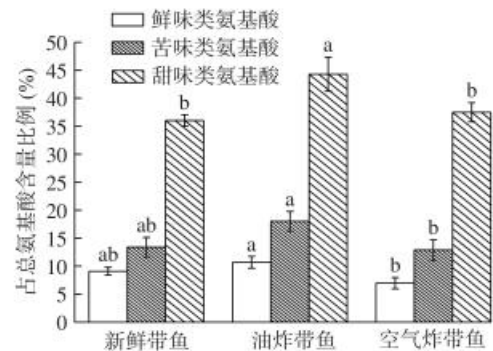


图 7 不同处理方式的带鱼呈味氨基酸占总氨基酸比例
Fig.7 Effects of different treatments on proportion of tasteful amino acids in TAA of hairtail

注: 鲜味氨基酸为天冬氨酸和谷氨酸含量之和; 苦味氨基酸为缬氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸和亮氨酸含量之和; 甜

表 4 不同炸制条件下带鱼的脂肪酸含量(g/100 g)
Table 4 Fatty acid content of hairtail under different frying conditions (g/100 g)

脂肪酸	新鲜带鱼	油炸带鱼	空气炸带鱼	
SFA	肉豆蔻酸C _{14:0}	0.0045±0.0016 ^b	0.0190±0.0019 ^a	0.0094±0.0023 ^b
	十五碳酸C _{15:0}	0.0013±0.0002 ^a	0.0030±0.0001 ^a	0.0009±0.0000 ^a
	棕榈酸C _{16:0}	0.0779±0.0120 ^e	1.9863±0.0209 ^a	0.1645±0.0139 ^b
	十七碳酸C _{17:0}	0.0019±0.0006 ^c	0.0213±0.0002 ^b	0.0053±0.0010 ^b
	硬脂酸C _{18:0}	0.0375±0.0062 ^c	0.9066±0.0093 ^a	0.0878±0.0107 ^b
	花生酸C _{20:0}	—	0.0834±0.0010	—
	二十二碳酸C _{22:0}	0.0016±0.0006 ^b	0.0977±0.0010 ^b	0.0018±0.0000 ^b
	二十三碳酸C _{23:0}	—	0.0117±0.0000	—
	二十四碳酸C _{24:0}	0.0015±0.0003 ^b	0.0425±0.0009 ^a	0.0038±0.0003 ^b
	棕榈油酸C _{16:1}	0.0051±0.0004 ^c	0.0222±0.0011 ^a	0.0118±0.0016 ^b
MUFA	油酸C _{18:1n9c}	0.0700±0.0232 ^b	4.0265±0.0215 ^a	0.1132±0.0106 ^b
	二十碳一烯酸C _{20:1}	0.0035±0.0006 ^b	0.0376±0.0001 ^a	0.0086±0.0024 ^b
	芥酸C _{22:1n9}	0.0121±0.0006 ^b	0.0287±0.0016 ^a	0.0358±0.0026 ^a
	二十四碳一烯酸C _{24:1}	0.0067±0.0007 ^b	0.0180±0.0001 ^a	0.0186±0.0028 ^a
	亚油酸C _{18:2n6c}	0.0761±0.0457 ^b	8.2726±0.0554 ^a	0.0300±0.0149 ^b
	α-亚麻酸C _{18:3n3}	0.0091±0.0051 ^b	0.8587±0.0084 ^a	0.0101±0.0018 ^b
	二十碳二烯酸C _{20:2}	0.0011±0.0000 ^f	0.0104±0.0000 ^a	0.0031±0.0006 ^b
PUFA	二十碳三烯酸C _{20:3n3}	0.0019±0.0006 ^c	0.0027±0.0005 ^a	0.0066±0.0039 ^a
	花生四烯酸C _{20:4n6}	0.0216±0.0012 ^a	0.0256±0.0016 ^a	0.0247±0.0042 ^a
	EPA C _{20:5n3}	0.0121±0.0011 ^b	0.0223±0.0032 ^a	0.0297±0.0011 ^a
	DHA C _{22:6n3}	0.0918±0.0066 ^c	0.1813±0.0034 ^b	0.2585±0.0153 ^a
	饱和脂肪酸(SFA)	0.1262±0.0296 ^c	3.1715±0.0475 ^a	0.2736±0.0386 ^b
	单不饱和脂肪酸(MUFA)	0.0975±0.0344 ^b	4.1330±0.0339 ^a	0.1880±0.0282 ^b
多不饱和脂肪酸(PUFA)	0.2136±0.0600 ^b	9.3735±0.0979 ^a	0.3627±0.0171 ^b	
不饱和脂肪酸(UFA)	0.3111±0.0944 ^b	13.5065±0.1318 ^a	0.5507±0.0453 ^b	
UFA: SFA	2.4446±0.1758 ^b	4.2588±0.0222 ^a	2.0215±0.1194 ^c	
EPA+DHA	0.1038±0.0109 ^e	0.2036±0.0093 ^b	0.2882±0.0232 ^a	

注: 同行不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$)。

味氨基酸为丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸含量之和。

2.7.2 两种炸制方式对带鱼脂肪酸分析 由表 4 可知, 油炸带鱼中共检测出 21 种脂肪酸, 其中包括 9 种饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、5 种单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)和 7 种多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA); 空气炸带鱼中共检测出 19 种脂肪酸, 其中包括 7 种 SFA、5 种 MUFA 和 7 种 PUFA。

与新鲜带鱼相比, 两种炸制方式处理的带鱼, 其饱和脂肪酸含量均呈上升趋势, 这可能与不饱和脂肪酸不断氧化补充有关^[35], 经过油炸和空气炸处理后, 棕榈酸的含量显著上升($P<0.05$), 可能是高温使更多的棕榈油酸转化成棕榈酸。相比起饱和脂肪酸, 不饱和脂肪酸更容易被氧化, 其组成是影响脂质热降解和氧化降解的重要因素^[36]。油炸带鱼中 UFA 含量显著高于 SFA 含量($P<0.05$), 以亚油酸和油酸为主, 其含量分别高达 8.2726、4.0265 g/100 g, 由于油炸时使用的大豆油中富含这两种脂肪酸, 在炸制过程中, 另外添加的油脂渗入, 使得其含量增加。EPA 俗称“血管清道夫”, 具有清理血管中胆固醇和甘油三酯

的功能; DHA 俗称“脑黄金”, 具有软化血管、健脑益智、改善视力等多重功效^[32], 新鲜带鱼和空气炸带鱼中相对含量最高的是 DHA, 这与张蒙娜等^[37]的研究结果一致, EPA 和 DHA 作为两种具有代表性的不饱和脂肪酸, 经过两种炸制方式处理后均有所上升, 这是由于游离氨基酸含量变化处于动态过程, 可以由磷脂和甘油酯水解产生, 也可以进一步氧化降解^[38], EPA 和 DHA 含量上升是由于其生成速度大于降解速度。在空气炸带鱼中的总量显著高于新鲜带鱼和油炸带鱼($P<0.05$), 这可能是由于空气炸的加热程度低于油炸, 从而导致其 EPA 和 DHA 的氧化速率低于油炸。通过油炸和空气炸处理的带鱼, 其 UFA/SFA 比值高达 4.2588 和 2.0215, 据荀文等^[39]研究表明当肌肉中 UFA/SFA 比值 >1 时, 说明脂肪酸组成以不饱和脂肪酸为主且营养价值高, 其脂肪酸的组成相对稳定。

2.8 两种炸制方式对带鱼挥发性风味物质的比较和影响

不同炸制条件处理的带鱼肌肉的气味指纹图谱见图 8。图中每一行表示一种样品含有的挥发性有

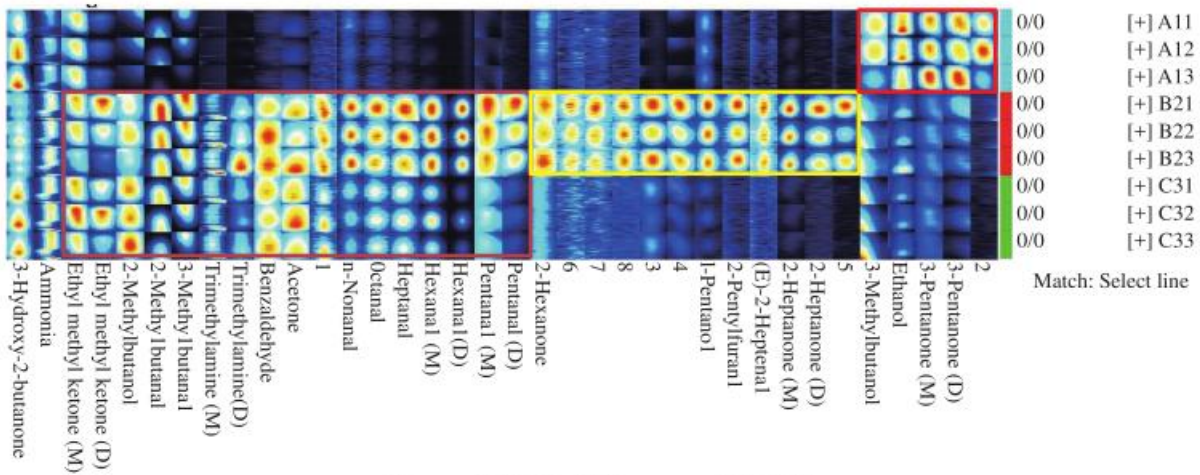


图 8 不同处理组样品 GC-IMS 指纹图谱

Fig.8 GC-IMS fingerprint map of samples from different processing groups

注: A 为新鲜带鱼; B 为油炸带鱼; C 为空气炸带鱼。

物, 每一列表示同一挥发性有机物在不同样品中的信号峰, 若为数字则表示该物质在谱库中匹配度较低未被鉴定出^[40]。由图 8 可知, 红框中的物质在带鱼炸制后含量大幅下降, 包括 3-戊酮、乙醇和 3-甲基丁醇等; 黄框中的物质在带鱼油炸后含量大幅增加, 包括 2-庚酮、反-2-庚烯醛、2-正戊基呋喃和 2-己酮等; 橙框中的物质在带鱼经两种方式炸制后含量均大幅上升, 其中包括己醛、庚醛、苯甲醛、三甲胺、3-甲基丁醛、2-甲基丁醛和壬醛等。脂肪酸的氧化分解和氨基酸的 strecker 降解是肉类风味形成的重要途径。

醛类作为肉香的重要成分可分为直链醛和支链醛, 直链醛主要由不饱和脂肪酸中碳碳双键的氧化分解产生, 而支链醛主要由氨基酸通过 strecker 氧化脱氨脱羧作用产生^[41], 醛类的阈值低且挥发性强, 所以对带鱼整体风味的特征贡献大。壬醛、己醛、2-甲基丁醛和 3-甲基丁醛等醛类是不同处理方式带鱼共有的关键风味成分, 其含量在油炸和空气炸处理后显著上升, 己醛主要由油酸、亚油酸和花生四烯酸氧化产生, 3-甲基丁醛主要由亮氨酸和异亮氨酸 strecker 产生, 其风味均随着浓度的变化而发生变化, 己醛在低浓度下表征出青草味, 而在高浓度时会产生油脂酸败^[42], 这可能是炸制后期带鱼会产生不良风味的原因之一。壬醛作为油酸的氧化产物具有浓郁的油脂气味^[43], 其在油炸带鱼中的含量显著高于空气炸。相比起新鲜带鱼, 两种炸制方式处理的带鱼中, 苯甲醛的含量都有所上升, 但其本身具有苦杏仁味, 对肉类风味会产生负面影响^[44]。醛类进一步氧化生成酮类, 酮类阈值较高, 对带鱼整体风味的特征贡献较小, 大部分酮类经过高温处理后含量都有所下降, 使其鲜香味和腥味减少, 分析其原因, 酮类作为羰基化合物与氨基酸、肽、蛋白质和其他物质发生反应导致其含量降低^[42]。醇类通常具有芳香、植物香和果香^[44], 醇类化合物主要由 n-3 和 n-4 不饱和脂肪酸二级氢过氧化物的降解产生, 可将其分为饱和醇与不饱和醇, 前者

阈值高, 后者阈值低, 对带鱼风味的特征贡献也有所差异。其他类化合物主要由 2-正戊基呋喃、三甲胺和氨组成, 其中 2-正戊基呋喃是唯一检测出来的呋喃类化合物, 是 Maillard 反应的产物, 具有焦甜味, 在油炸带鱼中的含量显著高于新鲜带鱼和空气炸带鱼。

3 结论

本研究通过对带鱼样品水分含量、色泽、出品率、质构特性和感官评定等理化特性的测定, 筛选出两组优化的炸制工艺参数: 油炸 190 °C-7 min 和空气炸 190 °C-24 min。空气炸带鱼的肌纤维排列有序且紧密, 其硬度与咀嚼性大于油炸带鱼; 空气炸带鱼的氨基酸模式符合 FAO/WHO 的理想模型, 属于优质蛋白, 而油炸带鱼不符合; 两种炸制方式处理的带鱼 UFA:SFA 的比值均大于 1, 说明其脂肪酸组成相对稳定且营养价值高, EPA+DHA 在油炸带鱼中的含量明显低于空气炸带鱼; 两种炸制方式处理的带鱼中挥发性风味物质的含量及种类存在不同程度的差异。综上所述, 两种炸制方式处理的带鱼品质及风味均存在一定的差异, 为炸制带鱼的加工方式提供了理论参考。

参考文献

- [1] LUAN L, Y SUN, S CHEN, et al. A study of fractal dimension as a quality indicator of hairtail (*Trichiurus haumela*) samples during frozen storage [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 16468.
- [2] 江嘉琦, 张旭飞, 吉宏武, 等. 常压油炸与空气油炸对凡纳滨对虾中虾青素含量及抗氧化活性的影响 [J]. *食品科学*, 2022, 43(13): 33-39. [JIANG J Q, ZHANG X F, JI H W, et al. Effects of astaxanthin content and antioxidant activity of *Litopenaeus vannamei* by deep frying and air frying [J]. *Food Science*, 2022, 43(13): 33-39.]
- [3] CHENG J, S ZHANG, S WANG, et al. Rapid and sensitive detection of acrylamide in fried food using dispersive solid-phase extraction combined with surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. *Food Chemistry*, 2019, 276: 157-163.
- [4] 赵文字, 赵美钰, 王可心, 等. 油炸方式对高白鲑肌肉食品

- 质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(4): 72-79. [ZHAO W Y, ZHAO M Y, WANG K X, et al. Effect of frying methods on the eating quality of *Coregonus peled* meat[J]. *Food Science*, 2021, 42(4): 72-79.]
- [5] YU X, LI L, J XUE, et al. Effect of air-frying conditions on the quality attributes and lipidomic characteristics of surimi during processing[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 60: 102305.
- [6] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.3-2016 National standard of food safety. Determination of water in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [7] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.238-2016 食品安全国家标准 食品水分活度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.238-2016 National standard of food safety. Determination of food water activity[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2016.]
- [8] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. GB 5009.168-2016 National standard of food safety. Determination of fatty acids in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [9] BORDIN K, M TOMIHE KUNITAKE, K KAZUE ARACAVA, et al. Changes in food caused by deep fat frying-a review[J]. *Archivos Latinoamericanos De Nutrición*, 2013, 63: 5-13.
- [10] 徐言, 陈季旺, 莫加利, 等. 烤制温度和时间对烧烤草鱼块品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 8. [XU Y, CHEN J W, MO J L, et al. Effect of roasting temperature and time on the quality attributes of roasted grass carp fillets[J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 8.]
- [11] MAH E, R G BRANNAN. Reduction of oil absorption in deep-fried, battered, and breaded chicken patties using whey protein isolate as a postbreading dip: Effect on flavor, color, and texture[J]. *Journal of Food Science*, 2009, 74(1): S9-S16.
- [12] 张鹏, 王璇, 杨方, 等. 斑点叉尾鲴鱼脱水程度对其油炸品质的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2016, 35(8): 878-882. [ZHANG P, WANG X, YANG F, et al. Effect of dehydration degree on the quality of fried channel catfish[J]. *Journal of Food and Biotechnology*, 2016, 35(8): 878-882.]
- [13] 史羽瑶, 郑尧, 王红丽, 等. 抗冻蛋白对冷冻虾夷扇贝闭壳肌持水性及质构特性的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(10): 22-28. [SHI Y Y, ZHENG Y, WANG H L, et al. The effect of antifreeze protein on the water holding capacity and texture of the frozen (*Patinopecten yessoensis*) scallop adductor muscle[J]. *Food Science*, 2022, 43(10): 22-28.]
- [14] 熊雅雯, 黄丹, 李秉好, 等. 不同煮制条件对罗非鱼片品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(11): 39-48. [XIONG Y W, HUANG H, LI L H, et al. Effects of different cooking conditions on the quality of tilapia fillets[J]. *Food Science*, 2022, 43(11): 39-48.]
- [15] 陈康明, 刘晓丽, 许艳顺, 等. 油炸温度与时间对白公干鱼传质特性及品质的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(2): 25-31. [CHEN K M, LIU X L, XU Y S, et al. Effect of frying temperature and time on the quality transfer characteristics and quality of white male dried fish[J]. *Food and Machinery*, 2020, 36(2): 25-31.]
- [16] 郭强, 王卫, 张佳敏, 等. 加工工艺对手撕牛肉产品特性的影响研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(7): 98-104. [GUO Q, WANG W, ZHANG J M, et al. Study on the effects of processing technology on the properties of shredded beef[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(7): 98-104.]
- [17] 孟兰奇, 代媛媛, 李琳, 等. 热加工程度对鸡肉食用品质的影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(3): 88-93. [MENG L Q, DAI Y Y, LI L, et al. Effect of the degree of thermal processing on the quality of chicken products[J]. *Food Technology*, 2021, 46(3): 88-93.]
- [18] 陈丽丽, 张树峰, 袁美兰, 等. 不同烹饪方式对脆肉鲩鱼肉营养品质的影响[J]. *中国调味品*, 2019, 44(10): 40-45. [CHEN L L, ZHANG S F, YUAN M L, et al. Influence of different cooking methods on the nutritional quality of crispy grass carp and fish[J]. *Chinese Condiments*, 2019, 44(10): 40-45.]
- [19] 孙洋, 姜启兴, 许学勤, 等. 半干鲢鱼片油炸工艺研究[J]. *食品与机械*, 2012, 28(3): 59-61, 67. [SUN Y, JIANG Q X, XU X Q, et al. Research on fried technology of semi-dried silver carp chips[J]. *Food and Machinery*, 2012, 28(3): 59-61, 67.]
- [20] MIR-BEL J, R ORIA, M L SALVADOR. Influence of temperature on heat transfer coefficient during moderate vacuum deep-fat frying[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 113(2): 167-176.
- [21] FANG M, G J HUANG, W C SUNG. Mass transfer and texture characteristics of fish skin during deep-fat frying, electrostatic frying, air frying and vacuum frying[J]. *LWT*, 2021, 137: 110494.
- [22] 王兆宏, 孙静, 刘芳. 动物性原料(里脊肉)油炸工艺的研究[J]. *食品科学*, 1995(7): 59-63. [WANG Z H, SUN J, LIU F. Research on the frying technology of animal raw material (tenderloin) [J]. *Food Science*, 1995(7): 59-63.]
- [23] 蓝蔚青, 巩涛硕, 傅子昕, 等. 不同植物源提取液对冰藏鲟鱼水分迁移及蛋白质特性的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(8): 179-188. [LAN W Q, GONG T S, FU Z X, et al. Effect of different plant source extracts on water migration and protein characteristics of ice Tibetan pomfret[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(8): 179-188.]
- [24] 张强, 胡维岗, 全新文. 不同贮藏条件对新疆赤鲈鲜度和质构特性的影响[J]. *广东农业科学*, 2015, 42(12): 97-101. [ZHANG Q, HU W G, JING X W. Effects of different storage conditions on freshness and texture properties of red perch from Xinjiang[J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2015, 42(12): 97-101.]
- [25] 王萍, 张健, 孙利芹, 等. 油炸工艺对南极冰鱼香酥鱼块品质的影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(9): 122-127. [WANG P, ZHANG J, SUN L Q, et al. The influence of frying technology on the quality of crispy fish cubes for antarctic icefish[J]. *Food Industry*, 2020, 41(9): 122-127.]
- [26] 赵电波, 韩雪, 李可, 等. 不同加工工序对鸡腿品质特性及杂环胺形成的影响[J]. *中国调味品*, 2021, 46(9): 22-27. [ZHAO D B, HAN X, LI K, et al. Effect of different processing processes on the quality characteristics of chicken leg and the formation of heterocyclic amine[J]. *Chinese Condiments*, 2021, 46(9): 22-27.]

- [27] 吴兵,张立彦.加热对三黄鸡腿肉特性的影响研究[J].*食品工业科技*,2011,32(5):108-112. [WU B,ZHANG L Y.Effects of thermal treatment on characteristics of tender chicken thigh[J].*Science and Technology of Food Industry*,2011,32(5):108-112.]
- [28] 李子晗,费子璇,郭慧,等.短时间热处理对羔羊肉食用品质的影响[J].*包装工程*,2021,42(17):88-95. [LI Z H,FEI Z X,GUO H,et al.Effects of short-time heat treatments on the eating qualities of lamb meat[J].*Packaging Engineering*,2021,42(17):88-95.]
- [29] 陈春梅,周惠健,沈银涵,等.煮制时间对鹅肉蛋白结构的影响[J].*食品工业科技*,2021,42(4):6-11. [CHEN C M,ZHOU H J,SHEN Y H,et al.Effect of cooking time on the protein structure of goose meat[J].*Science and Technology of Food Industry*,2021,42(4):6-11.]
- [30] 王宁宁,冯美琴,孙健.低钠复合盐对发酵香肠理化特性及风味的影响[J].*食品科学*,2021,42(16):1-7. [WANG N N,FENG M Q,SUN J.Effect of low-sodium salt mixture on physico-chemical properties and flavor of fermented sausages[J].*Food Science*,2021,42(16):1-7.]
- [31] FAO/WHO. Energy and protein requirements: Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee[R]. FAO Nutrition Meeting Reports Series, 1973, 52: 40-73.
- [32] 杨少玲,戚勃,李来好,等.鲨鱼肌肉与鱼翅营养价值的比较[J].*食品科学*,2019,40(15):184-191. [YANG S L,QI B,LI L H,et al.Comparison of the nutritional value of shark meat and fin[J].*Food Science*,2019,40(15):184-191.]
- [33] 韩旭,彭海川,白婷,等.蒸煮和油炸对鱼肉蛋白质营养和风味的影响[J].*成都大学学报(自然科学版)*,2021,40(3):247-255. [HAN X,PENG H C,BAI T,et al.Effects of cooking and frying on the protein nutrition and flavor of fish species[J].*Journal of Chengdu University (Natural Science Edition)*,2021,40(3):247-255.]
- [34] 徐永霞,李鑫晰,赵洪雷,等.6种海水鱼类鱼汤的呈味物质比较分析[J].*食品与发酵工业*,2021,47(21):240-245. [XU Y X,LI X X,ZHAO H L,et al.Comparative analysis of taste compounds in 6 kinds of six marine fish soup[J].*Food and Fermentation Industries*,2021,47(21):240-245.]
- [35] 周亚军,张玉,陈艳,等.发酵牛肉干加工中理化特性与风味品质分析[J].*食品科学*,2021,42(14):240-247. [ZHOU Y J,ZHANG Y,CHEN Y,et al.Analysis of physical and chemical characteristics and flavor quality in fermented beef jerky processing[J].*Food Science*,2021,42(14):240-247.]
- [36] BA H V, K S RYU, N LAN, et al. Influence of particular breed on meat quality parameters, sensory characteristics, and volatile components[J]. *Food Science & Biotechnology*, 2013(22): 651-658.
- [37] 张蒙娜,宋恭帅,王海星,等.iKnife智能刀-快速蒸发离子化质谱实时检测空气油炸带鱼的脂质组学品质特征[J].*食品科学*,2020,41(14):314-320. [ZHANG M N,SONG G S,WANG H X,et al.iKnife Intelligent Knife-Rapid evaporation ionic quality spectrometry to detect real-time lipidomic quality characteristics of air fried hairtail in real time[J].*Food Science*,2020,41(14):314-320.]
- [38] WEI M X, XING L X, GUANG H Z, et al. Changes of intramuscular phospholipids and free fatty acids during the processing of Nanjing dry-cured duck[J]. *Food Chemistry*, 2008, 110: 279-284.
- [39] 荀文,王桂瑛,谷大海,等.鸡肉中脂肪酸的研究进展[J].*食品研究与开发*,2020,41(21):214-219. [XUN W,WANG G Y,GU D H,et al.Review on fatty acid in muscle tissues of chicken[J].*Food Research and Development*,2020,41(21):214-219.]
- [40] GE S, CHEN Y, DING S, et al. Changes in volatile flavor compounds of peppers during hot air drying process based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS)[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(7): 3087-3098.
- [41] XIE Q, B XU, Y XU, et al. Effects of different thermal treatment temperatures on volatile flavour compounds of water-boiled salted duck after packaging[J]. *LWT*, 2022, 154: 112625.
- [42] DUAN Z, S DONG, Y SUN, et al. Response of Atlantic salmon (*Salmo salar*) flavor to environmental salinity while culturing between freshwater and seawater[J]. *Aquaculture*, 2021, 530: 735953.
- [43] 王恒鹏,吴鹏,陈胜姝,等.排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味物质的影响[J].*食品与机械*,2018,34(12):16-21. [WANG H P,WU P,CHEN S S,et al.Effects of acid discharge time and ripening degree on the volatile flavor substances of beef[J].*Food and Machinery*,2018,34(12):16-21.]
- [44] 冯润芳,孟风华,安晓雯,等.小尾寒羊不同部位挥发性风味物质和脂肪酸分析[J].*食品工业科技*,2021,42(21):285-293. [FENG R F,MENG F H,AN X W,et al.Analysis of volatile flavor substances and fatty acids in different parts of small-tailed Han lambs[J].*Science and Technology of Food Industry*,2021,42(21):285-293.]