

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,2020,39(6):59-66.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.06.009

空气炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶品质的影响

武润琳,刘曼曼,秦瑞珂,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)/
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 以全鱼浆和猪肉为主要原料,制备鱼浆猪肉复合凝胶,经空气炸制复热后测定其感官品质、质构性能、持水性、水分含量和色度的变化,以优化油炸风味鱼浆猪肉复合凝胶的空气炸制复热条件。结果表明:鱼浆猪肉复合凝胶经空气炸制后具有金黄的色泽和油炸食品的风味与口感,且水分含量降低,持水性增大;相比之下,较低的空气炸制温度(60~130℃)对产品品质影响较小,而提高炸制温度(160~200℃)后,产品的感官得分和破断强度显著增大($P<0.05$),当炸制时间 ≥ 6 min时,弹性和内聚力明显高于未炸制样品的;在炸制过程中硬度和咀嚼度总体呈先上升后下降趋势,说明长时间炸制会降低产品的质构性能。综合而言,鱼浆猪肉复合凝胶最适的空气炸制复热条件是200℃炸制6 min。

关键词 空气炸制;炸制条件;鱼浆;猪肉;复合凝胶;感官品质;质构性能

中图分类号 TS 254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)06-0059-08

在快节奏的生活方式下,人们更倾向于购买即食产品后复热食用。肉糜制品因营养丰富、食用方便、风味口感独特而广受欢迎,同时也是人们获取蛋白质和脂肪的重要来源^[1]。烤制、微波和油炸是常见的热加工手段,其中油炸更利于肉制品外酥里嫩口感的形成,并且油炸食品的金黄色泽和扑鼻香气在国内外备受消费者喜爱^[2]。然而传统的油炸食品含油量高,制作过程会产生大量油烟,还会伴随着丙烯酰胺、晚期糖基化终末产物、杂环胺等安全危害因子的生成^[3-5]。近年来,随着消费者健康意识的提高,开发健康美味的方便食品已成研究热点,有研究发现空气炸制有望替代传统油炸,该技术以高速循环的高温热空气为传热介质,快速带走食品表面的水分,形成油炸食品特有的风味和色泽,且含油率低^[6-8],因此,在日常生活中空气炸锅的使用也被逐渐推广。

肉糜制品的原料组成和加工方式均会影响最终产品的品质,尤其是质构与风味^[9-10]。目前,肉糜凝胶性能的研究主要集中于凝胶的形成过程,对已熟化凝胶的再次复热研究较少,且以微波和蒸煮复热

方式居多。虽然空气炸制与传统油炸所得产品的性能比较接近,但其不同的传热介质会造成产品感官和微观结构的差异^[6,11-12]。因此,空气炸制的加工工艺还有待进一步优化。本研究以鱼浆猪肉复合凝胶为研究对象,以感官评价、质构性能、色度、水分含量和持水性为评价指标,考察空气炸制条件(60~200℃下炸制不同时间)对鱼浆猪肉复合凝胶品质的影响,以期得到适宜的空气炸制复热条件,为进一步丰富健康美味肉糜制品的复热工艺提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

鲢(约1.5 kg/条),购于华中农业大学集贸市场;马铃薯淀粉、复合磷酸盐和大豆分离蛋白分别购于杭州普罗星变性淀粉有限公司、湖北兴发化工集团股份有限公司和临沂山松生物制品有限公司;湖北白猪肉及其他辅料均购于华中农业大学中百超市。

1.2 仪器与设备

HD9232空气炸锅,飞利浦(中国)投资有限公司;骨泥机,日本MASUKO SANGYO公司;高速

收稿日期:2020-09-14

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);湖北省技术创新专项(重大项目)(2017ABA141)

武润琳,博士研究生.研究方向:水产品加工与贮藏. E-mail: wurunlin2018@163.com

通信作者:刘茹,博士,教授.研究方向:水产品加工与贮藏. E-mail: liuru@mail.hzau.edu.cn

分散均质机 FJ-200 型,上海标本模型厂;K600 食品调理机,德国博朗电器;HH-6 恒温水浴锅,金坛市精达仪器制造厂;TA-XT Plus 型物性测试仪,英国 Stable Micro System 公司;CR-400 型色差仪,日本 Konica Minolta 公司。

1.3 试验方法

1) 鱼浆猪肉复合凝胶的制备。参考秦瑞珂等^[7]的方法,将原辅料及调味料等混合斩拌均匀后,抽真空灌肠,并于 90 °C 下煮制 30 min 成型(成型的鱼浆猪肉复合凝胶,水分含量 68.84%,脂肪含量

10.82%,蛋白质含量 14.58%),经流水冷却后,剥去肠衣于空气炸锅中炸制,获得复热后的鱼浆猪肉复合凝胶成品。炸制条件如下:60 °C 下分别炸制 8、10、12、14 min,100 °C 下分别炸制 6、8、10、12 min,130 °C 下分别炸制 4、6、8、10 min,160 °C 下分别炸制 4、6、8、10 min,180 °C 下分别炸制 2、4、6、8 min,200 °C 下分别炸制 2、4、6、8 min。

2) 感官评定。炸制前后的鱼浆猪肉复合凝胶根据表 1 的评分标准进行感官评定,评定小组成员为 6 名通过感官评定培训的研究生(男女比例为 1:1)。

表 1 油炸风味鱼浆猪肉复合凝胶的感官评价标准

Table 1 Sensory score criteria of fish paste/pork composite gel with frying flavour

指标 Index	评分标准 Score criteria	评分 Score
色泽 Color 20%	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,色度较均一,有小块白斑 Golden color of fried foods, moderately uniform, small 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 20%	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 20%	滋味饱满,丰厚悠长,回味鲜美 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 20%	质地均匀、无孔洞、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、孔洞较少、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
	质地不够均匀、孔洞较多、形态欠规则、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、孔洞多、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 20%	具有油炸食品的口感,外酥内弹感强 Strongly crispy outside and elastic inside taste of fried foods	9~10
	具有油炸食品的口感,外酥内弹感较强 Moderately crispy outside and elastic inside taste of fried foods	7~8
	具有油炸食品的口感,外酥内弹感较差 Slightly crispy outside and elastic inside taste of fried foods	4~6
	无油炸食品的口感,无外酥内弹感 No crispy outside and elastic inside taste of fried foods	0~3

3) 穿刺性能和 TPA 性能的测定。参考刘茹^[13]的方法,将样品切成 20 mm 高的圆柱体,使用 TA-XT Plus 物性测试仪,选取 Return to Start 模式和球形探头 P/0.25S 测定样品的穿刺性能,参数设置如下:压缩距离 15 mm,间隔时间 5 s,测前速度 5 mm/s,测试速度 1 mm/s,测后速度 5 mm/s;选取 TPA 模式和 P/36R 探头对样品进行 2 次压缩,测定其 TPA 性能,参数设置如下:压缩比 50%,测前速度 5 mm/s,测试速度 1 mm/s,测后速度

5 mm/s,停留时间 5 s,触发力为 5 g。

4) 持水性及水分含量的测定。将鱼浆猪肉复合凝胶切成厚 5 mm 的薄片并称质量记为 m_1 ,在样品上下方各放 3 张滤纸,再施压 5 kg 的重物持续 1 min,压制后去掉滤纸称质量记为 m_2 ,按公式(1)计算持水性:

$$\text{持水性} = m_2 / m_1 \times 100\% \quad (1)$$

参照 GB 5009.3—2016 中 105 °C 干燥恒质量法对样品进行水分含量的测定。

5) 色度的测定。先将样品切成厚 10 mm 的圆柱体,再用 CR-400 型色差仪对其进行色度测定。

色差仪使用前预热 30 min,并用标准白板校正。 L^* 、 a^* 、 b^* 表示颜色的坐标, L^* 值表示样品的明度, a^* 值表示红绿度, b^* 值表示黄蓝度, c^* 为彩度,表示颜色的浓淡、纯色的程度, ΔE^* 表示 2 种色彩之间的色差,其中 c^* 和 ΔE^* 计算公式如下:

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2} \quad (3)$$

式(2)、(3)中, a_0^* 、 b_0^* 、 L_0^* 表示未炸制鱼浆猪肉复合凝胶的色度值; a^* 、 b^* 、 L^* 表示炸制后鱼浆猪肉复合凝胶的色度值。

1.4 数据处理

采用 Excel、IBM SPSS 23.0 和 Origin 2017 进行数据分析和图表绘制,结果主要表示为“平均值±标准差”,当 $P < 0.05$ 时认为存在显著性差异,试验数据均重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶感官品质的影响

由图 1 可知,炸制后鱼浆猪肉复合凝胶的感官品质得分增大,但温度较低(60~130 °C)时,增幅较小;而提高炸制温度(160~200 °C)后,产品的色泽、气味、滋味和口感得分均显著增大,且随着炸制温度和时间的增加,产品的色泽逐渐变成均匀的金黄色,油炸风味和外酥内弹的口感也越来越明显,这可能源于高温促进了炸制过程中产品的水分蒸发和美拉德反应;在 200 °C 炸制 6 min 时,感官得分达到最大值,此时产品呈现出类似油炸食品的风味、色泽和外酥内弹的口感。整体来看,炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶的形态影响较小,但炸制时间过长(≥ 12 min)会导致形态变差,主要表现为质地不均匀,孔洞较多。综上,高温炸制条件更利于形成类似油炸风味口感的鱼浆猪肉复合凝胶。

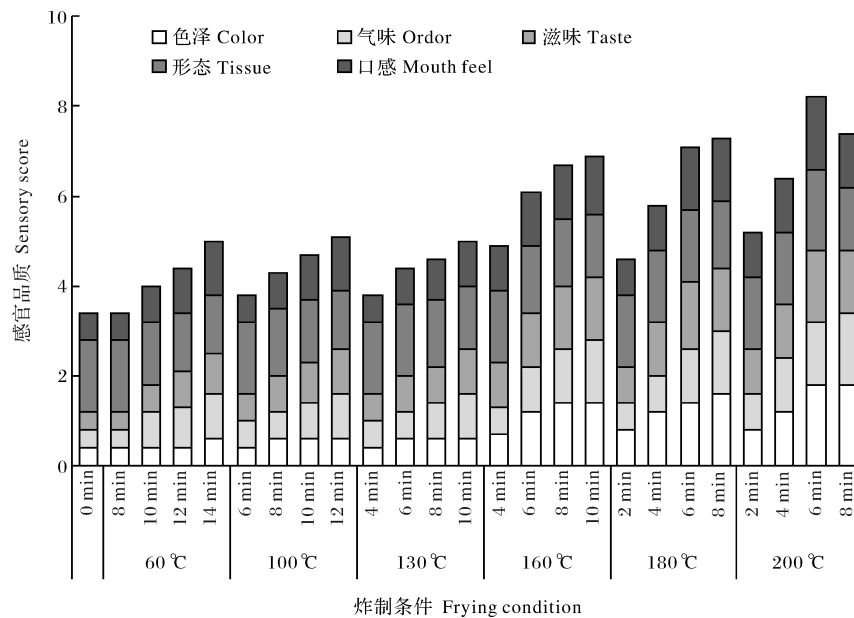


图 1 不同炸制条件下鱼浆猪肉复合凝胶的感官品质

Fig.1 Sensory quality of fish/pork composite gel under different frying conditions

2.2 炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶穿刺性能的影响

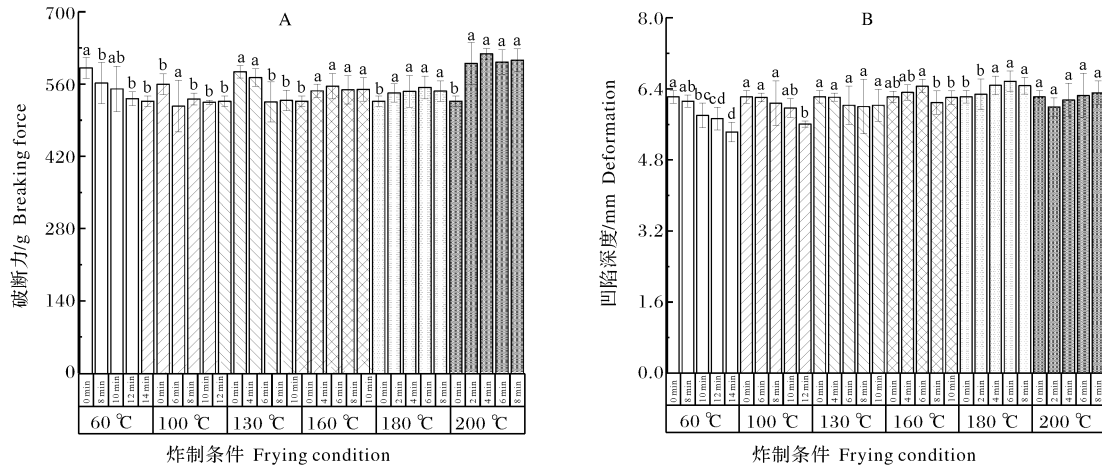
由图 2 可知,在较低温度(60~130 °C)下,鱼浆猪肉复合凝胶破断力随着炸制时间的延长,呈先上升后下降的趋势(图 2A),而温度较高时(160~200 °C),炸制产品的破断力均显著高于未炸制的。对于凹陷深度(图 2B)而言,炸制温度为 60 和

100 °C 时,其值随炸制时间的延长而降低,这可能与长时间炸制导致的产品质地不均匀且孔洞较多有关;130 和 200 °C 炸制对凹陷深度无显著影响($P \geq 0.05$);而 180 °C 炸制 4~8 min 时,产品的凹陷深度明显高于炸制 0~2 min 的。综上,在较高炸制温度(180~200 °C)下,鱼浆猪肉复合凝胶的破断力度和凹陷深度相对较高,具有较好的凝胶强度。

2.3 炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶 TPA 性能的影响

由图 3 可知,炸制温度较低(60~100 °C)时,鱼

浆猪肉复合凝胶 TPA 性能变化不大;130 °C 下,炸制产品的内聚性显著提高,炸制 10 min 时弹性明显增大,而炸制 8~10 min 时产品的硬度和咀嚼度显



同温度下不同小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$), 下同。Different lowercase letters in the same temperature indicate significant difference ($P < 0.05$), the same as below.

图 2 不同炸制条件下鱼浆猪肉复合凝胶的破断力(A)和凹陷深度(B)

Fig.2 Breaking force(A) and deformation (B) of fish/pork composite gel under different frying conditions

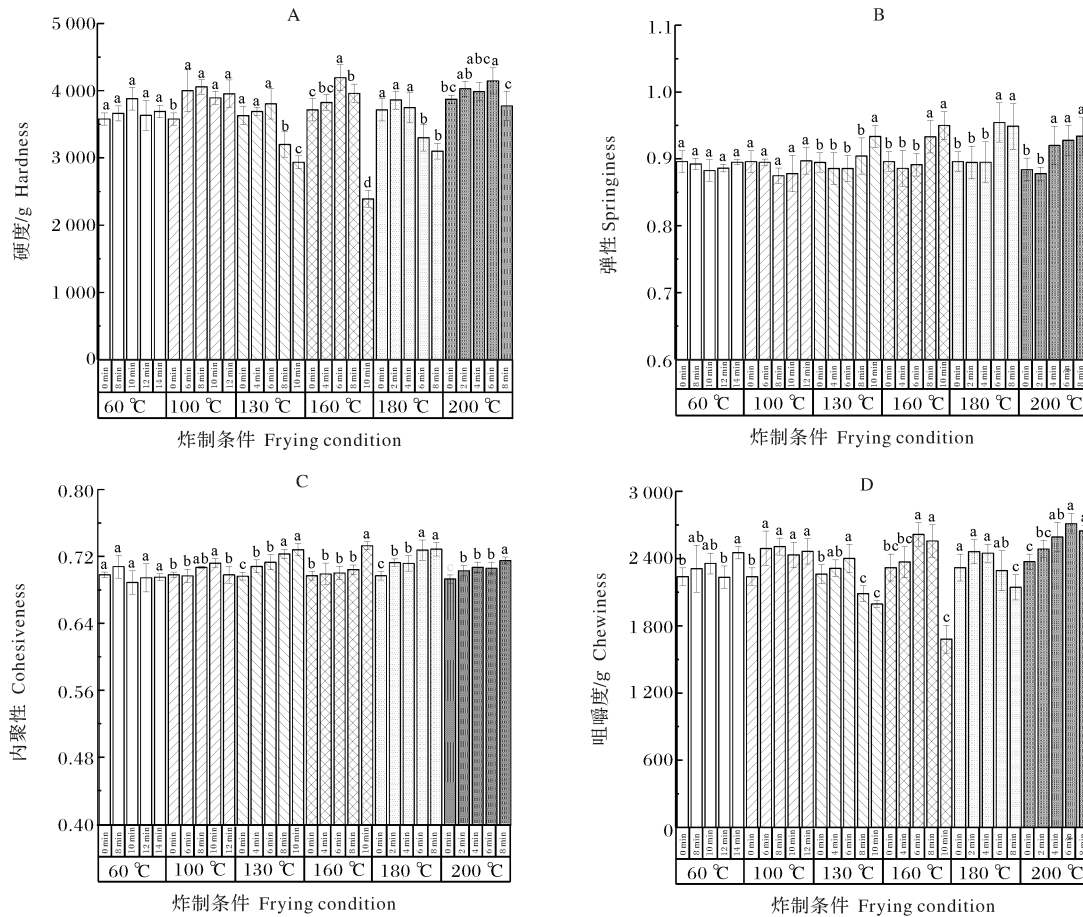


图 3 不同炸制条件下鱼浆猪肉复合凝胶的硬度(A)、弹性(B)、内聚性(C)和咀嚼度(D)

Fig.3 Hardness(A), springiness(B), cohesiveness(C) and chewiness(D) of fish/pork composite gel under different frying conditions

著降低;160~180 °C 温度下,炸制 8~10 min 时产品的弹性显著提高,且 180 °C 炸制 6 min 时,弹性达到最大值;产品的咀嚼度与硬度变化趋势相似,随炸制时间的延长均先增后减,因此,炸制时间过长不利于达到产品所需的口感;200 °C 炸制可显著提高产品的内聚性、弹性和咀嚼度,且炸制 6 min 时,咀嚼度和硬度均达到最大值,这也与感官评价中较高的口感得分相一致。

2.4 炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶水分含量和持水性的影响

在炸制过程中,空气炸锅中高速循环的热空气

会带走鱼浆猪肉复合凝胶的表面水分,随着炸制时间的延长,产品温度逐渐升高,水分蒸发现象更为明显。因此,在图 4 A 中,鱼浆猪肉复合凝胶的水分含量随炸制时间的延长而降低,且炸制温度越高,下降速率越大。图 4 B 显示了炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶持水性的影响,与未炸制样品相比,复热后产品持水性显著提高,且在同一炸制温度下,鱼浆猪肉复合凝胶的持水性随时间延长无显著变化($P \geq 0.05$)。在 200 °C 炸制 6 min 时,持水性达到最大值,这也与此条件下产品具有较强的凝胶强度和咀嚼度相对应。

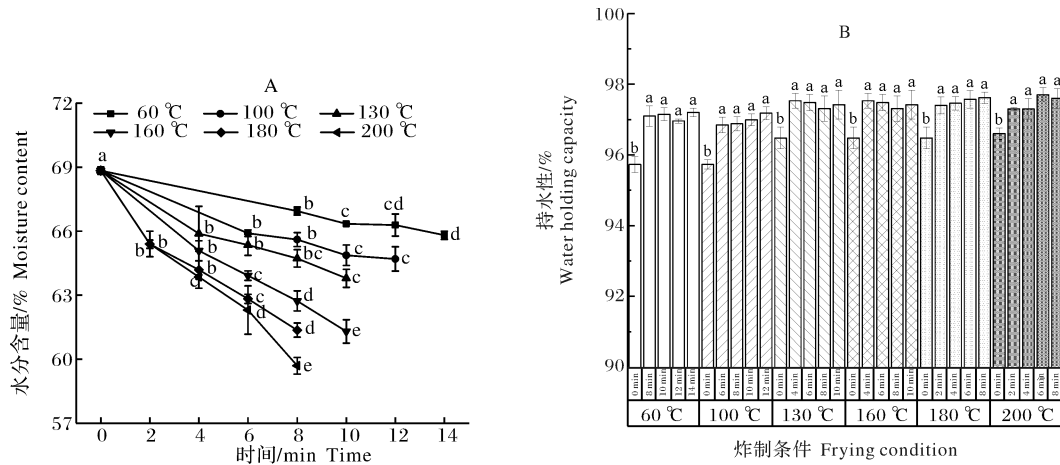


图 4 不同炸制条件下鱼浆猪肉复合凝胶的水分含量(A)和持水性(B)

Fig.4 Moisture content(A) and water holding capacity(B) of fish/pork composite gel under different frying conditions

2.5 炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶色度的影响

由表 2 可知,在炸制过程中,随着炸制时间的延长,鱼浆猪肉复合凝胶表皮的 L^* 值逐渐降低, a^* 、 b^* 、 c^* 和 ΔE^* 值逐渐增大,且炸制温度越高,变化越明显,而复合凝胶内部色泽经测定无显著变化(数据未列出)。整体来看,在低温(60~130 °C)炸制条

件下,当炸制时间较长(≥ 10 min)时,色度值才有明显变化;而在较高炸制温度(160~200 °C)下,炸制超过 4 min,产品 a^* 、 b^* 、 c^* 和 ΔE^* 值已显著提高。因此,高温炸制后产品的表皮色泽变得偏黄、偏红,且温度越高,金黄色越重,这也与感官品质中色泽得分变化相一致。

表 2 不同炸制条件下鱼浆猪肉复合凝胶的表皮色度

Table 2 Color of fish/pork composite gel under different frying conditions

温度/°C Temperature	时间/min Time	L^*	a^*	b^*	c^*	ΔE^*
60	0	71.84±0.96a	0.36±0.03c	10.18±0.98b	10.19±0.23bc	
	8	69.86±1.66ab	0.86±0.15a	9.26±0.56c	9.30±0.56c	2.28±1.68b
	10	68.10±1.37bc	0.56±0.23bc	10.38±1.09b	10.40±1.10b	3.89±1.32ab
	12	66.91±1.20c	0.62±0.28abc	11.34±0.46a	11.36±0.46a	5.09±1.19a
	14	66.40±2.48c	0.78±0.21ab	11.67±0.66a	11.70±0.66a	5.81±2.10a
100	0	71.84±0.96a	0.36±0.03b	10.18±0.98a	10.19±0.23c	
	6	68.95±0.99b	1.03±0.28a	9.71±0.18a	9.77±0.16c	3.02±0.97b
	8	65.69±2.02c	0.91±0.11a	12.06±0.72ab	12.09±0.72ab	6.57±1.66a
	10	63.35±2.42d	1.00±0.03a	11.48±0.67b	11.53±0.67b	8.65±2.31a
	12	64.71±1.21cd	0.99±0.18a	12.26±0.20a	12.30±0.20a	7.46±1.21a

续表 2 Continued Table 2

温度/℃ Temperature	时间/min Time	L^*	a^*	b^*	c^*	ΔE^*
130	0	73.40±0.49a	0.39±0.22a	10.29±0.23d	10.19±0.23d	
	4	68.84±2.32b	0.00±0.28bc	11.52±1.29c	11.52±1.29c	5.03±1.91a
	6	68.14±1.61b	0.06±0.27b	13.05±0.63b	12.96±0.71b	5.95±1.14a
	8	68.02±2.20b	-0.05±0.19bc	14.22±0.43a	14.23±0.43a	6.78±1.80a
	10	68.16±1.72b	-0.27±0.16c	14.08±0.59a	12.86±1.08b	6.55±1.57a
160	0	71.84±0.96a	0.36±0.03c	10.18±0.98c	10.19±0.23d	
	4	67.24±1.39b	0.38±0.37c	11.62±0.96b	11.63±0.96c	4.95±1.18d
	6	64.22±3.01c	3.87±2.02b	16.97±1.18a	17.49±1.48b	11.03±2.86c
	8	61.72±1.75d	5.60±1.03a	18.13±0.93a	18.99±1.14a	14.03±0.49b
	10	55.10±1.71e	6.56±0.62a	17.28±0.61a	18.49±0.70ab	19.24±1.53a
180	0	71.84±0.96a	0.36±0.03c	10.18±0.98c	10.19±0.23c	
	2	69.24±1.22a	-0.14±0.15c	12.90±0.45b	12.90±0.45b	3.88±0.95d
	4	64.26±1.88b	4.49±2.36b	17.40±2.26a	18.04±2.75a	11.45±2.96c
	6	59.71±4.09c	6.10±1.55ab	17.79±0.72a	18.86±0.75a	15.66±3.21b
	8	56.38±1.78d	7.80±2.03a	17.65±1.27a	19.64±1.25a	19.08±1.93a
200	0	71.84±0.96a	0.36±0.03c	10.18±0.98c	10.19±0.23c	
	2	69.12±1.67a	0.21±0.03c	12.05±0.42b	12.05±0.42b	3.57±0.81c
	4	64.69±1.97b	4.06±0.95b	18.22±0.91a	18.68±0.96a	11.46±1.81b
	6	62.20±3.75b	5.10±1.25b	18.32±0.84a	19.04±1.02a	13.74±2.70b
	8	57.42±2.96c	6.85±1.03a	18.11±0.41a	19.39±0.49a	17.76±2.67a

注:同列不同小写字母表示具有显著差异($P<0.05$)。Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

3 讨论

风味和色泽是评价肉制品的重要指标,对消费者的购买欲有重要影响。炸制复热在进一步熟化食品的同时也带来了诱人的风味和色泽。肉制品中风味物质主要包括醛、醇、酮、酚、呋喃和吡嗪等,且主要由美拉德反应($>120\text{ }^\circ\text{C}$)、脂肪氧化降解、肽类、氨基酸及硫胺素的降解($>125\text{ }^\circ\text{C}$)产生^[10,14-15]。鱼浆猪肉复合凝胶由全鱼浆、猪肉、淀粉等组成,富含蛋白质、油脂、糖类等前体物质,试验结果显示炸制温度较高($>130\text{ }^\circ\text{C}$)时,产品滋味气味的感官得分才会显著提高,这是由于高温时以上物质的化学反应速率更快,生成了更多的气味和滋味物质,因此炸制温度对产品风味有较大的影响。此外,有研究指出较致密的凝胶网络结构可通过减少游离氨基酸的流失,增加加工后期风味形成的前体物,进而使产品的特征风味更加突出^[16],推测本研究中高温条件下形成的良好凝胶网络结构,对产品热加工过程中风味物质的形成具有一定的贡献。鱼浆猪肉复合凝胶经炸制后, L^* 值降低, a^* 、 b^* 、 c^* 和 ΔE^* 值均增大,说明产品的表皮明度减小,同时呈现出油炸产品的金黄色。有报道指出炸制食品的金黄色主要源于美拉德反应和焦糖化反应产生的类黑素和焦糖色

素^[15,17],而2种反应的最佳温度分别是 $>120\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $135\text{ }^\circ\text{C}$,在本研究中发现,炸制温度 $>130\text{ }^\circ\text{C}$ 时,色度值和感官评价中色泽得分变化都更为明显,这可能与高温促进了产品炸制过程中的美拉德和焦糖化反应有关。此外,炸制过程中的高温也会促进产品水分的蒸发,而水分含量的减少会通过减弱光反射来降低产品的 L^* 值。这与猪肉块油炸过程中色泽的变化趋势相似^[18],随着油炸时间的延长,产品的明度逐渐降低,颜色逐渐偏黄、偏红,且炸制时间越长,温度越高,变化越显著。Cao等^[8]和赵文宇等^[19]分别对比了空气炸制和深层油炸后鸡块和鱼块的颜色变化,也认为2种炸制方式下产品的颜色变化趋势相似。

鱼浆猪肉复合凝胶经空气炸制后,在获得油炸食品风味色泽的同时,其质地口感也有一定程度的变化。相比之下,低温($60\sim 130\text{ }^\circ\text{C}$)炸制对鱼浆猪肉复合凝胶品质影响较小,而在较高的温度($160\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$)下,产品炸制后感官得分明显增大,破断强度和凹陷深度总体呈上升趋势,弹性和内聚性显著提高,而咀嚼度和硬度先升后降。产品经炸制后,水分含量明显降低,持水性显著增大,这是由于炸制时空气炸锅中高速循环的热空气带走了其中的水分,而水分的蒸发会促进产品收缩,使凝胶网络结构变得更致密,进而提高产品的持水性、凝胶强度和弹

性。因此,在较低温度炸制(尤其是60~100℃)时,鱼浆猪肉复合凝胶质构性能变化较小,可能与产品中较少的水分损失有关。咀嚼度反映的是食品从可咀嚼状态到可吞咽状态所需要的能量,受食品硬度、弹性及内聚性的影响^[20],在本研究中咀嚼度与硬度的变化趋势相似,随炸制时间的延长均先上升后下降。有研究指出在猪油冷却阶段较大的油滴会导致非均匀性重结晶^[21]。本试验中鱼浆猪肉复合凝胶中的油脂在炸制时被融化,均匀地填充于凝胶网络结构中,而长时间炸制产品中融化的脂肪在冷却阶段更易聚集为大油滴,并形成非均匀结晶,进而降低产品的质构性能。

综上,本研究通过测定鱼浆猪肉复合凝胶的感官品质、质构性能、持水性、水分含量和色度等指标,来筛选适宜的空气炸制条件,结合感官评价结果,发现鱼浆猪肉复合凝胶在200℃炸制6min时感官得分最高,且在此条件下产品的弹性、咀嚼度及凝胶强度相对较高。考虑到鱼浆猪肉复合凝胶的品质形成与其原料组成密切相关,在空气炸制过程中样品组分结构的变化规律仍需进一步探究。

参考文献 References

- [1] CHOE J H, JANG A, LEE E S, et al. Oxidative and color stability of cooked ground pork containing lotus leaf (*Nelumbo-nuci-fera*) and barley leaf (*Hordeum vulgare*) powder during refrigerated storage[J]. *Meat science*, 2011, 87(1): 12-18.
- [2] ELLEN C S V, ELIANE T M, CARLOS A C J, et al. Effects of different frying techniques on the color, fatty acid profile, and lipid oxidation of *Arapaima gigas*[J/OL]. *Journal of food processing and preservation*, 2018, 42(11): e13820 [2020-09-14]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13820>.
- [3] WANG Y, HUI T, ZHANG Y W, et al. Effects of frying conditions on the formation of heterocyclic amines and trans fatty acids in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Food chemistry*, 2015, 167: 251-257.
- [4] 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.
- [5] GURUNATHAN B, RAVI A. Overview on mitigation of acrylamide in starchy fried and baked foods[J]. *Journal of the science of food and agriculture*, 2018, 98(12): 4385-4394.
- [6] ARASH G, MOHEBBAT M, ARASH K. Characterizing the cellular structure of air and deep fat fried doughnut using image analysis techniques[J]. *Journal of food engineering*, 2018, 237: 231-239.
- [7] 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).
- [8] 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: 901-913.
- [9] LIU W J, STEVENSON C D, LANIER T C. Rapid heating of Alaska pollock and chicken breast myofibrillar proteins as affecting gel rheological properties[J]. *Journal of food science*, 2013, 78(7): 971-977.
- [10] 周芳伊, 张泓, 黄峰, 等. 肉制品风味物质研究与分析进展[J]. *肉类研究*, 2015(7): 34-37. ZHOU F Y, ZHANG H, HUANG F, et al. Advances in research and analysis of flavor compounds in meat products[J]. *Meat research*, 2015(7): 34-37 (in Chinese with English abstract).
- [11] TERUEL M D 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): 349-358.
- [12] TIAN J, CHEN S, SHI J, et al. Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: an *in vitro* study[J]. *Food structure*, 2017, 14: 30-35.
- [13] 刘茹. 鱼肉和猪肉凝胶的差异及其机制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008. LIU R. Difference and mechanism of gel properties between fish and pork[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008 (in Chinese with English abstract).
- [14] KHAN M I, JO C, TARIQ M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: a systematic review[J]. *Meat science*, 2015, 110: 278-284.
- [15] CHANG C, WU G C, ZHANG H, et al. Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors[J]. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2020, 60(9): 1496-1514.
- [16] 张孝刚, 唐玲, 江霞, 等. 酶法重组牛肉粒加工过程的风味变化[J]. *食品工业*, 2013, 34(10): 136-139. ZHANG X G, TANG L, JIANG X, et al. Flavor changes during the processing of enzymatic recombinant beef granules[J]. *The food industry*, 2013, 34(10): 136-139 (in Chinese with English abstract).
- [17] 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).
- [18] 张亚楠, 包香香, 樊玉霞, 等. 油炸温度和时间对猪肉块品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(13): 19-24. ZHANG Y N, BAO X X, FAN Y X, et al. Effects of deep-fat frying temperature and time on the quality of pork nuggets[J]. *Science and technology of food industry*, 2018, 39(13): 19-24 (in Chinese with English abstract).

- [19] 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/OL]. 食品科学, 2019; 1-13 (2019-12-20) [2020-10-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20191220.0907.014.html>. ZHAO W Y, ZHAO M Y, WANG K X, et al. Effect of frying methods on the eating quality of Coregonus peled meat [J/OL]. Food science, 2019; 1-13 (2019-12-20) [2020-10-13] (in Chinese with English abstract).
- [20] WU M, XIONG Y L, CHEN J, et al. Rheological and microstructural properties of porcine myofibrillar protein-lipid emulsion composite gels[J]. Journal of food science, 2009, 74(4): 207-217.
- [21] SVENSTRUP G, DAGMAR B, KRISTENSEN L, et al. The influence of pretreatment on pork fat crystallization[J]. European journal of lipid science and technology, 2005, 107(9): 607-615.

Effect of air frying conditions on the quality of fish paste/pork composite gel

WU Runlin, LIU Manman, QIN Ruike, XIONG Shanbai, LIU Ru

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

Abstract In recent years, people prefer convenient and healthy food, the consumption of precooked meat products has increased significantly. Deep-frying is a popular and fast method for reheating food. However, frying would result in some food hazard factors and high oil uptake. It was reported that air frying could give food lower oil content, and the quality similar to frying. However, the effect of air frying on food quality was different from frying for the different heat transfer media. It is necessary to optimize the air frying condition. The aim was to investigate the optimum condition of air frying for the fish paste/pork composite gel with fried flavor. The products were prepared from whole fish paste and pork by air frying. The gel properties were evaluated in terms of textural properties, water holding capacity and moisture content. The sensory quality and chroma were also measured. The results showed that the air-fried samples had the golden color and flavor and taste of fried food. In addition, air frying decreased the moisture content, and increased the water holding capacity. In contrast, air frying at low temperature (60~130 °C) hardly influenced the quality of fish paste/pork composite gels, while air frying at high temperature (160~200 °C) significantly improved the sensory score and breaking force. When air-frying time was more than 6 min, both springiness and cohesiveness of air-fried gels were obviously higher than unfried samples. The hardness and chewiness of samples increased followed by a decrease with extension of air frying, indicating that long-time frying had a negative influence on the textural properties. In conclusion, air frying at 200 °C for 6 min was the optimum condition for fish paste/pork composite gels with fried flavor.

Keywords air frying; frying condition; fish paste; pork; composite gel; sensory quality; textural properties

(责任编辑: 赵琳琳)