

卢琳,路索,武润琳,等.第二段加热方式对鱼饼食用品质及脂肪含量的影响[J].华中农业大学学报,2022,41(6):255-261.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.06.030

第二段加热方式对鱼饼食用品质及脂肪含量的影响

卢琳,路索,武润琳,高霞,尤娟,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)/长江经济带大宗水生生物产业
绿色发展教育部工程研究中心,武汉 430070

摘要 为获得脂肪和丙二醛含量低且感官性能好的鱼糜制品,采用两段加热方式制备鱼饼,研究第二段加热方式(油炸、空气炸制、预油炸+空气炸制、煎炸和烤制)对鱼饼感官品质及其他理化指标的影响。结果显示,鱼饼预制品经第二段加热后表面呈金黄色,水分显著降低,脂肪和丙二醛含量显著升高,其中油炸鱼饼色泽更好,感官总分最高,空气炸制鱼饼脂肪和丙二醛含量较低,且感官得分仅次于油炸鱼饼;空气炸制鱼饼的质构性能和油炸鱼饼接近;通过电子鼻和挥发性成分分析,发现空气炸制和油炸鱼饼的风味最接近。结果表明,空气炸制不仅可以降低鱼饼脂肪和丙二醛含量,还可以赋予鱼饼油炸风味和口感,是代替传统油炸方式较好的选择。

关键词 鱼饼;第二段加热方式;传统油炸;空气炸制;食用品质;低含油量油炸食品

中图分类号 TS254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)06-0255-07

鱼饼预制品经第二段加热后其质地、风味会有所改变,常见的第二段加热方式有油炸、煎炸、空气炸制、烤制等。油炸会赋予食品诱人的风味、色泽^[1],同时也会导致鱼饼的脂肪含量显著增加,并且高温下化学反应可能产生一些安全危害因子,如丙烯酰胺、丙二醛、5-羟甲基糠醛和反式脂肪酸等^[2]。摄入过量的油炸食品易诱发肥胖、高胆固醇及高血压等疾病^[3],因此,寻找一种使食品具有油炸食品品质和风味但含油量较少的健康烹饪方式十分重要。

空气炸制是在空气炸锅顶部加热空气,同时用大功率风扇促使密闭室内的热量进行快速循环,从而使得食品与分散的油直接接触热空气而得到热交换^[4]。相对于传统油炸,空气炸制具有耗油量少、卫生、便捷等优点,学者们研究发现空气炸制可显著降低食品含油量和丙烯酰胺含量^[5]。笔者所在团队前期研究发现,空气炸制可以获得类似油炸风味的鱼浆猪肉复合凝胶,且含油量仅为油炸的50%左右^[6]。有学者分析比较了不同加热方式下黄金猪排^[7]和鸡块^[4]的挥发性物质,发现空气炸制和油炸样品的挥发性物质十分接近。可见空气炸制可赋予食品类似油炸的风味,并在一定程度上避开了油炸的不良影响。目前空气炸制食品风味的研究主要集中于淀粉质食

品中,对蛋白质食品研究较少,且鲜见鱼饼的相关报道。

本研究主要探究不同加热方式对鱼饼的感官性能、质构性能、水分和脂肪含量、色度的影响,深入探究油炸、空气炸制、预油炸+空气炸制对鱼饼风味的影响,从而筛选一种使鱼饼具有油炸食品风味及口感且含油量低的加热方式,以期为开发低含油量油炸食品提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料和设备

新鲜鲢(*Hypophthalmichthys titrix*),体质量约1.5 kg/尾,购于华中农业大学校内农贸市场;马铃薯淀粉购自黑龙江省如意淀粉食品有限公司;金龙鱼中筋小麦粉、加碘食盐、鲁花低芥酸菜籽油购自华中农业大学校内中百超市。

HD空气炸锅,飞利浦(中国)投资有限公司;YBYM-6004A采肉机,英博机械有限公司;TA-XT Plus型物性测试仪,英国Stable Micro System公司;Ultra Scan XE色度测定仪,美国Hunter Lab公司。

1.2 试验方法

1)鱼饼预制品的制作:将鲜活的鲢宰杀去头、去

收稿日期:2022-03-21

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0901005);现代农业产业技术体系专项(CARS-45-28)

卢琳,E-mail:1755849489@qq.com

通信作者:刘茹,E-mail:liuru@mail.hzau.edu.cn

鳞、去内脏后进行漂洗,洗净的鱼肉过采肉机后进行3次漂洗,清水漂洗2次,0.5%食盐水漂洗1次后得到鱼糜;鱼糜放入斩拌机进行空斩2 min(斩拌速率为1 200 r/min),然后加入1.5%食盐进行盐斩2 min(斩拌速率为2 000 r/min);将斩拌后的鱼糜灌进粗肠衣(直径为4 cm),然后在40℃下水煮1 h预成型,去除肠衣后切成厚度1.5 cm的鱼饼预制品。

2)第二段加热方式:鱼饼预制品经以下5种方式进行第二段加热,得到鱼饼熟制品。

①传统深油炸:使用植物油在180℃下油炸6 min;②空气炸制:使用空气炸锅在200℃下炸制6 min;③预油炸后空气炸制:使用预油炸之后再行空气炸制的方法进行处理,处理条件为预油炸3 min后空气炸制3 min(预油炸3 min经过测量其中心温度已经达到炸制成熟的最终中心温度100℃);④煎炸:煎炸温度180℃,炸制时间5 min;⑤烤制:上火温度180℃,下火温度180℃,烤制时间15 min。

3)感官鉴评。邀请具有感官鉴评经验的5名男生和5名女生组成评定小组,评定时间30 min,分别从色泽、气味、滋味、形态和口感五个方面进行评价,感官评分标准参考路素等^[6]的方法。

4)水分和脂肪含量的测定。分别参照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》和GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》测定。取鱼饼,将壳层和内部鱼饼分开,切碎,均匀取样。每种样品做5次,取平均值。

5)质构性能的测定。取鱼饼内部,切成10 mm×10 mm×15 mm的长方体,放在测试台上,选用P/36R探头,在TPA模式下进行两次压缩测试,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,测定相关质构性能指标。

6)色度的测定。色度仪测试前先进行校准(白板矫正,闪烁2次)。将鱼饼横切,分为表面和内部两部分。使用色度仪分别对表面和内部的 L^* 、 a^* 、 b^* 值进行测定。每个样品做7次平行并取平均值。

7)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》的方法进行测定。将鱼饼切碎,不分壳层和内部,均匀取样。每次样品做3次,取平均值。

8)电子鼻分析。将鱼饼切碎,不分壳层和内部,称取上述样品2 g置于10 mL顶空瓶中。电子鼻参数:产生时间120 s,顶空温度50℃,振荡速度500

r/min,顶空注射体积2.5 mL,注射针温度60℃,测试获取时间120 s,延滞时间300 s。

9)挥发性物质的测定。将鱼饼切碎,不分壳层和内部,称取上述样品3 g于20 mL顶空瓶中,加入7 mL的饱和NaCl溶液,再加入300 μL的1 μL/mL内标邻二氯苯。气相色谱和质谱条件参考曾文浩等^[8]的方法。

1.3 数据分析

采用Excel软件进行数据分析,用Origin 9.0软件作图,采用SAS 9.2软件进行显著性分析,所有显著性分析在 $\alpha=0.05$ 水平下进行。

2 结果与分析

2.1 第二段加热方式对鱼饼感官品质的影响

从图1可知,单纯油炸鱼饼的感官总体得分最高,其次是空气炸制。油炸鱼饼外酥内弹,口感得分最高,空气炸制次之,与油炸鱼饼的口感最为接近。从形态上来看,空气炸制鱼饼质地均匀、形态规则、断面颜色较一致,得分最高。产品风味的好坏对产品极为重要,气味和滋味上,油炸鱼饼具有浓郁的油炸食品香味,得分最高,空气炸制和预油炸+空气炸制鱼饼也具有油炸食品香味,得分略低于油炸的。从色泽上来看,鱼饼预制品表面为白色,经第二段加热后鱼饼表面呈现黄色,其中油炸、空气炸制、预油炸+空气炸制颜色接近,表面均呈现油炸食品的金黄色,色度较为均匀,烤制鱼饼色泽不均匀,得分较低。综合来讲,油炸鱼饼的感官

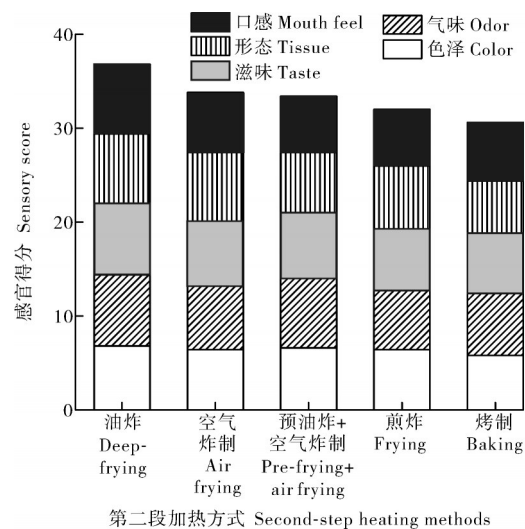


图1 不同第二段加热方式所得鱼饼的感官得分
Fig.1 Sensory scores of fish cakes treated by different second-step heating methods

性能最好,空气炸制鱼饼的感官性能与油炸鱼饼最为接近。

2.2 第二段加热方式对鱼饼色度的影响

由表1可知,鱼饼预制品经过第二段加热后,内外色度表现出明显差异,且不同加热方式下,鱼饼色

度有显著差异。第二段加热后鱼饼表面的 L^* 值显著降低、 b^* 值显著增大,说明第二段加热使鱼饼表面亮度降低,黄度提高。不同处理间油炸鱼饼表面 b^* 值远高于其他组,表现为油炸鱼饼表面更为金黄,这和传热方式、温度、与传热介质接触面积有关。

表1 不同第二段加热方式所得鱼饼的色度

Table 1 Chroma of fish cakes treated by different second-step heating methods

部位 Part	加热方式 Heating methods	L^*	a^*	b^*
内部 Internal	油炸 Deep-frying	74.02±0.90ab	-2.79±0.11b	7.17±0.38b
	空气炸制 Air frying	70.87±1.97c	-2.97±0.13bc	6.57±0.31c
	预油炸+空气炸制 Pre-frying+air frying	72.23±2.62b	-2.69±0.29b	7.46±0.77b
	煎炸 Frying	76.56±2.36a	-1.77±0.41a	8.59±0.30a
	烤制 Baking	71.04±1.04bc	-2.85±0.25bc	7.46±0.23b
表面 Surface	油炸 Deep-frying	57.76±1.94c	0.04±0.73a	25.4±2.43a
	空气炸制 Air frying	69.45±1.99a	-3.29±0.34bc	10.01±1.94c
	预油炸+空气炸制 Pre-frying+air frying	68.29±1.05ab	-3.09±0.56bc	12.85±2.23c
	煎炸 Frying	65.90±2.36bc	-3.51±0.34b	18.05±1.63ab
	烤制 Baking	66.55±2.08b	-3.87±0.54b	16.11±1.63bc

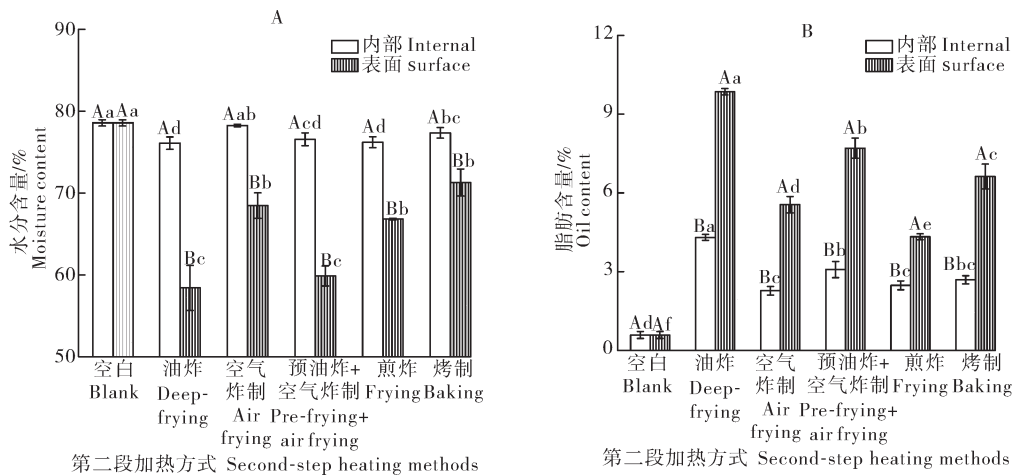
注:同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。Note: Different lowercases indicate significant differences ($P<0.05$). The same as below.

2.3 第二段加热方式对鱼饼水分和脂肪含量的影响

从图2A可见,鱼饼预制品经第二段加热后水分含量显著降低,鱼饼表面水分含量显著低于内部的,可见第二段加热方式对鱼饼表面含水量影响大于内部,油炸鱼饼内外水分含量差异最大,煎炸鱼饼差异最小。热交换介质是影响水分传递的重要因素,油炸以油为热交换介质,烤制和空气炸制以热空气为热交换介质,煎炸以空气和油为共同热交换介质,液体的传热速率比气体快得多,水分蒸发也更快,从而

油炸鱼饼表面的水分含量远低于空气炸制、烤制和煎炸鱼饼。

从图2B可见,鱼饼预制品经第二段加热后脂肪含量显著升高,这是由于在第二段加热过程中油脂渗入造成,在鱼饼熟制品中,鱼饼表面脂肪含量显著高于内部,油炸鱼饼内外脂肪含量均显著高于其他组。空气炸制和烤制鱼饼的含油量显著低于油炸、预油炸+空气炸制和煎炸鱼饼,鱼饼含油量的高低与第二段加热时的用油方式密切相关,烤制和空气炸制采用浸渍式涂油,含油量显著降低;而油炸、预油



大写字母代表相同加热方式内外对比,小写字母代表不同加热方式组间对比。The capital letters represent the internal and external contrast of the same heating methods, and the lowercase letters represent the comparison between different heating methods.

图2 不同第二段加热方式所得鱼饼的水分(A)和脂肪含量(B)

Fig.2 Moisture(A) and oil contents(B) of fish cakes treated by different second-step heating methods

炸+空气炸制和煎炸,样品均和大量热油直接接触,在炸制过程中油脂不断渗入鱼饼,使油炸、预油炸+空气炸制和煎炸鱼饼含油量增大。综上所述,空气炸制不仅用油量少,鱼饼的含油量也低,是一种更为健康的第二段加热方式。

2.4 第二段加热方式对鱼饼丙二醛含量的影响

从图3可知,鱼饼熟制品中除空气炸制鱼饼外,其他组丙二醛含量均显著升高,尤其是油炸和预油炸+空气炸制鱼饼,说明油炸和预油炸+空气炸制鱼饼脂肪氧化程度最大,空气炸制鱼饼氧化程度最低,即空气炸制可以显著降低鱼饼脂肪氧化程度。

2.5 第二段加热方式对鱼饼TPA性能的影响

由表2可知,油炸鱼饼的硬度最大。油炸过程中传热速率最快,鱼饼升温速率最快,硬度最大。油炸、空气炸制和预油炸+空气炸制加热方式所得鱼饼的弹性均较好,从而口感更好。内聚性是指咀嚼样品时,凝胶抵抗受损并紧密连接以保持其完整性的性质,油炸和空气炸制鱼饼的内聚性显著高于煎

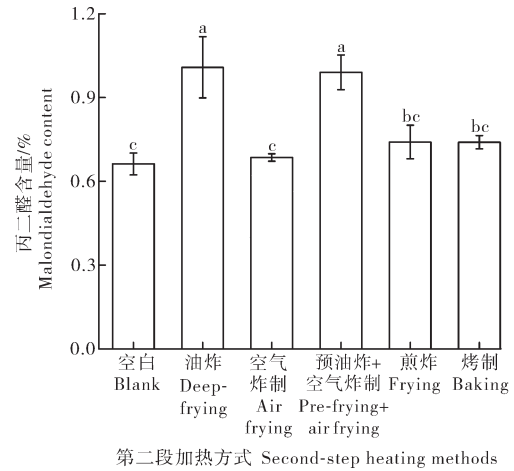


图3 不同第二段加热方式所得鱼饼的丙二醛含量
Fig.3 Malondialdehyde (MDA) content of fish cakes treated by different second-step heating methods

炸鱼饼的。预油炸+空气炸制鱼饼的胶黏性显著高于其他组,咀嚼性各组别间无显著性差异。综上所述,在质构性能上,空气炸制鱼饼和油炸鱼饼最为接近。

表2 不同第二段加热方式所得鱼饼的TPA性能

Table 2 TPA properties of fish cakes treated by different second-step heating methods

加热方式 Heating methods	硬度/kg Hardness	弹性 Elasticity	内聚性 Cohesiveness	胶黏性/kg Gumminess	咀嚼性/kg Chewiness
油炸 Deep-frying	7.74±0.62a	0.90±0.02a	0.74±0.01a	4.97±0.44b	4.50±0.41a
空气炸制 Air frying	6.94±1.72b	0.91±0.03a	0.74±0.03a	4.85±1.23b	5.25±1.61a
预油炸+空气炸制 Pre-frying + air frying	6.42±1.48b	0.89±0.02a	0.72±0.02ab	6.01±1.00a	4.87±0.87a
煎炸 Frying	6.85±0.56b	0.81±0.07b	0.69±0.02b	4.88±0.87b	4.31±0.62a
烤制 Baking	6.80±1.56b	0.83±0.02b	0.73±0.03ab	5.12±0.34b	4.64±0.52a

2.6 炸制方式对鱼饼气味特性的影响

综合以上指标的测定,发现炸制鱼饼的感官和质构等方面优于煎炸和烤制的,因此进一步探究油炸、空气炸制和预油炸+空气炸制对鱼饼风味的影响。从图4看出,不同油炸方式下T40/1和TA/2响应值无明显差异,其他信号响应值均有显著性差异,其中LY2/LG、T30/1、P10/1、P10/2、P40/1、T70/2、PA/2、P30/1、P40/2、P30/2、T40/2油炸鱼饼响应值高于空气炸制和预油炸+空气炸制。其中P30/2、P30/1、PA/2、P10/2差异最为明显,P30/1、P10/2对碳氢化合物敏感,P30/2、PA/2对芳香族化合物敏感,说明不同炸制方式鱼饼中碳氢化合物和芳香族化合物含量差异较大。

2.7 炸制方式对鱼饼挥发性风味成分的影响

鱼饼中挥发性物质具体含量见表3,主要是烷烃类、醇类和醛类,但是由于烷烃类和醇类物质的阈值

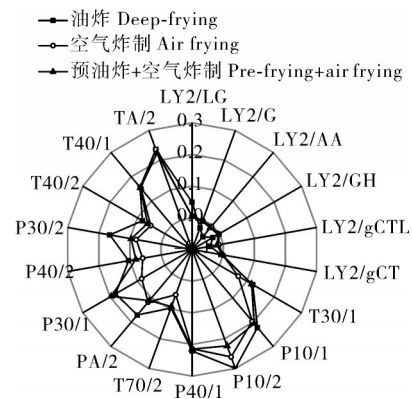


图4 鱼饼的电子鼻雷达图

Fig.4 Electronic nose radar diagrams of fish cakes

较高,所以它们不是主要的香气贡献者,而醛类阈值较低且含量较高,是鱼饼香气的主要贡献者^[9]。可见,不同炸制方式下鱼饼的醛类含量高低为油炸>空气炸制>预油炸+空气炸制,因为醛类主要来源

表3 不同炸制方式下鱼饼中各挥发性物质含量

Table 3 Volatile compounds content of fish cakes fried by different methods		μg/kg			
类别 Species	化合物 Compounds	保留时间/min Retention time	油炸 Deep-frying	空气炸制 Air frying	预油炸+空气炸制 Pre-frying+air frying
醛类 Aldehydes	己醛 Hex aldehyde	5.39	393.55	353.46	343.22
	辛醛 Octanal	12.15	4.80	20.90	8.70
	庚醛 Heptanal	8.69	127.39	127.36	126.24
	壬醛 Nonanal	15.95	35.31	24.21	29.15
	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	13.56	21.98	16.04	18.76
	(E)-2-癸烯醛 (E)-2-Decenal	17.93	17.07	16.03	13.40
	(E,E)-2,4-癸二烯醛 (E,E)-2,4-Decadienal	12.48	17.08	11.04	13.40
小计 Subtotal			617.18	569.04	552.87
酮类 Ketones	2,3-辛二酮 2,3-Octanedione	14.08	24.89	11.64	13.07
	2-十一烷酮 2-Undecanone	22.65	64.57	55.32	52.71
	6-十一烷酮 6-Undecanone	22.89	33.47	41.24	39.54
小计 Subtotal			122.93	108.20	105.32
烷烃类 Hydrocarbons	环十二烷 Cyclododecane	20.28	158.04	310.06	648.58
	十五烷 Pentadecane	24.38	98.64	171.38	124.62
	十六烷 <i>n</i> -Hexadecane	25.19	—	19.81	19.77
	十七烷 <i>n</i> -Heptadecane	26.35	340.60	116.95	124.12
	二十烷 Eicosane	31.39	—	81.45	—
	二十三烷 Tricosane	33.17	11.44	—	—
	正辛烷 Octane	15.48	29.61	—	—
	八甲基环四硅氧烷 Octamethyl cyclotetrasiloxane	23.71	5.99	27.04	67.33
	六甲基环三硅氧烷 Hexamethylcyclotrisiloxane	18.94	18.53	28.31	11.39
	2,2,4,6,6-五甲基庚烷 2,2,4,4,6-Pentamethyl heptane	20.97	45.23	—	—
	2,2,3-三甲基庚烷 2,2,3-Trimethylheptane	21.39	9.99	—	9.05
	1,4-辛二烯 1,4-Octadiene	16.23	—	—	12.40
	1,4-环辛二烯 1,4-Cyclooctadiene	27.61	—	—	5.03
	(E)-9-二十碳烯 (E)-9-Eicosene	29.24	—	—	38.19
小计 Subtotal			718.07	755.00	1060.48
醇类 Alcohols	1-辛烯-3-醇 1-Octene-3-ol	11.20	153.68	144.03	143.87
	环辛醇 Cyclooctanol	14.46	42.87	—	—
	(E)-2-壬烯-1-醇 (E)-2-Nonen-1-ol	18.24	—	—	40.87
	月桂醇(十二醇) Lauryl alcohol	34.72	140.60	316.94	241.21
	豆蔻醇(1-十四醇) 1-Tetradecanol	35.07	158.04	327.78	248.57
3,4,4-三甲基-1-戊炔-3-醇 1-Pentyn-3-ol, 3,4,4-trimethyl	5.48	16.35	25.79	—	
小计 Subtotal			511.54	814.54	674.52
酚类 Phenols	丁香酚 Eugenol	21.94	236.88	325.16	390.62
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	14.82	9.63	—	4.23
	3-乙氧基乙酸乙酯 3-Ethoxy ethyl acetate	15.63	4.36	29.87	11.57
	三氟乙酸壬基酯 Nonyl trifluoroacetate	19.45	—	—	—
	甲酸十二烷基酯 Dodecyl formate	19.98	10.90	—	21.78
	2-丁烯二酸 (2Z)-1-十二烷基酯	22.45	5.81	—	—
	2-Butenedioic acid (2Z)-, 1-dodecyl ester				
	亚砷酸三(三甲基甲硅烷基)酯 Tri-arsenite	23.59	18.53	—	—
	2,2,3,3,3-五氟丙酸辛酯 2,2,3,3,3-Octyl pentafluoropropionate	25.31	4.36	29.87	—
甲酸辛酯 Octyl formate	21.62	3.99	—	—	
小计 Subtotal			57.58	59.74	37.58

于脂质的氧化和降解,具有脂肪香味,所以在鱼饼风味中起重要作用,炸制鱼饼中检测出7种醛类物质,己醛、辛醛、庚醛和壬醛是油炸鱼饼中主要的挥发性饱和醛,己醛是鱼饼中含量最高的醛类物质,己醛具有“鱼腥味”和“香草味”^[8],己醛含量为油炸>空气炸制>预油炸+空气炸制,辛醛是鱼饼中含量最少的醛类物质,辛醛表现为“脂肪味”和“刺激性气味”^[10]。油炸鱼饼中检测出5种醇类,空气炸制和预油炸+空气炸制均检测出4种,醇类阈值较高,其中1-辛烯-3-醇阈值较低,且鱼饼中含量较高,对鱼饼风味贡献较大,其表现为类似蘑菇的气味。油炸鱼饼中检测出的酯类物质较多,酯类物质常表现为“梨子味和苹果味”等水果的香气^[10],这可能为油炸鱼饼带来特殊香气。

3 讨论

鱼糜凝胶的品质受第二段加热方式的影响,鱼饼预制品经第二段加热后表面呈现现金黄色,其中油炸鱼饼表面的黄度值最大。油炸类食品色泽主要由非酶褐变作用形成,包括美拉德反应和焦糖化反应,美拉德反应程度和底物、反应温度、反应时间有关,油炸的传热介质是热油,油脂的传热效率高于空气,共同作用下油炸鱼饼美拉德反应程度更大,鱼饼表面色泽更黄。鱼饼表面水分显著低于内部,这是由于第二段加热过程中表面水分蒸发形成酥脆的外壳阻碍了内部水分的散失,赋予鱼饼外酥里嫩的口感。鱼饼表面脂肪含量显著高于内部,油脂会进入水分蒸发留下的孔隙,其中油炸鱼饼由于和大量油脂直接接触导致含油量最多,油脂氧化程度也最大,而空气炸制鱼饼油脂含量仅为油炸鱼饼的60%左右,氧化程度也大大降低。本研究通过GC-MS测定发现,鱼饼中挥发性物质主要是烷烃类、醇类和醛类,不同炸制方式的鱼饼检测出的醛类和酮类物质种类相同,烷烃类和醇类种类差异较小,酯类差异较大,油炸鱼饼检测出8种酯类,而空气炸制鱼饼和预油炸+空气炸制鱼饼仅分别检测出3~4种酯类。有研究表明,油炸食品的风味主要来源于食品中的蛋白质、多糖和油脂发生的氧化、裂解及美拉德反应而产生的一些风味化合物,例如醛、酮以及一些小分子杂环化合物(如吡啶、吡嗪等)^[11];此外,游离氨基和羰基会反应生成芳香类和杂环类物质等^[12]。本研究检测出油炸鱼饼挥发性物质种类最多,是因为煎炸油的组分氧化分解生成醛、酯、醇等^[13],但烷烃、醇类的阈值

较高,酯类含量较低,对鱼饼香气影响较小;醛类含量较高而阈值较低,且具有脂肪香味,因此醛类是鱼饼香味的主要贡献者,而不同炸制方式的鱼饼检测出的醛类种类一致,仅含量略有不同,即空气炸制可以赋予鱼饼油炸风味。

综上所述,空气炸制可以赋予鱼饼油炸风味且和油炸鱼饼质地口感接近,同时含油量显著低于油炸鱼饼,是代替传统炸制较好的选择。

参考文献 References

- [1] 赵文宇,赵美钰,王可心,等.油炸方式对高白鲑肌肉食用品质的影响[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(in Chinese with English abstract).
- [2] 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.
- [3] 秦瑞珂,刘曼曼,熊善柏,等.油炸风味鱼浆猪肉复合香肠的配方优化[J].华中农业大学学报,2019,38(6):33-40.QIN R K, LIU M M, XIONG S B, et al.Formula optimization of fish paste-pork composite sausage with frying flavor [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(6):33-40(in Chinese with English abstract).
- [4] 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.
- [5] 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 [2022-03-21]. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102305>.
- [6] 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).
- [7] 孟祥忍,陈胜妹,陈昌,等.油炸方式对黄金猪排风味品质研究[J].食品科技,2019,44(8):97-103.MENG X R, CHEN S S, CHEN C, et al.Effect of different frying methods on flavor quality of pork chops [J]. Food science and technology, 2019, 44(8):97-103(in Chinese with English abstract).
- [8] 曾文浩,熊怡婷,熊善柏,等.酵母葡聚糖对鲢鱼肉挥发性成分的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(3):94-104.ZENG W H, XIONG Y T, XIONG S B, et al.Effect of yeast β -glucan on volatile compounds of silver carp meat [J]. Journal of Huazhong

- Agricultural University, 2020, 39(3): 94-104 (in Chinese with English abstract).
- [9] 冯廷闯,符漫,熊英梅,等.基于电子舌、电子鼻和GC-MS分析襄阳大头菜新、老卤水滋味和挥发性物质[J].中国酿造,2021,40(11):49-54.FENG T C, FU M, XIONG Y M, et al. Analysis of taste and volatile compounds in new and old brine of Xiangyang mustard root based on electronic tongue, electronic nose and GC-MS[J]. China brewing, 2021, 40(11): 49-54 (in Chinese with English abstract).
- [10] MAHMOUD M A A, BUETTNER A. Characterisation of aroma-active and off-odour compounds in German rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Part II: case of fish meat and skin from earthen-ponds farming[J]. Food chemistry, 2017, 232: 841-849.
- [11] 张聪,陈德慰.油炸食品风味的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2014,5(10):3085-3091.ZHANG C, CHEN D W. Advance in flavor study of the deep-fried food [J]. Journal of food safety & quality, 2014, 5(10): 3085-3091 (in Chinese with English abstract).
- [12] 万重,王宸之,苏赵,等.食物油炸过程中挥发性成分研究进展[J].中国粮油学报,2017,32(12):126-133.WAN C, WANG C Z, SU Z, et al. Research progress on the changes in composition of volatile compounds formed during deep-fat frying process [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(12): 126-133 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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.

Effects of second-step heating on edible quality and content of fat in fish cakes

LU Lin, LU Suo, WU Runlin, GAO Xia, YOU Juan, LIU Ru

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/
National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan)/
Ministry of Education Engineering Research Center of Green Development
for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River
Economic Belt, Wuhan 430070, China*

Abstract The fish cakes pre-made from silver carp were prepared by second-step heating methods to obtain surimi products with low content of fat and malondialdehyde and good sensory properties. The effects of the second-step heating methods including deep-frying, air-frying, pre-frying+air-frying, frying and roasting on the sensory quality and other physical and chemical indicators of fish cakes were studied. Meanwhile, the effects of second-step heating on the content of fat and malondialdehyde in fish cakes were investigated. The results showed that the surface of the fish cake was golden yellow after being heated in the second step. The content of moisture was significantly reduced. The content of fat and malondialdehyde were significantly increased. Among them, the deep-frying fish cakes were better in color and had the highest overall sensory score. Air-frying fish cakes were lower in fat and malondialdehyde and had a sensory score second only to deep-frying fish cakes. The texture properties and flavors of air-frying fish cakes were close to those of deep-frying fish cakes. The air-frying cakes and deep-frying fish cakes were found to be the closest in flavor via electronic nose and volatile component analysis. It is indicated that air frying reduces the content of fat and malondialdehyde in fish cakes, and imparts fried flavor and texture to fish cakes. It is a better alternative to replace the traditional deep-frying method.

Keywords fish cakes; second-step heating; deep-frying; air-frying; edible quality; low oil content fried food

(责任编辑:赵琳琳)