

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.04.005

魔芋葡甘聚糖与罗非鱼肌原纤维蛋白 复合凝胶质构性质的研究^①

王良玉

福建师范大学 福清分校, 福建 福清 350300

摘要: 对不同重均分子量(923.8 kDa, 307.8 kDa, 169.0 kDa, 53.0 kDa)和不同浓度的魔芋葡甘聚糖(KGM)(0.5%, 1%, 1.5%)在不同加热温度(85 °C, 90 °C, 95 °C)下与罗非鱼肌原纤维蛋白(40 mg/mL)形成的复合凝胶的凝胶强度、凝胶白度、凝胶持水性进行了研究。结果显示: 95 °C加热条件, 添加分子量为 307.8 kDa, 169.0 kDa, 53.0 kDa的 KGM 可以显著提高复合凝胶的凝胶强度; 85 °C加热条件下形成的凝胶具有较高的白度; 95 °C加热时, 923.8 kDa, 307.8 kDa, 169.0 kDa 有益于复合凝胶持水力的保持。因此得出中等分子量魔芋葡甘聚糖更有利于复合凝胶的凝胶强度及持水力的保持。

关键词: 魔芋葡甘聚糖; 罗非鱼; 肌原纤维蛋白; 质构性质; 微观结构

中图分类号: S965

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)04-0036-06

罗非鱼(*Tilapia*), 俗称非洲鲫鱼, 是备受人们关注的养殖类淡水鱼中的一种, 其蛋白被冠以未来动物性蛋白来源之一的称号^[1]。近年来海水鱼的产量已不能满足人们日益增长的需求, 与此同时, 作为养殖类淡水鱼的一种, 罗非鱼的产量呈现稳定增长的趋势^[2]。在生产鱼糜制品过程中, 为了防止凝胶劣化、提高凝胶强度, 向鱼糜制品中添加菊粉^[3]、淀粉^[4-7]、魔芋粉^[8-11]、转谷氨酰胺酶制剂^[12-14]、鱼皮明胶蛋白^[15]等物质可以提高凝胶的凝胶性质。魔芋葡甘聚糖是一种没有能量的健康多糖, 它不会被人体内消化酶酶解, 所以人们称之为膳食纤维^[16]。魔芋粉具有改善和预防便秘、改善人体内葡萄糖利用情况的保健功能, 被日人本称为“肠道清道夫”^[17]。魔芋粉经过不同剂量的辐照分子量发生一定的变化^[18-20], 对于不同分子量的魔芋葡甘聚糖与肌原纤维蛋白的复合凝胶性质研究还鲜有报道。本实验拟在肌原纤维蛋白中加入不同辐照剂量的魔芋葡甘聚糖, 研究其在不同温度下对魔芋葡甘聚糖凝胶特性和持水性的影响, 旨在为研究魔芋葡甘聚糖与肌原纤维蛋白凝胶机理奠定实验基础, 同时也为将魔芋葡甘聚糖更好地应用到鱼糜制品中提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

冷冻罗非鱼鱼糜, 福建安井食品有限公司提供; 魔芋葡甘聚糖, 昭通三艾有机魔芋发展有限责任公司; 氯化钠, 西陇化工股份有限公司; 牛血清白蛋白, 上海生工; 五水合硫酸铜, 分析纯 AR, 国药集团化学试剂有限公司; 酒石酸钾钠, 分析纯 AR, 国药集团化学试剂有限公司; 氢氧化钠, 分析纯 AR, 西陇化工有限公司。

① 收稿日期: 2018-09-02

基金项目: 福建省教育厅中青年项目(JAT160576); 福州市科技计划项目(2017-G-080); 胜田(福清)食品有限公司课题(HX2019001)。

作者简介: 王良玉(1975-), 女, 硕士, 副教授, 主要从事魔芋葡甘聚糖应用、食品工艺的研究。

JYL-C022 九阳料理机, 九阳股份有限公司; IKA- T18 digital ULTRA RURRAX, 上海创奕科教设备有限公司; 冷冻离心机, SIGMA; W S C-S 测色色差计, 上海精密科学仪器有限公司; TA-XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro System; ML204 电子天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; 数显恒温水浴锅, HH-2 国华电器有限公司.

1.2 实验方法

1.2.1 罗非鱼鱼糜肌原纤维蛋白的提取

参考罗永康等^[21]和 Kobayashi 等^[22]的方法并稍加修改. 将鱼糜切碎加入 9 倍体积的 0.6 mol/L 冰 NaCl 溶液中, 用料理机搅拌 30 s, 并用高压均质机 4 000 r/min 均质 30 s, 4 °C 冰箱浸泡 20 h, 冷冻离心机进行离心: 4 °C, 8 000 r/min, 15 min. 收集上层悬浮液, 并用 5 倍体积的冰蒸馏水进行稀释. 将稀释液再次离心: 4 °C, 8 000 r/min, 15 min. 离心所得沉淀用 3 倍体积 0.6 mol/L 冰 NaCl 清洗, 重复 3 次, 离心条件同上. 最后所得沉淀即为所需肌原纤维蛋白, 提取的肌原纤维蛋白用双缩脲法进行含量测定, 肌原纤维蛋白提取全程保持在 4 °C.

1.2.2 不同分子量魔芋葡甘聚糖的制备方法

参考徐振林等^[23]的方法, 用聚乙烯塑料袋将魔芋葡甘聚糖(KGM)样品进行密封, 每个密封袋样品 100g, 置于室温进行辐照, 辐射源为⁶⁰Co, 辐射剂量 0, 10, 20, 100 kGy, KGM 辐射后密闭保存.

1.2.3 魔芋葡甘聚糖-肌原纤维蛋白复合凝胶的制备

将提取的肌原纤维蛋白稀释至 40 mg/mL, 加入魔芋葡甘聚糖, 添加量分别为 0.5%, 1%, 1.5%. 混合均匀后分装于 25 mL 小烧杯中, 4 °C 反应 12 h, 然后将小烧杯置于 85 °C, 90 °C, 95 °C 水浴锅加热 20 min, 加热完毕, 碎冰冷却 3 h, 凝胶性质测定前置于室温放置 0.5 h. 每个样品做 3 组平行. 对照组不添加魔芋葡甘聚糖.

1.2.4 复合凝胶的凝胶强度测定

参考 Yin 等^[24]的方法, 将小烧杯置于质构仪平台, 用物性测定仪在室温条件下进行样品凝胶强度的测定. 测试参数: 探头 SMS P/5S, 测前速率 2 mm/s, 测试速率 2 mm/s, 测后速率 2 mm/s, 压缩距离 10 mm.

1.2.5 复合凝胶的凝胶白度测定

使用色差计测定复合凝胶的亮度(L)、红度(a^*)、黄度(b^*). 根据杨振等^[25]的方法计算白度.

$$\text{白度} = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

1.2.6 复合凝胶的凝胶持水力的测定

参考 Wu 等^[26]的方法, 将测试完质构及凝胶白度的样品, 每种样品大约取 5g 左右置于离心管中, 4 °C, 10 000 r/min, 离心 10 min, 弃去上层水分, 分别测定试管 m_1 (g), 离心前试管和复合凝胶的质量 m_2 (g), 离心后试管和复合凝胶的质量 m_3 (g).

$$\text{持水力} / \% = (m_3 - m_1) / (m_2 - m_1) \times 100$$

1.2.7 数据统计

所有实验数据均为 3 次重复实验的平均值, 数据分析采用 SPSS 18.0 程序进行统计, 显著性采用 Duncan(D)程序进行分析($p < 0.05$).

2 结果与分析

2.1 魔芋葡甘聚糖分子量的测定

用 GPC-MALLIS 对辐照前和辐照后魔芋葡甘聚糖进行分子量(M_w)的测定^[27], 结果是 M_w (KGM) 为 923.8 kDa, 经过 10 kGy 辐射 KGM, M_w 为 307.8 kDa. 经过 20 kGy 辐照 KGM, M_w 为 169.0 kDa. 经过 100 kGy 辐照 KGM, M_w 为 53 kDa.

2.2 魔芋粉添加对肌原纤维蛋白凝胶强度的影响

为了研究不同加热温度下不同辐照剂量的魔芋葡甘聚糖添加量对肌原纤维蛋白凝胶强度的影响, 本

实验将样品在不同温度下水浴加热 20 min, 其后, 碎冰冷却 3 h, 冷却完毕室温静置 30 min, 进行质构测定, 结果如表 1.

由表 1 可以看出, 无论哪一种加热温度, 分子量为 923.8 kDa KGM 与肌原纤维蛋白形成的复合凝胶的凝胶强度显著低于对照组. 也就是说加入 923.8 kDa KGM 会降低复合凝胶的凝胶强度. 95 °C 加热温度条件下, KGM 添加量为 1%, 1.5% 时, 随着 KGM 分子量的减小, 复合凝胶的凝胶强度呈显著性增强 ($p < 0.05$). 分子量为 307.8 kDa 和 169.0 kDa 的 KGM 参与形成的复合凝胶的凝胶强度差异无统计学意义. 90 °C 加热形成的凝胶, 53 kDa KGM 与肌原纤维蛋白形成凝胶的凝胶强度显著高于对照组的凝胶强度. 由此可以得出: 不同的加热温度, KGM 与肌原纤维蛋白发生反应的方式有所不同. 923.8 kDa KGM 降低复合凝胶的凝胶强度可能是由于魔芋葡甘聚糖的添加, 导致肌原纤维蛋白内部结构发生变化, 蛋白质间的相互作用变弱, 而魔芋葡甘聚糖本身的量很少又不足以形成凝胶. 随着魔芋葡甘聚糖分子量变小, 此时有部分小分子填充在蛋白质的空隙间, 使得蛋白质凝胶强度一定程度上有所增高. 经过辐照之后的魔芋葡甘聚糖与肌原纤维蛋白之间应该不是单纯的交联反应或单纯的填充作用, 而是同时存在交联及填充^[28].

表 1 不同温度下 KGM 的添加量对凝胶强度的影响

/g

Mw/kDa	0%	0.5%	1%	1.5%	加热条件
923.8	28.77±0.25b	15.64±0.35f	13.31±0.08h	14.23±0.00g	95 °C 20 min
307.8		30.09±0.15a	19.16±0.18e	14.20±0.23g	
169.0		30.05±0.07a	24.15±0.41d	19.43±0.56e	
53		29.39±0.52ab	28.57±0.40b	27.83±0.04c	
923.8	19.53±0.32c	16.57±0.26f	15.55±0.27fg	15.20±0.37g	90 °C 20 min
307.8		18.05±0.39d	16.94±0.06ef	15.08±0.76g	
169.0		18.23±0.24d	17.78±0.20de	17.50±0.13def	
53		20.10±0.21c	21.17±0.30b	22.74±0.27a	
923.8	24.88±0.16a	21.34±0.50de	18.87±0.40g	19.06±0.30fg	85 °C 20 min
307.8		24.77±0.25a	22.01±0.78de	20.24±0.25ef	
169.0		24.79±0.14a	23.27±0.09bc	20.43±0.56e	
53		24.43±0.45ab	23.06±0.16cd	23.31±0.34bc	

注: 显著性差异分析是针对各个温度内而非温度间, 小写字母不同代表组间差异有统计学意义, $p < 0.05$.

2.3 加热温度对凝胶白度的影响

由表 2 可以看出, 加热温度为 95 °C 时, 所有样品间凝胶白度差异无统计学意义, 说明此加热温度下, KGM 添加量及 KGM 分子量对复合凝胶白度影响不大. 加热温度为 90 °C 时, 分子量为 169.0 kDa 和 53 kDa 的 KGM 与肌原纤维蛋白形成的复合凝胶白度明显高于对照组. 加热温度为 85 °C 时, 对照组凝胶白度明显高于添加 KGM 的凝胶白度, 但是随着加热温度的升高, 肌原纤维蛋白本身形成的凝胶白度也会降低. 这可能是因为 KGM 本身颜色就比较浅, 对复合凝胶白度影响不太明显, 但是与肌原纤维蛋白混合后加热可以提高复合凝胶的白度^[29]. 通过对比实验组与对照组可以得出, 随着温度的升高, KGM 的添加一定程度上提高了复合蛋白的凝胶强度.

2.4 加热温度对不同复合凝胶持水力的影响

由表 3 可以得出: 加热温度为 95 °C 时, 只有分子量为 53 kDa KGM 与肌原纤维蛋白形成的复合凝胶持水力低于对照组, 其他分子量 KGM-肌原纤维蛋白复合凝胶的凝胶持水力均显著高于对照组. 说明此加热温度下, 添加 KGM 有益于复合凝胶水分的保持. 这种现象可能是由于不同的加热温度下, 魔芋葡甘聚糖与肌原纤维蛋白发生的反应有所不同, 不同的反应对于水分的保持能力也有所不同. 很有可能魔芋葡甘聚糖与肌原纤维蛋白形成的复合凝胶空间结构对水的束缚力更大, 更有利于复合凝胶中水分的保持, 而经过辐照的魔芋葡甘聚糖, 结构发生变化, 分子链变短, 主要以填充的方式

存在于复合凝胶中,很可能这种作用方式吸附水分的能力比较差^[30].对于没有添加魔芋葡甘聚糖的肌原纤维蛋白,90℃加热条件形成的蛋白凝胶的持水力显著低于85℃和95℃形成的凝胶的持水力.这说明90℃加热形成的凝胶不利于水分的保持.

总结这些数据,不同加热温度、不同分子量的魔芋葡甘聚糖与肌原纤维蛋白形成的凝胶结构可能不同,所以凝胶持水力也有所不同.对于蛋白,95℃与85℃加热形成的凝胶持水力更好,对于添加魔芋葡甘聚糖的肌原纤维蛋白,低剂量辐照处理的魔芋葡甘聚糖更有利于复合凝胶水分的保持.

表 2 不同加热温度下 KGM 添加对凝胶白度的影响

Mw/kDa	0%	0.5%	1%	1.5%	加热条件
923.8	58.95±0.35a	60.54±0.56a	59.36±0.57a	59.60±0.10a	95℃ 20 min
307.8		60.43±0.49a	59.31±0.60a	60.46±0.16a	
169.0		60.00±0.61a	59.47±0.50a	60.56±0.74a	
53		60.74±0.70a	60.04±0.65a	59.60±0.66a	
923.8	59.87±0.26ef	56.16±0.18h	56.30±0.41h	55.89±0.52h	90℃ 20 min
307.8		59.00±0.40f	59.93±0.20def	57.73±0.27g	
169.0		60.97±0.14abc	60.87±0.34bcd	60.47±0.10bcde	
53		60.09±0.13cde	61.11±0.16ab	61.89±0.40a	
923.8	65.25±0.35a	60.96±0.09d	59.01±0.07efg	58.54±0.14g	85℃ 20 min
307.8		63.43±0.40bc	58.87±0.57fg	59.14±0.13efg	
169.0		64.85±0.42ab	60.41±0.54def	59.48±0.62defg	
53		62.45±0.05c	60.59±1.19de	62.80±0.31c	

注:显著性差异分析是针对各个温度内,而非温度间,小写字母不同代表组间差异有统计学意义, $p<0.05$.

表 3 不同加热温度下 KGM 对凝胶持水力的影响

Mw/kDa	0%	0.5%	1%	1.5%	加热条件
923.8	74.21±0.31g	78.63±0.52f	79.46±0.48f	95.75±0.35a	95℃ 20 min
307.8		81.85±0.45de	80.82±0.31e	84.11±0.33bc	
169.0		95.02±0.04a	84.36±0.49b	82.97±0.06cd	
53		53.54±0.50i	53.40±0.53i	58.42±0.52h	
923.8	59.42±0.52e	46.63±0.50g	93.60±0.50b	98.00±0.30a	90℃ 20 min
307.8		59.29±0.50e	71.68±0.66c	65.87±0.52d	
169.0		55.06±0.50f	65.83±0.53d	60.35±0.48e	
53		35.05±0.15h	46.92±0.95g	59.58±0.54e	
923.8	74.81±0.31d	81.28±0.43c	95.90±0.10b	98.72±0.23a	85℃ 20 min
307.8		54.12±0.73i	72.87±0.62e	50.97±0.30j	
169.0		60.26±0.35g	62.94±0.55f	60.55±0.66g	
53		44.05±0.85k	56.10±0.88h	80.78±0.60c	

注:显著性差异分析是针对各个温度内而非温度间,小写字母不同代表组间差异有统计学意义, $p<0.05$.

3 结 论

本文通过研究不同温度下,向肌原纤维蛋白中加入不同分子量的魔芋葡甘聚糖,探讨不同分子量的魔芋葡甘聚糖对肌原纤维蛋白凝胶性质的影响.不同的加热温度,KGM与肌原纤维蛋白发生反应的方式有所不同.923.8 kDa KGM降低复合凝胶的凝胶强度可能是由于魔芋葡甘聚糖的添加,导致肌原纤维蛋白内

部结构发生变化,蛋白间的相互作用变弱,而魔芋葡甘聚糖本身的量很少又不足以形成凝胶.经过辐照之后的魔芋葡甘聚糖与肌原纤维蛋白之间同时存在交联及填充,随着魔芋葡甘聚糖分子量变小,此时有部分小分子填充在蛋白质的空隙间,使得蛋白质凝胶强度一定程度上有所增高.加热温度为95℃时,所有样品间凝胶白度差异无统计学意义,随着温度的升高,KGM的添加一定程度上提高了复合蛋白的凝胶强度.此加热温度下,添加KGM有益于复合凝胶水分的保持.对于没有添加魔芋葡甘聚糖的肌原纤维蛋白,90℃加热条件形成的蛋白凝胶的持水力显著低于85℃和95℃形成的凝胶的持水力.在实验的这几种分子量的魔芋葡甘聚糖中,中等分子量的魔芋葡甘聚糖对凝胶强度、凝胶白度、持水力有显著的提高作用.

参考文献:

- [1] 汪之和.水产品加工与利用[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [2] 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.
- [3] 李明清,孔保华,王宇,等.菊粉对鲤鱼肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J].食品工业科技,2010,31(10):105-108.
- [4] 吴满刚,熊幼翎,陈洁.不同淀粉地肌纤维蛋白流变学性质和凝胶持水性的影响[J].食品工业科技,2010,31(10):92-94,97.
- [5] WU M G, XIONG Y L, CHEN J. Effects of Strch on the Texture and Microstructure of Myofibrillar Protein Gels [J]. Science and Technology of Food Industey, 2010, 31(9): 95-97.
- [6] 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,2016,32(1):129-135.
- [7] 黄洁,赵建新,黄建联,等.低水分马铃薯淀粉的理化性质及其对鱼糜制品凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2015,31(3):108-114.
- [8] CHIN K B, GO M Y, XIONG Y L. Konjac Flour Improved Textural and Water Retention Properties of Transdglutaminase-mediated, Heated-induced Porcine Myofibrillar Protein Gel; Effect of Salt Level and Transglutaminase Incubation [J]. Meat Science, 2008, 81(3): 565-572.
- [9] IGLESIAS-OTERO M A, BORDERIAS J, TOVAR C A. Use of Konjac Glucomannan as Additive to Reinforce the Gels from Low-quality Squid Surimi [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 101(3): 281-288.
- [10] 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.
- [11] 王良玉,陈小岚.复合凝胶在鱼糜制品中的应用研究[J].长江大学学报(自然科学版),2013,10(35):65-68.
- [12] 孙京新,徐幸莲,汤晓艳,等.转谷氨酰胺酶制剂对带鱼鱼糜制品质构特性的影响[J].中国食品学报,2004,4(1):35-38.
- [13] 娄忠伟.鲮鱼中转谷氨酰胺酶性质的研究及其对鱼糜凝胶化的影响[D].杭州:浙江工商大学,2015.
- [14] 贾丹,刘茹,刘明菲,等.转谷氨酰胺酶对鲮鱼糜热诱导胶凝特性的影响[J].食品科学,2013,34(9):37-41.
- [15] 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.
- [16] KÖK M S, ABDELHAMEED A S, ANG S, et al. A Novel Global Hydrodynamic Analysis of the Molecular Flexibility of the Dietary Fibre Polysaccharide Konjac Glucomannan [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(7): 1910-1917.
- [17] HO H V T, JOVANOVSKI E, ZURBAU A, et al. A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials of the Effect of Konjac Glucomannan, a Viscous Soluble Fiber, on LDL Cholesterol and the New Lipid Targets Non-HDL Cholesterol and Apolipoprotein B [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2017, 105(5): 1239-1247.
- [18] 耿盛荣,李新,廖涛,等.魔芋葡甘聚糖辐照改性产物结构分析与应用研究[J].北京工商大学学报,2011,29(2):33-36.
- [19] 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.
- [20] 罗扬,陆爱霞.魔芋葡甘聚糖的改性及其研究进展[J].食品研究与开发,2012,34(3):211-213.
- [21] 罗永康,周新华.鲢鱼蛋白质低温变形保护剂的研究[J].食品科学,1996,17(1):59-62.
- [22] KOBAYASHI Y, MAYER S G, PARK J W. FT-IR and Raman Spectroscopies Determine Structural Changes of Tilapia Fish Protein Isolate and Surimi under Different Comminution Conditions [J]. Food Chemistry, 2017, 226: 156-164.
- [23] 徐振林,杨幼慧,孙远明,等.辐照魔芋葡甘聚糖的应用研究[J].中国食品学报,2008,8(1):78-82.

- [24] YIN T, PARK J W. Effects of Nano-scaled Fish Bone on the Gelation Properties of Alaska Pollock Surimi [J]. Food chemistry, 2014, 150: 463-468.
- [25] 杨 振, 孔保华, 夏秀芳, 等. 魔芋粉对鲤鱼肌原纤维蛋白凝胶特性的影响 [J]. 食品科学, 2012, 33(11): 116-120.
- [26] WU M G, XIONG Y L, CHEN J, et al. Rheologica and Microstructural Properties of Porcine Myofibrillar Protein-Lipid Emulsion Composite Gels [J]. Journal of Food Science, 2009, 74(4): E207-217.
- [27] 王雅立. 魔芋葡甘聚糖分子稳定性研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [28] 汪 兰, 吴文锦, 乔 宇, 等. 冻藏条件下魔芋葡甘聚糖降解产物对肌原纤维蛋白结构的影响 [J]. 食品科学, 2015, 36(22): 244-249.
- [29] 何明祥. 脱乙酰基葡甘聚糖对鲮鱼肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(4): 1-9.
- [30] 李美英, 冯观萍, 徐振林, 等. 辐照处理对魔芋葡甘聚糖肠道益生作用的影响 [J]. 食品科学, 2018, 39(11): 83-88.

Textural Properties of Konjac Glucomannan-*Tilapia* Myofibrillar Protein Composite Gels

WANG Liang-yu

Fuqing Branch of Fujian Normal University, Fuqing Fujian 350300 China

Abstract: Konjac glucomannan (KGM) of different molecular weight (923.8, 307.8, 169.0 and 53.0 kDa) and different concentration (0, 0.5%, 1% and 1.5%) was added to 40 mg/mL *Tilapia* myofibrillar protein at 85 °C, 90 °C or 95 °C to prepare composite gels, and their gel strength, whiteness and water-holding capacity were investigated. The results showed that 307.8, 169.0 and 53.0 kDa KGM significantly improved the strength of the composite gels formed at 95 °C. The heat-induced composite gels at 85 °C had a higher whiteness. The addition of 923.8, 307.8 and 169.0 kDa KGM was beneficial to the water-holding capacity of the composite gels prepared at 95 °C. It can be concluded that KGM of medium molecular weight is more beneficial to increasing the strength and improving the water-holding capacity of the composite gels.

Key words: konjac glucomannan; *Tilapia*; myofibrillar protein; textural property; microstructure

责任编辑 周仁惠

