

花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶性能的影响

冯婷¹, 孙京新¹, 吴振¹, 徐幸莲², 王淑玲¹, 李鹏¹, 夏梦¹

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266109)

(2. 南京农业大学国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 江苏南京 210095)

摘要: 本文研究了花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶性能的影响。对添加花生浓缩蛋白后的鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶的质构特性、动态流变特性以及热变特性进行测定并通过扫描电镜观察其微观结构。结果表明, 添加花生浓缩蛋白后, 鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶性能得以改善。当添加量为 2.5% 时, 凝胶硬度及强度达到最大, 最大值分别为 52.5 g、93.02 g×cm; 凝胶的储能模量 G' 显著提高 ($P < 0.05$), 其损耗角正切值 $\tan\delta$ 明显降低 ($P < 0.05$); 凝胶的变性温度 (T_{max}) 及变性焓 (ΔH) 显著提高 ($P < 0.05$), 当添加量为 3.5% 时, T_{max_1} 、 T_{max_2} 、 T_{max_3} 和 ΔH 增至最大, 分别为 54.02 °C、65.02 °C、76.52 °C、0.694 J/g; 凝胶微观的三维网络结构更加紧密、有序, 蛋白质交联度更高。因此, 花生浓缩蛋白可以有效改善鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶硬度和强度、弹性、热稳定性以及微观结构等特性。

关键词: 花生浓缩蛋白; 鸡胸肉盐溶蛋白; 热诱导凝胶

文章编号: 1673-9078(2015)10-97-102

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.10.017

Effects of Peanut Protein Concentrate on Heat-induced Gel Properties of Chicken Breast Muscle Salt-soluble Proteins

FENG Ting¹, SUN Jing-xin¹, WU Zhen¹, XU Xing-lian², WANG Shu-ling¹, LI Peng¹, XIA Meng¹

(1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

(2. National Center of Meat Quality and Safety Control, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The effects of alcohol-leached peanut protein concentrate on heat-induced gel properties of chicken breast muscle salt-soluble proteins were examined. With the addition of alcohol-leached peanut protein concentrate, the texture properties, dynamic rheological properties, and thermal properties of the heat-induced gel of chicken breast muscle salt-soluble proteins were determined, and its microstructure was observed by scanning electron microscopy (SEM). The results showed that after adding alcohol-leached peanut protein concentrate, the heat-induced gel properties of chicken breast muscle salt-soluble proteins were improved. When the amount of alcohol-leached peanut protein concentrate was 2.5%, the maximum gel hardness and strength were reached, and they were 52.5 g and 93.02 g × cm, respectively. The storage modulus G' was increased significantly ($P < 0.05$), and loss tangent value ($\tan\delta$) was decreased significantly ($P < 0.05$). Transition temperatures (T_{max}) and enthalpy of denaturation (ΔH) of heat-induced gel were increased significantly ($P < 0.05$). With the addition of 3.5% alcohol-leached peanut protein concentrate, three transition temperatures (T_{max_1} , T_{max_2} , and T_{max_3}) and ΔH of heat-induced gel were maximally increased, and the maximum values were 54.02 °C, 65.02 °C, 76.52 °C, and 0.694 J/g, respectively. Three-dimensional network microstructure of heat-induced gel with the addition of alcohol-leached peanut protein concentrate was even more compact and orderly, and the crosslinking degree between proteins became higher. Therefore, alcohol-leached peanut protein concentrate can effectively improve hardness, strength, elasticity, thermal stability, microstructure and other heat-induced gel properties of chicken breast muscle salt-soluble proteins.

Key words: alcohol-leached peanut protein concentrate; chicken breast muscle salt-soluble proteins; heat-induced gel

收稿日期: 2014-11-19

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划课题 (2012BAD28B03); 山东省现代农业产业技术体系家禽创新团队项目 (SDAIT-13-011-11); 国家级大学生创新训练计划和青岛农业大学名校建设工程大学生科技创新项目

作者简介: 冯婷 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 动物性食品加工及资源利用

通讯作者: 孙京新 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工

鸡肉是世界上最受欢迎的白肉之一。与猪肉等其他红肉相比,其具有“高蛋白、低脂肪、低热量”的营养特点^[1],被越来越多消费者所接受。盐溶蛋白作为主要的肌肉蛋白,约占动物肌肉总蛋白的 50%~55%^[2],其是一类具有重要生物学功能特性的结构蛋白质群,除了能影响肌肉的嫩度外还具有良好的热诱导凝胶特性,其凝胶特性对肉制品的风味、流变学特性、产品出品率等起到决定性作用^[3]。因此,如何改善鸡肉盐溶蛋白热诱导凝胶特性的研究一直受到关注。Lesiów 和 Xiong^[4]研究发现,在 pH 6.0 时,焦磷酸盐可破坏肌球蛋白的稳定性,促使肌原纤维蛋白形成良好的凝胶。Feng 等^[5]研究发现经热处理后的大豆分离蛋白可以大大提高鸡肉肌原纤维蛋白凝胶的弹性和强度。

在肉制品加工过程中,利用花生蛋白的保水性、凝胶性、乳化性等功能特性,能有效减少肉汁水分的流失,以及加工中风味物质的损失,其能促进脂肪吸收,防止制品产生走油现象。花生蛋白还可以作为良好的粘合剂和填充剂,将其添加到香肠、火腿中,可使制品获得组织细腻、质地良好等特性^[6]。其营养价值在植物性蛋白质中仅次于大豆蛋白,但其含有的抗营养因子比大豆要少,风味也更好;与动物性蛋白相比差异并不显著,含量比牛奶、鸡蛋的都高,并且不含胆固醇。因此,花生蛋白的制备及其功能特性研究已引起国内外学者的重视。Monteiro 等^[7]对不同花生蛋白组分的氨基酸进行了研究,结果显示各组分均含有 18 种氨基酸,其中总蛋白中半胱氨酸、甲硫氨酸、酪氨酸、赖氨酸含量低,天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸含量较高。Yu 等人^[8]研究发现,除凝胶性外采用等电沉淀法提取的花生浓缩蛋白功能性优于同方法制备的大豆浓缩蛋白。

因此,花生蛋白作为肉制品的改良剂,在改善产品凝胶品质方面具有很大潜力,但目前有关几种花生蛋白制品,尤其是蛋白质含量较高的花生浓缩蛋白对鸡肉盐溶蛋白热诱导凝胶性质的影响方面的研究较少。本文以鸡胸肉为原料,对添加花生浓缩蛋白后的鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶的保水性、质构特性、动态流变特性等指标进行测定,来初步探索花生浓缩蛋白对鸡肉盐溶蛋白热诱导凝胶性质的影响,为鸡肉深加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜鸡胸肉:青岛市城阳区大润发超市;其他试

剂:均为分析纯。

1.2 仪器设备

TA-XT2i 型质构仪:英国 Stable Micro Systems 公司;MCR101 流变仪:奥地利安东帕有限公司;MC-DSC 差示扫描量热仪:美国 TA 公司;JSM-840 型扫描电子显微镜:日本 JEOL 公司

1.3 方法

1.3.1 花生浓缩蛋白的制备

制备方法参照刘大川等^[9]提供的醇洗工艺进行适当修改。将脱脂花生粉与乙醇溶液(75%)以 1/10 (m/V)混合均匀后在 30 °C 下振荡浸提 60 min, 1500 r/min 离心 10 min, 去上清,将沉淀与乙醇溶液(90%)以 1/8 (m/V)混合均匀后在 35 °C 下振荡浸提 30 min, 1500 r/min 离心 10 min 后冷冻干燥沉淀,即为花生浓缩蛋白,置于 4 °C 下冷藏备用。采用 GB5009.5-2010 中凯氏定氮法^[10]对其蛋白含量进行测定。

1.3.2 鸡胸肉盐溶蛋白的提取

鸡胸肉盐溶蛋白的提取参照 Sun 等人^[11]的方法。蛋白质浓度用双缩脲法测定,用牛血清白蛋白做蛋白质浓度标准曲线。

1.3.3 热诱导凝胶制备

分别取 20 mL 鸡胸肉盐溶蛋白溶液,添加不同量的花生浓缩蛋白 0 g、0.3 g、0.4 g、0.5 g、0.6 g、0.7 g (质量体积比分别为 0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%, g/mL),混合均匀。然后将装有混合溶液的离心管置于水浴锅中加热,从 25 °C 开始保温 5 min,然后分别升温至 70 °C、75 °C、80 °C、85 °C、90 °C,再在不同的温度下分别保温 5 min、10 min、15 min、20 min、25 min,停止加热后,自然冷却至室温,即得热诱导凝胶。

1.3.4 保水性(WHC)

取制备好的凝胶经 10000×g 离心 3 min 后,称总重,去除离心出的水分,再称重,然后计算保水性。试验平行三次。

$$WHC = \frac{W_1 - W}{W_2 - W} \times 100\%$$

注: W_1 -离心管+去水后的胶重(g); W_2 -离心管+凝胶的总重(g); W -离心管的重量(g)。

1.3.5 凝胶质构特性

将蛋白凝胶样品在 25 °C 恒温水浴中平衡 30 min,使用质构分析仪测定凝胶质构特性。测定前吸去样品析出的水分,使用相同的样品瓶校准探头。探头为 P/0.5R (圆柱形),参数设定为测前速度 1.0 mm/s,测

试速度 0.5 mm/s, 测后速度 1.0 mm/s, 探头深入距离为 5 mm, 触发力为 5 g, 数据获取速率 200 pps^[12]。测试完成后, 用仪器自带软件 Texture Expert Exceed 2.64a 内部宏 TPA.MAC 对测试结果进行处理。

1.3.6 动态流变特性

将处理后的凝胶样品置于校正好的 MCR101 流变仪平台上, 石蜡密封。夹具为直径 50 mm 平行板, 平行板的间距为 1 mm。在振动模式下和线性黏弹区的范围内, 分别进行频率扫描和温度扫描。

频率扫描的条件: 振荡频率范围为 5~18 Hz, 测定频率扫描过程中储能模量 G' 和损耗角正切值 $\tan\delta$ 的变化。

温度扫描的条件: 在 25 °C 下保温 5 min, 温度扫描范围为 25~75 °C, 并在 75 °C 下保温 5 min, 变温速率为 2.0 °C/min, 振荡频率为 1 Hz, 测定升温过程中储能模量 G' 的变化。

1.3.7 差示扫描量热法(DSC)

将处理后的凝胶样品, 精确称取约 400 mg 的置于 DSC 坩埚中, 将样品在坩埚底部压实, 并加盖密封, 以空坩埚作为参比, 从 25 °C 加热到 105 °C, 升温速率为 1 °C/min, 样品室用循环水冷却, 氮气流量 20 mL/min, 保护气流量 60 mL/min。平行试验三次, 记录差示扫描量热仪吸热曲线上的变性温度和变性焓。

1.3.8 微观结构的观察

将凝胶样品切成 3×3×1.5 mm 的小块, 放入 2.5% 的戊二醛溶液在温度 4 °C 下固定过夜, 倒掉固定液, 用 0.1 M、pH 7.0 的磷酸缓冲液漂洗样品三次, 每次 15 min。再用 50%、70%、80%、90% 和 95% 五个梯度浓度的乙醇溶液对样品进行脱水处理, 每个浓度处理 15 min, 再用 100% 的乙醇处理两次, 每次 20 min。用乙醇与醋酸异戊酯的混合液(V/V=1/1)处理样品 30 min, 再用纯醋酸异戊酯处理样品 1-2 h, 采用二氧化碳临界点干燥, 真空离子溅射镀金, 处理好的样品在 1500 倍扫描电镜下观察。

1.3.9 统计分析

采用统计软件 SPSS 17.0 及 Excel 2003 对数据进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶保水性的影响

由图 1 可以看出, 随着花生浓缩蛋白添加量的增加, 鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶保水性呈现出先增加

后下降的趋势, 当添加量为 2.5% 时保水性达到最大值 94.60%, 显著高于未添加组的 90.21% ($P<0.5$), 但当添加量高于 2.5% 时, 凝胶的保水性开始下降, 当添加量为 3.5% 时, 凝胶保水性下降为 92.71%, 仍高于未添加组, 因此可以初步证明花生浓缩蛋白的添加对凝胶的保水性具有显著影响, 添加一定浓度的花生蛋白可以改善其保水性。在热诱导凝胶形成过程中, 部分盐溶蛋白相互聚集而后相互交联形成有序三维网状结构, 并把水包含在其中^[13], 花生浓缩蛋白可能作为一种凝胶粘结剂, 促进形成更多的网状结构, 从而提高了凝胶的保水性。Youssef^[14]等人的研究表明, 在已观察到一些蛋白质混合系统中, 这种粘结剂的作用即包括化学作用(例如氢键的产生)又包含物理作用(例如分子链的缠绕)。

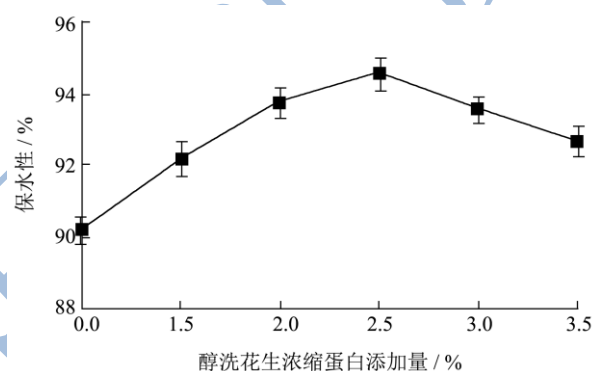


图 1 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶保水性的影响

Fig.1 Effects of alcohol-leached peanut protein concentrate on the WHC of the heat-induced gel of chicken breast muscle salt-soluble proteins

2.2 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶质构特性的影响

随着花生浓缩蛋白添加量的增加, 鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶硬度和强度均呈现先增大后减小的趋势(图 1)。当花生浓缩蛋白添加量为 2.5% 时, 凝胶硬度为 52.5 g、凝胶强度为 93.02 g×cm, 达到最大。花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶的质构特性有显著影响, 这可能是因为花生浓缩蛋白具有较强的保水性和乳化性, 能减少汁液流失, 改善凝胶的质地; 而且将花生浓缩蛋白添加到鸡肉盐溶蛋白凝胶中, 其自身凝胶结构逐渐形成, 使得单位体积内凝胶分子数增加, 分子间碰撞增加, 促进了分子间交联作用, 从而提高了盐溶蛋白凝胶的硬度和强度。但当花生浓缩蛋白的添加量过高时, 凝胶质构特性反而降低, 这可能是因为, 在鸡肉盐溶蛋白凝胶体的稳定性方面, 鸡肉

盐溶蛋白的功能性起主要作用, 当花生蛋白添加量过大时, 由于其自身吸水性较强, 阻碍了鸡肉盐溶蛋白和水之间的相互作用, 从而使其凝胶质构特性降低。

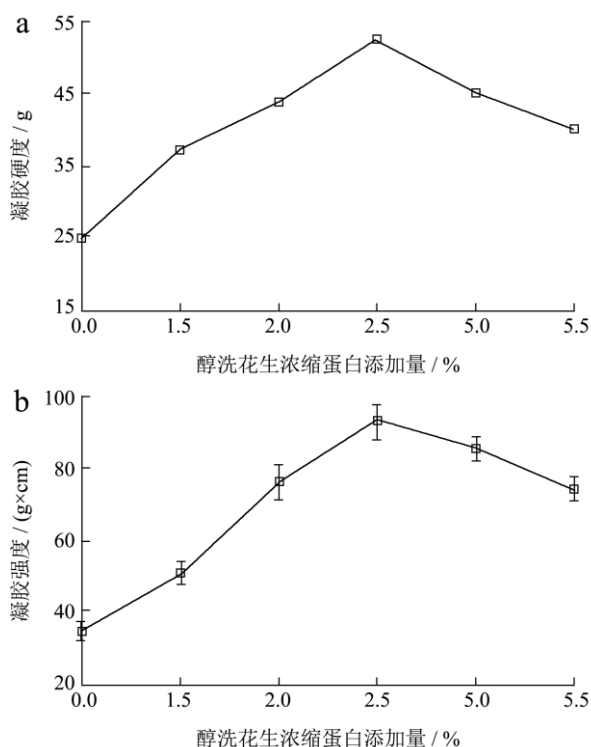


图2 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶硬度 (a) 和凝胶强度 (b) 的影响

Fig.2 Effects of alcohol-leached peanut protein concentrate on hardness and gel strength of heat-induced gel of chicken breast muscle salt-soluble proteins

2.3 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶动态流变特性的影响

2.3.1 频率扫描中花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶储能模量 G' 和损耗角正切值 $\tan\delta$ 的影响

由图2(a)可看出, 相同频率下, G' 在花生浓缩蛋白添加量为2.5%达到最大; 当添加量大于2.5%时, G' 随频率增大变化不显著。图2(b)显示, 当花生浓缩蛋白添加量小于3.0%时, $\tan\delta$ 随频率增大显著降低, 当添加量为3.0%、3.5%时, 凝胶损耗角正切值随频率增大变化不显著; 相同频率下, $\tan\delta$ 在花生浓缩蛋白添加量为2.5%达到最小。

2.3.2 温度扫描中花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶储能模量 G' 的影响

升温过程中, 随着花生浓缩蛋白添加量的增加, G' 发生起伏性变化, 可将整个过程分为30~42℃、42~52℃、52~60℃、60~71℃和71~75℃五个阶段,

在中间三个温度阶段, G' 也呈现出先增加后降低然后再增加的趋势; 在温度相同的情况下, 随花生浓缩蛋白添加量的增加, G' 先增大后减小, 添加量2.5%时达到最大365.69 Pa。(图3)。

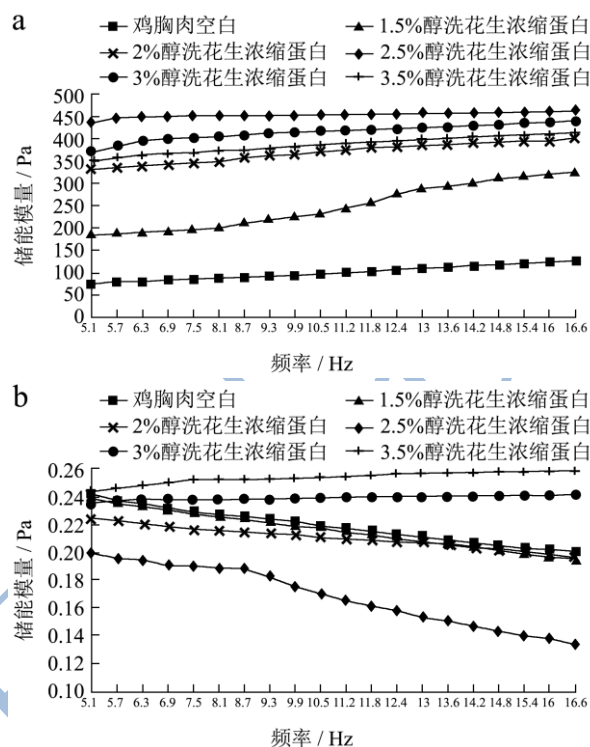


图3 频率扫描中花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶储能模量 G' (a) 以及损耗角正切值 $\tan\delta$ (b) 的影响

Fig.3 Effect of alcohol-leached peanut protein concentrate on storage modulus G' and loss tangent value $\tan\delta$ of heat-induced gel of chicken breast muscle salt-soluble proteins in frequency scan

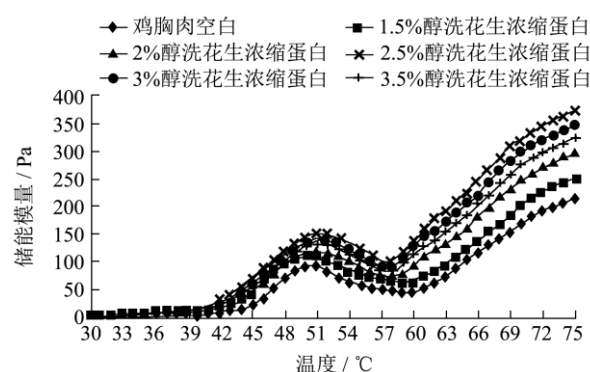


图4 温度扫描中花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶储能模量 G' 的影响

Fig.4 Effect of alcohol-leached peanut protein concentrate on storage modulus G' of heat-induced gel of chicken breast muscle salt-soluble proteins in temperature scan

在动态流变学上, G' 表示应力能量在试验中暂时储存, 以后可以恢复, 即弹性; $\tan\delta$ 显示了网状结构中材料的相对粘弹性, 当其为0时, 样品表现为完全弹性体, 当其为无限大时, 样品表现为完全粘性体,

通过对样品 $\tan\delta$ 的研究,可以更直接了解样品本身“倾向固态”,还是“倾向液态”^[15-16]。随着花生浓缩蛋白添加量的增加,频率扫描和温度扫描的结果均显示出 G' 显著提高,这可能是由于花生浓缩蛋白的添加进一步优化了蛋白质与蛋白质及蛋白质与水之间的相互作用,加快了鸡胸肉盐溶蛋白均匀结构的形成,使得凝胶网络结构更加完善,从而凝胶弹性增强; $\tan\delta$ 显著降低,可能是因为添加花生浓缩蛋白后,凝胶形成更为紧密的网络结构,使得鸡肉盐溶蛋白热诱导凝胶倾向于固体,更有弹性。所以在适宜添加量条件下,花生浓缩蛋白能改善鸡胸肉盐溶蛋白的凝胶弹性,这与之前的质构弹性结论相符。

2.4 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶热变特性的影响

由表 1 可以看出,随着花生浓缩蛋白添加量的增大,鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶的主要变性温度呈现逐渐增大的趋势,其中 T_{max_2} 显著增大,但当添加量大于 2.0% 时,变性温度 T_{max_1} 和 T_{max_3} 无显著变化。而随着花生浓缩蛋白添加量的增加凝胶焓变呈现先减少后增加的趋势,当花生浓缩蛋白添加量大于 2.5% 时,凝胶焓变大于空白焓变。 T_{max} 值反应出蛋白质的热稳定性,值越高则热稳定性越好,值越低则热稳

定性越差; ΔH 为样品的热焓,反映蛋白的变性程度,破坏氢键的反应产生吸热焓,蛋白质凝集和疏水反应产生放热焓,焓值的大小和正负表明何种反应占优势^[17]。花生浓缩蛋白的添加提高了鸡胸肉盐溶蛋白质热诱导凝胶的热变性温度,既增加了鸡肉盐溶蛋白的热稳定性;当花生浓缩蛋白添加量增大到一定程度时,凝胶变性焓逐渐增大,这可能是因为添加花生浓缩蛋白可以增强与盐溶蛋白的交联作用,产生大量的氢键,从而增大鸡肉盐溶蛋白热诱导凝胶的热稳定性。

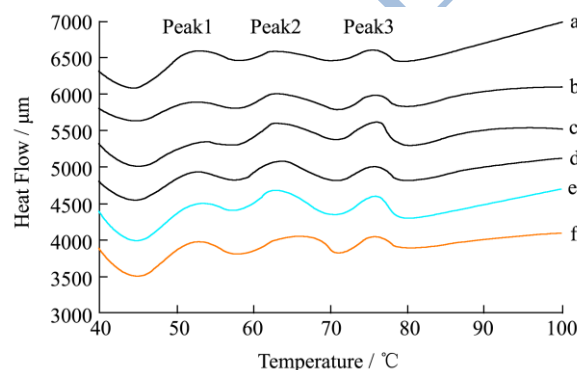


图 5 鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶的 DSC 热线图

Fig.5 Differential scanning calorimetry thermograms of heat-induced gel of chicken breast muscle salt-soluble proteins

注: a-空白对照(未添加花生蛋白); b-添加 1.5%花生浓缩蛋白; c-添加 2.0%花生浓缩蛋白; d-添加 2.5%花生浓缩蛋白; e-添加 3.0%花生浓缩蛋白; f-添加 3.5%花生浓缩蛋白。

表 1 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶主要变性温度和焓变的影响

Table 1 Effect of alcohol-leached peanut protein concentrate on transition temperatures (T_{max}) and enthalpy of denaturation (ΔH) of heat-induced gel of chicken breast muscle salt-soluble proteins

醇洗花生浓缩蛋白添加量/%	$T_{max_1}/^{\circ}C$	$T_{max_2}/^{\circ}C$	$T_{max_3}/^{\circ}C$	$\Delta H/(J/g)$
0.0	52.02±0.02 ^a	63.02±0.02 ^a	75.84±0.02 ^a	0.515±0.005 ^c
1.5	53.33±0.02 ^b	63.50±0.02 ^b	76.02±0.06 ^b	0.336±0.006 ^a
2.0	54.02±0.00 ^c	64.09±0.02 ^c	76.52±0.00 ^c	0.407±0.004 ^b
2.5	54.02±0.00 ^c	64.39±0.02 ^d	76.52±0.00 ^c	0.574±0.009 ^d
3.0	54.02±0.00 ^c	64.81±0.02 ^e	76.52±0.00 ^c	0.642±0.010 ^e
3.5	54.02±0.00 ^c	65.02±0.01 ^f	76.52±0.00 ^c	0.694±0.008 ^f

注: a-f 表示不同行的组内显著性差异 ($p<0.05$)。

2.5 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶微观结构的影响

花生浓缩蛋白添加量为 2.5% 时,鸡胸肉盐溶蛋白形成的热诱导凝胶保水性、质构和动态流变特性最为理想,因此,选用此添加量的凝胶进行微观结构的观察。由图 6 可看出,空白组(未添加)的凝胶网络结构较为松散,表面粗糙,出现大空洞以及较多的小空

洞(图 6A);添加 2.5%花生浓缩蛋白的凝胶形成了高度致密、均一、有序的三维网络结构,蛋白束平滑,蛋白质交联度高,空洞基本消失(图 6B)。亢春雨^[18]研究发现保水性不同的鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶,其超微结构表现出很大的差异,保水性强,其凝胶的网络结构则比较均匀、细致;保水性差,其凝胶的网状结构疏松、粗糙、不均匀。因此,在本试验中,花生浓缩蛋白添加后,三维网络结构的改变,也可以从另一方面说明热诱导凝胶保水性的增强。

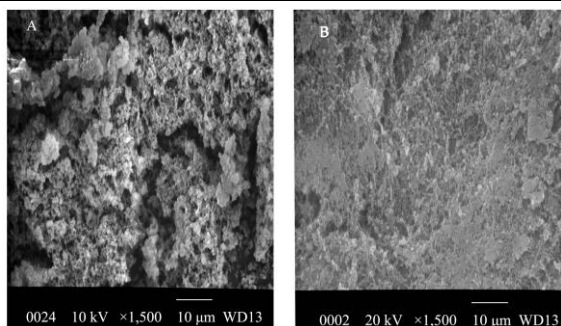


图6 花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶微观结构的影响

Fig.6 Effect of alcohol-leached peanut protein concentrate on the microstructure of heat-induced gel of chicken breast muscle salt-soluble proteins

注: A-空白对照(未添加花生蛋白); B-添加2.5%花生浓缩蛋白。

3 结论

本文研究了花生浓缩蛋白对鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶性能的影响,对添加花生蛋白后凝胶的保水性、质构特性、动态流变特性等指标的测定后,得知:添加适宜量的花生浓缩蛋白可明显改善鸡肉盐溶蛋白热诱导凝胶的保水性、质构特性;提高鸡肉盐溶蛋白凝胶的储能模量 G' 、降低其损耗角正切值 $\tan\delta$,既增强热诱导凝胶的弹性;提高凝胶的热变性温度及变性焓,既提高了其热稳定性;使凝胶的网络结构高度致密、均一、有序。因此花生浓缩蛋白能显著改善鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶性能。本文为以后研究醇洗花生蛋白在肉制品中的应用提供了一定的理论依据。但目前,利用醇洗法提取花生蛋白仍存在产品蛋白得率低、难以掌握蛋白变性程度以及乙醇回收难等缺点,因此也亟需对相关基础理论进行深入研究。

参考文献

- [1] Sáágo-Ayerdi S G, Brenes A, Viveros A. Antioxidative effect of dietary grape pomace concentrate on lipid oxidation of chilled and long-term frozen stored chicken patties [J]. *Meat Science*, 2009, 83(3): 528-533
- [2] 郭世良,赵改名,王玉芬,等.离子强度和pH值对肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响[J].*食品科技*,2008,1:84-87
GUO Shi-liang, ZHAO Gai-ming, WANG Yu-fen, et al. Effects of ionic strength and pH values on the characteristics of heat-induced gelation of myofibrillar proteins [J]. *Food Science and Technology*, 2008, 1: 84-87
- [3] 杨玉玲,姜攀,贾继荣,等.鸡肉肌原纤维蛋白与卡拉胶混合凝胶质构特性的研究[J].*食品与发酵工业*,2008,34(6):16-19
YANG Yu-ling, JIANG Pan, JIA Ji-rong, et al. Studies on the textural properties of chicken myofibrillar protein and carrageenan mixed gel [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2008, 34(6): 16-19
- [4] Lesiów T, Xiong Y L. Chicken muscle homogenate gelation properties: effect of pH and muscle fiber type [J]. *Meat Science*, 2003,64 (4): 399-403
- [5] Feng J, Xiong Y L. Interaction of myofibrillar and preheated soy proteins [J]. *Journal of Food Science*, 2002,67(8): 2851-2856
- [6] 石晓,周瑞宝,张春晖.花生蛋白在火腿肠中的应用研究[J].*粮油加工与食品机械*,2006,6:82-84
SHI Xiao, ZHOU Rui-bao, ZHANG Chun-hui. Study on application of peanut protein in ham sausage [J]. *Machinery for Cereals Oil and Food Processing*, 2006, 6: 82-84
- [7] Monteiro P V, Prakash V. Effect of proteases on arachin, conarachin I and conarachin II from peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994, 42(2): 268-273
- [8] Yu J M, Ahmedna M, Goktepe I. Peanut protein concentrate: production and functional properties as affected by processing [J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(1): 121-129
- [9] 刘大川,张维农,胡小泓.花生蛋白制备工艺和功能特性的研究[J].*武汉工业学院学报*,2001,4:1-3
LIU Da-chuan, ZHANG Wei-nong, HU Xiao-hong. The research on preparation and functional properties of peanut protein [J]. *Journal of Wuhan Polytechnic University*, 2001, 4: 1-3
- [10] GB5009.5-2010,食品安全国家标准-食品中蛋白质的测定[S]
GB5009.5-2010, Determination of protein in foods, National Standards of the People's Republic of China [S]
- [11] Sun J X, Wu Z, Xu X L, et al. Effect of peanut protein isolate on functional properties of chicken salt-soluble proteins from breast and thigh muscles during heat-induced gelation [J]. *Meat Science*, 2012, 91(1): 88-92
- [12] Sun X D, Arntfield S D. Gelation properties of myofibrillar/pea protein mixtures induced by transglutaminase crosslinking [J]. *Food Hydrocolloids*, 2012b, 27(2): 394-400
- [13] Han M Y, Zhang Y J, Fei Y, et al. Effect of microbial transglutaminase on NMR relaxometry and microstructure of pork myofibrillar protein gel [J]. *European Food Research and Technology*, 2009, 228(4): 665-670
- [14] Youssef M K, Barbut S. Effects of two types of soy protein

- isolates, native and preheated whey protein isolates on emulsified meat batters prepared at different protein levels [J]. Meat Science, 2010, 87(1): 54-60
- [15] Sriamornsak P, Burton A M, Kennedy A R. Development of polysaccharide gel coated pellets for oral administration: 1. Physico-mechanical properties [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2006, 326(1-2): 80-88
- [16] Chen H H, Huang Y C. Rheological properties of HPMC enhanced surimi analyzed by small-and large-strain tests- II: Effect of water content and ingredients [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(2): 313-322
- [17] 王健, 田丰伟, 张玉新. 热分析法在食品蛋白质研究中的应用[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2000, 4: 14-16
WANG Jian, TIAN Feng-wei, ZHANG Yu-xin. Application of thermal analysis in food protein research [J]. Beverage & Fast Frozen Food Industry, 2000, 4: 14-16
- [18] 亢春雨, 赵春青. 鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶保水性和超微结构的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(1): 50-53
KANG Chun-yu, ZHAO Chun-qing. Study on whc and ultrastructure of heat-induced gelation of cb salt-soluble protein [J]. Food Science, 2007, 28(1): 50-53

现代食品科技