

不同温度处理的大豆分离蛋白乳化大豆油对猪肉糜品质的影响

魏法山^{1*}, 高在上², 张涛², 张影², 赵圣明², 康壮丽^{2*}

(1. 河南省产品质量监督检验院, 郑州 450004; 2. 河南科技学院食品学院, 新乡 453003)

摘要: 目的 探讨应用不同温度(20、60、98 °C)处理的大豆分离蛋白乳化大豆油替代猪背膘生产低脂猪肉糜的可行性。**方法** 利用色差计、物性仪、低场核磁共振仪测量猪肉糜的色泽、质构、保水性、水分分布和移动性。**结果** 添加不同温度处理的大豆分离蛋白乳化大豆油显著提高($P<0.05$)猪肉糜的 L^* 和 b^* 值、蒸煮得率、硬度、弹性、内聚性和咀嚼性,降低水分移动性。大豆分离蛋白处理温度显著影响猪肉糜的品质,添加98 °C处理大豆分离蛋白乳化大豆油的猪肉糜有最高的($P<0.05$) L^* 和 b^* 值、蒸煮得率、质构特性和不易流动水的含量。**结论** 添加98 °C处理大豆分离蛋白乳化大豆油的猪肉糜品质最佳,应用不同温度处理的大豆分离蛋白乳化大豆油替代猪背膘生产低脂猪肉糜具有可行性。

关键词: 大豆分离蛋白; 猪肉糜; 色差; 蒸煮得率

Effects of the pre-emulsified soybean oils with soybean protein isolate treated by different temperatures on the quality of pork batter

WEI Fa-Shan^{1*}, GAO Zai-Shang², ZHANG Tao², ZHANG Ying²,
ZHAO Sheng-Ming², KANG Zhuang-Li^{2*}

(1. Henan Product Quality Supervision and Inspection Institute, Zhengzhou 450004, China;
2. School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Henan 453003, China)

ABSTRACT: Objective To study the feasibility of producing the low-fat pork batters when used the soybean oil emulsified with soybean protein isolate treated at different temperatures (20, 60 and 98 °C) to replace the pork back-fat. **Methods** The color, texture, water retention, water distribution and mobility of minced pork were measured using the chromameter, texture analyzer, low-field nuclear magnetic resonance. **Results** The addition of pre-emulsified soy oils with soy protein isolate treated at different temperature treatments significantly increased the L^* and b^* values ($P<0.05$), cooking yield, hardness, springiness, cohesiveness and chewiness of pork batters, and reduced water mobility. The quality of pork batters were significantly affected by the processing temperatures of soy protein isolate, the batter with soy protein isolate treated at 98 °C had the highest L^* and b^* values ($P<0.05$), cooking yield, texture characteristics and the content of unmovable water. **Conclusion** The quality of pork batter with pre-emulsified soy oil with soy protein isolate treated at 98 °C is the best, and it is feasible to use soy protein isolate

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(202102110060)、烹饪科学四川省高等学校重点实验室开放基金项目(PRKX2020Z23)

Fund: Supported by the Science and Technology Key Project of Henan Province (202102110060), and the Open Fund of Key Laboratory of Culinary Sciences in Sichuan Province (PRKX2020Z23)

*通信作者: 康壮丽, 博士, 副教授, 主要研究方向为肉制品加工与质量控制。E-mail: kzlj1988@163.com

*Corresponding author: KANG Zhuang-Li, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Xinxiang 453003, China. E-mail: kzlj1988@163.com

emulsified soybean oil treated at different temperatures instead of pig back fat to produce low-fat minced pork.

KEY WORDS: soy protein isolate; pork batter; chromatism; cooking yield

0 引言

乳化肉制品鲜嫩多汁、品种丰富、性价比高,深受人们青睐。乳化肉糜制品中动物脂肪在 20%~30%之间,对肉糜制品的嫩度、多汁性和蒸煮得率有重要作用^[1-2]。但动物脂肪的饱和脂肪酸和胆固醇含量高,过量的食用会增加消费者超重、高血压、心血管疾病等的发病率,另外,直接减少动物脂肪的添加量可降低乳化肉制品的品质和蒸煮得率。因此,在不影响肉糜制品品质的前提下降低动物脂肪含量是肉品深加工领域的一个研究难点。使用预乳化植物油替代动物脂肪是降低肉糜制品中动物脂肪含量常用的方法^[3-5]。如 KANG 等^[3]报道了使用大豆分离蛋白乳化大豆油(大豆分离蛋白:大豆油:水=1:5:5, w:w:w)替代猪背膘能显著提高 β -折叠、 β -转角和无规则卷曲结构的含量、及蛋白质含量、蒸煮得率、 L^* 值和质构特性,可以用以生产高品质的低脂法兰克福香肠。CHEN 等^[4]发现使用稳定的预乳化菜籽油体系部分取代法兰克福香肠中的猪背膘,可以减少饱和脂肪酸、提高产品质构特性和保水性,并提供了更健康的脂质配方。UTAMA 等^[5]研究了使用预乳化紫苏菜籽油代替动物脂肪对鸡肉香肠脂肪酸组成及品质特性的影响,发现用紫苏籽油(O/W)乳剂替代动物脂肪,降低了脂肪含量和估计的热量,但增加了水分、蛋白质、灰分和碳水化合物的含量,增加了 α -亚麻酸的比例,提高了蒸煮得率和货架期。

大豆分离蛋白具有良好的保水保油性能,能形成结构致密的凝胶结构,是肉类加工中广泛应用的一种植物蛋白^[6]。大豆 7S 和 11S 球蛋白是大豆分离蛋白中的主要成分,占蛋白总量的 70%左右,决定着大豆分离蛋白的加工性能^[7]。由于两者具有不同的结构和成分,如 7S 和 11S 球蛋白分子表面呈现不同性状,11S 球蛋白中巯基含量及疏水性较高,它们对大豆蛋白的功能特性产生不同影响。且它们的开始变性温度分别约为 58 °C 和 86 °C^[8],而低温肉制品要求中心温度在 72 °C 左右,该温度下大豆分离蛋白还未完全变性,其加工性能受到影响。目前使用不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油生产低脂猪肉糜的研究较少报道,因此,本研究使用不同温度处理(20、60、98 °C)大豆分离蛋白并分别制备乳化大豆油,并应用乳化大豆油替代猪背膘生产低脂猪肉糜,探讨猪肉糜凝胶性能和水分分布等的变化,为大豆分离蛋白在低脂乳化肉糜制品中的应用提供新思路。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂与仪器

猪后腿肉(冷却 24~48 h, 中心温度 4 °C, 71.35%水分,

20.31%蛋白质, 7.52%脂肪, pH 5.71)、猪背膘(8.11%水分, 91.03%脂肪)(河南新乡高金食品有限公司); 大豆分离蛋白(蛋白质含量为 91.5%, 山东临沂山松生物制品有限公司); 大豆油(上海标准食品有限公司); 三聚磷酸钠、食盐(食品级)、香辛料(新乡市洪门农贸市场)。去除猪后腿肉中可见的脂肪和结缔组织,使用 6 mm 的孔板将猪肉绞碎,并按每袋 1000 g 进行分装,真空包装后冻藏于-20 °C,要求 15 d 内使用完毕。

T25 匀浆机(德国 IKA 公司); M-12 肉糜打浆机(诸城市康汇机械有限公司); HTP312 电子天平(上海花潮高科公司); CR-400 色差计(日本美能达公司); TA-XT.plus 质构仪(英国 Stable Microsystem 公司); PQ001NMR 分析仪(上海纽迈电子有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 大豆分离蛋白的处理和乳化大豆油的制备

乳化大豆油的制备参考 KANG 等^[3]的方法,分别将 10 g 大豆分离蛋白加入 80 g 20、60 和 98 °C 的水中,使用搅拌机将大豆分离蛋白均匀分散于水中。待其冷却至 20 °C 时放入 4 °C 冰箱中冷藏 5~6 h,使大豆分离蛋白充分吸水。取出后使用匀浆机 3000 r/min 匀浆 30 s,再缓慢地加入 80 g 大豆油,并 1500 r/min 匀浆 2~3 min 至大豆油被充分乳化,放入 4 °C 冰箱中密闭冷藏过夜。

1.2.2 乳化猪肉糜的加工方法

乳化猪肉糜的配方如下:解冻后的猪肉 1000 g、冰水 272 g、三聚磷酸钠 4.8 g、食盐 16 g、香辛料 10.5 g;其中对照(C),猪背膘 320 g; T1:猪背膘 160 g, 20 °C 处理大豆分离蛋白乳化大豆油 160 g; T2:猪背膘 160 g, 60 °C 处理大豆分离蛋白乳化大豆油 160 g; T3:猪背膘 160 g, 98 °C 处理大豆分离蛋白乳化大豆油 160 g。猪肉糜的加工按照 KANG 等^[1]的方法进行。冻肉过夜解冻到中心无硬块。将解冻好的猪肉、食盐、三聚磷酸钠、1/3 的冰水放入打浆机,200 r/min 打浆 10 min;再加入猪背膘或乳化大豆油、香辛料和剩余的 2/3 的冰水,200 r/min 打浆 5 min。然后将乳化猪肉糜灌入直径为 24 mm 的胶原蛋白肠衣并蒸煮成熟。

1.2.3 色泽

将过夜冷藏的蒸煮猪肉糜取出并切成薄片,使用色差计在 60 s 之内测量薄片的色泽(L^* 、 a^* 和 b^*)。

1.2.4 蒸煮得率

称量过夜冷藏后蒸煮猪肉糜的重量,猪肉糜蒸煮得率的计算公式如式(1):

$$\text{蒸煮得率(\%)} = \frac{\text{过夜冷藏后蒸煮猪肉糜的重量(g)}}{\text{生猪肉糜的重量(g)}} \times 100\% \quad (1)$$

1.2.5 质构特性

将过夜冷藏的蒸煮猪肉糜在 20 °C 放置 2 h 后切成圆柱体(直径 25 mm, 高 20 mm)待用。参考 KANG 等^[3]的方法使用带有 P/36R 探头的质构仪测量蒸煮猪肉糜的质构特性, 得到蒸煮猪肉糜的硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等参数。

1.2.6 低场核磁共振

将 2 g 蒸煮猪肉糜放入 PQ001NMR 分析仪中, 在 32 °C、22.6 MHz 条件下进行自旋-白旋驰豫时间(T_2)测量。其中, τ -值为 200 μ s。

1.2.7 数据统计与分析

每个值是平均值 \pm SD, 应用 ANOVA 程序(SPSS 18.0)进行数据分析, 并使用最小显著性差异(least significance difference, LSD)比较各个组平均值, $P < 0.05$ 时认为组间存在显著差异。

2 结果与分析

2.1 色泽

添加猪背膘或不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油对猪肉糜的色差影响显著(表 1)。与添加猪背膘(C)相比, 添加不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油显著提高猪肉糜的 L^* 和 b^* 值, 降低 a^* 值($P < 0.05$)。主要原因是在不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油中, 大豆油液滴或颗粒比猪背膘颗粒要小得多。康壮丽等^[9]报道了使用乳化棕榈油替代猪背膘显著降低猪肉贡丸 a^* 值, 提高 L^* 和 b^* 值。JIMENEZ-COLMENERO 等^[10]报道了添加乳化橄榄油降低香肠的猪背膘, 显著降低香肠的 a^* 值, 提高 L^* 和 b^* 值。另外, 猪背膘的色泽与不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油有很大差别, 其中 L^* 和 b^* 值较小, 而 a^* 值较大。与 T1 相比, 随着处理温度的升高, 猪肉糜的 L^* 和 b^* 值显著升高, a^* 值显著减小($P < 0.05$)。主要原因是加热诱导大豆 7S 球蛋白发生变性, 提高 7S 球蛋白的乳化性能^[8], 增加乳化大豆油的 L^* 和 b^* 值, 降低 a^* 值。

表 1 含有猪背膘或不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油猪肉糜的色差($n=4$)

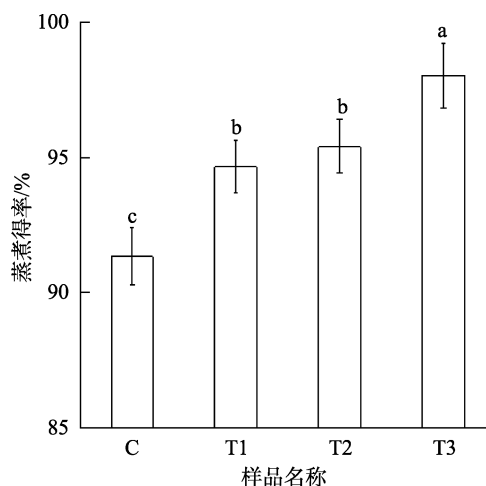
Table 1 Color difference of emulsify soybean oil pork emulsion containing porcine backfat or soybean protein isolate treat at different temperatures ($n=4$)

样品名称	L^* 值	a^* 值	b^* 值
C	66.31 \pm 0.56 ^d	6.87 \pm 0.41 ^a	7.21 \pm 0.28 ^d
T1	70.83 \pm 0.67 ^c	5.33 \pm 0.46 ^b	8.56 \pm 0.31 ^c
T2	72.11 \pm 0.65 ^b	4.66 \pm 0.36 ^c	9.16 \pm 0.25 ^b
T3	75.60 \pm 0.52 ^a	3.22 \pm 0.39 ^d	9.72 \pm 0.33 ^a

注: a~d 同列小写字母不同, 表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

2.2 蒸煮得率

蒸煮得率是乳化肉制品重要的指标, 决定着产品的品质和性价比。添加猪背膘或不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油对猪肉糜蒸煮得率结果如图 1 所示, 与 C 相比, 添加乳化大豆油显著增加($P < 0.05$)猪肉糜的蒸煮得率, 其中 T3 最高, T1 和 T2 差异不显著($P > 0.05$)。因此, 与添加猪背膘相比, 添加不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油显著提高猪肉糜的蒸煮得率, 增强猪肉糜的保水保油能力和热稳定性。由于大豆分离蛋白有较好的保水保油性能, 并减少乳化肉糜的蒸煮收缩, 提高产品嫩度^[11], 应用不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油并加入猪肉糜中, 减少了猪肉糜中用于乳化猪背膘的肌肉蛋白, 有利于形成良好的网状凝胶结构, 减少猪肉糜的蒸煮损失^[12-13]。此外, 大豆 7S 和 11S 球蛋白的完全变性温度分别约为 75 和 95 °C, 60 °C 处理仅能使 7S 球蛋白部分变性, 而 98 °C 处理能使 7S 和 11S 球蛋白完全变性, 有利于提高 7S 和 11S 球蛋白的加工性能^[8], 因此, 添加 98 °C 处理大豆分离蛋白乳化大豆油猪肉糜的蒸煮得率最高。



注: a~c 小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

图 1 含有猪背膘或不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油猪肉糜的蒸煮得率($n=4$)

Fig.1 Cook yield of emulsified soybean oil pork emulsion contain porcine backfat or treated soybean protein isolate at different temperatures ($n=4$)

2.3 质构

表 2 给出了含有猪背膘或不同温度处理的大豆分离蛋白乳化大豆油对猪肉糜质构的影响。使用不同温度处理的大豆分离蛋白乳化大豆油显著增加($P < 0.05$)蒸煮猪肉糜的质构特性。王腾腾等^[14]报道了加入 50%乳化的玉米油显著增加鸡肉丸的硬度、弹性、咀嚼性和内聚性。主要原因是使用大豆蛋白对植物油进行乳化时大豆分离蛋白包裹在

油液滴周围,增加了猪肉糜基质中肌肉蛋白的含量,提高肉糜凝胶的质构特性。WU 等^[15]报道了在乳化葵花籽油中,油滴周围形成了稳定的界面蛋白膜,并被大豆分离蛋白均匀地包裹,限制了乳化葵花籽油的移动。猪肉糜的硬度、弹性、咀嚼性和内聚性随着处理大豆分离蛋白温度的升高而显著增加($P<0.05$),这与大豆 7S 和 11S 球蛋白变性程度

密切相关。因为 20 °C 处理大豆分离蛋白的结构没有发生变化,而 60 °C 仅发生部分变化,所以在猪肉糜凝胶形成过程中不同蛋白质之间交联较少,对乳化肉糜结构的改善很小^[16]。另外,超过 50 °C 时大豆 7S 和 11S 球蛋白开始变性,阻止肌球蛋白重链之间的聚集,降低猪肉糜凝胶强度^[17],因此, T3 的硬度、弹性、咀嚼性和内聚性最大。

表 2 含有猪背膘或不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油猪肉糜的质构($n=4$)
Table 2 Texture of emulsify soybean oil pork emulsion containing porcine backfat or soybean protein isolate treat at different temperatures ($n=4$)

样品名称	硬度/N	弹性	内聚性	咀嚼性/(N.m)
C	54.01±0.83 ^d	0.906±0.004 ^d	0.717±0.003 ^d	35.09±0.63 ^d
T1	56.79±0.58 ^c	0.916±0.003 ^c	0.729±0.004 ^c	37.92±0.75 ^c
T2	59.32±0.65 ^b	0.924±0.003 ^b	0.737±0.004 ^b	40.39±0.78 ^b
T3	63.61±0.74 ^a	0.933±0.004 ^a	0.750±0.005 ^a	44.51±0.91 ^a

2.4 核磁共振质子弛豫

低场核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)能够测量蒸煮猪肉糜凝胶中水分流动性的变化^[18]。文中共有 T_{2b} 、 T_{21} 和 T_{22} 3 个特征峰,其中 T_{2b} 代表结合水,是猪肉糜凝胶中与蛋白质等大分子结合的水,是依靠氢键与蛋白质的极性基(羧基和氨基)相结合形成的水胶体,初始弛豫时间在 0~10 ms 之间; T_{21} 代表不易移动水,是被凝胶所阻留住的水,初始弛豫时间在 20~100 ms 之间; T_{22} 代表自由水,大部分以游离的形式存在,可以自由流动,初始弛豫时间在 100~1000 ms 之间^[19-20]。由表 3 可知,添加猪背膘或不同温度处理的大豆分离蛋白乳化大豆油对猪肉糜弛豫时间的影响显著。添加乳化大豆油猪肉糜的初始弛豫时间显著缩短, C 的 T_{2b} 、 T_{21} 和 T_{22} 最大($P<0.05$); 随着处理温度的升高,猪肉糜的初始弛豫时间呈减少趋势,其中 T1 和 T2 差异不显著($P>0.05$), T3 的 T_{2b} 、 T_{21} 和 T_{22} 最小。有研究表明初始弛豫时间越短说明水与底物结合越紧密,越长表明水分越易流动^[21]。因此,使用不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油替代猪背膘限制了水的移动,水分可移动性降低,所以造成了弛豫时间减小;由于 20 和 60 °C 处理对大豆分离蛋白影响较小,两者对水分可移动性的影响差异不显著($P>0.05$); 98 °C 处理诱导大豆分离蛋白变性,提高乳化大豆油体系的稳定性,加入猪肉糜中改善凝胶结构,提高蒸煮得率。以上结果与表 4 中含有猪背膘或不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油猪肉糜峰比例的变化一致。使用不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油部分替代猪背膘显著减小猪肉糜 P_{2b} 和 P_{22} 的峰比例,显著提高 P_{21} 的峰比例($P<0.05$); 随着处理温度的升高,猪肉糜 P_{2b} 的峰比例差异不显著($P>0.05$), P_{21} 显著增加, P_{22} 显著降低($P<0.05$)。由上可知,添加不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油能提高

猪肉糜凝胶水分的稳定性,其中, 98 °C 处理效果最佳。

表 3 含有猪背膘或不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油猪肉糜的弛豫时间(ms, $n=4$)
Table 3 Changes in initial relaxation time of pork meat batters with pork back-fat and/or pre-emulsified soy oils with soy protein isolate treated by different temperature (ms, $n=4$)

样品名称	T_{2b}	T_{21}	T_{22}
C	0.96±0.05 ^a	46.80±1.72 ^a	342.44±9.15 ^a
T1	0.72±0.04 ^b	38.23±1.64 ^b	317.08±8.69 ^b
T2	0.76±0.04 ^b	36.45±1.81 ^b	291.07±9.74 ^b
T3	0.69±0.06 ^b	31.07±1.53 ^c	256.35±8.34 ^c

表 4 含有猪背膘或不同温度处理大豆分离蛋白乳化大豆油猪肉糜的峰比例(% , $n=4$)
Table 4 Changes in peak ration of pork meat batters with pork back-fat and/or pre-emulsified soy oils with soy protein isolate treated by different temperature (% , $n=4$)

样品名称	P_{2b}	P_{21}	P_{22}
C	2.86±0.12 ^a	80.52±1.32 ^c	17.06±0.56 ^a
T1	1.68±0.08 ^b	86.38±1.25 ^b	11.87±0.64 ^b
T2	1.76±0.11 ^b	85.18±1.38 ^b	12.27±0.70 ^b
T3	1.54±0.09 ^b	89.34±1.14 ^a	9.76±0.58 ^c

3 结论与讨论

添加不同温度处理的大豆分离蛋白乳化大豆油替代猪背膘可以提高猪肉糜的蒸煮得率、 L^* 和 b^* 值和质构特性; 随着热处理温度的升高, L^* 和 b^* 值、蒸煮得率、质构特性显著增加, 但 20 和 60 °C 处理大豆分离蛋白乳化大豆油猪肉糜的

蒸煮得率差异不显著。添加 98 °C 处理的大豆分离蛋白乳化大豆油,猪肉糜的初始弛豫时间减小,水分流动性降低,猪肉糜凝胶有较好的保水性。因此,使用 98 °C 处理的大豆分离蛋白乳化大豆油能够生产高品质的低脂猪肉糜。

参考文献

- [1] KANG ZL, WANG TT, LI YP, *et al.* Effect of sodium alginate on physical-chemical, protein conformation and sensory of low-fat frankfurters [J]. *Meat Sci*, 2020, 162: 108043.
- [2] RIOS-MERA JD, SELANI MM, PATINHO I, *et al.* Modification of nacl structure as a sodium reduction strategy in meat products: An overview [J]. *Meat Sci*, 2021, 174: 108417.
- [3] KANG Z, CHEN F, MA H. Effect of pre-emulsified soy oil with soy protein isolate in frankfurters: A physical-chemical and Raman spectroscopy study [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2016, 74: 465–471.
- [4] CHEN Y, JIA X, SUN F, *et al.* Using a stable pre-emulsified canola oil system that includes porcine plasma protein hydrolysates and oxidized tannic acid to partially replace pork fat in frankfurters [J]. *Meat Sci*, 2019, 160: 107968.
- [5] UTAMA DT, JEONG HS, KIM J, *et al.* Fatty acid composition and quality properties of chicken sausage formulated with pre-emulsified perilla-canola oil as an animal fat replacer [J]. *Poult Sci*, 2019, 98(7): 3059–3066.
- [6] BERTRAM HC, MEYER RL, WU Z, *et al.* Water distribution and microstructure in enhanced pork [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56: 7201–7207.
- [7] PANG Z, SAFDAR B, WANG Y, *et al.* Improvement of tribo-rheological properties of acid soymilk gels by reinforcement of 7S or 11S proteins [J]. *Food Hydrocolloid*, 2020, 110: 106173.
- [8] 康壮丽, 李斌, 马汉军, 等. 大豆分离蛋白添加方式对猪肉凝胶特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(6): 220–224.
KANG ZL, LI B, MA HJ, *et al.* Effects of soybean protein isolate addition method on pork gel properties [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2016, 32(6): 220–224.
- [9] 康壮丽, 朱东阳, 胡明明, 等. 乳化棕榈油对猪肉贡丸品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(10): 112–116.
KANG ZL, ZHU DY, HU MM, *et al.* Effects of emulsified palm oil on the quality of pork kung-wan [J]. *Food Ferment Ind*, 2016, 42(10): 112–116.
- [10] JIMENEZ-COLMENERO F, HERRERO A, PINTADO T, *et al.* Influence of emulsified olive oil stabilizing system used for pork back-fat replacement in frankfurters [J]. *Food Res Int*, 2010, 43: 2068–2076.
- [11] LI YP, KANG ZL, SUKMANOV V, *et al.* Effects of soy protein isolate on gel properties and water holding capacity of low-salt pork myofibrillar protein under high pressure processing [J]. *Meat Sci*, 2021, 176(2): 108471.
- [12] 高雪琴, 宋世佳, 胡力, 等. 大豆油预乳化液对低动物脂肪肉糜凝胶改性的影响[J]. *中国调味品*, 2021, 46(4): 55–60.
GAO XQ, SONG SJ, HU L, *et al.* Effect of soybean oil pre-emulsion on gel modification of low animal fat meat [J]. *China Cond*, 2021, 46(4): 55–60.
- [13] KEERATI-U-RAI M, CORREDIG M. Heat-induced changes in oil-in-water emulsions stabilized with soy protein isolate [J]. *Food Hydrocolloid*, 2009, 23(8): 2141–2148.
- [14] 王腾腾, 李艳萍, 魏法山, 等. 乳化玉米胚芽油对鸡肉丸品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(4): 58–61, 73.
WANG TT, LI YP, WEI FS, *et al.* Effects of emulsified corn germ oil on the quality of chicken meatballs [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(4): 58–61, 73.
- [15] WU M, XIONG YL, CHEN J. Role of disulphide linkages between protein-coated lipid droplets and the protein matrix in the rheological properties of porcine myofibrillar protein-peanut oil emulsion composite gels [J]. *Meat Sci*, 2011, 88: 384–390.
- [16] KANG Z, ZHU D, LI B, *et al.* Effect of pre-emulsified sesame oil on physical-chemical and rheological properties of pork batters [J]. *Food Sci Tech*, 2017, 37(4): 620–626.
- [17] CHEN L, HUA Y, KONG X, *et al.* Effect of pre-heating denaturation degree on gel properties of soy protein [J]. *China Oils Fats*, 2019. https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=1r480xx0cv7k0c40va2d0e701b115910&site=xueshu_se&hitarticle=1
- [18] PEARCE KL, ROSENVOLD K, ANDERSEN HJ, *et al.* Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes-A review [J]. *Meat Sci*, 2011, 89(2): 111–124.
- [19] 陈玉芳, 郑华, 林捷, 等. 结合低场核磁共振探究浸烫对肉鸡僵直进程和品质的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(3): 159–165.
CHEN YF, ZHENG H, LIN J, *et al.* Study on the effect of impregnation on rigor process and quality of broilers combined with low-field NMR [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 45(3): 159–165.
- [20] 孟舒雨, 赵改名, 李苗云, 等. 反复冻融过程中调理狮子头脂肪氧化与低场核磁共振弛豫特性的相关性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(20): 75–80.
MENG SY, ZHAO GM, LI MY, *et al.* Correlation between lipid oxidation and low-field NMR relaxation characteristics in the conditioned lion head during repeated freeze-thaw cycles [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(20): 75–80.
- [21] 孟林, 李艳萍, 康壮丽, 等. 谷氨酰胺转氨酶对鸭胸肉糜凝胶性能的影响[J]. *肉类研究*, 2019, 33(8): 25–28.
MENG L, LI YP, KANG ZL, *et al.* Effect of glutamine transaminase on gel properties of duck breast meat [J]. *Meat Res*, 2019, 33(8): 25–28.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



魏法山, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为肉制品加工、食品安全与检测、食品技术监督。

E-mail: weifashan@aliyun.com



康壮丽, 博士, 副教授, 主要研究方向为肉制品加工与质量控制。

E-mail: kzlnj1988@163.com