

## 预炸-复炸工艺对大黄鱼排品质和风味的影响

吕款款<sup>1</sup>, 林慧敏<sup>1\*</sup>, 邓尚贵<sup>1</sup>, 周小敏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>浙江海洋大学食品与药学学院 浙江舟山 316022

<sup>2</sup>浙江兴业集团有限公司 浙江舟山 316022)

**摘要** 为探究预炸-复炸工艺对大黄鱼排的品质和风味的影响,分别选择用油(180℃,30 s)和空气炸锅(180℃,3 min)预炸鱼排,冷冻24 h后分别选择用油(160,180,200℃下炸制1,2,3,4,5 min)和空气炸锅(160,180,200℃下炸制5,7,9,11,13 min)复炸鱼排,通过水分含量及感官评价选择最优工艺,通过色差、质构特征、脂肪含量、丙烯酰胺含量和挥发性物质分析最优工艺下鱼排品质及风味。结果表明:预炸和复炸工艺中最佳条件分别是:180℃油炸30 s-180℃油炸3 min(油-油)、180℃油炸30 s-180℃空气炸锅炸制11 min(油-空)、180℃空气炸锅炸制3 min-180℃空气炸锅炸制9 min(空-空)、180℃空气炸锅炸制3 min-180℃油炸4 min(空-油)。4种炸制工艺中空-油的脂肪含量最高为27.53 g/100 g,空-空的最低为3.22 g/100 g。在质构方面,复炸使用空气炸锅的两组鱼排硬度高于油炸的两组。在定量限为0.01 mg/kg情况下,4组均未检出丙烯酰胺。鱼排中主体风味物质由醛类、醇类及芳香类物质构成。经油-油工艺得到的鱼排鱼腥味、哈喇味及油脂味道较重,经空-空工艺得到的鱼排具有青草味、烤鱼片味和刺激性气味。

**关键词** 大黄鱼; 炸制方式; 品质; 风味

**文章编号** 1009-7848(2023)05-0213-14 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.05.022

油炸是一种能丰富食品风味的加工方式,耗时短,操作简单,油炸后的食品外酥里嫩、增香增色,受到消费者喜爱<sup>[1]</sup>。油炸过程中甘油三酯的热氧化促进了油炸食品香气的形成,美拉德反应赋予油炸食物香味和使人难以抗拒的色泽<sup>[2-3]</sup>,使得该类食品具备独特的香味和外酥里嫩的质地,为风靡全球的小吃。油炸速食类半成品指经过初步炸制,冷链销售后消费者自行复炸即可食用的产品。近几年来,油炸速食类食品具有操作简单,不需要复杂的前处理,并且干净卫生的优点,成为越来越多人们的选择。将预炸与复炸结合比单独炸制更能保持鱼排的完整性,减少掉渣。然而,传统油炸食品往往属于高脂肪、高热量食物。此外,炸制中有油烟产生,随着油炸时间的延长和油脂的反复利用,食物表面颜色持续加深甚至变黑,产生苦涩味和焦糊味,同时生成一些致癌物质,如丙烯酰胺<sup>[4]</sup>、多环芳烃<sup>[5]</sup>、杂环胺<sup>[6]</sup>和反式脂肪酸<sup>[7]</sup>等,大量长期摄入后会对人类身体健康产生不良影响,使得油炸食品健康安全问题受到消费者和研究者的关注。

方便食品是后疫情时代成功拉动我国食品工业逆势上扬的一类食品,成为国内外学者和企业的研究重点。空气炸锅运用高速热空气循环技术全方面接触食品表面,迅速带走水分,并给食品带来油炸风味和色泽,且油脂含量很低<sup>[8]</sup>,有望代替传统油炸方法。虽然空气炸锅与油炸所得产品在特征方面较为相似,但是作用机理不同,使产品在感官和挥发性物质方面具有差异<sup>[6]</sup>。为了提高油炸速食半成品品质,空气炸锅的加工工艺还有待进一步研究。

本研究以空气炸锅预炸和油预炸,以及空气炸锅复炸和油复炸的炸制方法获得的鱼排为研究对象,以水分含量、感官评价为指标,确定油-油、油-空、空-空、空-油的最佳炸制条件。通过脂肪含量、质构特征、色度、丙烯酰胺含量和挥发性物质分析,分别对炸制后鱼排的含油率、质构性能、颜色变化以及挥发性风味物质的变化进行全面的分析。研究油-油、油-空、空-空、空-油的炸制条件对鱼排品质的影响,旨在寻找一种新的炸制工艺。

### 1 材料与amp;方法

#### 1.1 材料与试剂

冷冻大黄鱼购于舟山国际水产城,选择大小

收稿日期: 2022-05-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD0900900)

第一作者: 吕款款,女,硕士生

通信作者: 林慧敏 E-mail: linhuixiaomin@126.com

均匀一致的大黄鱼,使用碎冰覆盖放入泡沫箱中,1 h内运到实验室,将大黄鱼完整贮藏在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中;大豆油来自益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司;小麦粉、面包糠、玉米淀粉为市售合格产品。

石油醚、无水硫酸钠、硫酸铵(均为分析纯级)、甲酸、甲醇、正己烷、三氟化硼-甲醇(均为色谱纯级),国药集团化学试剂有限公司。

## 1.2 仪器与设备

彩谱CS-210精密色差仪,杭州彩谱科技有限公司;电子天平,奥豪斯仪器(常州)有限公司;TMS-Pilot食品物性分析仪(质构仪),美国FTC公司;6890-5975B气相色谱-质谱联用仪,美国Agilent公司;德玛仕D款电炸炉,广东德玛仕智能厨房设备有限公司;空气炸锅HD9749,飞利浦(中国)投资有限公司;电热鼓风干燥箱,上海一恒科技有限公司。

## 1.3 方法

1.3.1 样品处理 将冷冻大黄鱼放在常温流水中解冻1 h,去头去尾去鳞去皮,制备成 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 的鱼片,将小麦粉、玉米淀粉、水按照质量比1:0.5:

1.5制备成裹浆,然后将鱼片进行一次裹浆、一次裹面包糠,制备成鱼排。

### 1.3.2 预炸及复炸处理

1.3.2.1 鱼排预炸及保藏 使用空气炸锅在 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下炸制3 min,使用大豆油在 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下炸制30 s。将预炸处理之后的鱼排放入 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中冷冻24 h,备用。

1.3.2.2 复炸 将预炸之后的样品分为两组,一组放入电加热恒温控制油炸锅中,鱼排分别在 $160,180,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下炸制1,2,3,4,5 min;另一组放入空气炸锅中,鱼排分别在 $160,180,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下炸制5,7,9,11,13 min。炸制好的样品放在金属丝网上自然冷却至室温,用于后续测量。

1.3.3 水分含量测定 水分含量测定参照GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》,采用直接干燥法;将2~5 g鱼肉放入 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中,直至达到恒重。

1.3.4 感官分析 根据GB/T 22210-2008《肉与肉制品感官评定规范》制定的感官评定表(表1),评定小组由10名经过感官评定培训的食品专业人员(男女比例为1:1)组成。

表1 感官评定表

Table 1 Sensory evaluation table

指标(指标权重)	评分标准	评分/分
颜色(20%)	整体呈亮黄色,颜色均一	9~10
	部分或整体颜色较深或较浅	7~8
	部分颜色过深或过浅	4~6
	整体颜色过深或过浅	0~3
气味(20%)	具有炸鱼排的香气,香气协调、柔和	9~10
	具有炸鱼排的香气,香气较柔和,稍淡	7~8
	具有炸鱼排的香气,香气不够柔和,过淡	4~6
	无炸鱼排的香气或有焦糊味	0~3
滋味(20%)	滋味醇厚饱满,丰厚悠长,回味鲜美	9~10
	滋味较醇厚饱满,风味好,有回味	7~8
	滋味单薄,略有回味	4~6
	滋味较差,无回味或有其它异味	0~3
形态(20%)	鱼排均匀平整、形态规则、坚挺	9~10
	鱼排较均匀平整、形态较规则、较为坚挺	7~8
	鱼排欠均匀平整、形态欠规则、较软/干/硬	4~6
	质地不均匀不平整、形态不规则、易碎/软/干/硬	0~3
口感(20%)	具有炸鱼排的口感,外酥内弹,水润多汁	9~10
	具有炸鱼排的口感,外壳酥脆感较强,内部弹性较好,汁液较少	7~8
	具有炸鱼排的口感,外壳酥脆感较差,内部弹性较差,无汁液	4~6
	无炸鱼排的口感,外壳无酥脆感,内部弹性很差,很干	0~3

1.3.5 色差 使用色差计测定鱼排色差,以 Lab 表色系来表示鱼排颜色, $L=0$  表示黑色,表示  $L=100$  白色,0~100 之间的数字表示灰色,数值越高代表颜色越浅。

1.3.6 质构测试 采用质地多面剖析(TPA)模式进行鱼排质构测试,测试速度 60 mm/min,形变百分量 20%,触发形式为自动,触发力 0.6 N,得到硬度、弹性、内聚性、胶着性和咀嚼性 5 个 TPA 参数的数值。

1.3.7 脂肪含量测定 脂肪含量测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的方法,以石油醚(60~90 °C)为溶剂,采用索氏提取法对鱼排的含油量进行测定。

1.3.8 丙烯酰胺含量测定 丙烯酰胺含量测定参照 GB 5009.204-2014《食品安全国家标准 食品中丙烯酰胺的测定》中的方法,采用液相色谱-质谱、质谱(LC-MS/MS)法,测定 4 种鱼排中丙烯酰胺的含量,每个样品重复测 3 次,取平均值。

1.3.9 测定挥发性物质含量测定 参考文献[9]的方法并稍作修改,取 5 g 样品加入 5 mL 5% NaCl 溶液,匀浆后置于 15 mL 顶空瓶中。萃取温度 70 °C,平衡时间 20 min,萃取时间 30 min。色谱条件:不分流模式进样,载气为氦气,流速 1.0 mL/min。色谱条件采用程序升温,初始柱温 50 °C,保持 3 min;以 8 °C/min 升至 230 °C,保持 10 min。质谱条件:电子电离源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 °C;灯丝发热电流 200  $\mu$ A;检测器电压 1.2 kV;扫描质量(质荷比)范围 30~350。定性分析:挥发性物质通过 Mainlib/NIST/Wiley 7 质谱库中标准物质的图谱比对定性确认(匹配度大于 800)。定量分析:根据色谱图保留峰面积计算各个香气成分

的相对含量,每个样品重复 3 次取平均值。

## 1.4 数据处理

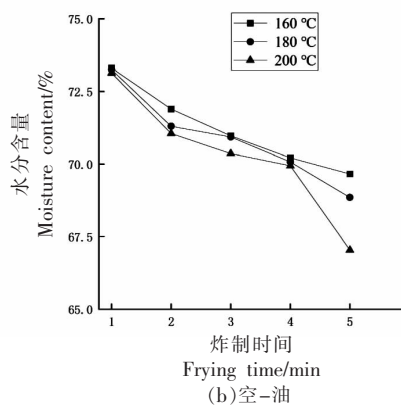
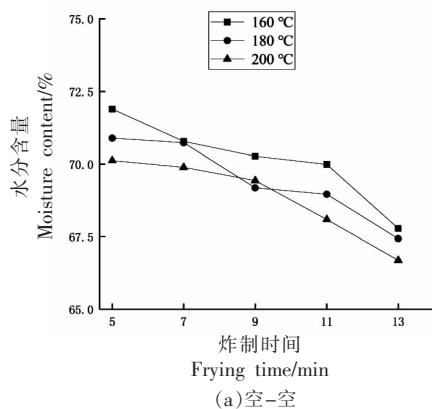
试验数据均以平均值 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,采用 SPSS 22 软件进行方差分析,采用 Duncan 法进行组间多重比较,显著性水平设为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 油炸工艺最优组别的选择

2.1.1 水分含量 4 种炸制过程中水分含量变化如图 1 所示。通过图 1 可知,随着温度和时间的增加,鱼排的水分含量呈逐渐下降的趋势,其中油-空、油-油在 180 °C 和 200 °C 下水分含量下降明显,4 种炸制方法中,油-油在 200 °C 5 min 时鱼排水分含量最低为 53.59%。经过空气炸锅预炸的两组随着炸制温度炸制时间增加水分含量变化程度小于油预炸的 2 组。

水分含量下降是因为大部分水存在于肌原纤维中,水分含量的变化与蛋白质结构相关。随着炸制时间和温度的增加,蛋白质受热变性程度会增大,蛋白质相互聚集收缩,使肌纤维空间变小,肌原纤维间的水分被挤压,使其水分含量下降<sup>[10]</sup>。经空气炸锅预炸的鱼排,复炸后水分含量变化小于油预炸水分含量的原因是空气炸锅炸制过程中,温度迅速升高,水分汽化,鱼排表面出现干燥层,形成一层较硬外壳,阻挡了鱼排内部鱼肉中的水分流失,使其水分含量变化不大;而油预炸使用的油脂可作为传热介质,使一部分热能通过热传导从食品表层传递到内部,导致内部温度上升,而另一部分热能随着油脂进入鱼肉中,使鱼肉内部成分快速受热成熟,水分快速减少<sup>[11]</sup>。



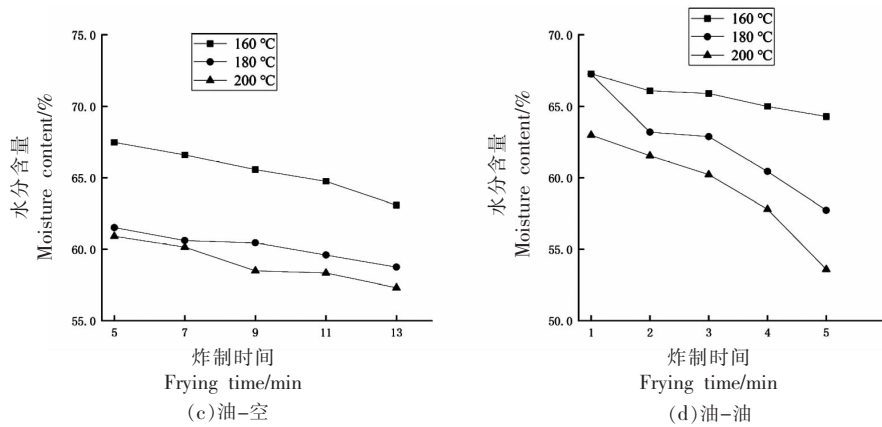


图 1 不同炸制方式鱼排中的水分含量

Fig.1 Moisture content of fish steaks in different frying methods

2.1.2 感官评价 由图 2 可知, 在 180 °C 和 200 °C 的温度条件下, 随着炸制时间的增加, 4 种炸制方式的感官评分先增加后减少, 在 160 °C 条件下, 4 种炸制方式的感官得分呈现上升趋势。在 160 °C 的温度条件下, 因为炸制温度偏低, 在油炸复炸

1 min、空气炸锅复炸 5 min 情况下, 内部鱼肉存在未完全成熟情况, 感官评分最低。随着复炸炸制时间增加, 感官得分呈上升趋势。在 180 °C 和 200 °C 的温度条件下, 感官得分呈先上升再下降的趋势, 一开始随着炸制的温度和时间变化, 鱼排的香气

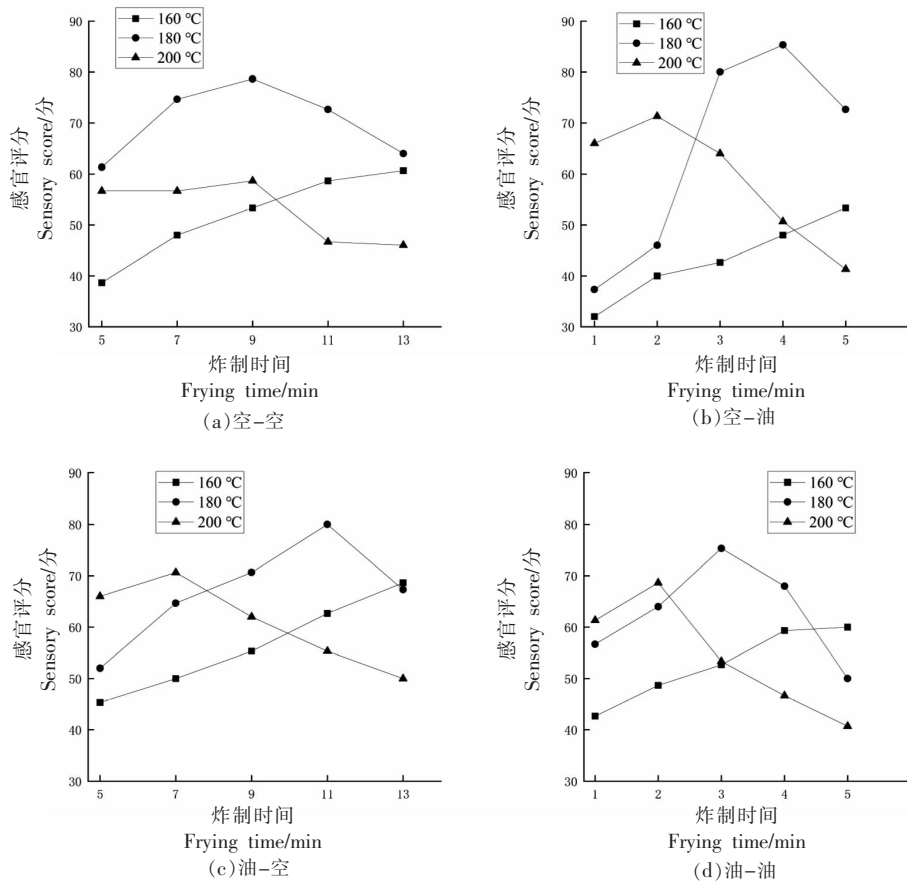


图 2 不同炸制方法鱼排的感官评价得分图

Fig.2 Sensory evaluation score map of fish steaks in different frying methods

颜色、鱼肉的熟成度也随之变化,美拉德反应增加,鱼排风味增加,达到一个最佳感官状态。随着炸制温度过高时间过长,鱼排表面开始出现焦黄甚至发黑,过度的美拉德反应影响了色泽及风味,使其出现感官评分先增加后减少的现象。油-油、油-空、空-空、空-油分别在 180 ℃ 3 min、180 ℃ 11 min、180 ℃ 9 min、180 ℃ 4 min 的炸制条件下评分最高。

2.1.3 色泽 鱼排色泽与加工工艺间存在相关关系。色泽的变化除了受干燥速率、热传递系数的影

响外,美拉德反应也是导致鱼排色泽变化的原因。由图 3 可知(具体色差数据见表 2),由于炸制温度和炸制时间不同,炸制后的鱼排具有明显的色差。 $L^*$  值代表亮度,随着炸制温度的升高和炸制时间的增加,鱼排亮度值呈下降趋势,即鱼排表面越来越暗;在较低温度(160 ℃)条件下,随着炸制时间延长,4 组炸制工艺得到的鱼排  $b^*$  值大致都是先上升后下降的趋势,鱼排的黄蓝值的变化趋势为先增大后减小,在 200 ℃ 条件下,随着时间延长, $b^*$  值降低,鱼排表面的黄度下降。

表 2 不同炸制方式处理后鱼排的色泽

Table 2 The color of fish steaks treated with different frying methods

炸制方法	炸制条件	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
油-油	160 ℃, 1 min	52.15 ± 0.92	3.70 ± 0.09	48.41 ± 1.45	3.15
	160 ℃, 2 min	51.44 ± 0.73	3.45 ± 0.33	51.13 ± 0.70	4.84
	160 ℃, 3 min	49.25 ± 1.18	4.49 ± 1.51	48.70 ± 1.55	2.08
	160 ℃, 4 min	45.08 ± 0.89	6.11 ± 0.38	45.47 ± 1.75	5.09
	160 ℃, 5 min	44.94 ± 0.99	5.82 ± 0.79	45.94 ± 0.78	5.01
	180 ℃, 1 min	49.09 ± 2.10	4.47 ± 0.78	51.24 ± 1.35	4.58
	180 ℃, 2 min	46.42 ± 0.38	5.88 ± 1.52	47.56 ± 2.47	3.76
	180 ℃, 3 min	43.65 ± 1.99	8.84 ± 1.06	44.56 ± 0.26	7.96
	180 ℃, 4 min	40.12 ± 2.04	11.21 ± 1.19	43.93 ± 2.38	12.21
	180 ℃, 5 min	37.66 ± 1.84	13.50 ± 0.64	39.80 ± 2.82	16.74
	200 ℃, 1 min	48.51 ± 1.43	7.29 ± 0.29	50.03 ± 0.81	4.84
	200 ℃, 2 min	44.18 ± 0.69	9.52 ± 0.66	45.95 ± 1.00	7.78
	200 ℃, 3 min	39.92 ± 0.74	14.74 ± 1.90	40.91 ± 1.85	15.59
	200 ℃, 4 min	36.77 ± 1.48	12.87 ± 1.08	40.70 ± 0.35	16.70
	200 ℃, 5 min	34.09 ± 1.77	15.52 ± 1.19	38.34 ± 1.92	21.04
油-空	160 ℃, 5 min	56.89 ± 1.37	4.23 ± 0.52	51.20 ± 3.63	8.65
	160 ℃, 7 min	54.75 ± 1.51	3.49 ± 0.41	51.74 ± 1.91	7.28
	160 ℃, 9 min	52.70 ± 1.97	3.81 ± 1.28	49.28 ± 1.49	4.09
	160 ℃, 11 min	51.07 ± 1.34	5.30 ± 0.49	49.90 ± 0.36	3.81
	160 ℃, 13 min	49.92 ± 1.64	6.49 ± 0.59	47.49 ± 1.42	2.73
	180 ℃, 5 min	55.42 ± 0.84	3.14 ± 1.09	52.74 ± 1.95	8.48
	180 ℃, 7 min	52.35 ± 0.84	2.58 ± 1.00	47.70 ± 1.32	3.16
	180 ℃, 9 min	47.85 ± 0.67	4.44 ± 1.13	45.29 ± 0.12	2.26
	180 ℃, 11 min	47.28 ± 1.30	5.04 ± 0.99	46.30 ± 2.70	2.53
	180 ℃, 13 min	47.00 ± 3.83	6.84 ± 0.27	45.06 ± 3.83	4.21
	200 ℃, 5 min	51.17 ± 2.08	3.76 ± 0.28	51.10 ± 1.29	4.69
	200 ℃, 7 min	50.78 ± 1.68	3.57 ± 0.55	48.51 ± 1.01	2.22
	200 ℃, 9 min	48.61 ± 0.92	5.53 ± 0.62	47.40 ± 0.56	1.98
200 ℃, 11 min	47.51 ± 0.54	6.05 ± 1.00	47.05 ± 3.31	2.95	
200 ℃, 13 min	46.86 ± 1.25	8.08 ± 1.29	44.71 ± 1.30	5.34	



(续表 2)

炸制方法	炸制条件	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
空-空	160 °C, 5 min	56.01 ± 0.76	3.33 ± 0.31	42.28 ± 1.97	13.38
	160 °C, 7 min	55.97 ± 2.78	3.63 ± 1.06	44.06 ± 0.93	12.32
	160 °C, 9 min	52.32 ± 1.57	5.28 ± 0.83	42.51 ± 1.51	16.34
	160 °C, 11 min	51.14 ± 2.62	5.31 ± 0.31	42.32 ± 1.35	17.43
	160 °C, 13 min	55.32 ± 1.65	5.42 ± 0.68	44.51 ± 0.99	12.81
	180 °C, 5 min	57.00 ± 5.81	4.39 ± 0.09	46.35 ± 1.80	10.29
	180 °C, 7 min	54.76 ± 2.42	4.65 ± 0.35	44.57 ± 0.42	13.12
	180 °C, 9 min	53.09 ± 1.16	5.74 ± 0.59	48.36 ± 2.37	13.46
	180 °C, 11 min	50.23 ± 1.68	6.17 ± 1.06	44.20 ± 0.22	17.51
	180 °C, 13 min	48.66 ± 2.65	8.11 ± 0.73	43.23 ± 2.19	19.71
	200 °C, 5 min	57.40 ± 3.08	5.22 ± 0.21	49.07 ± 1.36	9.09
	200 °C, 7 min	56.42 ± 0.53	7.93 ± 0.33	50.54 ± 4.39	10.73
	200 °C, 9 min	55.79 ± 1.66	11.16 ± 0.30	47.64 ± 0.57	13.46
	200 °C, 11 min	54.82 ± 0.89	6.75 ± 0.72	46.46 ± 2.78	12.66
200 °C, 13 min	53.25 ± 0.55	8.33 ± 1.06	46.30 ± 2.38	14.60	
空-油	160 °C, 1 min	45.35 ± 0.71	3.18 ± 0.56	39.28 ± 1.61	23.84
	160 °C, 2 min	43.57 ± 2.14	3.61 ± 0.66	39.43 ± 2.73	25.32
	160 °C, 3 min	40.79 ± 1.62	5.69 ± 0.65	33.48 ± 1.05	30.92
	160 °C, 4 min	39.83 ± 1.48	5.49 ± 1.04	36.73 ± 3.48	29.99
	160 °C, 5 min	37.36 ± 1.76	7.60 ± 0.87	29.66 ± 0.61	36.10
	180 °C, 1 min	43.44 ± 2.84	6.48 ± 1.19	38.80 ± 2.22	25.95
	180 °C, 2 min	36.53 ± 1.74	12.70 ± 1.37	23.55 ± 1.56	41.53
	180 °C, 3 min	33.80 ± 1.68	11.71 ± 0.71	22.30 ± 0.26	44.10
	180 °C, 4 min	29.38 ± 1.26	13.63 ± 0.97	20.54 ± 1.34	48.89
	180 °C, 5 min	28.06 ± 1.40	12.50 ± 2.40	22.88 ± 5.55	48.26
	200 °C, 1 min	40.24 ± 2.50	5.29 ± 1.75	36.77 ± 2.30	29.60
	200 °C, 2 min	35.54 ± 0.97	14.35 ± 1.46	29.61 ± 2.22	38.98
	200 °C, 3 min	33.72 ± 4.58	14.94 ± 0.79	27.68 ± 3.87	41.64
	200 °C, 4 min	27.88 ± 2.09	14.11 ± 1.45	21.25 ± 1.01	49.70
200 °C, 5 min	27.38 ± 1.75	12.66 ± 1.16	17.93 ± 1.46	51.85	

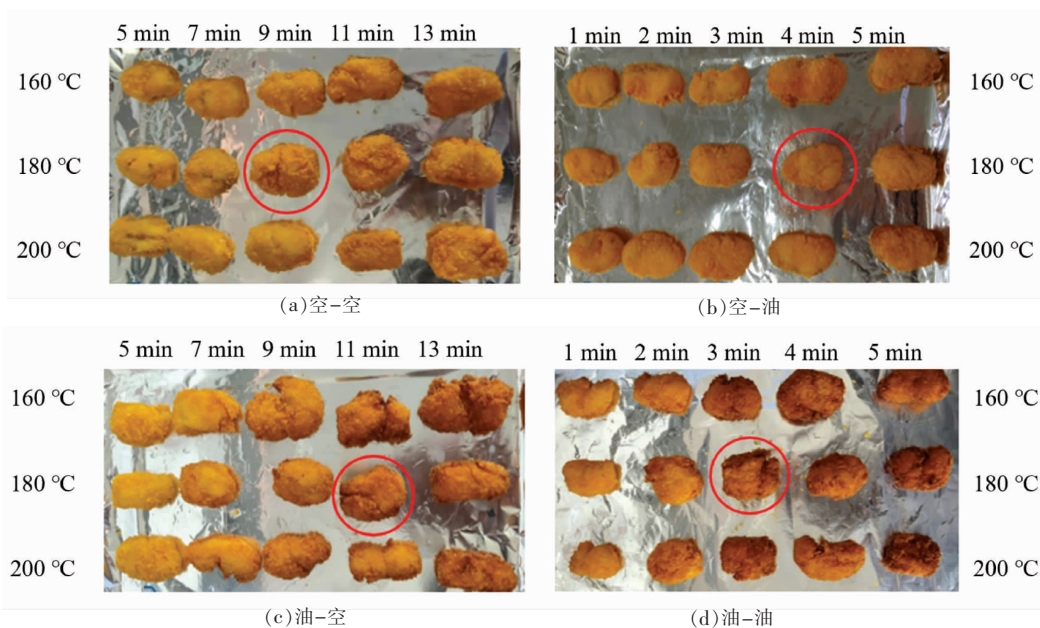
鱼排表面  $L^*$  值与鱼排中水分状态及其含量、淀粉糊化及美拉德反应有关。随着炸制时间及温度增加,美拉德反应增加,使其表面明暗度越来越暗。 $b^*$  值增大在视觉上体现为鱼排表面变黄。4种炸制工艺使鱼排表面产生的颜色变化与其发生焦糖化反应和美拉德反应有关,随着炸制时间的增加,鱼排表面由黄色变为焦褐色,因此  $b^*$  值先增大后减小。总体来说,在  $b^*$  值达到最大时,鱼排的黄色值最大颜色最诱人。

2.1.4 最佳炸制条件 鱼肉中水分含量适度,鱼肉吃起来的口感细嫩,结合感官测评结果,分别从

油-油、油-空、空-空、空-油 4种加工方式处理的鱼排中选择一组感官得分最高的鱼排作为最佳条件,油-油、油-空、空-空、空-油的复炸条件分别是 180 °C 3 min、180 °C 11 min、180 °C 9 min、180 °C 4 min。在此最佳条件下,4种炸制条件下的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  和  $\Delta E$  值见表 3,外观见图 3。

## 2.2 质构

质构特征包括硬度、内聚性、咀嚼性、弹性等指标,是衡量食品组织特征的重要指标<sup>[12]</sup>,由于加工过程中汁液流失、蛋白变性等变化而导致鱼肉组织产生不同程度的硬度变化,故硬度是决定鱼



注:该图中标红圈为最佳炸制条件下鱼排外观。

图 3 不同炸制工艺的鱼排

Fig.3 Fish steaks with different frying techniques

表 3 最佳条件下 4 种炸制条件的色差表

Table 3 The color difference table of the four kinds of frying conditions under the best conditions

炸制工艺(温度-时间)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
油-油(180 °C, 3 min)	43.65 ± 1.99 <sup>e</sup>	8.84 ± 1.06 <sup>b</sup>	44.56 ± 0.26 <sup>b</sup>	7.96
油-空(180 °C, 11 min)	47.28 ± 1.30 <sup>b</sup>	5.04 ± 0.99 <sup>e</sup>	46.30 ± 2.70 <sup>ab</sup>	2.53
空-空(180 °C, 9 min)	53.09 ± 1.16 <sup>a</sup>	5.74 ± 0.59 <sup>e</sup>	48.36 ± 2.37 <sup>a</sup>	13.46
空-油(180 °C, 4 min)	29.38 ± 1.68 <sup>d</sup>	13.63 ± 0.97 <sup>a</sup>	20.54 ± 1.34 <sup>c</sup>	48.89

注:同列数字相同字母表示差异不具统计学意义( $P > 0.05$ ),字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

肉制品价值的重要因素,质构特性分析对鱼类及其制品的研究和应用具有很大作用<sup>[13]</sup>。由表 4 可见,油-空硬度最高,空气炸锅复炸的 2 组鱼排硬度高于油复炸的 2 组。油-空硬度最大可能是因为油预炸后油脂分子进入鱼排内部间隙,空气炸锅复炸时空气炸锅内部热空气循环使鱼排内部水分逸出并带走进入的油脂分子,使得鱼排的水分含

量最低,硬度最大;使用空气炸锅复炸时,复炸时间要远长于油复炸时间,因此,相对油复炸的两组硬度更大。对于加工产品而言,产品的硬度和弹性越大,咀嚼所需能量就更高,咀嚼性就越大,三者间呈正相关关系<sup>[14]</sup>。内聚性表示鱼肉中肌肉紧密程度的情况,本试验中油-空内聚性最低,其它 3 组相差不大。

表 4 不同炸制方式处理后鱼排的质构指标

Table 4 Texture indexes of fish steaks treated with different frying methods

加工方式	硬度/N	弹性/mm	咀嚼性/mJ	内聚性	胶黏性/N
油-油	9.83 ± 1.48 <sup>c</sup>	1.82 ± 0.16 <sup>b</sup>	11.12 ± 0.79 <sup>d</sup>	0.62 ± 0.02 <sup>a</sup>	6.10 ± 0.36 <sup>c</sup>
油-空	19.29 ± 1.20 <sup>a</sup>	1.69 ± 0.08 <sup>b</sup>	17.07 ± 1.07 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.03 <sup>b</sup>	10.07 ± 0.41 <sup>a</sup>
空-空	13.96 ± 0.66 <sup>b</sup>	2.21 ± 0.14 <sup>a</sup>	18.99 ± 0.86 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.06 <sup>a</sup>	8.73 ± 0.23 <sup>b</sup>
空-油	9.74 ± 0.26 <sup>c</sup>	2.11 ± 0.16 <sup>a</sup>	13.59 ± 0.59 <sup>c</sup>	0.65 ± 0.01 <sup>a</sup>	6.39 ± 0.17 <sup>c</sup>

注:同一列数字相同字母表示差异不具统计学意义( $P > 0.05$ ),字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.3 脂肪含量

由表5所示,4种炸制方法中空气炸锅预炸再油炸的脂肪含量最高为27.53 g/100 g,这可能是因为经过空气预炸后,高温破坏了鱼肉水合蛋白质分子间的相互作用力,导致蛋白质开链引起蛋白质变性肌纤维收缩,鱼肉汁液流失、质构变化<sup>[15]</sup>。另一方面,鱼肉外的裹浆随着空气炸制后,糊化特性增加,糊化后的淀粉具有很强的吸水吸油性<sup>[16]</sup>;预炸后的鱼排再经过油复炸时油脂本身的自由基在高温环境下氧气发生聚合反应,生成二聚合多甘油以及二聚合多聚酸等产物,这些产物使油脂本身的黏度增加,更易于附着在鱼排表面,鱼排的油脂含量增加。油炸食品中的油脂包括

组织结构油和表面吸附油两组<sup>[17]</sup>。这两方面影响下鱼排中脂肪含量就会偏高,空-油的脂肪含量最高。空气预炸再空气炸的脂肪含量最低为3.22 g/100 g,这一加工过程中没有额外添加任何油脂,最终含有油脂原因可能是鱼肉中本身的脂肪以及面包糠加工过程中含有少许的油脂。油-油过程中的两个阶段都有油脂接触,最终结果反而比油-空、空-油两个过程脂肪含量低,可能因为油炸预炸可有效减少油炸过程的吸油量,鱼排经过预油炸后,内部的温度升高水分气化从内部逸出,鱼排中的水分含量降低,内部鱼肉结构更加紧密,来实现减少水分逸出,从而使内外压力差下降,最终吸油量降低<sup>[18]</sup>。

表5 不同炸制方式处理后鱼排的的脂肪含量

Table 5 Fat content of fish steaks treated with different frying methods

炸制方式	油-油	油-空	空-空	空-油
脂肪含量/g·(100 g) <sup>-1</sup>	22.90 ± 0.04 <sup>b</sup>	23.31 ± 0.46 <sup>b</sup>	3.22 ± 0.08 <sup>c</sup>	27.53 ± 0.11 <sup>a</sup>

注:相同字母表示差异不具统计学意义( $P > 0.05$ ),字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.4 丙烯酰胺含量

丙烯酰胺在1994年就被列为2A类致癌物质<sup>[19]</sup>,引起人们的关注。丙烯酰胺主要存在于高温加工下的食品里,对人体有极大危害。由表6可知,4种加工方式均未有丙烯酰胺检出。随着油炸温度的增加和油的重复利用,氨基酸、蛋白质在高

温下发生聚合、热解以及美拉德反应,导致杂环胺的生成速率加快<sup>[20]</sup>。空气炸锅炸制过程不额外添加油脂,可以很好地避免此类情况发生,较为安全<sup>[21]</sup>。重复用油会产生大量丙烯酰胺<sup>[20-21]</sup>,本次试验油炸用油为新鲜油,故此未检测出丙烯酰胺。

表6 不同炸制方式处理后鱼排中的丙烯酰胺含量(定量限:0.01 mg/kg)

Table 6 Acrylamide content in fish steaks treated with different frying methods (Quantification limit: 0.01 mg/kg)

炸制方式	油-油	油-空	空-空	空-油
含量/mg·kg <sup>-1</sup>	未检出	未检出	未检出	未检出

### 2.5 挥发性物质种类及含量

如表7所示,油-油、油-空、空-空、空-油4种加工条件下的鱼排分别检测出40,37,33,36种挥发性物质,其中相同的挥发性物质有3种,油-油特有的有21种,油-空特有的有16种,空-空特有的有19种,空-油特有的有21种。醛类、醇类和芳香族化合物构成了4种工艺下鱼排中主要的挥发性物质。醛类主要来自氨基酸的降解、多不饱和脂肪酸的氧化<sup>[22]</sup>,油-油、油-空、空-油相对含量高于空-空,4组都含有己醛这一组分,文献报道中己

醛具有青草味和鱼腥味,壬醛、庚醛、癸醛和稀醛类物质与鱼腥味的形成有关<sup>[23]</sup>。异戊醇仅在空-空中被检出,含量为25.91%,有白兰地风味,此物质在啤酒中也有发现<sup>[24]</sup>,空-空中异戊醇、正己烷等特有物质相互作用,形成了不同于其它3种方法的白兰地独特风味。烃类物质通常阈值较高,对炸鱼排风味影响不大。醇类物质一般是由羰基化合物还原或脂肪酸在脂质氧化酶的作用下氧化分解产生的,不饱和醇具有较低的阈值,而饱和醇阈值较高,对风味影响不大<sup>[25]</sup>。



表 7 不同炸制方法处理后鱼排中挥发性成分分析

Table 7 Analysis of volatile components in fish steaks treated with different frying methods

类别	化合物名称	相对含量/%			
		油-油	油-空	空-空	空-油
醛类	异丁醛	-	0.64	-	1.00
	丁醛	0.42	0.73	-	2.97
	异戊醛	0.78	1.37	-	-
	2-甲基丁醛	0.64	1.29	-	2.61
	戊醛	1.42	1.94	0.38	-
	3-羟基丁醛	-	0.67	-	-
	己醛	5.78	8.66	3.34	8.20
	糠醛	-	1.18	-	-
	庚醛	-	2.62	0.59	-
	苯甲醛	1.81	2.34	0.91	-
	癸醛	-	4.29	1.41	-
	乙醛	-	-	-	0.40
	苯乙醛	-	-	-	0.81
	反式-2,4-癸二烯醛	-	-	-	1.18
	3-吡啶甲醛	1.13	-	-	-
	(E)-2-庚烯醛	0.86	-	-	-
	正辛醛	0.56	-	-	-
	壬醛	4.16	-	-	-
	2,4-癸二烯醛	3.06	-	-	-
	小计		20.62	25.73	6.63
醇类	1-戊醇	-	0.69	-	0.97
	糠醇	0.81	2.97	-	2.31
	1-戊硫醇	-	0.64	-	-
	苯乙醇	1.29	0.75	-	-
	1,1-二甲基硅烷二醇	-	-	3.50	1.74
	正己醇	-	-	-	1.06
	(±)-反-1,2-环戊二醇	-	-	-	0.78
	1-戊烯醇	-	-	-	1.06
	4-甲基-1-戊醇	0.44	-	0.60	-
	异戊醇	-	-	25.91	-
	顺- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙烯基四氢吡喃-2-甲醇	-	-	1.88	-
	顺式芳樟醇	-	-	1.27	-
	2-乙基-1-戊醇	-	-	0.39	-
	3-甲基-1,5-戊二醇	-	-	0.69	-
	小计		2.54	5.05	34.24
烷烃类	正戊烷	-	1.44	4.95	-
	环庚三烯	-	1.02	-	-
	1,3-己二烯,5,5-二甲基	-	1.07	-	-
	十七烷,2,6,10,14-四甲基	-	1.47	-	-
	2-乙基-1-丁烯	-	0.87	-	-
	1-甲基双环[3.2.1]辛烷	-	0.60	-	-
	2,2-二甲基戊烷	-	0.58	-	-
	十二烷	-	3.54	1.45	-
	2-甲基-1,5-己二烯	-	1.92	-	-
	2,3,4-三甲基正己烷	0.60	0.74	-	-
	三氟丙烯	-	-	-	0.98
	1,5-己二烯-3-炔	-	-	-	1.62
2,5-二甲基-2,4-己二烯	-	-	-	0.82	

(续表 7)

类别	化合物名称	相对含量/%			
		油-油	油-空	空-空	空-油
	1-甲基氮杂环丁烷	-	-	-	0.72
	十四烷	2.36	-	-	2.15
	环己烷	-	-	-	0.78
	2,2-二甲基丁烷	0.62	-	-	1.94
	环庚烷	-	-	-	3.35
	环庚三烯	0.80	-	0.51	1.05
	2,4-二甲基庚烷	-	-	-	2.48
	正己烷	-	-	14.21	-
	3,6-二亚甲基-1,7-辛二烯	-	-	0.42	-
	3-甲基己烷	-	-	0.37	-
	四十四烷	-	-	0.33	-
	2,3,4-三甲基正己烷	-	-	0.50	-
	十五烷	1.98	-	6.73	-
	5-甲基-癸烷	-	-	0.38	-
	2,6,11-三甲基十二烷	-	-	0.68	-
	环丙烷	0.40	-	-	-
	1,4-戊二烯	0.63	-	-	-
	2,5-二甲基-1,3-己二烯	0.64	-	-	-
	(Z)-2-丁烯	0.65	-	-	-
	癸烷	1.34	-	-	-
	2-甲基-1-戊烯-3-炔	0.54	-	-	-
	1-十二烯	0.57	-	-	-
	2,4-二甲基己烷	0.44	-	-	-
	3,5,5-三甲基-1-己烯	0.52	-	-	-
	1-(己氧基)-4-甲基己烷	1.35	-	-	-
小计		13.44	13.25	30.53	15.89
芳香族及杂环类					
	乙基苯	10.60	8.34	2.70	-
	对二甲苯	17.49	13.59	4.39	13.35
	苯乙炔	27.20	22.11	7.51	20.88
	2-甲基吡嗪	-	1.12	-	1.11
	异硫氰酸环丙酯	-	0.68	-	-
	2-正戊基咪喃	2.96	3.52	-	3.09
	嘧啶	-	0.58	-	-
	2-乙酰基吡咯	-	1.18	-	-
	环丙基甲基胺	-	0.84	-	-
	甲苯	-	-	1.50	3.71
	乙苯	-	-	-	9.53
	胂甲亚胺,2-[(2-硝基苯基)亚甲基]	-	-	-	0.51
	2-氨基-5-甲基苯甲酸	-	-	-	1.86
	N-烯丙基咪唑	-	-	-	0.78
	苯甲酰基异硫氰酸酯	-	-	-	1.36
	2,6-吡嗪二胺	-	-	-	0.41
	4-甲基咪唑啉	-	-	9.64	-
	1,2-二甲苯	-	-	0.56	-
	4-苯基丁腈	-	-	0.58	-
	2-苯基咪唑啉	-	-	0.45	-
	2-甲基苯	-	-	0.40	-
	苯酚	-	-	0.71	-

(续表 7)

类别	化合物名称	相对含量/%			
		油-油	油-空	空-空	空-油
	2,4-二甲基咪唑	0.61	-	-	-
	2-氨基-6-甲基苯甲酸	0.78	-	-	-
	2-降苈烷羧酸	0.99	-	-	-
	1H-咪唑,1,2-二甲基-4-硝基	0.43	-	-	-
	2H-1,4-苯并恶嗪-3(4H)-酮	-	0.55	-	-
	小计	61.06	52.51	28.44	56.59
其它	乙酸	-	0.67	-	-
	丙烯酰胺	-	-	-	0.69
	丙酸,2,2-二甲基-,4-甲基戊酯	-	-	-	1.72
	癸酸酯	-	-	0.85	-
	三甲胺	1.02	-	-	-
	正己基正辛醚	0.63	-	-	-
	小计	1.65	0.67	0.85	2.41

不同炸制工艺得到的鱼排中挥发性风味物质种类数量所占百分比情况见图 4。空-空得到的鱼排的呈味与油-油、油-空、空-油明显不同,杂环类物质、醇类物质和烷烃类物质的数目占比相当,均为 1/3 左右,而其它 3 种芳香族及杂环类占比最大,醛类次之。醛类主要源于脂类物质的氧化,具有较强的挥发性,己醛由亚油酸氧化产生,庚醛是花生四烯酸的氧化产物,壬醛由油酸氧化产生<sup>[26]</sup>,具有烤焦香味。油-油、油-空、空-油加工过程中有油脂加入,高温下油脂反应,赋予了不同于空-空加工方法的美拉德反应的香气。

### 3 结论

本研究通过对水分含量、感官分析测定及色差分析,分别从油-油、油-空、空-空、空-油 4 组炸制工艺中各选择一个最佳复炸条件,分别是 180 °C 3 min、180 °C 11 min、180 °C 9 min、180 °C 4 min。在此条件下,通过色度、质构特征、脂肪含量、丙烯酰胺含量和挥发性物质分析对不同工艺条件下的大黄鱼排进行品质及风味分析,结果表明 4 种炸制方法中脂肪含量最高是空-油,为 27.53 g/100 g,脂肪含量最低是空-空,为 3.22 g/100 g;在质构方面,复炸工艺为使用空气炸锅的两组高于复炸为油炸的两组,油-空硬度最大,产品的硬度和弹性越大,咀嚼所需能量就更高,咀嚼性就越大,三者间呈正相关关系;在定量限为 0.01 mg/kg 情况下,使用国标检测方法的鱼排中未检出丙烯酰胺;

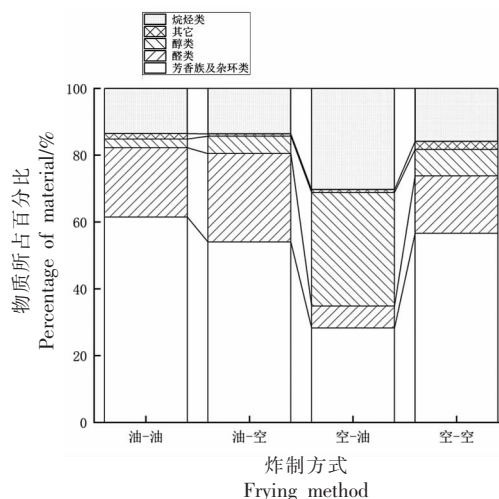


图 4 不同炸制方式处理后鱼排中各类物质种类数量占比  
Fig.4 Percentage of various types of substances in fish steaks treated with different frying methods

通过挥发性物质分析发现醛类、醇类及芳香类物质构成鱼排中主体风味物质,空-空得到的鱼排的呈味与油-油、油-空、空-油明显不同。

### 参 考 文 献

- [1] GADIRAJU T V, PATEL Y, GAZIANO J M, et al. Fried food consumption and cardiovascular health: A review of current evidence[J]. *Nutrients*, 2015, 7 (10): 8424-8430.
- [2] TERUEL M R, GORDON M, LINARES M B, et al. A comparative study of the characteristics of french fries produced by deep fat frying and air frying[J].

- Journal of Food Science, 2015, 80(2): E349-E358.
- [3] ZHANG Q, SALEH A S M, CHEN J, et al. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review [J]. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2012, 165(6): 662-681.
- [4] 戚岱莎, 张清. 食物油炸过程中丙烯酰胺和杂环胺的形成及控制方法研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(21): 338-346.
- QI D S, ZHANG Q. Research progress on the formation and control methods of acrylamide and heterocyclic amines during food frying[J]. *Food Science*, 2021, 42(21): 338-346.
- [5] MORALES G, JIMENEZ M, GARCIA O, et al. Effect of natural extracts on the formation of acrylamide in fried potatoes[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 58(2): 587-593.
- [6] HOSSEINI H, GHORBANI M, MESHGINFAR N, et al. A review on frying: Procedure, fat, deterioration progress and health hazards[J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 2016, 93(4): 445-466.
- [7] PRIEGO-CAPOTE F, RUIZ-JIMENEZ J, DE CASTRO M D L. Identification and quantification of trans fatty acids in bakery products by gas chromatography-mass spectrometry after focused microwave Soxhlet extraction[J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(2): 859-867.
- [8] 武润琳, 刘曼曼, 秦瑞珂, 等. 空气炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶品质的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39(6): 59-66.
- WU R L, LIU M M, QIN R K, et al. The effect of air frying conditions on the quality of fish paste and pork compound gel[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, 39(6): 59-66.
- [9] 翁丽萍, 王宏海, 卢春霞, 等. SPME-GC-MS法鉴定养殖大黄鱼主要挥发性风味物质的条件优化[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(9): 209-215.
- WENG L P, WANG H H, LU C X, et al. Conditional optimization for identification of main volatile flavor compounds in farmed large yellow croaker by SPME-GC-MS[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2012, 12(9): 209-215.
- [10] RAMANE K, STRAUTNIECE E, GALO BURDA R. Chemical and sensory parameters of heat-treated vacuum-packaged broiler and hen fillet products[J]. *Proceedings of the Latvia University of Agriculture*, 2012, 27(1): 54-58.
- [11] 赵勇. 降低油炸食品含油量的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- ZHAO Y. Research on reducing the oil content of fried foods[D]. Chongqing: Southwest University, 2008.
- [12] 桂萍, 罗永康, 冯力更. 加热温度对混合肉肌原纤维蛋白质结构的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2018, 23(5): 93-101.
- GUI P, LUO Y K, FENG L G. The effect of heating temperature on the protein structure of mixed muscle myofibril[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(5): 93-101.
- [13] 赵永强, 李娜, 李来好, 等. 鱼类鲜度评价指标及测定方法的研究进展[J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(4): 456-462.
- ZHAO Y Q, LI N, LI L H, et al. Research progress on fish freshness evaluation indicators and measurement methods[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(4): 456-462.
- [14] 林婉玲, 杨贤庆, 李来好, 等. 脆肉鲩质构与感官评价的相关性研究[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(1): 1-7, 72.
- LIN W L, YANG X Q, LI L H, et al. Study on the correlation between the texture and sensory evaluation of crispy carp[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(1): 1-7, 72.
- [15] 吴燕燕, 熊添, 李来好, 等. 鱼肉蛋白的热变性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(5): 343-347.
- WU Y Y, XIONG T, LI L H, et al. Research progress on heat denaturation of fish protein[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2018, 39(5): 343-347.
- [16] 李真, 安阳, 艾志录, 等. 不同类型变性淀粉的理化特性比较[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(4): 280-286.
- LI Z, AN Y, AI Z L, et al. Studies on physico-chemical properties of different types modified starches[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(4): 280-286.
- [17] BOUNCHON P, AGUILERA J M, PYLE D L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying[J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(9): 2711-2716.
- [18] SINTHUSAMRAN S, BENJAKUL S. Effect of drying and frying conditions on physical and chemical



- characteristics of fish maw from swim bladder of seabass (*Lates calcarifer*)[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2015, 95(15): 3195–3203.
- [19] ROSEN J, HELLENS K E. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. *The Analyst*, 2002, 127(7): 880–882.
- [20] 杨钊宇, 刘伟, 李耘. 油炸鸡肉中杂环胺的形成及其与色泽的相关性研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(5): 55–63.
- YANG Z Y, LIU W, LI Y. The formation of heterocyclic amines in fried chicken and its correlation with color[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 42(5): 55–63.
- [21] 戚岱莎, 张清. 食物油炸过程中丙烯酰胺和杂环胺的形成及控制方法研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(21): 338–346.
- QI D S, ZHANG Q. Research progress on the formation and control methods of acrylamide and heterocyclic amines during food frying[J]. *Food Science*, 2021, 42(21): 338–346.
- [22] SHAHIDI F, SAMARANAYAKA A G P, PEGG R B. Cooking of meat: Maillard reaction and browning[J]. *Encyclopedia of Meat Sciences*, 2014, 23(1): 391–403.
- [23] 张艳霞, 谢成民, 周纷, 等. 两种养殖模式大黄鱼肌肉营养价值评价及主体风味物质差异性分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(8): 220–227.
- ZHANG Y X, XIE C M, ZHOU F, et al. Evaluation of muscle nutritional value and differences in main flavor substances of *Pseudosciaena crocea* in two cultivation modes[J]. *Food Science*, 2020, 41(8): 220–227.
- [24] 冯红艳, 贾然, 王海楠. 啤酒中风味物质的测定[J]. *中外酒业*, 2018(1): 62–65.
- FENG H Y, JIA R, WANG H N. Determination of flavor substances in beer[J]. *Chinese and Foreign Wine Industry*, 2018(1): 62–65.
- [25] TANIMOTO S, KITABAYASHI K, FUKUSIMA C, et al. Effect of storage period before reheating on the volatile compound composition and lipid oxidation of steamed meat of yellowtail *Seriola quinqueradiata*[J]. *Fisheries Science*, 2015, 81(6): 1145–1155.
- [26] 姚文生, 蔡莹暄, 刘登勇, 等. 不同材料熏制鸡腿肉挥发性物质 GC-IMS 指纹图谱分析 [J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(6): 37–45.
- YAO W S, CAI Y X, LIU D Y, et al. Volatile compounds analysis in chicken thigh smoked with different materials by GC-IMS fingerprint[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(6): 37–45.

### Effect of Pre-fried and Re-fried Crafts on the Quality and Flavor of *Pseudosciaena crocea* Steak

Lü Kuankuan<sup>1</sup>, Lin Huimin<sup>\*</sup>, Deng Shanggui<sup>1</sup>, Zhou Xiaomin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, Zhejiang

<sup>2</sup>Zhejiang Xingye Group Co. Ltd., Zhoushan 316022, Zhejiang

**Abstract** To investigate the effects of different pre-frying and re-frying processes on the quality and flavor of *Pseudosciaena crocea* steaks, the steaks were pre-frying in oil (180 °C for 30 s) and airfryer (180 °C for 3 min). The steaks were frozen for 24 h and then re-frying in oil (for 1, 2, 3, 4 and 5 min at 160, 180 and 200 °C) and airfryer (for 5, 7, 9, 11 and 13 min at 160, 180 °C and 200 °C), respectively. The optimal pre-frying and re-frying process was selected by moisture content and sensory evaluation. The quality and flavor of the steaks were analyzed by color difference, textural characteristics, fat content, acrylamide content and volatile substances under four optimal processes. The results showed that: The optimal conditions in different pre-frying and re-frying processes were 180 °C for 3 min (deep frying – deep frying), 180 °C for 11 min (deep frying – frying using airfryer), 180 °C for 9 min (frying using airfryer – frying using airfryer), and 180 °C for 4 min (frying using airfryer – deep frying), respectively. The highest fat content of 27.53 g/100 g was found in the four frying processes of frying using airfryer – deep frying. The lowest fat content was 3.22 g/100 g for frying using airfryer–frying using airfryer. In terms of texture the difference in hardness between the two groups of deep frying–frying using airfryer and frying using airfryer–frying using airfryer was not significant and was high-

er than the two groups of re-frying with deep frying. Acrylamide was not detected in the determination of acrylamide content at the limit of quantification of 0.01 mg/kg. The main flavor substances in fish steaks were composed of aldehydes, alcohols and aromatic substances. The fish steaks obtained from the deep frying - deep frying process had a heavy fishy, harsh and greasy taste. The fish steaks from frying using airfryer - frying using airfryer process have grassy taste, baked fish steaks taste and pungent odor.

**Keywords** *Pseudosciaena crocea*; fried method; quality; flavor