

大豆分离蛋白添加方式对猪肉凝胶特性的影响

康壮丽¹, 李斌¹, 马汉军¹, 朱艳萍², 宋照军¹, 潘润淑¹

(1. 河南科技学院食品学院, 河南新乡 453003) (2. 众品集团, 河南长葛 461500)

摘要:大豆分离蛋白是肉制品加工中常用的植物蛋白, 能够改善肉制品品质, 但添加方式影响肉制品质量。本研究添加大豆分离蛋白和 11S 球蛋白变性的大豆分离蛋白乳化猪背膘对猪肉肉糜蒸煮得率、乳化稳定性及猪肉凝胶色差和质构的影响, 并应用低场核磁共振技术, 研究不同处理猪肉凝胶中水分分布状态和水分迁移特性的异同。与添加大豆分离蛋白相比, 添加大豆分离蛋白乳化猪背膘显著提高 ($P < 0.05$) 猪肉肉糜的蒸煮得率和乳化稳定性, 提高凝胶的 L^* -值和 b^* -值, 硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等。低场核磁共振结果表明: 添加大豆分离蛋白乳化猪背膘的凝胶, T_{2b} 和 T_{22} 弛豫时间较短, 说明水分可移动性降低; T_{21} 的峰比例增加, 而 T_{22} 的峰比例降低, 说明不易流动的水分含量增加, 凝胶有较好的保水性。

关键词: 大豆分离蛋白; 凝胶; 质构; 乳化; 低场核磁共振

文章编号: 1673-9078(2016)6-220-224

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.6.035

Effect of Soybean Protein Isolate Addition Method on Gel Properties of Pork

KANG Zhuang-li¹, LI Bin¹, MA Han-jun¹, ZHU Yan-ping², SONG Zhao-jun¹, PAN Run-shu¹

(1.School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

(2.Zhongpin Corporation, Changge 461500, China)

Abstract: Soy protein isolate (SPI) is commonly used in meat processing to improve the quality of meat products; however, the method of adding SPI can affect meat quality. This work compared the effects of SPI addition and addition of pork back-fat emulsified with SPI containing denatured 11S globulin, on the cooking yield and emulsion stability of raw pork batter and the color and texture of pork batter gel. In addition, the differences in the water distribution and migration characteristics in the pork batter gel with different treatments were analyzed using low-field nuclear magnetic resonance spectroscopy. Compared with the addition of SPI, adding the pork back-fat emulsified with SPI could significantly increase the cooking yield and emulsion stability of cooked pork batter ($p < 0.05$), the L^* -value and b^* -value of pork batter gel, and improve the hardness, springiness, cohesiveness, and chewiness. Low-field nuclear magnetic resonance spectroscopic analysis showed that the gel with addition of the pork back-fat emulsified with SPI had shorter T_{2b} and T_{22} relaxation times, an increasing peak ratio of T_{21} , and a decreasing peak ratio of T_{22} , indicating an increased amount of bound water and a good water-holding capacity of the gel.

Key word: soybean protein isolate; gel; texture; emulsion; low field nuclear magnetic resonance

大豆分离蛋白是一种具有胆固醇含量低, 营养价值高和生产成本低的植物蛋白, 作为配料广泛应用于低温乳化肉制品加工中。大豆分离蛋白的蛋白质含量在 90% 以上, 按照沉降模式应用超速离心分离方法进行分离, 可分为 2S、7S、11S 和 15S 球蛋白, 其中 7S 和 11S 球蛋白是主要组分, 约占蛋白总量的 80%~90%, 对大豆分离蛋白的加工特性起着主导作用^[1]。

Kotula 等 (1986) 报道了直接添加大豆分离蛋白, 有

收稿日期: 2015-06-05

基金项目: 河南省高校科技创新团队支持计划资助项目 (13IRTSTHN006); 河南科技学院博士启动基金 (205010615001)

作者简介: 康壮丽 (1980-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 肉制品加工与质量控制

利于提高乳化肉制品的蒸煮得率, 保持产品的风味, 改善乳化肉制品的乳化性、凝胶性、保水保油性。大豆分离蛋白对水分有吸附作用, 加工过程中对水分有保持能力, 添加在肉制品中能够提高肉制品的嫩度, 增加出品率, 减少蒸煮收缩, 抑制酸败^[2], 然而, 大量添加易引起产品质构变软, 产生不良风味^[3]。如何在降低乳化肉制品品质的前提下添加大豆分离蛋白, 是肉制品行业的一个亟需解决的难点。

肌原纤维蛋白占肌肉蛋白 50%~55%, 是低温乳化肉制品中主要的功能成分。在乳化过程中, 添加食盐和磷酸盐促使肌原纤维蛋白发生溶解和溶胀^[4], 提取肌肉中的盐溶性肌原纤维蛋白, 增加肉糜的保水保油性能, 影响产品的出品率、质构和货架期^[5]。低温乳

化肉制品熟化温度一般在中心温度 68 °C~72 °C 之间,致病微生物理论上讲可被完全杀灭,同时在 50 °C~60 °C 之间肌原纤维蛋白变性形成凝胶。而大豆分离蛋白中 7S 和 11S 球蛋白的变性温度分别大约为 75 °C 和 90 °C,高盐浓度还会提高二者的变性温度^[6],在低温乳化肉制品熟化过程中大豆分离蛋白的结构并没有或只发生了很小程度的改变,大豆蛋白和肌原纤维蛋白之间的作用力很小,不能改善香肠的质构^[7]。且在温度超过 50 °C 时,大豆蛋白中的 β -伴球蛋白发生反应,并能够阻止肌球蛋白重链的自我聚集,降低凝胶强度^[8]。如何最大程度的发挥大豆分离蛋白在低温乳化肉制品中的功能是一个研究热点和难点^[9]。因此,本实验的主要目的是研究添加使用 11S 球蛋白变性的大豆分离蛋白乳化猪背膘对猪肉凝胶保水保油性、凝胶强度和水分分布状态的影响,以期为提高大豆分离蛋白在低温乳化肉制品中的功能提供新的思路和理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

冷却 24 h 的猪后腿肉(72.05%水分,20.10%蛋白质,7.34%脂肪;pH 5.75),猪背膘(8.50%水分,1.75%蛋白质,90.12%脂肪)由众品集团提供。大豆分离蛋白(91.5%蛋白质)购于临沂山松生物制品有限公司(中国)。剔除猪肉中结缔组织和多余的脂肪,使用绞肉机分别绞碎(6 mm),用双层真空包装袋(尼龙/PE)进行分装,每袋 1000 g,真空包装,储存于-20 °C 直到加工,不得超过 2 周。使用前在 0~4 °C 冷库中解冻约 12 h 至中心温度为 0 °C 左右。猪背膘要求使用新鲜的。

1.2 主要仪器设备

绞肉机(山东嘉信食品机械有限公司); Hanna pH计(意大利); T25高速匀浆器(德国IKA公司); Stephan UMC-5C 斩拌机(德国); Shimadzu AUY120 电子天平(日本岛津); CR-40色差计(日本美能达公司); 离心机(美国Beckman L-80-XP Ultracentrifuge); HH-42水浴锅(常州国华电器有限公司); 质构仪(英国StableMicrosystem公司); PQOOI台式NMR分析仪(上海纽迈电子有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 制备乳化猪背膘

乳化猪背膘的制备按照 Hoogenkamp (1989)^[10]

的方法并稍加改动。大豆分离蛋白、猪背膘和水的比例为 1:16:16。将大豆分离蛋白均匀缓慢的加入温度为 95 °C~98 °C 的水中,使用匀浆机 3000 r/min 匀浆 2~3 min,大豆分离蛋白分散均匀,无结块和颗粒,保证 11S 球蛋白充分变性。放入 2~4 °C 的冷库中,冷却到中心温度 5 °C 左右(约 5~6 h)。将冷却后的混合物放入预冷的斩拌机(2 °C)中。高速(3000 r/min)斩拌 30 s 后,加入猪背膘。低速(1500 r/min)斩拌 2~3 min 后,猪背膘混合均匀后,装入双层塑料袋(尼龙/PE)中放在 2~4 °C 的冷库中过夜待用。

1.3.2 制备肉糜

配方如下:猪后腿肉 1000 g;猪背膘 160 g;冰水 200 g;大豆分离蛋白 10 g;食盐 20 g;白砂糖 10 g;三聚磷酸钠 4 g;白胡椒粉 3 g。其中添加大豆分离蛋白的组分为 C1,添加大豆分离蛋白乳化猪背膘的组分为 C2。

制备工艺如下:将解冻好的猪肉、食盐、三聚磷酸钠放入真空斩拌机,1500 r/m 斩拌 30 s,并缓慢的加入 1/3 的冰水;加入大豆分离蛋白或乳化猪背膘和香辛料等,1500 r/min 斩拌 30 s,缓慢的加入 1/3 的冰水;3000 r/min 斩拌 60 s,并缓慢的加入 1/3 的冰水(中心温度低于 10 °C)。将肉糜灌入折径为 26 mm 的蛋白肠衣中,80 °C 水浴加热 20 min(中心温度 72 °C)。冷却后(中心温度 20 °C)放入 0~4 °C 冷库过夜冷却。

1.3.3 色差测定的方法

使用 CR-40 色差计对蒸煮肉糜中心部位进行测定,标准白色比色板为 $L^*=96.86$, $a^*=-0.15$, $b^*=1.87$,每组样品至少测定 5 次。其中 L^* 代表亮度值, a^* 代表红度值, b^* 代表黄度值。每个处理组重复 5 次。

1.3.4 蒸煮得率

蒸煮得率为肉糜蒸煮后重量(W_2)与蒸煮前重量(W_1)的百分比。公式如下:

$$\text{蒸煮得率}\% = W_2/W_1 \times 100\%$$

每个处理组测定 3 次。

1.3.5 乳化稳定性

根据 Fern ández-Mart ín 等(2009)^[11]的方法对肉糜乳化稳定性进行测定。取 25 g 肉糜放入 50 mL 离心管中,3 °C,500 r/min 离心 5 min 去除肉糜中的气泡。封闭离心管,放入 80 °C 水浴加热 20 min。取出后使用纸巾擦干外面的水分,立即打开试管盖,在室温下放置 50 min,以利于汁液的吸收和释放。渗出液总量(Total fluid release, TR)即释放的总液体的重量和样品初始重量的百分比,渗出液越多,乳化稳定性就越低。渗出液中水分含量,即水分渗出量(Water released, WR)为释放水分的重量和样品初始重量的百分比,

采用将渗出液在 105 °C 烘干 16 h 的方法进行测定。渗出液中含有少量的食盐和蛋白质,可以忽略不计,因此,烘干后剩余的物质为脂肪渗出量 (Fat released, FR),即释放的脂肪的重量和样品初始重量的百分比。每个处理组重复 4 次。

1.3.6 质构

不同处理的蒸煮肉糜在室温环境中放置 2 h,使蒸煮肉糜内外温度保持一致。取蒸煮肉糜的中心部位,制成 20 mm 高,直径为 25 mm 的圆柱体,使用 TA-XT.plus 质构仪的 P/50 圆柱型探头进行质构测定。测试条件如下:测试前速度为 2.0 mm/s,测试速度为 2.0 mm/s,测试后速度为 5.0 mm/s;压缩比为 50%,时间 5 s;触发类型:自动。得到的质构参数为:硬度 (Hardness):第一次压缩时使用力的最大值 (N);内聚性 (Cohesiveness):第二次压缩曲线面积和第一次压缩曲线面积的比值;弹性 (Springiness):第一次压缩后样品的回复百分比;咀嚼性 (Chewiness):硬度 (Hardness) × 内聚性 (Cohesiveness) × 弹性 (Springiness) (N mm)。每个处理组重复 6 次。

1.3.7 NMR 自旋-白旋弛豫时间(T_2)测量

应用纽迈台式脉冲 NMR 分析仪 PQ001 进行 NMR 自旋-白旋弛豫时间的测量。称取大小为 2 g 左右的蒸煮肉糜放入直径为 15 mm 的核磁管后放入分析仪中。测试条件如下:测量温度为 32 °C,质子共振频率为 22.6 MHz。参数如下: τ -值为(90° 脉冲和 180° 脉冲之间的时间)为 200 μ s。重复扫描 32 次,重复间隔时间为 6.5 s,得到 12 000 个回波,每个测试至少 3 次。

1.3.8 数据分析

使用统计软件 SPSS. v.18.0 (SPSS Inc.美国)对数据进行分析。应用独立样本 t -检验分析两种肉糜的保水保油性、凝胶强度和水分状态分布差异是否显著。

2 结果与分析

2.1 色泽

大豆分离蛋白不同添加方式对蒸煮肉糜的 L^* -值和 b^* -值的影响差异显著($p < 0.05$), a^* -值差异不显著($p > 0.05$) (表 1)。与添加大豆分离蛋白相比,添加大豆分离蛋白乳化猪背膘能够增加蒸煮肉糜的 L^* -值和 b^* -值。直接添加大豆分离蛋白,在脂肪球或液滴周围与肌原纤维蛋白形成竞争性吸附的关系,而凝胶中的主要乳化剂是肌原纤维蛋白,因为大豆蛋白在凝胶形成的过程中仅起到填充的作用,不能和肌原纤维蛋白有机结合^[4],造成 L^* -值和 b^* -值下降。此外,这也与大豆分离蛋白乳化猪背膘有较高的 L^* -值有关,大豆

分离蛋白乳化猪背膘的色差为 L^* -, a^* -, b^* -值分别为 72.15、1.05 和 6.18,添加乳化良好的大豆分离蛋白有利于提高蒸煮肉糜的 L^* -值。

表 1 大豆分离蛋白不同添加方式对蒸煮肉糜的色差 (L^* -, a^* -, b^* -值)的影响

Table 1 Effect of soybean protein isolate addition method on color (L^* -, a^* -, b^* - value) of cooked meat batters

样品名称	L^* -值	a^* -值	b^* -值
C1	63.25 \pm 1.38 ^b	5.02 \pm 0.58 ^a	9.13 \pm 0.35 ^b
C2	69.58 \pm 1.65 ^a	4.72 \pm 0.51 ^a	9.84 \pm 0.21 ^a

注: ^a^b不同字母表示纵列存在显著差异 ($p < 0.05$)。

2.2 蒸煮得率

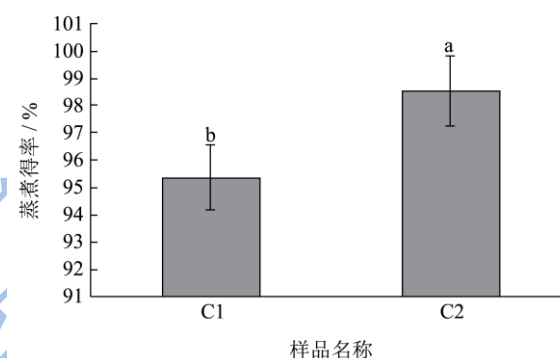


图 1 大豆分离蛋白不同添加方式对肉糜的蒸煮得率的影响

Fig.1 Effect of soybean protein isolate addition method on cooking yield of meat batters

注: ^a^b不同字母表示纵列存在显著差异 ($p < 0.05$)。

由图 1 可知,大豆分离蛋白不同添加方式对肉糜的蒸煮得率有显著的影响($p < 0.05$),添加大豆分离蛋白乳化猪背膘能够显著提高肉糜的蒸煮得率。添加大豆分离蛋白减少了香肠制品在加工过程中的水分损失,有利于保持肉汁,降低了香肠脱水收缩的程度,提高了产品的产率。与添加大豆分离蛋白相比,当大豆分离蛋白作为乳化剂对猪背膘进行乳化时,增加了肉糜基质中盐溶性蛋白的含量,有利于固定脂肪颗粒或液滴,形成良好的网状凝胶结构,减少肉糜的蒸煮损失。Su 等 (2000)^[12]报道了相似的结果:添加非肉蛋白 (乳清蛋白和酪蛋白酸钠等) 乳化猪背膘,增加香肠的蒸煮得率。

2.3 乳化稳定性

乳化稳定性是决定乳化肉糜品质的重要指标,大豆分离蛋白不同添加方式对肉糜的乳化稳定性有显著的 ($p < 0.05$) 影响 (表 2)。添加大豆分离蛋白乳化猪背膘显著提高猪肉肉糜的乳化稳定性,渗出液减少约 3 个百分点,水分渗出量和脂肪渗出量也相应减少。

这与肉糜的蒸煮得率的结果一致,即肉糜的乳化稳定性好,蒸煮得率高。前期学者研究表明大豆分离蛋白具有很强的保水保油性,减少了乳化肉制品在加工过程中的水分损失,有利于保持汁液,也能够降低乳化肉制品中瘦肉的添加量,增加肥肉的比例,改善了乳化肉制品的风味和口感,提高产品的出品率^[12]。Kotula等(1986)报道了大豆分离蛋白对水分有吸附作用,加工过程中对水分有保持能力。添加在肉制品中能够提高肉制品的嫩度,增加保水能力,减少蒸煮收缩^[2]。结果表明,与直接添加大豆分离蛋白相比,添加大豆分离蛋白乳化猪背膘的肉糜具有较好的乳化稳定性。

表2 大豆分离蛋白不同添加方式对肉糜的乳化稳定性的影响

Table 2 Effect of soybean protein isolate addition method on emulsion stability of meat batters

样品名称	TR /%	WR /%	FR /%
C1	5.60±0.51 ^a	3.82±0.30 ^a	1.75±0.30 ^a
C2	2.36±0.47 ^b	2.02±0.25 ^b	0.33±0.23 ^b

注: ^a^b不同字母表示纵列存在显著差异 ($p < 0.05$)。

表3 大豆分离蛋白不同添加方式对蒸煮肉糜的质构的影响

Table 3 Effect of soybean protein isolate addition method on the texture profile of cooked meat batters

样品名称	硬度/N	弹性	内聚性	咀嚼性/(N mm)
C1	45.32±1.52 ^b	0.873±0.007 ^b	0.652±0.005 ^b	28.80±1.45 ^b
C2	57.26±1.82 ^a	0.895±0.006 ^a	0.678±0.004 ^a	30.31±1.23 ^a

注: ^a^b不同字母表示纵列存在显著差异 ($p < 0.05$)。

2.5 NMR 质子弛豫

质子 NMR 用来测量自旋-自旋弛豫时间 (T_2),能够反凝胶映体系中水的分布和移动性。本研究中共出现 4 个特征峰,为 T_{2a} 、 T_{2b} 、 T_{21} 和 T_{22} ,峰顶点时间见表 4,弛豫时间 T_2 越短说明水与底物结合越紧密, T_2 时间越长表明水分越自由^[13],其中 T_{2a} 和 T_{2b} 在 0~10 ms 之间,表示猪肉凝胶中蛋白质等大分子结合的水和部分脂肪中的水分,为结合水; T_{21} 和 T_{22} 分别在 20~100 ms 和 250~400 ms 之间,分别表示可移动水和游离水^[14]。与直接添加相比,添加大豆分离蛋白乳化猪背膘的凝胶中 T_{2b} 和 T_{22} 弛豫时间较短,表明凝胶结构限制了水的移动,水分可移动性降低,所以造成了弛豫时间下降。不同 T_2 区间的积分面积所占总积分面积的百分比,可以表示其代表的水分组分的相对含量表示。有表 5 可知,两种肉糜多的不同状态水的峰比例有显著差异 ($p < 0.05$),添加大豆分离蛋白乳化猪背膘降低结合水和自由水的峰比例,增加不易流动水的峰比例,说明有利于三维网状凝胶结构的形成,增加凝胶中的毛细管力等,将水分束缚于凝胶中,减少水分的损失^[14]。质子 NMR 弛豫结果表明,添加大豆

2.4 质构

由表 3 可知,添加大豆分离蛋白乳化猪背膘提高蒸煮肉糜的硬度、弹性、内聚性和咀嚼性 ($p < 0.05$),将硬度从 45.32 N 提高到 57.26 N。Ahmad 等(2010)^[3]报道了添加大豆分离蛋白乳化猪背膘提高乳化香肠的质构。直接添加大豆分离蛋白的肉糜中,肌原纤维蛋白是肌肉蛋白中与大豆分离蛋白反应的主要物质,而大豆分离蛋白中 7S 和 11S 球蛋白的变性温度分别大约为 75 °C 和 90 °C^[6]。本实验中肉糜中心温度为 72 °C,没有达到 7S 球蛋白的变性温度,在肉糜形成凝胶的过程中起到填充的作用。而在大豆分离蛋白乳化猪背膘中,7S 和 11S 球蛋白都充分变性,包裹在脂肪颗粒和液滴的周围并形成良好的乳化液,将乳化液加入肉糜中,能够减少肌原纤维蛋白乳化脂肪颗粒和液滴的使用量,将其更多的应用于蛋白质基质中,有助于提高蒸煮肉糜的硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等质构特性。

分离蛋白乳化猪背膘能够提高猪肉凝胶的保水性。

表4 大豆分离蛋白不同添加方式对蒸煮肉糜弛豫时间 (ms) 的影响

Table 4 Effect of soybean protein isolate addition method on the relaxation time (ms) of meat batters

样品名称	T_{2a}	T_{2b}	T_{21}	T_{22}
C1	1.32	10.72	49.77	351.12
C2	1.32	9.33	49.77	305.39

注: ^a^b不同字母表示纵列存在显著差异 ($p < 0.05$)。

表5 大豆分离蛋白不同添加方式对蒸煮肉糜峰比例 (%) 的影响

Table 5 Effect of soybean protein isolate addition method on peak ration (%) of meat batters

样品名称	T_{2a}	T_{2b}	T_{21}	T_{22}
C1	0.82±0.05 ^a	2.34±0.06 ^a	78.77±1.26 ^b	18.08±0.53 ^a
C2	0.70±0.04 ^b	1.62±0.07 ^b	81.43±1.35 ^a	16.25±0.65 ^b

注: ^a^b不同字母表示纵列存在显著差异 ($p < 0.05$)。

3 结论

与添加大豆分离蛋白相比,添加大豆分离蛋白乳化猪背膘提高蒸煮肉糜的 L^* -值和 b^* -值, L^* -值从 63.25 增加到 69.58;蒸煮得率提高到 98.51%,乳化稳定性

显著提高, 汁液损失、水分和脂肪损失显著降低; 凝胶的硬度和弹性等显著提高。低场核磁共振的结果表明, 添加大豆分离蛋白乳化猪背膘, T_{2b} 和 T_{22} 弛豫时间较短, T_{21} 的峰比例增加, 而 T_{22} 的峰比例降低, 凝胶有较好的保水保油性。

参考文献

- [1] 布冠好,朱婷伟,陈复生.大豆蛋白-葡萄糖复合物的抗原性及结构特性研究[J].现代食品科技,2014,30(11):28-33
BU Guan-hao, ZHU Ting-wei, CHEN Fu-sheng. Antigenicity and structural properties of soybean protein-glucose conjugates [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 28-33
- [2] Kotula A W, Berry B W. Addition of soy proteins to meat products [M]. Plant proteins: Applications, biological effects, and chemistry. American Chemical Society symposium series, 312. (pp. 74-89) (Chapter 7), 1986
- [3] Youssef MK, Barbut S. Fat reduction in comminuted meat products-effects of beef fat, regular and pre-emulsified canola oil [J]. Meat Science, 2011, 87: 356-360
- [4] Xiong YL. Structure/function relationship of muscle proteins [M]. In S. Damodaran, & A. Paraf (Eds.), *Food proteins and their applications*. New York: Marcel Dekker, 1997
- [5] Sikes AL, Tobin AB, Tume RK. Use of high pressure to reduce cook loss and improve texture of low-salt beef sausage batters [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10: 405-412
- [6] Jacoba M, Renkema S. The effect of pH on heat denaturation and gel forming properties of soy proteins [J]. Journal of Biotechnology, 2000, 79: 223-230
- [7] Peng IC, Dayton W E, Quass DW, Allen C E. Investigation of soybean 11 S protein and myosin interreaction by solubility, turbidity and titration studies [J]. Journal of Food Science, 1982, 47: 1976-1983
- [8] Scilingo A A, Anon MC. Calorimetric study of soybean protein isolates: Effect of calcium and thermal treatments [J]. Journal of Agricultural and Food chemistry, 1996, 44: 3751-3756
- [9] 简华君,熊幼翎,唐学燕,等.大豆分离蛋白热变性程度对肌纤维蛋白凝胶性质的影响[J].食品与机械,2009,25(6):12-14
JIAN Hua-jun, XIONG You-ling, TANG Xue-yan, et al. Effect of preheating degree of soybean protein isolate on the gel properties of myofibrillar protein [J]. Food and Machinery, 2009, 25(6): 12-14
- [10] Hoogenkamp H W. Low-calories sausages, spread and mousses [J]. Fleischerie, 1989,40 (11): IV-V
- [11] Fernández-Martín F, López-López I, Cofrades S, Colmenero F J. Influence of adding sea spaghetti seaweed and replacing the animal fat with olive oil or a konjac gel on pork meat batter gelation. Potential protein/alginate association [J]. Meat Science, 2009, 83: 209-217
- [12] Su Y K, Bowers JA, Zayas JF. Physical characteristics and microstructure of reduced-fat frankfurters as affected by salt and emulsified fats stabilized with nonmeat proteins [J]. Journal of Food Science, 2000, 65, 123-128
- [13] 韩敏义,费英,徐幸莲,等.低场 NMR 研究 pH 对肌原纤维蛋白热诱导凝胶的影响[J].中国农业科学, 2009, 42(6): 2098-2104
HAN Min-yi, FEI Ying, XU Xing-lian, et al. Heat-induced gelation of myofibrillar proteins as affected by pH-a low field NMR study [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(6): 2098-2104
- [14] Tornberg E, Wahlgren M, Brøndum J, et al. Pre-rigor conditions in beef under varying temperature and pH falls studied with rigometer, NMR and NIR [J]. Food Chemical, 2000, 69(4): 407-418