doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.09.038

不同复合磷酸盐添加量下牛肉糜理化特性研究

赵改名[1]　孟子晴[1]　祝超智[1]　田　玮[2]　韩广星[3]　贾玉堂[4]

(1.河南农业大学食品科学技术学院,郑州 450002;2.河南农业大学牧医工程学院,郑州 450002;
3.国家肉牛牦牛产业技术体系临沂综合试验站,临沂 276000;4.国家肉牛牦牛产业技术体系合肥综合试验站,合肥 230031)

摘要:利用核磁共振仪(NMR)、扫描电子显微镜(SEM)、傅里叶变换红外(FITR)、旋转流变仪(DHR)等研究复合磷酸盐添加量(质量分数 0~0.5%)对牛肉糜的水分分布、结构、流变学特性的影响。结果表明,随着复合磷酸盐添加量的增加,牛肉糜含水率增加、蒸煮损失减少、pH 值增加,添加量在 0.2% 之后各指标基本保持稳定。添加量为 0.2% 时,与空白对照组相比,含水率增加了 5.87 个百分点,蒸煮损失率减少了 8.58 个百分点,pH 值从 5.7 上升到 6.4;复合磷酸盐可以缩短肉糜体系与结合水、不易流动水的横向弛豫时间 T_{21}、T_{22}($p<0.05$),说明复合磷酸盐的添加提高了对水的束缚能力。随着复合磷酸盐添加量的增加,蛋白网络孔洞更加密集,孔径更加细小。与热处理前相比,热处理后的牛肉糜 α-螺旋、β-折叠相对含量上升,β-转角相对含量下降;热诱导凝胶形成后,随着复合磷酸盐添加量的增加,α-螺旋相对含量由 34.34% 降至 26.76%、β-转角相对含量由 17.41% 增加至 29.41%。添加复合磷酸盐会降低牛肉糜的储能模量、损耗模量和损耗角正切值,添加量为 0.2% 的处理组损耗角正切值在升温过程中变化最为剧烈。因此,复合磷酸盐使牛肉糜体系结构疏松,与结合水、不易流动水的结合程度增强,保水性提高,蛋白质二级结构趋于无序化。复合磷酸盐添加量为 0.5% 时,结构最为疏松;添加量为 0.2% 时,保水效果最显著。

关键词:牛肉糜;复合磷酸盐;水分分布;微观结构;蛋白质二级结构;流变特性

中图分类号:TS251.5+2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2020)09-0337-07　　**OSID**:

Effect of Compound Phosphate on Hydration, Structure and Rheological Properties of Beef Minced Meat

ZHAO Gaiming[1]　MENG Ziqing[1]　ZHU Chaozhi[1]　TIAN Wei[2]　HAN Guangxing[3]　JIA Yutang[4]

(1. *College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou* 450002, *China*
2. *College of Animal Science and Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou* 450002, *China*
3. *Linyi Comprehensive Experimental Station of National Beef Cattle Industry Technology System, Linyi* 276000, *China*
4. *Hefei Comprehensive Experimental Station of National Beef Cattle Industry Technology System, Hefei* 230031, *China*)

Abstract: Using nuclear magnetic resonance (NMR), scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FITR), rotational rheometer (DHR) and other methods to study the effects of different phosphate additions (mass fraction was 0~0.5%) on the hydration, structure and rheological properties of beef minced meat. The results showed that with the increase of compound phosphate content, the moisture content of beef minced meat was increased gradually by 5.87 percentage points, the cooking loss was decreased by 8.58 percentage points, and the pH value was increased from 5.7 to 6.4. The compound phosphate shortened the meat emulsion system T_{21} and T_{22} ($p<0.05$), indicating that the binding ability to water was enhanced. As the amount of complex phosphate added was increased, the protein network pores were denser and the pore size was finer. After heat treatment, the relative content of α-helix and β-sheet was increased and the relative content of β-turn was decreased compared with beef minced meat before heat treatment. After the formation of heat-induced gel, the relative content of α-helix was gradually decreased from 34.34% to 26.76%, and the relative content of β-turn was gradually increased from 17.41% to 29.41%, indicating that the complex phosphate made the beef prion protein system tend to be unstable. The addition of complex phosphate reduced the storage

收稿日期:2019-11-05　修回日期:2019-12-13

基金项目:国家肉牛牦牛产业技术体系项目(CARS-37)和河南省重大科技专项(161100110800)

作者简介:赵改名(1965—),男,教授,博士生导师,主要从事肉制品加工与质量安全控制研究,E-mail:gmzhao@126.com

通信作者:祝超智(1985—),女,讲师,博士,主要从事肉制品加工与质量安全控制研究,E-mail:zhuchaozhi66@163.com

modulus (G'), loss modulus (G'') and loss tangent ($\tan\delta$) of beef minced meat. The $\tan\delta$ value of the treatment group with 0.2% addition of phosphate was the most intense during the heating process. It can be concluded that the composite phosphate can loosen the structure of beef minced meat, strengthen the combination with the combined water and the non-flowable water, improve the water retention, and the secondary structure of the protein tended to be disordered. When the addition amount of the composite phosphate was 0.5%, the structure was the most loose; when the addition amount was 0.2%, the water retention effect was most remarkable.

Key words: beef minced meat; compound phosphate; moisture distribution; microstructure; protein secondary structure; rheological properties

0 引言

近年来,随着人民物质生活水平的提高和饮食结构的调整,风味独特、营养丰富的牛肉制品愈发受到消费者喜爱[1]。在肉制品加工过程中,色泽、风味、质构等品质是主要评判指标,肉制品保持自身水分和外部水分的能力与肉的风味、色泽、质地等密切相关[2]。磷酸盐具有与水结合、乳化、颜色稳定、抑制氧化、抗菌活性、蛋白质分散等特性,65% 的加工肉制品中使用磷酸盐,尤其是火腿、香肠、奶酪、鱼罐头和烘焙食品等[3]。以焦磷酸钠(TSPP)、六偏磷酸钠(SHMP)和三聚磷酸钠(STPP)为代表的磷酸盐在肉制品保水方面的研究备受关注,复配协同使用不同的磷酸盐已成为热点[2]。复合磷酸盐对不同的原料肉产生的作用效果不同[4],对肉制品质构特性[5]、脂肪氧化[6]等也会产生不同程度的影响。但是,过多的磷酸盐会对骨骼和心血管产生负面影响,甚至增加肾脏的负担[7],因此出现了一些降低或者代替磷酸盐作用功能的研究,如文献[8]采用超高压和添加低浓度复合磷酸盐结合的方法调节鸡肉凝胶的品质与保水效果。目前,复合磷酸盐对肉制品保水作用的机理研究已较完善,但对牛肉制品的结构及流变特性的影响因素探究相对较少;复合磷酸盐对香肠等肉糜产品的作用效果研究较多,但对未经斩拌只进行搅拌的有肉粒感的体系研究较少。探究复合磷酸盐对牛肉糜的水分分布、结构及流变特性的影响,可为研究复合磷酸盐对牛肉肉糜制品结构影响的作用机理提供理论依据,为寻找磷酸盐同等功能代替物提供对比与参考。

本文选用由焦磷酸盐、六偏磷酸盐与三聚磷酸盐以一定比例制备的复合磷酸盐进行试验,对未经斩拌、只进行搅拌的牛肉糜进行研究,通过对含水率、蒸煮损失、pH 值、水分分布、微观结构、蛋白质二级结构、流变特性等进行测定和分析,研究复合磷酸盐对牛肉糜水分分布、结构及流变特性的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

牛霖肉、食盐、黑胡椒粉等原辅料均购于郑州市丹尼斯花园路店拜特超市;复合磷酸盐,河南恩苗食品有限公司;烟酰胺,万邦实业有限公司;抗坏血酸钠,河南九庭化工产品有限公司。

1.2 仪器设备

MM12B 型绞肉机,广东省韶关市大金食品机械厂;BLKJ-20 型搅拌擂溃机,嘉兴艾博实业有限公司;KA-4800 型上豪电烤箱,东莞市龙牌实业有限公司;ALLEGRA-64A 型高速冷冻离心机,郑州美声商贸有限公司;BPG-9156A 型精密鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;BC/BD-317HEF 型电冰箱,青岛海尔电冰柜有限公司;AL104 型电子天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;PQ001 MicroMR 型柜式 NMR 成像仪,上海纽迈电子科技有限公司;S-3400N 型扫描电镜,日本日立公司;TENSOR-Ⅱ型傅里叶红外光谱仪,布鲁克科技有限公司;DHR-1 型旋转流变仪,美国 TA 仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

挑选符合国家卫生标准的冷鲜牛霖肉,除筋膜、浸泡冲洗、切块,通过直径 10 mm 筛孔的绞肉机绞碎。添加食盐、抗坏血酸钠、烟酰胺、嫩肉粉分别为 2.00%、0.12%、0.02%、0.80%(以占牛肉的质量分数计),然后分别添加复合磷酸盐 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%,并设置空白对照组,充分混匀后 4℃腌制 1 h,然后放入搅拌擂溃机中,搅拌 2 min,肉糜制作完成,储存于 4℃。用模具使牛肉糜成型后制作牛肉糜饼,-30℃冷冻储存。测试熟肉糜饼样品时,在电烤箱中 200℃加热 10 min(每 5 min 翻面一次)进行热处理。

1.3.2 含水率和 pH 值测定

含水率测定参考 GB/T 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》[9];pH 值测定参考 GB/T 5009.23—2016《食品安全国家标准 食品 pH

值的测定》[10]。

1.3.3 牛肉糜蒸煮损失测定

参照文献[11]的方法，略作修改：将一定质量的生肉糜放入离心管中于 5 000 r/min 转速下离心 5 min，70℃水浴加热 30 min；取出离心管，倒放在干燥瓶静置 2 h，再称蒸煮后的样品质量。样品蒸煮后减少的质量与样品质量的百分比计为蒸煮损失率。

1.3.4 自旋-自旋弛豫时间 T_2 测定

参照文献[12]的方法略作修改：在 32℃下，称量大约 2 g 样品放入直径 15 mm 的核磁管中，将其放入 PQ001 MicroMR 型柜式 NMR 成像仪，用 CPMG（自旋回波）序列进行测量；使用参数为：共振频率 22 MHz，半回波时间为 250 μs，重复扫描 32 次。每组测试 4 个重复。

1.3.5 微观结构观察

参照文献[13]的方法稍加改动，具体方法如下：从热处理后的熟肉饼中取 1 cm × 1 cm × 1 cm 方块样品放置于含有 2.5% 戊二醛的 0.1 mol/L 磷酸缓冲液中固定 48 h 后切成 1 mm 薄片，然后用磷酸缓冲液（pH 值 7.3）浸泡 10 min，再漂洗 3 次，然后用乙醇梯度脱水，每个浓度脱水 30 min，然后用丙酮梯度脱水，每个浓度脱水 20 min，50℃干燥箱中加热 15 ~ 20 min 至干燥，然后喷金、观察并拍照。

1.3.6 蛋白质二级结构测定

参照文献[14]的方法，略作修改。将样品冷冻干燥、磨粉、过 100 目筛，采用布鲁克科技有限公司 TENSOR - Ⅱ型傅里叶红外光谱仪测定牛肉糜与牛肉糜饼二级结构。参数设置：扫描范围 400 ~ 4 000 cm^{-1}，扫描 32 次，分辨率 4 cm^{-1}。对测试结果中酰胺Ⅰ带（1 600 ~ 1 700 cm^{-1}）去卷积、基线校正及二阶求导，然后进行曲线拟合。

1.3.7 流变特性的测定

参照文献[15]的方法，略作修改。通过美国 TA 仪器有限公司生产的 DHR - 1 型旋转流变仪测定，将样品涂抹均匀，不要有气泡，然后用硅油液封边缘。参数设置：平板直径为 40 mm，夹具间隙为 1 mm，应变 1%，20℃保温 5 min，温度梯度为 20 ~ 80℃，升温时间为 5℃/min。

1.4 数据处理与统计分析

数据采用 SPSS（IBM 16.0）分析，Oringin 8.5 绘图，多重比较误差使用 Duncan 法表示，数据表达方式为平均值 ± 标准差，$p < 0.05$ 为显著水平。

2 结果与分析

2.1 牛肉糜含水率、蒸煮损失率和 pH 值

如图 1（图中不同字母表示差异显著，下同）所示，随着复合磷酸盐添加量的增加，牛肉糜的含水率先增加然后保持波动稳定，0.2% 添加量时比空白对照组增加了 5.87 个百分点。如图 2 所示，随着复合磷酸盐添加量的增加，蒸煮损失率呈持续下降趋势（$p < 0.05$），在添加量为 0.5% 时降低到了 6.89%，与空白组的 15.47% 相比蒸煮损失率减少了 8.58 个百分点，说明复合磷酸盐能有效改善牛肉糜的保水性，与文献[16]研究磷酸盐对猪肉糜保水作用影响的结果一致。0.2% 时牛肉糜蒸煮损失率最低，与 0.5% 添加量时牛肉糜蒸煮损失率无显著性差异。

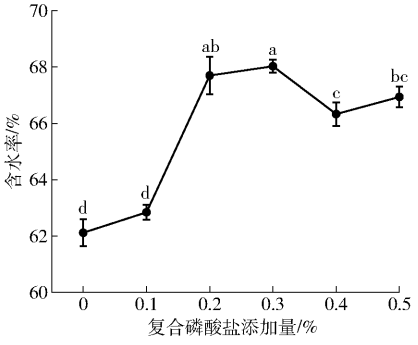


图 1　复合磷酸盐添加量对牛肉糜含水率的影响

Fig. 1　Effect of compound phosphate on moisture content of beef minced meat

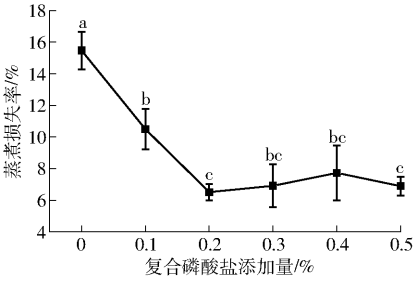


图 2　复合磷酸盐添加量对牛肉糜蒸煮损失率的影响

Fig. 2　Effect of compound phosphate on cooking loss rate of beef minced meat

如图 3 所示，随着复合磷酸盐添加量的增加，牛肉肉糜的 pH 值从 5.7 上升到 6.4，但是在添加 0.2% 之后 pH 值变化缓慢，与蒸煮损失变化基本一致。pH 值的增加导致蛋白质之间的静电排斥力增加，从而更加紧密地结合水分[17]，使肌肉纤维膨胀、蛋白质活化，水与肉的结合更加稳定。有研究指出，复合磷酸盐主要是通过提高肉的 pH 值、螯合肉中的金属离子、增加肉的离子强度、解离肌动球蛋白这 4 种作用来提高肉制品的保水性[7]。增加复合磷酸盐使 pH 值升高，导致肌原纤维蛋白质偏离等电点，净负电荷增加，蛋白质与水的相互作用加强，蛋白质与蛋白质的相互作用减弱，蛋白质溶解度提高，提取更充分，保水性更高[3]。

2.2 牛肉糜水分迁移

横向弛豫时间 T_2 可以表征肉类结构中的保水

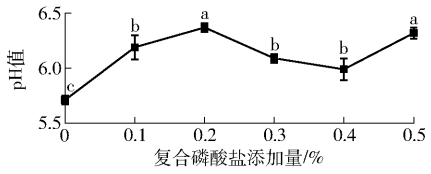


图 3 复合磷酸盐添加量对牛肉糜 pH 值的影响

Fig. 3 Effect of compound phosphate on pH value of beef minced meat

性,并且弛豫时间 T_2越小,水分与底物结合越紧密,产品与水之间的结合程度越强[18]。T_{21}、T_{22}、T_{23}分别表示结合水、不易流动水、自由水的横向弛豫时间。不易流动水(纤丝、肌原纤维及膜之间)被认为与产品的保水性最为密切,不易流动水 T_{22}的积分面积越大,说明截留的水分越多,保水性越好[19]。

如图 4(图中不同字母表示同一弛豫时间、不同复合磷酸盐添加量下差异显著)所示,复合磷酸盐的添加可以缩短 T_{21}、T_{22},说明随着复合磷酸盐添加量的增加,对水的束缚能力增强,肉糜的持水能力增加。这可能是因为复合磷酸盐中的三聚磷酸盐、焦磷酸盐可以改变蛋白质电荷的电势进而提高体系的离子强度,使其偏离等电点,电荷之间相互排斥,导致蛋白质之间生成更大的空间,使肉组织可包容更多水分,即复合磷酸盐使蛋白质膨润导致保水性提高;另一方面,六偏磷酸盐能螯合金属离子,减少金属离子与水的结合,使蛋白质结合更多水分而提高保水性。文献[20]对猪肉糜进行试验时也证明了猪肉糜的横向弛豫时间会因磷酸盐的添加而缩短,不易流动水的流动性降低。添加量为 0.2% 时不易流动水峰面积最大,但添加量超过 0.2% 之后不易流动水的峰面积减小,即不易流动水含量减少,说明复合磷酸盐添加量为 0.2% 时保水效果最好。

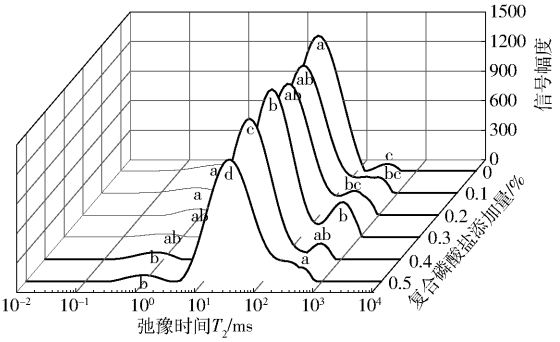


图 4 复合磷酸盐添加量对牛肉糜水分迁移的影响

Fig. 4 Effect of compound phosphates on water migration of beef minced meat

2.3 牛肉糜微观结构

图 5 所示的整个结构是以蛋白质为骨架形成的连续的网络结构,蛋白网络孔洞是脱水脱脂后形成的空洞[15]。从微观结构可以看出,复合磷酸盐添加量较少(0.1% ~0.2%)时,孔洞较少,但单个孔洞的直径较大,基本在 20 ~50 μm 之间。随着复合磷酸盐添加量的增加,牛肉糜形成的网状结构逐渐致密、均一,孔洞逐渐均匀、细小,孔洞直径基本在 25 μm 以下。试验表明,复合磷酸盐提高了 pH 值,通过水合作用使保水性提高,同时解离肌动球蛋白为肌球蛋白和肌动蛋白,蛋白质分子结合水分而提高保水性。另外,随着添加量的增加,形成孔洞越来越致密,深度加深,说明形成了细致的凝胶网络,产生了大量的微小孔洞均匀分布在凝胶网络中,借助毛细管力的作用保持部分水分。

2.4 牛肉糜蛋白质二级结构

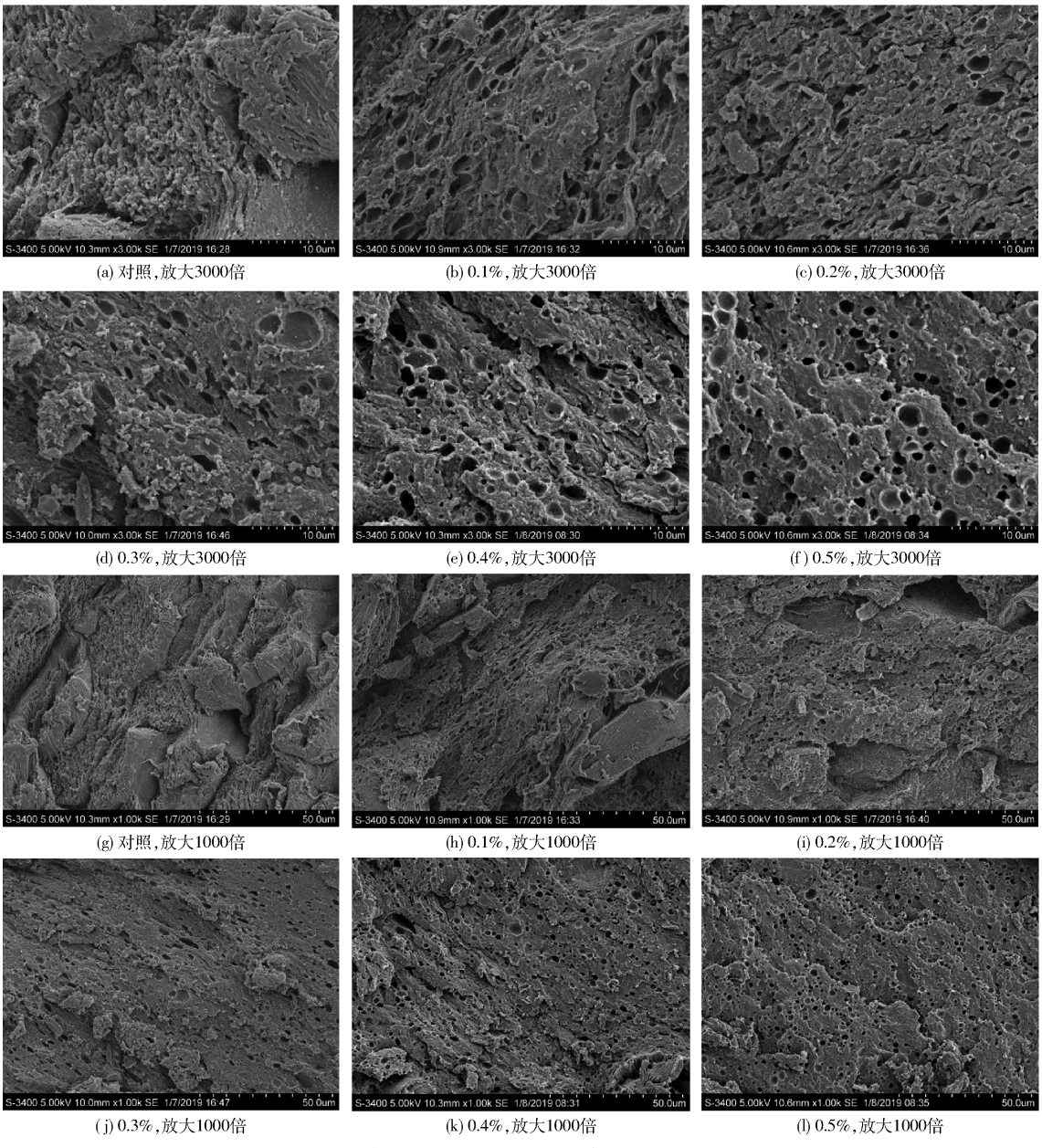
如表 1 所示,复合磷酸盐添加量改变了生牛肉肉糜 β-转角的相对含量($p<0.05$),在 α-螺旋、β-折叠、无规则卷曲方面无显著性差异($p>0.05$)。β-转角的相对含量从空白对照组的(27.73 ±0.44)% 增加到(30.23 ±0.75)%,说明复合磷酸盐增多使得牛肉肉糜体系趋向不稳定的方向。

热诱导凝胶形成之后的牛肉糜,随着复合磷酸盐添加量的增加,α-螺旋相对含量由 34.34% 逐渐降至 26.76%、β-转角相对含量由 17.41% 逐渐增加至 29.41%。α-螺旋、β-折叠的相对含量表征稳定性较好的有序蛋白二级结构,β-转角和无规则卷曲相对含量表征无序结构,这表明复合磷酸盐增多使得牛肉糜体系趋向不稳定的方向,添加量为 0.5% 时,结构最为疏松无序。与文献[21]研究焦磷酸盐对草鱼肌原纤维蛋白结构影响时得到 α-螺旋相对含量降低、β-转角含量升高结果一致。这可能是因为随着复合磷酸盐添加量的增加,肌原纤维蛋白的溶解性加大,导致蛋白质之间的距离增大,分子链伸展,使肌球蛋白尾部的 α-螺旋链部分解开,同时加强了维持二级结构稳定的作用力,使得肌原纤维蛋白 α-螺旋向 β-折叠和 β-转角转化,蛋白结构更为伸长[22]。

热处理后牛肉糜形成热诱导凝胶与热处理前的肉糜相比 α-螺旋、β-折叠相对含量上升,β-转角相对含量下降,无规则卷曲基本保持不变,这是因为在肉制品的加工过程中,热处理会破坏肌肉蛋白质的天然构象,蛋白质发生变性聚集交联,形成具有三维网络结构的凝胶。

2.5 牛肉糜流变特性

肌原纤维蛋白受热凝胶化是一个伴随着蛋白解链、变性和凝聚等物化反应的不稳定动态流变过程[23]。动态流变主要是在小幅振荡中施加应力,通过样品对此应力反馈出的 G'(储能模量)、G''(损耗



(a) 对照，放大3000倍　(b) 0.1%，放大3000倍　(c) 0.2%，放大3000倍

(d) 0.3%，放大3000倍　(e) 0.4%，放大3000倍　(f) 0.5%，放大3000倍

(g) 对照，放大1000倍　(h) 0.1%，放大1000倍　(i) 0.2%，放大1000倍

(j) 0.3%，放大1000倍　(k) 0.4%，放大1000倍　(l) 0.5%，放大1000倍

图 5　复合磷酸盐添加量对牛肉糜微观结构的影响

Fig. 5　Effect of compound phosphate on microstructure of beef minced meat

表 1　不同复合磷酸盐添加量下生牛肉糜、热处理后牛肉糜的蛋白质二级结构相对含量

Tab. 1　Effect of compound phosphate on relative content of protein secondary structure in raw beef minced meat and beef minced meat after heat treatment　%

复合磷酸盐添加量/%	生牛肉糜				热处理后牛肉糜			
	α-螺旋	β-折叠	β-转角	无规则卷曲	α-螺旋	β-折叠	β-转角	无规则卷曲
0	26.80±0.89	32.07±1.32	(27.73±0.44)^{c}	13.39±0.25	(34.34±2.29)^{a}	(33.55±2.62)^{bc}	(17.41±3.32)^{c}	14.71±2.69
0.1	27.83±4.31	31.35±1.26	(28.58±1.45)^{bc}	12.24±1.67	(30.58±2.52)^{b}	(38.16±2.43)^{a}	(18.62±4.82)^{bc}	12.63±2.06
0.2	25.95±0.96	31.42±3.96	(28.27±0.69)^{bc}	12.85±0.76	(28.63±2.34)^{bc}	(39.27±3.13)^{a}	(20.10±4.14)^{bc}	12.01±1.28
0.3	26.31±0.42	30.95±1.47	(29.40±0.56)^{ab}	13.34±0.57	(25.76±1.09)^{c}	(35.28±1.61)^{ab}	(25.63±2.77)^{b}	13.34±1.04
0.4	25.79±0.74	31.46±0.53	(29.65±0.36)^{ab}	13.10±0.18	(27.62±2.15)^{bc}	(30.88±0.95)^{c}	(27.81±0.36)^{ab}	13.69±1.15
0.5	26.53±0.75	30.36±0.41	(30.23±0.75)^{a}	12.87±0.41	(26.76±1.29)^{c}	(29.75±1.27)^{c}	(29.41±1.36)^{a}	13.26±1.07

注：同一列中不同字母表示差异显著。

模量）等特征指标来反映凝胶的黏弹性质[24]。在动力学加热过程中 G' 和 G'' 及损耗角正切值 tanδ 的变化可表明肌球蛋白相互聚集速率的变化，反映不同时期蛋白结构的变化情况[25]。

G' 表征弹性特征，值越大代表弹性能力越好。如图 6a 所示，复合磷酸盐降低了牛肉糜的储能模

量,但基本变化趋势不改变,这与蛋白质二级结构和微观结构观察得到结果一致,说明了复合磷酸盐降低了凝胶效果;G''表征凝胶体系的黏性特征,如图 6b 所示,添加复合磷酸盐降低了损耗模量,即降低了初始流动所需的能量。损耗角正切值等于损耗模量与储能模量的比值各组正切值,表征的是凝胶的总体黏弹性特征,正切值越小,样品流动性越差。

图 6c 中不同处理牛肉糜的损耗角正切值 tanδ 表明,复合磷酸盐添加量会影响肉糜蛋白体系在加热过程中的相转变过程以及肉糜的黏弹特性,整体来看均小于 1,说明样品显黏性流体性质。其中,复合磷酸盐添加量为 0.2% 处理组的 tanδ 在升温过程中变化最为剧烈。在 20℃ 时复合磷酸盐添加量为 0.2% 牛肉糜处理组的损耗角正切值显著小于其他各组,样品的流动性最差。50 ~ 57℃ 的升高可能是由于肌肉蛋白的 α-螺旋结构在这期间遭到大量破坏,转变成为结构松散的 β-折叠,从而导致流动性的上升,但是与文献[26]等得到的兔肌球蛋白损耗角正切值在 45 ~ 47℃ 时略微升高有所差异,这可能是因为原料肉不同,牛肌肉蛋白较兔肉更为稳定,对热的抵抗性更强,需要更高的温度 α-螺旋才被大量破坏。有研究表明,结构转变的温度范围取决于蛋白质系统中的物种、pH 值、离子强度、成分等因素[16]。

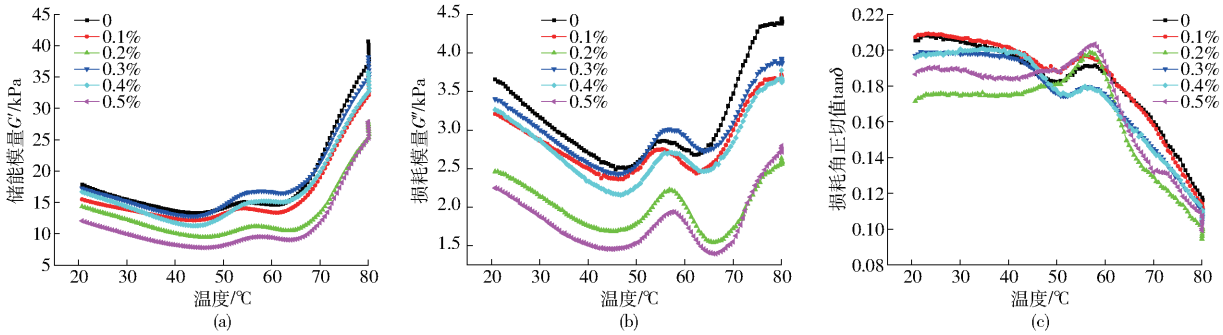


图 6 复合磷酸盐添加量对牛肉糜流变特性的影响

Fig. 6 Effect of compound phosphates on rheological properties of beef minced meat

3 结论

(1)添加复合磷酸盐使肉糜体系对结合水、不易流动水的束缚能力显著提升,在 0.2% 添加量时牛肉糜蒸煮损失率最低,不易流动水峰面积最大。

(2)复合磷酸盐添加量的增加,改变了热诱导凝胶体系的结构,使热处理后牛肉糜蛋白质二级结构 α-螺旋、β-折叠相对含量显著减小,显出更加松散无序的状态,使得微观结构中的孔洞更加密集、均匀,孔洞直径更小,添加量为 0.5% 时,结构最为疏松。

(3)综合考虑,复合磷酸盐添加量为 0.2% 时,其水分分布状态趋于稳定,良好的水分分布促使蛋白网络充分形成,并对粘弹性产生有利影响,说明 0.2% 添加量是牛肉糜的较优添加量。

参 考 文 献

[1] 孟子晴,祝超智,赵改名,等. 牛肉肉糜类制品加工技术研究进展[J]. 肉类研究,2018,32(12):55 - 61.
MENG Ziqing, ZHU Chaozhi, ZHAO Gaiming, et al. Recent progress in processing technologies for minced beef products[J]. Meat Research, 2018,32(12):55 - 61. (in Chinese)

[2] 祝超智. 生鲜鸡肉保水机制及控制技术研究[D]. 郑州:河南农业大学,2011.
ZHU Chaozhi. Study on water retention mechanism and control technology of fresh chicken [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2011. (in Chinese)

[3] THANGAVELU K P, KERRY J, TIWARI P B, et al. Novel processing technologies and ingredient strategies for the reduction of phosphate additives in processed meat[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019,94(10):43 - 53.

[4] 赵改名,焦阳阳,祝超智,等. 基于极差分析法与主成分分析法研究新型牛肉薄饼加工工艺[J]. 现代食品科技,2019,35(11):144 - 151.
ZHAO Gaiming, JIAO Yangyang, ZHU Chaozhi, et al. Research on new beef pancake processing technology based on range analysis and principal component analysis [J]. Modern Food Technology,2019,35(11):144 - 151. (in Chinese)

[5] WANG Peng, XU Xinglian, ZHOU Guanghong. Effects of meat and phosphate level on water-holding capacity and texture of emulsion-type sausage during storage[J]. Agricultural Sciences in China, 2009,12(8):1475 - 1481.

[6] KILIÇ B, ŞIMŞEK A, CLAUS J R, et al. Melting release point of encapsulated phosphates and heating rate effects on control of lipid oxidation in cooked ground meat[J]. LWT—Food Science and Technology, 2016, 66(8):398 - 405.

[7] CALVO M S, URIBARRI J. Public health impact of dietary phosphorus excess on bone and cardiovascular health in the general population[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2013,98(1):6 - 15.

[8] 李莹. 超高压对添加低浓度复合磷酸盐鸡肉制品的影响[D]. 南京:南京农业大学,2012.

LI Ying. Effect of ultra-high pressure on the addition of low-concentration compound phosphate chicken meat products [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012. (in Chinese)

[9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB/T 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定: GB/T 5009.23—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[11] MARTÍN F F, LÓPEZ I L, COFRADES S, et al. 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(2): 209 – 217.

[12] ZHU Chaozhi, YIN Feng, TIAN Wei, et al. Application of a pressure-transform tumbling assisted curing technique for improving the tenderness of restructured pork chops[J]. LWT—Food Science and Technology, 2019, 111(10): 125 – 132.

[13] ÁLVAREZ D, XIONG Y L, CASTILLO M, et al. Textural and viscoelastic properties of pork frankfurters containing canola-olive oils, rice bran, and walnut[J]. Meat Science, 2012, 92(1): 8 – 15.

[14] 谢新华, 毋修远, 沈玥, 等. 加水量对面筋蛋白水分分布及结构的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 365 – 370.
XIE Xinhua, WU Xiuyuan, SHEN Yue, et al. Effects of water addition on moisture distribution and structure of gluten protein [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(6): 365 – 370. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20190643&flag = 1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.06.043. (in Chinese)

[15] 高雪琴. 大豆分离蛋白和卡拉胶复配对调理猪肉制品品质的影响及机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
GAO Xueqin. Effects and mechanisms of soy protein isolate and carrageenan on the quality of pork products[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015. (in Chinese)

[16] CHEN X, TUME R K, XIONG Y, et al. Structural modification of myofibrillar proteins by high-pressure processing for functionally improved, value-added, and healthy muscle gelled foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(17): 2981 – 3003.

[17] PUOLANNE E J, RUUSUNEN M H, VAINIONPAA J I. Combined effects of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate [J]. Meat Science, 2001, 58(1): 1 – 7.

[18] 夏天兰, 刘登勇, 徐幸莲, 等. 低场核磁共振技术在肉与肉制品水分测定及其相关品质特性中的应用[J]. 食品科学, 2011, 32(21): 253 – 256.
XIA Tianlan, LIU Dengyong, XU Xinglian, et al. Application of low field nuclear magnetic resonance technique in moisture determination and related quality characteristics of meat and meat products[J]. Food Seience, 2011, 32(21): 253 – 256. (in Chinese)

[19] 郭兆斌, 余群力, 陈骋, 等. 宰后牦牛肉水分分布变化与持水性能关系的研究[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(10): 343 – 351.
GUO Zhaobin, YU Qunli, CHEN Cheng, et al. Relationship between water distribution change and water retention properties of yak meat during postmortem aging [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(10): 343 – 351. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20191040&flag = 1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.10.040. (in Chinese)

[20] SHAO J H, DENG Y M, JIA N, et al. Low-field NMR determination of water distribution in meat batters with NaCl and polyphosphate addition[J]. Food Chemistry, 2016, 200: 308 – 314.

[21] 曾淑薇, 李吉, 熊善柏, 等. 磷酸盐对草鱼肌原纤维蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(23): 48 – 51.
ZENG Shuwei, LI Ji, XIONG Shanbai, et al. Effect of phosphate on the structure of grass fibroin myofibrillar protein[J]. Food Science, 2014, 35(23): 48 – 51. (in Chinese)

[22] LIU Ru, ZHAO Siming, LIU Youming, et al. Effect of pH on the gel properties and secondary structure of fish myosin[J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 196 – 202.

[23] 刘琴, 包海蓉, 奚春蕊, 等. 金枪鱼肌原纤维蛋白热凝及流变特性的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 148 – 152.
LIU Qin, BAO Hairong, XI Chunrui, et al. Study on thermocoagulation and rheological properties of tuna fibrillary myofibrillar proteins[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(4): 148 – 152. (in Chinese)

[24] 董昳廷. 蛋清和大豆分离蛋白复合凝胶特性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
DONG Yuting. Study on the properties of egg white and soy protein isolate composite gel [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014. (in Chinese)

[25] 许柯, 吴烨, 徐幸莲, 等. 不同条件下兔骨骼肌肌球蛋白流变特性的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 1 – 4.
XU Ke, WU Ye, XU Xinglian, et al. Study on rheological properties of myosin in rabbit skeletal muscle under different conditions[J]. Food Science, 2010, 31(21): 1 – 4. (in Chinese)

[26] 曾宪明, 徐幸莲, 白云, 等. 兔肌球蛋白热诱导凝胶过程中的物理化学变化[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 149 – 153.
ZENG Xianming, XU Xinglian, BAI Yun, et al. Physical and chemical changes in rabbit myosin thermal induction gel process [J]. Food Science, 2008, 29(4): 149 – 153. (in Chinese)