

响应面法优化猪肉/鱼肉复合调理狮子头的加工工艺

杨眉, 安玥琦, 任洋莹, 易林, 徐国栋, 熊善柏*

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

摘要: 为确定复合调理狮子头的最优加工工艺, 该研究以猪肉/鱼肉复合调理狮子头为研究对象, 研究搅打时间、成型温度、成型时间对复合调理狮子头色度、质构特性、持水性、感官品质的影响, 并运用响应面分析法优化复合调理狮子头的制作工艺。结果表明, 搅打时间、成型温度、成型时间对复合调理狮子头的品质有显著影响 ($P<0.05$)。随着搅打时间的延长, 产品的破断力、破断距离、持水性先升高后降低, 并在搅打 8 min 时达到最大值。随着成型温度的上升, 破断距离、凝胶强度及硬度总体上呈先升高后降低的趋势, 持水性、感官评分随温度的上升先逐渐增加, 在温度超过 90 °C 后基本保持不变。随成型时间的延长, 产品的破断距离、凝胶强度及硬度、内聚性、咀嚼性先升高后降低, 持水性、感官评分先升高后无显著变化, 且在 16 min 时达到最大值。经响应面优化后, 复合调理狮子头的最优加工工艺参数为: 搅打时间 8 min、成型温度 91 °C、成型时间 17 min, 该条件下产品质地优良, 适口性好, 风味独特。

关键词: 猪肉鱼肉复配; 复合调理狮子头; 加工工艺; 质构特性

文章编号: 1673-9078(2023)07-227-236

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.7.0738

Optimizing the Preparation of Pork-fish Lion's Head Meatballs using Response Surface Methodology

YANG Mei, AN Yueqi, REN Yangying, YI Lin, XU Guodong, XIONG Shanbai*

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

Abstract: To optimize the preparation of mixed lion's head meatballs, the effects of mixing time, molding temperature, and molding time on various quality attributes, including color, textural characteristics, moisture retention, and sensory quality of pork-fish lion's head meatballs were investigated. Response surface methodology (RSM) was employed to determine the optimal preparation parameters. The results revealed that the quality of mixed lion's head meatballs displayed significant correlations ($P<0.05$) with mixing time, molding temperature, and molding time. Breaking force, distance to rupture, and moisture retention initially increased with increasing mixing time (up to 8 min) and then decreased. Molding temperature demonstrated a similar trend, where increasing molding temperature initially caused distance to rupture, gel strength, and hardness to increase until reaching a peak, after which they decreased. However, moisture retention and sensory quality displayed a consistent increase with molding temperature (plateauing at 90 °C). Further, an initial increase in molding time resulted in higher values for distance to rupture, gel strength, hardness, cohesion, and chewiness before gradually decreasing. In contrast, moisture retention and sensory qualities exhibited a sharp initial rise before eventually stabilizing. The maximum values for all these parameters were observed at 16 min of molding time. By utilizing RSM, the optimal parameters for preparing mixed lion's head meatballs were determined to be a mixing time of 8 min,

引文格式:

杨眉,安玥琦,任洋莹,等.响应面法优化猪肉/鱼肉复合调理狮子头的加工工艺[J].现代食品科技,2023,39(7):227-236.

YANG Mei, AN Yueqi, REN Yangying, et al. Optimizing the preparation of pork-fish lion's head meatballs using response surface methodology [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(7): 227-236.

收稿日期: 2022-06-10

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-45)

作者简介: 杨眉 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工及贮藏, E-mail: yangby413@163.com

通讯作者: 熊善柏 (1963-), 男, 教授, 研究方向: 水产品加工及贮藏, E-mail: xiongsb@mail.hzau.edu.cn

molding temperature of 91 °C, and molding time of 17 minutes. Meatballs produced with these parameters exhibited excellent texture, palatability, and a distinct flavor.

Key words: pork-fish mixing; mixed lion's head meatballs; preparation process; textural characteristics

狮子头是镇（江）扬（州）地方久负盛名的一道传统美食，其因肥而不腻、鲜香软嫩的口感而广受消费者青睐^[1]。传统的狮子头是以猪肉（瘦肉、肥膘）为原料，经切分成粒、调配、搅打、搓圆成型、水煮定型等工序制成，食用前须经文火长时间炖煮^[2]。为保证狮子头鲜香软嫩的口感，通常需要添加较高比例的肥膘，且猪肉颗粒不能太细，因而存在产品脂肪含量过多、凝胶形成能力弱等问题，不利于机械化生产和健康需要。我国淡水资源丰富，是全球最大的淡水鱼生产国，白鲢等淡水鱼产量高、鱼价便宜，以淡水鱼生产的冷冻鱼糜已成为鱼糜制品等食品生产的重要原料，而且鱼糜中蛋白质含量高、脂肪含量低，具有良好的凝胶形成能力^[3]。刘茹^[4]发现猪肉与鱼肉以一定比例复配时会产生协同增效作用，其进一步通过拉曼光谱分析发现，二者以 7:3 复配时产生了更多的有利于凝胶形成的 β -折叠结构。在猪肉中添加适当比例鱼肉，不仅可以降低成品中脂肪含量和生产原料成本，而且可以有效改善制品的风味和凝胶品质^[5]。目前许多科研工作者对狮子头工艺进行了诸多研究，鲍会梅等^[6]通过正交试验确定了制作狮子头过程中淀粉、食盐和烹饪时间的最佳参数。唐建华等^[7]对狮子头进行试验后发现加热时间是影响其质量的关键因素。朱文政等^[8]通过分析不同肥瘦比例和烹制时间下狮子头的挥发性风味物质，发现烹饪 120 min 时 7:3 比例的狮子头风味物质组成更丰富。

由于不同企业、餐馆等制作狮子头的加工工艺不同，成品的外观、质地、口感、风味等品质具有不稳定性，这极大地限制了其市场竞争力；除此之外，传统狮子头的生产方式多以手工为主，生产效率低，导致其销售范围受限^[9]。因此在快节奏的生活方式下，亟需改变传统狮子头的生产方式，改进其加工工艺以促进狮子头的规模化生产，不断增强其市场竞争力。基于此，本研究以猪肉/鱼肉复合调理狮子头为研究对象，研究搅打时间、成型温度、成型时间对复合调理狮子头品质的影响，并通过响应面法确定其最优加工

工艺，为猪肉/鱼肉复合调理狮子头的工业化生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料

猪瘦肉、肥膘，华中农业大学中百超市；冷冻鲢鱼糜（AAA 级），洪湖市井力水产食品股份有限公司；马铃薯淀粉，天津顶峰淀粉开发有限公司；食盐、葱、姜、料酒、味精、芝麻油、胡椒粉均购自华中农业大学中百超市。

1.2 主要仪器设备

电动搅打机，合嘉信厨具机械厂；CombiMax 600 型食品料理机，德国博朗公司；HH-2 型数显恒温水浴锅，常州澳华仪器有限公司；TA-XT Plus 物性测试仪，英国 Stable Micro System 公司；CR-400 色差仪，日本柯尼卡-美能达公司。

1.3 方法

1.3.1 复合调理狮子头的制备

将猪瘦肉、肥膘分别切成 3 mm×3 mm×3 mm 的石榴粒状，解冻后的鱼糜低速斩拌 1 min，加盐 1.5% 快速斩拌 1 min 后备用。以猪肉与鱼糜总质量为基准，根据实验室前期结果将猪瘦肉与鱼糜按质量比 7:3 复配，根据实验前期结果加入肥膘 20%、葱姜料酒汁 6%、味精 1.2%、芝麻油 1%、胡椒粉 0.35%（均以猪肉和鱼肉总质量为基准），电动搅打机低速搅打 3 min；然后加水 5% 进行二次低速搅打 3 min；接着添加水 5%，淀粉 6%，继续低速搅打 3 min。搅打完毕后按产品规格每个 60 g 称取肉糜，用手搓成圆球状，放入 90 °C 锅中煮制 20 min，捞出成品自然冷却后于 4 °C 冷藏备用。

1.3.2 单因素试验设计

复合调理狮子头的加工工艺单因素试验设计表如表 1。

表 1 加工工艺单因素试验设计表

Table 1 Single factor experimental design table for technological conditions

序号	因素	因素水平	其他条件	检测指标
1	搅打时间/min	2、4、6、8、10	成型温度 90 °C，成型时间 20 min	
2	成型温度/°C	60、70、80、90、100	搅打时间 8 min，成型时间 20 min	色度、质构特性、持水性、感官品质
3	成型时间/min	8、12、16、20、24	搅打时间 8 min，成型温度 90 °C	

1.3.3 响应面优化设计

以复合调理狮子头的硬度和感官评分为响应值，采用 Box-Behnken 的中心组合试验设计和响应面分析法优化其加工工艺参数。试验设计见表 2。

表 2 Box-Behnken 试验因素与水平

Table 2 Box-Behnken test factors and levels

因素水平	搅打时间/min	成型温度/℃	成型时间/min
-1	6	80	12
0	8	90	16
1	10	100	20

1.3.4 质构特性的测定

参考刘茹^[4]的方法，并略作改动。将复合调理狮子头用切刀模具切成直径 25 mm、高 20 mm 的圆柱体，断面中心置于探头正下方的样品台上。穿刺特性测定时选用球型探头 P/0.25S，模式为 Return to Start，压缩距离 10 mm；全质构（Texture Profile Analysis，

TPA）测定时选用探头 P/36R，压缩比 50%。其他参数设置：测试前速率 2 mm/s，测试速率 1 mm/s，测试后速率 1 mm/s，间隔时间 5 s。每个样品做 5 个平行。

1.3.5 持水性的测定

参考 Kocher 等^[10]的方法，略作修改。将复合调理狮子头用切刀模具切成 5 mm 厚的圆片并称重（ M_1 ，g），双层滤纸包裹后在 4 000 r/min 转速下离心 15 min，去掉滤纸后称重（ M_2 ，g）。按式（1）计算持水性。

$$W = \frac{M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

W ——持水性，%；

M_1 ——狮子头切得圆片样品质量，g；

M_2 ——离心去掉滤纸后的样品质量，g。

1.3.6 感官评价

表 3 猪肉鱼肉复合调理狮子头感官评价标准

Table 3 Sensory evaluation criteria of pork/fish composite prepared meatballs

指标	评分标准	分值/分
色泽/20%	肉质浅粉色，光泽感明显	8~10
	肉质偏红或偏白，略有光泽	4~7
	肉质呈暗色，无光泽	1~3
组织状态/20%	切面光滑，结构致密，手指轻轻按压有浅坑	8~10
	切面略粗糙，结构略松散，手指轻轻按压有深坑	4~7
	切面粗糙，结构松散，手指轻轻按压就松散	1~3
气味/20%	有混合香味	8~10
	肉香味不足，略有腥味	4~7
	无肉香味，腥味过重	1~3
滋味/20%	咸淡适中，鲜香可口	8~10
	略咸或略淡，鲜香味不明显	4~7
	口味过咸或过淡，无鲜香味	1~3
口感/20%	软嫩适口，肥而不腻	8~10
	咀嚼偶尔有明显的颗粒感，较软嫩	4~7
	有明显的颗粒感，不软嫩	1~3

根据 SB/T 10610-2011《肉丸》制定感官评价标准，选取 6 名经过食品感官培训的人员组成感官评鉴小组，在感官实验室于室温下对成型后的猪肉/鱼肉复合调理狮子头的色泽、组织状态、气味、滋味、口感进行打分。猪肉/鱼肉复合调理狮子头的感官评价标准见表 3。

1.4 数据处理

实验数据采用 Origin 2021 进行绘图，SPSS 25 软件进行数据分析，采用 ANOVA 方差分析及 Duncan's 检验（ $P<0.05$ ），实验结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与讨论

2.1 搅打时间对复合调理狮子头品质的影响

2.1.1 搅打时间对复合调理狮子头质构特性的影响

搅打是狮子头制作过程中极为关键的一道工序。原料肉、水、淀粉等以及调味料通过反复搅打，不断混合均匀，伴随着搅打产生的剪切力使肉质逐渐细化，加速对结缔组织膜的破坏，方便盐溶性肌原纤维蛋白的溶出。由表 4 可知，复合调理狮子头的破断力、破

断距离、凝胶强度随搅打时间的延长呈先上升后下降的趋势。在搅打时间 8 min 时,复合调理狮子头的破断力、破断距离和凝胶强度达到最大,比 2 min 处理组分别提高了 18.74%、33.46%、40.77%。由表 5 可知,随着搅打时间的延长,复合调理狮子头的硬度和咀嚼性先上升后下降。在搅打时间 8 min 时,产品的硬度、弹性、咀嚼性达到最大值,与穿刺特性结果具有一致性。适宜的搅打时间能够有效提高复合凝胶制品的质构特性:若搅打时间过短,猪瘦肉和鱼糜中的

盐溶性肌原纤维蛋白无法充分溶出导致蛋白凝胶化程度低,进而引起产品质构特性的下降;若搅打时间太长,物料与容器之间摩擦生热导致肉糜温度上升,部分蛋白发生变性;同时,过长的搅打时间也相应延长了肌肉细胞释放的组织蛋白酶作用于肌原纤维蛋白的时间^[11]。此外,肉糜温度上升也会降低脂肪球表面张力,使脂肪球变小,增加了脂肪球表面积,使肉糜体系的乳化稳定性下降,造成破乳^[12],其共同作用导致产品质地品质的降低。

表 4 搅打时间对复合调理狮子头穿刺特性的影响

Table 4 The effect of stirring time on puncture properties of composite prepared meatballs

搅打时间/min	破断力/g	破断距离/mm	凝胶强度/g·mm
2	253.17±37.49 ^c	5.32±0.43 ^b	1 349.44±250.07 ^c
4	285.99±10.08 ^{abc}	6.17±0.33 ^{ab}	1 760.18±79.50 ^{abc}
6	294.17±38.58 ^{ab}	6.56±1.37 ^{ab}	1 899.63±265.27 ^{ab}
8	300.61±18.51 ^a	7.10±1.54 ^a	2 149.77±568.72 ^a
10	260.51±16.44 ^{bc}	5.78±0.33 ^{ab}	1 506.20±135.52 ^{bc}

注:不同字母表示样品间存在显著差异($P<0.05$)。下表同。

表 5 搅打时间对复合调理狮子头 TPA 的影响

Table 5 The effect of stirring time on TPA of composite prepared meatballs

搅打时间/min	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g
2	2 654.79±185.36 ^c	0.77±0.06 ^a	0.42±0.05 ^a	850.60±104.68 ^c
4	3 327.19±262.21 ^{ab}	0.70±0.03 ^b	0.41±0.05 ^a	941.56±91.93 ^c
6	3 378.53±236.26 ^{ab}	0.75±0.05 ^{ab}	0.50±0.05 ^a	1 251.13±82.92 ^{ab}
8	3 634.79±110.19 ^a	0.78±0.03 ^a	0.49±0.09 ^a	1 364.75±203.93 ^a
10	3 114.25±364.90 ^b	0.75±0.02 ^{ab}	0.49±0.11 ^a	1 121.10±138.08 ^b

2.1.2 搅打时间对复合调理狮子头持水性的影响

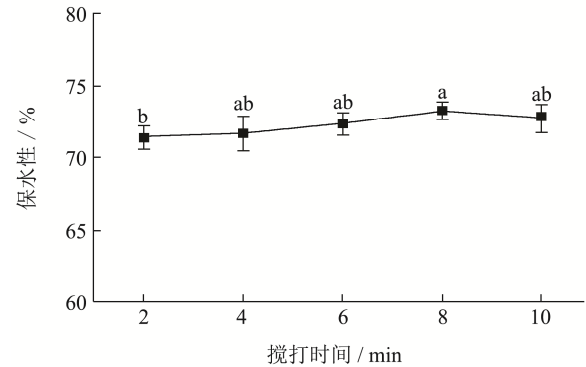


图 1 搅打时间对复合调理狮子头持水性的影响

Fig.1 The effect of different fish paste on water holding capacity of composite prepared meatballs

注:图中不同字母表示样品间存在显著差异($P<0.05$)。

图 3~5 同。

图 1 显示了搅打时间对复合调理狮子头的影响。复合调理狮子头的持水性在搅打时间为 8 min 时取得最大值,此时持水性达到 73.23%,说明复合凝胶网络致密,水分子和蛋白质紧密结合,产品内部的水分不

易析出,从而使持水性增强。进一步延长搅打时间,脂肪粒变小,表面积增大,蛋白膜无法将脂肪粒充分包裹,加热时易出油出水,产品汁液流失严重^[13]。

2.1.3 搅打时间对复合调理狮子头感官品质的影响

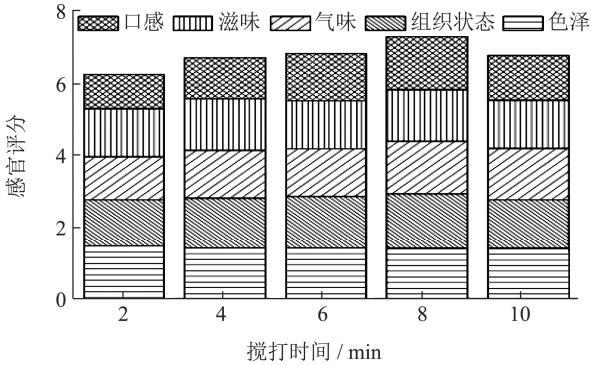


图 2 搅打时间对复合调理狮子头感官品质的影响

Fig.2 The effect of stirring time on sensory quality of composite prepared meatballs

感官评分是考察产品综合品质的一项重要指标,反映了消费者对其接受程度。搅打时间对复合调理狮

子头感官品质的影响如图 2 所示。搅打时间对产品的感官品质有显著性影响($P<0.05$),当搅打时间为 8 min 时,复合调理狮子头切面光滑,猪肉和鱼肉分布均匀,产品的适口性好。同时,感官评鉴过程中食品中的风味物质在口腔中逐渐释放,风味物质的释放和扩散与凝胶网络结构相关^[14]。搅打时间为 8 min 时,产品的滋味、气味达到最大,说明适当的搅打时间有利于蛋白交联形成良好的网络结构,从而促进风味物质释放。

2.2 成型温度对复合调理狮子头品质的影响

2.2.1 成型温度对复合调理狮子头质构特性的影响

热加工是肉丸生产的关键环节,温度的高低与制品的质地密切相关。表 6 显示了成型温度对复合调理狮子头穿刺特性的影响。产品的破断力、破断距离、凝胶强度总体上随温度的升高呈先上升后下降的趋势。当成型温度为 90 ℃时,其凝胶强度最大。内源性蛋白酶是导致鱼糜凝胶劣化的重要原因之一。研究发现鱼肉中蛋白酶活性在 5~60 ℃较低,超过 65 ℃急剧上升,至 70 ℃达到最大,而后迅速下降,80 ℃蛋白酶活性趋近于 0^[4]。因此在 60~70 ℃时,蛋白酶水解蛋白质导致凝胶劣化,使猪肉/鱼肉复合凝胶体系的凝胶强度相应下降。当成型温度 80~90 ℃时,由于避开了内源性蛋白酶活性较高的温度带,减弱了鱼糜凝胶劣化作用,从而提高复合凝胶体系的凝胶强度。芮

汉明等^[15]认为肌肉中不同的蛋白质其变性温度是不同的:肌球蛋白 30 ℃、肌动球蛋白 45~50 ℃、肌球蛋白 70~80 ℃、原肌球蛋白和肌钙蛋白 80 ℃。因此当成型温度为 60~70 ℃时,只有一小部分蛋白变性,蛋白交联度低,凝胶强度低。随着成型温度上升到 80 ℃,蛋白质基本已经变性,形成了稳定的三维网状结构,凝胶强度增强。随着成型温度进一步提高到 100 ℃,由于沸水不利于疏水基团的暴露和蛋白质的交联^[16],因此复合调理狮子头的破断力、破断距离、凝胶强度出现不同程度地降低。

由表 7 可知,猪肉/鱼肉复合调理狮子头的硬度随加热温度的上升而增大,90 ℃热加工时达到最大,进一步升高温度又显著下降($P<0.05$);咀嚼性、弹性随着温度的升高先增加后又趋于平缓。肉制品在热加工时,其硬度、咀嚼性等质构特性的变化与蛋白质受热变性密不可分。低温(60、70 ℃)的热加工条件不足以改变肌纤维的状态,蛋白变性程度低。随着加热温度升高到 80 ℃,蛋白质高级结构逐渐展开,暴露出活性基团,蛋白间交联作用增强,表现为产品的硬度上升^[17],而当成型温度较过高时,肉中蛋白质(尤其是肌原纤维蛋白及结缔组织)因剧烈变性而导致组织松散、硬度下降^[18]。因此结合表 6 和表 7 的结果可知,在成型温度 90 ℃时,复合调理狮子头表现出良好的质地品质。

表 6 成型温度对复合调理狮子头穿刺特性的影响

Table 6 The effect of molding temperature on puncture properties of composite prepared meatballs

成型温度/℃	破断力/g	破断距离/mm	凝胶强度/g·mm
60	210.50±29.96 ^b	9.38±0.67 ^a	1 962.92±216.30 ^{bc}
70	312.06±71.74 ^a	5.80±0.29 ^c	1 807.00±422.14 ^c
80	357.79±38.18 ^a	7.24±1.94 ^{bc}	2 635.83±944.22 ^{ab}
90	353.39±35.49 ^a	8.30±1.82 ^{ab}	2 891.80±507.24 ^a
100	339.99±24.52 ^a	6.02±0.54 ^c	2 043.91±201.62 ^{bc}

表 7 成型温度对复合调理狮子头 TPA 的影响

Table 7 The effect of molding temperature on TPA of composite prepared meatballs

成型温度/℃	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g
60	1 343.22±150.44 ^d	0.71±0.01 ^c	0.55±0.01 ^a	517.04±62.58 ^c
70	2 736.37±116.04 ^c	0.74±0.02 ^{bc}	0.45±0.02 ^b	912.06±37.81 ^b
80	4 218.28±128.81 ^{ab}	0.77±0.02 ^{ab}	0.47±0.07 ^b	1 528.54±272.05 ^a
90	4 400.16±391.43 ^a	0.77±0.03 ^{ab}	0.44±0.06 ^b	1 493.90±317.32 ^a
100	4 069.76±177.25 ^b	0.78±0.05 ^a	0.43±0.02 ^b	1 359.73±66.86 ^a

2.2.2 成型温度对复合调理狮子头持水性的影响

由图 3 可以看出,成型温度对猪肉/鱼肉复合调理狮子头的持水性有显著性影响($P<0.05$)。随着成型温度的升高,产品的持水性先升高后降低,在成型温度为

90 ℃时取得最大值。凝胶实质上是蛋白质分子间或分子内互相交联,将水、脂肪、淀粉等物质包裹在内而形成的三维网络结构,动物品种、加热条件等都会对其产生影响。50~70 ℃为鱼糜凝胶劣化温度带,肌球蛋白在

内源性蛋白酶的作用下水解,凝胶结构遭到破坏^[19],因此成品在 60 ℃时持水力最低。本研究结果显示复合调理狮子头的持水性在 90 ℃达到最大,可能是 70~80 ℃时复合肌原纤维蛋白分子间相互作用形成网状结构;在 90 ℃时,蛋白间的交联程度加深,使产品的凝胶强度增加;但随着加热温度过高,肌原纤维蛋白过度聚集会破坏凝胶网状结构,导致产品失水率增加^[20]。

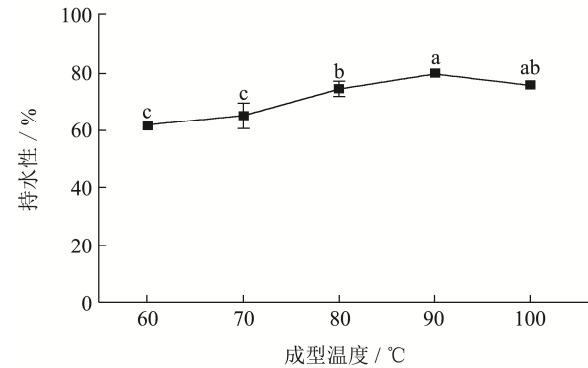


图3 成型温度对复合调理狮子头持水性的影响

Fig.3 The effect of molding temperature on water holding capacity of composite prepared meatballs

2.2.3 成型温度对复合调理狮子头感官品质的影响

由图 4 可知,复合调理狮子头的感官评分随着成型温度的上升呈先增大后减小的趋势。当成型温度为 60 ℃时,产品的组织结构松散,口感过于绵软,各项评分均最低;而当成型温度上升到 90 ℃时,产品的可接受度最高,结构致密,具有良好的风味和口感,感官评分达到最大;若温度增加到 100 ℃,产品的气味评分降低,肉香味淡薄,芮汉明等^[15]认为蛋白质剧烈变性产生的硫化氢等物质会减弱产品的香味。同时,

蛋白剧烈变性也会导致凝胶体系持水性的下降,产品汁液流失严重,其多汁性和口感也相应受到影响。

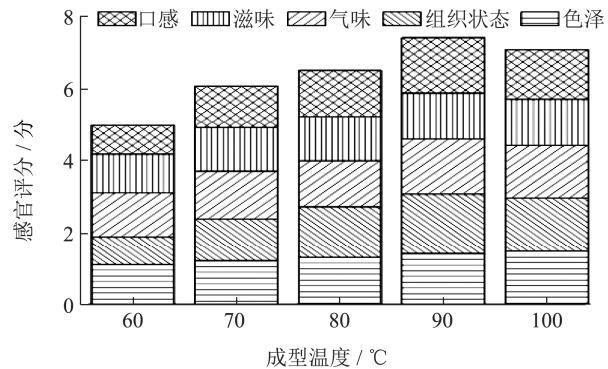


图4 成型温度对复合调理狮子头感官品质的影响

Fig.4 The effect of molding temperature on sensory quality of composite prepared meatballs

2.3 成型时间对复合调理狮子头品质的影响

2.3.1 成型时间对复合调理狮子头质构特性的影响

质构是肉类品质变化的重要表现^[21],不同成型时间会对肉制品的质构产生不同的影响。由表 8 可知,当成型时间为 12 min 时,复合调理狮子头的破断距离和凝胶强度达到最大值,其比 8 min 组分别提高了 36.41%、35.65%。这可能与加热条件下,肌原纤维蛋白之间的交联程度不断增强,凝胶网络结构排列更加致密有序相关。当成型时间超过 12 min 后,产品的破断力、破断距离、凝胶强度逐渐降低,这是因为加热时间过长,蛋白质分子之间、蛋白质和水分子之间的交联作用被破坏,肌原纤维蛋白混乱无序,网状结构松散,导致产品穿刺特性的下降^[22]。

表 8 成型时间对复合调理狮子头的穿刺特性的影响

Table 8 The effect of molding time on puncture properties of composite prepared meatballs

成型时间/min	破断力/g	破断距离/mm	凝胶强度/g·mm
8	300.80±16.35 ^a	6.40±2.09 ^{ab}	1 907.89±569.14 ^{bc}
12	298.95±19.34 ^a	8.73±1.47 ^a	2 587.97±300.11 ^a
16	279.16±23.97 ^{ab}	8.15±2.15 ^{ab}	2 260.85±584.47 ^{ab}
20	264.88±11.10 ^b	6.25±0.48 ^{ab}	1 656.72±162.53 ^{bc}
24	261.62±8.84 ^b	5.75±0.80 ^c	1 508.50±253.69 ^c

表 9 成型时间对复合调理狮子头 TPA 的影响

Table 9 The effect of molding time on TPA of composite prepared meatballs

成型时间/min	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g
8	3 114.43±174.13 ^b	0.77±0.01 ^a	0.38±0.02 ^c	895.34±50.05 ^{bc}
12	3 470.19±242.02 ^a	0.78±0.05 ^a	0.41±0.05 ^{ab}	1 114.56±144.76 ^a
16	3 323.29±215.50 ^{ab}	0.81±0.15 ^a	0.42±0.05 ^{ab}	1 122.73±219.85 ^a
20	3 069.52±159.00 ^b	0.74±0.05 ^a	0.46±0.06 ^a	1 041.67±137.03 ^{ab}
24	2 757.59±172.47 ^c	0.75±0.04 ^a	0.40±0.03 ^c	821.64±74.00 ^c

由表 9 可知,复合调理狮子头的硬度、内聚性、咀嚼性在 12 min 时显著升高,随着成型时间延长到 20 min,其质构特性并无显著性变化;当成型时间为 24 min 时,产品的硬度、内聚性、咀嚼性显著降低 ($P<0.05$)。在适宜的加热时间下,蛋白逐渐变性,高级结构不断伸展,蛋白分子间交联度不断增大,形成平滑而致密的凝胶结构^[23]。但加热时间过长会影响狮子头的成型,导致产品软烂,质地变差,不利于成品的复热。

2.3.2 成型时间对复合调理狮子头持水性的影响

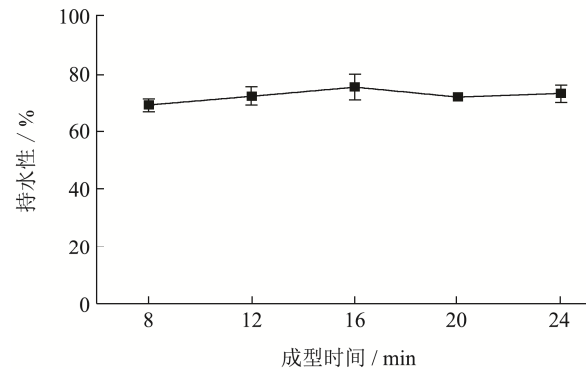


图 5 成型时间对复合调理狮子头持水性的影响

Fig.5 The effect of molding time on water holding capacity of composite prepared meatballs

肉类原料中含有较多的水分,占 70%~75%左右,其含量和存在状态影响着肉制品的品质^[24]。由图 5 可知,在成型时间 8~16 min 范围内,复合调理狮子头的持水性随成型时间的延长逐渐升高,并在 16 min 时达到最大,这可能是由于蛋白间的交联度不断增强,凝胶网络结构更加致密有序,其对水分子的截留能力不断增强。加热 16 min 后产品的持水性并无显著性差异,这说明一定时间的热处理有助于蛋白分子间发生交联作用,但随着加热时间的进一步延长,产品的持水性并没有明显提升。

2.3.3 成型时间对复合调理狮子头感官品质的影响

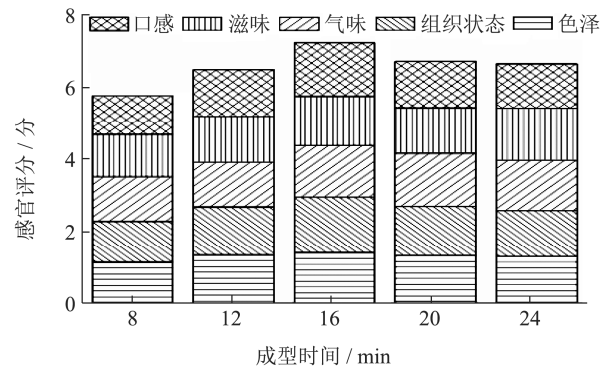


图 6 成型时间对复合调理狮子头感官品质的影响

Fig.6 The effect of molding time on sensory quality of composite prepared meatballs

由图 6 可知,成型 8 min 时复合调理狮子头的色泽、组织状态、气味、滋味、口感评分最低,产品质地差,咀嚼起来有渣粒感、绵软感,这与蛋白变性不彻底且交联度低、淀粉糊化不完全有关;在成型 16 min 时,产品切面平整,光洁度高,软嫩适口,可见在适宜的成型时间下,产品具有良好的感官品质;若成型时间继续延长,产品过度熟化,其感官评分也相应降低。

2.4 复合调理狮子头加工工艺优化

表 10 复合调理狮子头加工工艺响应面试验设计方案及试验结果

Table 10 Response surface experimental design scheme and experimental results of composite prepared meatballs processing technology

项目	搅打时间/min	成型温度/℃	成型时间/min	硬度/g	感官评价
1	6	80	16	2 756.55	5.83
2	10	80	16	2 252.07	6.02
3	6	100	16	2 632.99	6.77
4	10	100	16	2 573.74	6.53
5	6	90	12	2 368.21	6.58
6	10	90	12	2 322.30	6.37
7	6	90	20	2 913.84	6.98
8	10	90	20	2 599.79	6.67
9	8	80	12	1 943.03	5.92
10	8	100	12	2 711.41	6.68
11	8	80	20	2 729.57	6.83
12	8	100	20	2 132.14	6.47
13	8	90	16	2 999.64	6.98
14	8	90	16	3 061.19	7.30
15	8	90	16	3 133.37	7.23
16	8	90	16	3 355.72	7.43
17	8	90	16	3 085.79	7.25

根据前期 2.1、2.2、2.3 单因素实验结果,选择搅打时间(6、8、10 min)、成型温度(80、90、100 ℃)、成型时间(12、16、20 min)为试验因素,以复合调理狮子头的硬度和感官评分为响应值,进行响应面优化试验,试验设计及结果见表 10。

2.4.1 加工工艺参数对硬度影响的分析

运用 Design Expert 8.0.6.1 软件,以硬度为响应值,对表 10 的试验数据进行多元回归拟合,得到硬度(Y)与搅打时间(X_1)、成型温度(X_2)、成型时间(X_3)的二次回归方程: $Y=3\ 127.14-115.46X_1+46.13X_2+128.80X_3+111.31X_1X_2-67.04X_1X_3-341.45X_2X_3-200.65X_1^2-372.65X_2^2-375.45X_3^2$,对方程各项参数的系数进行统

计学分析, 结果见表 11。由表可知, 以硬度作为响应值时, 模型的 $P<0.01$, 表明该模型达到极显著水平。失拟项 $P=0.50>0.05$, 说明拟合方程可信度高, 且该模型的 $R^2=0.95$, 表明试验数据与回归数学模型拟合效果良好, 可用其推测和分析试验结果。从方差分析表

可知, X_2X_3 、 X_2^2 、 X_3^2 对硬度有极显著影响 ($P<0.01$), X_3 、 X_1^2 对硬度有显著影响 ($P<0.05$), X_1 、 X_2 、 X_1X_2 、 X_1 、 X_1X_3 对硬度无显著性影响 ($P>0.05$)。由表可知, $F(X_3)>F(X_1)>F(X_2)$, 即对复合调理狮子头硬度影响的顺序依次为成型时间>搅打时间>成型温度。

表 11 硬度的显著性检验及方差分析

Table 11 Significance test and ANOVA of hardness

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	2.28×10 ⁶	9	2.54×10 ⁵	13.95	1.10×10 ⁻³	**
X_1	1.07×10 ⁶	1	1.07×10 ⁵	5.86	0.05	
X_2	1.70×10 ⁴	1	1.70×10 ⁴	0.94	0.37	
X_3	1.33×10 ⁵	1	1.33×10 ⁵	7.30	0.03	*
X_1X_2	4.96×10 ⁴	1	4.96×10 ⁴	2.73	0.14	
X_1X_3	1.80×10 ⁴	1	1.80×10 ⁴	0.99	0.35	
X_2X_3	4.66×10 ⁵	1	4.66×10 ⁵	25.65	1.50×10 ⁻³	**
X_1^2	1.70×10 ⁵	1	1.70×10 ⁵	9.32	0.02	*
X_2^2	5.85×10 ⁵	1	5.85×10 ⁵	32.15	8.00×10 ⁻⁴	**
X_3^2	5.94×10 ⁵	1	5.94×10 ⁵	32.64	7.00×10 ⁻⁴	**
残差误差	1.27×10 ⁵	7	1.82×10 ⁴			
失拟项	5.27×10 ⁵	3	1.76×10 ⁴	0.94	0.50	
纯误差	7.46×10 ⁴	4	1.87×10 ⁴			
总和	2.41×10 ⁶	16				
R^2	0.95					
调整 R^2	0.88					

注: “**”表示差异极显著 ($P<0.01$); “*”表示差异显著 ($P<0.05$)。

常利用响应面和等高线来考察两个变量间交互作用对响应值的影响。响应面平缓程度反映了该因素对响应值的影响程度, 曲面越陡则影响越大; 等高线的形状反映变量间交互作用的大小, 形状越接近椭圆则交互作用越大^[25]。由图 7a 可知, 当成型时间一定时, 等高线呈椭圆状, 表明成型温度和搅打时间交互作用对硬度的影响较强。由图 7b 可知, 当成型温度一定时, 等高线呈椭圆状, 表明成型时间和搅打时间交互作用对硬度的影响较强。由图 7c 可知, 当搅打时间一定时, 等高线呈椭圆状, 表明成型温度和成型时间交互作用对硬度的影响较强, 且成型温度和成型时间交互作用显著。结合本实验前期相关数据, 复合调理狮子头的硬度在 2 700~3 700 g 范围内表现较好的感官品质。考虑到其食用前须经文火长时间炖煮的特点, 为保证产品外形的完整性及软嫩口感, 因此产品的硬度在此范围内越大越好。从图 7 可知, 响应值 (Y_1) 存在极大值, 即设计参数中存在提高产品硬度的最优加工条件, 将方程导数化后求极值 (最大值), 即采用搅打时间 7 min、成型温度 90 ℃、成型时间 17 min 加工工艺制得的复合调理狮子头的硬度最高 (3 161.69 g)。

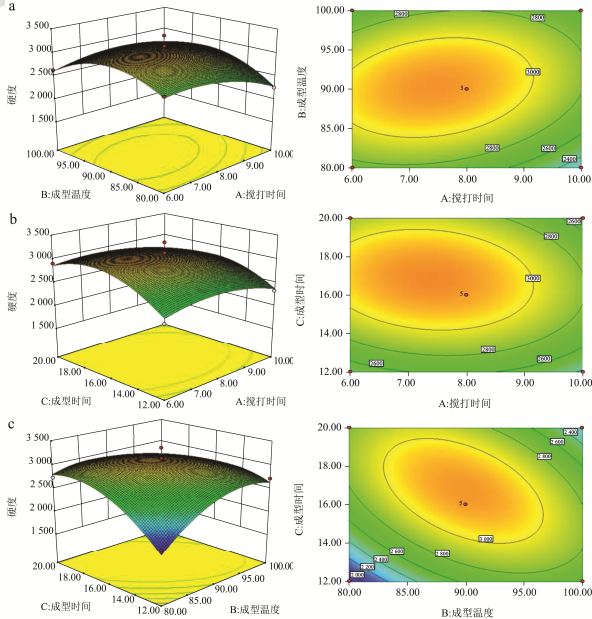


图 7 三因素交互影响复合调理狮子头硬度的响应面图和等高线图

Fig.7 The response surface and contour map of composite prepared meatballs hardness are influenced by three factors

表 12 感官评分的显著性检验及方差分析

Table 12 Significance test and ANOVA of sensory scores						
来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	3.42	9	0.38	9.74	3.30×10^{-3}	**
X_1	0.04	1	0.04	1.04	0.34	
X_2	0.43	1	0.43	10.97	0.01	*
X_3	0.25	1	0.25	6.28	0.04	*
X_1X_2	0.05	1	0.05	1.19	0.31	
X_1X_3	2.50×10^{-3}	1	2.50×10^{-3}	0.06	0.81	
X_2X_3	0.31	1	0.31	8.04	0.03	*
X_1^2	0.63	1	0.63	16.24	5.00×10^{-3}	**
X_2^2	1.33	1	1.33	34.20	6.00×10^{-4}	**
X_3^2	0.17	1	0.17	4.33	0.08	
残差误差	0.27	7	0.04			
失拟项	0.17	3	0.06	2.05	0.25	
纯误差	0.11	4	0.03			
总和	3.69	16				
R^2	0.93					
调整 R^2	0.83					

注：“**”表示差异极显著 ($P<0.01$)；“*”表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.4.2 加工工艺参数对感官评分影响的分析

以感官评分为响应值,对表 10 的试验数据进行多元回归拟合,得到感官评分 (Y) 与搅打时间 (X_1)、成型温度 (X_2)、成型时间 (X_3) 的二次回归方程:

$Y=7.24-0.071X_1+0.23X_2+0.18X_3-0.11X_1X_2-0.025X_1X_3-0.28X_2X_3-0.39X_1^2-0.56X_2^2-0.20X_3^2$, 对方程各项参数的系数进行统计学分析,结果见表 12。由表 12 可知,以感官评分作为响应值时,模型的 $P<0.01$,表明该模型达到极显著水平。失拟项 $P=0.25>0.05$,表明拟合方程可信度高,且此模型的 $R^2=0.93$,表明试验数据与回归数学模型拟合效果好,可用该模型预测和调控试验结果。从方差分析表可知, X_1^2 、 X_2^2 对感官评分有极显著影响 ($P<0.01$), X_2 、 X_3 、 X_2X_3 对感官评分有显著影响 ($P<0.05$), X_1 、 X_1X_2 、 X_1X_3 、 X_3^2 对感官评分影响不显著 ($P>0.05$)。由表可知, $F(X_2)>F(X_3)>F(X_1)$,即对复合调理狮子头感官评分影响的顺序依次为成型温度>成型时间>搅打时间。

时间一定时,等高线呈椭圆状,表明成型温度和搅打时间交互作用对感官评分的影响较强。由响应面图 8b 可知,当成型温度一定时,等高线呈圆形,表明成型时间和搅打时间交互作用对感官评分的影响较小。由图 8c 可知,当搅打时间一定时,等高线呈椭圆状,表明成型温度和成型时间交互作用对感官评分的影响较强,且成型温度和成型时间交互作用显著。从图 8 可知,响应值 (Y_2) 存在极大值,即设计参数中存在提高产品感官评分的最优加工条件,将方程导数

化后求极值(最大值),即采用搅打时间 8 min、成型温度 91 ℃、成型时间 17 min 的加工工艺制得的复合调理狮子头的感官评分最高(7.29)。

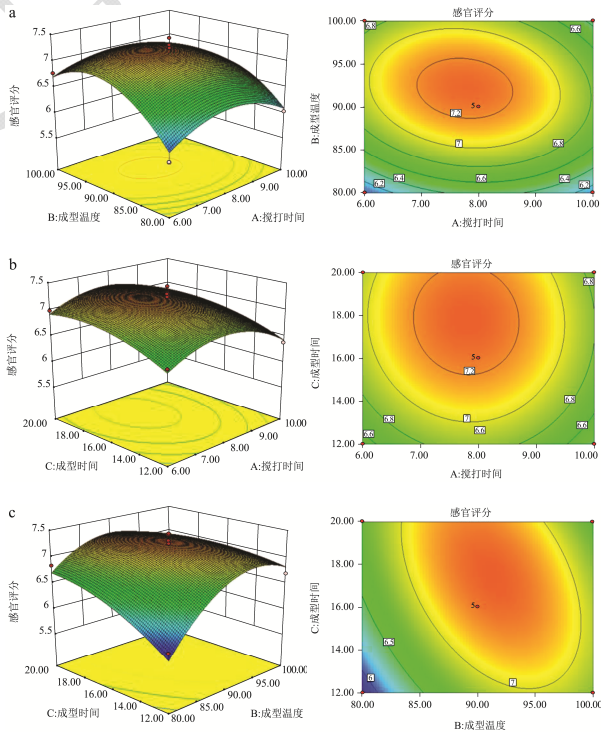


图 8 三因素交互影响复合调理狮子头感官评价的响应面图和等高线图

Fig.8 Three factors interacted to influence the response surface map and contour map of the composite prepared meatballs sensory evaluation

2.5 验证试验

以硬度和感官评分最高为目标,采用 Box-Behnken 设计模型共同优化得到的最佳工艺为:搅打时间 7.63 min、成型温度 90.59 °C、成型时间 16.95 min,结合实际可操作性选择搅打时间 8 min、成型温度 91 °C、成型时间 17 min 进行验证试验,3 次重复试验下复合调理狮子头的硬度分别为 3 053.70、3 226.62、3 054.72 g, 平均值 3 111.68 g, 与模型预测值 3 023.65 g 的相对误差为 2.91%; 复合调理狮子头的感官评分为 7.3、7.65、6.83, 平均值 7.26, 与预测值 7.13 的相对误差为 1.82%, 这表明该模型可较好地反映各因素与响应值之间的关系。

3 结论

搅打时间、成型温度、成型时间对猪肉/鱼肉复合调理狮子头品质均有显著影响 ($P<0.05$)。采用响应面优化复合调理狮子头的加工工艺,得到最优加工工艺参数为:搅打时间 8 min、成型温度 91 °C、成型时间 17 min。采用最优工艺参数制备的复合调理狮子头硬度为 3 111.68 g, 感官评分为 7.26, 此时产品质地优良,适口性好,风味独特。

参考文献

- [1] 孟舒雨.香辛料精油对调理狮子头抗氧化作用及贮藏特性的研究[D].郑州:河南农业大学,2019.
- [2] 汪雪东.浅谈扬州狮子头的制作工艺及创新[J].科技经济导刊,2017,23:144-145.
- [3] 张玉洁,张金闯,陈琼玲,等.鱼糜蛋白制品及其加工技术[J].中国食品学报,2022,22(1):389-400.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 鲍会梅,丁玉勇,王宏.清炖狮子头最佳工艺及脂肪蛋白质比例测定[J].食品研究与开发,2004,5:129-130.
- [7] 唐建华,周晓燕.清炖狮子头的试验研究[J].食品工业,2010,31(5):27-30.
- [8] 朱文政,刘薇,李明勇,等.不同肥瘦比和烹制时间对狮子头猪肉丸特征挥发性风味成分的影响[J].现代食品科技,2022,38(6):257-266,159.
- [9] 韩艳.小麦膳食纤维对狮子头食用品质影响研究[D].南京:南京农业大学,2015.
- [10] Kocher P N, Foegeding E A. Microcentrifuge-based method for measuring water-holding of protein gels [J]. Journal of Food Science, 2010, 58(5): 1040-1046.
- [11] Cao M J, Shao W, L Y, et al. Identification of a myofibrilbound serine proteinase in the skeletal muscle of silver carp [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 28(5): 373-386.
- [12] 胡志军,彭增起,汪张贵,等.肉糜的乳化及斩拌终点的研究进展[J].食品工业科技,2010,31(6):353-357.
- [13] 王亚娜.加工条件及乳化剂对肉糜乳化凝胶特性的影响[D].重庆:西南大学,2017.
- [14] 安玥琦,熊善柏.肌原纤维蛋白转谷氨酰胺酶交联程度对鱼糜凝胶及其风味释放影响的研究进展[J].食品科学,2015,36(7):235-239.
- [15] 芮汉明,陈中,李泮生,等.猪肉丸质量影响因素的研究[J].食品工业科技,1995,5:43-50.
- [16] 张梦玲,樊瑶,张晋,等.鲢鱼糜凝胶力学性能对热处理方式的响应性研究[J].现代食品科技,2017,33(2):129-135.
- [17] Sun X D, Arntfield S D. Gelation properties of chicken myofibrillar protein induced by trans glutaminase cross linking [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 107(2): 226-233.
- [18] 王未未.狮子头加工工艺的优化及其乳化凝胶特性的研究[D].扬州:扬州大学,2017.
- [19] An H, Margo Y P, Seymour T A. Role of endogenous enzymes in surimi gelation [J]. Trends in Food Science and Technology, 1996, 7: 321-326.
- [20] 孔保华,王宇,夏秀芳,等.加热温度对猪肉肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J].食品科学,2011,32(5):50-54.
- [21] 熊雅雯,黄卉,李来好,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.
- [22] 韩静文.鱼糜凝胶热加工特性及耐热型鱼糜肠配方研究[D].无锡:江南大学,2018.
- [23] 姬颖.鳊鱼/白鲢鱼混合鱼糜凝胶特性研究[D].锦州:渤海大学,2022.
- [24] 张立彦,胡嘉颖.水分和温度对猪肉质构及感官品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(9):216-223.
- [25] 刘进杰,张玉香,冯志彬,等.超声波提取莲花粉多糖工艺[J].食品科学,2011,32(18):44-48.