

# 亲水胶体和玉米变性淀粉对鸡胸肉匀浆物凝胶特性的影响

代佳佳, 徐幸莲\*, 周光宏, 孙 健

(南京农业大学 教育部肉品加工与质量控制重点实验室, 江苏 南京 210095)

**摘 要:** 采用三因素三水平的完全随机试验设计, 研究卡拉胶( $\kappa$ 型,  $\kappa$ CG)、魔芋胶(KGM)和玉米变性淀粉(MCS)对鸡胸肉匀浆物保水性、硬度及超微结构的影响。结果表明, 卡拉胶、魔芋胶对匀浆物凝胶体系的保水性和硬度均有极显著影响( $p < 0.01$ ), 而玉米变性淀粉对凝胶保水性有极显著影响( $p < 0.01$ ), 对硬度有显著影响( $p < 0.05$ )。卡拉胶和魔芋胶之间极显著( $p < 0.01$ )的交互作用, 魔芋胶和玉米变性淀粉两者之间显著( $p < 0.05$ )的交互作用均都影响着保水性和硬度, 而卡拉胶和玉米变性淀粉的交互作用只对保水性有影响。魔芋胶、卡拉胶和肌肉蛋白可以形成三维网状结构, 玉米变性淀粉填充到凝胶网络空隙中起着填充剂的作用, 这种结构使得凝胶体系具有较好的三维空间结构, 从而影响着凝胶体系的保水性和硬度。

**关键词:** 鸡胸肉匀浆物; 卡拉胶; 魔芋胶; 玉米变性淀粉; 热致凝胶; 超微结构

## Effects of Additions of Hydrocolloids and Modified Starch on Gel Properties of Chicken Muscle Homogenate

DAI Jia-jia, XU Xing-lian\*, ZHOU Guang-hong, SUN Jian

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

**Abstract:** Using three-factor and three-level completely randomized experiment design, this study analyzed the effects of  $\kappa$ -carrageenan ( $\kappa$ CG), konjac gum (KGM) and modified corn starch (MCS) additions on water holding capacity (WHC), hardness and ultrastructure of chicken muscle homogenate. The results showed that both  $\kappa$ CG and KGM had extremely significant effects on the WHC and hardness ( $p < 0.01$ ). MCS had extremely significant effects on the WHC ( $p < 0.01$ ), but presented significant effect on the hardness ( $p < 0.05$ ). Both the interactions between  $\kappa$ CG and KGM (extremely significant,  $p < 0.01$ ) and between KGM and MCS (significant,  $p < 0.05$ ) significantly affected the WHC and the hardness, while the interaction between  $\kappa$ CG and MCS only affected the WHC. Moreover,  $\kappa$ CG, MCS and muscle protein may form three-dimensional network structure, and MCS played a filling agent in the gel network void, which made the gel system has a good three-dimensional structure and then affected the water holding capacity and hardness of the gel system.

**Key words:** chicken muscle homogenate; carrageenan; konjac gum; corn modified starch; heat-induced gel; ultra-structure

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)11-0099-05

肌肉蛋白可以分为三类, 肌原纤维蛋白、肌浆蛋白和结缔组织蛋白<sup>[1]</sup>。其中肌原纤维蛋白由大量的肌球蛋白和肌动蛋白组成, 是肉制品加工中最重要的部分, 通过一系列的加热和冷却过程肌原纤维蛋白可以形成三维网络凝胶结构, 这种结构影响着肉制品的产率和质构<sup>[2]</sup>。卡拉胶、魔芋胶和玉米变性淀粉是肉制品加工中常用的

食品添加剂, 它们都是多聚糖。实验表明, 多聚糖分子能够改变肌纤维蛋白分子的结构和热稳定性, 降低诸如肌球蛋白、肌动蛋白和肌动球蛋白等肌纤维蛋白的变性温度<sup>[3-4]</sup>, 从而改变肌肉的凝胶特性等。亲水胶体和淀粉的研究国外已经有了许多报道, Verbeken等<sup>[5]</sup>研究了卡拉胶对鸡肉中盐溶性蛋白热诱导凝胶的保水性、超

收稿日期: 2009-03-10

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目(2006BA005A03)

作者简介: 代佳佳(1982-), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品加工与质量控制。E-mail: djwin1983@163.com

\* 通讯作者: 徐幸莲(1962-), 女, 教授, 研究方向为肉食加工与质量控制。E-mail: xlxu@njau.edu.cn

微结构和流变特性的影响。Chin 等<sup>[6]</sup>研究了魔芋胶和大豆蛋白相混合对低脂的大肠肠液损失和质构特性的影响。Berry 等<sup>[7]</sup>研究了魔芋胶和卡拉胶混合凝胶对低脂重组猪肉块的影响。玉米变性淀粉可明显改善肉制品和灌肠制品等的组织结构、嫩度、保水性、黏着力、口感、多汁性和切片性等加工特性。变性淀粉的研究主要集中在不同种类变性淀粉对肉制品的影响,如李应华<sup>[8]</sup>研究了变性淀粉在熏煮肠中的应用效果。阮美娟<sup>[9]</sup>研究的变性淀粉在午餐肉中的应用效果。

卡拉胶、魔芋胶和玉米变性淀粉三种多糖和肌肉蛋白混合凝胶的报道还未见。因此,本实验主要采用三因素三水平完全随机试验研究卡拉胶、魔芋胶和玉米变性淀粉混合对鸡胸肉凝胶特性及超微结构的影响,从而为凝胶类肉制品的加工和生产提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

三黄鸡购于当地农贸市场,宰杀活体取其胸肉。

NaCl、KI、NaOH、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O、C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>KNaO<sub>6</sub>·4H<sub>2</sub>O 均为分析纯;κ-卡拉胶(κCG)、魔芋胶(KGM)和玉米变性淀粉(MCS)均为食品级,由南京雨润公司提供。

### 1.2 仪器与设备

Waring Blender 高速组织捣碎机 美国 Colo-Parmer 公司; Alelgra 64R 高速冷冻离心机 美国贝克曼库尔特有限公司; 723 型分光光度计 上海光谱仪器有限公司; JA2003 电子天平 上海天平仪器厂; HH-42 快速恒温数显水箱 常州国华电器有限公司; TA-XT2i 型质构仪 英国 Stable Micro Ltd; 日立 S-30000n 扫描电子显微镜 日本 Hitach 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 肌肉匀浆物质制备

三黄鸡宰杀放血后,迅速剥皮取鸡胸肉,冲去血污并剔除其可见结缔组织和脂肪,切成 0.5cm 小块,加入 4 倍体积 pH 值为 6.8 的 NaCl 冰水混合物中,以 18000r/min 的速度将肉绞碎,每次 20s,共绞三次。将绞碎后的匀浆物 pH 值调整到 6.3,置于 4℃ 冰箱中存放 24h<sup>[10]</sup>。

#### 1.3.2 蛋白浓度测定

采用双缩脲法测定蛋白质浓度,用牛血清蛋白(BSA)作为标准蛋白。

#### 1.3.3 实验设计

选用三因素三水平的完全随机试验设计,共 27 组试验,每组试验 5 个平行。

表 1 试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of completely randomized experiment design on κCG, KGM and MCS additions

水平	因素		
	A κCG (%)	B KGM(%)	C MCS(%)
1	0.1	0.5	4
2	0.3	1.5	8
3	0.5	2.5	12

### 1.3.4 凝胶制备

调整匀浆物浓度为 30mg/ml,按 κCG、MCS 和 KGM 加入,且充分搅拌,在 3000 × g 的条件下离心 1min,除气泡后进行加热,加热温度从 30℃ 加热到 65℃,加热速度为 1℃/min,保温 30min,从水浴中取出置于冰水混合物中冷却 1h 后,再置于 4℃ 冰箱中 12h,备用。

### 1.3.5 亲水胶体和玉米变性淀粉的添加

将 MCS 和 KGM 分别置于 0.67mol/L NaCl 溶液中,并用磁力搅拌器进行搅拌,使其最终浓度达到所需浓度的 MCS 盐溶液和 KGM 盐溶液。然后将 κCG 按其所需浓度以粉状直接添加到肌肉匀浆物中,搅拌均匀后添加 MCS 盐溶液,此时将加入了 κCG 和 MCS 的肌肉匀浆物静置 15min 后,再加入已经配制好的 κGM 盐溶液,将肌肉匀浆物搅拌均匀。

### 1.3.6 保水性测定

将制备好的凝胶置于 5000 × g 的速度中离心 10min 后除水称重。

$$\text{WHC}(\%) = (W_1 - W) / (W_2 - W) \times 100$$

式中:W<sub>1</sub> 为离心管和离心除水后的凝胶重;W<sub>2</sub> 为离心管和凝胶初重;W 为离心管重。

### 1.3.7 质构测定

利用质构仪的 Texture Profile Analysis(TPA)测定凝胶硬度,单位为 g。质构仪参数设定:测前探头下降速度 1.0mm/s,测试速度 0.5mm/s,测试后探头上升速度 10mm/s,穿刺测试距离 5mm,感应力为 5g,用质构仪自带的软件进行分析。

### 1.3.8 超微结构

制备的凝胶切至约 5mm 厚的小块,用 3% 的戊二醛固定约 2~3h,之后用乙醇(50%、70%、90%、100%)进行梯度脱水,每次 30min。脱水后的样品放于叔丁醇中置换 3 次,每次 30min,之后冷冻干燥,最后喷上约 10mm 的金粉,电镜观察。

### 1.3.9 统计分析

应用 SAS(8.0)数理统计软件进行统计分析,Statistic7.0 绘图。

## 2 结果与分析

## 2.1 卡拉胶、魔芋胶和玉米变性淀粉对肌肉匀浆物凝胶保水性的影响

表2  $\kappa$ CG、KGM和MCS对凝胶保水性的方差分析Table 2 Variance analysis of  $\kappa$ CG, KGM and MCS additions on WHC of gel

来源	自由度	均方	F值	显著性
$\kappa$ CG	2	0.07523765	296.6	< 0.01
KGM	2	0.62663002	122.5	< 0.01
MCS	2	1.51722962	14.71	< 0.01
KGM和MCS	4	0.07411901	14.49	< 0.01
MCS和 $\kappa$ CG	4	0.04823206	9.43	< 0.01
$\kappa$ CG和KGM	4	0.14439374	28.23	< 0.01
误差	101	0.00511544		
总和	119			

表3 凝胶保水性和硬度的实验结果

Table 3 Experimental results for WHC and hardness of chicken muscle homogenate

实验组	$\kappa$ CG(X <sub>1</sub> )	KGM(X <sub>2</sub> )	MCS(X <sub>3</sub> )	WHC(Y <sub>1</sub> , %)	硬度(Y <sub>2</sub> , g)
空白对照	0	0	0	93.72 ± 0.01	15.18 ± 1.58
1	1	1	1	43.09 ± 0.04 <sup>a</sup>	9.86 ± 0.88 <sup>ab</sup>
2	1	1	2	33.24 ± 0.01 <sup>b</sup>	5.80 ± 0.40 <sup>cd</sup>
3	1	1	3	33.41 ± 0.03 <sup>b</sup>	13.76 ± 2.26 <sup>ef</sup>
4	1	2	1	64.40 ± 0.04 <sup>c</sup>	8.15 ± 0.90 <sup>acd</sup>
5	1	2	2	79.01 ± 0.02 <sup>d</sup>	8.21 ± 0.68 <sup>acd</sup>
6	1	2	3	78.52 ± 0.03 <sup>d</sup>	8.55 ± 0.34 <sup>ac</sup>
7	1	3	1	83.78 ± 0.02 <sup>e</sup>	6.48 ± 0.35 <sup>c</sup>
8	1	3	2	65.69 ± 0.06 <sup>c</sup>	8.58 ± 1.08 <sup>ac</sup>
9	1	3	3	77.13 ± 0.02 <sup>d</sup>	7.18 ± 0.24 <sup>c</sup>
10	2	1	1	89.37 ± 0.04 <sup>f</sup>	14.26 ± 2.78 <sup>e</sup>
11	2	1	2	39.69 ± 0.04 <sup>g</sup>	19.96 ± 3.53 <sup>g</sup>
12	2	1	3	95.53 ± 0.01 <sup>hi</sup>	26.16 ± 3.56 <sup>hi</sup>
13	2	2	1	99.01 ± 0.003 <sup>j</sup>	11.72 ± 1.15 <sup>if</sup>
14	2	2	2	97.82 ± 0.04 <sup>ji</sup>	12.88 ± 0.72 <sup>ef</sup>
15	2	2	3	98.73 ± 0.003 <sup>ji</sup>	10.25 ± 1.19 <sup>aj</sup>
16	2	3	1	99.46 ± 0.005 <sup>j</sup>	9.92 ± 1.52 <sup>a</sup>
17	2	3	2	98.94 ± 0.01 <sup>j</sup>	8.41 ± 0.70 <sup>acd</sup>
18	2	3	3	98.62 ± 0.004 <sup>ji</sup>	8.47 ± 1.54 <sup>acd</sup>
19	3	1	1	98.07 ± 0.003 <sup>ji</sup>	34.53 ± 3.75 <sup>k</sup>
20	3	1	2	94.36 ± 0.02 <sup>hk</sup>	27.49 ± 1.24 <sup>lm</sup>
21	3	1	3	97.97 ± 0.01 <sup>ji</sup>	29.24 ± 2.66 <sup>l</sup>
22	3	2	1	98.76 ± 0.004 <sup>ji</sup>	17.85 ± 1.40 <sup>fg</sup>
23	3	2	2	98.70 ± 0.001 <sup>ji</sup>	17.73 ± 0.41 <sup>fg</sup>
24	3	2	3	97.14 ± 0.01 <sup>ijk</sup>	17.91 ± 0.99 <sup>fg</sup>
25	3	3	1	98.68 ± 0.002 <sup>ji</sup>	15.20 ± 1.26 <sup>cg</sup>
26	3	3	2	98.98 ± 0.003 <sup>ji</sup>	15.39 ± 1.25 <sup>cg</sup>
27	3	3	3	99.06 ± 0.006 <sup>j</sup>	14.99 ± 1.84 <sup>c</sup>

注：同数列中不同字母表示显著差异(p < 0.05)；对照组的处理条件为不添加卡拉胶、魔芋胶和玉米变性淀粉。

由表2可以看出，卡拉胶、魔芋胶和玉米变性淀粉均对鸡胸肉匀浆物保水性有极显著的影响(p < 0.01)，卡拉胶对匀浆物凝胶保水性的影响最大；其次是魔芋

胶，卡拉胶和魔芋胶的混合凝胶，玉米变性淀粉，魔芋胶和玉米变性淀粉的混合凝胶；影响最小的是魔芋胶和玉米变性淀粉的混合凝胶，且两种胶体和玉米变性淀粉之间都有交互作用。由表3可知，第16组试验的匀浆物保水性是最大，此时卡拉胶的添加量是0.3%，魔芋胶是2.5%，玉米变性淀粉是4%。从图1可知，随着卡拉胶和魔芋胶添加量的增加凝胶体系的保水性是逐渐增大的，而玉米变性淀粉对凝胶体系保水性的影响是随添加量的增加凝胶体系的保水性开始是下降的，在添加量是8%左右时保水性开始增大，12%达到最大。

单独使用卡拉胶时，其分子螺旋结构排列散乱，加入魔芋胶后胶束紧密缠绕链结，凝胶网络结构致密<sup>[11-12]</sup>，魔芋胶和卡拉胶混合可以形成热可逆凝胶，并有很强的协同作用<sup>[13]</sup>，且肌球蛋白在加热过程中其尾部的变性是影响其凝胶保水性的主要因素<sup>[14]</sup>。本实验中添加的卡拉胶和魔芋胶对肌肉匀浆物凝胶体系的保水性有极显著影响，推测可能是螺旋结构散乱的卡拉胶分子在加入一定量的魔芋胶后两者紧密缠绕在一起，而魔芋胶可以和肌球蛋白的尾部相结合，肌球蛋白是形成热致凝胶的主要成分，同时卡拉胶也可以和肌肉蛋白相互作用，所以该凝胶体系可能形成了卡拉胶、魔芋胶和肌肉蛋白相结合的紧密三维网络结构。

肌球蛋白的凝胶形成主要由两步完成，首先是在30~50℃肌球蛋白分子头部开始聚集，然后在50℃以上三维网状结构开始形成<sup>[14]</sup>，本实验所用的玉米变性淀粉的糊化温度是63℃，在低于63℃时肌球蛋白的主要凝胶结构已经形成，而淀粉只能填充到蛋白的凝胶网络结构空隙中，从而影响着凝胶体系的保水性。没达到淀粉糊化温度前，淀粉颗粒是镶嵌在肌肉蛋白的凝胶网络结构中的，达到糊化温度时，已经在肌肉蛋白的凝胶网络空隙中的淀粉颗粒发生松动，肌肉蛋白的三维网络结构和淀粉颗粒的链接出现空隙。添加少量玉米变性淀粉时，其溶解较快，能较充分填充到空隙中；添加量增加到8%~12%时，部分填充到肌肉蛋白的凝胶网络中去，多余的玉米变性淀粉由于糊化温度发生在蛋白形成凝胶之后，不能和肌肉蛋白相互结合，而自身又形成不了较好的三维网络结构，使得凝胶体系部分水分流失，凝胶体系保水性下降。所以本实验当玉米变性粉添加4%时，凝胶体系保水性最大。

## 2.2 卡拉胶、魔芋胶、玉米变性淀粉对肌肉匀浆物凝胶硬度影响

由表4可见，卡拉胶、魔芋胶均对鸡胸肉匀浆物保水性有极显著的影响(p < 0.01)，玉米变性淀粉有显著影响(p < 0.05)，卡拉胶对匀浆物硬度的影响最大；其次是魔芋胶，魔芋胶和卡拉胶的混合凝胶；影响最小的是玉米变性淀粉，且胶体和玉米变性淀粉及胶体和胶体

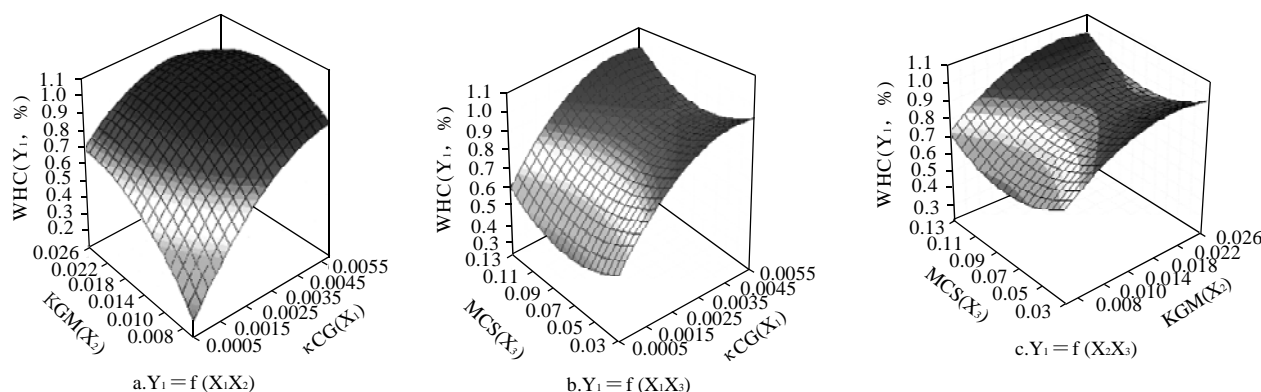
图1  $\kappa$ CG、KGM 和 MCS 对凝胶 WHC 影响的响应面图

Fig.1 Response surface plots for interaction effects between any two of  $\kappa$ CG, KGM and MCS additions on WHC of chicken muscle homogenate

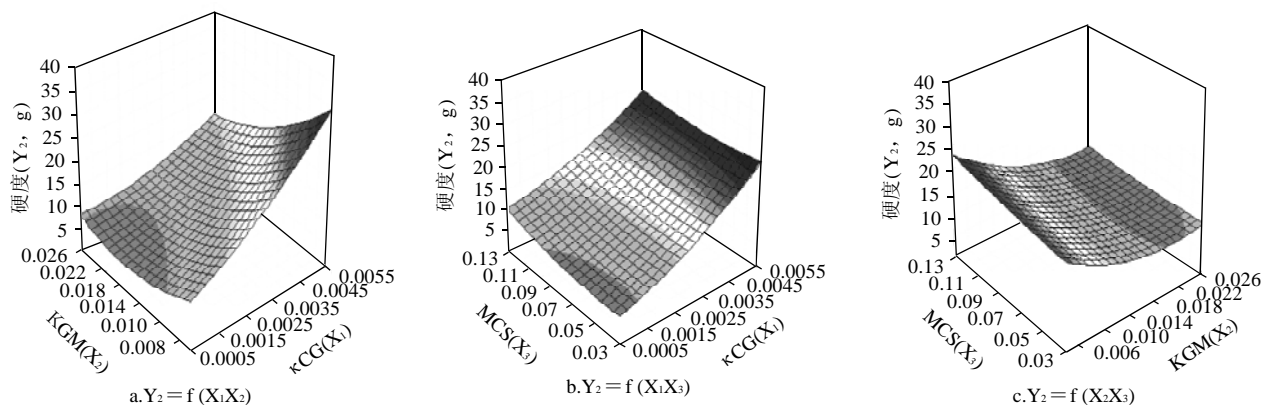
图2  $\kappa$ CG、KGM 和 MCS 对凝胶硬度影响的响应面图

Fig.2 Response surface plots for interaction effects between any two of  $\kappa$ CG, KGM and MCS addition on hardness of chicken muscle homogenate

之间都存在着交互作用。由表 3 可知, 凝胶体系硬度最大是第 19 组试验, 卡拉胶添加量 0.5%, 魔芋胶添加量 0.5%, 玉米变性淀粉添加量 4%。由图 2 可知, 随卡拉胶添加量的增加凝胶体系的硬度是增加的, 但增大的趋势是比较平稳, 玉米变性淀粉的添加量对凝胶体系的硬度几乎没有影响。

表 4  $\kappa$ CG、KGM 和 MCS 对凝胶硬度的方差分析Table 4 Variance analysis of  $\kappa$ CG, KGM and MCS additions on hardness of chicken muscle homogenate

来源	自由度	均方	F 值	显著性
$\kappa$ CG	2	1727.947944	306.05	< 0.01
KGM	2	1153.024222	204.22	< 0.01
MCS	2	19.891933	3.52	0.0328
KGM 和 MCS	4	43.211943	7.65	< 0.01
MCS 和 $\kappa$ CG	4	28.688979	5.08	0.0008
$\kappa$ CG 和 KGM	4	177.649139	31.46	< 0.01
误差	114	5.646007		
总和	132			

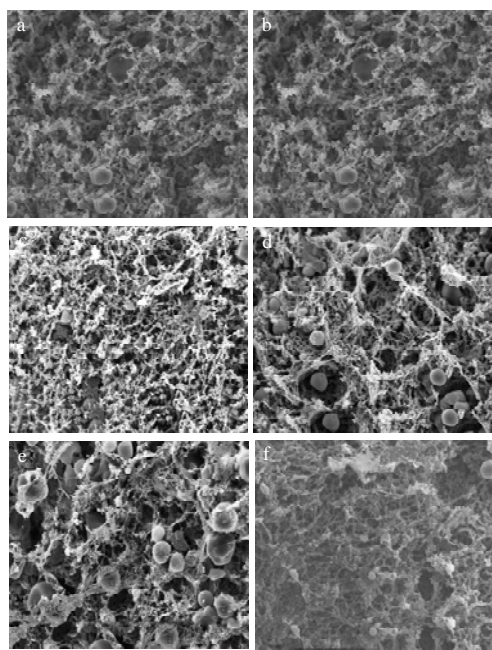
当变性淀粉的添加量超过 5% 时, 低脂肉制品的硬

度会增大<sup>[15]</sup>。卡拉胶和淀粉是互不相容的, 但存在着空隙效应, 在它们的混合体系中淀粉颗粒的膨胀导致卡拉胶浓度的增加<sup>[16]</sup>。本实验中玉米变性淀粉添加量增加对凝胶体系的硬度影响不大, 主要是因为魔芋胶和卡拉胶之间的协同作用, 同时魔芋胶也可和肌肉蛋白部分结合, 从而导致凝胶体系的强度增加, 由于魔芋胶有较强的吸水性, 魔芋胶吸收了凝胶体系的水分, 卡拉胶和玉米变性淀粉的空隙效应, 所以看到是凝胶体系的硬度是在增加但趋势平稳。魔芋胶可以和淀粉部分相结合, 使淀粉的结晶化程度降低但淀粉颗粒和肌肉蛋白可能存在镶嵌作用。

### 2.3 卡拉胶、魔芋胶和玉米变性淀粉对肌肉匀浆物凝胶超微结构影响

由图 3e、3f 可知, 凝胶网络有很多网状结构出现, 有大网形成, 且凝胶网络丰富。图 3a 是凝胶体系保水性最大的图片即卡拉胶 0.3%、魔芋胶 2.5%、玉米变性淀粉 4%, 有不明显的凝胶网络形成, 但极少的断裂发生, 且玉米变性淀粉颗粒较好的嵌套在肌肉蛋白的三维

网络结构中,此组魔芋胶添加量较多,可以和肌球蛋白的尾部相结合,从而吸收较多的水分,所以此组匀浆物凝胶体系的保水性最大。图片 3b 是凝胶体系保水性最小且硬度最小的一组,卡拉胶添 0.1%、魔芋胶 0.5%、玉米变性淀粉 8%,有小的凝胶网络出现,无大网,可能是卡拉胶添加太少,和肌肉蛋白之间的作用不充分,淀粉颗粒在 63℃ 时达到糊化温度,在肌肉蛋白网络中的嵌套发生松动,导致凝胶体系水分流失;而硬度最小是卡拉胶的添加量最小而与肌肉蛋白作用很弱所致。图 3c 是匀浆物凝胶体系硬度最大,卡拉胶添加量 0.5%、魔芋胶添加量 0.5%、玉米变性淀粉 4%,没有大网形成,但可形成很多密集连接的小网络,凝胶体系硬度最大主要是卡拉胶达到了 0.5%,此时的肌肉蛋白和卡拉胶之间的相互作用增强,使得凝胶体系的硬度最大。从图 3d 可见,形成了大网络中套着小网络,而小网络中还有更小的网络,玉米变性淀粉颗粒填充到网络中,被网络紧紧包裹。正是这种较好的凝胶网络结构才使得匀浆物凝胶体系的硬度和保水性都比较好。



a.  $\kappa$ CG 0.3%、KGM 2.5%、MCS 4%; b.  $\kappa$ CG 0.1%、KGM 0.5%、MCS 8%; c.  $\kappa$ CG 0.5%、KGM 0.5%、MCS 4%; d.  $\kappa$ CG 0.5%、 $\kappa$ GM-0.5%、MCS 12%; e.  $\kappa$ CG 0.5%、KGM 2.5%、MCS 12%; f.  $\kappa$ CG 0.3%、KGM 0.5%、MCS 12%。

图 3 不同的  $\kappa$ CG、KGM 和 MCS 添加量下的鸡胸肉匀浆物凝胶的扫描电镜图片

Fig.3 Scanning electron micrographs of chicken muscle homogenate at different additions of  $\kappa$ CG,KGM and MCS

### 3 结 论

#### 3.1 卡拉胶的添加量 0.3%、魔芋胶 2.5%、玉米变性

淀粉 4% 时,凝胶体系的保水性最大;卡拉胶添加量 0.5%、魔芋胶添加量 0.5%、玉米变性淀粉添加量 4% 时,凝胶体系的硬度最大。

3.2 卡拉胶、魔芋胶和玉米变性淀粉均对鸡胸肉匀浆物凝胶保水性有极显著影响,彼此之间有显著的交互作用,此交互作用影响着凝胶体系的保水性,卡拉胶、魔芋胶和肌肉蛋白可以相互缠绕在一起,而玉米变性淀粉在添加量较少时,起到填充剂的作用,添加过多后会出现淀粉颗粒的堆积;卡拉胶和魔芋胶对硬度影响较大,卡拉胶的作用表现的更明显,玉米变性淀粉对凝胶体系的硬度影响不明显;而玉米变性淀粉在肌肉凝胶体系中起到填充剂的作用。

#### 参考文献:

- [1] 杨龙江,南庆贤.肌肉蛋白质的热诱导凝胶特性及其影响因素[J].肉类工业,2001(10): 39-42.
- [2] ZAYAS J F. Functionality of proteins in food[M]. Berlin: Springer Verlag, 1997.
- [3] BAEZA R I, CARP D J, PEREZ O E, et al.  $\kappa$ -carrageenan-protein interaction: effect of protein on polysaccharide gelling and textural properties[J]. Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie, 2002, 35: 741-747.
- [4] ENSOR S A, SOFOS J N, SCHMIDT G R. Differential scanning calorimetric studies of meat protein-alginate mixtures[J]. Food Science, 1991, 56: 175-179.
- [5] VERBEKEN D, NEIRINCK N, MEEREN P V D, et al. Influence of  $\kappa$ -carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins[J]. Meat Science, 2005, 70: 161-166.
- [6] CHIN K B, KEETON J T, LONGNECKER M T. Utilization of soy protein isolate and konjac blends in a low-fat bologna[J]. Meat Science, 1999, 53 :45-47.
- [7] BERRY B W, BIGNER M E. Use of carrageenan and konjac flour gel in low-fat restructured pork nuggets[J]. Food Research International, 1996, 29: 355-36 .
- [8] 李应华. 变性淀粉及其在肉制品中的应用[J]. 漯河职业技术学院学报, 2007(2): 30-31.
- [9] 阮美娟,田颖. 变性淀粉在午餐肉中的应用效果[J]. 食品工业科技, 1999, 20(1): 36-37.
- [10] TOMASZ L, XIONG Y L. Chicken muscle homogenate gelation properties:effect of pH and muscle fiber type[J]. Meat Science, 2003, 64: 399-403.
- [11] WILLIAMS P A, CLEGG S M, LANGDON M J, et al. Investigation of the gelation mechanism in  $\kappa$ -carrageenan/konjac mannan mixtures using differential scanning calorimetry and electron spin resonance spectroscopy[J]. Macromolecules, 1993, 26(20): 5441-5446
- [12] PENROJ P, MITCHELL J R, HILL S E, et al. Effect of konjac glucomannan deacetylation on the properties of gels formed from mixtures of kappa carrageenan and konjac glucomannan[J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 59: 367-376
- [13] GOYCOOLEA F M, MORRIS E R, GIDLEY M J. Screening for synergistic interactions in dilute polysaccharide solutions[J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 28: 351-358
- [14] DENG Y, ROSENVOLD K, KARLSSON A H, et al. Relationship between thermal denaturation of porcine muscle proteins and water holding capacity[J]. Food Science, 2002, 67(5): 1642-1647.
- [15] PIETRASIK Z. Effect of content of protein, fat and modified starch on binding textural characteristics and colour of comminuted scalded sausages [J]. Meat Science, 1999, 51: 17-25.
- [16] TECANTE A, DOUBLIER J L. Steady flow and viscoelasticbehavior of crosslinked waxy corn starch  $\kappa$ -carrageenan pastes and gels[J]. Carbohydrate Polymers, 1999, 40: 221-231.