

刘月如,路索,尹涛,等.油炸风味鱼饼的空气炸制工艺优化[J].华中农业大学学报,2022,41(6):247-254.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.06.029

油炸风味鱼饼的空气炸制工艺优化

刘月如,路索,尹涛,杜红英,胡杨,熊善柏,刘茹

华中农业大学食品科学技术学院/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉),武汉 430070

摘要 为获得具有油炸风味的健康鱼糜制品,采用空气炸制方式制备油炸风味鱼饼,研究不同炸制温度(160、180、200℃)和时间(4、6、8、10 min)下油炸风味鱼饼的品质变化,以优化空气炸制条件。研究显示,随着空气炸制温度的升高和时间的延长,鱼饼的 L^* 值显著降低, a^* 值和 b^* 值增大,表面逐渐形成金黄色泽。在160~180℃温度范围内油炸风味鱼饼的感官综合得分随着炸制时间的延长逐渐增大,而在200℃时鱼饼的感官综合得分先上升后下降,于200℃8 min时达到最大值,此时鱼饼外表与油炸鱼饼相近,并具有油炸食品的风味和口感。200℃炸制时间过长时鱼饼水分含量显著下降,其硬度和咀嚼性增大,脂肪氧化程度加深,导致产品品质有所下降。与传统油炸鱼饼相比,空气炸制鱼饼具有独特的油炸风味和色泽,脂肪含量和丙二醛含量更低。结果表明,空气炸制能显著降低鱼饼中油脂含量以及氧化程度,具有替代传统油炸的潜力。

关键词 空气炸制;油炸风味;鱼饼;工艺优化;感官评价

中图分类号 TS254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)06-0247-08

油炸鱼饼是以鱼糜为主要原料,加入调味料等辅料,经过水煮凝胶化、油炸等多道工序制成的直接食用或简单热处理后即可食用的鱼肉制品,口感酥脆有弹性^[1-2]。油炸是水产品加工常用的热处理方式之一,能使产品具有外壳酥脆、香气浓郁等特点,深受消费者喜爱。然而油炸会导致鱼饼含油量较高,并且高温高油的环境易诱发物理化学变化,使产品在形成诱人风味的同时,还可能产生丙烯酰胺、5-羟甲基糠醛、丙二醛等有害物质^[3-5]。如何在保持油炸风味的同时降低含油量是油炸食品有待解决的重要技术问题。

近年来,降低油炸食品含油量的主要方法有微波油炸和低压油炸等。然而,这些方法成本较高,或所得产品与油炸食品的感官特性有一定差距^[6]。空气炸制作为一种新型的热处理技术,利用高温热空气代替油作为传热介质,使食品表面直接接触热空气,形成类似油炸食品酥脆金黄的外壳^[7]。同时食品中的蛋白质分解和脂肪自动氧化释放出风味物质以及风味前体物质,使产品具有油炸食品独特风味^[8]。有研究发现空气炸制鱼浆猪肉复合凝胶能拥有与油炸食品类似的风味和口感^[9]。此外,有学者比较了不

同烹饪方式下鸡肉品质变化,发现空气炸制能保持鱼块外观和色泽,减少食品中营养物质流失^[10]。目前,空气炸制在淡水鱼糜制品当中的应用较为少见,随着国内公众对饮食健康和安全的关注度增加,空气炸制有望成为油炸工艺的替代技术,应用到家庭日常烹饪中^[11]。

本研究针对油炸鱼饼油脂和安全危害因子含量高问题,利用空气炸制的工艺方式,拟获得一种具有油炸风味的健康鱼糜制品,并以感官评价、色度、质构性能、水分含量和丙二醛含量为评价指标,对油炸风味鱼饼空气炸制条件进行优化,确定最佳炸制条件,为油炸风味鱼糜制品的开发提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

鲢(约1.5 kg/尾)购自华中农业大学校内农贸市场;马铃薯淀粉购于黑龙江省如意淀粉食品有限公司;金龙鱼牌中筋小麦粉、加碘食盐、鲁花牌低芥酸菜籽油均购自武汉市中百超市。

1.2 仪器与设备

UltraScan XE型色度测定仪,美国Hunter Lab公

收稿日期:2022-04-29

基金项目:现代农业产业技术体系专项(CARS-45-28)

刘月如, E-mail:347061707@qq.com

通信作者:刘茹, E-mail:liuru@mail.hzau.edu.cn

司;TA-XT Plus型物性测试仪,英国 Stable Micro System公司;K600食品调理机,德国博朗电器;101-1AB型电热干燥箱,天津市泰丝仪器有限公司;NAI-ZFCDY-6Z型索氏抽提仪,湖北恒康化玻仪器有限公司;UV-2600紫外可见分光光度计,尤尼柯仪器有限公司;HH-6恒温水浴锅,金坛市精达仪器制造厂。

1.3 油炸风味鱼饼的制备

鲢→采肉→漂洗→绞肉→漂洗→鱼糜→空斩(1 200 r/min, 2 min)→盐斩(2 000 r/min, 2 min)→灌肠→水煮成型(40 °C, 1 h)→流水冷却→鱼饼(直径4 cm,厚度1.5 cm)→空气炸锅炸制→油炸风味鱼饼。

空气炸制条件设置如下:分别在160、180、200 °C下炸制4、6、8、10 min。

1.4 水分和脂肪含量的测定

将油炸风味鱼饼冷却至室温后,用手术刀将其外层(厚度约1 mm)和内层分离,分别切碎后,均匀取样。参照GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》和GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》测定鱼饼中的水分和脂肪的含量。

1.5 感官评定

邀请6名从事食品研究开发的研究生组成评定小组(男女比例1:1),对油炸风味鱼饼的感官品质进行评分,评分标准见表1。

表1 油炸风味鱼饼的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of fried fish cake

指标 Index	评分标准 Score criteria	分值 Score
色泽 Color	表皮具有油炸食品的金黄色泽,色度均匀 Golden color of fried foods, uniform	9~10
	表皮具有油炸食品的金黄色泽,色度较均匀,有小块白斑 white spots	7~8
	表皮略有油炸食品的金黄色泽,色度不够均匀,有大块白斑 Slightly golden color of fried foods, slightly uniform, large white spots	4~6
	表皮无油炸食品的金黄色泽 No golden color of fried foods	0~3
气味 Odor	具有油炸食品的香气,香气协调、柔和 Aroma of fried foods, harmony and soft	9~10
	具有油炸食品的香气,香气较柔和,稍淡 Aroma of fried foods, moderately harmony and light	7~8
	具有油炸食品的香气,香气不够柔和,过淡 Aroma of fried foods, slightly harmony	4~6
	无油炸食品的香气 No aroma of fried foods	0~3
滋味 Taste	滋味饱满,丰厚悠长,回味鲜美,口留余香 Strongly mellow taste, delicious aftertaste	9~10
	滋味较饱满,风味好,有回味 Moderately mellow taste and aftertaste	7~8
	滋味单薄,略有回味 Slightly taste and aftertaste	4~6
	滋味偏离可接受范围,无回味 Unacceptable taste, no aftertaste	0~3
形态 Tissue	质地均匀、无气泡、形态规则、断面颜色一致 Uniform texture, no pores, regular shape, uniform cut surface	9~10
	质地较均匀、气泡较少、形态较规则、断面有较少杂色 Moderately uniform texture, few pores, moderately regular shape, slightly variegated cut surface	7~8
	质地较均匀、气泡较多、形态较规则、断面有较多杂色 Slightly uniform texture, many pores, slightly regular shape, moderately variegated cut surface	4~6
	质地不均匀、气泡较多、形态不规则、断面有较多杂色 No uniform texture, full pores, no regular shape, variegated cut surface	0~3
口感 Mouth feel	具有油炸食品的口感,外酥内弹 Strongly crispy outside and elastic inside taste of fried foods	9~10
	具有油炸食品的口感,外壳酥脆感较强,内部弹性较好 Moderately crispy outside and elastic inside taste of fried foods	7~8
	具有油炸食品的口感,外壳酥脆感较差,内部弹性较差 Slightly crispy outside and elastic inside taste of fried foods	4~6
	无油炸食品的口感,外壳无酥脆感,内部弹性很差 No crispy outside and elastic inside taste of fried foods	0~3

1.6 色度的测定

色差仪使用前预热30 min,并用标准白板校正。将鱼饼切成厚10 mm的圆柱体,分为内层和外层两部分,再用Ultra-Scan XE型色差仪对其进行色度测定,可得 L^* 、 a^* 、 b^* 值。测定时将鱼饼中心部分对准色

差仪测试口,每个样品做6个平行并取平均值。

1.7 质构性能的测定

炸制鱼饼冷却后,利用刻度尺在鱼饼中部量取边长为2 cm的正方形,垂直下切,再将鱼饼均匀分成4份,获得10 mm×10 mm×15 mm的长方体,放在测

试台上,选用P/36R探头,在TPA模式下进行2次压缩测试,参数设置为:测前速度2 mm/s,测中速度1 mm/s,测后速度2 mm/s,压缩程度75%,数据采集速率200 Hz,触发力5 g,记录TPA曲线,进而得到相关的质构性能指标。每个样品做6个平行并取平均值。

1.8 丙二醛含量的测定

按照GB 5009.181—2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》的方法,稍作修改。称取样品2 g置入50 mL离心管中,准确加入20 mL三氯乙酸混合液,摇匀后加塞密封,置于恒温振荡器上50 °C振荡30 min,取出后冷却至室温,用双层定量慢速滤纸过滤,弃去初滤液,续滤液备用。准确量取上述滤液5 mL分别置于25 mL具塞比色管内,另取5 mL三氯乙酸混合液作为空白对照,分别加入5 mL硫代巴比妥酸水溶液,加塞混匀,90 °C下水浴30 min后取出,冷却至室温。在532 nm处测吸光值。将1,1,3,3-四乙氧基丙烷标准品稀释并配制0.01~0.25 μg/mL标准溶液,绘制标准曲线作定量分析。

1.9 数据处理

所有指标均重复测定3次,结果表示为“平均值±标准差”。采用Excel、SAS 9.0、Origin 2019进行数据分析和图表绘制。指标之间的相关性采用Pearson相关检验,采用SPSS 20进行相关性分析。当 $P < 0.05$ 时认为存在显著性差异, $P < 0.01$ 时认为存在极显著差异。

2 结果与分析

2.1 空气炸制条件对油炸风味鱼饼感官品质的影响

由图1可见,160~180 °C下随着炸制时间的延长,鱼饼的感官综合得分提高。但200 °C下,随炸制时间的延长,鱼饼的感官综合得分呈现先上升后下降的趋势,其中色泽、气味和口感的变化尤为明显。长时间空气炸制可形成外酥内弹的油炸食品口感,鱼饼的色泽和气味逐渐接近于油炸鱼饼。而在200 °C炸制时间超过8 min时,鱼饼表皮的色泽逐渐变为深黄色,且边缘呈黄褐色,截面孔洞增多,口感、滋味和形态得分都有所下降,综合得分降低。

这可能是因为200 °C条件下,炸制时间过长,脂肪氧化和美拉德反应过度,水分含量过低,导致鱼饼润滑感不足,硬度增加,影响了样品的整体滋味和口感。综上,空气炸制可赋予产品类似油炸食品的金

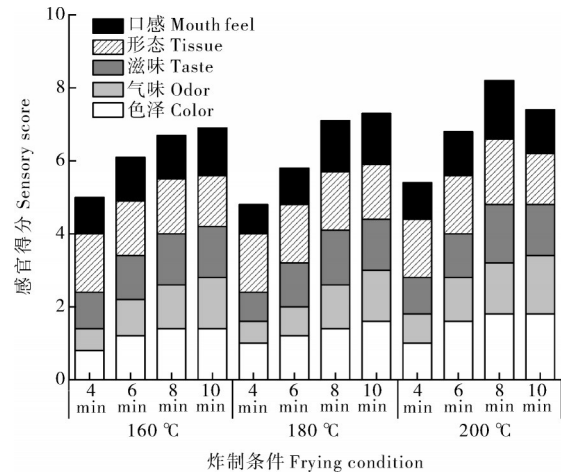


图1 不同空气炸制条件下的鱼饼感官评分

Fig.1 Sensory evaluation of fish cake fried under different conditions

黄色外观和外酥内弹口感,其中200 °C炸制8 min的产品感官评分达到最大值,更接近于油炸食品的风味和外观。

2.2 空气炸制条件对油炸风味鱼饼色泽的影响

表2为不同炸制条件下油炸风味鱼饼的色泽值。由表2可知,在3种炸制温度下,随着时间的延长,鱼饼外层的 L^* 值下降,而 a^* 值和 b^* 值呈现上升的趋势,在6 min时变化幅度最大,这与感官评价中色泽得分变化相一致。表明空气炸制会使样品表面亮度一定程度降低,表面较红且偏黄,形成类似油炸食品的金黄色泽,其中炸制时间超过6 min时,油炸产品的特征显著增强;且炸制温度越高, L^* 值、 a^* 值和 b^* 值产生明显差异的时间越短。对于不同炸制温度和时间下的鱼饼内层而言,色泽差异较小,这可能是由于内部温度相对较低,限制了内部美拉德反应的进行。

2.3 空气炸制条件对油炸风味鱼饼水分含量的影响

由图2可见,随着炸制时间的延长,鱼饼水分含量整体呈下降趋势,且炸制温度越高,风味鱼饼水分含量下降速率越大。其中,160 °C和180 °C炸制温度下的鱼饼,在炸制前8 min内层水分含量无明显变化,8 min后水分含量显著降低。200 °C炸制时,鱼饼内部的水分含量随着炸制时间的延长显著下降,8 min后趋于平缓。相较于鱼饼内层,外层水分含量下降更加明显。这可能是因为,在炸制过程中,急速循环的热气流与鱼饼表面直接接触,表面水分逐渐蒸发汽化被热气流带走,形成内外水分差,内部水分向外转移,故内外水分含量都呈下降趋势;温度越高,水分蒸发得越快,故水分下降的速率也增大。在

表2 不同空气炸制条件下鱼饼的色度

Table 2 Chroma of fish cake under different air frying conditions

部位 Part	温度/°C Temperature	时间/min Time	L^*	a^*	b^*
外层 Surface	160	4	71.23±2.62bc	-3.82±0.19d	11.64±1.04cd
		6	68.53±1.43de	-3.80±0.10d	16.64±1.03bc
		8	69.27±0.13cd	-4.07±0.02d	15.13±0.36bcd
		10	65.60±1.41fgh	-3.34±0.27cd	15.98±0.70bc
	180	4	72.93±1.40b	-3.36±0.23cd	10.31±0.69d
		6	64.96±2.46fgh	-3.81±0.20d	14.09±1.25cd
		8	67.65±2.30def	-3.59±0.22d	14.73±1.63cd
		10	64.46±1.56gh	-2.35±0.82bc	19.92±1.61ab
	200	4	77.26±1.62a	-3.28±0.15cd	10.75±1.04d
		6	66.16±1.20efg	-3.27±0.23cd	15.07±4.82bcd
		8	63.56±1.84gh	-1.06±1.93a	16.53±10.81bc
		10	62.99±2.71gh	-1.32±1.42ab	21.42±1.78a
内层 Internal	160	4	74.86±2.05bc	-2.78±0.16bc	6.80±0.20c
		6	75.80±0.74b	-2.65±0.05ab	6.94±0.42bc
		8	73.51±1.88c	-2.72±0.07b	7.24±0.40bc
		10	74.82±1.42bc	-2.71±0.24b	7.41±0.60abc
	180	4	75.27±0.63bc	-2.86±0.17bc	7.96±1.09ab
		6	76.61±1.73bc	-3.00±0.15c	7.50±1.44abc
		8	75.38±0.96bc	-2.85±0.17bc	6.85±0.38bc
		10	75.61±0.90bc	-2.80±0.16bc	7.53±0.20abc
	200	4	78.13±1.04a	-2.40±0.13a	7.25±0.40bc
		6	74.94±0.72bc	-2.76±0.20bc	7.12±0.54bc
		8	75.66±1.12b	-2.84±0.24bc	8.42±0.86a
		10	75.12±1.96bc	-2.62±0.25ab	7.72±1.23abc

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。Note: Different letters at the same column indicate significant differences ($P<0.05$). The same as below.

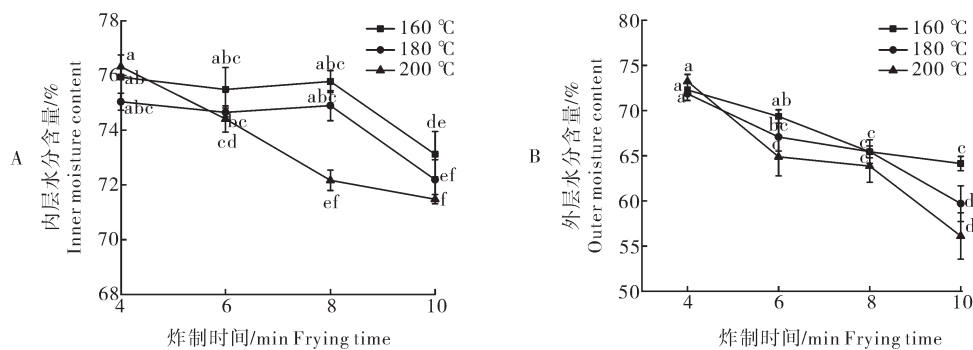


图2 不同空气炸制条件下鱼饼内层(A)和外层(B)水分含量的变化

Fig.2 Moisture content of the internal(A) and surface(B) of fish cake under different frying conditions

炸制过程中鱼饼表面逐渐形成一层致密的薄膜,增大了水分向表面迁移的阻力,使得鱼饼内层水分下降速率明显低于外层,所以鱼饼表层的水分含量显著低于内层,这有利于鱼饼形成外酥内弹的口感。

2.4 空气炸制条件对油炸风味鱼饼质构性能的影响

由图3可见,咀嚼性和硬度随着温度的升高和时间的延长呈现上升趋势,这和鱼饼中水分的损失有着密切联系,也和感官评价中口感得分变化规律相似。

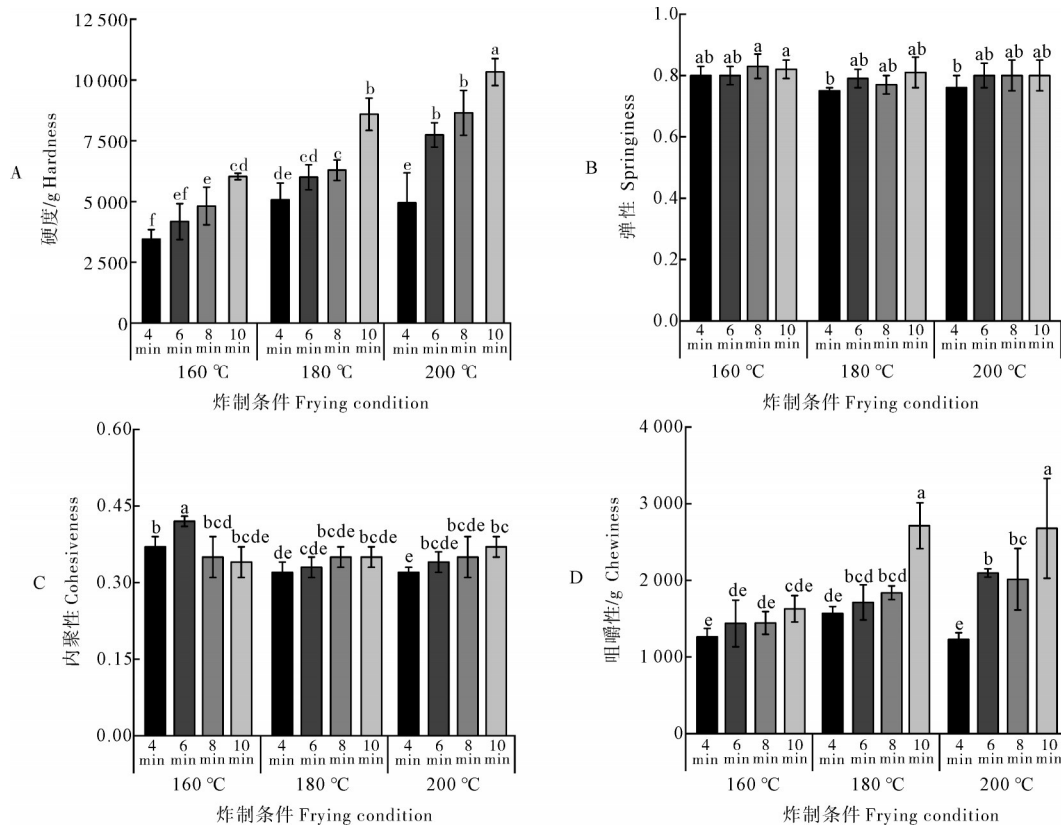


图3 不同空气炸制条件下鱼饼的硬度(A)、弹性(B)、内聚性(C)和咀嚼性(D)
Fig.3 Hardness(A), springiness(B), cohesiveness(C) and chewiness(D) of fish cakes fried under different frying conditions

鱼饼的弹性和内聚性受炸制温度的影响较小,随着炸制时间的延长,弹性先增大,6 min后趋于稳定。

2.5 空气炸制条件对油炸风味鱼饼丙二醛含量的影响

由图4可见,随着炸制温度的升高和时间的延长,丙二醛含量显著上升,说明鱼饼的脂肪氧化程度随着空气炸制强度的增加逐渐加深。

2.6 相关性分析

为研究不同空气炸制条件下鱼饼理化指标之间

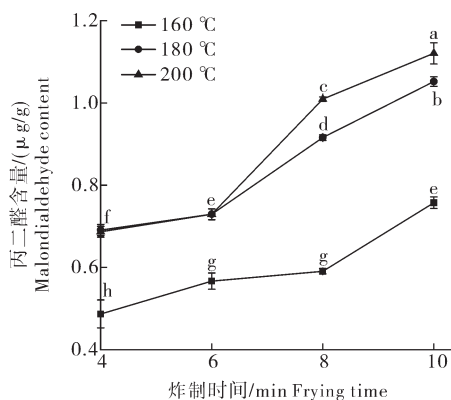


图4 不同空气炸制条件下的丙二醛含量
Fig.4 MDA content under different frying conditions

的联系,将其特征指标进行相关性分析。由图5可见,鱼饼弹性、内聚性和形态与其他理化指标的相关性系数较小,且不显著($P>0.05$)。鱼饼的 L^* 值与口感、滋味、色泽和气味4个感官指标呈显著负相关,与 b^* 值呈显著正相关($P<0.05$)。色泽和气味与 a^* 值呈显著正相关($P<0.05$)。色度值的高低可以表征美拉德反应的剧烈程度,但高水分含量不利于美拉德反应的进行,同时也增强了鱼饼表面的光反射^[16],表明在空气炸制过程中水分的损失以及美拉德反应能使鱼饼表面变红变黄,呈现金黄色,与传统油炸鱼饼更加接近。丙二醛含量与鱼饼气味、滋味呈显著正相关($P<0.05$),其含量反映脂肪的氧化程度,说明空气炸制过程中脂肪的氧化对鱼饼油炸风味的形成具有重要贡献。水分含量与硬度、咀嚼性和口感呈现显著负相关($P<0.05$),水分含量的下降,使鱼饼表面逐渐形成一层致密的薄膜,增大了鱼饼的硬度和咀嚼性。综上所述,鱼饼在空气炸制高温条件下,水分含量显著下降,促进了脂肪氧化以及美拉德反应的进行,利于鱼饼形成类似传统油炸鱼饼的感官特征。

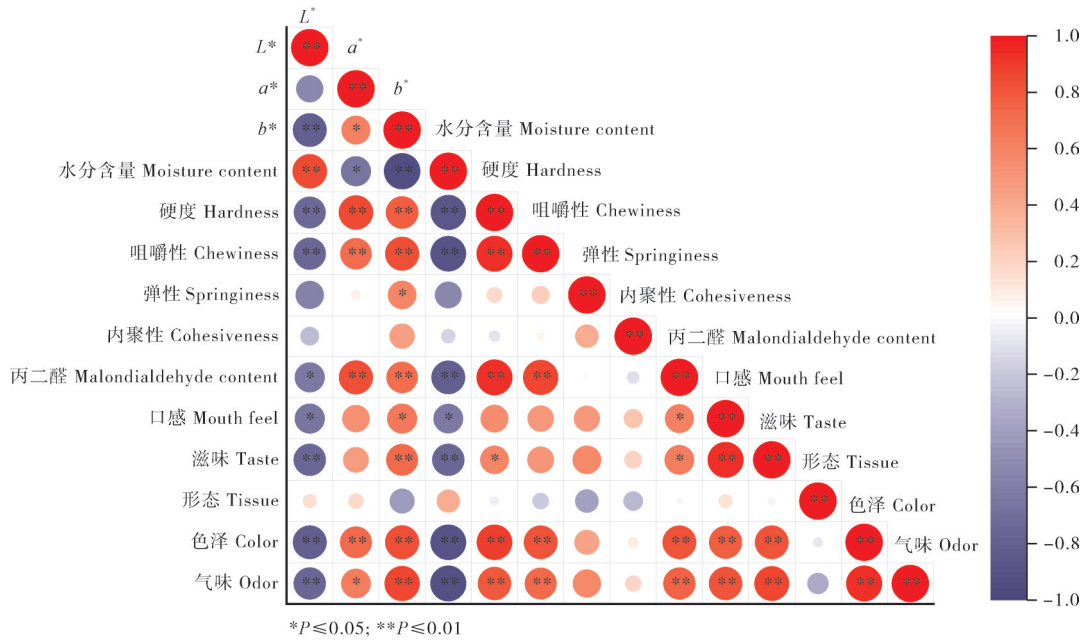


图5 油炸风味鱼饼指标相关性系数热图

Fig.5 The index correlation coefficients heat map of fried flavored fish cake

2.7 空气炸制鱼饼与传统油炸鱼饼品质对比

前期对传统油炸条件进行了优化,最适的油炸条件为 180 °C 炸制 5 min, 温度和时间都低于空气炸制处理组,这是因为油的导热系数比较高,美拉德反应更剧烈,所以能在较短时间内达到最优条件,而空气炸制是利用循环热空气来加热食品,需进一步延长加热时间。表3为不同炸制方式鱼饼品质的对比,

油炸鱼饼亮度值更高,黄度值更低。此外,油炸鱼饼的脂肪含量显著高于空气炸制鱼饼,这是因为在油炸过程中,由于水分蒸发留下孔隙,煎炸油会顺着孔隙渗入样品,所以油炸鱼饼脂肪含量更高,脂肪氧化程度也更高。综上可知,空气炸制可形成油炸鱼饼特有的风味和色泽,同时显著降低了鱼饼的含油量和脂肪氧化程度,有望成为传统油炸的替代技术。

表3 传统油炸工艺与空气炸制鱼饼品质变化对比

Table 3 Quality comparison of traditional frying and air frying fish cake

炸制条件 Frying condition	水分含量/% Moisture content		脂肪含量/% Oil content		色度 Chroma			丙二醛含量/ ($\mu\text{g/g}$) Malondialdehyde content
	内层 Internal	外层 Surface	内层 Internal	外层 Surface	L^*	a^*	b^*	
传统油炸 Traditional frying fish cake (180 °C, 5 min)	73.04 \pm 0.39b	53.80 \pm 0.85b	1.24 \pm 0.06a	12.17 \pm 0.15a	74.79 \pm 0.45a	-2.02 \pm 0.09a	6.42 \pm 0.44a	1.46 \pm 0.02a
空气炸制 Air frying fish cake (200 °C, 8 min)	80.98 \pm 0.06a	79.90 \pm 0.06a	0.95 \pm 0.18a	5.19 \pm 0.38b	63.56 \pm 1.84b	-1.06 \pm 1.93b	16.53 \pm 1.08b	1.03 \pm 0.01b

3 讨论

油炸鱼糜制品作为精深加工的水产制品之一,其风味和口感深受消费者喜爱,但含油量高和安全危害因子等问题,极大地限制其发展。空气炸制鱼饼利用食品本身油脂或涂抹少量油进行炸制,不仅能获得油炸食品特有的外观和风味,还能降低其油脂含量和脂肪氧化程度,为实现提高鱼糜制品的品

质提供了新途径。本研究显示:经空气炸制后,在 160~180 °C 油炸风味鱼饼的感官综合得分随着炸制时间的延长逐渐增大,而在 200 °C 时鱼饼的感官综合得分先上升后下降,于 200 °C 炸制 8 min 时达到最大值,此时鱼饼外观与油炸鱼饼相近,并具有油炸食品的风味和口感,推测该温度范围内样品中的蛋白质和蔗糖发生美拉德反应、焦糖化反应等,生成棕色物质,且随着美拉德反应程度加深,产生了醛、酮、

酸以及呋喃等风味物质^[12]。

色度是消费者评估食品品质、影响选择的重要依据之一。鱼饼表面 L^* 值随着炸制时间延长不断下降,而 a^* 值和 b^* 值呈现上升趋势,外表呈金黄色。鱼饼中含有大量蛋白质、碳水化合物等成分,在高温条件下会促进其发生美拉德反应、焦糖化反应。有报道指出,在炸制过程中,该反应取决于样品的水分含量、环境温度、炸制时间以及还原糖和游离氨基酸的含量^[13]。若过度炸制,会使美拉德反应进入第3阶段,产生黑色素,使产品颜色过深,影响消费者的接受度^[14]。在本研究中,随着空气炸制温度的升高和时间的延长,鱼饼水分显著下降,外层水分显著低于内层。表面水分下降会通过减弱光反射降低产品的 L^* 值^[9],这也是油炸风味鱼饼亮度值下降的原因。此外,低水分条件能促进美拉德反应和焦糖化反应的进行,使油炸风味鱼饼外表逐渐趋向金黄色,更接近油炸鱼饼的色泽,这也与感官评价中色泽得分相一致。随着炸制过程中鱼饼表面水分蒸发,鱼饼表面逐渐形成一层致密的膜,鱼饼硬度和咀嚼性增大,口感得分显著提高。当炸制温度较低(160~180℃)且时间较短(4~8 min)时,鱼饼中水分较高,硬度较低,而随着温度的升高和时间的延长,鱼饼硬度和咀嚼性整体呈上升趋势,内聚性和弹性变化不大。这是由于在空气炸制过程中,高速循环的热气流使鱼饼中水分迅速气化,促进鱼饼的收缩,内部网络结构更加致密^[14],同时也赋予鱼饼外酥内弹的口感。

丙二醛含量常用来表征样品的脂质氧化程度,其大小与气味、滋味呈显著正相关($P<0.05$),在空气炸制过程中,高温使化学反应速率加快,丙二醛含量升高,鱼饼中脂肪氧化程度加深。研究发现,高温加热猪肉同样会导致脂肪氧化,生成丙二醛,但脂质适度氧化,有利于醛、醇、酮等风味物质的产生^[15]。脂质的氧化和降解产生的醛类物质是肉香味的重要成分,有学者研究认为肉类挥发性香气物质的90%来自于脂质氧化^[16],因此脂质氧化程度也影响着油炸风味鱼饼风味品质。这也一定程度上解释了为什么高温、长时间的空气炸制形成的鱼肉油炸风味更浓郁,具有油炸食品的特征风味^[17]。相比于传统油炸鱼饼,空气炸制鱼饼的 b^* 值更高,鱼饼在视觉效果上颜色更加金黄。虽然空气炸制相较于传统油炸处理加热温度更高、时间更长,但空气炸制鱼饼的脂肪含量和脂肪氧化程度更低。研究指出,脂肪过氧化自身会产生二羰基化合物,从而促进AGEs的形成,

AGEs的积累会影响人体健康^[18]。

综上,采用空气炸制技术制作油炸风味鱼饼最适的条件为:200℃炸制8 min。空气炸制可形成类似油炸鱼饼的感官品质,且相比于传统油炸鱼饼,空气炸制能显著降低鱼饼中油脂含量以及氧化程度,具有替代传统油炸的潜力。

参考文献 References

- [1] 徐文鑫. 汉堡鱼饼的加工工艺[J]. 肉类工业, 2016(2): 5-6. XU W X. Processing technology of hamburger fish cake[J]. Meat industry, 2016(2): 5-6 (in Chinese with English abstract).
- [2] 路索, 刘曼曼, 秦瑞珂, 等. 油炸风味鱼浆猪肉复合凝胶制品复热方式的研究[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(6): 82-87. LU S, LIU M M, QIN R K, et al. Reheating methods of fried-flavor fish paste/pork composite gel[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(6): 82-87 (in Chinese with English abstract).
- [3] KAVOUSI P, MIRHOSSEINI H, GHAZALI H, et al. Formation and reduction of 5-hydroxymethylfurfural at frying temperature in model system as a function of amino acid and sugar composition[J]. Food chemistry, 2015, 182: 164-170.
- [4] LU F, KUHNLE G K, CHENG Q F. The effect of common spices and meat type on the formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in deep-fried meatballs [J]. Food control, 2018, 92: 399-411.
- [5] 盛占武, 鄯晋晓, 刘树立. 油炸食品含油率研究[J]. 粮食与油脂, 2007, 20(1): 18-20. SHENG Z W, SHAN J X, LIU S L. Research progress of fat uptake in fried foods [J]. Cereals & oils, 2007, 20(1): 18-20 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杨佚. 空气炸锅: 用空气煎炸食物[J]. 大众用电, 2013, 29(12): 36. YANG Y. Air fryer: fry food with air [J]. Popular utilization of electricity, 2013, 29(12): 36 (in Chinese).
- [7] CAO Y, WU G C, ZHANG F, et al. A comparative study of physicochemical and flavor characteristics of chicken nuggets during air frying and deep frying [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2020, 97(8): 901-913.
- [8] AISWARYA R, BASKAR G. Enzymatic mitigation of acrylamide in fried potato chips using asparaginase from *Aspergillus terreus* [J]. International journal of food science & technology, 2018, 53(2): 491-498.
- [9] 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. Effect of air frying conditions on the quality of fish paste/pork composite gel [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(6): 59-66 (in Chinese with English abstract).
- [10] 谢静, 薛盼盼, 章海风, 等. 传统与新式烹饪工艺对鸡肉品质的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(10): 68-71. XIE J, XUE P P, ZHANG H F, et al. Effect of traditional and new cooking techniques on the quality of chicken [J]. China condiment, 2020, 45(10): 68-71 (in Chinese with English abstract).
- [11] 王君, 王颖, 陈喆, 等. 空气煎炸技术应用于食品加工的研究进展[J]. 美食研究, 2021, 38(2): 49-53. WANG J, WANG Y,

- CHEN Z, et al. Research progress of air frying technology in food processing [J]. Journal of researches on dietetic science and culture, 2021, 38(2): 49-53 (in Chinese with English abstract).
- [12] YU X N, LI L Q, XUE J, et al. Effect of air-frying conditions on the quality attributes and lipidomic characteristics of surimi during processing [J/OL]. Innovative food science & emerging technologies, 2020, 60: 102305 [2022-04-29]. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102305>.
- [13] 李培燕. 油脂对煎炸薯条质构的影响及其机制 [D]. 无锡: 江南大学, 2021. LI P Y. Effect of oils on the texture of French fries and its underlying mechanism [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021 (in Chinese with English abstract).
- [14] 肖佳妍. 低脂油炸外裹糊鱼块的制备及特性 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015. XIAO J Y. Preparation and properties of fried battered and breaded fish nuggets with low fat [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [15] 王瑞花, 姜万舟, 汪倩, 等. 烹制方法对猪肉脂质氧化和挥发性风味物质的作用研究 [J]. 现代食品科技, 2016, 32(1): 175-182, 312. WANG R H, JIANG W Z, WANG Q, et al. Effects of different cooking methods on lipid oxidation and volatile compound profile of pork [J]. Modern food science and technology, 2016, 32(1): 175-182, 312 (in Chinese with English abstract).
- [16] 尹茂文, 宋蕾, 马瑞雪, 等. 涂膜对油炸猪肉丸品质的影响研究 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(13): 87-89, 102. YIN M W, SONG L, MA R X, et al. Effects of edible coatings on the quality of deep-fat fried pork balls [J]. Science and technology of food industry, 2015, 36(13): 87-89, 102 (in Chinese with English abstract).
- [17] 路索. 基于空气炸制技术开发一种油炸风味鱼饼及其性能研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2020. LU S. Development of a deep-fried flavorful fish cake based on air frying technology and its performance study [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [18] LIN J A, WU C H, YEN G C. Perspective of advanced glycation end products on human health [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2018, 66(9): 2065-2070.

Optimization of air-frying process for fried flavored fish cake

LIU Yueru, LU Suo, YIN Tao, DU Hongying, HU Yang, XIONG Shanbai, LIU Ru

College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China

Abstract In order to optimized the air frying condition of fried flavored fish cake, the samples were prepared by air frying, and the quality changes of fried flavored fish cakes were investigated under different frying temperature (160 °C, 180 °C and 200 °C) and time (4 min, 6 min, 8 min and 10 min). With the increase of frying temperature and the extension of frying time, the L^* value significantly decreased, the a^* and b^* values significantly increased and the surface of fish cakes obtain gold color. In the range of 160 °C to 180 °C, the sensory quality of fish cakes gradually increased with the extension of frying time, while the sensory quality of fish cakes increased and then decreased at 200 °C. Under frying temperature at 200 °C and fried for 8 min, the appearance of fish cake fried by air frying was similar to fried fish cake by deep-frying, which endowed fish cakes with flavor and texture of fried food. In addition, the moisture content of fish cake significantly decreased, the hardness and chewiness of fish cakes increased and the degree of lipid oxidation deepened with the extension of frying time at 200 °C, which led to the decrease of product quality. Compared with the traditional fried fish cakes, the fish cakes fried by air frying at 200 °C for 8 min had unique fried flavor and color, and the fat content and malondialdehyde content were lower than traditional fried food.

Keywords air frying; fried flavored; fish cake; process optimization; sensory evaluation

(责任编辑: 赵琳琳)