

高脱乙酰度魔芋葡甘聚糖对 鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响

于加美, 高瑞昌, 石彤, 郑志颖, 袁丽
(江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 本研究探讨了高脱乙酰度魔芋葡甘聚糖(KGM)对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响。将不同添加量 0.5 wt%、1.0 wt%、1.5wt% 的高脱乙酰度 KGM 分别添加到鱼糜中, 测定其流变、质构特性、持水性、弛豫时间 T_2 及微观结构的变化。发现复合鱼糜的弹性模量 G' 和损耗模量 G'' 均比纯鱼糜高, 且随添加量的增加呈上升趋势, 且与纯鱼糜相比, G' 和 G'' 最大分别提高了 27.98% 和 49.24%; 复合鱼糜的硬度、粘度和咀嚼性比纯鱼糜显著性提高, 最大分别提高了 10.70%、10.53% 和 9.52%, 但弹性降低; 通过低场核磁共振发现, 与纯鱼糜相比, 复合鱼糜凝胶中 T_{22} 峰高下降, T_{23} 的峰比例上升; 复合鱼糜凝胶的持水性总体呈下降趋势, 在添加 0.5wt% KGM 时最低; 扫描电镜结果显示复合鱼糜凝胶的网络结构变得更加完整有序。高脱乙酰度 KGM 影响了蛋白热聚集行为, 促进蛋白分子的相互交联, 改善了其凝胶网络结构, 从而改变了鱼糜凝胶特性。

关键词: 鲢鱼鱼糜; 高脱乙酰度魔芋葡甘聚糖; 动态粘弹性; 水分分布; 凝胶特性

文章编号: 1673-9078(2019)08-48-54

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.8.008

Effects of Konjac Glucomannan with a High Degree of Deacetylation on the Gelling Properties of Silver Carp Surimi

YU Jia-mei, GAO Rui-chang, SHI Tong, ZHENG Zhi-ying, YUAN Li

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In this study, the effects of Konjac glucomannan (KGM) with a high degree of deacetylation on the gelling properties of silver carp surimi were investigated. After different amounts (0.5 wt%, 1.0 wt% and 1.5 wt%) of the deacetylated KGM were added to silver carp surimi, the rheological and textural characteristics, water-holding capacity, relaxation time T_2 and microstructural changes of the silver carp surimi were measured. It was found that the elastic modulus G' and loss modulus G'' of the composite surimi were higher than those of pure surimi, showing an upward trend with an increase of the amount for addition, and the greatest increase of 27.98% and 49.24% respectively, in G' and G'' as compared with the pure surimi gel. The hardness, viscosity and chewiness of the composite surimi gels were significantly higher than those of the pure surimi gel, with the greatest increase as 10.70%, 10.53% and 9.52% respectively, although the elasticity decreased. The results of the low field NMR analysis showed that the peak height of T_{22} decreased with the peak ratio of T_{23} increasing for the composite surimi gels, compared to the pure surimi gel. The water-holding capacity showed a downward trend, and reached the lowest value at 0.5 wt% of KGM. The analysis by scanning electron microscopy revealed that the network structure of the composite surimi gels became more complete and orderly. KGM with a high degree of deacetylation affected the thermal aggregation behavior of proteins, promoted the cross-linking of protein molecules and improved the gel network structure, thus, changed the gelling properties of surimi.

Key words: silver carp surimi; konjac glucomannan with high degree of deacetylation; dynamic rheological property; water distribution; gel property;

鱼糜制品具有蛋白质含量高、脂肪含量低、口感嫩爽, 不同鱼种可以相互搭配等特点, 是一类营养价
收稿日期: 2019-02-24

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31671882)

作者简介: 于加美(1993-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 水产品加工与综合利用

通讯作者: 袁丽(1978-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品化学

值高、口味繁多、利于食用的低胆固醇食品^[1]。随着全球鱼糜制品需求量的快速增长, 海水鱼已经被过度捕捞^[2], 而淡水水产资源丰富, 因而以鲢鱼等低值鱼为原料, 生产高品质的淡水鱼鱼糜制品迫在眉睫。然而, 淡水鱼鱼糜具有凝胶强度差、加工过程中易出现凝胶劣化、弹性不足等缺点^[3]。凝胶特性是反映鱼糜制品品质的重要指标^[4], 因此添加外源物质改善鱼糜

凝胶特性是提高鲢鱼鱼糜等淡水鱼糜制品品质一个关键点。

魔芋葡甘聚糖(KGM)来源于魔芋块茎,是由 D-葡萄糖和 D-甘露糖按 1:1.6 的分子比例,以 β -(1,4)糖苷键聚合而成,支链是由在某些糖残基 C-3 位上存在并由 β -1,3 糖苷键组成的;链上大约每 19 个糖残基上有 1 个以酯键在 C-6 位结合的乙酰基^[5,6]。KGM 具有较好的凝胶性、溶解性、结晶性、增稠性、成膜性等特性^[7],这些都与乙酰基密切相关。研究表明,KGM 脱去分子链的乙酰基后,分子链缠绕加强,最终能形成热不可逆凝胶^[8,9]。Jian 等^[10]表明用 100 kGy 剂量的 ⁶⁰Co, γ -辐射 KGM,得到的 KGM 降解产物增强了其与罗非鱼肌原纤维蛋白的相互作用,维持了蛋白完整光滑的结构。Liu 等^[11]表明,利用 KGM 寡糖与鲢鱼肌球蛋白在 50 °C,75%的相对湿度下,孵育 0~96 h,肌球蛋白的热稳定性显著提高。Zhang 等^[12]表明在高温(120 °C)加热处理条件下,添加脱乙酰度 KGM,可以阻止蛋白变性,保护蛋白的二级结构,获得更均匀的凝胶结构。因此 KGM 中乙酰基的去除对鱼糜凝胶性质的具有一定的影响。而关于高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶性质的影响未见报道。因此,本研究的目的是探究高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶性质有何影响,并尝试分析其具体的影响机制,为制得高质量鲢鱼等淡水鱼鱼糜制品提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻鲢鱼鱼糜,洪湖市宏业水产食品有限公司提供,-20 °C 备用;魔芋葡甘聚糖(KGM)郑州郑亚化工产品有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

AUX 奥克斯食物料理机(绞肉机),中国奥克斯有限公司;DISCOVERY HR-1 TA 流变仪,美国 TA 仪器公司;HH-S2 数显恒温水浴锅,金坛市医疗仪器厂;TA.XT.PlU 食品物性仪,英国 Stable Micro Systems 公司;TGL-16gR 飞鸽牌系列离心机,上海安亭科学仪器厂;PQ-001 核磁共振仪,上海纽迈电子科技有限公司;QUANTA-200 扫描电子显微镜,荷兰 FEI 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 高脱乙酰度 KGM 的制备

参考 Li 等^[13]的方法,略作修改。准备称取 45g KGM 与 30 mL 50%的乙醇溶液混合,在 40 °C 下恒温

震荡 30 min,加入 15 mL 6 M 的 NaOH 溶液,40 °C 下反应 24 h,待脱乙酰基反应完成后,用一系列浓度梯度乙醇(50%、75%、95%及 100%)进行样品脱水,所得产物置于通风橱内挥干乙醇,最后于 40 °C 真空干燥得到粉末状高脱乙酰度 KGM。参考陈建等^[14]的方法,测定其所制样品的脱乙酰度为 95%。

1.3.2 鲢鱼-高脱乙酰度 KGM 鱼糜复合凝胶的制备

参考王良玉等^[15]的方法,稍加修改:将 1 kg 冷冻鲢鱼鱼糜放置在 -4 °C 冰箱里解冻 12 h 后,用斩拌机空播 5 min,调节并测定鱼糜水分分为 76%,之后添加 3 wt% NaCl 继续盐播 15 min,再加入 3 种不同添加量粉末状高脱乙酰度 KGM,分别为 0.5、1.0、1.5 wt%,播溃 5 min 后,装入肠衣,整个过程中使鱼糜保持在 10 °C 以下;(1)一部分鱼肠在 4 °C 冰箱冷藏一段时间后,测定流变;(2)另一部分鱼肠采用二段式加热,先在 40 °C 下加热 60 min,后在 90 °C 下加热 30 min,加热完立即冷却,置于 4 °C 冰箱过夜后,测定其凝胶特性及水分。

1.3.3 鲢鱼鱼糜动态流变性质的测定

参照李勇等^[16]的方法,并做一定调整,具体如下:采用 PP50 平板探头,圆台直径 40 mm,平板间距 1 mm。样品分析前可以放置 15 min,之后取适量样品置于测量平台上,去除超过上板多余样品,边缘用硅油覆盖,盖上盖板,防止水分蒸发。采用温度扫描下的振荡模式,振荡频率为 1 Hz,升温扫描范围 20~90 °C,升温速率 1 °C/min,然后降温至 20 °C,测定扫描过程中剪切储能模量 G' ,损耗模量 G'' 和粘弹性 $\tan\delta$ 的变化。

1.3.4 鲢鱼鱼糜凝胶特性的测定

1.3.4.1 凝胶持水性的测定

参考黄玉平等^[17]的方法并略有变动,取适量复合凝胶样品,切成 5 mm 左右的小丁,精确称量,记为 X_1 ,置于底部放有一些滤纸的离心管中,然后离心(10000 g, 15 min, 4 °C),取出样品,称量,记为 X_2 。计算式为:

$$WHC(\%) = \frac{X_2}{X_1} \times 100\%$$

1.3.4.2 质构特性的测定

先将样品从冰箱中拿出,在室温下平衡 30 min 后测定。参照李睿智等^[18]的方法:将样品切成高为 25 mm 的圆柱体,用 P/50 的探头,质构仪的测试速度均为 1 mm/s,压缩比 40%,触发力:5 g,测定其硬度、弹性、粘性、咀嚼性和内聚性。

1.3.4.3 横向弛豫时间 T_2 测定

参考冯雪平等^[19]的方法并略有改动,测定条件:质子共振频率为 22.6 MHz,测量温度为 32 °C。将鱼糜凝胶切成一定质量的长方体,放入直径 25 mm 的核磁管中,随即在纽迈 PQ-001 分析仪中进行 NMR 弛豫测定。测量参数: τ (μ s)=400, NS=8, TR(s)=6, Echo Count=1500, 采用 Multi Exp Inv Analysis 软件反演 CPMG 指数衰减曲线得到 T_2 图谱, 累计积分图谱中各峰面积, 最终其峰面积分别表示为 T_{21} 、 T_{22} 和 T_{23} 三种组分的百分含量。

1.3.4.4 凝胶的微观结构的测定

参考 Oujifard 等^[20]的方法并稍作修改。将鱼糜凝胶切成 $5 \times 5 \times 1 \text{ mm}^3$ 的块状, 在 4 °C 条件下用戊二醛溶液 (5%) 固定 48 h, 期间更换 3 次戊二醛溶液, 之后用磷酸缓冲液 (0.1 mol/L) 漂洗 7~8 次, 利用四氧化锇水溶液 (1%) 继续固定 1 周, 期间更换 3~4 次四氧化锇水溶液, 再用磷酸缓冲液清洗 7~8 次。然后用一系列梯度的乙醇溶液 (30%、50%、70%、90% 和 100%) 进行脱水, 之后立即临界点干燥, 离子溅射喷金, 最终利用扫描电子显微镜进行观察。

1.4 数据处理

所有实验最少重复 3 次, 求平均值。采用 Origin 8.0、SPSS Statistics 17.0 和 Microsoft Excel 软件进行数据的处理与分析。

2 结果与分析

2.1 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜流变性质的影响

G' 、 G'' 和 $\tan \delta$ 是流变学参数, 其中, G' 是储能 (弹性) 模量, 表征物质的弹性特征; G'' 是损耗模量, 代表材料的黏性特征; $\tan \delta = G''/G'$ ^[21]。添加高脱乙酰度 KGM 对鱼糜动态流变学性质影响如下: 从图 1a 看出: 总趋势为储能模量 G' 先上升, 当温度到 30~35 °C 时开始下降, 在 48 °C 左右达到最低点, 随后迅速上升至 80 °C, 之后上升趋于缓慢。这可以分为三个阶段: 第一阶段由于肌球蛋白轻链亚基 S1 在 20~35 °C 中发生解离, 使得产生交联^[22], 从而弹性模量 G' 增加; 在第二阶段 35~48 °C, 弹性模量 G' 随温度升高而迅速下降, 这可能因为肌动球蛋白变性解离, 肌球蛋白轻链变性分离, 发生缠绕聚集, 从而增强了分子移动性; 第三阶段从 48 °C 后, 肌球蛋白变性聚集, 二硫键交联, 最终形成无规则卷曲结构^[23]。纯鱼糜的最终弹性模量 G' 为 16408.20 Pa, 高脱乙酰度 KGM 添加后, 含

有 0.5 wt%、1.0 wt% 和 1.0 wt% 的复合鱼糜的弹性模量 G' 分别为 17948.5 Pa、19731.50 Pa 和 21000.00 Pa, 与纯鱼糜相比, 分别提高了 9.39%、20.25% 和 27.98%。说明随着高脱乙酰度 KGM 添加量的增加, 鱼糜弹性模量 G' 的提高效果更加显著, 暗示着复合鱼糜在遭受形变后, 恢复能力强, 内部结构较为紧密。

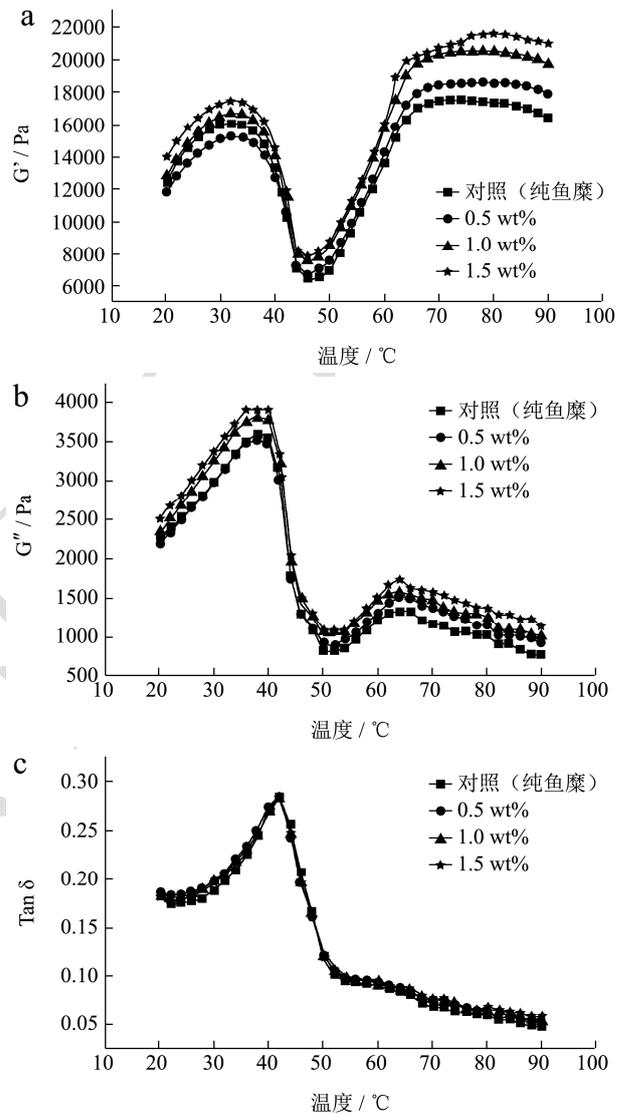


图 1 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜流变行为的影响

Fig.1 Effect of KGM with high degree of deacetylation on the rheological behavior of silver carpsurimi

注: a: G' 随温度的变化; b: G'' 随温度的变化; c: $\tan \delta$ 随温度的变化。

图 1b 是添加高脱乙酰度 KGM 对鱼糜损耗模量 G'' 的影响, 可以看出: 主要经历了三个阶段: 第一阶段为 20~42 °C 左右, G'' 迅速增加, 随后在 42~53 °C 左右急速下降, 之后再 53~68 °C 上升, 最后缓慢下降。刚开始损耗模量 G'' 上升可能是由受热展开的蛋白与水的作用增强而导致的^[24]。纯鱼糜的最终损耗模量 G'' 为 770.85 Pa, 高脱乙酰度 KGM 添加后, 含有 0.5

wt%、1.0 wt%和 1.0 wt%的复合鱼糜的损耗模量 G"分别为 937.98 Pa、1030.00 Pa 和 1150.40 Pa, 与纯鱼糜相比, 分别提高了 21.68%、33.62%和 49.24%。

图 1c 是添加高脱乙酰度 KGM 对鱼糜损耗角正切的影响。从图可知复合凝胶及纯鱼糜凝胶的 $\tan\delta$ 都是小于 1 的, 说明损耗模量小于弹性模量, 表现为弹性流体, 具有较好的胶凝性^[25], 且都是先增加后下降, 在 45 °C 左右达到最大。这是因为在低温时 (45 °C 之前) 变性展开的鱼糜蛋白与水的作用增强, 使得 $\tan\delta$ 增大, 之后随温度升高, 蛋白分子展开与聚集程度增强, 结构发生重排, 形成凝胶结构, 因而增强了其刚性与强度, 减弱了流动性, 最终使得 $\tan\delta$ 下降。高脱乙酰度 KGM 添加后, 最终都增加了纯鱼糜的粘弹性, 且呈现的趋势与纯鱼糜一样。

综上所述, 添加高脱乙酰基 KGM 后, 有利于复合凝胶的形成。王良玉等^[15]报道, 不同 pH 值 (pH 为 6.4、8.5、9.7 和 10.6) 的 KGM 凝胶体系加入到带鱼鱼糜中, 提高了复合凝胶的粘弹性, 增强了鱼糜凝胶的网络结构。原因可能是随着 KGM 凝胶体系 pH 值的增加, 会脱去 KGM 分子上的部分乙酰基基团, 形成稳定结构, 从而使得在一定 pH 值范围内, 提高 KGM 凝胶体系的 pH 值会使其增强鱼糜凝胶性能的效果更加显著。在本研究中, KGM 脱去乙酰基后, KGM 分子结构更为有序, 稳定性增加, 分子间作用力及疏水相互作用增强^[26], 因此可能加强了其对鱼糜蛋白的作用力, 促进了蛋白分子的交联和内部网络结构的形成, 从而提高了鱼糜的流变特性。

2.2 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶持水性的影响

持水性是鱼糜凝胶的一个重要物理性质, 高的持水性代表鱼糜中有更少可表现的水^[27]。添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶持水性的影响如图 2 所示:

表 1 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶 TPA 特性的影响

Table 1 Effect of KGM with high degree of deacetylation on the TPA of silver carpsurimi gels

项目	硬度/kg	弹性/%	内聚性	黏性/kg	咀嚼性/kg
对照 (纯鱼糜)	2.43±0.08 ^a	121.88±0.15 ^d	0.78±0.00 ^a	1.90±0.07 ^a	2.31±0.09 ^a
0.5 wt%	2.58±0.04 ^b	119.68±0.74 ^b	0.78±0.01 ^a	1.99±0.03 ^b	2.33±0.09 ^a
1.0 wt%	2.69±0.03 ^c	120.62±0.58 ^c	0.79±0.00 ^a	2.10±0.02 ^c	2.53±0.06 ^b
1.5 wt%	2.51±0.03 ^{ab}	118.58±0.11 ^a	0.78±0.01 ^a	1.96±0.01 ^{ab}	2.32±0.01 ^a

注: 同列中小写字母不同表示具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

不同添加量高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶 TPA 特性的影响如表 1 所示。高脱乙酰度 KGM 添加量 0.5 wt%、1.0 wt%和 1.5 wt%时, 与纯鱼糜相比, 鱼

纯鱼糜的持水性为 83.46±0.44, 含 0.5 wt%高脱乙酰度 KGM 的复合鱼糜凝胶的持水性为 81.91±0.87, 说明 0.5 wt%高脱乙酰度 KGM 显著降低了鱼糜凝胶的持水性, 而之后随着添加量的增加, 含 1.0 wt%和 1.5 wt%高脱乙酰度 KGM 的复合鱼糜凝胶的持水性分别为 83.22±0.61 和 82.95±0.89, 与纯鱼糜相比, 有下降趋势, 但并无显著差异。KGM 具有良好的水溶性, 结合水的能力很强, 在蛋白质分子间可能会阻碍疏水位点的结合, 因而 Xiong 等^[28]人报道 KGM 的添加提高了草鱼鱼糜凝胶的持水性。乙酰基赋予了 KGM 水溶性, 且乙酰基的空间位阻效应阻碍了 KGM 本身分子间作用力的形成, 因而脱去乙酰基后, KGM 本身的疏水性增强, 从而使得鱼糜凝胶的持水性总体呈下降趋势, 而 1 wt%和 1.5 wt%的添加量相较于 0.5 wt%有上升趋势, 这可能是因为鱼糜凝胶内部结构变得更加有序, 使得持水性有上升趋势。

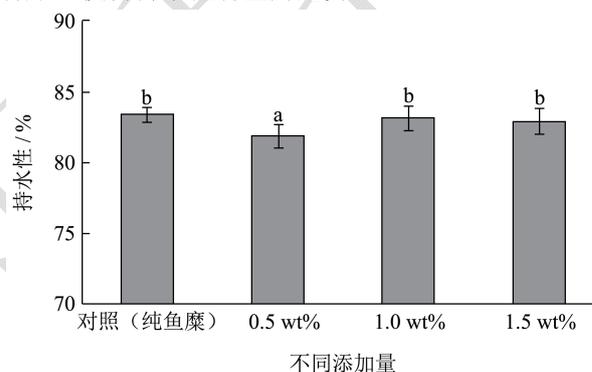


图 2 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶持水性的影响

Fig.2 Effect of KGM with high degree of deacetylation on water holding capacity of silver carp surimi gels

注: 不同小写字母表示具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.3 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶 TPA 特性的影响

糜凝胶硬度分别提高了 6.17%、10.70%和 3.29%, 黏性分别提高了 4.74%、10.53%和 3.16%, 咀嚼性分别提高了 0.87%、9.52%和 0.43%, 弹性分别下降了

1.81%、1.03%和 2.71%。综上，鱼糜凝胶的硬度、黏性和咀嚼性呈现的趋势相同，均随着高脱乙酰度 KGM 添加量的增加，先上升，后稍有下降；内聚性未发生显著性变化；弹性总体呈下降趋势。刘海梅^[29]曾报道 KGM 添加到鲢鱼鱼糜中，经过加热后，其凝胶的硬度、黏性、咀嚼性显著下降，KGM 降低了鲢鱼鱼糜凝胶特性。因此这表明高脱乙酰度 KGM 促进了蛋白发生交联，使得蛋白的网络结构更加稳定，从而有利于蛋白的凝胶性能。

2.4 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶弛豫时间 T_2 的影响

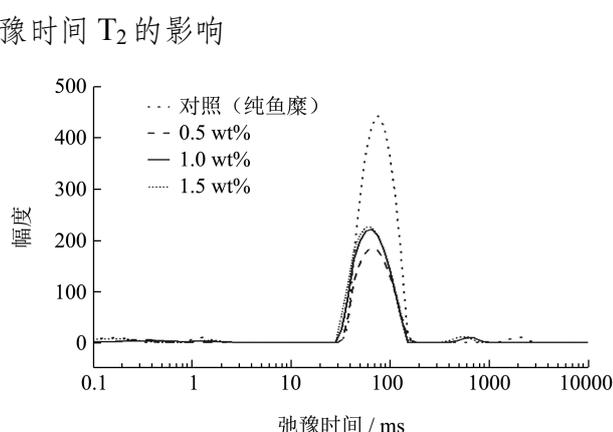


图 3 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶 T_2 弛豫时间的影响

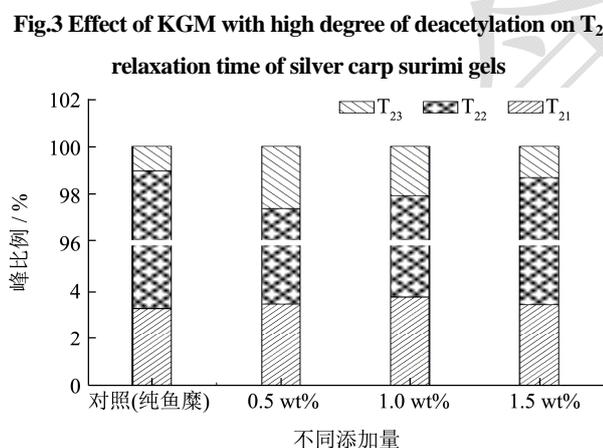


图 4 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 峰面积比例的影响

Fig.4 Effect of KGM with high degree of deacetylation on peak ratio of T_{21} 、 T_{22} and T_{23} of silver carpsurimi gels

不同添加量高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶对弛豫时间 T_2 分布的影响如图 3 所示， T_2 在区间内出现了三个峰，通常弛豫时间在 0~10 ms (T_{21})，是与大分子紧密结合的水分，属于结合水；在 10~300 ms (T_{22})，存在与蛋白组织结构中的水分，属于不易移动水；300 ms 之后(T_{23})，是在凝胶网络结构外的水分，属于自由水^[30]。图 3 结果表明，鲢鱼鱼糜凝胶中最主要的水分

为不易移动水，添加高脱乙酰度 KGM 后， T_{22} 峰高降低了，且在 0.5 wt%添加量处达到最低，之后呈上升趋势，但均比纯鱼糜低，这与持水性结果相一致。结果表明蛋白组织中，与纯鱼糜相比，水的移动性增加，但随添加量增加有减弱趋势，这可能与蛋白凝胶网络形成的孔径大小有关，同时也会受网络结构的有序性影响。

峰比例可以反应各组分水的内容^[31]，高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶中 T_2 各个组分水含量的变化如图 4 所示，随着添加量的增加，不易移动水的含量呈现先下降后上升趋势，但均比纯鱼糜低，自由水的趋势与之相反。这表明蛋白形成凝胶网络结构中，高脱乙酰度 KGM 的添加，使得不易移动水移动性增强，从组织结构中排出，成为了结合最不紧密的自由水，因而蛋白凝胶的持水性呈下降趋势。

2.5 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶微观结构的影响

观结构的影响

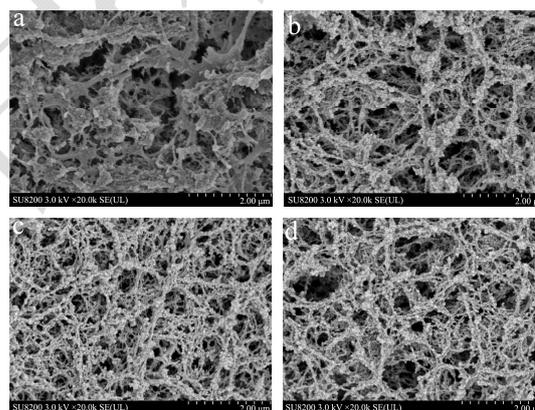


图 5 添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶微观结构的影响(SEM 观察)

Fig.5 Effect of KGM with high degree of deacetylation on the microstructure of silver carp surimi gels (SEM observation)

注：a、control；b、0.5 wt%；c、1.0 wt%；d、1.5 wt%。

添加高脱乙酰度 KGM 对鲢鱼鱼糜凝胶微观结构的的影响如图 5 所示，其中 a 为对照（纯鱼糜）组，由 a 图可见，蛋白质凝胶结构比较松散粗糙，孔洞多且大小不均一，分布也无规律，出现较大的蛋白堆积块；而添加高脱乙酰度 KGM 后，如图 b、c、d 所示，凝胶结构变得有序完整，网孔结构出现更多层叠，孔洞大小均一且分布均匀，表面相对平整光滑且致密，无明显的蛋白堆积块出现；网孔相对纯鱼糜并未变小，因而对水分的束缚能力有所下降，这解释了 T_{22} 水分含量下降的原因，但网络结构相对致密，因而持水性并未有显著变化。鱼糜经过加热，蛋白质分子变性展

开,相互作用力改变,形成聚集体,从而构成了微观网络结构。添加高脱乙酰度 KGM 后,一部分因为乙酰基的去除,使得 KGM 存在的空间位阻效应几乎去除了,因而暴露了更多的基团,促进了蛋白内部更多的交联;另一部分可能是因为高脱乙酰度 KGM 本身的疏水相互作用影响了蛋白的展开与聚集行为,相互作用力发生改变,从而产生了较好的聚集体,增强了网络结构。

3 结论

本研究表明加入高脱乙酰度 KGM 显著提高了鲢鱼鱼糜凝胶的粘弹性,即成胶能力,改变了鲢鱼鱼糜中水分的分布,使得凝胶中的水分受到束缚力变小,移动性增加,所形成的鱼糜凝胶的孔径并未变小,使得截留水的能力下降,持水性呈下降趋势,但凝胶结构变得有序均匀,从而提高了鱼糜的凝胶特性。因为 KGM 脱除乙酰基后,分子稳定性增强,促进了蛋白分子的交联,同时本身疏水性的增加影响了蛋白热聚集行为,改变了蛋白的相互作用力,从而改变了其凝胶品质。

参考文献

- [1] 张俊杰,曾庆孝.我国淡水鱼鱼糜的研究情况[J].食品与发酵工业,2002,28(9):57-63
ZHANG Jun-jie, ZENG Qing-xiao. Research on fresh water surimi in China [J]. Food and Fermentation Industry, 2002, 28(9): 57-63
- [2] Moreno H M, Herranz B, Pérez-Mateos M, et al. New alternatives in seafood restructured products [J]. C R C Critical Reviews in Food Technology, 2016, 56(2): 237-248
- [3] 余永名,马兴胜,仪淑敏,等.豆类淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2016,1:129-135
YU Yong-ming, MA Xing-sheng, YI Shu-min, et al. Effects of soybean starch on gel properties of silver carp surimi [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 1: 129-135
- [4] 张涛,张莉莉,张金昂,等.保水剂及冷风干燥对鱼糜溶胶水分状态的影响研究[J].食品工业科技,2013,34(10):97-100
ZHANG Tao, ZHANG Li-li, ZHANG Jin-ang, et al. Study on the effect of water retaining agent and cold air drying on the water state of surimi sol [J]. Food Industry Science and Technology, 2013, 34(10): 97-100
- [5] 简文杰.魔芋葡甘聚糖螺旋微观构象及性质研究[D].福州:福建农林大学,2011
JIAN Wen-jie. Study on the microscopic conformation and properties of konjac glucomannan [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2011
- [6] Jian W P, Xu W, Li Z S, et al. Degraded konjac glucomannan by γ -Ray irradiation assisted with ethanol: Preparation and characterization [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36: 85-92
- [7] Yang D, Yi Y, Lin W, et al. A review on konjac glucomannan gels: microstructure and application [J]. Journal of Molecular Sciences, 2017, 18(11): 2250
- [8] Huang L, Takahashi R, Kobayashi S, et al. Gelation behavior of native and acetylated konjac glucomannan [J]. Biomacromolecules, 2002, 3(6): 1296-1303
- [9] CHEN J, LI J, LI B. Identification of molecular driving forces involved in the gelation of konjac glucomannan: Effect of degree of deacetylation on hydrophobic association [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(2), 865-871
- [10] Jian W J, Wu H Y, Wu L L, et al. Effect of molecular characteristics of konjac glucomannan on gelling and rheological properties of tilapia myofibrillar protein[J]. Carbohydrate Polymers, 2016,150:21-31
- [11] Liu J H, Xu Q H, Zhang J J, et al. Characterization of silver carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) myosin protein glycosylated with konjac oligo-glucomannan [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 57: 114-121
- [12] Zhang T, Li Z J, Wang Y M, et al. Effects of konjac glucomannan on heat-induced changes of physicochemical and structural properties of surimi gels [J]. Food Research International, 2016, 83: 152-161
- [13] Li J, Ye T, Wu X F, et al. Preparation and characterization of heterogeneous deacetylated konjac glucomannan [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 40: 9-15
- [14] 陈建.乙酰基在魔芋葡甘聚糖溶胶一凝胶及其转变中的疏水调控作用研究[D].武汉:华中农业大学,2009
CHEN Jian. Study on the hydrophobic regulation of acetyl group in konjac glucomannan sol-gel and its transformation [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009
- [15] 王良玉,何明祥,庞杰,等.魔芋葡甘聚糖凝胶体系对带鱼鱼糜流变及质构特性的影响[J].西南大学学报(自然科学版), 2013,35(6):88-94
WANG Liang-yu, HE Ming-xiang, PANG Jie, et al. Effects of konjac glucomannan gel system on rheological and textural properties of hairtail surimi [J]. Journal of Southwestern University (Natural Science), 2013, 35 (6): 88-94
- [16] 李勇,程裕东.白鲢鱼糜流变特性的研究[J].食品科学,2007, 28(10):100-104
LI Yong, CHENG Yu-dong. Rheological properties of silver

- carp surimi [J]. Food Science, 2007, 28(10): 100-104
- [17] 黄玉平,翁武银,张希春,等.鱼皮明胶蛋白对淡水鱼糜凝胶特性的影响[J].中国食品学报,2012,12(11):51-58
HUANG Yu-ping, WENG Wu-yin, ZHANG Xi-chun, et al. Effects of fish skin gelatin protein on the gel properties of freshwater surimi [J]. Chinese Journal of Food Science, 2012, 12(11): 51-58
- [18] 李睿智,王崑,仪淑敏,等.白鲢鱼鱼糜凝胶过程中水分及凝胶特性的变化[J].现代食品科技,2016,32(5):91-97
LI Rui-zhi, WANG Wei, YI Shu-min, et al. Changes of water and gel characteristics during the gel processing of silver carp surimi [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(5): 91-97
- [19] 冯雪平.热处理温度对鲢肌球蛋白结构和凝胶水分影响的研究[D].镇江:江苏大学,2016
FENG Xue-ping. Study on the effect of heat treatment temperature on the structure and gel water of silver carp myosin [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2016
- [20] Oujifard A, Benjakul S, Ahmad M, et al. Effect of bambara groundnut protein isolate on autolysis and gel properties of surimi from threadfin bream (*nemipterus bleekeri*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(2): 261-266
- [21] Egelanddal B, Martinsen B, Autio K. Rheological parameters as predictors of protein functionality: A model study using myofibrils of different fibre-type composition [J]. Meat Science, 1995, 39(1):97-111
- [22] Shi L, Wang X F, Chang T, et al. Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(2): 586-593
- [23] Niu H L, Li Y, Han J C, et al. Gelation and rheological properties of myofibrillar proteins influenced by the addition of soybean protein isolates subjected to an acidic pH treatment combined with a mild heating [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 70: 269-276
- [24] Ahmad M U, Tashiro Y, Matsukaw S, et al. Gelation mechanism of surimi studied by ¹HNMR relaxation measurements [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(6): 362-367
- [25] 石彤.氨基酸对花鲢肌球蛋白热聚集行为影响的研究[D].镇江:江苏大学,2017
SHI Tong. Study on the effect of amino acids on the thermal aggregation behavior of silver carp myosin [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2017
- [26] 宋儒坤.脱乙酰进程对魔芋葡甘聚糖单相变及多相变耦合中组装行为的影响[D].武汉:华中农业大学, 2013
SONG Ru-kun. Effect of deacetylation process on assembly behavior of konjac glucomannan during single phase transition and multiphase coupling [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013
- [27] Ji L, Xue Y, Zhang T, et al. The effects of microwave processing on the structure and various quality parameters of alaska pollock surimi protein-polysaccharide Gels [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 63:77-84
- [28] Xiong G Q, Cheng W, Ye L X, et al. Effects of konjac glucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodon Idella*) [J]. Food Chemistry, 2009, 116 (2): 413-418
- [29] 刘海梅.鲢鱼糜凝胶及形成机理的研究[D].武汉:华中农业大学,2007
LIU Hai-mei. Study on the gel and formation mechanism of silver carp surimi [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007
- [30] Zhang T, Li Z J, Wang Y M, et al. Effects of konjac glucomannan on heat-induced changes of physicochemical and structural properties of surimi gels [J]. Food Research International, 2016, 83: 152-161
- [31] 杨慧娟,于小波,胡忠良,等.低场核磁共振技术研究超高压处理对乳化肠质构和水分分布的影响[J].食品工业科技, 2014,35(4):96-100
YANG Hui-juan, YU Xiao-bo, HU Zhong-liang, et al. Low-field nuclear magnetic resonance technology to study the effect of ultra-high pressure treatment on the texture and water distribution of emulsified intestines [J]. Food Industry Science and Technology, 2014, 35(4): 96-100

(上接第 159 页)

- [19] 邓光武,高梦祥.微生物磁效应的研究进展[J].长江大学学报,2010,07(3):58-62
DENG Guang-wu, GAO Meng-xiang. Research progress of microbial magnetic effects [J]. Journal of Yangtze University, 2010, 7(3): 58-62
- [20] 刘亚宁.电磁生物效应[M].北京:北京邮电大学出版社,2002
LIU Ya-ning. Electromagnetic Biological Effects [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2002
- [21] M S Rosen, A D Rosen. Magnetic field influence on paramecium motility [J]. Life Sciences, 1990, 46(21): 1509-1515