

不同盐浓度下黄原胶对大豆分离蛋白—肌原纤维蛋白复合凝胶性质的影响

Effect of xanthan on gelling properties of myofibrillar protein-soy protein composite with various salt levels

林玉惠¹ 李鹏鹏² 何志勇² 秦 昉² 吴胜芳² 陈 洁²

LIN Yu-hui¹ LI Peng-peng² HE Zhi-yong² QIN Fang² WU Sheng-fang² CHEN Jie²

(1. 汕头市天悦食品工业技术研究院有限公司, 广东 汕头 515041; 2. 江南大学

食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. Tianyue Food Technology Research Institute, Shantou, Guangdong 515041, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:研究不同盐浓度下黄原胶对大豆分离蛋白(SPI)—肌原纤维蛋白(MP)复合体系凝胶特性和结构的影响。结果表明:在0.1, 0.3 mol/L NaCl条件下,低含量SPI有利于MP—SPI复合体系的凝胶及提高凝胶持水性;黄原胶也可提高MP—SPI复合凝胶的持水性。环境扫描电镜显示:黄原胶的强持水能力及大豆蛋白的填充起到了凝胶促进作用。在高盐浓度下,SPI的加入,对于MP—SPI复合凝胶强度和持水性均有破坏效应;对于纯MP凝胶,黄原胶的加入会弱化凝胶强度,但可提升凝胶持水性;对于MP—SPI复合凝胶样品,随着黄原胶用量的增加,肌纤维蛋白—大豆蛋白复合凝胶的凝胶强度和持水性均呈现增加趋势。说明多糖—MP—SPI复合体系中,三者相互作用受盐浓度影响显著,在低盐条件下,低浓度大豆蛋白和高浓度黄原胶的加入可较好地改善复合蛋白凝胶性质。

关键词:黄原胶;大豆分离蛋白;肌原纤维蛋白;凝胶性质;盐浓度

Abstract: Due to the increasing use of soy protein in meat products, it has been a hot issue to maintain favorable elasticity and water-holding capacity (WHC) of meat products containing abundant soy protein. Effects of xanthan at various salt levels on the gelling properties and microstructure of composite myofibrillar protein (MP) and soy protein isolate (SPI) were investigated. The results demonstrated that the addition of SPI in small amount could improve the gelation and WHC of MP—SPI composite gel, and incorporation of xanthan enhanced WHC at low NaCl concentration (0.1 and 0.3 mol/L). The observation results of environmental scanning electron microscopy (ESEM) suggested that the “filling effect” of soy protein, as well as

the strong water binding ability of xanthan may be related to the positive effects on the elastic modulus, gel strength and WHC of MP mixing with small content of soy protein and larger amount of xanthan. However, at high salt concentration, SPI exhibited negative effects on the gel strength and WHC of composite MP—SPI. Xanthan weakened the gel strength but improved WHC of MP. Importantly, the gel strength and WHC of mixed MP—SPI were reinforced with the increment of xanthan content. In conclusion, the results of this study indicated that, in the mixed system of polysaccharide—MP—SPI, their interactions were significantly influenced by salt concentration. Incorporation of low concentration of soy protein and high level of xanthan at low salt concentrations could improve composite gelling properties.

Keywords: xanthan; soy protein isolate; myofibrillar protein; gel properties; salt concentration

近年来,食品工业界基于成本或营养角度的考虑,大豆蛋白在肉制品中的使用越来越多,如何使含大量大豆蛋白的肉制品体系结构保持良好的弹性和持水性成为肉制品研究领域的热点。少量的大豆蛋白等非肉蛋白添加到肉制品配方中,可以改善肉制品的凝胶性、持水保油性,并提高产品得率^[1]。但是大剂量添加大豆蛋白等往往会使得肉制品的品质下降,包括凝胶强度、弹性和持水性^[1,2]。Chin等^[3]发现使用2.2%商业大豆蛋白替代肉蛋白不影响 Bologna 香肠的凝胶强度,但当替代量为4.4%时会促使香肠质地变软。目前,关于影响肌纤维蛋白凝胶体系因素方面,包括pH、离子强度、加工工艺参数、肌纤维蛋白浓度、加热速率、温度、压强、外源物质(各类亲水性多糖、脂肪、TG、大豆蛋白及其他蛋白)等对于肌纤维蛋白的影响研究已经相对透彻^[4-8]。然而,在含有大量杂蛋白例如大豆蛋白的肌原纤维蛋白体系中,对各种外源物质、pH、离子强度是如何影响复合蛋白体

作者简介:林玉惠(1974—),女,汕头市天悦食品工业技术研究院有限公司高级工程师。E-mail:linyuhui88@163.com

通讯作者:陈洁

收稿日期:2015-07-21

系性质的研究较少。迄今为止,仅 Lin 等^[8]报道过大豆蛋白、多糖及肌纤维蛋白三者相互作用,其研究主要针对于体系的乳化特性。

事实上,中国肉制品体系中,不仅添加了大豆蛋白,且添加量相对较多,现有的肌纤维蛋白凝胶理论很难支持含有大量大豆蛋白的肉制品体系质量问题的解决。基于此,本试验拟通过模拟体系,利用商业大豆蛋白,以黄原胶为代表,探讨亲水胶体对含有大豆蛋白的肌原纤维蛋白在不同盐浓度条件下的凝胶特性和凝胶结构的影响,以期为提高含有高比例大豆蛋白的肉制品的品质提供依据,同时为商业大豆蛋白的应用拓展途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黄原胶粉:丹尼斯克(苏州)有限公司;

大豆分离蛋白:平顶山天晶植物蛋白有限公司;

猪外脊肉:购于无锡欧尚超市;

浓盐酸、氢氧化钠、硫酸铜、酒石酸钾钠、氯化钠、氯化镁、EGTA、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、牛血清白蛋白,二甲基硅油:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验仪器

高速冷冻离心机:Avanti J-26 XP 型,美国 Beckman 公司;

冷冻干燥机:Christ ALPHA 1-4 LSC 型,德国 Martin Christ 公司;

质构仪:TA-XT Plus 型,英国 Stable Micro Systems 公司;

流变仪:AR G2 型,美国 TA Instrument 公司;

紫外光可见分光光度计:UV-2800H 型,尤尼柯(上海)仪器有限公司;

高速组织捣碎机:DS-1 型,上海精科实业有限公司;

电子天平:JB5374-91 型,梅特勒—托利多仪器有限公司;

分析天平:AL204 型,梅特勒—托利多仪器有限公司;

磁力搅拌器:RO 10 power 型,广州仪科实验室技术有限公司;

pH 计:SevenEasy 型,梅特勒—托利多仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 大豆分离蛋白及多糖溶液的配制 将大豆分离蛋白和黄原胶分别溶解于 0.1,0.3,0.6 mol/L NaCl,pH 6.25 的磷酸盐缓冲液中,配制成 5% 质量分数的大豆蛋白和黄原胶溶液。

1.3.2 肌原纤维蛋白的提取 根据文献^[6]的方法从猪外脊瘦肉中提取肌原纤维蛋白。冷冻猪外脊肉放入 4℃ 冰箱中解冻 4 h,去除可见脂肪和结缔组织,称重,加入 4 倍体积(V/m)的分离缓冲液(0.1 mol/L NaCl,50 mmol/L Na_2HPO_4 ,2 mmol/L MgCl_2 ,1 mmol/L EGTA,pH 7.0),斩拌混匀,将混合液离心($2\,000\times g$,15 min,4℃),取沉淀。重复上述操作两次。按 4 倍体积(V/m)0.1 mol/L NaCl 溶液,离心两次($2\,000\times g$,15 min,4℃),在最后一次离心前用双层纱布过滤掉可见的网状物结缔组织,将混合液的 pH 值调到 6.25,最后将肌原纤维蛋白分离物在碎冰中保存。

使用双缩脲方法测定肌纤维蛋白中蛋白含量,用牛血清

蛋白作为标准蛋白测定标准曲线。并用 0.1,0.3,0.6 mol/L NaCl,pH 6.25 的磷酸盐缓冲液将肌纤维蛋白浓度校正到 50 mg/mL,在碎冰中保存备用。

1.3.3 肌纤维蛋白、大豆分离蛋白及黄原胶混合样品的制备 本试验根据盐浓度(0.1,0.3,0.6 mol/L NaCl)的不同共分为 3 组,每组 12 个样品。以其中盐浓度为 0.6 mol/L 的 NaCl 为例,MP:SPI 按 1:0.3:1.1:1($m:m$)混合,使每个样品的蛋白浓度保持在 40 mg/mL,而黄原胶有 0.0%,0.1%,0.5%,1.0% 4 个浓度梯度,共计 12 个样品。

1.3.4 混合样品流变性质的测定 参照文献^[6]修改如下:利用 AR G2 流变仪在样品形变的线性区域,采用小幅正弦振荡模式对 0.3,0.6 mol/L NaCl 两个盐浓度混合样品形成凝胶过程中弹性模量(G')的变化进行测定。使用直径为 2 cm 的平板夹具,从 20℃ 以 2℃/min 的升温速率升到 80℃,频率为 0.1 Hz,最大应变为 0.02,板间距为 1 mm,在夹具与样品的边缘滴加硅油,以防止水分蒸发,将保护盖扣在夹具外部。流变仪记录混合样品在加热形成凝胶过程中,整个体系的弹性模量的变化。

1.3.5 混合样品的凝胶强度测定 按照 1.3.3 的方法制备混合样品后,置于 50 mL 的离心管中,以 800 r/min 的转速离心 10 min,脱出样品中的气泡,每个样品称取 5 g 转移至 16.8 mm 的平底玻璃管中,并用保鲜膜封口。水浴加热,升温到 80℃,加热速率维持在 1.0~1.2℃/min。达到目标温度后,迅速将样品置于冰水中快速冷却,并在 4℃ 冰箱中放置过夜。

样品的凝胶强度参照文献^[6]修改如下:测试前将放置过夜的蛋白凝胶样品先于 25℃ 的恒温水浴中平衡 1 h。质构仪参数:P/0.5 圆柱形探头,测定前速度为 1.0 mm/s,测定速度为 0.5 mm/s,测后速度为 10 mm/s,测定距离为样品高度的 50%,触发类型为自发,触发力为 5 g,数据采集速度为 200 包/s。凝胶强度定义为探头在下压过程中最大感应力。

1.3.6 混合样品的凝胶持水性测定 参照文献^[6]修改如下:按照 1.3.5 方法制备的蛋白凝胶低温放置过夜,将样品(m_0)取出并转移到 50 mL 的离心管中,样品和离心管总质量为 m_1 ,离心参数: $10\,000\times g$,10 min,4℃。然后将上清液倒掉,并用滤纸吸去凝胶块表面的残留水分,此时的样品和离心管质量为 m_2 。凝胶持水性(WHC)按式(1)计算:

$$WHC = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \quad (1)$$

式中:

WHC——凝胶持水性,%;

m_0 ——样品质量,g;

m_1 ——离心前样品和离心管总质量,g;

m_2 ——离心后将上清液倒掉并用滤纸吸附表面残留水分后称重获得的样品和离心管总质量,g。

1.3.7 混合样品的微观结构 利用 XL-30 ESEM 环境扫描电镜(ESEM)观察凝胶的微观结构。将制备的蛋白凝胶切成约 5 mm $\times$ 3 mm $\times$ 7 mm 的凝胶块,并粘于 ESEM 专用的圆形模具上,并置于 ESEM 样品室中观察。测试条件:加速电压 20 kV,恒压 119.97 Pa,放大倍数为 800 倍。

1.3.8 数据统计分析 本试验数据为 3 次平行。使用 Excel 软件进行表格设计及计算;使用 Statistix 软件,采用 LSD

法对数据进行显著性分析,并用 Origin 8.0 作图。

2 结果与讨论

2.1 黄原胶对 SPI—MP 复合蛋白体系弹性模量的影响

SPI 及黄原胶在不同的盐浓度下对肌纤维蛋白流变性质的影响见图 1。由图 1(a~c)可知,在 0.6 mol/L NaCl 盐浓度下,纯肌纤维蛋白的储存模量 G' 在温度 40 °C 时开始上升,50 °C 时达到最大值,58 °C 时达到最小值,这与报道^[7,9]类似。黄原胶的加入,几乎不改变肌纤维蛋白的凝胶温度,但可使凝胶强度大幅度上升,可能是同一体系中,由于互不相容的大分子相互竞争空间,黄原胶的加入使得肌纤维蛋白的相对浓度变大,所以在黄原胶添加浓度一定的条件下,混合体系的 G' 是随着黄原胶添加量增加而不断增加^[10]。而随大豆蛋白的加入,储存模量 G' 上升温度推后,且强度变弱。研究^[9]表明,50 °C 左右肌纤维蛋白 G' 上升,可能是基于肌纤

维蛋白中肌球蛋白重链发生变性,并通过二硫键交联聚集。而大豆蛋白加入后导致 MP 重链变性和交联峰往高温方向推移,暗示 0.6 mol/L NaCl 盐浓度下大豆蛋白可能对肌纤维蛋白的凝胶存在一定干扰。

由图 1 可知,在 0.6 mol/L NaCl 盐浓度下,各种组合的肌纤维蛋白—大豆蛋白凝胶的 G' 的终值均随着黄原胶添加量增加而增加;复合凝胶中的大豆蛋白含量越高, G' 越低。然而在 0.3 mol/L NaCl 盐浓度下(如图 1(d~f)所示),添加 1% 黄原胶的肌纤维蛋白—大豆蛋白(3:1)体系,其 G' 不仅远高于 0.3 mol/L NaCl 浓度下的,甚至高于 0.6 mol/L NaCl 浓度下的。结合 0.6 mol/L NaCl 条件下大豆蛋白的干扰效应,暗示在低盐浓度下肌纤维蛋白溶解性不足的情况下,少量大豆蛋白和较大量黄原胶的加入对复合蛋白具有良好的凝胶促进作用。

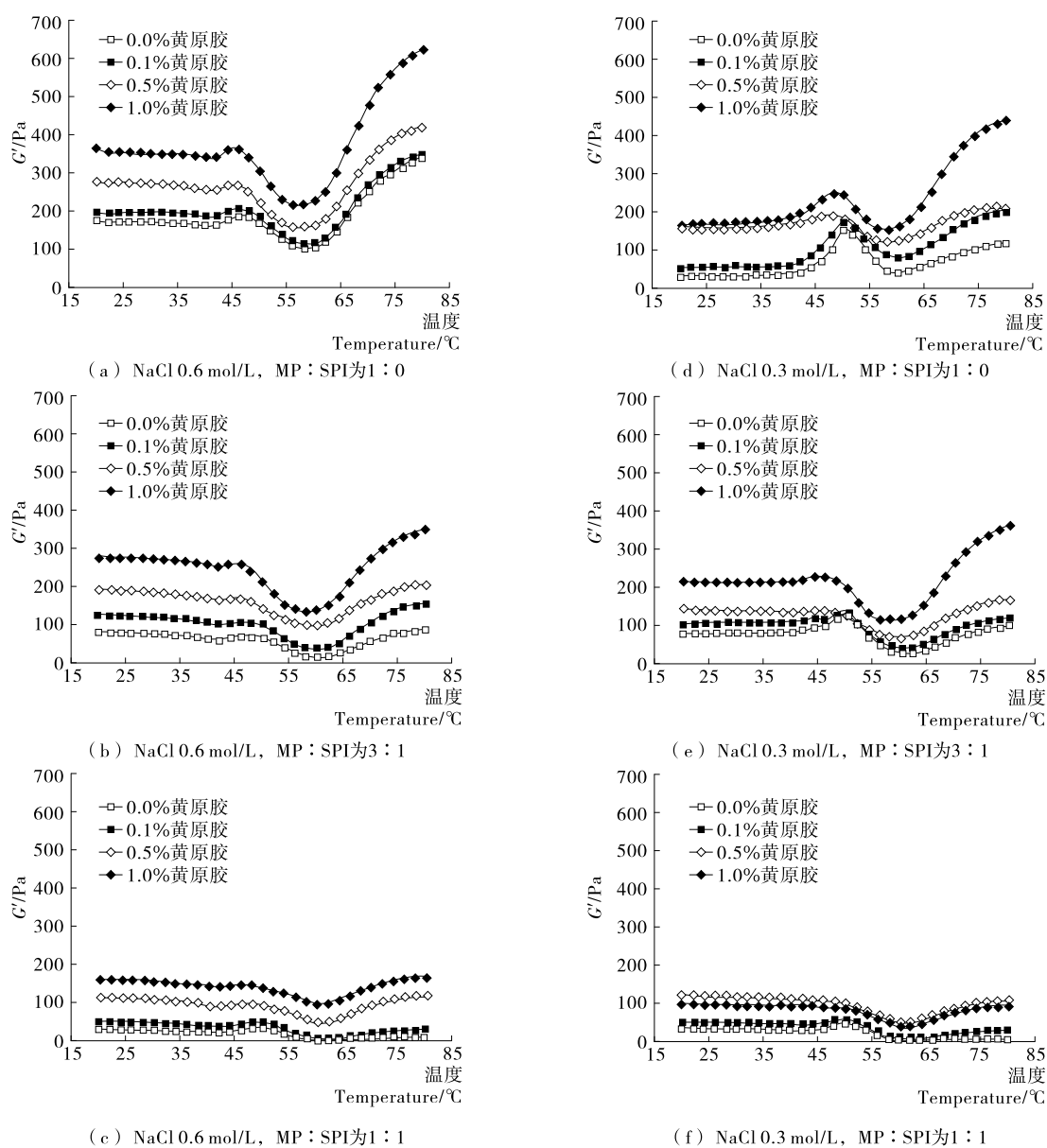


图 1 不同盐浓度下黄原胶添加量对复合蛋白体系凝胶弹性模量的影响

Figure 1 Effect of xanthan adding levels on the G' of MP—SPI composite gel with various salt levels

2.2 黄原胶对 SPI—MP 复合蛋白体系凝胶强度的影响

由表 1 可知,0.1,0.3 mol/L NaCl 盐浓度下,纯肌纤维蛋白几乎不成凝胶,凝胶强度非常弱;少量大豆蛋白的加入,在总蛋白浓度不变的情况下,使得复合凝胶的凝胶强度变强,尤其是 0.1 mol/L 盐浓度条件下,3% MP+1% SPI 样品的凝胶强度远高于纯肌纤维蛋白凝胶;进一步加大 SPI 比例,凝胶强度再次弱化。可能是在肌纤维蛋白溶解不足情况下,加入的低浓度大豆蛋白分子因疏水相互作用力和分子之间的缠绕包埋,起到了协同作用^[11],但高浓度大豆蛋白的添加将会有破坏作用。黄原胶的加入,使得复合蛋白凝胶强度有增大的趋势,但浓度高于 0.5% 时,增强效果不明显。该结果与流变结果一致,证实了在低盐浓度下肌纤维蛋白溶解性不足的情况下,少量大豆蛋白和较大量黄原胶的加入对复合蛋白具有良好的凝胶促进作用。

0.6 mol/L NaCl 高盐浓度下,在纯肌纤维蛋白体系中,随着黄原胶添加量的增加,体系的凝胶强度显著下降,可能是阴离子多糖黄原胶与带同种电荷的肌纤维蛋白会产生拮

抗作用,破坏了凝胶结构^[12]。同时,加入大豆蛋白也使得蛋白体系凝胶强度减弱^[13]。值得指出的是,在肌纤维蛋白—大豆蛋白(3:1)体系中,添加 0.1%~1.0% 的黄原胶并不能显著改变体系的凝胶强度,暗示着高盐浓度下低浓度大豆蛋白可以使黄原胶对复合蛋白凝胶体系的破坏程度减弱。

2.3 黄原胶对 SPI—MP 复合蛋白体系凝胶持水性的影响

由表 2 可知,0.1,0.3 mol/L NaCl 盐浓度下,纵向比较纯肌纤维蛋白与 3% MP+1% SPI 样品,不管是否添加黄原胶,3% MP+1% SPI 样品的持水性均高于纯肌纤维蛋白样品组;横向比较黄原胶的应用效果,随着黄原胶加入量上升,各种样品的持水性均呈现上升趋势。上述结果说明,低盐浓度下低含量大豆蛋白对复合蛋白有良好促进凝胶作用,同时低盐浓度下,黄原胶对于复合蛋白体系具有提升持水性效应。

0.6 mol/L NaCl 盐浓度下,纵向看,大豆蛋白的加入,复合蛋白体系持水性呈下降趋势,黄原胶的加入可以改变大豆蛋白对复合凝胶持水性的破坏倾向;横向看,黄原胶用量的增加,可以改善肌纤维蛋白—大豆蛋白复合凝胶持水性。

表 1 不同盐浓度下黄原胶添加量对复合蛋白体系凝胶强度的影响[†]

Table 1 Effect of xanthan adding levels on the gel strength of MP—SPI composite with various salt levels

氯化钠/(mol·L ⁻¹)	蛋白质	黄原胶			
		0.0%	0.1%	0.5%	1.0%
0.1	4% MP	19.9±4.1 ^f	22.1±0.4 ^f	54.9±8.9 ^d	62.6±4.8 ^c
	3% MP+1% SPI	72.1±6.8 ^b	68.5±5.2 ^{bc}	89.0±7.8 ^a	83.0±3.9 ^a
	2% MP+2% SPI	25.0±1.5 ^f	36.3±2.5 ^e	68.9±4.6 ^{bc}	71.9±4.8 ^b
0.3	4% MP	33.3±0.8 ^{de}	37.3±7.8 ^d	91.0±6.2 ^a	75.3±3.8 ^b
	3% MP+1% SPI	56.7±2.0 ^c	56.9±4.5 ^c	90.9±11.7 ^a	98.8±12.3 ^a
	2% MP+2% SPI	25.9±0.9 ^e	36.3±1.4 ^{de}	68.3±3.4 ^b	77.2±4.2 ^b
0.6	4% MP	202.1±19.3 ^a	148.4±8.4 ^b	135.9±8.6 ^{bc}	122.1±19.8 ^c
	3% MP+1% SPI	96.6±4.0 ^d	90.1±9.9 ^{de}	103.6±7.9 ^d	97.6±11.9 ^d
	2% MP+2% SPI	20.5±5.0 ^g	31.5±2.5 ^g	61.8±0.3 ^f	75.2±3.9 ^{ef}

† 同一盐浓度不同字母表示结果具有显著性差异(P<0.05)。

表 2 不同盐浓度下黄原胶添加量对复合蛋白凝胶持水性的影响[†]

Table 2 Effect of xanthan adding levels on the WHC of MP—SPI composite gel with various salt levels

氯化钠/(mol·L ⁻¹)	蛋白质	黄原胶			
		0.0%	0.1%	0.5%	1.0%
0.1	4% MP	26.10±0.52 ^g	37.07±5.94 ^f	70.65±5.39 ^c	102.98±1.04 ^a
	3% MP+1% SPI	46.96±1.00 ^e	56.12±10.19 ^d	86.37±3.01 ^b	96.63±2.57 ^a
	2% MP+2% SPI	45.53±0.95 ^e	49.72±1.60 ^{de}	77.85±8.66 ^c	101.60±0.72 ^a
0.3	4% MP	28.48±0.86 ^g	45.00±4.94 ^e	72.72±2.31 ^c	99.06±1.25 ^a
	3% MP+1% SPI	48.52±1.76 ^e	59.44±3.26 ^d	85.21±6.53 ^b	101.09±1.16 ^a
	2% MP+2% SPI	37.55±0.88 ^f	57.44±3.24 ^d	86.73±4.88 ^b	96.08±7.95 ^a
0.6	4% MP	89.21±3.03 ^d	84.01±5.41 ^e	94.78±1.21 ^{bc}	99.18±1.02 ^a
	3% MP+1% SPI	56.69±1.59 ^g	76.63±2.73 ^f	93.53±3.70 ^c	98.55±1.00 ^{ab}
	2% MP+2% SPI	44.16±0.20 ^h	53.80±0.48 ^g	85.83±1.83 ^{de}	99.55±0.45 ^a

† 同一盐浓度不同字母表示结果具有显著性差异(P<0.05)。

2.4 黄原胶对 SPI—MP 复合蛋白体系凝胶微观结构的影响

利用环境扫描电镜(ESEM)直接观察含水样品,可以比较直接地观察样品在原始状态下的微观结构。如图 2(a)所示,高盐浓度下纯肌纤维蛋白凝胶呈现出纤维状及棒状的网络结构,与 Feng 等^[13]报道结果相吻合;图 2(b)是大豆蛋白加入条件下的扫描结果图,可以看出凝胶纤维状网络结构减少,形成柔软质地的凝胶^[14]。

图 2(d)与图 2(c)相比,复合蛋白凝胶空隙明显减少,表明低盐浓度下低浓度大豆蛋白填充,能起到良好促进凝胶的作用。由图 2(e)可知,添加 0.5% 黄原胶,复合蛋白凝胶空隙明显减少并形成网状结构,暗示低盐浓度下黄原胶能够改善复合蛋白凝胶结构。如图 2(f)所示,0.5% 黄原胶肌纤维蛋白—大豆蛋白(3:1)低盐浓度体系,形成了更为紧凑的凝胶结构,ESEM 说明在低盐条件下肌纤维蛋白溶解不足时,黄原胶的强持水能力及大豆蛋白的填充起到了凝胶促进作用,可能是少量大豆蛋白和较大量黄原胶加入能够提高复合蛋白储存模量、凝胶强度及持水性的原因。

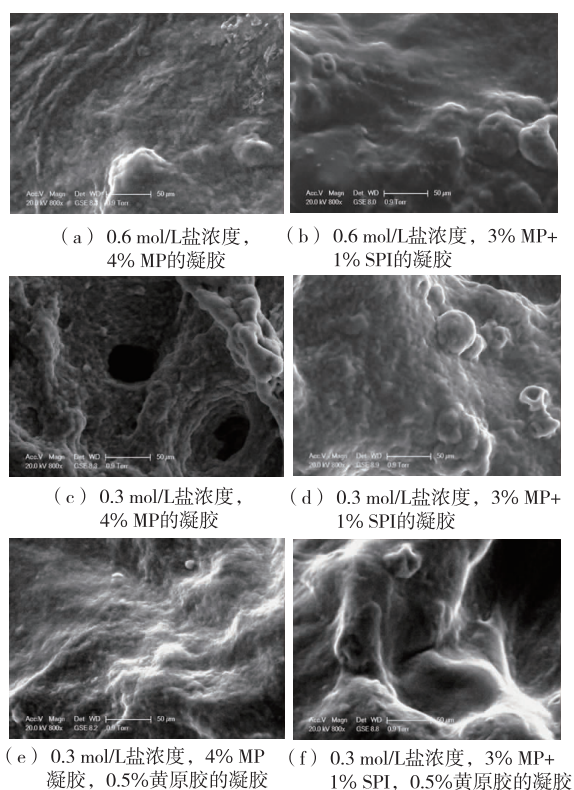


图 2 不同盐浓度下黄原胶添加量对复合蛋白体系微观结构的影响

Figure 2 Effect of xanthan adding levels on the network of MP—SPI composite gel with various salt levels

3 结论

本研究通过详细讨论大豆蛋白—肌纤维蛋白—黄原胶三相体系中影响复合凝胶强度的因素,明确了大豆蛋白和黄原胶分别对肌纤维蛋白以及混合物的凝胶特征和持水性的影响。结果显示在低盐浓度下,低含量大豆蛋白对肌纤维蛋白—大豆蛋白复合凝胶具有良好地促进凝胶作用和凝胶持

水性提高效应,黄原胶的加入会提高复合蛋白体系持水性;在高盐浓度下,不同含量大豆蛋白对肌纤维蛋白—大豆蛋白复合凝胶强度和持水性均有破坏效应;黄原胶的加入可以改变大豆蛋白对复合凝胶持水性和凝胶强度的破坏倾向。上述结果澄清了大豆蛋白在不同盐含量条件下对肌纤维蛋白的干扰效应,阐明了在肉制品中大量使用大豆蛋白的途径以及减少由于大豆蛋白大量使用导致肉制品品质下降的方法,为低盐肉制品、高大豆蛋白肉制品品质的提升提供了依据。

参考文献

- 1 Mc Cord A, Smyth A, O'Neill E. Heat-induced gelation properties of salt-soluble muscle proteins as affected by non-meat proteins[J]. *Journal of Food Science*, 1998, 63(4): 580~583.
- 2 Foegeding E A, Lanier T C. The contribution of nonmuscle proteins to texture of gelled muscle protein foods[J]. *Cereal Foods World*, 1987, 32(2): 202~205.
- 3 Chin K, Keeton J, Longnecker M, et al. Utilization of soy protein isolate and konjac blends in a low-fat bologna (model system) [J]. *Meat Science*, 1999, 53(1): 45~57.
- 4 Ma Fei, Chen Cong-gui. Effect of high pressure processing on the gel properties of salt-soluble meat protein containing CaCl₂ and κ-carrageenan[J]. *Meat Science*, 2013, 95(1): 22~26.
- 5 Hong G P, Min S-G. Emulsion properties of pork myofibrillar protein in combination with microbial transglutaminase and calcium alginate under various pH conditions [J]. *Meat Science*, 2012, 90(1): 185~193.
- 6 Shang Yong-biao, Xiong L Youling. Xanthan enhances water binding and gel formation of transglutaminase-treated porcine myofibrillar proteins[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(3): 179~185.
- 7 Sun Xiang-dong, Richard A Holley. Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2011, 10(1): 33~51.
- 8 Lin Kuo-wei, Mei MY. Influences of gums, soy protein isolate, and heating temperatures on reduced-fat meat batters in a model system [J]. *Food Chemistry and Toxicology*, 2000, 65(1): 48~52.
- 9 Xiong You-ling L. Myofibrillar protein gelation: viscoelastic changes related to heating procedures[J]. *Food Science*, 1994, 59(4): 734~738.
- 10 Grinberg V Ya. Thermodynamic incompatibility of proteins and polysaccharides in solutions[J]. *Food Hydrocolloids*, 1997, 11(2): 145~158.
- 11 Chin K-B. Konjac flour improved textural and water retention properties of transglutaminase-mediated, heat-induced porcine myofibrillar protein gel; Effect of salt level and transglutaminase incubation[J]. *Meat Science*, 2009, 81(3): 565~572.
- 12 Ramirez J A. Effect of xanthan and locust bean gums on the gelling properties of myofibrillar protein[J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(1): 11~16.
- 13 Djabourov M, Nishinari K, Ross-Murphy S B. Physical gels from biological and synthetic polymers[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- 14 Zhang H, Takenaka M, Isobe S. DSC and electrophoretic studies on soymilk protein denaturation[J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2004, 75(3): 719~726.