

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20220287

可得然胶与变性淀粉对鲮鱼鱼糜凝胶特性的影响

李璐, 丁昊, 霍栓, 郑捷

(天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 为了解决鲜鲮鱼鱼糜凝胶品质劣化的问题, 在其中添加木薯醋酸酯淀粉和可得然胶(curdlan gum, CDG), 通过测定鱼糜凝胶的质构特性、白度、持水力、感官评分、水分迁移变化规律和动态流变学特性, 研究木薯醋酸酯淀粉和CDG复配对鲜鲮鱼鱼糜凝胶品质的影响。结果表明: 添加木薯醋酸酯淀粉能显著提高鲮鱼鱼糜凝胶品质; CDG与木薯醋酸酯淀粉复配, 且添加量分别为6%和0.9%时, 可进一步改善鱼丸品质, 此时鱼丸的弹性、白度、持水力最大, 分别为0.91 mm、64.400、92.07%, 硬度和咀嚼性分别达到2 606.639 g、1 924.219 g, 结合水相对含量(P_{21})增大、自由水相对含量(P_{23})减小, 储能模量(G')增大。

关键词: 鲮鱼; 木薯醋酸酯淀粉; 可得然胶; 凝胶特性

中图分类号: S986.1 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2023)05-0008-07

Effects of Curdlan Gum and Modified Starch on Gel Properties of Cat Fish Surimi

LI Lu, DING Hao, HUO Shuan, ZHENG Jie

(College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: To solve the problem of quality deterioration of fresh cat fish surimi gel, cassava acetate starch and curdlan gum (CDG) were added to surimi gel in our current study. The effects of cassava acetate starch and CDG on the quality of fresh cat fish surimi gel were studied by measuring the texture properties, whiteness, water-holding capacity, sensory score, water migration change rule and dynamic rheology properties of surimi gel. The results showed that adding cassava acetate starch could significantly improve the gel quality. When CDG was mixed with cassava acetate starch at 6% and 0.9%, respectively, the quality of fish surimi could be further improved. At this time, the elasticity, whiteness and water retention of fish balls reached the maximum, which were 0.91 mm, 64.400 and 92.07%, respectively. Hardness and chewiness reached 2 606.639 g and 1 924.219 g, respectively. The relative content of bound water (P_{21}) increased, while the relative content of free water (P_{23}) decreased. The storage modulus (G') increased.

Key words: cat fish; cassava acetate starch; curdlan gum; gel properties

鲮鱼是优良的淡水鱼类养殖鱼种^[1], 其蛋白质含量高且脂肪含量丰富。鲮鱼养殖具有养殖周期短、养殖密度高、成本较低、养殖量和产量均较大等优势, 但鲮鱼的加工程度低。鱼丸是一类受欢迎的水产加工品, 其蛋白质含量较高, 脂肪与胆固醇含量较低, 并且食用方便, 具有良好的发展前景^[2]。目前鱼丸的加工原料主要是冷冻的鲢鱼鱼糜、带鱼鱼糜等, 上述鱼糜原料在加工中需要经过水洗、脱水、冻结等工

序, 不仅导致鱼糜的营养成分损失, 而且使鱼糜凝胶品质劣化。

淀粉被广泛用作食品添加剂, 可以有效改善鱼糜凝胶品质, 且成本较低^[3], 但原淀粉会出现淀粉糊老化回生现象, 影响鱼糜凝胶品质。因此, 研究者通过物理法、化学法或酶法处理对淀粉进行改性, 提高淀粉对鱼糜制品凝胶性质的改善程度^[4]。米红波等^[5]通过实验发现, 相较于原木薯淀粉, 添加1%羟丙基变

收稿日期: 2022-12-21; 修回日期: 2023-01-30

作者简介: 李璐(1995—), 女, 辽宁朝阳人, 硕士研究生; 通信作者: 郑捷, 正高级实验师, jane@tust.edu.cn

性淀粉能更有效改善白鲢鱼鱼糜凝胶品质。

食品胶作为重要的添加剂之一在食品工业中应用广泛,不仅能改变食品体系结构,而且可以提高产品的黏度以及促进凝胶形成^[6]。食品胶与鱼糜蛋白形成的网络结构可以互相交织从而改善鱼糜凝胶品质。食品胶具有亲水性,加入鱼糜后能使鱼糜凝胶网络锁住更多的水分子,可以提升鱼糜凝胶的强度和弹性^[7-8]。

本研究直接以鲜鲢鱼为原料,通过预处理、采肉、打浆等步骤加工鱼丸,在加工过程中不经过水洗,以最大程度保持鲢鱼的营养成分和风味,并通过添加木薯醋酸酯淀粉和可得然胶(CDG)解决产品的凝胶劣化问题。研究木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸质构、白度、持水力、水分分布以及动态流变学特性的影响,旨在为改性淀粉和可得然胶在工业化加工鱼丸中的应用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

鲜活河鲢鱼(体质量 1.2~1.5 kg/条,体长 36~40 cm)、葱、姜、鸡蛋、鸡胸肉,天津金元宝滨海农产品交易市场;胡椒粉,禹城市福佳食品有限公司;料酒,佛山市海天调味食品股份有限公司;食盐,中国盐业股份有限公司;氯化钙(食品级)、木薯醋酸酯淀粉(取代度 0.039 99、白度 94.9、粒度 16.7 μm、峰值黏度 540 Pa·s、pH 6.13)、可得然胶(食品级),河南万邦化工科技有限公司。

FP-3010WH 型破壁机,德国 Braun 公司;HH-S6 型数显恒温水浴锅,常州市金坛区白塔新宝仪器厂;MLS-3751L-PC 型立式压力蒸汽灭菌锅,浙江新丰医疗器械有限公司;TG16-WS 型高速台式离心机,湖南湘鑫仪器仪表有限公司;YG268 型色差仪,美国 3NH 公司;TA.XT. plus 型质构仪,英国 Stable Micro System 公司;Micro MR 型低场核磁共振(LF-NMR)仪,苏州纽迈分析仪器股份有限公司;MCR302 型动态流变仪,奥地利 Anton Paar 公司。

1.2 鱼糜凝胶的制备方法

根据肖旭华^[9]的实验方法略作修改。将鲜活鲢鱼宰杀,去头、去皮、剔骨、切块。将鱼块斩拌 3 min,使组织充分破碎,得到鱼糜。在鱼糜中(按鱼糜质量计)加葱 10%、姜 4%、胡椒粉 1.6%、料酒 7%、食盐 3%、蛋清 10%、鸡肉 12%,斩拌 5 min,然后添加木薯醋

酸酯淀粉(2%、4%、6%、8%、10%)和可得然胶(0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%),加入 15%冰水,继续斩拌 3 min。在斩拌过程中控制温度低于 10℃。将斩拌好的鱼糜成型后放入恒温水浴锅中,使用二段式方法(40℃加热 40 min,90℃加热 20 min)加热,取出后用冰水冷却至室温,真空包装,高压灭菌(121℃、10 min),置于 4℃冰箱中备用。

1.3 实验方法

1.3.1 木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸品质的影响

添加木薯醋酸酯淀粉 2%、4%、6%、8%、10%,以不添加木薯醋酸酯淀粉的鱼丸为对照组,研究木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼糜凝胶特性的影响,筛选木薯醋酸酯淀粉的最优添加量。

1.3.2 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸品质的影响

添加可得然胶 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%,木薯醋酸酯淀粉添加量为上述实验筛选出的最优添加量,以不添加可得然胶的鱼丸为对照组,研究木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼糜凝胶特性的影响。

1.4 品质测定方法

1.4.1 质构

将制备好的样品切成 20 mm × 20 mm × 10 mm 的长方体,室温下静置平衡 30 min 后置于物性分析平台上,开始测定。采用 Texture Profile Analysis(TPA)模式,每个试样测定 3 次,结果取平均值。参数设置:探头类型 P/100;测前速度 2 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 1 mm/s;压缩比 40%;触发点负载 5.0 g,触发类型 Auto;循环次数 2 次。数据选取硬度、弹性、咀嚼性。

1.4.2 持水力

将样品切成 2 g 左右的薄片(m_1),用两层滤纸包裹样品放入 50 mL 离心管中,3 500 r/min 离心 15 min,待离心结束后立即取下滤纸,准确称取质量(m_2);每组样品进行 3 次平行实验,取平均值。按照式(1)计算持水力(ω)。

$$\omega = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.3 白度

利用色差仪测定样品白度,用标准白板校正。将样品切成 5 mm 厚的薄片,测定其 L^* 、 a^* 、 b^* 并按照式(2)计算白度(W),每组样品进行 3 次平行实验,取平均值。

$$W = 100 - \left[(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2} \right]^{0.5} \quad (2)$$

1.4.4 水分迁移变化规律

参照 Pan 等^[10]的方法稍作修改。样品先放入油样, 单次采样, 再将样品置于核磁共振管底部, 随后将核磁共振管置于低场核磁共振测试腔体中开始测试。采用 CPMG 序列, 参数设置: SW = 200 kHz, RG1 = 20 dB, P1 = 6 μs, DRG1 = 3, TD = 285 292, TW = 3 500 ms, NS = 8, P2 = 12 μs, TE = 0.460 ms, NECH = 3 100。累计采样并在检测结束后利用仪器程序将所得数据进行反演, 得到样品横向弛豫时间 t_2 波谱图。 t_2 积分面积占总面积的百分比用 P_2 表示。每组样品进行 3 次平行实验, 取平均值。

1.4.5 动态流变学特性

参照 Hu 等^[11]的方法稍作修改。待测样品为斩拌后得到的鱼糜。使用直径为 35 mm 平板, 将待测样品均匀涂布于测试平台。参数设置: 采用温度扫描模式, 振荡频率 0.1 Hz, 应变 1.0%, 平板间距 1 mm, 升温扫描范围 20 ~ 100 °C, 升温速率 2.0 °C/min。测定升温过程中储能模量 (G') 的变化。每组样品进行 3 次平行实验, 取平均值。

1.4.6 感官评价

参照曲映红等^[12]的方法稍作修改。由 10 名具有食品专业背景的人组成评定小组, 以形态、弹性、吸水性、切面状态、口感为评定指标, 指标均采用 10 分制, 评分标准见表 1。

1.5 统计分析

采用 IBM SPSS Statistics 26.0 统计分析软件进行数据统计分析及显著性分析, 不同小写字母表示组

间差异显著 ($P < 0.05$)。

表 1 感官评价标准

Tab. 1 Standard of sensory evaluation

指标	评分标准	分值
形态	质地均匀、形态规则	8~10
	质地较均匀、成型较好	4~7
	质地不均匀、形态不规则	0~3
吸水性	表面干燥, 按压后无水析出	8~10
	表面略显湿润, 按压后有少量水析出	4~7
	表面水分明显	0~3
弹性	中指按压, 有明显凹陷不断裂, 且松手恢复原状	8~10
	中指按压, 凹陷不断裂, 但松手不恢复原状	4~7
	中指按压, 稍用力即破裂	0~3
切面状态	切面结构致密, 气孔均匀微小	8~10
	切面较致密, 无较大气孔	4~7
	切面状态松软, 气孔较大	0~3
口感	口感嫩滑、有韧性、不黏牙	8~10
	不过黏或过硬, 但口感较粗糙	4~7
	口感过硬或过黏	0~3

2 结果与分析

2.1 木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸品质的影响

2.1.1 木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸质构、白度的影响

木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸质构、白度的影响见表 2。由表 2 可以看出: 随着淀粉添加量的增加, 鱼糜凝胶的弹性无显著变化, 硬度和咀嚼性在一定范围内显著增加。这是由于原淀粉经乙酰化改性后, 溶胀能力增强, 加热时淀粉糊化, 结合水分子形成凝胶, 使其结构更加致密, 稳定性增强^[13-15]。继续提高淀粉添加量, 凝胶的硬度和咀嚼性略下降, 但不显著。

表 2 木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸质构、白度的影响

Tab. 2 Effects of added dosage of cassava acetate starch on texture and whiteness of fish balls

淀粉添加量/%	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/g	白度
0	1 540.882 ± 34.675 ^d	0.841 ± 0.001 ^a	1 097.780 ± 85.767 ^d	54.077 ± 0.929 ^d
2	1 722.018 ± 42.528 ^c	0.839 ± 0.003 ^a	1 235.272 ± 46.705 ^c	57.133 ± 0.355 ^c
4	1 848.046 ± 41.684 ^b	0.852 ± 0.017 ^a	1 369.356 ± 50.098 ^b	60.007 ± 0.749 ^b
6	1 972.931 ± 64.871 ^a	0.856 ± 0.018 ^a	1 481.981 ± 18.886 ^a	61.344 ± 0.212 ^a
8	1 915.073 ± 67.140 ^{ab}	0.858 ± 0.019 ^a	1 445.305 ± 61.622 ^{ab}	61.289 ± 0.157 ^a
10	1 883.999 ± 67.307 ^{ab}	0.844 ± 0.018 ^a	1 425.229 ± 49.200 ^{ab}	61.602 ± 0.239 ^a

添加适量木薯醋酸酯淀粉对鱼糜色泽的改善有明显效果。随着淀粉添加量的增加, 鱼糜凝胶的白度在一定范围内显著升高, 之后趋于稳定。由于醋酸酯淀粉中含有许多亲水基团, 使其与水分子缔合更加紧密, 导致淀粉糊的透光率增加, 从而使淀粉-鱼糜凝胶体系的白度增加^[16]。

2.1.2 木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸持水力的影响

持水力可以反映鱼糜凝胶维系水分的能力, 是评价鱼丸质量的重要指标。木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸持水力的影响如图 1 所示。鱼糜凝胶的持水力在一定范围内随着淀粉添加量的增加而显著上升 ($P < 0.05$); 当添加 6% 淀粉时, 鱼丸的持水力比对照

组提高 22.18%,这是由于淀粉颗粒填充在鱼糜蛋白质交联空隙中,使其网状结构变得更加致密^[17]。同时,由于木薯醋酸酯淀粉含有乙酰基,可以减弱分子间氢键的缔合作用,更有利于蛋白质与水的结合^[18]。

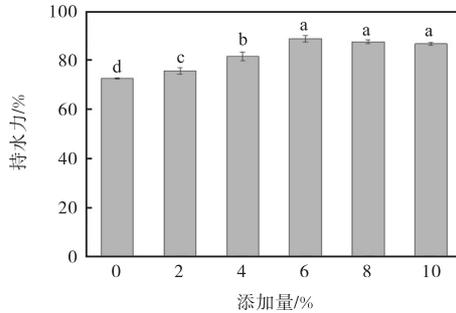


图 1 木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸持水力的影响

Fig. 1 Effects of added dosage of cassava acetate starch on water-holding capacity of fish balls

2.1.3 木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸感官品质的影响

淀粉对鱼糜制品的感官品质具有显著影响^[19]。木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸感官品质的影响,如图 2 所示。随着木薯醋酸酯淀粉添加量的增加,淀粉糊化后填充到鱼糜网络结构中,鱼丸的感官评分逐渐增高^[20],当添加量为 6%时感官评分最高。此时切面状态、吸水性和形态的分值与对照组相比分别提高了 4.5、4.8 和 4.2。随着淀粉继续增加,鱼丸的感官评分逐渐降低,这可能是由于淀粉添加过量,使其支链和直链的交联程度变得更为剧烈,使部分蛋白质延伸受

阻,从而影响鱼糜品质^[21]。

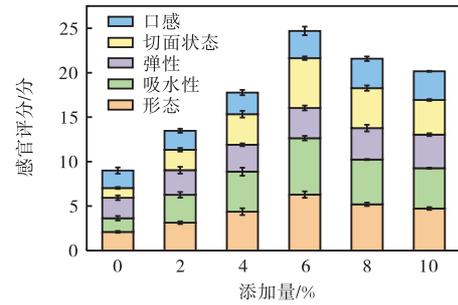


图 2 木薯醋酸酯淀粉添加量对鱼丸感官品质的影响

Fig. 2 Effects of added dosage of cassava acetate starch on sensory properties of fish balls

2.2 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸品质的影响

2.2.1 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配对鱼丸质构、白度的影响

木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸质构、白度的影响见表 3。随着可得然胶添加量的增加,鱼丸的硬度和咀嚼性均呈不断上升的趋势,这可能是由于淀粉和可得然胶在加热过程中膨胀填充于鱼糜凝胶网络并对蛋白质基质施加压力^[22]。初步证明淀粉与可得然胶有协同作用。弹性在可得然胶添加量为 0.9%时达到最大值,比对照组提高了 6.68%。这可能是由于随着加热温度的升高,可得然胶分子内及分子间氢键断裂,弹性活性链数量增加,故弹性显著增强^[23-24]。

表 3 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸质构、白度的影响

Tab. 3 Effects of the mixtures of cassava acetate starch and curdlan gum on texture and whiteness of fish balls

可得然胶添加量/%	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/g	白度
0	1 955.818 ± 40.884 ^d	0.853 ± 0.005 ^d	1 443.994 ± 69.610 ^d	61.309 ± 0.327 ^d
0.3	2 173.313 ± 100.995 ^d	0.873 ± 0.005 ^c	1 625.554 ± 54.684 ^c	62.249 ± 0.427 ^c
0.6	2 456.166 ± 54.079 ^c	0.891 ± 0.005 ^b	1 797.977 ± 65.942 ^b	63.280 ± 0.128 ^b
0.9	2 606.639 ± 27.970 ^b	0.910 ± 0.004 ^{ab}	1 924.219 ± 66.805 ^a	64.400 ± 0.121 ^a
1.2	2 718.002 ± 71.687 ^{ab}	0.908 ± 0.007 ^a	1 938.857 ± 37.636 ^a	64.033 ± 0.095 ^a
1.5	2 736.232 ± 44.346 ^a	0.895 ± 0.017 ^{ab}	2 027.870 ± 34.184 ^a	63.852 ± 0.482 ^{ab}

与对照组相比,添加可得然胶组鱼糜样品的白度均有所提高。研究^[25]表明,胶体体系大多具有光散射效应。因此,白度增加可能是由于可得然胶的光散射效应。

2.2.2 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸持水力的影响

鱼糜凝胶的保水能力受多方面因素的影响,例如水合、氢键和疏水相互作用等^[22]。木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸持水力的影响如图 3 所示。与对照组相比,添加 0.9%可得然胶可以使鱼丸的

持水力显著提高 ($P < 0.05$)。这可能是由于可得然胶会在加热过程中吸收游离水,从而与淀粉共同作用加固了凝胶体系的网络结构^[26]。继续添加可得然胶,持水力变化不显著,且略有降低。这可能是当可得然胶添加量上升到一定程度时,具有稀释作用,使肌原纤维蛋白中水结合位点数量减少,蛋白质与水分子之间的相互作用减弱,使持水力最终略有下降^[27]。

2.2.3 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸感官品质的影响

木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸感

官品质的影响如图4所示。

添加可得然胶后,由于木薯变性淀粉与亲水胶体形成复合的凝胶骨架使结构更为致密,各实验组鱼丸的弹性与口感分值与对照组(仅添加木薯醋酸酯淀粉)相比均显著增加^[14]。添加0.9%可得然胶组感官评分最高,口感、弹性和吸水性分值较对照组分别增加了4.5、5.6、3.4。切面状态和形态评分也略有增加但不显著。

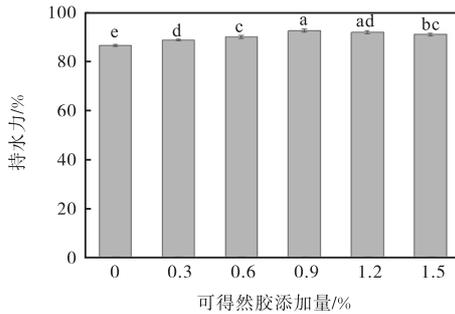


图3 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸持水力的影响

Fig.3 Effects of the mixtures of cassava acetate starch and curdlan gum on water-holding capacity of fish balls

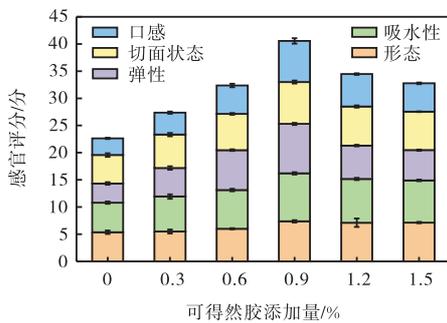


图4 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸感官品质的影响

Fig.4 Effects of the mixtures of cassava acetate starch and curdlan gum on sensory of fish balls

2.2.4 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸水分分布的影响

LF-NMR 技术可以表征凝胶基质中水的迁移和分布情况^[28]。木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例

对鱼丸水分分布的影响如图5所示。木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸横向弛豫时间 t_2 的影响见表4。鱼糜凝胶 t_2 图谱在 0.01 ~ 10 000 ms 横向弛豫时间内分布了4个典型峰: t_{21-1} (0.1 ~ 1 ms)、 t_{21-2} (> 1 ~ 10 ms)、 t_{22} (> 10 ~ 300 ms)、 t_{23} (> 300 ~ 1 000 ms)。 t_{21-1} 与 t_{21-2} 均代表结合水; t_{22} 代表不易流动水,它是鱼糜凝胶中最主要的水分; t_{23} 代表自由水^[29]。

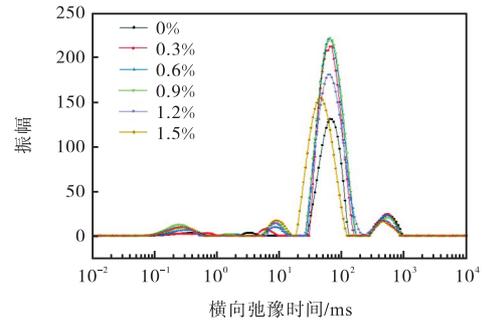


图5 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸水分分布的影响

Fig.5 Effects of the mixtures of cassava acetate starch and curdlan gum on water distribution of fish balls

研究^[30]表明,被束缚的氢离子越多或自由度越小,弛豫时间 t_2 越短, t_2 谱上的峰值越靠左。由表4可知:随着可得然胶添加量的增加, t_{22} 和 t_{23} 逐渐减小,峰值左移,这表明不易流动水、自由水与鱼糜结合的更加紧密。在此过程中,鱼糜凝胶中的水分分布情况发生变化。

木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸中不同类型水分含量 P_2 的影响见表5。随着可得然胶添加量的增加, P_{t22} 先增大后减小,这与持水力结果一致; P_{t23} 逐渐减小,即自由水含量减少; P_{t21} 显著增大,即结合水含量增加。添加可得然胶锁住了鱼糜中更多的水分。原本呈折叠状态的鱼糜肌原纤维蛋白在加热过程中展开,使嵌在蛋白质分子内部的疏水性氨基酸暴露^[25]。添加可得然胶后,它与暴露的疏水性基团结合,使鱼糜表面疏水性降低,增加了蛋白质结构的稳定性。

表4 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸横向弛豫时间 t_2 的影响

Tab.4 Effects of the mixtures of cassava acetate starch and curdlan gum on transverse relaxation time t_2 of fish balls

可得然胶添加量/%	t_{21-1}/ms	t_{21-2}/ms	t_{22}/ms	t_{23}/ms
0	0.370 ± 0.072 ^b	3.181 ± 0.520 ^c	68.686 ± 0.081 ^a	539.760 ± 3.537 ^a
0.3	0.261 ± 0.050 ^b	5.941 ± 1.039 ^b	67.728 ± 0.917 ^a	525.263 ± 3.626 ^b
0.6	0.322 ± 0.068 ^b	8.407 ± 0.912 ^a	62.950 ± 2.179 ^b	505.263 ± 3.763 ^c
0.9	0.691 ± 0.087 ^a	7.317 ± 0.732 ^{ab}	62.950 ± 0.666 ^b	471.375 ± 9.802 ^d
1.2	0.261 ± 0.023 ^b	8.407 ± 1.617 ^a	62.950 ± 0.627 ^b	439.760 ± 5.899 ^c
1.5	0.280 ± 0.102 ^b	9.011 ± 0.424 ^a	52.950 ± 4.018 ^c	421.587 ± 1.631 ^f

表5 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸中不同类型水分含量 P_2 的影响

Tab. 5 Effects of the mixtures of cassava acetate starch and curdlan gum on different moisture type content of fish balls

可得然胶添加量/%	$P_{21}/\%$	$P_{22}/\%$	$P_{23}/\%$
0	3.554 ± 0.002^f	84.215 ± 0.341^d	12.231 ± 0.253^a
0.3	3.579 ± 0.007^e	88.599 ± 0.010^b	7.921 ± 0.075^b
0.6	5.101 ± 0.013^d	88.659 ± 0.008^{ab}	6.276 ± 0.015^c
0.9	5.687 ± 0.009^c	88.987 ± 0.012^a	6.133 ± 0.003^c
1.2	6.325 ± 0.016^b	88.751 ± 0.020^{ab}	5.038 ± 0.075^d
1.5	6.377 ± 0.003^a	87.088 ± 0.278^c	4.410 ± 0.085^e

综合来看,添加6%木薯醋酸酯淀粉和0.9%可得然胶可显著改善鱼糜的凝胶性质。

2.2.5 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸动态流变学特性的影响

储能模量(G')又称弹性模量,代表了物质的弹性特征,可以反映蛋白质凝胶网络结构的形成情况, G' 越高,动态流变学特性越好,凝胶性越好^[31]。木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸动态流变学特性的影响如图6所示。

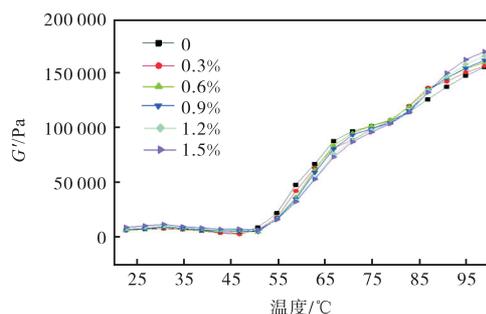


图6 木薯醋酸酯淀粉与可得然胶复配比例对鱼丸动态流变学特性的影响

Fig. 6 Effects of cassava acetate starch and curdlan gum on dynamic rheological properties of fish balls

由图6可知:在20~30℃范围内,随着温度的升高 G' 升高,且高于对照组(只添加淀粉),这可能是由于可得然胶分子膨胀使分子间或分子内的氢键断裂^[32]。随后 G' 开始下降,当温度上升到52℃左右时, G' 达到最低点。55~100℃,处理组鱼糜的 G' 随着温度上升大幅增加,且最终均高于对照组,这是由于鱼糜通过可得然胶分子之间的疏水作用和可得然胶与蛋白质的协同作用形成了热不可逆凝胶^[33]。可得然胶在促进鱼糜凝胶形成中发挥了积极作用^[26]。

3 结 语

在鲶鱼鱼糜中添加6%的木薯醋酸酯淀粉可明显提高其凝胶体系的硬度、咀嚼性,增强其持水力,提

高感官品质。木薯醋酸酯淀粉和可得然胶复配有助于进一步改善鱼糜凝胶的品质,且两者的添加量分别为6%和0.9%时效果最好,复配后鱼丸弹性显著改善,硬度、咀嚼性也有所提升;持水力增强;感官品质改善; t_{22} 、 t_{23} 发生迁移,鱼糜凝胶中水分自由度降低,自由水减少,结合水增多,凝胶结构变得致密; G' 显著升高。因此,木薯醋酸酯淀粉和可得然胶复配有效解决了鲶鱼鱼糜凝胶劣化的问题,为鲶鱼鱼丸的开发和品质提升提供了一定的理论参考和技术支撑。

参考文献:

- [1] PROKESOVA M, DROZD B, KOUIL J, et al. Effect of water temperature on early life history of African sharp-tooth catfish *Cllarias gariepinus* [J]. Journal of applied ichthyology, 2015, 31 (2) : 18-20.
- [2] LIU Y, LI X, CHEN Z, et al. Characterization of structural and functional properties of fish protein hydrolysates from surimi processing by-products [J]. Food chemistry, 2014, 151 : 459-465.
- [3] HUNT A, GETTY K J K, PARK J W. Roles of starch in surimi seafood: a review [J]. Food reviews international, 2009, 25 (4) : 299-312.
- [4] 米红波,王聪,仪淑敏,等. 淀粉在鱼糜制品中的应用研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2018, 44 (1) : 291-295.
- [5] 米红波,王聪,苏情,等. 变性淀粉对白鲢鱼鱼糜凝胶特性和蛋白构象的影响 [J]. 中国食品学报, 2021, 21 (1) : 72-80.
- [6] 钟焕贵. 变性淀粉与食品胶体协同作用的研究 [D]. 广州:华南理工大学, 2009.
- [7] 于琴芳. 提高鲢鱼鱼糜凝胶强度的工艺研究 [D]. 长沙:湖南农业大学, 2012.
- [8] 邱春强,张坤生,任云霞. 超高压和瓜尔胶对鸡肉盐溶蛋白凝胶的影响 [J]. 核农学报, 2014, 28 (3) : 433-439.
- [9] 肖旭华. 米渣及米渣蛋白对鲢鱼糜凝胶特性和冻融稳定性的影响 [D]. 武汉:华中农业大学, 2014.
- [10] PAN T, GUO H, LI Y, et al. The effects of $CaCl_2$ on the

- gel properties of porcine myosin-K-carrageenan mixtures[J]. Food hydrocolloids, 2017, 63: 467-477.
- [11] HU Y, LIANG H, XU W, et al. Synergistic effects of small amounts of konjac glucomannan on functional properties of egg white protein[J]. Food hydrocolloids, 2016, 52(3): 213-220.
- [12] 曲映红, 王锋, 施文正. 感官评定在鱼糜制品工艺优化中的应用[J]. 山东化工, 2018, 47(22): 122-124.
- [13] 鲍佳彤, 宁云霞, 杨淇越, 等. 不同淀粉种类对未漂洗革胡子鲶鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(4): 27-33.
- [14] 王聪. 淀粉和亲水胶体对白鲢鱼鱼糜凝胶特性的增效作用研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
- [15] MBOUGUENG P D, TENIN D, SCHER J, et al. Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches[J]. Journal of food engineering, 2012, 108(2): 320-326.
- [16] 李丹辰, 陈丽娇, 梁鹏, 等. 木薯淀粉与木薯变性淀粉鱼糜加工性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(8): 60-64.
- [17] MA X S, YI S M, YU Y M, et al. Changes in gel properties and water properties of *Nemipterus virgatus* surimi gel induced by high-pressure processing[J]. Food science and technology, 2015, 61(2): 377-384.
- [18] 孔刘娟, 梁艳, 谭琮萍, 等. 醋酸酯淀粉对鱼糜肌原纤维蛋白凝胶性质研究[J]. 食品工业, 2016, 37(8): 60-64.
- [19] 姚志琴. 鱼滑类预凝胶鱼糜制品的制备研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015.
- [20] 周阳, 胥伟, 陈季旺, 等. 小麦淀粉和马铃薯淀粉对鱼丸品质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(2): 29-33.
- [21] 常莉莉, 崔浩哲, 张志慧, 等. 海水鱼丸加工工艺及外源添加剂对高温杀菌后鱼丸品质保持研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23): 195-202.
- [22] WU C H, YUAN C H, CHEN S G, et al. The effect of curdlan on the rheological properties of restructured ribbonfish (*Trichiurus* spp.) meat gel[J]. Food chemistry, 179: 222-231.
- [23] 刘霄莹, 张润峰, 潘玉雪, 等. 可得然胶基水凝胶及其应用研究进展[J/OL]. 食品科学: 1-14. [2022-12-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20221208.1220.006.html>.
- [24] HUNDSCHELL C S, WAGEMANS A M. Rheology of common uncharged exopolysaccharides for food applications[J]. Current opinion in food science, 2019, 27: 1-7.
- [25] MI H, LI Y, WANG C, et al. The interaction of starch-gums and their effect on gel properties and protein conformation of silver carp surimi[J]. Food hydrocolloids, 2021, 112: 106290.
- [26] WEI Y, ZHANG T, YU F Q, 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, 2018, 21(1): 1778-1788.
- [27] 于晶超, 赵冰, 王守伟, 等. 可得然胶对肌原纤维蛋白理化和凝胶性质的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 27-38.
- [28] ZHANG Z, REGENSTEIN J M, ZHOU P, et al. Effects of high intensity ultrasound modification on physicochemical property and water in myofibrillar protein gel[J]. Ultrasonics sonochemistry, 2017, 34: 960-967.
- [29] 林晶晶, 林向阳, 吴佳, 等. 利用核磁共振技术研究鱼糜制品在储藏过程中的水分变化[J]. 食品科学, 2011, 32(19): 46-49.
- [30] LUO H B, GUO C, LIN L, et al. Combined use of rheology, LF-NMR, and MRI for characterizing the gel properties of hairtail surimi with potato starch[J]. Food and bioprocess technology, 2020, 13(4): 637-647.
- [31] 吕梁玉, 罗华彬, 吕鸣春, 等. 电子束辐照对梅鱼鱼糜化学作用力、流变及其凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 7-12.
- [32] KONNO A, OKUYAMA K, KOREEDA A, et al. Molecular association and dissociation in formation of curdlan gels[J]. Food hydrocolloids, 1994, 30(2): 113-118.
- [33] FUNAMI T, FNAMI M, YADA H, et al. A rheological study on the effects of heating rate and dispersing method on the gelling characteristics of curdlan aqueous dispersions[J]. Food hydrocolloids, 2000, 14(5): 509-518.

责任编辑: 郎婧