

植物油预乳状液替代猪脂肪对法兰克福香肠品质特性的影响

陈益春, 姜 帅, 曹传爱, 陈佳新, 孔保华, 刘 骞*
(东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 将1 g/100 mL氧化绿原酸添加到以猪血浆蛋白水解物作为乳化剂所制备的水包油型乳状液中, 以此获得高稳定性的植物油预乳状液。然后将该预乳状液以15%、30%、45%和60%的比例替代猪脂肪加入到法兰克福香肠中, 探讨替代脂肪比例对香肠品质特性的影响。测定香肠的蒸煮损失、质构、色度以及水分迁移规律, 同时测定肉糜的乳化稳定性和流变特性。结果表明, 随着预乳状液替代比例的增加, 香肠的蒸煮损失显著降低 ($P < 0.05$), 硬度、咀嚼性、 L^* 值和 b^* 值显著增加 ($P < 0.05$), 而弹性、黏结性、感官评价无显著变化 ($P > 0.05$)。低场核磁研究结果发现, 预乳状液替代比例的增加能够显著缩短香肠的弛豫时间 ($P < 0.05$), 说明其能增强蛋白质网络对水分子的束缚能力。与此同时, 随着预乳状液替代比例的增加, 肉糜的乳化稳定性显著增加 ($P < 0.05$)。另外, 肉糜的流变学测定结果表明, 随着预乳状液替代比例的增加能够显著提高肉糜在加热终点的储能模量 (G') 和损失模量 (G''), 而且显著降低了相位角正切值 ($\tan\delta$) ($P < 0.05$)。在法兰克福香肠的制作中猪脂肪能够被预乳状液部分替代, 而且对香肠的感官无显著影响, 尤其以45%的替代量为最佳。

关键词: 法兰克福香肠; 预乳状液; 猪脂肪替代; 品质; 流变学特性

Evaluation of the Quality of Frankfurters Prepared with Highly Stable Vegetable Oil-in-Water Pre-Emulsion as a Partial Replacer of Pork Back Fat

CHEN Yichun, JIANG Shuai, CAO Chuan'ai, CHEN Jiaxin, KONG Baohua, LIU Qian*
(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In the present study, a highly stable oil-in-water pre-emulsion was prepared using porcine plasma protein hydrolysate (PPPH) with 1 g/100 mL of added oxidized chlorogenic acid as the emulsifier, and the effect of partial replacement of pork back fat with it (15%, 30%, 45% and 60%) on quality attributes of frankfurters. The cooking loss, texture characteristics, color and water distribution profile of frankfurters were determined, as well as the emulsion stability and rheological properties of meat batter. The results showed that with increasing replacement ratio, the cooking loss of frankfurters significantly decreased ($P < 0.05$) while the hardness, chewiness, L^* value and b^* value significantly increased ($P < 0.05$). However, the springiness, cohesiveness and sensory evaluation did not change significantly ($P > 0.05$). Moreover, low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) analysis showed that with increasing replacement ratio, the relaxation time was significantly shortened ($P < 0.05$), indicating that the pre-emulsion could enhance the water-holding capacity of meat protein matrix. Furthermore, the emulsion stability of meat batter significantly increased with increasing replacement ratio ($P < 0.05$). Dynamic rheological tests indicated that the storage modulus (G') and loss modulus (G'') of meat batter significantly increased with increasing replacement ratio ($P < 0.05$), and the phase angle $\tan\delta$ decreased ($P < 0.05$). Therefore, our results reveal that pork back fat can be partially replaced by the oil-in-water pre-emulsion without considerably affecting the overall sensory properties of frankfurters, and that 45% was considered as the optimal replacement ratio.

Keywords: frankfurters; pre-emulsions; replacement of pork back fat; quality; rheological properties

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180906-060

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 24-0086-08

收稿日期: 2018-09-06

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31671788); 黑龙江省自然科学基金面上项目 (C2018029);

东北农业大学“学术骨干”项目 (16XG18)

第一作者简介: 陈益春 (1993—) (ORCID: 0000-0003-2770-4932), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: chenychundd@163.com

*通信作者简介: 刘骞 (1981—) (ORCID: 0000-0003-1692-3267), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: liuqian@neau.edu.cn

引文格式:

陈益春, 姜帅, 曹传爱, 等. 植物油预乳状液替代猪脂肪对法兰克福香肠品质特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 86-93. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180906-060. <http://www.spkx.net.cn>

CHEN Yichun, JIANG Shuai, CAO Chuan'ai, et al. Evaluation of the quality of frankfurters prepared with highly stable vegetable oil-in-water pre-emulsion as a partial replacer of pork back fat[J]. Food Science, 2019, 40(24): 86-93. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180906-060. <http://www.spkx.net.cn>

由肌肉蛋白和动物脂肪经过斩拌后所加工成的乳化肉糜类制品(比如法兰克福香肠、维也纳香肠、博洛尼那香肠、肉糜类火腿肠等)由于加工过程中蛋白质适度变性,因而肉质结实、富有弹性,且最大限度地保持了其原有营养成分和固有风味,深受消费者青睐^[1]。然而,传统的乳化肉糜类制品中的动物脂肪质量分数一般都在10%~30%左右,而且以饱和脂肪酸为主,这些饱和脂肪酸的摄入可能会引起肥胖、高血压、冠心病等潜在的健康威胁^[2]。世界卫生组织在2013年就已经提倡消费者应该选择低动物脂肪或者富含多不饱和脂肪酸的肉制品^[3]。相对于动物脂肪,植物油除含有较高比例的单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸,还含有少量的天然营养成分(维生素、类胡萝卜素、酚醇等)^[4-6]。因此,利用植物油脂部分或完全替代动物脂肪成为生产低脂肉糜类制品的新思路。但是,如果在肉糜斩拌过程中直接利用植物油(比如葵花籽油、菜籽油、橄榄油、玉米油等)替代动物脂肪,则会对肉糜的流变特性产生显著的负面影响,同时也降低了肉糜本身的黏度。Youssef等^[7]研究发现,虽然利用菜籽油完全替代牛脂肪能够显著降低乳化肉糜制品中饱和脂肪酸和胆固醇的含量,但是存在严重的“漏油”现象,使得最终的产品具有异常坚硬的质地,从而大大降低了产品的总体可接受度。造成这种现象的主要原因是植物油的液滴直径远小于动物脂肪颗粒,而较小的直径增大了油滴的比表面积,从而导致肉蛋白形成过于致密的网络结构,最终使产品失去柔嫩多汁的特点^[8]。

为克服上述问题,近年研究结果表明在乳化肉糜类制品加工中利用植物油预乳状液替代动物脂肪能够降低产品中饱和脂肪酸的含量,有利于消费者的健康^[9-10],同时也能够最终获得良好的产品品质。Asuming-Bediako等^[11]利用大豆蛋白乳化菜籽油获得的预乳化体系能够在英式乳化香肠的生产中部分替代猪脂肪,极大降低了制品中饱和脂肪酸的含量,并且对香肠的食用品质(颜色、风味、货架期等)基本没有影响。Berian等^[12]将酪蛋白预乳化的橄榄油加入到西班牙辣肠中,其感官品质基本没有任何影响。但是,由于植物油预乳状液体系中庞大的油水界面,脂质氧化会导致其品质发生严重的劣变,存在于油水界面中的促氧剂(氧气、金属离子等)会在一定程度上加速预乳状液中的脂质

氧化^[13]。与此同时,以蛋白质为乳化剂制备的植物油预乳状液对整个体系的pH值较为敏感,很容易发生絮凝和分层的现象^[14]。因此,利用良好双亲性以及较强抗氧化能力的蛋白水解物制备植物油预乳状液,成为提高植物油预乳状液物理和氧化稳定性的新途径^[15]。

前期研究结果表明,以适度水解的猪血浆蛋白水解物(porcine plasma protein hydrolysate, PPPH)为乳化剂制备植物油预乳状液,虽然能够抑制脂质氧化,但是在整个贮藏期仍具有分层、絮凝等不稳定的现象^[16]。为解决上述问题,将不同量的氧化绿原酸(oxidized chlorogenic acid, OCA)添加到以PPPH作为乳化剂所制备的植物油预乳状液中,能够显著提高乳状液贮藏期间的物理稳定和氧化稳定性^[17],为以蛋白水解物高稳定性植物油预乳状液的制备提供了良好思路。但是,其在真实乳化肉糜中替代动物脂肪的效果未知。因此,本实验将OCA以1 g/100 mL添加到以PPPH作为乳化剂所制备的植物油预乳状液中,然后将该预乳状液以15%、30%、45%和60%的比例替代猪脂肪加入到乳化肉糜(以法兰克福香肠为例)中,探讨替代脂肪比例对香肠品质特性的影响,以期对植物油预乳状液替代猪脂肪在低脂乳化肉糜加工中应用提供一定的参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

猪血浆蛋白粉(蛋白质质量分数70%)、冷鲜猪后鞣肉、猪背膘 黑龙江北大荒肉类有限公司;碱性蛋白酶 丹麦Novozymes公司;菜籽油 恒大兴安有限公司;复合磷酸盐、亚硝酸钠、异抗坏血酸钠 哈尔滨亿人食品添加剂公司;绿原酸 上海源叶生物科技有限公司;白胡椒粉、肉豆蔻粉、姜粉、红辣椒粉 上海味好美食品有限公司;食盐 中盐上海市盐业公司;味精 上海太太乐食品有限公司;胶原蛋白肠衣(直径18 mm) 河北保定唯新肠衣有限公司。

1.2 仪器与设备

JD500-2电子天平 沈阳龙腾电子称量仪器有限公司;DK-8B电热恒温水浴锅 上海惊宏实验设备有限公司;JB-2恒温磁力搅拌器 上海雷磁新径仪器有限

公司; GZB20高速斩拌机 石家庄晓进机械制造科技股份有限公司; RYX-25型烟熏炉 浙江瑞邦智能装备股份有限公司; 真空灌肠机 临沂大浩机械厂; ZE-6000色差计 日本色电工业株式会社; TA-XTplus型质构分析仪 英国Stable Micro System公司; GL-21M高速冷冻离心机 湖南长沙湘仪离心机仪器有限公司; Mq-20低频核磁共振分析仪 德国布鲁克公司; Discovery DHR-1流变仪 美国TA仪器公司。

1.3 方法

1.3.1 PPPH的制备

参照李月等^[18]的方法。将经过预处理(95℃、5 min)的4%(质量分数)猪血浆蛋白溶液(pH 8.0)加入碱性蛋白酶(酶与底物质量比为2:100),置于55℃水浴水解1 h,水解过程以1 mol/L NaOH溶液调节pH值保持恒定(pH 8.0)。水解结束后95℃水浴5 min进行灭酶,用1 mol/L HCl溶液将水解液pH值调至7.0。然后,7 000 r/min离心10 min除去任何不溶物。制备出的PPPH在4℃贮藏备用。

1.3.2 OCA的制备

参照Aewsiri等^[19]的方法。绿原酸(质量分数2%)溶于蒸馏水,用1 mol/L NaOH溶液将pH值调至9.0。随后40℃条件下通入高纯度氧气(99.5%)1 h,最终用1 mol/L HCl溶液将pH值调至7.0。

1.3.3 植物油预乳状液的制备

菜籽油与PPPH溶液(质量分数4%, pH 7.0)以体积比1:9混合,用高速均质机在13 500 r/min均质2 min。然后将粗乳状液置于20 kHz、70%能量的条件下超声3 min。随后,加入1 g/100 mL的OCA,再用高速均质机在13 500 r/min均质30 s,调整所有乳状液的pH值为7.0。

1.3.4 法兰克福香肠配方

法兰克福香肠的基础配方参照姜帅等^[20]的方法。不同实验组中利用植物油预乳状液替代猪脂肪制作低脂法兰克福香肠配方如表1所示。

表1 利用植物油预乳状液替代猪脂肪制作低脂法兰克福香肠配方
Table 1 Low-fat frankfurter formulations with added vegetable oil-in-water pre-emulsion

配方	对照	处理组			
		15%脂肪替代	30%脂肪替代	45%脂肪替代	60%脂肪替代
瘦猪肉	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
猪脂肪	400	340	280	220	160
冰水	1 100	860	620	380	140
预乳状液	0	300	600	900	1 200
淀粉	330	330	330	330	330
食盐	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5
亚硝酸钠	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
复合磷酸盐	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
香辛料	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4
味精	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
异抗坏血酸	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8

1.3.5 法兰克福香肠的制作工艺

参照姜帅等^[20]的方法。首先,将瘦肉、食盐、复合磷酸盐、亚硝酸盐及50%的冰水放入斩拌机中,高速斩拌3~5 min;随后,加入猪脂肪和20%左右的冰水,继续高速斩拌1~2 min;将预乳状液、香辛料、淀粉和剩余的冰水加入后继续斩拌3~5 min;最后,在斩拌终点前加入异抗坏血酸钠,肠馅温度为12℃左右,即达到斩拌终点。用灌肠机进行灌制,每根法兰克福香肠的长度固定在15 cm左右。

利用全自动一体化烟熏箱对香肠进行熟制,工艺参数如下:1)干燥,箱温45℃,相对湿度0%,时间20 min,风速2档。2)烟熏,箱温60℃,相对湿度0%,时间30 min,风速2档。3)蒸煮,箱温78℃,相对湿度60%,时间30 min,风速2档,肠体温度达到72~74℃时即可。然后将香肠冷却,真空包装,在4℃贮藏。

1.3.6 蒸煮损失的测定

参照姜帅等^[20]的方法。取35 g斩拌后的肉糜置于离心管中,3 000 r/min离心5 min除去管内气泡。然后,将离心管置于水浴锅中加热(75℃、30 min),加热后的样品于室温下冷却1 h,倒出离心管中溢出的液体。蒸煮损失计算如式(1)所示:

$$\text{蒸煮损失}/\% = \frac{\text{加热前生肉糜质量}/\text{g} - \text{加热后剩余肉糜质量}/\text{g}}{\text{加热前生肉糜质量}/\text{g}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.7 乳化稳定性分析

参考Colmenero等^[21]的方法略作改动。将1.3.6节中蒸煮损失的液体(离心管倒立40 min)倒入玻璃皿中。水分损失为蒸煮损失的液体在105℃加热16 h烘干后减轻的质量,而脂肪损失为蒸煮损失的液体烘干后剩余的样品质量。水分损失和脂肪损失计算如式(2)、(3)所示:

$$\text{水分损失}/\% = \frac{\text{加热后损失质量}/\text{g}}{\text{生肉糜质量}/\text{g}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{脂肪损失}/\% = \frac{\text{加热后剩余质量}/\text{g}}{\text{生肉糜质量}/\text{g}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.8 色度值测定

将4℃贮藏的法兰克福香肠放置在室温下平衡1 h,用色差仪测定香肠的亮度值(L*值)、红度值(a*值)和黄度值(b*值)。L*值、a*值和b*值分别为96.22、6.03和15.06。选择O/D测试头。

1.3.9 质构特性分析

将4℃贮藏的法兰克福香肠放置在室温下平衡1 h,剥去肠衣,将样品切成20 mm×18 mm(高×直径)的圆柱体进行质构测定。探头型号为P/50,测试前速率为5 mm/s,测试速率为1 mm/s,测试后速率为1 mm/s,压缩比为50%,触发力为5 g。测定指标包括硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性、黏着性和回复性。

1.3.10 香肠内部水分动态分布的测定

参考Aursand等^[22]的方法。应用低场核磁共振 (lowfield nuclear magnetic resonance, LF-NMR) 技术测定香肠内部水分动态分布。样品置于核磁试管中 (试管直径为1.8 cm, 高度为18 cm), 磁场强度为0.47 T, 质子共振频率为20 MHz。使用Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) 程序测定样品弛豫时间 (T_2)。每个样品测定时, 程序自动扫描16次, 每次扫描重复的间隔时间为2 s。通过CONTIN软件对 T_2 进行反演, 反映出相应的弛豫时间 (T_{2b} 、 T_{21} 和 T_{22}) 和振幅 (A_{2b} 、 A_{21} 和 A_{22})。

1.3.11 肉糜动态流变特性的测定

参照姜帅等^[20]的方法略作改动。用取样器取约5 g斩拌好的生肉糜, 均匀涂于平板的下表面 (40 mm直径) 中心, 平行板外肉糜与空气接触处用石蜡封住以防止水分蒸发。测试参数为: 频率1 Hz, 恒定应力0.012, 上下板夹缝距离0.5 mm, 以1 °C/min的速率从20 °C升温到80 °C。测定不同样品的储能模量 (G') 和损耗模量 (G'') 及相位角正切 ($\tan\delta$) 的变化。

1.3.12 感官评价

邀请10名有感官评价经验的研究生, 其中5男5女, 组成评定小组, 采用双盲法进行检验。主要评定产品的色泽、气味、组织状态、口感和整体可接受性进行评定, 每项指标的最高得分为9分, 最低为1分, 根据评分判定样品的优劣。具体评价标准如表2所示。

表2 感官评价标准
Table 2 Criteria for sensory evaluation of frankfurters

评价指标	评分标准 (满分9分)		
	7~9分	4~6分	1~3分
色泽	色泽金黄有食欲, 有光泽	色泽一般, 食欲差, 光泽一般	色泽苍白无食欲, 光泽较差
溢气味	肠香味浓郁, 无异味	肠香味欠缺, 稍有异味	肠香味很淡, 有异味
组织状态	切面光滑, 肉质紧密, 弹性好	切面粗糙, 肉质一般, 弹性稍欠	切面粗糙, 肉质疏松, 弹性稍欠
口感	肉质细腻, 耐嚼, 回味好	肉质略微柴感, 干涩, 回味较好	肉质有柴感, 硬感, 回味差
总体可接受性	高 (喜欢)	适中	低 (不接受)

1.4 数据统计分析

每个实验重复3次, 结果表示为 $\bar{x} \pm s$ 。数据统计分析采用Statistix 8.1 (分析软件, StPaul, MN) 软件包中Linear Models程序进行, 差异显著性 ($P < 0.05$) 分析使用Tukey HSD程序。采用sigmaplot12.5软件作图。

2 结果与分析

2.1 蒸煮损失和乳化稳定性

如表3所示, 添加预乳状液的实验组的蒸煮损失显著低于对照组 ($P < 0.05$)。该现象表明预乳状液替代动物脂肪可降低香肠加热过程中的蒸煮损失, 这与Ambrosiadis等^[23]研究结果相一致, 其研究发现添加植物油乳状液的肉饼的蒸煮损失显著低于含猪背膘的肉饼。

同时, 随着预乳状液添加量的增加, 蒸煮损失、水分损失和脂肪损失都呈现明显降低的变化趋势 ($P < 0.05$)。与对照组相比, 替代45%脂肪的实验组具有最小的蒸煮损失、水分损失及脂肪损失 ($P < 0.05$)。这是由于经乳化的菜籽油可均匀分散在生肉糜体系中, 而且油滴表面覆盖的PPPH可以与肉糜中蛋白发生紧密的结合, 进而提高了加热过程中肉糜的物理稳定性。而过多的预乳状液在肉糜的凝胶体系中仅起到填充作用, 这就导致香肠持水能力的下降。Gao Leng等^[24]研究表明, 大豆分离蛋白乳化的葵花子油替代猪背膘加入法兰克福香肠中, 水相中与脂质表面的大豆分离蛋白有效的结合可明显降低产品蒸煮损失。Jiménez-Colmenero等^[5]研究发现乳化橄榄油替代猪背膘可提高法兰克福香肠的乳化稳定性, 相比于添加动物脂肪的对照组, 乳化体系引入的蛋白提高了产品的保水保油能力。

表3 植物油预乳状液替代猪脂肪比例对乳化肉糜的蒸煮损失和乳化稳定性的影响

Table 3 Effects of various replacement levels of vegetable oil-in-water pre-emulsion on cooking loss and emulsion stability of meat batter

脂肪替代量	蒸煮损失	水分损失	脂肪损失
对照	15.79 ± 1.06 ^a	14.88 ± 1.06 ^a	0.85 ± 0.06 ^a
15%	13.66 ± 0.27 ^b	12.84 ± 0.25 ^b	0.82 ± 0.02 ^a
30%	9.50 ± 0.93 ^c	8.82 ± 0.91 ^c	0.67 ± 0.05 ^b
45%	6.91 ± 0.62 ^d	6.37 ± 0.58 ^d	0.53 ± 0.04 ^c
60%	7.08 ± 0.56 ^d	6.51 ± 0.52 ^d	0.57 ± 0.04 ^{bc}

注: 同列字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 色度值结果

表4 植物油预乳状液替代猪脂肪比例对法兰克福香肠色度值的影响
Table 4 Effect of various replacement levels of vegetable oil-in-water pre-emulsions on color of frankfurters

脂肪替代量	L^*	a^*	b^*
对照	61.82 ± 0.10 ^e	11.73 ± 0.07 ^a	14.21 ± 0.14 ^c
15%	61.89 ± 0.13 ^e	11.43 ± 0.11 ^a	14.67 ± 0.11 ^b
30%	62.47 ± 0.07 ^b	11.71 ± 0.10 ^a	14.89 ± 0.14 ^{ab}
45%	62.95 ± 0.08 ^a	11.51 ± 0.16 ^a	15.13 ± 0.20 ^a
60%	62.86 ± 0.11 ^a	11.65 ± 0.12 ^a	15.17 ± 0.18 ^a

如表4所示, 与对照组相比, 随着预乳状液替代脂肪比例的增加, 香肠的 L^* 值和 b^* 值显著增加 ($P < 0.05$), a^* 值无明显变化 ($P > 0.05$)。相比斩拌的固态肥膘, 乳化植物油液滴较小, 具有较大的表面积, 通过提高光的反射率增加了香肠的亮度值。而且实验组肉糜凝胶网络的内部水分较对照组损失减少, 也可增强光的反射, 这与上述蒸煮损失的结果相一致。Gao Leng等^[24]研究发现, 添加预乳化大豆油替代猪背膘可显著提高香肠的亮度值, 且存在浓度依赖关系。此外, L^* 值与脂质氧化及丙二醛的产生有关。前期实验研究表明, OCA添加到以PPPH作为乳化剂所制备的植物油预乳状液中, 能够显著

提高乳状液贮藏期间的氧化稳定性。Cavalheiro等^[25]研究结果表明鸡肉蛋白水解物乳状液加入摩泰台拉香肠中,抑制了其脂质氧化,从而提高了香肠的亮度值。 b^* 值的增加主要是由于动物脂肪和植物油之间颜色差异引起的^[26],呈现黄棕色的PPPH可能也会引起颜色的变化。

2.3 质构分析

通过质构仪对香肠硬度、弹性、黏结性和咀嚼性等指标的测定,客观评价产品的食用品质,是评估肉制品质量和可接受性的关键特性^[27]。如表5所示,与对照组相比,实验组香肠的硬度显著增加,且随着预乳状液替代比例的增加呈现上升的趋势($P<0.05$)。这是由于在加热过程中,肌原纤维蛋白分子结构舒展暴露活性基团^[20],同时随着预乳状液添加量的增大,引入更多的蛋白质参与肉糜凝胶网络结构的形成,PPPH与基质中蛋白的紧密结合增加了产品的硬度。有研究表明,预乳化植物油替代动物脂肪加入肉制品中,通过加强基质凝胶网络结构的强度而提高产品的硬度^[26,28-29]。

表5 植物油预乳状液替代猪脂肪比例对法兰克福香肠质构的影响
Table 5 Effect of various replacement levels of vegetable oil-in-water pre-emulsions on texture characteristics of frankfurters

脂肪替代量	硬度/N	弹性/mm	黏结性	咀嚼性/N	回复性
对照	12.25±0.26 ^c	0.79±0.04 ^a	0.52±0.06 ^a	5.00±0.35 ^c	0.25±0.04 ^{ab}
15%	14.88±0.68 ^b	0.79±0.02 ^a	0.56±0.05 ^a	5.43±0.43 ^c	0.24±0.03 ^b
30%	15.79±0.55 ^{ab}	0.82±0.02 ^a	0.55±0.05 ^a	7.64±0.35 ^b	0.26±0.03 ^b
45%	16.67±0.87 ^a	0.83±0.03 ^a	0.65±0.04 ^a	8.44±0.62 ^{ab}	0.33±0.03 ^a
60%	16.80±0.73 ^a	0.79±0.03 ^a	0.65±0.04 ^a	8.78±0.32 ^a	0.33±0.03 ^a

预乳状液替代组的法兰克福香肠咀嚼性和回复性也显著增加($P<0.05$),弹性和黏结性虽增加但无显著性差异($P>0.05$)。弹性和回复性分别为表征样品在第1次压缩后再恢复的程度和回弹能力的指标。OCA通过诱导PPPH多肽分子交联,形成稳固的分子结构存在于肉基质中^[30],因此使香肠具有稳定的凝胶特性。Intarasirawat等^[31]研究发现,金枪鱼籽蛋白水解物制备的乳状液添加到鱼肉乳化肠中,提高了产品的黏结性、咀嚼性和回复性,这主要是由于水解蛋白形成的肽发生的交联引起了乳化肠结构特性的变化。因此,预乳状液替代猪背膘加入法兰克福香肠中可以提高香肠的质构特性,改善产品的质地。

2.4 香肠内部水分动态分布

通过LF-NMR技术测定香肠内部水分分布,能够提供关于蛋白质固定水分子及其与氢质子相互作用的直接信息,从而反映肌球蛋白变性、肌纤维纵向收缩以及肌原纤维蛋白凝胶持水性的变化^[32-33]。如图1所示,拟合后的 T_2 分布按弛豫时间呈现3个峰,其根据水分子自由移动程度不同,从左至右依次表示结合水(T_{2b})、不易流动水(T_{21})和自由水(T_{22})。与对照组相比,添加预乳状液的法兰克福的3种水分弛豫时间均向弛豫时间短的方向

移动($P<0.05$)。这说明香肠中原有的不易流动水与肉中蛋白结合更加紧密,而且自由水也向不易流动水进行转变。Miklos等^[34]研究发现香肠的微观结构中脂肪的大小会影响弛豫时间的变化,相比于斩碎的动物脂肪,更加微小的乳状液滴存在于凝胶网络的多微孔结构中,由于水分子受网络结构限制不易流动,所以加速其与周围水分子自旋交换,从而降低自旋-自旋时间^[35-36]。

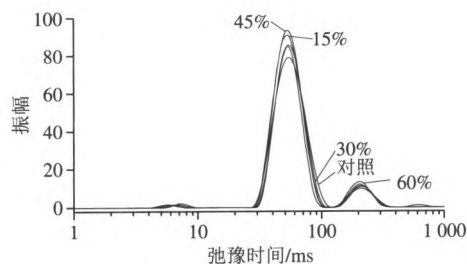


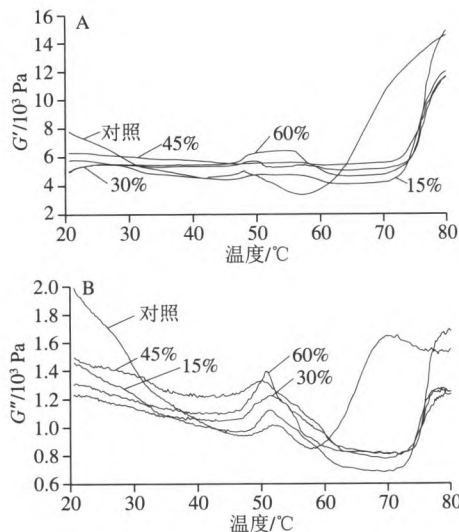
图1 植物油预乳状液替代猪脂肪比例对法兰克福香肠中水分分布的影响
Fig. 1 Effect of various replacement levels of vegetable oil-in-water pre-emulsion on water distribution of frankfurters

表6 植物油预乳状液替代猪脂肪比例对法兰克福香肠横向弛豫时间及振幅的影响

脂肪替代量	T_{2b} /ms	T_{21} /ms	T_{22} /ms	A_{2b}	A_{21}	A_{22}
对照	7.80±0.68 ^a	54.60±0.37 ^a	223.33±10.00 ^a	1.00±0.00 ^b	72.33±4.04 ^e	12.33±0.75 ^a
15%	6.87±0.68 ^{ab}	52.97±0.20 ^b	210.00±7.67 ^{ab}	1.33±0.58 ^{ab}	87.67±3.77 ^{ab}	10.67±0.58 ^{bc}
30%	6.33±0.57 ^{ab}	52.87±0.37 ^b	200.00±8.33 ^b	1.67±0.58 ^{ab}	83.67±2.44 ^{ab}	10.33±0.38 ^c
45%	5.87±0.57 ^b	51.17±0.30 ^b	197.67±7.67 ^b	2.00±0.02 ^a	89.33±3.21 ^a	9.67±0.52 ^c
60%	6.23±0.33 ^b	51.67±0.30 ^b	202.67±8.33 ^{ab}	2.00±0.01 ^a	79.67±2.73 ^{bc}	12.00±0.73 ^{ab}

如表6所示,相比于对照组,当脂肪替代量达到45%时, A_{2b} 和 A_{21} 显著增加, A_{22} 显著减少($P<0.05$)。这说明随着预乳状液的增加,整个凝胶体系中蛋白结合更多的自由水,导致结合水和不易流动水含量增加。

2.5 流变学特性



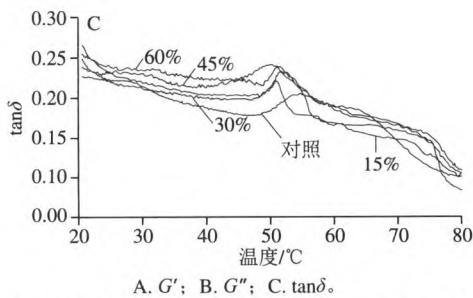


图2 植物油预乳状液替代猪脂肪比例对乳化肉糜流变学特性的影响
Fig. 2 Effect of various replacement levels of vegetable oil-in-water pre-emulsion on rheological properties of meat batter

如图2所示，肉糜黏弹特性随着温度的升高而发生变化， G' 用于描述升温过程中肉糜凝胶体系的弹性性质。如图2A所示，对照组的 G' 在42℃开始增加，48℃达到最大值后又迅速下降，于57℃下降至最小值，继续升温，肉糜弹性呈现显著上升的趋势。这种流变特性的转换是由于升温过程中肌原纤维蛋白的变化引起的^[37]。在升温过程中，肌球蛋白头部变性发生部分聚集（42~48℃）加强了肉糜凝胶弹性以及尾部螺旋打开（50~55℃）发生折叠导致蛋白凝胶网络结构破坏。随着预乳状液的添加，提高了肉糜体系的 G' 。这说明脂肪球参与了肌原纤维蛋白凝胶网络结构的形成，植物油滴在加热时与蛋白质相互作用形成不规则网络结构，这种蛋白-脂肪球相互作用随着温度继续上升转变为肉糜溶质中的永久性蛋白，而且随着脂肪球膜的破坏而发生聚集^[38]，从而导致 G' 相对于对照组较高。此外，OCA作为一种交联剂，通过增加PPPH和肉糜基质中蛋白二硫键的形成^[39]，促进蛋白间的交联，从而建立更坚实的凝胶网络结构^[40]。然而，升温对实验组 G' 峰值影响不显著，这是由于植物油和猪背膘的物理状态不同，菜籽油液滴相对柔韧， G' 变化也较为平滑，而在较高温度下，猪背膘由固态逐渐融化，脂肪球发生破碎^[41-42]， G' 变化与实验组相似。Wu Mangang等^[38]研究发现乳化花生油加入到肌原纤维蛋白凝胶体系中，蛋白交联形成致密的凝胶结构，显著增强体系的弹性。

G'' 表示流变行为的黏性特征，如图2B所示，不同添加量的预乳状液法兰克福肉糜 G'' 变化趋势与 G' 一致，随着脂肪替代量的增加，肉糜体系的黏性增加。植物油乳状液作为脂肪球的黏性悬浮液，替代猪背膘加入肉糜中可提高体系的整体黏度。此外，Yang Huijuan等^[43]研究发现水和脂肪的结合能力增强可以增加体系的黏度。覆盖于油滴表面的PPPH通过疏水键和氢键结合更多的水分使 G'' 增加。

在蛋白质凝胶形成过程中， $\tan\delta$ 表示黏度与弹性的相对分布，即 $\tan\delta$ 越小，凝胶黏性较小弹性较大^[44]。如图2C所示，相比于对照组，随着预乳状液添加量的增加， $\tan\delta$ 值增加。所有实验组的法兰克福肉糜的 $\tan\delta$ 从

42℃开始增加，于50℃附近达到峰值，而后随着升温继续下降。Samejima等^[45]研究表明肌球蛋白在初始加热阶段，结构膨胀产生黏稠状态的溶胶，当温度接近43℃时，重链肌球蛋白通过—S—S—交联发生缔合，导致弹性网络的形成，所以 $\tan\delta$ 下降。较高的温度时，肌球蛋白主要结构发生改变，主要表现为分子相互作用及和PPPH交联，所以导致蛋白凝胶网络弹性增加，黏性下降。

2.6 感官评价

表7 植物油预乳状液替代猪脂肪比例对法兰克福香肠感官评分的影响
Table 7 Effect of various replacement levels of vegetable oil-in-water pre-emulsion on sensory quality of frankfurters

脂肪替代量	色泽	气味	组织状态	口感	总体接受性
对照	6.72±0.27 ^a	7.46±0.23 ^a	6.71±0.20 ^a	6.96±0.25 ^a	6.96±0.36 ^a
15%	6.82±0.39 ^a	7.23±0.16 ^{ab}	6.90±0.15 ^a	6.84±0.36 ^a	6.81±0.22 ^a
30%	7.10±0.22 ^a	7.18±0.21 ^{ab}	7.20±0.22 ^a	7.16±0.25 ^a	7.10±0.27 ^a
45%	7.27±0.20 ^a	7.03±0.24 ^{ab}	7.16±0.35 ^a	7.23±0.34 ^a	7.18±0.20 ^a
60%	7.22±0.32 ^a	6.76±0.27 ^b	6.89±0.26 ^a	7.20±0.27 ^a	7.00±0.30 ^a

注：分值为7.5~8很好；7~7.5较好；6.5~7一般；6~6.5可接受；6以下为差，不可接受。

如表7所示，相比于对照组，实验组的法兰克福香肠在色泽、组织状态、口感上评分较高，但差异不显著（ $P>0.05$ ）。不同植物油预乳状液替代猪脂肪制备的法兰克福香肠较为光泽，口感软弹而细腻，组织结构均致密。这说明预乳状液替代猪背膘加入香肠中，通过减少水分、油脂和营养物质的流失而改善产品品质特性的同时，并未对其食用品质产生不良影响，而且与只添加猪背膘的法兰克福香肠一样在总体可接受水平上。但随着预乳状液添加量增加至60%，PPPH特有的血浆气味对产品产生了显著影响（ $P<0.05$ ）。因此，替代45%猪背膘的法兰克福香肠具有最好的组织结构和食用品质特性。

3 结论

本实验主要探讨了以PPPH结合OCA所制备的高稳定性植物油预乳状液以15%、30%、45%和60%的比例替代猪脂肪加入到法兰克福香肠中对香肠品质特性的影响。研究结果显示，该植物油预乳状液的添加可以有效减少乳化肉糜的蒸煮损失，并提高其乳化稳定性；同时，改善了香肠的组织状态。另外，低场核磁结果显示，随着植物油预乳状液替代猪脂肪比例的增加，香肠内部水分向弛豫时间短的方向移动，水分子与肉蛋白结合趋于紧密。感官评定结果发现植物油预乳状液替代猪脂肪对香肠的感官没有显著影响，尤其以45%的替代量为最佳。植物油预乳状液部分替代猪脂肪添加到法兰克福香肠中，在不影响产品品质的前提下，显著降低了产品中的脂肪含量，为其在低脂乳化肉糜加工中良好应用提供理论参数。

参考文献:

- [1] DELGADOPANDO G, COFRADES S, RUIZCAPILLAS C, et al. Healthier lipid combination as functional ingredient influencing sensory and technological properties of low-fat frankfurters[J]. *European Journal of Lipid Science & Technology*, 2010, 112(8): 859-870. DOI:10.1002/ejlt.201000076.
- [2] MCNEILL S, VAN ELSWYK M E. Red meat in global nutrition[J]. *Meat Science*, 2012, 92(3): 166-173. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.03.014.
- [3] WHO. Global initiative on diet, physical activity and health[EB/OL]. Geneva, Switzerland: World Health Organization (Retrieved from), 2013. http://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/unhealthy_det_text/en/.
- [4] 於慧利, 徐宝才, 李景军, 等. 水油乳化剂替代猪背脂法兰克福香肠的品质及感官研究[J]. *食品与机械*, 2012, 28(6): 74-79.
- [5] JIMÉNEZ-COLMENERO F, HERRERO A, PINTADO T, et al. Influence of emulsified olive oil stabilizing system used for pork backfat replacement in frankfurters[J]. *Food Research International*, 2010, 43(8): 2068-2076. DOI:10.1016/j.foodres.2010.06.010.
- [6] PANAGIOTOPOULOU E, MOSCHAKIS T, KATSANIDIS E. Sunflower oil organogels and organogel-in-water emulsions (part II): implementation in frankfurter sausages[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 73: 351-356. DOI:10.1016/j.lwt.2016.06.006.
- [7] YOUSSEF M K, BARBUT S. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters[J]. *Meat Science*, 2009, 82: 228-233. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.01.015.
- [8] BARBUT S, WOOD J, MARANGONI A G. Quality effects of using organogels in breakfast sausage[J]. *Meat Science*, 2016, 122: 84-89. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.07.022.
- [9] SALMINEN H, HERRMANN K, WEISS J. Oil-in-water emulsions as a delivery system for *n*-3 fatty acids in meat products[J]. *Meat Science*, 2013, 93(3): 659-667. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.11.035.
- [10] LÓPEZ-LÓPEZ I, COFRADES S, JIMÉNEZ-COLMENERO F. Low-fat frankfurters enriched with *n*-3 PUFA and edible seaweed: effects of olive oil and chilled storage on physicochemical, sensory and microbial characteristics[J]. *Meat Science*, 2009, 83(1): 148-154. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.04.014.
- [11] ASUMING-BEDIAKO N, JASPAL M H, HALLETT K, et al. Effects of replacing pork back fat with emulsified vegetable oil on fatty acid composition and quality of UK-style sausages[J]. *Meat Science*, 2014, 96: 187-194. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.06.031.
- [12] BERIAIN M J, GOMEZ I, PETRI E, et al. The effects of olive oil emulsified alginate on the physico-chemical, sensory, microbial, and fatty acid profiles of low-salt, inulin-enriched sausages[J]. *Meat Science*, 2011, 88: 189-197. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.12.024.
- [13] FRANKEL E N, HUANG S W, KANNER J, et al. Interfacial phenomena in the evaluation of antioxidants: bulk oils vs emulsions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994, 42: 1054-1059. DOI:10.1021/jf00041a001.
- [14] MANCUSO J R, MCCLEMENTS D J, DECKER E A. The effects of surfactant type, pH, and chelators on the oxidation of salmon oil-in-water emulsions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47: 4112-4116. DOI:10.1021/jf990203a.
- [15] CHENG Y, XIONG Y L, CHEN J. Antioxidant and emulsifying properties of potato protein hydrolysate in soybean oil-in-water emulsions[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120: 101-108. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.09.077.
- [16] LI Y, NIU H L, LIU H T, et al. Effect of porcine plasma protein with limited hydrolyzation coupled with Tween 20 on the physical and oxidative stability of oil-in-water emulsions[J]. *Food Biophysics*, 2018, 13: 1-11. DOI:10.1007/s11483-017-9512-5.
- [17] CHEN Y C, WANG C, LIU H T, et al. Enhanced physical and oxidative stability of porcine plasma protein hydrolysates based oil-in-water emulsions by adding oxidized chlorogenic acid[J]. *Colloids and Surfaces A: Physico Chemical and Engineering Aspects*, 2008. DOI:10.1016/j.colsurfa.2018.08.067.
- [18] 李月, 孔保华, 王超, 等. 蛋白酶种类及水解时间对猪血浆蛋白水解物抗氧化性和乳化性的影响[J]. *肉类研究*, 2016, 30(12): 7-11. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.12.002.
- [19] AEWSIRI T, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Antioxidative activity and emulsifying properties of cuttlefish skin gelatin modified by oxidised phenolic compounds[J]. *Food Chemistry*, 2009, 117(1): 160-168. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.03.092.
- [20] 姜帅, 牛海力, 刘睿, 等. 添加可得然胶对法兰克福香肠品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 218-226. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.19.040.
- [21] COLMENERO F J, AYO M J, CARBALLO J. Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with caseinate, KCl and dietary fibre as salt replacers[J]. *Meat Science*, 2005, 69(4): 781-789. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.11.011.
- [22] AURSAND I G, GALLART-JORNET L, ERIKSON U, et al. Water distribution in brine salted cod (*Gadus morhua*) and Salmon (*Salmo salar*): a low-field LF-NMR study[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(15): 6252-6260. DOI:10.1021/jf800369n.
- [23] AMBROSIADIS J, VARELTZIS K P, GEORGAKIS S A. Physical, chemical and sensory characteristics of cooked meat emulsion style products containing vegetable oils[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 1996, 31(2): 189-194. DOI:10.1111/j.1365-2621.1996.323-26.x.
- [24] GAO L, HUANG Y P, GAO X C. Influence of pre-emulsified sunflower oil used for pork backfat replacement in sika deer (*Cervus nippon Hortulorum*) frankfurter[J]. *Food Science & Technology Research*, 2013, 19(5): 773-780. DOI:10.3136/fstr.19.773.
- [25] CAVALHEIRO C P, LUDTKEF L, STEFANELLO F S, et al. Replacement of mechanically deboned chicken meat with its protein hydrolysate in mortadella-type sausages[J]. *Food Science & Technology*, 2014, 34(3): 478-484. DOI:10.1590/1678-457x.6370.
- [26] ASUMINGBEDIAKO N, JASPAL M H, HALLETT K, et al. Effects of replacing pork backfat with emulsified vegetable oil on fatty acid composition and quality of UK-style sausages[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 187-194. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.06.031.
- [27] CHEN L, OPARA U L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods: a review[J]. *Food Research International*, 2013, 51(2): 823-835. DOI:10.1016/j.foodres.2013.01.046.
- [28] WU M A, XIONG Y L, 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 Science*, 2011, 88(3): 384-390. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.01.014.
- [29] PARK J, RHEE K S, KEETON J T, et al. Properties of low-fat frankfurters containing monounsaturated and omega-3 polyunsaturated oils[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 54(3): 500-504. DOI:10.1111/j.1365-2621.1989.tb04637.x.
- [30] STRAUSS G, GIBSON S M. Plant phenolics as cross-linkers of gelatin gels and gelatin-based coacervates for use as food ingredients[J]. *Food Hydrocolloids*, 2004, 18(1): 81-89. DOI:10.1016/S0268-005X(03)00045-6.

- [31] INTARASIRISAWAT R, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Effects of skipjack roe protein hydrolysate on properties and oxidative stability of fish emulsion sausage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 58(1): 280-286. DOI:10.1016/j.lwt.2014.02.036.
- [32] BERTRAM H C, ENGELSEN S B, BUSK H, et al. Water properties during cooking of pork studied by low-field NMR relaxation: effects of curing and the RN-gene[J]. *Meat Science*, 2004, 66(2): 437-446. DOI:10.1016/S0309-1740(03)00132-3.
- [33] HAN M, WANG P, XU X, et al. Low-field NMR study of heat-induced gelation of pork myofibrillar proteins and its relationship with microstructural characteristics[J]. *Food Research International*, 2014, 62: 1175-1182. DOI:10.1016/j.foodres.2014.05.062.
- [34] MIKLOS R, MORA-GALLEGRO H, LARSEN F H, et al. Influence of lipid type on water and fat mobility in fermented sausages studied by low-field NMR[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 617-622. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.08.025.
- [35] SALOMONSEN T, SEJERSEN M T, VIERECK N, et al. Water mobility in acidified milk drinks studied by low-field ¹H NMR[J]. *International Dairy Journal*, 2007, 17(4): 294-301. DOI:10.1016/j.idairyj.2006.04.003.
- [36] BERTRAM H C, PURSLOW P P, ANDERSEN H J. Relationship between meat structure, water mobility, and distribution: a low-field nuclear magnetic resonance study[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50(4): 824-829. DOI:10.1021/jf010738f.
- [37] SUN J, LI X, XU X, et al. Influence of various levels of flaxseed gum addition on the water-holding capacities of heat-induced porcine myofibrillar protein[J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(3): 472-478. DOI:10.1111/j.1750-3841.2011.02094.x.
- [38] WU M A, 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. DOI:10.1111/j.1750-3841.2009.01140.x.
- [39] AMJAD B, SOOTTAWAT B. Enhancement of gel strength of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) surimi using oxidised phenolic compounds[J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(1): 61-70. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.07.039.
- [40] GROSSI A, BOLUMAR T, SOLTOFT-JENSEN J, et al. High pressure treatment of brine enhanced pork semitendinosus: effect on microbial stability, drip loss, lipid and protein oxidation, and sensory properties[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2014, 22(2): 11-21. DOI:10.1016/j.ifset.2013.09.011.
- [41] THENO D M, SCHMIDT G R. Microstructural comparisons of three commercial frankfurters[J]. *Journal of Food Science*, 1978, 43(3): 845-848. DOI:10.1111/j.1365-2621.1978.tb02436.x.
- [42] AMBROSIADIS J, VARELTZIS K P, GEORGAKIS S A. Physical, chemical and sensory characteristics of cooked meat emulsion style products containing vegetable oils[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 1996, 31(2): 189-194. DOI:10.1111/j.1365-2621.1996.323-26.x.
- [43] YANG H J, KHAN M A, YU X, et al. Changes in protein structures to improve the rheology and texture of reduced-fat sausages using high pressure processing[J]. *Meat Science*, 2016, 121: 79-87. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.06.004.
- [44] SANO T, NOGUCHI S F, TSUCHIYA T, et al. Dynamic viscoelastic behavior of natural actomyosin and myosin during thermal gelation[J]. *Journal of Food Science*, 1988, 53(3): 924-928. DOI:10.1111/j.1365-2621.1988.tb08987.x.
- [45] SAMEJIMA K, ISHIOBOROSHI M, YASUI T. Relative roles of the head and tail portions of the molecule in heat-induced gelation of Myosin[J]. *Journal of Food Science*, 1981, 46(5): 1412-1418. DOI:10.1111/j.1365-2621.1981.tb04187.x.