

# 可得然胶-魔芋胶复配 对高温杀菌(120℃)鱼糜凝胶特性的影响

崔晓<sup>1</sup>, 韦依依<sup>2</sup>, 刘胜男<sup>3</sup>, 薛勇<sup>3,\*</sup>, 薛长湖<sup>3</sup>  
(中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266003)

**摘要:**本文研究了可得然胶-魔芋胶复配对高温杀菌鱼糜凝胶特性的影响。将可得然胶和魔芋胶按不同比例(3:7、5:5、7:3、9:1)复配,并添加到鱼糜中,通过测定破断力、破断距离、白度、持水力、热稳定性和微观结构等指标,研究复合体系的凝胶变化。结果表明:可得然胶-魔芋胶复配不利于鱼糜的凝胶形成,表现为破断力、破断强度降低,当体系中添加的可得然胶浓度为2%时,凝胶破断力、破断强度最大,随着魔芋胶比例的增加而不断降低;持水力及白度的下降,规律与凝胶强度类似,持水力从92.4%降低至87.7%,白度从63.5降低至58.3;流变学、扫描电镜结果显示,蛋白网络结构交联弱化,但是随着复配胶中可得然胶比例的上升,鱼糜的凝胶特性逐渐优化,但依旧弱于2%可得然胶对鱼肉蛋白的影响。因此,可得然胶与魔芋胶的复配为拮抗作用,不能良好地改善鱼糜高温处理后的凝胶特性,但适当地增加魔芋胶,对于降低成本有一定意义。

**关键词:**可得然胶,魔芋胶,鱼糜,凝胶特性,120℃

## Effects of Curdlan and Konjac Gum Complex Gel Properties on the 120℃-heating Surimi Products

CUI Xiao<sup>1</sup>, WEI Yi-nong<sup>2</sup>, LIU Sheng-nan<sup>3</sup>, XUE Yong<sup>3,\*</sup>, XUE Chang-hu<sup>3</sup>

(College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** In this paper, the effects of curdlan-konjac gum complex on the gel properties of surimi were studied. The curdlan and konjac gum were mixed in different proportions (3:7, 5:5, 7:3, 9:1) and added to surimi. The complex gel changes were determined by breaking force, breaking distance, whiteness, water holding capacity, thermal stability and microstructure as indexes. The results showed that, the two kinds of rubber compounding was not conducive to the formation of surimi gel, the breaking force, breaking distance decreased, when the system was added to the gel concentration of 2%, the breaking force and breaking distance reached maximums, then decreased with the increasing proportion of konjac gum. The decreasing of water and whiteness was similar to that of gel strength, which decreased from 92.4% to 87.7% and 63.5 to 58.3, respectively. Rheology and scanning electron microscopy showed that the protein network structure was weakened. However, with the increasing of the proportion of curdlan in the compound gels, the characteristics were gradually optimized, but still weaker than only 2% of curdlan. Therefore, it was obtained that the combination of curdlan and konjac gum did not play a good role in improving the gel characteristics after the high-temperature processing of the surimi. It was an antagonistic effect. However, the appropriate addition of konjac gum for cost reduction had some significance.

**Key words:** curdlan; konjac gum; surimi; gelling properties; 120℃

中图分类号: TS254

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)17-0212-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.035

**引文格式:** 崔晓, 韦依依, 刘胜男, 等. 可得然胶-魔芋胶复配对高温杀菌(120℃)鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 212-216, 224.

阿拉斯加狭鳕鱼(*Alaska pollock*)是生产鱼糜凝胶食品的主要原料,鱼糜制品有着丰富的蛋白质和较低含量的脂肪,因此营养价值较高<sup>[1]</sup>。魔芋胶与可得然胶作为凝胶多糖在单独使用时,对鱼糜凝胶起

到促进作用。研究发现,可得然胶(CUD)能提高杀菌鱼糜的凝胶特性<sup>[2]</sup>; Su等<sup>[3]</sup>研究表明,魔芋胶(KGM)对提高鱼糜的冻融稳定性有显著作用,使鳕鱼鱼糜的凝胶硬度提高,持水性能增强;此外,有研

收稿日期: 2017-11-09

作者简介: 崔晓(1993-),女,硕士,研究方向:食品加工, E-mail: cui\_xiao@163.com。

\* 通讯作者: 薛勇(1976-),男,博士,教授,研究方向:水产品加工, E-mail: xueyong@ouc.edu.cn。

基金项目: 鱼肉蛋白/多糖复合凝胶过程及高温热稳定性机理与调控(31571865)。

究认为 KGM 作为中性多糖,可显著提高带鱼鱼糜的凝胶特性<sup>[4]</sup>。

鱼糜制品的加工技术日益成熟,原材料来源广泛,随着不同地域的旺盛消费,鱼糜加工产业发展迅速,市场占有率不断拓展。除了作为火锅原材料得到普遍认同外,消费者对鱼糜制品有了更高的要求,即食性和方便性开始受到重视。张莉莉等发现,经过 120 ℃ 杀菌的鱼糜制品可以有效延长货架期<sup>[5]</sup>。因此将鱼糜制品经过 120 ℃ 高温杀菌处理,成为解决食用不方便和流通受限的主要方法。但是高温处理下的鱼糜凝胶会遭到严重破坏,主要是因为蛋白质四级结构受到损害,高温影响了水和蛋白质之间的相互作用,蛋白质因为共价结合发生大量聚集,导致凝胶网状结构的空隙变大,纤维骨架细化,严重破坏了凝胶特性,致使凝胶特征值下降<sup>[5]</sup>。因此,改善高温灭菌鱼糜制品凝胶特性显得尤为重要,这是保证产品质量的关键。

由于 KGM 的成本低于 CUD,并且不同种类多糖能提供差异化的口感,丰富产品类型,因此从经济成本和产品品质两方面进行考虑,本文主要研究 CUD 和 KGM 复配(3:7、5:5、7:3、9:1)添加到鱼糜中对 120 ℃ 高温杀菌鱼糜凝胶特性的影响,通过测定破断力、破断距离、白度、持水力、热稳定性和微观结构等指标,研究复合体系的凝胶变化,期望得到优化提高高温杀菌鱼糜凝胶特性的方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

阿拉斯加狭鳕鱼糜(山梨糖醇、三聚磷酸钠) 山东青岛锦灿水产食品有限公司,于-20 ℃ 冷冻贮藏;可得然胶(产品规格:ZKC-2) 山东省中科生物科技股份有限公司;魔芋胶(产品规格:CKBB1220 SY14-512,目数≥120) 山东省烟台协力海洋生物制品有限公司;尼龙肠衣 天虹塑料包装有限公司;食用盐 青岛盐海制盐有限公司;磷酸、磷酸氢二钾、戊二醛、钼酸、醋酸异戊酯、乙醇 上海君瑞生物技术有限公司。

UMC5 型真空斩拌机 德国 Stephan 公司;DLSB 冷却循环泵 诸城市金鼎食品器械有限公司;桑普特电汽两用杀菌锅 诸城市金鼎食品机械有限公司;AND 快速水分测定仪 日本 A&D 公司;MCR-101 流变仪 德国 Anton-Par 公司;PC-200 DSC 差示扫描量热仪 德国耐驰公司;JSM-840 电子扫描显微镜 日本 JEOL 株式会社;TMS-PRO 质构仪 美国 Food Technology 公司;WSC-S 测色色差仪 上海圣科仪器设备有限公司;Scout SE-SE602F 电子天平 豪奥斯仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 复配胶-鱼糜复合溶胶的制备 称取冷冻鱼糜 250 g,放置于 4 ℃ 冰箱内,自然解冻 4 h 后,切成条块(2 cm×2 cm×5 cm)放入真空斩拌机(带冷循环)中斩拌 5 min,再加入 3% 的食盐擂溃 2~3 min。然后分别加入不同比例的 KGM/CUD 复配胶 I、II、III、IV(胶总含量保持 2%,I、II、III、IV 分别对应的

CUD/KGM 比例为 3:7、5:5、7:3、9:1)和蒸馏水(控制水分含量为 78%)继续斩拌,最后再真空斩拌 5 min,实验操作中温度设定在 4 ℃。随后将斩拌好的复合溶胶灌入 30 mm 的尼龙肠衣内,扎紧封口即得鱼肠,放入 4 ℃ 冰箱,与空白样和 2% CUD 添加量的鱼糜样品组进行比对,其中空白组为经过斩拌的鱼糜不加任何胶。

1.2.2 高温加热杀菌处理 将制备好的鱼肠放入反压杀菌锅中,在 120 ℃ 下处理 15 min,压力 1.2 MPa。杀菌结束后,将鱼肠放入 4 ℃ 冰箱中待测。

1.2.3 复合鱼糜凝胶特性的测定 取出冷却后的鱼糜样品,将鱼肠切成 2.5 cm 高的圆柱体,置于 TMS-PRO 质构仪的载物台上,进行破断力和破断距离的测定。其中,破断力代表样品的硬度,单位为 g;破断距离代表的是样品的弹性,单位为 mm。测定参数:探头为圆柱形,直径 5 mm;触发力 10.0 g;穿刺速率 6.0 mm/s;下压位移设定为 15.0 mm;测定曲线上的第一个峰值所对应的横纵坐标分别代表破断距离与破断力<sup>[6]</sup>。

1.2.4 复合鱼糜动态流变学的测定 将 MCR 101 流变仪进行校正后,把制备好的复合凝胶置于平台上,使用直径为 50 mm 的平行板压制,转子(PP50)与平板之间的距离设置为 1 mm,随后用二甲基硅油进行密封,防止水分挥发。在确定的线性粘弹区内固定应变值,设定频率为 1 Hz,应变为 2%,将样品从 5 ℃ 上升到 120 ℃ 进行温度扫描,升温速率为 5 ℃/min,测定储能模量 G'的变化曲线<sup>[6]</sup>。

1.2.5 复合鱼糜热稳定性的测定 称取 15 mg 左右的复合鱼糜冻干样品,放入铝制坩埚内并密封。在氮气的保护下,置于 DSC 仪器中进行测定。温度从 25 ℃ 升至 120 ℃,升温速率设定为 5 ℃/min,吹扫气流速为 20~30 mL/min,保护气流速为 60~70 mL/min,在相同条件下用空坩埚的升温曲线作为参比。

1.2.6 复合鱼糜的微观结构 根据文献[7]方法,将鱼糜凝胶样品切成小立方块(3 mm×3 mm×3 mm),加入 2.5% 的戊二醛溶液,放置于 4 ℃ 冰箱进行固定。待完全固定后,取出样品再用磷酸盐缓冲液(0.1 mol/L, pH7.2)漂洗数次。随后用 1% 的钼酸溶液固定 2 h,样品取出后再用磷酸缓冲液进行多次漂洗。然后依次用不同浓度梯度的乙醇溶液(30%、50%、70%、90% 和 100%)对样品进行脱水处理,并用醋酸异戊酯将乙醇脱除。在对样品干燥和喷金处理后,将其放入扫描电镜(SEM)中观察。选择 8000 倍放大倍数观察复合凝胶的微观结构。

1.2.7 复合鱼糜持水力(WHC)特性的测定 按照 Zhang 等<sup>[8]</sup>的方法进行持水力的测定,将杀菌后的鱼肠切成厚度 3 mm 的薄片,放在 3 层滤纸上,上面再覆盖 2 层滤纸。随后用 5 kg 重物(圆柱形砝码)压制鱼肠薄片,待 2 min 后,结束测定。分别称量压制前后样品的质量  $X_1$  和  $X_2$ ,按式(1)的持水力公式进行计算:

$$\text{WHC}(\%) = \left[ 1 - \frac{(X_1 - X_2)}{X_1} \right] \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.8 复合鱼糜的白度测定 按照 Zhang 等<sup>[8]</sup>等方

法,将加热后的鱼糜凝胶样品切成均匀的2~3 mm厚的薄片,在室温下用色差仪测定样品的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值并参照白度公式进行计算:

$$\text{白度} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad \text{式(2)}$$

### 1.3 数据处理

所有数据多次测定取平均值,用 Origin 9.0 作图。使用 SPSS 软件对实验数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 复配胶-鱼糜复合凝胶的凝胶特性分析

图1显示的是胶添加比例(2%)相同情况下,不同配比的 CUD-KGM 复配胶对高温处理(120 ℃)的鱼糜凝胶特性的影响。图1a中,六组样品的破断力依次上升,在3:7时破断力为176 g,当体系中 CUD 比例增加至9:1,破断力约240 g,鱼糜体系中只有2% CUD 时,破断力最大为261 g。添加胶的样品组都高于空白,且破断力大小和 CUD 与 KGM 的比例呈正相关性。破断力通常用来表征样品的硬度特性。张涛<sup>[6]</sup>的研究表明,未经脱乙酰的 KGM 在鱼糜凝胶中起到骨架填充物的作用,刘文娟<sup>[9]</sup>等人认为 CUD 由于自身能形成破断力较高的凝胶,而提高了带鱼肌肉蛋白凝胶能力。图1a中添加 CUD-KGM 复配胶的样品破断力均要高于空白组,可能是因为胶含量的增加提高了固形物含量,提高了样品的硬度。

但是从图1b发现,虽然破断距离在数值上与 CUD:KGM 的比例呈现正相关性,但是复配胶 I、II、III(3:7、5:5和7:3)组的破断距离明显低于对照组。当复配胶 I 添加入鱼糜体系中时,破断距离最小,分别低于空白组约25.9%和24.5%。这可能是因为, KGM 吸引了 CUD 与之发生相互作用<sup>[15]</sup>,使得发挥作用的 CUD 数量下降;刘文娟等人的研究表明,过量添

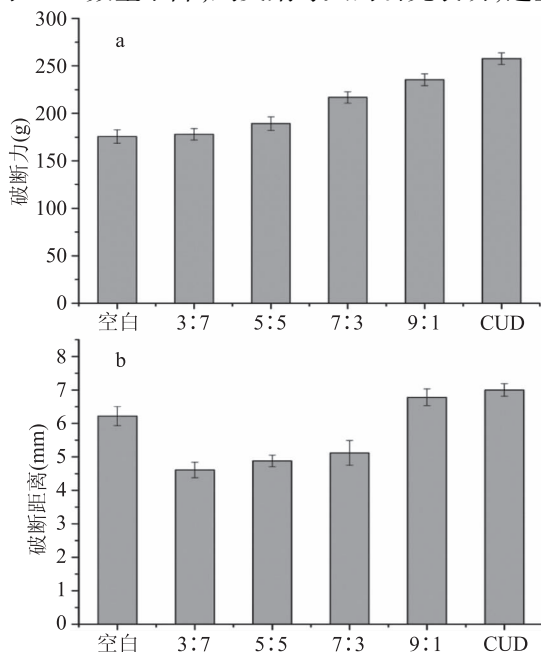


图1 不同配比 CUD-KGM 对 120 ℃ 鱼糜复合凝胶的质构影响

Fig.1 Effects of different ratio of CUD and KGM on the texture properties of complex surimi gels treated at 120 °C

加物 CUD 会对带鱼蛋白凝胶起到稀释作用<sup>[9]</sup>,本实验的体系中因为复配胶的存在,鱼肉肌原纤维蛋白的含量相对被稀释,蛋白之间的相互连结的空间位阻增大,导致了鱼糜弹性下降。而随着 CUD 在复配胶中比例的上升,破断距离逐渐提高并超过对照组,但是依旧小于2%的 CUD 对鱼糜凝胶弹性的影响。可能的原因是,在热处理过程中,CUD 能与鱼肉蛋白形成的凝胶基质相互作用,抑制交联区域中部分氢键的形成,较好地将自由水锁在凝胶网络结构中,提高鱼糜凝胶的弹性<sup>[10]</sup>;而 KGM 和 CUD 复配后,分子链间的氢键相互作用<sup>[11]</sup>,影响了 CUD 和鱼肉蛋白凝胶基质的结合<sup>[12]</sup>,导致更多的水分流失,损害了凝胶特性;随着 CUD 比例的不断增多,KGM 对其的束缚降低,破断距离逐步提高,当体系中只存在 CUD 时,破断距离最大。

### 2.2 复配胶-鱼糜复合溶胶的动态流变学测定

图2显示的是不同含量的 CUD 和 KGM 复配与鱼糜复合凝胶的储能模量温度扫描图。从图2中可以发现,六组样品的储能模量( $G'$ )变化趋势相似,随着温度的上升, $G'$ 先增后减,在25~30 ℃之间,形成第一个峰值。这个温度区间内 $G'$ 的变化,主要是由于肌球蛋白重链发生变性展开,随后又发生聚集。随着加热温度的升高,肌球蛋白轻链发生断裂并进一步展开,导致 $G'$ 降低,而当温度升至55 ℃后, $G'$ 再次增大,可能是因为,肌动蛋白和肌球蛋白在高温下发生变性交联及分子间的相互作用,从而促进鱼糜凝胶网络的形成。有研究指出,当温度达到70 ℃时,分子间能形成大量二硫键和氢键<sup>[13]</sup>,有利于形成高弹性的凝胶。加热到100 ℃后,各组的储能模量再次下降,可能是因为,高温破坏了肌原纤维蛋白之间的非共价键作用,使得离子键和疏水相互作用下降,而二硫键和氢键继续增长,破坏了蛋白质的三四级结构,在共价键的作用下,蛋白质聚集,网络结构中空隙变大,骨架弱化,损害凝胶性能<sup>[3]</sup>。

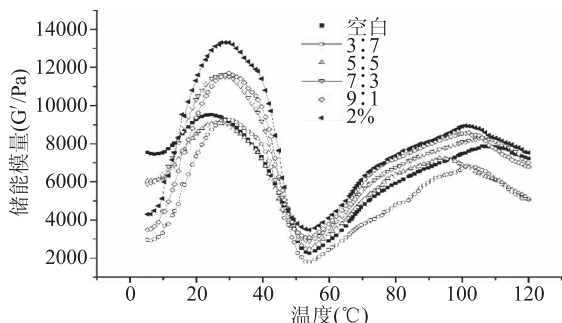


图2 CUD-KGM 复配和鱼糜复合凝胶在升温过程中储能模量的变化

Fig.2 Changes of storage modulus on surimi gels added with mixed CUD and KGM during the temperature rising process

从图2中发现,对照组 $G'$ 的两个峰值明显高于复配胶 I (CUD:KGM = 3:7) 和 II (CUD:KGM = 5:5),且随着 CUD 在复配胶体中含量的增大, $G'$ 值相应升高,当 CUD 为2%时,呈现最大峰值。由此推断 KGM 和 CUD 的复配不利于提高鱼糜的凝胶特性,可能因为 KGM 会与 CUD 分子链间发生氢键相互作用



用,取代了鱼肉蛋白和 CUD 的交联,同时因为体系中复配胶的存在,妨碍了蛋白质分子间和分子内的交互联结和分子作用力的形成。所以对比空白样,复配胶 I、II 的添加和鱼糜产生了拮抗作用,影响了凝胶体系的形成;当复配胶中 KGM 的比例下降后,由于 KGM 与 CUD 之间的作用弱化,CUD 方能进一步和鱼肉蛋白分子发生相互交联,促进复合鱼糜的凝胶特性。

### 2.3 复配胶体-鱼糜复合溶胶的 DSC 图谱

蛋白质热变性主要是通过吸收能量,来破坏稳定其天然结构的氢键,因此 DSC 可以通过测定蛋白质的吸热峰,来研究复配胶体诱导的鱼肉蛋白热稳定性的变化<sup>[6]</sup>。不同比例的复配胶 I、II、III、IV 和鱼肉蛋白复合溶胶的 DSC 图谱如图 3 所示。

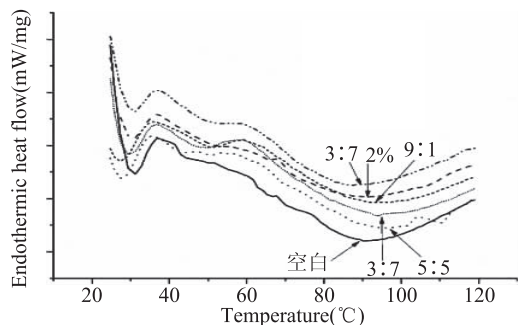


图3 复配胶-鱼糜复合溶胶的 DSC 图谱

Fig.3 DSC thermograms of surimi gels complexed with mixed gels

升温过程中,在 27.3~31.2 °C 的温度区间内,形成了第一个峰,这是由肌球蛋白的变性所导致的。对比六组样品发现,空白样在第一个峰值处的热变性温度略高于其他几组样品,但是差别不明显。推断是因为,第一个峰值代表的是肌球蛋白的热变性温度,在保持水分含量不变的条件下,胶的加入略微降低了鱼肉蛋白的比例<sup>[14]</sup>。但是通过对比样品组第二个热转变峰值的变化发现,此时空白组的热变性温度最低,为 90.3 °C,添加 2% CUD 的样品组次之,为 91.7 °C,而复配胶 I 和 II 与鱼糜复合后的凝胶热变性温度远高于其他组。张涛<sup>[6]</sup>、刘文娟<sup>[9]</sup>等人的研究表明,CUD 或 KGM 会和分子量较小的肌动蛋白结合,使得复合体系的热转变温度升高,故添加复配胶同样有此作用。但有研究用分子动力学模拟了 KGM 和 CUD 分子的作用方式,发现这两个分子间存在着强烈的氢键相互作用<sup>[15]</sup>。因此添加了复配胶 I 和 II 的鱼肉样品,第二个热转变温度升高,可能是因为,两种亲水胶体间的氢键相互作用增大了体系的热变性温度,而并不主要是二者与肌动蛋白作用的结果;由此也可以解释添加复配胶 I 和 II 的鱼肉复合体系的凝胶特性弱于空白样,可能是因为,KGM 和 CUD 发生了分子链段之间的缠结,阻碍了 CUD 分子的构象转变和鱼肉蛋白的交联过程<sup>[16]</sup>。

### 2.4 复配胶体对鱼糜凝胶微观结构的影响

复配胶体与鱼糜复合样品在 120 °C 热处理后的微观结构如图 4 所示。从图 4 中可以看出,六组样品的微观网状结构呈现出明显的差异。当复配胶中

KGM 含量较高时,蛋白质发生聚集,从图 4b 中可以看出,此时的网络结构较差,形成大量的聚合,可能的原因是,KGM 具有高粘性,在和 CUD 相互作用时,抑制了 CUD 和鱼肉蛋白的作用,也阻碍了鱼肉肌原纤维蛋白之间的相互交联,使高温处理下,肌球蛋白和肌动蛋白因变性而聚集,降低了鱼糜的凝胶特性。而后,随着 CUD 含量的增多,蛋白质的聚集程度明显下降,且凝胶网络骨架的丝纤维变得越发致密和纤细,交联更紧密,网状结构中的空隙变小,可能是因为,CUD 分子在高温下具有热不可逆凝胶特性,并逐步开始和蛋白发生交联,有效阻止因变性而产生的聚集反应。

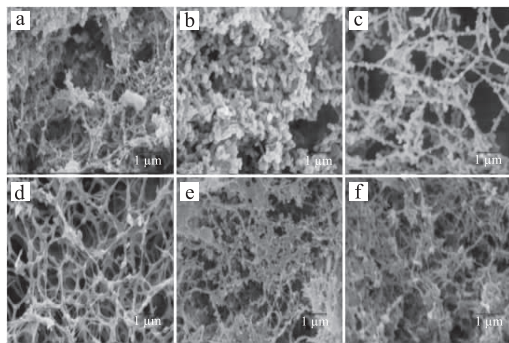


图4 复配胶-鱼糜复合凝胶扫描电镜图(8000 ×)

Fig.4 Microstructure of surimi gel complexed with mixed gels(8000 ×)

注:(a)空白;(b)3:7(C/K);(c)5:5(C/K);  
(d)7:3(C/K);(e)9:1(C/K);(f)2%。

### 2.5 复配胶体对鱼糜凝胶的持水性的影响

持水力(WHC)和鱼糜制品的质构特性联系密切,是衡量产品品质的一项重要指标。通常而言,持水力高的产品内部水分不易渗出,压出的水分少,具有较低的失水率。凝胶结构是否致密直接影响了凝胶的持水力高低,均匀致密的凝胶网络可以更好锁住结构中的水分子,利于水分的高效保留,这是因为鱼糜凝胶体系中水分的存在形式多样,和鱼肉蛋白相互作用,产生交联,而致密的网络结构可以更好的将间隙中的水分锁在一定区域范围,以此提高了凝胶体系的保水性,改善凝胶特性<sup>[16-17]</sup>。

图 5 是复配胶和鱼糜复合后经过高温处理的凝胶持水力的变化。KGM 含量增多,持水力低于空白组,CUD 和 KGM 复配凝胶有很强的疏水性<sup>[18]</sup>,由于 KGM 和 CUD 之间的相互作用,抑制了鱼肉蛋白之间或鱼肉蛋白与 CUD 分子间的联结,产生了较弱的凝胶结构,导致水分流失,持水力下降,和上述破断距离的结果相符。在复配样品组中,持水力随着 CUD 和 KGM 的比例升高呈现逐步上升趋势。由于 CUD 与 KGM 复配疏水性的作用<sup>[18]</sup>,KGM 的增加使得体系持水力持续降低,也就是说一份 CUD 可以与多份 KGM 发生相互作用,所以体系中的绝大部分 KGM 与少量 CUD 发生了相互作用,而剩余的多糖主要是 CUD,起到保水作用的也主要是 CUD。在 CUD 充分的条件下,由于胶体自身吸水膨胀的特性,挤压鱼糜基质,使其凝胶结构更为致密从而锁住水分<sup>[19]</sup>,此

外,CUD 可以与鱼肉蛋白在交联的过程中,形成更多的氢键<sup>[20]</sup>,保持鱼糜凝胶中的水分含量。

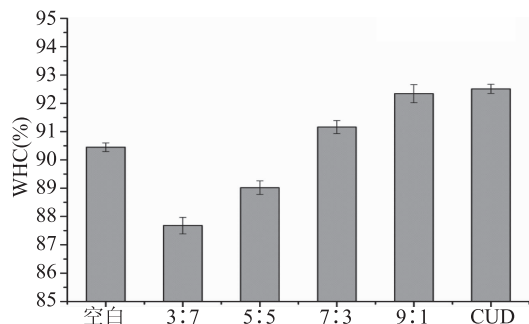


图5 复配胶对鱼糜复合凝胶持水力影响

Fig.5 WHCs of surimi gel complexed with mixed gels

## 2.6 复配胶体对鱼糜凝胶白度的影响

白度是用来评判鱼糜凝胶的色泽的重要指标之一<sup>[21]</sup>。由于物质吸收光的频率和内部结构有关,因此物质的结构对色度有很大的影响。例如氨基、羰基等官能团的改变,会直接影响到物质的白度变化,所以鱼糜凝胶的白度在某种程度上可以宏观体现出样品内部凝胶结构的改变<sup>[4]</sup>。通常情况下, $L^*$ 值越大, $b^*$ 值越低,得到的样品更白,产品质量更好<sup>[22]</sup>。

图6是复配胶和鱼糜复合后的白度值,从图6中可以看出,随着复配胶中 CUD 含量的增加,白度变大;当 KGM 比例较高时,样品白度低于对照组,但是整体差异不明显。鱼糜凝胶在加热过程中,蛋白质分子的非共价键受到破坏,并阻碍共价键的形成,导致样品白度的降低;此外,水分子的重新排列,使得凝胶样品的持水力产生变化,影响了产品的光泽度和透明度<sup>[1]</sup>。因此,样品组白度值的整体趋势和持水力结果相符。

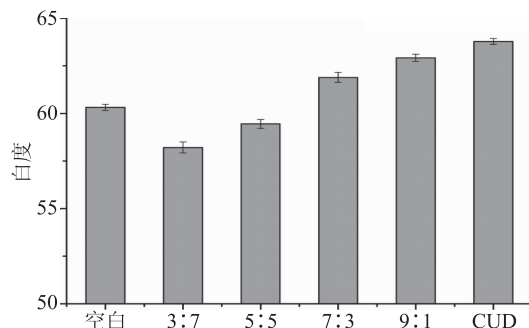


图6 复配胶对鱼糜复合凝胶白度的影响

Fig.6 Whiteness of surimi gel complexed with mixed gels

## 3 结论

CUD 对鱼糜在高温处理下的凝胶特性和结构有着明显的改善作用,KGM 对鱼糜高温加热后的凝胶特性也有一定的促进作用,但当两者复配后加入鱼糜体系中,由于 KGM 和 CUD 之间更易发生相互作用,形成分子链间的氢键,因此在 KGM 比例较高时,KGM 会阻碍 CUD 和鱼肉蛋白之间的交联,并影响蛋白质分子间的彼此连结;而随着 CUD 比例的增大,KGM 含量变少,对整个复合体系的影响减弱,使得破断力、破断距离、白度和持水力逐渐增大,三维网络

结构变得相对稳定有序,骨架纤细而致密,但是仍然没有 2% CUD 对鱼糜复合凝胶的促进效果明显。通过实验发现,KGM-CUD 复配胶对高温处理后的鱼糜凝胶不具备良好的协同促进作用,无法改善鱼糜制品的凝胶性能。但是适当添加 KGM,可以在一定程度上降低产品的成本,调节产品的口感。

## 参考文献

- [1]熊露,沈辰,李辉尚,等.中国水产品产业发展现状及趋势分析[J].农产品加工月刊,2015(11):51-54.
- [2]Wei Y,Zhang T,Yu F,et al.Effects of curdlan on the texture and structure of Alaska pollock surimi gels treated at 120 °C[J].International Journal of Food Properties, doi: 10.1080/10942912.2017.1306557.
- [3]Su A,Kolbe E,Park J W.A model of heat transfer coefficients over steam-cooked surimi paste[J].Journal of Aquatic Food Product Technology,1999,8(3):39-53.
- [4]张建友,牛记者,邹鹏,等.复合亲水胶体对带鱼鱼糜制品凝胶特性的影响[J].食品工业科技,2012,33(17):54-57.
- [5]张莉莉.高温(100~120 °C)处理对鱼糜及其复合凝胶热稳定性的影响[D].青岛:中国海洋大学,2013.
- [6]张涛.魔芋胶-鱼糜复合凝胶体系高温热稳定性研究[D].青岛:中国海洋大学,2015.
- [7]Liu R,Zhao S M,Xiong S B,et al.Role of secondary structures in the gelation of porcine myosin at different pH values[J].Meat Science,2008,80(3):632-639.
- [8]Zhang T,Xue Y,Li Z,et al.Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska Pollock surimi gels subjected to high-temperature(120 °C) treatment[J].Food Hydrocolloids,2015,43:125-131.
- [9]刘文娟,陈瑶,姜晴晴,等.可得然胶对带鱼肌肉蛋白凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2014(9):126-133.
- [10]Funami T,Yada H,Nakao Y.Curdlan properties for application in fat mimetics for meat products[J].Journal of Food Science,1998,63(2):283-287.
- [11]Ogawa M,Ehara T,Tamiya T,et al.Thermal stability of fish myosin[J].Comparative Biochemistry & Physiology B Comparative Biochemistry,1993,106(3):517-521.
- [12]蒋明峰.魔芋葡甘聚糖/可得然胶流变学特性的研究[D].武汉:湖北工业大学,2016.
- [13]Sankar T V,Ramachandran A.Rheological characteristics of suwari and kamaboko gels made of surimi from Indian major carps[J].Journal of the Science of Food & Agriculture,2002,82(9):1021-1027.
- [14]M C W U,Lanier T C,Hamann D D.Thermal transitions of admixed starch/fish protein systems during heating[J].Journal of Food Science,2010,50(1):20-25.
- [15]蒋明峰,肖满,倪学文,等.魔芋葡甘聚糖与可得然胶的相互作用[J].食品科学,2016,37(19):54-58.
- [16]Ahmad M U,Tashiro Y,Matsukawa S,et al.Comparison of gelation mechanism of surimi between heat and pressure treatment by using rheological and nmr relaxation measurements[J].Journal

(下转第224页)

- 2300-2306.
- [26] 黄梅丽, 王俊卿. 食品色香味化学(第二版)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 241-242.
- [27] Aprea E, Corollaro M L, Betta E, et al. Sensory and instrumental profiling of 18 apple cultivars to investigate the relation between perceived quality and odour and flavour[J]. Food Research International, 2012, 49(2): 677-686.
- [28] 马永昆, 李祥波, 蒋家奎. 基于 GC-MS 和嗅闻仪联用的天然苹果香精关键香气成分分析[J]. 食品科学, 2009, 30(8): 231-234.
- [29] 段亮亮. 不同品种苹果香气特征及品质分析[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011.
- [30] Vanoli M, Visai C, Rizzolo A. The influence of harvest date on the volatile composition of 'Starkspur Golden' apples[J]. Postharvest Biology & Technology, 1995, 6(6): 225-234.
- [31] Contreras C, Beaudry R. Lipoxigenase - associated apple volatiles and their relationship with aroma perception during ripening[J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 82(1): 28-38.
- [32] Dixon J, Hewett E W. Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: A review[J]. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, 2000, 28(3): 155-173.
- [33] Echeverría G, Graell J, Lara I, et al. Physicochemical measurements in 'Mondial Gala®' apples stored at different atmospheres: Influence on consumer acceptability[J]. Postharvest Biology & Technology, 2008, 50(2): 135-144.
- [34] López M L, Villatoro C, Fuentes T, et al. Volatile compounds, quality parameters and consumer acceptance of 'Pink Lady®' apples stored in different conditions[J]. Postharvest Biology & Technology, 2007, 43(1): 55-66.
- [35] Emira Mehinagic, Gaëlle Royer, Ronan Symoneaux, et al. Characterization of odor-active volatiles in apples: influence of cultivars and maturity stage[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2006, 54(7): 2678-87.
- [36] Bult J H, Schifferstein H N, Roozen J P, et al. Sensory evaluation of character impact components in an apple model mixture[J]. Chemical Senses, 2002, 27(6): 485.

of Food Science, 2004, 69(9):E497–E501.

- [J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 1996, 43 (1): 21-28.
- [20] Wu C, Peng S, Wen C, et al. Structural characterization and properties of konjac glucomannan/curdlan blend films [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 89 (2): 497-503.
- [21] Park, Jae W. Surimi gel colors as affected by moisture content and physical conditions [J]. Journal of Food Science, 2010, 60 (1): 15-18.
- [22] Hsu C K, Chiang B H. Effects of water, oil, starch, calcium carbonate and titanium dioxide on the color and texture of threadfin and hairtail surimi gels [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2002, 37 (4): 387-393.