

可得然胶对高温杀菌鱼糜凝胶特性的影响

Effects of curdlan on gel properties of high-temperature sterilization surimi

韩静文^{1,2,3}

姜启兴^{1,2,3}

许艳顺^{1,2,3}

于沛沛^{1,2,3}

夏文水^{1,2,3}

HAN Jing-wen^{1,2,3} JIANG Qi-xing^{1,2,3} XU Yan-shun^{1,2,3} YU Pei-pei^{1,2,3} XIA Wen-shui^{1,2,3}

(1. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122;

3. 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 3. Collaborative

Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:为提高高温杀菌鱼糜制品的品质,研究可得然胶添加量对120℃杀菌白鲢鱼糜凝胶特性的影响。通过测定可得然胶-鱼糜复合凝胶的动态流变性质、破断力、破断距离、凝胶强度、凝聚性、咀嚼性、色度、持水性、TCA-可溶性肽和SDS-PAGE电泳等指标,探究可得然胶对鱼糜流变特性、质构特性、色度、持水能力和蛋白组成的影响。结果表明,添加可得然胶可以提高鱼糜凝胶的流变特性,显著减少TCA-可溶性肽含量($P<0.05$),从而提高鱼糜凝胶的热稳定性和持水性。可得然胶对鱼糜蛋白组成没有影响,但会降低其白度值。可得然胶添加量为6 g/kg时,改善鱼糜凝胶品质的效果最好,能显著增强鱼糜的凝胶强度和流变特性($P<0.05$)。

关键词:可得然胶;高温;鱼糜;凝胶特性;蛋白

Abstract: In order to improve the quality of sliver carp surimi, the effects of curdlan with different concentrations (0~10 g/kg) on the gel properties of surimi after sterilization at 120℃ for 10 min were investigated. Rheological measurement, breaking force, deformation, gel strength, cohesiveness, chewiness, color, water-holding capacity (WHC), TCA-soluble peptide content and SDS-PAGE electrophoresis of obtained curdlan-surimi gel were determined as the quality indexes for evaluating the rheological properties, textural properties, color, WHC and protein composition of surimi. The results showed that addition of curdlan could increase rheological properties and significantly reduced the content of TCA-soluble peptide ($P<0.05$), thereby improving thermal stability and water-holding capacity of surimi. Curdlan had no effect on surimi protein composition

and could decrease the whiteness. The optimized content of curdlan was 6 g/kg, which had positive effect of the gel quality and could significantly improve gel strength and rheological properties ($P<0.05$).

Keywords: curdlan; high-temperature; surimi; gel properties; protein

鱼糜制品是以新鲜鱼肉或者冷冻鱼糜为原料,加入食盐和其他配料,经过斩拌、擂溃、加热成型等工艺流程制成的一种凝胶态食品^[1]。它是我国重要的水产加工产品之一,因其高蛋白质、低脂肪,开袋即食,在全世界范围内深受消费者欢迎^[2]。传统的鱼糜制品主要以海洋鱼类为原料,但近年来,淡水鱼产量迅速增长,且价格相对低廉,在水产加工行业具有良好的发展前景。目前,市场上销售的鱼糜制品以冷藏或冻藏的方式为主,存在货架期短、运输和贮藏成本高等问题。鱼糜制品经过高温灭菌(121.1℃)处理后可达到商业无菌,实现常温流通和销售^[3]。但是高强度的热处理(≥ 100 ℃)会导致鱼糜制品蛋白质的三、四级结构遭到破坏,蛋白质因共价结合而发生聚集现象,网状骨架结构变得脆弱,孔隙变大,从而使凝胶强度、硬度等质构指标显著下降^[4]。尤其是对淡水鱼糜而言,产品凝胶性能本身就比海水鱼糜的差,因此,如何提高高温杀菌的淡水鱼糜制品的凝胶性能成为了近年来的研究热点。

可得然胶是一种新型的具有独特性质的微生物胞外多糖,由葡萄糖单体通过线性 β -(1,3)糖苷键链接而成,具有高稳定性和水不溶性的特点。可得然胶能够根据不同的热处理条件形成质地不同、物理性稳定和持水性的凝胶^[5]。在55~80℃加热处理时,可得然胶的中性水溶液可形成热可逆凝胶;当加热温度高于80℃时,可形成高强度热不可逆凝胶,因此在食品加工行业具有广泛和不可替代的应用价值^[6-7]。刘文娟等^[8]发现一定量的可得然胶能够显著改善

基金项目:国家大宗淡水鱼体系项目(编号:CARS-45-26);“江苏省食品安全与质量控制协同创新中心”项目

作者简介:韩静文,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:姜启兴(1977—),男,江南大学副教授,博士。

E-mail: qixingj@163.com

收稿日期:2018-01-05

带鱼肌肉蛋白凝胶的质构特性,使得微观结构变得更加致密均匀。李丹辰等^[9]发现在冷冻鱼浆中添加0.6%可得然胶可以显著提高鱼丸品质,提高鱼丸的亮度、持水性能和凝胶特性。马瑶兰等^[10]研究发现,在3种不同加热模式下,可得然胶的添加可以改善经过高温处理的白鲢鱼糜的质构特性,其影响主要与凝胶骨架结构的转变以及亲水胶体-鱼糜蛋白弱键相互作用有关。

但是,目前关于可得然胶在高温杀菌鱼糜中的应用研究主要是围绕改善鱼糜质构特性展开的^[8-10],而关于其改善的作用机制尚未见报道。本研究拟以冷冻白鲢鱼糜为原料,在研究可得然胶对高温杀菌鱼糜制品凝胶特性影响的同时,通过对鱼糜凝胶储能模量 G' 分析,并结合SDS-PAGE电泳及TCA溶解肽分析,对其改善鱼糜凝胶品质的机理进行深入探讨,以便更好地设计配方方案,为提高高温杀菌鱼糜凝胶制品的品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

冷冻白鲢鱼糜:AAA级,水分含量 $(77.0 \pm 0.5)\%$, pH 6.8~7.4,白度50~53,凝胶强度400~550 g·cm,湖北省洪湖市井力水产食品有限公司,-18℃冻藏备用;

食盐:无锡市欧尚超市;

可得然胶:江苏一鸣生物股份有限公司;

其它试剂:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

料理机:JYL-D020型,九阳股份有限公司;

真空料理机:MSM-898型,中山美仕美电器有限公司;

恒温水浴锅:DK-8AXX型,上海森信实验仪器有限公司;

双罐式全自动杀菌锅:700*800型,温州市龙强轻工机械有限公司;

物性分析仪:TA.XT2i型,英国Stab. Micro Systems公司;

高精度分光测色仪:UltraScan Pro1166型,美国Hunterlab公司;

流变仪:DHR-3型,美国TA公司。

1.2 方法

1.2.1 鱼糜凝胶的制备 将冷冻鱼糜在4℃条件下解冻24 h,切成小块(2 cm×2 cm×2 cm),置于料理机中斩拌4 min。加入添加量为总质量2.5%的食盐,斩拌5 min。添加可得然胶(0,2,4,6,8,10 g/kg),继续斩拌5 min。在斩拌过程中不断加入冰水,使得最终水分含量控制在 $(78.0 \pm 0.5)\%$ 。斩拌好的鱼糜复合溶胶放入真空搅拌机中边搅拌边真空脱气,真空度 ≥ 0.08 MPa,脱气时间2 min。

(1)取部分鱼糜复合溶胶在4℃下冷藏,用来测定动态流变性质。

(2)另一部分脱气后的鱼糜灌入直径为25 mm的塑料肠衣中,打卡封口。先采用两段式加热法将其凝胶化,40℃水浴加热30 min后90℃水浴加热30 min,最后120℃下高

压杀菌10 min。高温杀菌完成后,迅速用冰水冷却,放于4℃备用待测。

1.2.2 动态流变性质的测定 采用DHR-3型应力控制流变仪进行测定^[11]。将制备好的添加物-鱼糜复合溶胶置于流变仪的平台上,使用直径40 mm的平行板压制,狭缝设为1 mm,用二甲基硅油进行密封,以防止水分挥发。在线性黏弹区的范围内,进行动态温度扫描。升温速率5.0℃/min,升温扫描范围5~120℃,应变1%,频率1 Hz,测定储能模量 G' 的变化曲线。

1.2.3 凝胶强度的测定 采用TA.XT Plus型物性分析仪进行测定,将制备好的鱼糜凝胶样品切成2.0 cm长的圆柱体,在室温(25℃)下平衡2 h,每组样品重复6次。采用直径为5.0 mm的P/5s球形探头穿刺样品,并记录破断强度(g)和破断力(mm),两者乘积表示为凝胶强度(g·cm)。测试参数:测前、测中和测后速度均为1 mm/s,压缩比50%,触发力5.0 g。

1.2.4 TPA的测定 采用TA.XT Plus型物性分析仪进行测定,将制备好的鱼糜凝胶样品切成2.0 cm长的圆柱体,在室温(25℃)下平衡2 h,每组样品重复6次。TPA模式下,选取P/36R圆柱形探头,测前、测中和测后速度均为1 mm/s,压缩比50%。

1.2.5 白度的测定 采用UltraScan Pro1166型高精度分光测色仪进行测定,将制备好的鱼糜凝胶样品切成5 mm厚的圆柱体,装入自封袋中,测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。按式(1)计算白度值(W)。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}, \quad (1)$$

式中:

W——白度值;

L^* ——亮度;

a^* ——红度(+ a^* 表示样品偏红,- a^* 表示样品偏绿);

b^* ——黄度(+ b^* 表示样品偏黄,- b^* 表示样品偏蓝)。

1.2.6 持水性的测定 取10 g左右制备好的鱼糜样品至50 mL离心管中,准确称重为 W_1 ,将离心管置于冷冻离心机中10 000×g离心10 min。取出后将离心管倒置弃去水溶液,用滤纸将残余水分吸干,准确称重,记为 W_2 。离心管重为 W_0 。按式(2)计算持水性。

$$WHC = (W_2 - W_0) / (W_1 - W_0) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

WHC——持水性,%;

W_0 ——离心管质量,g;

W_1 ——离心管和鱼糜样品质量,g;

W_2 ——离心后的离心管和鱼糜样品质量,g。

1.2.7 TCA-可溶性肽含量的测定 取2 g左右制备好的鱼糜样品至18 mL提前预冷的5% TCA溶液中,均质,置于冷冻离心机中10 000×g离心15 min。根据lowry法^[12]测定上清液中的TCA可溶性肽含量,结果用 μmol 酪氨酸/g样品表示。

1.2.8 SDS-PAGE 凝胶电泳 根据文献[13]。
1.2.9 数据处理数据分析 采用 SPSS 11.0 (SPSS Inc., Chicago, IL), 多组数据差异性分析采用单因素 ANOVA 两两比较的 Duncan 模型, 显著水平为 $P<0.05$ 。采用 Imagelab 对电泳图谱中主要条带灰度进行相对定量分析。图表均采用 OriginPro 8.6 绘制。

2 结果与分析

2.1 可得然胶对鱼糜复合凝胶流变特性的影响

储能模量 G' 能反映黏弹性物质的弹性, 用来研究对鱼糜凝胶流变特性方面的影响。可得然胶对鱼糜复合凝胶升温过程中储能模量的影响见图 1。

由图 1 可知, 随着温度的升高, 可得然胶-鱼糜复合凝胶的 G' 经历 3 个变化阶段, 总体呈现先缓慢上升后快速下降再逐步上升的趋势, 这主要与肌原纤维蛋白的不同组分具有不同的变性温度有关。在 15~25 °C 时, 产生的第一个峰值是因为肌球蛋白重链变性聚集, 溶胶体系形成了一个相对较弱的凝胶网络^[14]。随后由于肌球蛋白轻链亚基发生解离, 引起分子黏性增强^[15], 导致 G' 迅速下降, 在 55~60 °C 时出现最小值, 且可得然胶的添加量越多, 峰值出现的越晚, 表明蛋白变性温度越高。当温度超过 60 °C 后, G' 再次增加, 这主要因为肌球蛋白重链和肌动球蛋白发生变性交联, 形成了致密、热不可逆的凝胶网络^[16-17]。当温度达到 110 °C 后, 空白组因未添加可得然胶, 高温加热下肌球蛋白聚集, 网状结构遭到破坏^[18], G' 迅速减小。添加可得然胶后, 形成了可得然胶-鱼糜蛋白的交联作用, 因此 G' 继续升高。综合来看, 可得然胶组的趋势和空白组的类似, 但 G' 值都高于空白组, 且随着可得然胶添加量的增加, G' 值呈升高的趋势, 105 °C 后, 6 g/kg 的添加量值高于 8 g/kg 的, 表明可得然胶能够有助于高温杀菌鱼糜凝胶网络的形成, 提高蛋白热稳定性。

2.2 可得然胶对高温杀菌鱼糜质构特性的影响

不同添加量的可得然胶能够影响鱼糜的质构特性。破断力、破断距离、凝胶强度、凝聚性及咀嚼性的结果见表 1。破断力可反映鱼糜凝胶的硬度, 破断距离可反映鱼糜凝胶的弹性。凝胶强度是破断力和破断距离的乘积, 可反映鱼糜的凝胶特性。咀嚼性是结合硬度、凝聚力和弹性的综合指标。凝聚性可反映细胞间结合力的大小^[19]。一般而言, 鱼糜制品凝胶强度越大, 品质越好。

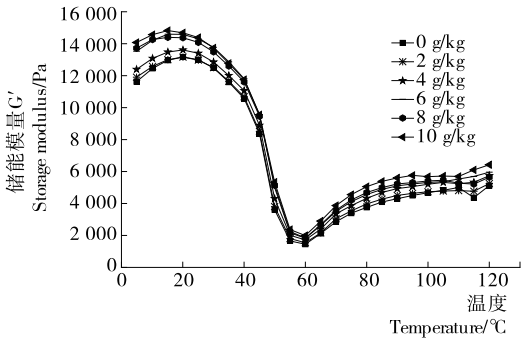


图 1 可得然胶对鱼糜复合凝胶在升温过程中储能模量(G')的影响

Figure 1 Effects of curdlan on the storage modulus (G') of surimi gels during increasing temperature

由表 1 可知, 随着可得然胶添加量从 0 g/kg 增加到 6 g/kg 时, 鱼糜凝胶的破断力和凝胶强度显著增强, 并在添加量为 6 g/kg 时达到最大, 分别比空白组提高了 34.1% 和 32.7%。可得然胶分子间和分子内能够形成氢键和水合作用^[20], 使得破断力和凝胶强度增大, 与 Chen 等^[21]的研究结果一致, 经高压处理的鸭肉凝胶, 添加 1% 可得然胶可改善其凝胶结构和硬度。破断力和凝胶强度随后呈现先缓慢降低后继续增加的趋势, 在 8 g/kg 添加量时相对较小, 但总体稳定, 变化不大。有研究^[22]指出, 可得然胶自身螺旋的分子结构可以吸收 100 倍于自身质量的水分, 导致鱼糜凝胶质构特性的破坏。破断距离和凝聚性没有显著变化 ($P>0.05$)。咀嚼性变化趋势和凝胶强度一致, 但 10 g/kg 添加量的咀嚼性过大, 与空白组相比存在显著性差异 ($P<0.05$), 凝胶质构过于紧实, 咀嚼困难, 导致感官上不易被接受。咀嚼性的数值越小, 咀嚼时所需作用力越小, 产品口感也就越好^[23]。因此, 添加 6 g/kg 的可得然胶可解决鱼糜经高温杀菌后的质构软烂问题, 改善凝胶强度。

2.3 可得然胶对高温杀菌鱼糜色度的影响

色度是鱼糜凝胶的重要指标之一, 影响消费者对产品的喜爱程度^[24]。可得然胶对高温杀菌鱼糜凝胶色度的影响见表 2。

由表 2 可知, 可得然胶加入鱼糜后, 亮度 L^* 和白度 W 均小于空白组, 且相互之间差异不显著 ($P>0.05$)。随着添加量的增加亮度 L^* 和白度 W 呈现先降低后增加的趋势, 可

表 1 可得然胶对高温杀菌鱼糜质构特性的影响[†]

Table 1 Effects of curdlan on the textural properties of high-temperature sterilization surimi gels ($n=6$)

添加量/(g · kg ⁻¹)	破断力/g	破断距离/cm	凝胶强度/(g · cm)	凝聚性	咀嚼性
0	219.28±13.95 ^A	0.92±0.02 ^A	201.30±14.90 ^A	0.77±0.01 ^A	1 717.92±108.48 ^A
2	259.09±31.26 ^{AB}	0.88±0.09 ^A	227.28±39.78 ^A	0.77±0.01 ^A	1 949.27±163.47 ^{AB}
4	288.32±32.81 ^{AB}	0.89±0.05 ^A	255.86±36.27 ^A	0.77±0.02 ^A	2 091.73±139.17 ^B
6	294.15±12.20 ^B	0.91±0.04 ^A	267.03±15.85 ^A	0.78±0.02 ^A	2 157.02±10.60 ^{BC}
8	290.67±24.41 ^B	0.89±0.04 ^A	257.94±28.48 ^A	0.77±0.02 ^A	2 136.99±168.69 ^{BC}
10	305.58±20.56 ^B	0.90±0.02 ^A	274.29±21.72 ^A	0.76±0.02 ^A	2 416.35±28.29 ^C

[†] 同列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 2 可得然胶对高温杀菌鱼糜色度的影响[†]

Table 2 Effects of curdlan on the color parameters of high-temperature sterilization surimi gels ($n=6$)

添加量/(g·kg ⁻¹)	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>W</i>
0	79.58±0.84 ^A	-1.65±0.13 ^A	3.42±0.31 ^A	79.23±0.83 ^A
2	78.68±1.05 ^{AB}	-1.65±0.17 ^A	3.28±0.43 ^A	78.36±1.05 ^{AB}
4	78.03±0.22 ^B	-1.73±0.07 ^A	3.54±0.29 ^A	77.68±0.16 ^B
6	77.92±0.59 ^B	-1.68±0.04 ^A	3.09±0.11 ^A	77.64±0.59 ^B
8	77.69±0.09 ^B	-1.71±0.04 ^A	3.56±0.29 ^A	77.34±0.11 ^B
10	78.09±0.65 ^B	-1.58±0.07 ^A	3.26±0.39 ^A	77.79±0.61 ^B

[†] 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

能是可得然胶含有黄色色素的原因。程珍珠等^[25]在鱼糜中加入膳食纤维,发现了类似结论,表明添加物对鱼糜白度的影响和添加物本身的颜色有关。同时,随着可得然胶含量的增多,鱼糜凝胶中越来越多的水与可得然胶结合,降低了水分的光散射,导致 *L*^{*} 值下降。红度 *a*^{*} 值和黄度 *b*^{*} 值呈现交替式降低和增加的趋势,使可得然胶-鱼糜复合凝胶的色度偏绿偏黄。

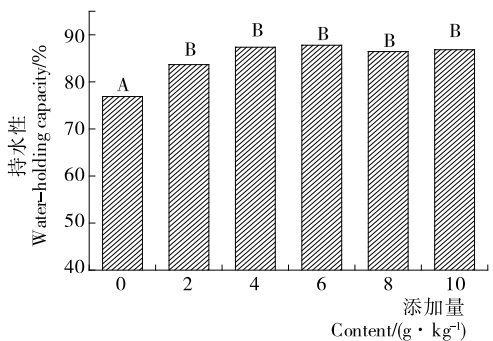
2.4 可得然胶对高温杀菌鱼糜持水性的影响

持水性可反映鱼糜的保水能力,持水性越强,鱼糜产品内部水分越不容易向外渗出,产品质量越好^[26]。可得然胶对高温杀菌鱼糜凝胶持水性的影响见图 2。

由图 2 可知,可得然胶能够改善高温杀菌鱼糜凝胶的持水性能,添加可得然胶后,鱼糜的持水性能显著增加($P<0.05$)。当可得然胶的添加量为 6 g/kg 时,对持水性的增加效果最好,达到 88.28%,比空白组提高了 14.29%,凝胶的持水性改善最佳。蛋白凝胶持水性受到水合作用、氢键和疏水相互作用等因素影响,在加热条件下,可得然胶与鱼糜蛋白通过氢键和疏水相互作用相互交联,形成稳定致密的三维网络结构,能将自由水锁在凝胶网络中,提高鱼糜凝胶的持水性能^[21,27]。Wei 等^[28]研究了可得然胶对高温杀菌阿拉斯加鲑鱼鱼糜凝胶的影响,发现添加可得然胶后,鱼糜内部的水分由游离水状态逐渐向结合水状态转变,从而提高了鱼糜的凝胶强度。

2.5 可得然胶对高温杀菌鱼糜可溶性肽的影响

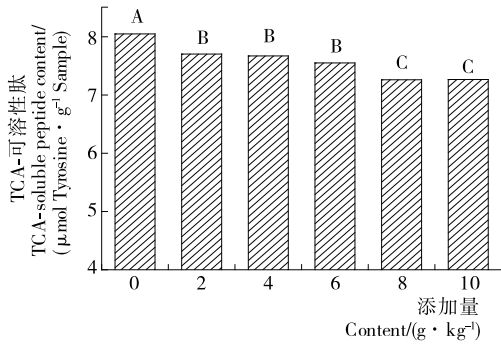
TCA-可溶性肽含量可以表示凝胶过程中蛋白的降解情况^[29]。可得然胶对高温杀菌鱼糜可溶性肽含量的影响见图 3。



不同字母表示差异显著($P<0.05$)

图 2 可得然胶对高温杀菌鱼糜持水性的影响

Figure 2 Effects of curdlan on the water-holding capacity of high-temperature sterilization surimi gels ($n=3$)



不同字母表示差异显著($P<0.05$)

图 3 可得然胶对高温杀菌鱼糜可溶性肽的影响

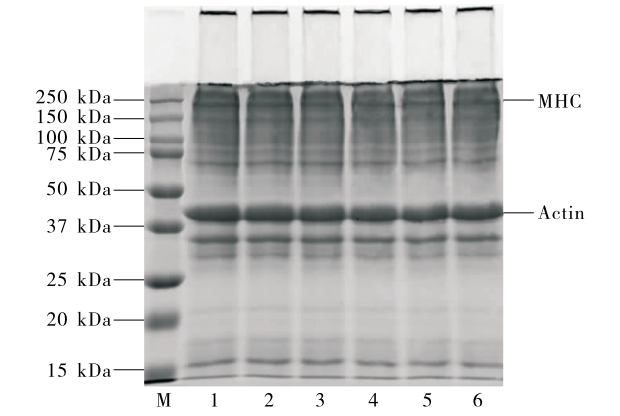
Figure 3 Effects of curdlan on the TCA-soluble peptide content of high-temperature sterilization surimi gels ($n=3$)

由图 3 可知,随着可得然胶添加量的增加,鱼糜凝胶的 TCA-可溶性肽含量显著降低($P<0.05$),说明可得然胶可以有效缓解高温杀菌鱼糜的蛋白降解速度,改善高温杀菌对鱼糜蛋白的破坏情况。添加量为 10 g/kg 时,TCA-可溶性肽含量最小,为 7.27 μmol 酪氨酸/g 样品,比空白组的含量减少了 9.8%。而马瑶兰等^[10]报道随着可得然胶添加量的增加,鱼糜凝胶的 TCA-可溶性肽含量增加,与本研究发现相反,可能是杀菌模式以及可得然胶的添加量不同导致的。

2.6 可得然胶对高温杀菌鱼糜蛋白组分的影响

SDS-PAGE 凝胶电泳可以对蛋白质组成进行分析。可得然胶对高温杀菌鱼糜凝胶蛋白组成变化的影响见图 4。同时,为了更直观地比较可得然胶对蛋白组成的影响,采用 Imagelab 分析电泳图谱中主要条带的灰度变化(表 3)。

蛋白中的肌原纤维蛋白是形成鱼糜凝胶网络结构的主要贡献成分,其中肌球蛋白重链(MHC, 200 kDa)和肌动蛋白(Actin, 43 kDa)含量最多。有报道^[4],经过高温加热处理的鱼糜凝胶蛋白 MHC 条带逐渐减少至消失,Actin 条带显著下降。观察电泳图,鱼糜凝胶样品的 MHC 含量明显降低,肌动蛋白无明显变化,37.75 kDa 附近出现明显条带。在热的作用下,蛋白质同时发生聚集和降解作用,MHC 之间相互交联,形成了高分子聚集体,聚集在泳道上方。随着可得然胶添加量的增多,鱼糜凝胶中可得然胶和水分比重增大,鱼糜蛋白比重相应减小,条带颜色逐渐变淡。由表 3 可知,随着可得然胶的添加,鱼糜凝胶肌球蛋白重链含量轻微增



MHC. 肌球蛋白重链 Actin. 肌动蛋白 M. 蛋白质标品 1~6. 可得然胶添加量分别为 0,2,4,6,8,10 g/kg 的高温杀菌鱼糜样品

图 4 可得然胶对高温杀菌鱼糜蛋白组分的影响

Figure 4 Effects of curdlan on the SDS-PAGE patterns of high-temperature sterilization surimi gels

表 3 可得然胶对高温杀菌鱼糜 SDS-PAGE 图谱中条带灰度的影响[†]

Table 3 Effects of curdlan on the relative quantity of bands on SDS-PAGE pattern of high-temperature sterilization surimi gels

添加量/(g · kg ⁻¹)	MHC	Actin
0	100.00±0.00	100.00±0.00
2	100.11±9.28 ^A	98.17±6.76 ^A
4	106.38±3.03 ^A	87.04±5.82 ^A
6	111.63±1.37 ^A	99.26±14.71 ^A
8	96.16±2.67 ^A	90.63±3.11 ^A
10	106.86±16.00 ^A	99.31±7.07 ^A

[†] 同行不同字母表示差异显著(P<0.05)。

加,说明其对肌球蛋白降解具有一定的保护作用,但从统计学分析角度看,蛋白的组成没有显著性差异(P>0.05)。SDS-PAGE 凝胶电泳上的最低蛋白分子量>15 kDa,图 3 中 TCA-可溶性肽的分子量一般小于 1 kDa^[10],可能是凝胶电泳图上未观察到可得然胶改变鱼糜蛋白组成的原因。

3 结论

添加可得然胶能够改善高温杀菌鱼糜的凝胶特性。可得然胶可提高鱼糜凝胶的储能模量,增强持水性、破断力、凝胶强度和咀嚼性等质构特性。而当添加量>6 g/kg 时,可得然胶对高温杀菌鱼糜凝胶特性的影响趋于平缓。综上,可得然胶添加量为 6 g/kg 对高温杀菌鱼糜改善效果最好,可显著提高鱼糜复合凝胶的质构特性和热稳定性。可得然胶能显著降低 TCA-可溶性肽含量,减缓高温对鱼糜蛋白的降解作用,但对蛋白组成的影响不明显。本研究为常温即食鱼糜制品的开发提供了良好的理论依据。但限于时间,仅对质构特性和流变特性等指标进行了研究,后续可通过研究可得然胶-鱼糜的蛋白作用力和空间结构变化等进一步深入探讨可得然胶对高温杀菌鱼糜凝胶特性变化的机理。

参考文献

[1] YU Nan-nan, XU Yan-shun, JIANG Qi-xing, et al. Molecular forces involved in heat-induced freshwater surimi gel: Effects of various bond disrupting agents on the gel properties and protein conformation changes [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 193-201.

[2] MORENO H, HERRANZ B, PÉREZMATEOS M, et al. New Alternatives in Seafood Restructured Products[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2016, 56(2): 237.

[3] ZHANG Tao, XUE Yong, LI Zhao-jie, 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.

[4] ZHANG Li-li, XUE Yong, XU Jie, et al. Effects of high-temperature treatment (≥ 100 °C) on Alaska Pollock (Theragrachalcogramma) surimi gels [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115(1): 115-120.

[5] ZHANG Ruo-ran, EDGAR K J. Properties, chemistry and applications of the bioactive polysaccharide curdlan[J]. Biomacromolecules, 2014, 15(4): 1 079-1 096.

[6] 吉武科, 张永刚, 武琳, 等. Curdlan 凝胶机理研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2012(4): 231-234.

[7] NISHINARI K, ZHANG Hua. Recent advances in the understanding of heat set gelling polysaccharides[J]. Trends in Food Science & Technology, 2004, 15(6): 305-312.

[8] 刘文娟, 陈瑶, 姜晴, 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.

[9] 李丹辰, 陈丽娇, 洪佳敏, 等. 可得然胶对鱼丸品质的影响[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2014, 35(2): 85-88.

[10] 马瑞兰, 熊善柏, 尤娟, 等. 加热模式和可得然胶对白鲢鱼糜胶凝特性的影响[J]. 现代食品科技, 2017(4): 222-228.

[11] ZHANG Li-li, ZHANG Feng-xiang, WANG Xia. Effects of hydrolyzed wheat gluten on the properties of high-temperature (≥100 °C) treated surimi gels[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 45: 196-202.

[12] PHATCHARAT S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Effects of washing with oxidising agents on the gel-forming ability and physicochemical properties of surimi produced from bigeye snapper (Priacanthustayenus) [J]. Food Chemistry, 2006, 98(3): 431-439.

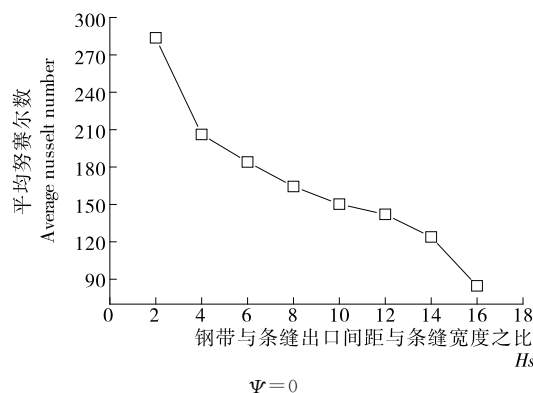
[13] 吴雪微, 姜启兴, 许艳顺, 等. 酸诱导鱼糜凝胶的酸化条件研究及凝胶特性分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 17-21.

[14] LEFEVRE F, FAUCONNEAU B, OUALI A, et al. Thermal Gelation of Brown Trout Myofibrils: Effect of Muscle Type, Heating Rate and Protein Concentration[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(2): 299-304.

[15] SANO T, NOGUCHI S F, MATSUMOTO J J, et al. Thermal Gelation Characteristics of Myosin Subfragments[J]. Journal of Food Science, 1990, 55(1): 55-58.

[16] MLEKO S, FOEGEDING E A. pH induced aggregation and weak gel formation of whey protein polymers[J]. Journal of Food Science, 2010, 65(1): 139-143.

(下转第 98 页)

图 8 平均 Nu 数随 H_s 的变化曲线Figure 8 Average number of Nu versus H_s

沿 X 方向钢带表面换热强度存在明显差异性,即 $X/S=0$ 处钢带表面 Nu 数明显大于 $X/S=150$ 处的。

(2) 当 $H_s < 10$, 随着 Ψ 增加, 沿 X 方向钢带表面换热强度差异性逐渐降低, 当超过临界切割比 Ψ_0 之后, 钢带表面换热强度将出现负增长, 即 $X/S=0$ 处钢带表面 Nu 数低于 $X/S=150$ 处的。

(3) 临界切割比 Ψ_0 曲线随 H_s 增加, 呈现先增大后减小的趋势, 在 $H_s=4$ 附近, Ψ_0 达到峰值; 临界切割比 Ψ_0 曲线针对不同尺寸的冻品调整 H_s , 并确定最佳切割比具有重要的指导意义。

(4) 当 $H_s > 10$, 沿 X 方向, 钢带表面不同位置处换热均匀性较强, 调整切割比反而将降低钢带表面换热均匀性。

参考文献

- [1] GRASSI C, SCHR A, GLOY Y S, et al. Reducing environmental impact in air jet weaving technology[J]. International Journal of Clothing Science & Technology, 2016, 28(3): 283-292.
- [2] WANG Gang, DENG Yun, XU Xin. Optimization of air jet impingement drying of okara using response surface methodology[J]. Food Control, 2016, 59: 743-749.
- [3] MAKATAR W H, PERAPONG T, SMITH E A, et al. Effect of cross-flow velocity on flow and heat transfer characteristics of impinging jet with low jet-to-plate distance[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2014, 28(7): 2 909-2 917.
- [4] BERNHARD W. Experimental investigation of impingement heat transfer on a flat and dimpled plate with different crossflow schemes[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2010, 53(19/20): 3 874-3 886.
- [5] KATTI V, PRABHU S V. Influence of spanwise pitch on local heat transfer distribution for in-line arrays of circular jets with spent air flow in two opposite directions[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2008, 33(1): 84-95.
- [6] SEBASTIAN S, BERNHARD W. Experimental and numerical investigation of impingement heat transfer on a flat and micro-rib roughened plate with different crossflow schemes[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2011, 50(7): 1 293-1 307.
- [7] SEBASTIAN S, BERNHARD W. Experimental and numerical investigation of heat transfer characteristics of inline and staggered arrays of impinging jets[J]. Journal of Heat Transfer, 2010, 132(9): 1-11.
- [8] KATTI V, PRABHU S V. Influence of spanwise pitch on local heat transfer distribution for in-line arrays of circular jets with spent air flow in two opposite directions[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2008, 33(1): 84-95.
- [9] 王金锋, 李文俊, 谢晶, 等. 两种喷嘴结构对冲击式速冻机流场及换热特征的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 80-85, 90.
- [10] VIKAS K, AI P W, SOHAN B. A 3-D computational fluid dynamics model for forced air cooling of eggs placed in trays[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(3): 480-492.
- [11] (上接第 41 页)
- [12] CHEN Hai-hua, XU Shi-ying, WANG Zhang. Interaction between flaxseed gum and meat protein[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1 051-1 059.
- [13] ZHANG Li-li, ZHANG Feng-xiang, WANG Xia. Changes of protein secondary structures of Pollock surimi gels under high-temperature (100 °C and 120 °C) treatment[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 171: 159-163.
- [14] 殷俊, 梅灿辉, 陈斌, 等. 肉丸品质的质构与感官分析[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 50-55.
- [15] FUNAMI T, UNAMI M, YADA H, et al. Gelation mechanism of curdlan by dynamic viscoelasticity measurements[J]. Journal of Food Science, 1999, 64(1): 129-132.
- [16] CHEN Cong-gui, WANG Rui, SUN Gao-jun, et al. Effects of high pressure level and holding time on properties of duck muscle gels containing 1% curdlan[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 538-542.
- [17] HU Ya-qin, LIU Wen-juan, YUAN Chun-hong, et al. Enhancement of the gelation properties of hairtail (Trichiurus haemulonius) muscle protein with curdlan and transglutaminase[J]. Food Chemistry, 2015, 176: 115-122.
- [18] 姚周麟, 桑卫国, 林媚, 等. 利用物性仪测定鲑鱼片不同含水量的质构特性研究[J]. 现代农业科技, 2010(21): 372-373.
- [19] PARK J W. Surimi gel colors as affected by moisture content and physical conditions[J]. Journal of Food Science, 2010, 60(1): 15-18.
- [20] 程珍珠, 赵伟, 杨瑞金. 膳食纤维对鱼糜凝胶工艺特性的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 75-79.
- [21] WANG Man-jun, CHEN Cong-gui, SUN Gao-jun, et al. Effects of curdlan on the color, syneresis, cooking qualities, and textural properties of potato starch noodles[J]. Starch-Stärke, 2010, 62(8): 429-434.
- [22] FUNAMI T, YADA H, NAKAO Y. Curdlan properties for application in fat mimetics for meat products[J]. Journal of Food Science, 2010, 63(2): 283-287.
- [23] WEI Yi-nong, ZHANG Tao, YU Fan-qian-hui, 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, 2017, DOI: 10.1080/10942912.2017.1306557.
- [24] BUAMARD N, BENJAKUL S. Improvement of gel properties of sardine (Sardinella albelli) surimi using coconut husk extracts[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 146-155.