卡拉胶和超高压对鱼糜凝胶性质的影响^{*}

陆剑锋 邵明栓 林琳 叶应旺 陈从贵 姜绍通

(合肥工业大学生物与食品工程学院, 合肥 230009)

【摘要】 以白鲢鱼糜为研究对象,将卡拉胶添加其中,经超高压处理后,再经二段加热处理形成鱼糜凝胶,测定其凝胶强度、白度值、pH值,研究压力、保压时间和卡拉胶质量分数对白鲢鱼糜凝胶性质的影响。单因素实验表明,当压力大于300 MPa时凝胶强度显著下降;保压时间大于10 min,卡拉胶质量分数大于0.8%时凝胶强度变化不显著。通过正交实验确定了优化工艺条件为:压力300 MPa、保压时间10 min、卡拉胶质量分数0.8%。各因素对白鲢鱼糜凝胶强度影响程度由大至小依次为压力、保压时间、卡拉胶质量分数。研究表明,超高压处理协同添加卡拉胶能够促进白鲢鱼糜形成良好的凝胶。

关键词: 白鲢 超高压 卡拉胶 凝胶强度

中图分类号: TS254.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)12-0164-07

Effects of Ultra-high Pressure and Carrageenan on Gelling Properties of Surimi from Silver Carp, *Hypophthalmichthys molitrix*

Lu Jianfeng Shao Mingshuan Lin Lin Ye Yingwang Chen Conggui Jiang Shaotong

(College of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract

Surimi gel added with carrageenan from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) processed by ultra-high pressure (UHP) and a two-stage heat treatment was formed. The gel strength, whiteness and pH values were measured, respectively. The effects of pressure, time and carrageenan addition (mass percentage) on the gelling properties of silver carp surimi were studied. The single-factor experiments showed that gel strength decreased significantly when pressure was more than 300 MPa, while there was no significant change in gel strength when time and carrageenan addition were more than 10 min and 0.8%, respectively. The optimum conditions were optimized with orthogonal experiments as follows: pressure of 300 MPa, time of 10 min and carrageenan addition of 0.8%. UHP treatment conditions had an effect on gel strength in an order of pressure, time, carrageenan addition. This study indicated that UHP treatment with carrageenan addition could well modify the effect on the formation of silver carp surimi gel.

Key words Silver carp, Ultra-high pressure, Carrageenan, Gel strength

引言

我国是淡水渔业大国,资源丰富,品种多样。但无论是自然捕捞的还是人工养殖的淡水鱼类,不同程度地存在土腥味^[1]。其中,白鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)是我国产量最大的淡

水鱼种,由于其土腥味较重且肌间刺较多,消费者的可接受程度并不高,市场价格相对较低^[2]。将其加工成冷冻鱼糜及鱼糜制品可以快速提升白鲢的附加值,是解决鲢鱼量多价廉问题的有效途径。

凝胶强度和白度值是衡量鱼糜及鱼糜制品的重要指标^[3]。其中,凝胶化是鱼糜及其制品生产过程

中的关键步骤,只有经过充分凝胶化的鱼糜及其制品才具有良好的凝胶强度、较好的口感和较高的商业价值。通常使鱼糜凝胶化的主要方法是热处理,但白鲢属于极难凝胶化(suwari)、易凝胶劣化(modori)的鱼种^[4],有效改善或提高其凝胶性能成为白鲢鱼糜加工的研究热点。

超高压(ultra-high pressure,简称UHP)技术应用于食品加工具有独特优点,它不会使食品的温度升高,而只是作用于非共价键,共价键基本不被破坏,对食品原有的色、香、味及营养成分影响较小^[5]。此外,超高压诱导蛋白凝胶比加热诱导蛋白凝胶具有更好的平滑度、光泽度、柔软度以及具有更加良好的弹性^[6]。卡拉胶(carrageenan)是从红藻中提取到的一种海藻胶,也是一种具有凝胶特性的多糖,常用于食品添加剂,如胶凝剂、增稠剂、稳定剂等^[7],主要起到改变食品的质构、状态和外观等作用,也有助于鱼糜凝胶特性的改良。

超高压技术被认为是有望成为提高肉制品凝胶强度的一种有效手段,但在实际生产过程中往往受到设备成本高、操作要求严格等方面限制^[8]。为了加快推动超高压技术的工业化应用进程,超高压技术目前正向复合化及低压化方向发展。鉴于此,本文以白鲢鱼糜为原料,将卡拉胶添加其中,协同超高压处理后,再经二段加热处理形成鱼糜凝胶,研究压力、保压时间和卡拉胶质量分数对白鲢鱼糜凝胶强度和白度值的影响,并通过正交实验优化出最佳工艺条件。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白鲢:鲜活白鲢购于合肥市马鞍山路超市,体重 (0.8 ± 0.1) kg,体长 (34.0 ± 3.0) cm。卡拉胶:山东省滕州市金凤凰卡拉胶有限公司。蔗糖,山梨醇,食盐,复合磷酸盐均为食品级。其他主要试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

UHPF-750型超高压实验台(包头科发新型高技术食品机械有限责任公司);TA-XT Plus型质构仪(英国Stable Micro System公司);WB-2000IXA型全自动色差计(北京康光仪器有限公司);CT15RT型台式高速冷冻离心机(上海天美生化仪器工程有限公司)等。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

生鲜鱼糜(采肉后先经过两次清水漂洗,然后一次盐水漂洗,最后离心脱水^[9])→添加适量抗冻

剂(蔗糖4%、山梨醇3%、复合磷酸盐0.2%,均为质量分数)^[3]→包装→冻结→冷冻鱼糜→解冻→斩拌(首先空斩3 min,然后加入质量分数为3%的食盐继续盐斩8 min^[9])→灌肠→超高压处理(参照文献^[10])→加热凝胶化(首先40℃水浴加热60 min使鱼糜凝胶化,然后90℃水浴加热30 min使鱼糜凝胶成型^[3])→4℃冷藏24 h→检测。

1.3.2 单因素实验

(1) 压力

鱼糜中卡拉胶质量分数为0.8%,压力为100、200、300、400、500 MPa,保压时间为10 min。根据鱼糜凝胶的凝胶强度和亨特白度值确定压力。对照组为:常压处理、不添加卡拉胶的鱼糜凝胶(记作对照组1);常压处理、添加质量分数0.8%卡拉胶的鱼糜凝胶(记作对照组2)。

(2) 保压时间

鱼糜中卡拉胶质量分数为0.8%,压力为300 MPa,保压时间为5、10、15、20、25 min。根据鱼糜凝胶的凝胶强度和亨特白度值确定保压时间。对照组为:常压处理、不添加卡拉胶的鱼糜凝胶(记作对照组1);常压处理、添加质量分数0.8%卡拉胶的鱼糜凝胶(记作对照组2)。

(3) 卡拉胶

鱼糜中卡拉胶质量分数为0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%,压力为300 MPa,保压时间为10 min。根据鱼糜凝胶的凝胶强度和亨特白度值确定卡拉胶质量分数。对照组为:常压处理、不添加卡拉胶的鱼糜凝胶(记作对照组1);常压处理、添加质量分数为0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%卡拉胶的鱼糜凝胶(记作对照组3)。

1.3.3 测定

(1) 凝胶强度

将置于4℃条件下的鱼肉肠,在室温环境下剥去肠衣,切成2.5 cm高的圆柱体,使用直径5 mm球形探头(P/5S)^[11],在质构仪上测定其凝胶特性,包括破断力(breaking force, g)和凹陷深度(破断距离, breaking distance, cm)。具体测试参数为:预压速度3 mm/s、下压速度1.1 mm/s、回复速度3 mm/s、变形15 mm、感应力5 g。凝胶强度(gel strength, g·cm)为破断力与凹陷深度的乘积。每组样品平行测定5次。

(2) 亨特白度值

室温条件下将样品剥去肠衣后切成高约为1 cm的薄片,用全自动测色色差计测其色差,每组样品切6片,每片测6次,取36次平均值。其中, L^* 表示亮度(lightness); a^* (redness/greenness)正值表示偏红,负值表示偏绿; b^* (yellowness/blueness)正

值表示偏黄,负值表示偏蓝。白度值 W (whiteness)^[12] 计算式为: $W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$ 。

(3) pH 值

称取样品 5 g,加入 50 mL(1:10,质量与体积比)双蒸水^[13],均质 1 min(转速 1.5×10^4 r/min),立即测定 pH 值,每个处理做 3 次平行。

(4) 质构

将鱼肉凝胶分切成直径 20 mm,高 10 mm 的圆柱体试样。选用质构仪的 TPA (texture profile analysis)模型分析其质构。测定参数设定为:触发类型 Button、测试速率 1.00 mm/s、返回速率 1.00 mm/s、下压距离 4.00 mm,2 次压缩之间的停留时间为 5 s。压缩探头为不锈钢 P/36R 圆柱形。重复检测 5 次。

1.3.4 数据处理

实验数据进行单因素方差分析 (one-way ANOVA)和最小显著差异法分析(LSD),当 $p < 0.05$ 时差异显著。统计软件为 SPSS 16.0。

2 结果分析

2.1 各因素对鱼糜凝胶强度的影响

2.1.1 压力

压力对鱼糜凝胶强度的影响如表 1 所示。由表可知,经过超高压处理的鱼糜凝胶(卡拉胶质量分数为 0.8%)凝胶强度显著大于对照组 1 和对照组 2 ($p < 0.05$)。对照组 2 的凝胶强度显著大于对照组 1 ($p < 0.05$)。由此可见,超高压处理和添加卡拉胶能够显著增大鱼糜凝胶的凝胶强度。这是因为超高压处理可以使肌球蛋白变性,同时使蛋白质大分子质构的活性巯基数量减少,进而氧化形成二硫键^[14],从而增强蛋白质的凝胶性能。此外,卡拉胶作为凝胶剂可以改变食品的质构等感观品质^[8],因此鱼糜中添加卡拉胶将有助于凝胶强度的增加。

表 1 压力对鱼糜凝胶强度的影响

Tab.1 Effects of high pressure on gel strength of surimi gel

压力 /MPa	卡拉胶质量分数/%	保压时间/min	凝胶强度 /g·cm
0.1(对照组 1)	0	0	77.52 ± 3.10
0.1(对照组 2)	0.8	0	110.28 ± 8.40
100	0.8	10	117.21 ± 14.72
200	0.8	10	132.01 ± 10.21
300	0.8	10	230.45 ± 8.75
400	0.8	10	197.45 ± 15.31
500	0.8	10	198.70 ± 6.20

鱼糜凝胶的凝胶强度随着压力升高逐渐增大,在 300 MPa 时凝胶强度达到最大值;之后继续升高压力,凝胶强度显著降低 ($p < 0.05$);压力在 400 MPa 和 500 MPa 时凝胶强度差异不显著 ($p > 0.05$)。推测压力过大可能会造成鱼糜蛋白变性过快,破坏了蛋白质凝胶网络结构的相互联结性,使的凝胶强度减小。已有的研究表明,300 MPa 压力并没有使组织蛋白酶失活,反而增大其活性,促使鱼糜蛋白水解,进而降低蛋白之间的交联度,造成凝胶强度降低^[15]。

2.1.2 保压时间

保压时间对鱼糜凝胶强度的影响如表 2 所示。经过超高压处理的鱼糜凝胶(卡拉胶质量分数为 0.8%)凝胶强度显著大于对照组 1 和对照组 2 ($p < 0.05$)。对照组 2 的凝胶强度显著大于对照组 1 ($p < 0.05$)。随着保压时间增加,鱼糜凝胶的凝胶强度逐渐增大,当保压时间达到 10 min 时,凝胶强度达到(194.27 ± 11.58) g·cm。随着保压时间继续增大,凝胶强度变化不显著 ($p > 0.05$)。这是由于疏水键和二硫键之间的相互作用可以增大鱼糜凝胶强度^[16],推测保压时间在 10 min 时二者之间的相互作用已经达到平衡的稳态,继续增加保压时间,鱼糜凝胶强度则变化不明显 ($p > 0.05$)。

表 2 保压时间对鱼糜凝胶强度的影响

Tab.2 Effects of time on gel strength of surimi gel

压力 /MPa	卡拉胶质量分数/%	保压时间/min	凝胶强度 /g·cm
0.1(对照组 1)	0	0	77.52 ± 3.10
0.1(对照组 2)	0.8	0	110.28 ± 8.40
300	0.8	5	138.28 ± 17.34
300	0.8	10	194.27 ± 11.58
300	0.8	15	199.56 ± 6.47
300	0.8	20	202.78 ± 9.87
300	0.8	25	197.87 ± 10.23

2.1.3 卡拉胶质量分数

卡拉胶质量分数对鱼糜凝胶强度的影响如表 3 所示。对照组 3 的凝胶强度都显著大于对照组 1 ($p < 0.05$)。由此可见,添加卡拉胶可以显著增大凝胶强度。对照组 3 中添加质量分数 0.8% 卡拉胶组的凝胶强度值最大,并且与质量分数 1.0% 卡拉胶组的凝胶强度差异不显著 ($p > 0.05$)。经过超高压处理后,凡是添加卡拉胶的各组凝胶强度都显著大于对照组 1 ($p < 0.05$),并且都显著大于对照组 3 ($p < 0.05$)。由此可见,在添加卡拉胶的情况下,超高压能够显著增大鱼糜凝胶的凝胶强度。超高压处

理组中添加质量分数 0.8% 卡拉胶组的凝胶强度显著大于添加质量分数 0.6% 卡拉胶组 ($p < 0.05$), 但是与添加质量分数 1.0% 卡拉胶组差异不显著 ($p > 0.05$)。

表 3 卡拉胶质量分数对鱼糜凝胶强度的影响

Tab.3 Effects of carrageenan addition on gel strength of surimi gel

压力 /MPa	卡拉胶质量分数/%	保压时间/min	凝胶强度 /g·cm
0.1(对照组 1)	0	0	77.52 ± 3.10
0.1(对照组 3)	0.2	0	82.52 ± 3.10
0.1(对照组 3)	0.4	0	87.44 ± 11.41
0.1(对照组 3)	0.6	0	107.30 ± 12.80
0.1(对照组 3)	0.8	0	110.28 ± 7.39
0.1(对照组 3)	1.0	0	111.39 ± 7.90
300	0.2	10	157.83 ± 3.90
300	0.4	10	162.00 ± 3.86
300	0.6	10	173.50 ± 23.61
300	0.8	10	190.22 ± 15.17
300	1.0	10	182.44 ± 9.51

2.2 各因素对鱼糜白度值的影响

2.2.1 压力

压力对鱼糜白度值的影响如表 4 所示。经过超高压处理的鱼糜凝胶(卡拉胶质量分数为 0.8%)和对照组 2 的白度值显著大于对照组 1 ($p < 0.05$)。不同压力处理组之间白度值差异不显著 ($p > 0.05$), 但随着压力增大, 白度值略有增加。由此可见, 添加质量分数为 0.8% 卡拉胶能够显著提高鱼糜白度值, 但不同压力对鱼糜白度值影响不显著。这是因为卡拉胶具有良好的胶凝性^[8], 能够结合鱼糜中的肌浆形成凝胶, 使其颜色变淡, 从而增加鱼糜的白度值。另外, 压力作用可能导致亚铁肌球蛋白(暗红色)氧化为高铁肌红蛋白(灰棕色)^[17], 这也会使得鱼糜白度值有所增加。

表 4 压力对鱼糜白度值的影响

Tab.4 Effects of high pressure on whiteness value of surimi gel

压力 /MPa	卡拉胶质量分数/%	保压时间/min	白度值
0.1(对照组 1)	0	0	70.12 ± 0.23
0.1(对照组 2)	0.8	0	71.74 ± 0.28
100	0.8	10	71.09 ± 0.21
200	0.8	10	71.78 ± 0.36
300	0.8	10	71.94 ± 0.13
400	0.8	10	71.41 ± 0.12
500	0.8	10	71.25 ± 0.13

2.2.2 保压时间

保压时间对鱼糜白度值的影响如表 5 所示。经过超高压处理的鱼糜凝胶(卡拉胶质量分数为 0.8%)和对照组 2 的白度值显著大于对照组 1 ($p < 0.05$)。但是不同保压时间处理组之间白度值差异不显著 ($p > 0.05$)。由此可见, 添加质量分数为 0.8% 卡拉胶能够显著提高鱼糜白度值, 但不同保压时间对鱼糜白度值影响不显著 ($p > 0.05$), 即超高压在提高鱼糜的白度值方面效果不明显。

表 5 保压时间对鱼糜白度值的影响

Tab.5 Effects of time on whiteness value of surimi gel

压力 /MPa	卡拉胶质量分数/%	保压时间/min	白度值
0.1(对照组 1)	0	0	70.12 ± 0.23
0.1(对照组 2)	0.8	0	71.74 ± 0.28
300	0.8	5	71.94 ± 1.12
300	0.8	10	71.82 ± 0.51
300	0.8	15	71.76 ± 1.03
300	0.8	20	71.47 ± 1.13
300	0.8	25	71.81 ± 0.38

2.2.3 卡拉胶质量分数

卡拉胶质量分数对鱼糜白度值的影响如表 6 所示。对照组 3 和超高压处理组鱼糜凝胶的白度值都显著大于对照组 1 ($p < 0.05$)。而对照组 3 和超高压处理组之间白度值差异不显著 ($p > 0.05$)。由此可见, 超高压对鱼糜白度值影响效果不显著, 添加卡拉胶能够显著增大鱼糜凝胶的白度值。从总体上看, 虽然随着卡拉胶质量分数增大, 鱼糜白度值也相应增大, 但增大的趋势并不显著 ($p > 0.05$)。

表 6 卡拉胶质量分数对鱼糜白度值的影响

Tab.6 Effects of carrageenan addition on whiteness value of surimi gel

压力 /MPa	卡拉胶质量分数/%	保压时间/min	白度值
0.1(对照组 1)	0	0	70.12 ± 0.23
0.1(对照组 3)	0.2	0	71.38 ± 0.23
0.1(对照组 3)	0.4	0	71.38 ± 0.91
0.1(对照组 3)	0.6	0	72.61 ± 1.36
0.1(对照组 3)	0.8	0	72.99 ± 0.79
0.1(对照组 3)	1.0	0	72.43 ± 1.00
300	0.2	10	71.21 ± 0.31
300	0.4	10	71.43 ± 0.05
300	0.6	10	72.62 ± 1.03
300	0.8	10	72.97 ± 0.70
300	1.0	10	72.65 ± 0.41

2.3 各因素对鱼糜 pH 值的影响

肌原纤维蛋白是鱼糜中形成凝胶的重要物质,而 pH 值对其稳定性有重要的影响,肌原纤维蛋白能够在 pH 值 7.00 左右以比较稳定的形式存在,进而形成良好的凝胶^[18]。已有研究表明,鱼糜形成良好凝胶的最适 pH 值范围是 6.5 ~ 7.5^[19]。压力、保压时间、卡拉胶质量分数对鱼糜 pH 值的影响如表 7 所示。由表可知,各超高压处理组和各对照组鱼糜凝胶的 pH 值都在 7.1 ~ 7.2 内,均能形成良好的凝胶。各超高压处理组鱼糜凝胶 pH 值差异不显著 ($p > 0.05$),各对照组鱼糜凝胶 pH 值差异也不显著 ($p > 0.05$)。由此可知,超高压处理和添加卡拉胶都对鱼糜凝胶 pH 值影响不显著。

表 7 压力、保压时间、卡拉胶质量分数对鱼糜 pH 值的影响

Tab.7 Effects of high pressure, time, carrageenan addition on pH value of surimi gel

压力/MPa	卡拉胶质量分数/%	保压时间/min	pH 值
0.1(对照组 1)	0	0	7.12 ± 0.01
0.1(对照组 2)	0.8	0	7.17 ± 0.03
0.1(对照组 3)	0.2	0	7.12 ± 0.00
0.1(对照组 3)	0.4	0	7.13 ± 0.01
0.1(对照组 3)	0.6	0	7.14 ± 0.00
0.1(对照组 3)	0.8	0	7.12 ± 0.00
0.1(对照组 3)	1.0	0	7.14 ± 0.00
100	0.8	10	7.13 ± 0.00
200	0.8	10	7.14 ± 0.00
300	0.8	10	7.13 ± 0.00
400	0.8	10	7.12 ± 0.00
500	0.8	10	7.12 ± 0.00
300	0.8	5	7.10 ± 0.00
300	0.8	10	7.12 ± 0.00
300	0.8	15	7.13 ± 0.00
300	0.8	20	7.13 ± 0.00
300	0.8	25	7.11 ± 0.00
300	0.2	10	7.13 ± 0.00
300	0.4	10	7.14 ± 0.00
300	0.6	10	7.12 ± 0.00
300	0.8	10	7.13 ± 0.00
300	1.0	10	7.16 ± 0.00

2.4 正交实验优化

根据单因素实验结果,选择凝胶强度为指标,设计 $L_9(3^4)$ 正交实验表,进行正交实验。正交实验因素水平如表 8 所示。

表 8 正交实验因素水平

Tab.8 Factors' levels of orthogonal experiment

水平	因素		
	压力 A/MPa	保压时 间 B/min	卡拉胶质量 分数 C/%
1	200	5	0.6
2	300	10	0.8
3	400	15	1.0

正交实验结果如表 9 所示。由表可知,直观最佳工艺条件是实验 5,即压力 300 MPa,保压时间 10 min,卡拉胶质量分数 1.0%。通过极差分析可知,各因素对鱼糜凝胶强度影响程度由大到小依次为 A、B、C,即压力、保压时间、卡拉胶质量分数,理论最佳的工艺条件为 $A_2B_2C_2$,即压力 300 MPa、保压时间 10 min、卡拉胶质量分数 0.8%。

表 9 正交实验结果

Tab.9 Results of orthogonal experiment

实验号	A	B	C	空列	凝胶强度/g·cm
1	1	1	1	1	109.42
2	1	2	2	2	172.04
3	1	3	3	3	143.04
4	2	1	2	3	198.79
5	2	2	3	1	232.74
6	2	3	1	2	189.29
7	3	1	3	2	178.34
8	3	2	1	3	189.49
9	3	3	2	1	201.33
K_1	141.500	162.183	162.733	181.163	
K_2	206.940	198.090	190.720	179.890	
K_3	189.720	177.887	184.707	177.107	
R	65.440	35.907	27.987	4.056	

方差分析结果如表 10 所示。 F 检验结果表明,压力对鱼糜凝胶强度影响显著,保压时间和卡拉胶质量分数对鱼糜凝胶强度也有显著的影响,这与胡飞华等^[16]的部分研究结果一致。按照上述理论最

表 10 方差分析结果

Tab.10 Results of ANOVA

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
压力	6904.090	2	267.341	19.000	显著
时间	1944.058	2	75.278	19.000	显著
卡拉胶质量分数	1302.241	2	50.426	19.000	显著
空列	25.825	2	1.000	19.000	
误差	25.82	2			

佳工艺条件(压力 300 MPa,保压时间 10 min,卡拉胶质量分数 0.8%)作 3 组平行验证实验,测得鱼糜凝胶强度为 $(228.43 \pm 26.37) \text{ g} \cdot \text{cm}$,此数据虽然小于实验 5(压力 300 MPa,保压时间 10 min,卡拉胶质

量分数 1.0%)的 $232.74 \text{ g} \cdot \text{cm}$,但是两组数据差异并不显著($p > 0.05$)。考虑到节约成本等因素,在实际生产过程中建议采用 $A_2B_2C_2$ 。正交实验验证结果如表 11 所示。

表 11 正交实验验证结果

Tab. 11 Verification of orthogonal experiment results

工艺条件	白度值	pH 值	持水性/%	弹性	内聚性	咀嚼性/g	硬度/g	凝胶强度/g·cm
$A_2B_2C_2$	74.85 ± 0.08	7.14 ± 0.00	90.94 ± 0.12	0.94 ± 0.02	0.83 ± 0.01	283.57 ± 23.9	323.67 ± 28.7	228.43 ± 26.37
$A_2B_2C_3$	73.95 ± 0.12	7.09 ± 0.01	90.57 ± 0.57	0.92 ± 0.14	0.84 ± 0.03	288.64 ± 18.2	314.09 ± 15.4	232.74 ± 18.9

3 结论

(1) 超高压处理和添加卡拉胶均能在一定范围内增强蛋白之间的交联作用,显著增大白鲢鱼糜的凝胶强度。当压力达到 300 MPa 时鱼糜凝胶强度达到最大值,继续升高压力,凝胶强度反而显著降低。添加质量分数为 0.8% 卡拉胶的凝胶强度值最大,之后鱼糜凝胶强度没有显著差异。

(2) 超高压处理和添加卡拉胶能使白鲢鱼糜凝胶的白度值显著增大,但增大的数值较小。

(3) 超高压处理和添加卡拉胶对白鲢鱼糜凝胶的 pH 值影响不显著,均在 7.1 ~ 7.2 内。

(4) 通过正交实验得出理论最佳工艺条件为:压力 300 MPa、保压时间 10 min、卡拉胶质量分数 0.8%。最佳工艺条件下的鱼糜凝胶强度为 $(228.43 \pm 26.37) \text{ g} \cdot \text{cm}$ 比实验 5(压力 300 MPa,保压时间 10 min,卡拉胶质量分数 1.0%)的凝胶强度 $232.74 \text{ g} \cdot \text{cm}$ 略小,但两组数据差异并不显著。因此,在实际生产过程中建议采用理论最佳的工艺条件。

参 考 文 献

- 惠心怡,王锡昌,陶宁萍. 构成白鲢鱼肉土腥味的可溶性风味成分分析[J]. 中国食品学报,2006,6(1):189~192.
Hui Xinyi, Wang Xichang, Tao Ningping. Analysis on water-soluble components of off-flavor in silver carp meat[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2006, 6(1): 189~192. (in Chinese)
- Xu Y S, Xia W S, Yang F, et al. Effect of fermentation temperature on the microbial and physico-chemical properties of silver carp sausages inoculated with *Pediococcus pentosaceus*[J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 512~518.
- 王锡昌,汪之和. 鱼糜制品加工技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,1997.
- 张敏,张骏. 国内外低值淡水鱼加工与下脚料利用的研究进展[J]. 食品与生物技术学报,2006,25(5):115~120, 126.
Zhang Min, Zhang Jun. A research review of low value freshwater fishes processing and their discards utilization[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2006, 25(5): 115~120, 126. (in Chinese)
- Jiménez-Colmenero F, Borderías A J. High-pressure processing of myosystems. Uncertainties in methodology and their consequences for evaluation of results[J]. European Food Research and Technology, 2003, 217(6): 641~645.
- Apichartsrangkoon A, Ledward D A, Bell A E, et al. Physicochemical properties of high pressure treated wheat gluten[J]. Food Chemistry, 1998, 63(2): 215~220.
- Michon C, Chapuis C, Langendorff V, et al. Structure evolution of carrageenan/milk gels; effect of shearing, carrageenan concentration and nu fraction on rheological behavior[J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(3): 541~547.
- 陈复生. 食品超高压加工技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- 焦道龙,陆剑锋,张伟伟,等. 斩拌初始温度对白鲢鱼糜物理特性的影响[J]. 食品科学,2009,30(23):101~104.
Jiao Daolong, Lu Jianfeng, Zhang Weiwei, et al. Effect of initial chopping temperature on physical properties of surimi from silver carp[J]. Food Science, 2009, 30(23): 101~104. (in Chinese)
- Chen C G, Gerelt B, Jiang S T, et al. Effects of high pressure on pH, water-binding capacity and textural properties of pork muscle gels containing various levels of sodium alginate[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2006, 19(11): 1658~1664.
- 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 (*Priacanthus tayenus*) [J]. Food Chemistry, 2006, 98(3): 431~439.

- 12 Parraravivat J, Morioka K, Shirsaki M, et al. Effect of washing conditions on the removal of lipid from the fatty fish escolar (*Lepidocybium flavobrunneum*) meat[J]. Journal of Biological Sciences, 2008, 8(1): 34 ~ 42.
 - 13 Özogul Y, Özogul F, Kuley E, et al. Biochemical, sensory and microbiological attributes of wild turbot (*Scophthalmus maximus*), from the Black Sea, during chilled storage[J]. Food Chemistry, 2006, 99(4): 752 ~ 758.
 - 14 Benjakula S, Visessanguan W, Thongkaewa C, et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage[J]. Food Research International, 2003, 36(8): 787 ~ 795.
 - 15 Romuald C, Christine D L, Marie L A, et al. High-pressure effects on the proteolytic enzymes of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fillets[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(10): 3 969 ~ 3 973.
 - 16 胡飞华, 陆海霞, 陈青, 等. 超高压处理对梅鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 329 ~ 335.
Hu Feihua, Lu Haixia, Chen Qing, et al. Effects of ultra-high pressure on gel properties of big head croaker (*Collichthys lucidus*) surimi[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(3): 329 ~ 335. (in Chinese)
 - 17 张秋勤, 徐幸莲, 胡萍, 等. 超高压处理对肉及肉制品的影响[J]. 食品工业科技, 2008, 29(12): 267 ~ 269.
Zhang Qiuqin, Xu Xinglian, Hu Ping, et al. Effects of ultra high pressure processing on meat and meat products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(12): 267 ~ 269. (in Chinese)
 - 18 陈艳, 丁玉庭, 邹礼根, 等. 鱼糜凝胶过程的影响因素分析[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(3): 12 ~ 15.
 - 19 刘茹, 钱蔓, 熊善柏, 等. 白鲢鱼糜凝胶劣化的影响因素[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(5): 709 ~ 713.
Liu Ru, Qian Man, Xiong Shanbai, et al. Influencing factors of silver carp surimi modori [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(5): 709 ~ 713. (in Chinese)
-

(上接第 153 页)

- 10 曹冬梅, 何成华, 景晟, 等. 一株具霉菌抑制活性细菌的鉴定[J]. 微生物学报, 2006, 46(3): 467 ~ 469.
Cao Dongmei, He Chenghua, Jing Sheng, et al. Identification of a bacterium with activities of inhibiting growth of fungi [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2006, 46(3): 467 ~ 469. (in Chinese)
- 11 刘嫣红, 唐炬明, 毛志怀, 等. 射频-热风与热风处理保鲜白面包的比较[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 323 ~ 328.
Liu Yanhong, Tang Juming, Mao Zhihui, et al. Comparison between combined radio frequency and hot air treatment and hot air treatment on bread fresh-keeping[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 323 ~ 328. (in Chinese)
- 12 Mafart P, Couvert O, Gaillard S, et al. On calculating sterility in thermal preservation methods: application of the Weibull frequency distribution model [J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 72(2): 107 ~ 113.
- 13 Avsaroglu M D, Buzrul S, Alpas H, et al. Use of the Weibull model for lactococcal bacteriophage inactivation by high hydrostatic pressure [J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 108(1): 78 ~ 83.
- 14 Buzrul S, Alpas H. Modeling inactivation kinetics of food borne pathogens at a constant temperature [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(4): 632 ~ 637.
- 15 van Boekel, M A J S. On the use of the Weibull model to describe thermal inactivation of microbial vegetative cells [J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 74(2): 139 ~ 159.
- 16 Peleg M, Cole M B. Estimating the survival of *Clostridium botulinum* spores during heat treatments [J]. Journal of Food Protection, 2000, 63(2): 190 ~ 195.
- 17 Fernandez A, Collado J, Cunha L M, et al. Empirical model building based on Weibull distribution to describe the joint effect of pH and temperature on the thermal resistance of *Bacillus cereus* in vegetable substrate [J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 77(2): 147 ~ 153.
- 18 Buzrul S. A suitable model of microbial survival curves for beer pasteurization [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(8): 1 330 ~ 1 336.