

超高压处理对低磷酸盐鸡胸肉盐溶蛋白凝胶的影响

李莹, 王鹏, 徐幸莲*

(南京农业大学 教育部肉品加工与质量控制重点实验室, 农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室,
江苏 南京 210095)

摘要: 采用混料回归试验设计方法, 对300MPa、25℃、10min超高压处理鸡胸肉盐溶蛋白所添加的低含量复合磷酸盐的配比情况进行研究。结果表明: 为达到良好的保水性能, 未经超高压处理样品的最佳复合磷酸盐配比为 $m(\text{焦磷酸钠(DSPP)}): m(\text{三聚磷酸钠(STPP)}): m(\text{六偏磷酸钠(HMP)})=41:42.3:16.7$, 高压处理样品的最佳复合磷酸盐配比为 $m(\text{DSPP}): m(\text{STPP}): m(\text{HMP})=38.9:44.4:16.7$ 。超高压处理过的鸡胸肉盐溶蛋白凝胶的保水性比未经高压处理组样品显著提高。对照组DSPP、STPP以及DSPP、HMP的协同作用对保水性的影响较大, 高压组则为DSPP、HMP以及STPP、HMP的协同作用对保水性影响比较大。在100MPa时, 质量分数0.15%复合磷酸盐添加的鸡肉糜制品可以达到与质量分数0.30%复合磷酸盐添加的鸡肉糜制品的保水性相似的效果, 初步说明可以在生产中使用超高压处理以达到减少复合磷酸盐的添加量而不显著影响制品保水性的效果。

关键词: 超高压; 盐溶蛋白; 复合磷酸盐; 保水性

Effect of High Pressure Processing (HPP) on Gel Properties of Salt-Soluble Proteins from Low Polyphosphate Chicken Breast

LI Ying, WANG Peng, XU Xing-lian*

(Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Key Laboratory of Food Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The main objective of this study was to investigate the effect of high pressure processing (300 MPa, 25 °C, 10 min) on gel properties of salt-soluble proteins from low polyphosphate (0.15 g/100 g) chicken breast using mixture regression design. Based on water-holding capacity, the optimum ratio of sodium pyrophosphate (DSPP) to sodium tripolyphosphate (STPP) to sodium hexametaphosphate (HMP) was 41:42.3:16.7 and 38.9:44.4:16.7 for samples with and without HPP, respectively. HPP resulted in a significant rise in water holding capacity. DSPP exhibited synergistic effects with STPP or HMP on water holding capacity in control group, whereas synergistic effects between DSPP and HMP and between STPP and HMP were observed for HPP group. The water holding capacity of salt-soluble proteins gels subjected to HPP treatment at 100 MPa and added with 0.15% compound phosphate was similar to that of salt-soluble proteins gels with the addition of 0.30% compound phosphate, suggesting that the application of HPP can reduce the amount of phosphates required for achieving similar water holding capacity.

Key words: high pressure processing (HPP); salt-soluble protein; polyphosphate; water-holding capacity (WHC)

中图分类号: TS251.55

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)05-0060-07

我国鸡肉产量迅速增长, 现已成为世界第二大鸡肉生产国^[1]。鸡肉以其高蛋白和低脂肪著称, 为消费者所喜爱, 鸡肉的深加工制品也更多地出现在肉制品市场。由于鸡肉的肌纤维形成的凝胶弹性较差, 鸡肉加工制品的切片性也较差^[2]。为了改善鸡肉加工制品的质构特性, 多采用加入添加剂(如复合磷酸盐等)的方法改良鸡肉产品的品质。多聚磷酸盐能够影响肌纤维蛋白的溶解性, 提

高盐溶蛋白热诱导凝胶保持水分的能力, 从而影响相关工艺过程并决定肉制品的硬度、保水性等。超高压技术(high pressure processing, HPP)开始于19世纪末, 1899年Hite首次提出了高静压能够用于食品工业。超高压技术是指100MPa以上(通常在100~1000MPa)的静水压力在常温或者较低温度条件下对食品物料进行处理一定时间, 食品通常以软包装或者散装的方式放入密封及高强度的施

收稿日期: 2011-12-14

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(nycytx-42-G5); 国家公益性行业(农业)科研专项(200903012)

作者简介: 李莹(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工及质量控制。E-mail: 2009108057@njau.edu.cn

*通信作者: 徐幸莲(1962—), 女, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量控制。E-mail: xlxu@njau.edu.cn

加压力的容器中(传递压力的介质通常是水、矿物油)。超高压技术可增强肌纤维蛋白的溶解性,有利于保持或者改善蛋白的凝胶功能特性,所以有利于低离子浓度、低钠的肉制品生产^[3]。肉制品中添加的磷酸盐应该是在国家规定标准范围内(一般为肉质量的0.1%~0.4%),过多的摄入磷酸盐对人体有一定的危害性,而且原料肉中由于饲料等原因本身就含有一定量的磷酸盐。近年来,食品有向无磷化发展的趋势。南庆贤等^[4]指出,对蛋白质作适当处理,也许会起到磷酸盐的效果。宗瑜^[5]、江波^[6]等指出,增加谷氨酰胺酶转氨酶的用量可以促使蛋白质之间发生交联作用,从而降低磷酸盐的添加量,生产健康的低盐肉制品。李勇等^[7]提出用高压处理技术,可使香肠降低用盐量(包括低磷酸盐量),仍能得到持水性和凝胶性良好的产品。本实验应用超高压方法处理低含量复合磷酸盐的鸡胸肉盐溶蛋白,利用混料回归试验设计方法,研究超高压处理对鸡胸肉盐溶蛋白凝胶保水性以及其他性质的影响,并初步探究超高压处理能够降低鸡肉糜制品中磷酸盐添加量的可行性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鸡胸肉,购于本地苏果超市铁匠营店;直径15mm聚乙烯肠衣取自本地雨润公司生产线。

焦磷酸钠(DSPP) 上海试四赫维化工有限公司;三聚磷酸钠(STPP) 上海实意化学试剂有限公司;六偏磷酸钠(HMP) 成都市科龙化工试剂;NaCl 南京化学试剂有限公司;牛血清白蛋白(BSA) 美国Sigma公司;所有试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HPP600MPa/4L超高压装置 包头科发高新技术食品机械公司;Coulter Avanti J-E冷冻离心机 美国Beckman公司;TA-XT Plus质构仪 英国Stable Micro System公司;IKA 725 digital匀浆机 德国Braun公司;GM200绞肉机 德国Retsch公司;2KSY-600快速恒温数显水箱 南京科尔仪器设备有限公司;2100可见光分光光度计 美国Unico公司;CR-400全自动便携式色差计 日本Konika Minolta公司;YYW-2型应变控制式无侧限压力仪器 南京土壤仪器厂有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料处理

1.3.1.1 盐溶蛋白的提取

鸡胸肉剔除可见脂肪和结缔组织,用绞肉机8000r/min、30s将肉绞碎,每120g/份进行真空包装,−18℃中冻藏备用。使用前随机取分装好的肉样在4℃条件下解冻24h,然后按照混料回归设计^[8]的配置分别加入不同质量的

DSPP、STPP、HMP(即复合磷酸盐总量为0.15g/100g鲜肉)、0.6mol/L NaCl 200mL。用匀浆机在8000r/min条件下匀浆处理10s,调整溶液的pH值至6.5。将处理好的匀浆物放入4℃条件下静置24h,之后单层纱布过滤,滤液经冷冻离心机4000r/min、4℃离心5min,上清液即为盐溶蛋白溶液^[9],在4℃条件下冷却备用。

1.3.1.2 鸡肉糜制品制作

称取质量分数为1.5%的食盐和1.5%的复合磷酸盐,用蒸馏水先溶解并搅拌均匀,然后加入到肉块中,充分搅拌10min后,用保鲜膜封口放入冰箱腌制4℃腌制12h。用灌肠机灌肠于聚乙烯肠衣中(直径为15mm,长度约100mm)。另外,用质量分数3%的复合磷酸盐和2%的食盐的用量作为对照组。

1.3.2 超高压处理

1.3.2.1 超高压处理盐溶蛋白

将加入不同质量分数的各种磷酸盐的盐溶蛋白溶液用5mL移液器吸取分装入塑料聚乙烯自封袋中,每种分装样品用3层自封袋包装以防蛋白溶液漏出。将所有包装处理过的盐溶蛋白溶液放入高压腔体内,压力300MPa、温度25℃、保压时间10min。超高压处理装置传压介质为水,最高工作压力为600MPa。对照组为未经过高压处理的样品。处理时间不包括升压和卸压的时间,超高压处理均在25℃条件下进行,高压腔体内部温度恒定在(25±1)℃。超高压处理结束后样品于4℃条件下冷却备用。

1.3.2.2 超高压处理鸡肉糜制品

以未受压样品为对照,参数设定为25℃,高压腔体内部温度恒定在(25±1)℃,保压时间10min,考察压力水平分别为100、200、300、400MPa,每组样品3次重复。将高静压处理后的样品与对照样放入75℃恒温水浴中加热凝胶化30min,取出于室温条件下冷却,置于冰箱冷藏12h后供检测。

1.3.3 盐溶蛋白热诱导凝胶的制备

将高压处理以及未进行任何处理的对照组盐溶蛋白溶液分别量取5mL左右于7mL离心管中,每组样品做3组重复。参照Lesiów等^[10]的方法,并加以改进,用快速恒温数显水箱进行加热,以1℃/min,从25℃缓慢升温到70℃,并在70℃恒温5min,形成的凝胶用自来水冷却30min后,置于4℃条件下保存,备用。

1.4 指标测定

1.4.1 盐溶蛋白含量测定

采用双缩脲法测定盐溶蛋白浓度,用可见分光光度计测定标准蛋白梯度液和样品在540nm波长处的吸光度。标准曲线制作中标准蛋白采用BSA^[11]。

1.4.2 凝胶保水性(WHC)的测定

参照Foegeding^[12]的方法。取制备好的凝胶经3000r/min、

4℃离心3min后,称总质量,去除离心出的水分,再称质量,按照式(1)计算保水性。

$$WHC/\% = \frac{m_1 - m}{m_2 - m} \times 100 \quad (1)$$

式中: m_1 为离心管和去水后的凝胶质量/g; m_2 为离心管和水的总质量/g; m 为离心管的质量/g。

1.4.3 凝胶强度测定

用质构仪对准备好的凝胶进行凝胶强度的测定,利用Texture Exponent 32软件中的Surimi-SUR1-KB过程进行数据分析,计算出凝胶的强度。参数:探头型号P5 5mm Dia cylinder stainless;测前速率:1.0mm/s;测定速率:10.0mm/s;压缩形变量:10%;时间:5s;自动5g;获得速率:200pps。

1.4.4 凝胶颜色测定

对鸡肉凝胶用全自动便携式色差计进行色差测定,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值的记录,按照式(2)计算白度值(W)。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

1.4.5 鸡肉糜制品保水性测定

每份样品分别称质量,记做 m_A ,除去聚乙烯肠衣后,分别用吸水纸擦干净肠衣和肠体表面的水分,然后分别称肠衣质量 m_B 和肠体质量 m_C 。按照式(3)计算蒸煮损失。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m_A - m_B - m_C}{m_A - m_C} \times 100 \quad (3)$$

将肠体切下厚度为5mm的薄片,置于双层滤纸之间,放入上、下吸水纸之间,置于应变控制式无侧限压力仪器中间,用35N的压力保持120s。分别测量肠体被挤压之前和之后的质量 m_D 和 m_E ,非压出水分和样品保水性的公式分别按照式(4)、(5)计算。

$$\text{非压出水率}/\% = (1 - \frac{m_D - m_E}{m_D}) \times 100 \quad (4)$$

$$\text{样品保水性}/\% = (1 - \text{蒸煮损失率}) \times \text{非压出水率} \times 100 \quad (5)$$

1.5 试验设计和统计分析

表1 混料回归试验取值编码表
Table 1 Factors and levels for mixed regression design

编码水平	成分		
	DSPP	STPP	HMP
1	1/2	1/2	1/3
0.5	5/12	5/12	1/4
0	1/3	1/3	1/6

采用混料回归试验设计,混合磷酸盐所含DSPP、STPP、HMP取 $a_1=1/3$ 、 $a_2=1/3$ 、 $a_3=1/6$,利用Design-Expert7.1.6 辅助实验设计取值编码表^[13],制备样品均采用3个重复,混料回归试验取值编码见表1,试验设计见表2。

表2 混料回归试验设计表
Table 2 Mixed regression design protocol

组别	X_1 DSPP	X_2 STPP	X_3 HMP
1	1(0.090)	0(0.060)	0(0.030)
2	0(0.060)	1(0.090)	0(0.030)
3	0(0.060)	0(0.060)	1(0.060)
4	0.5(0.075)	0.5(0.075)	0(0.030)
5	0.5(0.075)	0(0.060)	0.5(0.045)
6	0(0.060)	0.5(0.075)	0.5(0.045)

利用SPSS 16.0 One-way ANOVA进行单因素方差分析,Design-Expert7.1.6进行混料回归的数据分析^[8]。用SPSS 16.0的配对样本 t 双尾检验来检验高压作用对表2中6组样品特性影响的显著性。用Duncan's多重范围检验来检验表2中6组样品特性差异的显著性。采用Scheffe混料回归分析法分析保水性回归方程。

2 结果与分析

2.1 超高压处理及复合磷酸盐配比对盐溶蛋白提取率的影响

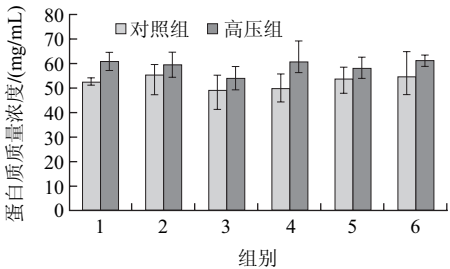


图1 不同组中盐溶蛋白的含量
Fig.1 Effect of HPP and phosphate composition on salt-soluble protein content
1~6所代表的组别参见表2的试验设计。

由图1可知,经不同的磷酸盐配比得到的盐溶蛋白含量不同,且差异极显著($P<0.01$)。双尾检验显著性 $P<0.01$,即高压处理得到的盐溶蛋白的质量浓度比对照组高,差异极显著。

2.2 对照组不同配比的复合磷酸盐对盐溶蛋白凝胶保水性的影响

表3 不同配比复合磷酸提取的盐溶蛋白凝胶的保水性($\bar{x} \pm s, n=3$)
Table 3 Effect of phosphate composition on water holding capacity of salt-soluble protein gels without HPP treatment($\bar{x} \pm s, n=3$)

组别	1	2	3	4	5	6
保水性/%	87.07±1.95 ^{ab}	89.03±1.31 ^{bc}	92.94±1.62 ^{cd}	95.66±0.12 ^d	82.81±1.98 ^a	94.06±1.10 ^{cd}

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

由表3可知,多重比较分析显著性 $P=0.01$,第4组保水性最好,与第1、2、5组有显著性差异;第5组保水性最差,与第2、3、4、6组有显著差异。混料回归

分析后得出3种磷酸盐对比对保水性的回归方程为： $R_1=87.07A+89.02B+92.94C+30.46AB-28.78AC+2.32BC$ (其中 R_1 为盐溶蛋白凝胶的保水性； A 、 B 、 C 分别为复合磷酸盐中DSPP、STPP、HMP在回归试验中的取值编码)。模型 $P<0.0001$ 表明模型能够准确地模拟3种磷酸盐对保水性的影响。用Design-Expert7.6.1作图得到的3种磷酸盐对保水性影响的等高线图如图2。对方程进行优化处理得到，当DSPP=41%、STPP=42.3%、HMP=16.7%时，保水性最好，为95.69%。

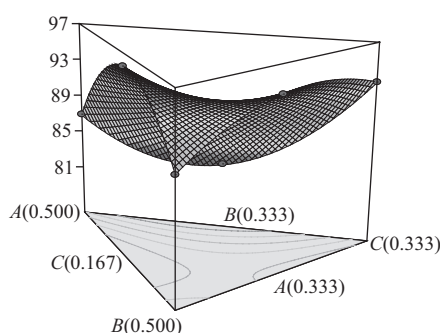


图2 3种磷酸盐对盐溶蛋白凝胶保水性影响的等高线

Fig.2 Contour plot showing the effect of three phosphates on water holding capacity of salt-soluble protein gels without HPP treatment

如图2所示，从AB为底边的一侧观察，可发现变化幅度比较明显，得出DSPP、STPP的协同作用对保水性的影响较大，同理以AC为底的一侧观察，可以得出DSPP、HMP的协同作用对保水性影响也比较大，相比之下，以BC为底边的一次观察可得出STPP、HMP的协同作用对保水性影响不大，说明DSPP对盐溶蛋白保水性的影响比较显著。这与于巍等^[14]在2007年研究草鱼盐溶蛋白保水性的研究时候得出的结论相似，即DSPP、STPP以及DSPP、HMP的协同作用对保水性的影响较大，DSPP对盐溶蛋白保水性的影响比较显著。

2.3 高压作用下不同配比复合磷酸盐对盐溶凝胶蛋白保水性的影响

表4 不同配比复合磷酸提取的高压处理后的盐溶蛋白凝胶的保水性 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 4 Effect of phosphate composition on water holding capacity of salt-soluble protein gels with HPP treatment ($\bar{x} \pm s, n=3$)

组别	1	2	3	4	5	6
保水性/%	93.45±1.46 ^a	95.58±1.46 ^a	95.95±0.64 ^a	96.08±0.78 ^a	91.86±2.25 ^a	92.75±3.56 ^a

由表4可知，多重比较分析结果 $P=0.296>0.05$ ，认为各组之间的保水性没有显著性差异；双尾检验显著性概率为 $P=0.004<0.01$ ，表示高压作用极显著地影响了凝胶的保水性^[15]。混料回归分析得出保水性和3种磷酸盐的成分的回归方程为： $R_2=93.45A+95.58B+95.95C+6.26AB-11.36AC-12.06BC$ (其中 R_2 为高压处理的凝胶的保水

性， A 、 B 、 C 分别为复合磷酸盐中DSPP、STPP、HMP的百分比编码值)。对方程进行优化处理得到，当DSPP=38.9%、STPP=44.4%、HMP=16.7%时，保水性最好，为96.26%。

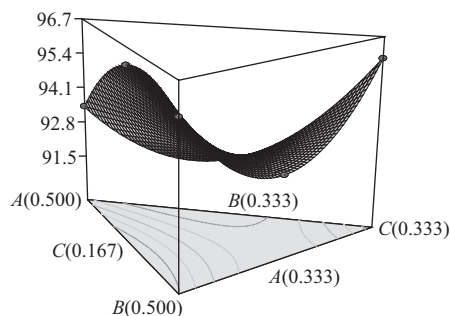


图3 3种磷酸盐对高压处理过的盐溶蛋白凝胶的保水性影响的等高线

Fig.3 Contour plot showing the effect of three phosphates on water holding capacity of salt-soluble protein gels with HPP treatment

如图3所示，从AC为底边的一侧观察，发现变化幅度比较明显，可以得出DSPP、HMP的协同作用对保水性的影响较大，同理以BC为底的一侧观察，可以得出STPP、HMP的协同作用对保水性影响较大，相比之下，以AB为底边的一次观察可以得出DSPP、STPP的协同作用对保水性影响不大。分析得到DSPP和STPP的交互作用对保水性影响的显著性为 $P=0.658>0.05$ ，也说明DSPP和STPP的相互作用对保水性的影响不显著。经过高压处理和复合多聚磷酸盐的共同作用下，DSPP、STPP、HMP 3种复合磷酸盐对保水性的影响产生了变化，焦磷酸盐的含量有所降低，可能是由于超高压处理的作用比焦磷酸盐带来的增强保水性的效果强烈。比较图2、3可以发现，高压处理的作用导致3种磷酸盐对盐溶蛋白凝胶保水性影响的变化。

2.4 高压作用下不同配比的复合磷酸盐对盐溶蛋白凝胶强度的影响

表5 高压作用下不同配比的复合磷酸盐的盐溶蛋白凝胶强度($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 5 Effect of phosphate composition on gel strengthen of salt-soluble proteins with HPP treatment ($\bar{x} \pm s, n=3$)

组别	凝胶强度/N	
	对照组	高压组
1	9.87±0.06 ^a	13.45±0.11 ^a
2	10.04±0.77 ^a	15.94±0.50 ^b
3	12.63±0.06 ^{ab}	16.49±0.28 ^b
4	10.59±0.99 ^{bc}	14.06±0.82 ^a
5	8.99±0.94 ^a	13.90±0.11 ^a
6	13.18±0.16 ^c	14.28±0.06 ^a

如表5所示，经过高压处理的样品和对照组相比，凝胶强度均有不同程度的提高。尽管高压处理的第4组的保水性以及对对照组的第4组分别达到最好的保水性，但是高压组

的凝胶强度在第3组最高,为16.49N,对照组的第6组的凝胶强度最高,为13.18N。显著性概率为 $P=0.046<0.05$,说明对于超高压处理组和对照组的鸡胸肉盐溶蛋白凝胶强度差异显著,即超高压处理可以使鸡胸肉盐溶蛋白凝胶强度显著提高。

2.5 高压作用下不同配比的复合磷酸盐对盐溶蛋白凝胶色泽的影响

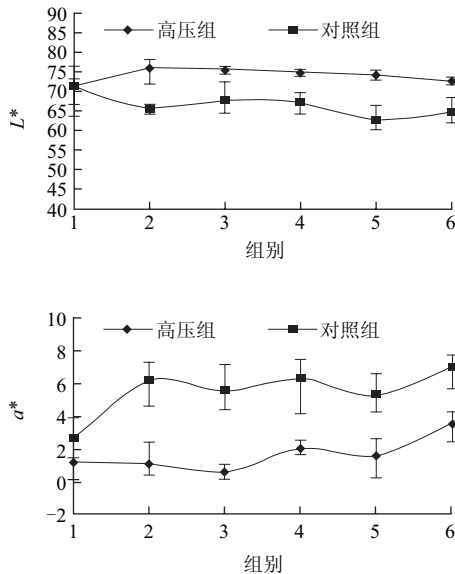


图4 高压对盐溶蛋白凝胶 L^* 和 a^* 值的影响

Fig.4 Effect of HPP on L^* and a^* values of salt-soluble protein gels

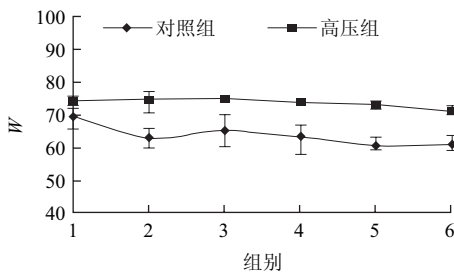


图5 高压对盐溶蛋白凝胶白度值的影响

Fig.5 Effect of HPP on whiteness of salt-soluble protein gels

如图4所示,高压处理的 L^* 值有一定程度的上升而 a^* 值有一定程度的下降。 L^* 值在高压处理后极显著上升($P<0.01$),而 a^* 极显著下降($P<0.01$)。各组之间即不同配比的复合磷酸盐对盐溶蛋白凝胶色泽的影响不显著($P>0.05$)。如图5所示,高压处理的 W 值比对照组有一定的上升,呈极显著差异($P<0.01$)。这与陈从贵^[16]、陈建良^[17]等的研究相吻合,原因都一般认为是高压处理使肌红蛋白中的球蛋白变性导致白度增加。

2.6 超高压对不同添加量复合磷酸盐的鸡肉糜制品保水性的影响

如图6所示,在100MPa压力条件下,0.15%与0.3%复

合磷酸盐添加的鸡肉糜制品的保水性相似,并且200MPa压力条件下,0.15%复合磷酸盐添加的鸡肉糜制品的保水性甚至高于100MPa和400MPa压力条件下的0.3%复合磷酸盐添加样品的保水性。可以得出,超高压处理降低复合磷酸盐质量分数在某种高压处理条件下可行。同时对比对照组的2种不同添加量磷酸盐的鸡肉糜制品可以观察到保水性的差距较大。

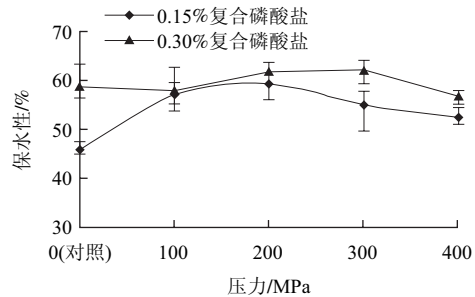


图6 超高压对鸡肉糜制品保水性的影响

Fig.6 Effect of HPP on water holding capacity of minced chicken product

3 讨论

3.1 超高压处理及复合磷酸盐配比对盐溶蛋白凝胶保水性的影响

高压组和对照组相比,取得更好的保水性所需的焦磷酸钠的用量从41%降低至38.9%。焦磷酸盐能够提高保水性的主要机理为通过提高蛋白静电斥力从而增加肌原纤维内部的空间;从A带两端提取蛋白,破坏肌动蛋白和Z盘的连接,增加I带空间;从H带提取蛋白,破坏肌球蛋白杆部连接,增加A带内部空间;高浓度条件下能从整个A带中提取蛋白,破坏肌球蛋白和肌动蛋白的连接,粗丝和细丝分离,肌原纤维小片化,促进肌原纤维蛋白的溶解,提高可溶性蛋白含量^[18]。而超高压处理能够明显改变肌节的结构,Macfarlane^[19]等曾发现在100MPa压力处理条件下,绵羊肌肉最明显的变化是A带中的M线的消失和I带的缺失。Iwasaki等^[20]研究发现鸡肉肌原纤维蛋白凝胶特性经过200MPa超高压处理增强,原因是肌原纤维肌丝的细丝和粗丝发生了解离,肌球蛋白和肌动蛋白的解离,而肌球蛋白是决定肉持水性的主要蛋白质^[21]。超高压导致了Z线的破坏。300MPa的超高压处理导致肌球蛋白细丝的缩短,降低了凝胶的表观弹性力。可以看出焦磷酸盐和三聚磷酸盐都可以增加肌动蛋白和肌球蛋白的解离、促进肌原纤维的溶解,高压对肌原纤维蛋白的影响类似于焦磷酸盐带来的影响,这可能是导致在高压情况下的焦磷酸盐用量减少的原因。

三聚磷酸盐作用途径与焦磷酸盐类似,通过静电斥力使肌原纤维横向膨胀;提高离子强度增加蛋白质

的溶解；通过三聚磷酸盐水解酶水解成焦磷酸盐^[22]。在室温条件下，三聚磷酸盐和焦磷酸盐都较易发生分解，原因是样品肉中存在对应的分解焦磷酸和三聚磷酸盐的水解酶^[23]。经过压力处理，焦磷酸盐水解酶和三聚磷酸盐水解酶几乎发生不可逆的失活^[24]。高压组和对照组相比，取得更好的保水性所需的三聚磷酸钠的用量从42.3%升高至44.4%。

六偏磷酸钠对肌球蛋白没有直接的作用，作为一种环状的庞大结构，六偏磷酸盐在肌肉中的溶解度很小很难分散于肉制品蛋白中^[25]，而且它不能分离肌动球蛋白的交叉连接桥^[26]。Fukazawa等^[27]也曾研究表明，在0.6mol/L NaCl存在时，磷酸盐添加对蛋白的提取以及保水性的影响顺序为焦磷酸盐>三聚磷酸盐>六偏磷酸盐，但六偏磷酸盐因为对肉的pH值影响不大，能减弱焦磷酸盐和三聚磷酸盐对肉pH值的影响，而且可以螯合酶的金属离子，使三聚磷酸盐水解酶和焦磷酸盐水解酶活性减弱。高压组和对照组相比，取得更好的保水性所需的六偏磷酸盐用量保持不变，表明了六偏磷酸盐和超高压作用与肌原纤维的原理不同。

3.2 超高压及复合磷酸盐配比对盐溶性蛋白质凝胶强度的影响

多聚磷酸盐能够改变肉制品的凝胶强度，三聚磷酸钠使鸡肉蛋白凝胶强度降低，焦磷酸钠会引起肌球蛋白的不稳定，降低凝胶强度，但是六偏磷酸钠对肌球蛋白变性没有作用，它能够提高凝胶强度^[28]。超高压处理能提高肉制品蛋白的凝胶强度，因为超高压处理之后，蛋白质构象发生变化，二硫键断裂，内部疏水基外露，蛋白质表面性质和形成凝胶的能力增强^[29]。

3.3 超高压及复合磷酸盐配比对盐溶性蛋白质凝胶色泽的影响

肉糜在经过高压处理后，色泽的 L^* 和 a^* 值会发生变化^[30]。 L^* 值上升可能是因为高压导致肌球蛋白的变性，肌原纤维蛋白质凝聚，肌红蛋白可溶性降低。 a^* 值下降原因是肌红蛋白的氧化^[31]。

3.4 超高压对降低鸡肉糜制品中复合磷酸盐添加量可行性初步分析

在一定的高压条件下(例如100MPa)，0.15%复合磷酸盐添加的鸡肉糜制品可以达到与0.3%复合磷酸盐添加的鸡肉糜制品保水性相似的效果，200MPa压力条件下，为0.15%复合磷酸盐添加的鸡肉糜制品的保水性甚至高于100MPa和400MPa压力条件下为0.3%复合磷酸盐添加样品的保水性。初步证明可以在生产中经过高压处理以达到减少复合磷酸盐的添加量，并且得到较高水平保水性的目的。

4 结 论

300MPa、10min的压力处理能够显著提高鸡胸肉盐溶蛋白质浓度，超高压处理的鸡胸肉盐溶蛋白取得最好保水性的复合磷酸盐配比为：DSPP 38.9%、STPP 44.4%、HMP 16.7%。DSPP、STPP、HMP 3种多聚磷酸盐对鸡胸肉盐溶蛋白保水性的协同作用也发生了变化。超高压能够显著改善盐溶蛋白凝胶的强度，并且经过高压处理过的鸡胸肉盐溶蛋白的白度显著增加，亮度值 L^* 显著增加，红度值 a^* 显著下降。通过不同含量复合磷酸盐添加鸡肉糜制品保水性分析，初步说明超高压作用能够使鸡肉糜制品保水性的升高，在100MPa时，0.15%复合磷酸盐添加的鸡肉糜制品可以达到与0.3%复合磷酸盐添加的鸡肉糜制品保水性相似，但是如何利用超高压技术在生产中达到保水性、凝胶强度、色泽等质量较高的产品，需要今后进一步针对超高压的不同参数(压力水平、保压时间、加压时温度)进行研究分析和优化实验探讨。

参考文献：

- [1] 徐幸莲, 王虎虎. 我国肉鸡加工业科技现状及发展趋势分析[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 1-5.
- [2] 张海峰, 白杰, 张英. 宰后处理方式对鸡肉品质及加工性能的影响[J]. 肉类研究, 2009, 28(8): 32-36.
- [3] SUN X D, HOLLEY R A. Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods[R]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2011, 10(1): 33-51.
- [4] 南庆贤, 中山鸟毅. 日本火腿香肠生产技术简介[J]. 中国畜牧兽医, 1985(4): 40-42.
- [5] 宗俞, 王少芸, 赵立娜. 利用生物技术研制低脂白羽鸡肉丸[J]. 中国食品学报, 2010(10): 189-195.
- [6] 江波. 谷氨酰胺转氨酶的性质及在食品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2001, 47(4): 34-36.
- [7] 李勇, 宋惠. 超高压在肉制品加工中的应用[J]. 食品与机械, 2001(5): 38-42.
- [8] 刘魁英. 食品研究与数据分析[M]. 3版. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 436-443.
- [9] GERALD H R, XIONG Y L. Phosphates and muscle fiber type Influence thermal transitions in the porcine salt-soluble protein aggregation[J]. Food Science, 1992, 57: 1304-1308.
- [10] LESIÓW T, XIONG Y L. Chicken muscle homogenate gelation properties: effect of pH and muscle fiber type[J]. Meat Science, 2003, 64: 399-403.
- [11] GORNALL A G, BARDAWILL C J, DAVID M M. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction[J]. Journal of Biological Chemistry, 1949, 177: 751-766.
- [12] FOEGEDING E A. Functional properties of turkey salt-soluble protein[J]. Food Science, 1987, 52: 1495-1498.
- [13] 于巍, 周坚, 段纯明. 磷酸盐对草鱼盐溶蛋白保水性及流变影响规律的研究[J]. 农产品加工, 2009(9): 67-70.
- [14] 于巍, 周坚. 草鱼盐溶蛋白保水性及流变性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(10): 72-75.
- [15] 徐向宏, 何明珠. 试验设计与Design-Expert SPSS应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [16] 陈从贵, 李珂昕, 马力量. 超高压对含有琼脂猪肉凝胶特性影响的试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 217-221.

- [17] 陈建良. 高静压处理下高分子亲水胶体对鸡肉糜制品品质的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [18] 高艳红. 磷酸盐对速冻鸡肉丸保水性及其功能特性影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [19] MACFARLANE J J. Binding of comminuted meat: effect of high pressure[J]. Meat Science, 1984, 10: 307-320.
- [20] IWASAKI T, NOSHIROYA K, SAITOH N, et al. Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty[J]. Food Chemistry, 2006, 95: 474-483.
- [21] 周光宏, 徐幸莲. 肉品学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 338-339.
- [22] MATSUNAGA A, YAMAMOTO A, MIZUKAMI E, et al. Determination of polyphosphates in foods by high performance liquid chromatography[J]. Nippon Shokuhin Gakkaishi, 1990, 37(1): 20-25.
- [23] 张丽. 水产品中多聚磷酸盐离子色谱检测方法的建立及无磷保水剂的初步研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [24] 吴怀祥. 高压食品加工[J]. 食品科学, 1997, 18(11): 3-9.
- [25] XIONG Y L, KUPSKI D R. Monitoring phosphate marinade penetration in tumbled chicken filets using a thin-slicing, dye-tracing method[J]. Poultry Science, 1999, 78: 1048-1052.
- [26] GRANICHER D, PORTZEHL H. The influence of magnesium and calcium pyrophosphates chelates of free magnesium ions, free calcium ions and free pyrophosphate ions on the dissociation of actomyosin in solution[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1964, 86: 567-578.
- [27] FUKAZAWA T, HASHIMOTO Y, YASUI T. The relationship between the components of myofibrillar protein and the effect of various phosphates that influence the binding quality of sausage[J]. Food Science, 1961, 26: 550-555.
- [28] 彭增起. 肌肉盐溶蛋白质溶解性和凝胶特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
- [29] 李汴生. 超高压处理蛋白质和多糖胶体特性的变化及机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 1997.
- [30] SHIGEHISA T, OHMORI T, SAITO A, et al. Effect of high hydrostatic pressure on characteristics of pork slurries and in activation of microorganisms associated with meat and meat products[J]. International Journal of Food Microbiology, 1991, 12: 207-216.
- [31] 马汉军. 高压和热结合处理对僵直后牛肉品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.