

几种添加剂对宽体舌鳎盐溶蛋白凝胶特性的影响

杨文鸽^{1*}, 金 淼¹, 颜伟华¹, 徐大伦¹, 徐培芳²

(1. 宁波大学生命科学与生物工程学院,应用海洋生物技术教育部重点实验室,浙江 宁波 315211;
2. 宁波鱼之美食品厂,浙江 宁波 315021)

摘要: 鱼肉盐溶蛋白的凝胶特性与鱼糜制品的质地密切相关,而盐溶蛋白的凝胶特性又受到许多因素影响。为研究添加转谷氨酰胺酶(TGase)、海藻酸钠、卡拉胶、魔芋胶对宽体舌鳎盐溶蛋白凝胶特性的影响,本实验通过四元二次通用旋转试验设计,采用响应面法建立了宽体舌鳎盐溶蛋白凝胶保水性(Y)和凝胶强度(y)与各添加剂用量的二次多项回归方程,确定了TGase、海藻酸钠、卡拉胶、魔芋胶的适宜添加量分别为0.36%、1.00%、1.00%、0.71%,添加后宽体舌鳎盐溶蛋白凝胶网状结构致密均匀,保水性和凝胶强度分别为60.36%和55.20 g,比对照组分别增加了36.41%和351.80%。结果说明,合适的添加剂组合可以显著的增加宽体舌鳎盐溶蛋白凝胶的保水性和凝胶强度。

关键词: 宽体舌鳎; 添加剂; 盐溶蛋白; 凝胶强度; 保水性

中图分类号: TS 254.1; S 917.4

文献标志码: A

鱼肉中的盐溶蛋白是鱼肉形成弹性凝胶体的主要成分,其凝胶特性如保水性和凝胶强度等与鱼肉制品的质地密切相关,直接影响着鱼糜制品的口感、保水性及产品得率等^[1]。因此提高盐溶蛋白凝胶的保水性及其凝胶强度显得特别重要。转谷氨酰胺酶(TGase)是一种酰基转移酶,能催化伯胺与蛋白质或多肽链上谷氨酰胺的酰氨基侧链发生反应,有效改善食品蛋白质的流变学和粘合特性,显著提高肉制品的凝胶强度^[1];亲水胶体如海藻酸钠、魔芋胶、卡拉胶、槐豆胶等也是鱼糜制品生产中常用的辅料之一,能显著增强鱼糜制品的凝胶特性、保水性,延长货架期^[2-3]。目前国内外对鱼糜凝胶特性的研究报道较多,对鱼肉盐溶蛋白凝胶特性的研究报道较少,于巍等^[4]研究了混合磷酸盐对草鱼盐溶蛋白的凝胶保水性及流变性的影响,王金余等^[5]对鲢鱼糜肌球蛋白交联反应和凝胶化最适条件进行研究,而关于宽体舌鳎(*Cynoglossus robustus*)盐溶蛋白凝胶特性及其鱼糜制品的研究未见报道。

随着捕捞强度的增大,海洋渔业资源逐年衰

减,一些低值鱼、小杂鱼的捕获份额不断上升,已达海洋捕捞产量的57%~59%,而这些鱼往往被用于生产鱼粉或新鲜鱼饵,未能得到充分利用^[6]。在捕获的小杂鱼中,宽体舌鳎占相当大的比例,该鱼营养丰富、肉质细腻、味道鲜美,但目前利用程度较低。本研究以宽体舌鳎鱼肉为原料,制备盐溶蛋白热诱导凝胶,根据四元二次通用旋转试验设计原理,采用响应面法研究不同添加剂(TGase、海藻酸钠、卡拉胶、魔芋胶)用量对宽体舌鳎盐溶性蛋白凝胶强度及其保水性的影响,优化添加剂用量及配比,旨在为宽体舌鳎鱼糜制品的生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

刚捕获的宽体舌鳎,体长(10±2) cm,体质量(50±5) g,购于宁波水产交易市场。TGase(100 U/g),卡拉胶,海藻酸钠,魔芋胶,NaCl均为食品级;其余试剂为分析纯。

TA.XT.plus 质构分析仪(英国 Stable Micro

收稿日期:2011-01-10 修回日期:2011-05-18

资助项目:国家自然科学基金项目(30972283);宁波市自然科学基金项目(2010A610013)

通讯作者:杨文鸽,E-mail:yangwenge@nbu.edu.cn

System 公司);Biofuge Stratos 台式高速冷冻离心机(德国 Thermo Scientific 公司),PHS-3C 型数字酸度计(上海精密科学仪器有限公司);XHF-1 型内切式匀浆机(宁波新芝生物科技股份有限公司);BP221S 电子分析天平(德国 Sartorius);ES-2030 冷冻干燥仪(日本 Hitachi);E-1010 真空离子溅射仪(日本 Hitachi);S-3400N 扫描电子显微镜(日本 Hitachi)。

1.2 方法

盐溶蛋白的提取和凝胶制备^[7] 取宽体舌鳎肉 5 g,加 pH 6.6 磷酸缓冲液匀浆,10 000 r/min 离心(4 ℃)。沉淀加入 0.7 mol/L NaCl 溶液并调 pH 值至 6.5,匀浆,4 ℃下静置 24 h 后离心,上清液即为盐溶蛋白溶液。将相应的添加剂加到盐溶蛋白溶液中,混匀,40 ℃水浴加热 35 min,立即在 85 ℃下恒温 30 min。形成的凝胶用自来水冷却,4 ℃保存。

凝胶强度测定^[8-9] 将制备好的盐溶蛋白凝胶用质构分析仪测定其硬度和弹性。测定时,采用 P/5 探头,穿刺前探头运行速度 2.00 mm/s,穿刺速度 1.00 mm/s,返回速度 1.00 mm/s,压缩距离 3 mm,最小感应力 5 g。凝胶强度(g) = 硬度(g) × 弹性。

凝胶保水性的测定^[10] 将制备好的盐溶

蛋白凝胶置于离心管,4 000 r/min 离心 5 min,以离心后凝胶重量占原重的百分比计算凝胶保水性(WHC)。

凝胶样品电镜扫描 将凝胶切成薄片,放入 2.5% 戊二醛固定液浸泡 24 h,磷酸缓冲液浸泡清洗,再用 1% 饿酸固定液固定 1 h,磷酸缓冲液浸泡清洗。不同浓度的乙醇溶液依次脱水,无水乙醇和叔丁醇混合液漂洗后放入样品罐,并加纯叔丁醇,冷冻。HCP-2 临界点干燥仪干燥,IB-3 离子溅射仪镀金,电镜扫描观察。

1.3 统计分析

试验时每个处理设 3 ~ 5 个重复,数据采用 SPSS 11.5 和 SAS 9.1.3 进行统计分析。

2 结果

2.1 四元二次通用旋转试验设计和模型分析

在预实验基础上,选择转谷氨酰胺酶(Z_1)、海藻酸钠(Z_2)、卡拉胶(Z_3)和魔芋胶(Z_4)4 种添加剂为影响因子,采用响应面法研究添加剂用量对宽体舌鳎盐溶蛋白热诱导凝胶保水性和凝胶强度的影响。因素水平编码表见表 1,设计 31 个试验点,其中 24 个析因点,7 个零点,试验设计及结果见表 2。

表 1 响应面分析因素及水平

Tab.1 Analytical factors and levels for response surface methodology

因素 factor	水平 level				
	-2	-1	0	1	2
转谷氨酰胺酶(Z_1)/% TGase	0	0.25	0.50	0.75	1.00
海藻酸钠(Z_2)/% sodium alginate	0	0.25	0.50	0.75	1.00
卡拉胶(Z_3)/% carrageenan	0	0.25	0.50	0.75	1.00
魔芋胶(Z_4)/% kanjoc gel	0	0.25	0.50	0.75	1.00

表 2 试验设计方案及结果

Tab.2 Experimental design scheme and results

试验号 number	转谷氨酰胺酶 TGase	海藻酸钠 sodium alginate	卡拉胶 carrageenan	魔芋胶 kanjoc gel	保水性/% water holding capability	凝胶强度/g gel strength
1	-1	1	1	1	60.09	48.92
2	-1	1	1	-1	52.72	40.72
3	-1	1	-1	1	57.34	43.40
4	-1	1	-1	-1	50.33	39.13
5	-1	-1	1	1	55.95	46.02
6	-1	-1	1	-1	47.77	40.12

续表 2

试验号 number	转谷氨酰胺酶 TGase	海藻酸钠 sodium alginate	卡拉胶 carrageenan	魔芋胶 kanjoc gel	保水性/% water holding capability	凝胶强度/g gel strength
7	-1	-1	-1	1	51.88	41.68
8	-1	-1	-1	-1	45.06	36.39
9	1	1	1	1	55.55	58.61
10	1	1	1	-1	47.80	55.06
11	1	1	-1	1	53.19	54.99
12	1	1	-1	-1	46.78	51.67
13	1	-1	1	1	51.32	56.02
14	1	-1	1	-1	43.86	50.06
15	1	-1	-1	1	48.25	53.40
16	1	-1	-1	-1	40.87	49.64
17	-2	0	0	0	61.72	34.83
18	2	0	0	0	48.13	49.74
19	0	-2	0	0	49.15	48.50
20	0	2	0	0	53.24	54.22
21	0	0	-2	0	41.62	55.30
22	0	0	2	0	51.76	57.57
23	0	0	0	-2	38.55	43.96
24	0	0	0	2	58.52	44.15
25	0	0	0	0	47.28	52.17
26	0	0	0	0	48.41	51.24
27	0	0	0	0	48.87	54.85
28	0	0	0	0	49.52	52.63
29	0	0	0	0	50.16	52.36
30	0	0	0	0	47.81	53.49
31	0	0	0	0	46.81	54.51
对照组 control	-2	-2	-2	-2	44.35	13.36

根据表 2 结果,得到宽体舌鲷盐溶蛋白凝胶保水性和凝胶强度与各添加剂用量的数学模型分别为

$$Y = 48.41 - 2.53Z_1 + 1.96Z_2 + 1.74Z_3 + 4.10Z_4 + 1.66Z_1^2 - 0.05Z_1Z_2 - 0.16Z_1Z_3 - 0.02Z_1Z_4 + 0.73Z_2^2 - 0.27Z_2Z_3 - 0.08Z_2Z_4 - 0.39Z_3^2 + 0.20Z_3Z_4 + 0.07Z_4^2;$$

$$y = 53.03 + 5.12Z_1 + 1.27Z_2 + 1.24Z_3 + 1.69Z_4 - 2.80Z_1^2 + 0.20Z_1Z_2 - 0.32Z_1Z_3 - 0.44Z_1Z_4 - 0.53Z_2^2 + 0.19Z_2Z_3 - 0.10Z_2Z_4 + 0.74Z_3^2 + 0.44Z_3Z_4 - 2.36Z_4^2$$

对上述方程进行方差分析,结果见表 3 和表 4。表 3 中参数 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 的 $\text{Prob} > F$ 值小于

0.01,说明 4 种添加剂对宽体舌鲷盐溶蛋白凝胶保水性的影响极其显著。表 4 中参数 Z_1 、 Z_4 的 $\text{Prob} > F$ 值小于 0.01, Z_2 、 Z_3 的 $\text{Prob} > F$ 值在 0.01 ~ 0.05,说明 TGase、魔芋胶对宽体舌鲷盐溶蛋白凝胶强度的影响极其显著,海藻酸钠、卡拉胶对凝胶强度的影响显著。在表 3 和表 4 中,模型失拟项的 $\text{Prob} > F$ 值均大于 0.05,说明两模型失拟项都不显著,未知因子对试验结果干扰很小,模型选择合适;软件分析得到模型的相关系数 R^2 分别为 94.68%、93.71%,均大于 90.00%,模型相关度很好;CV 值分别为 3.40%、4.51%,模型方程能较好地反映真实值。所以,可以使用该模型分析响应值保水性和凝胶强度的变化。

表 3 保水性响应面方差分析
Tab.3 ANOVA of RSA for the WHC

方差来源 sources of variation	自由度 degree of freedom	平方和 sum of square	均方 mean square	F 值 F value	Prob > F (a)	显著性 significance
Z ₁	1	153.52	153.52	53.14	0.000 1	**
Z ₂	1	92.12	92.12	31.89	0.000 1	**
Z ₃	1	72.25	72.25	25.01	0.000 1	**
Z ₄	1	402.78	402.78	139.42	0.000 1	**
Z ₁ ²	1	79.21	79.21	27.42	0.000 1	**
Z ₁ Z ₂	1	0.04	0.04	0.01	0.907 8	
Z ₁ Z ₃	1	0.38	0.38	0.13	0.720 1	
Z ₁ Z ₄	1	0.01	0.01	0.00	0.956 1	
Z ₂ ²	1	15.31	15.31	5.30	0.035 1	*
Z ₂ Z ₃	1	1.17	1.17	0.40	0.534 1	
Z ₂ Z ₄	1	0.11	0.11	0.04	0.850 8	
Z ₃ ²	1	4.45	4.45	1.54	0.232 5	
Z ₃ Z ₄	1	0.62	0.62	0.21	0.650 4	
Z ₄ ²	1	0.13	0.13	0.04	0.836 2	
模型	14	822.85	58.77	20.34	0.000 1	**
失拟项	10	37.52	3.75	2.59	0.128 5	
误差	6	8.70	1.45			
总和	30	869.07				

表 4 凝胶强度响应面方差分析
Tab.4 ANOVA of RSA for the gel strength

方差来源 sources of variation	自由度 degree of freedom	平方和 sum of square	均方 mean square	F 值 F value	Prob > F (a)	显著性 significance
Z ₁	1	629.25	629.25	127.65	0.000 1	**
Z ₂	1	39.03	39.03	7.92	0.012 5	*
Z ₃	1	36.97	36.97	7.50	0.014 6	*
Z ₄	1	68.70	68.70	13.94	0.001 8	**
Z ₁ ²	1	223.94	223.94	45.43	0.000 1	**
Z ₁ Z ₂	1	0.66	0.66	0.13	0.718 4	
Z ₁ Z ₃	1	1.64	1.64	0.33	0.571 8	
Z ₁ Z ₄	1	3.13	3.13	0.63	0.437 4	
Z ₂ ²	1	8.02	8.02	1.63	0.220 4	
Z ₂ Z ₃	1	0.56	0.56	0.11	0.740 1	
Z ₂ Z ₄	1	0.16	0.16	0.03	0.860 5	
Z ₃ ²	1	15.60	15.60	3.16	0.094 3	
Z ₃ Z ₄	1	3.03	3.03	0.62	0.444 2	
Z ₄ ²	1	158.75	158.75	32.20	0.000 1	**
模型	14	1 174.69	83.91	17.02	0.000 1	**
失拟项	10	68.60	6.86	4.01	0.051 4	
误差	6	10.27	1.71			
总和	30	1 253.56				

注:(a) Prob > F 值的大小表明模型及各个考察因素的显著水平;(b) * Prob > F 值小于 0.05 表明模型或各因素有显著影响,** Prob > F 值小于 0.01 表示影响高度显著。

Notes:(a) the value of Prob > F indicted the significant level of the model and various factors;(b) * [Prob > F] < 0.05; the model or various factors have a significant influence on the gel strength; ** [Prob > F] < 0.01; the model or various factors have a highly significant influence on the gel strength.

2.2 响应面图形单因子效应分析

考虑到4种添加剂对宽体舌鲷盐溶蛋白凝胶的保水性和凝胶强度均有极显著或显著影响,对4个因子进行单因子效应分析,得到单因子效应曲线(图1)和单因子效应方程,描述各因子变化对 Y, y 值的影响。

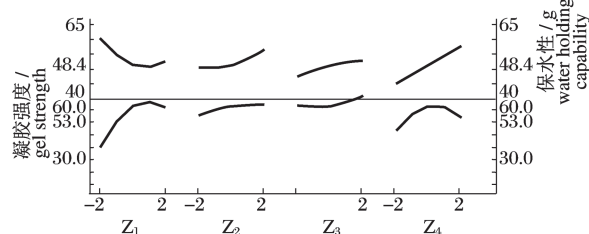


图1 单因子效应曲线

Fig. 1 Effect of single factor

TGase对宽体舌鲷盐溶蛋白凝胶保水性的单因子效应方程为 $Y_1 = 48.41 - 2.53Z_1 + 1.66Z_1^2$;当码值为0.76时, Y_1 值最小(47.45%),TGase添加量为0.69%;当达到最小码值-2时, Y_1 值最大(58.12%),TGase添加量为0。TGase对凝胶强度的效应方程为 $y_1 = 53.03 + 5.12Z_1 - 2.80Z_1^2$;当码值为0.91时, y_1 最大(55.37g),此时TGase添加量为0.73%。

海藻酸钠对凝胶保水性的单因子效应方程为 $Y_2 = 48.41 + 1.96Z_2 + 0.73Z_2^2$;当码值为-1.34时, Y_2 值最小(47.10%),海藻酸钠添加量为0.17%;当达到最大码值2, Y_2 值最高(55.24%),此时海藻酸钠添加量为1.00%。海藻酸钠对凝胶强度的效应方程为 $y_2 = 53.03 + 1.28Z_2 - 0.53Z_2^2$;当码值为1.20时, y_2 值最大(53.80g),此时海藻酸钠添加量为0.80%。

卡拉胶对凝胶保水性和凝胶强度的单因子效应方程分别为 $Y_3 = 48.41 + 1.74Z_3 - 0.39Z_3^2$, $y_3 = 53.03 + 1.24Z_3 + 0.74Z_3^2$,当码值为2时,卡拉胶用量为1.00%,此时凝胶保水性和凝胶强度均达到最大。

魔芋胶对凝胶保水性的单因子效应方程为 $Y_4 = 48.41 + 4.10Z_4 + 0.07Z_4^2$ 。当码值为2时,凝胶保水性最高(56.87%),魔芋胶添加量为1.00%;魔芋胶对盐溶蛋白凝胶强度的效应方程为 $y_4 = 53.03 + 1.69Z_4 - 2.36Z_4^2$,码值为0.36时,凝胶强度最大(53.33g),此时魔芋胶添加量为0.58%。

2.3 凝胶保水性和凝胶强度模拟寻优

通过码值方程求 Y, y 值,凝胶保水性最大值为77.61%,添加剂及其用量分别为海藻酸钠1.00%、卡拉胶1.00%和魔芋胶1.00%;凝胶强度最大值为62.10g,添加剂及其用量分别为TGase 0.73%、海藻酸钠0.80%、卡拉胶1.00%和魔芋胶0.58%。TGase添加量从0增加到0.73%,保水性由58.10%降到45.40%,凝胶强度从31.59g增到55.37g,由于TGase对保水性和凝胶强度的作用力相反,故添加量取其中间值0.36%;海藻酸钠量从0.80%增到1.00%,保水性从49.84%增到53.32%,凝胶强度从53.79g降到53.45g,海藻酸钠添加量1.00%较合理;添加1%卡拉胶,保水性和凝胶强度均为最佳;魔芋胶添加量从0.58%增到1.00%,保水性由47.94%增到54.93%,凝胶强度从53.53g降到46.97g,魔芋胶量在0.58%到1.00%之间,对保水性和凝胶强度的作用力相反,取其中间值0.71%较为合理。

TGase、海藻酸钠、卡拉胶、魔芋胶合适的添加量分别为0.36%,1.00%,1.00%,0.71%,此时宽体舌鲷盐溶蛋白凝胶有较佳的保水性和凝胶强度,分别为 $60.36\% \pm 1.05\%$ 和 (55.20 ± 0.13) g,与模型预测值60.23%和55.97g非常接近。可见,通过响应面建立数学模型,优化宽体舌鲷盐溶蛋白凝胶特性是可靠的。相对于对照组,优化组保水性和凝胶强度分别增加了 $36.41\% \pm 0.03\%$ 和 (351.80 ± 0.13) g。

2.4 凝胶的电镜扫描结果

在宽体舌鲷盐溶蛋白中,添加0.36% TGase、1.00%海藻酸钠、1.00%卡拉胶和0.71%魔芋胶,制备凝胶作为优化组,同时制作空白组,进行电镜扫描(图2)。从图2可以看出,空白组(a)形成的

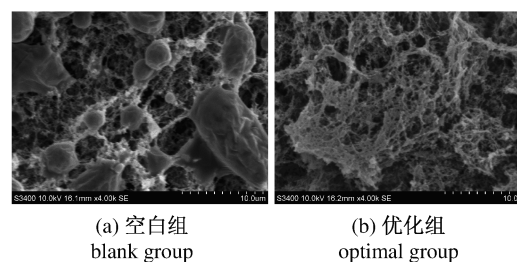


图2 宽体舌鲷鱼肉盐溶蛋白凝胶的电镜扫描图
Fig. 2 Scanning electron microscope of salt-soluble protein gel from *C. robustus* meat

凝胶三维结构比较松散,凝胶内孔洞形状和大小不规则;优化组(b)制成的盐溶蛋白凝胶表面结构光滑,三维网状结构致密均匀,能显著提高盐溶蛋白凝胶强度,有效提高凝胶的保水性。

3 讨论

TGase 被认为是改善食品蛋白质流变学和粘合特性的一个有效工具,已被用于催化不同蛋白质之间的交联作用,如牛肉、猪肉、鸡肉及鱼肉的明胶和肌浆蛋白等。宽体舌鳎盐溶蛋白凝胶强度的提高并不与 TGase 添加量呈正相关,而是在一定添加量时凝胶强度达最大值,说明维系蛋白质凝胶网络稳定所需的共价键数目具有一定饱和性,过度的交联反而不利于凝胶空间网络的形成^[11],这与国外学者对马鲛鱼、带鱼、狭鳕、大眼海鲈鱼等鱼糜的研究结果类似^[12-13]。如 JIANG 等^[12]在马鲛鱼糜中添加不同浓度(0.0~0.6 U/g)的 TGase,添加量为 0.3 U/g 时凝胶的破断强度、凹陷深度及凝胶强度均取得最大值,之后随 TGase 浓度增加而下降, TGase 添加过量反而使鱼糜凝胶变得硬而脆。在宽体舌鳎盐溶蛋白中,添加 TGase 后凝胶保水性降低,这与吴立根等^[14]的研究结果一致,但也有研究表明,添加 TGase 对凝胶保水性作用不明显^[15]或增加凝胶保水性^[16-17],其原因还有待进一步研究。

海藻酸钠是亲水胶体,能在一定条件下充分水化,形成粘稠、滑腻或胶冻状液的大分子物质,添加适量的海藻酸钠能增加凝胶保水性^[18]。卡拉胶是带有硫酸基的阴离子多糖,在一定条件下能与盐溶蛋白发生静电吸引作用,形成连接型凝胶,显著增加盐溶蛋白的质构和流变特性,尤其能明显增加凝胶的内聚性和储能模量,使凝胶强度得以提高^[19-20]。魔芋胶属于非离子型高分子多糖,分子中含有丰富的羟基,易于与水分子结合,增加凝胶的保水性,同时由于魔芋胶与盐溶蛋白分子间的相互作用力可能大于盐溶蛋白分子间的相互作用力,使得混合体系易形成更强的三维网络,从而增加凝胶强度;但胶体量过高可能引起亲水胶体的水合能力高于盐溶蛋白胶体,使凝胶失去水的保护,不利于混合体系形成牢固的网络结构,最终使其凝胶强度降低。

对于海洋低值小杂鱼的加工利用,加工成鱼糜制品是一条极好的途径。本实验结果显示添加

剂可以显著的增加宽体舌鳎盐溶蛋白凝胶的保水性和凝胶强度。在实际应用中,可选择这些添加剂来改善宽体舌鳎鱼糜制品的凝胶特性。

参考文献:

- [1] 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: 92-112.
- [2] CHEN H H, XUE C H. Effects of various hydrocolloids on gel properties of *Trachinocephalus myops surimi* [J]. Food Science, 2009, 30(5): 40-42.
- [3] 陈海华, 薛长湖. 亲水胶体对竹筴鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 119-125.
- [4] 于巍, 周坚. 草鱼盐溶蛋白保水性及流变性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(10): 72-75.
- [5] 王金余, 刘承初, 赵善贞. 白鲢鱼糜肌球蛋白交联反应和凝胶化最适条件的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 223-225.
- [6] 谢燕, 章超桦, 刘书成, 等. 南海 8 种低值小杂鱼脂肪含量和脂肪酸组成分析[J]. 南方水产, 2007, 3(3): 47-52.
- [7] BERTRAM H C, KRISTENSEN M, ANDERSEN H J. Functionality of myofibrillar proteins as affected by pH, ionic strength and heat treatment—a low-field NMR study[J]. Meat Science, 2004, 68: 249-256.
- [8] 林婉玲, 关熔, 曾庆孝. 影响脆肉鲩鱼背肌质构特性的因素[J]. 华南理工大学学报, 2009, 37(4): 134-135.
- [9] 陆海霞, 张蕾, 李学鹏, 等. 超高压对秘鲁鲷鱼肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 1107-1114.
- [10] 颜伟华, 丁宁, 陈丹, 等. 提取条件对鲨鱼肉盐溶蛋白热诱导凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 14-17.
- [11] 李艳青, 孔保华, 王涛. 转谷氨酰胺酶在淡水鱼制品中的应用[J]. 食品科技, 2004, 29(4): 40-42.
- [12] JIANG S T, HSIEH J F. Microbial transglutaminase affects gel properties of golden threadfin-bream and pollack surimi [J]. Food Sciences, 2000, 65(4): 694-699.
- [13] JIANG S T, HSIEH J F. Combination effects of microbial transglutaminase, reducing agent, and protease inhibitor on the quality of hairtail surimi [J]. Food Sciences, 2000, 65(2): 241-245.
- [14] 吴立根, 吴国玉, 刘芳. 谷氨酰胺转氨酶对鸡胸肉失水率影响的研究[J]. 农产品加工, 2007(12):

- 4-6.
- [15] CARDOSO C, MENDES R. Effect of salt and MTGase on the production of high quality gels from farmed sea bass [J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 101(1):98-105.
- [16] RAMÍREZ J, ÁNGEL A D. Low-salt restructured products from striped mullet (*Mugil cephalus*) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as additives [J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(1):243-249.
- [17] TRESPALACIOUS P, PLA R. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels [J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(1):264-272.
- [18] 万金虎, 陈晓明, 徐学明, 等. 四种常见亲水胶体对面团特性的影响研究 [J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(11):22-25.
- [19] DIRK V, NICO N, PAUL V. Influence of j-carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins [J]. *Meat Science*, 2005, 70:161-166.
- [20] 刘珊, 赵谋明, 胡坤. κ -卡拉胶对大豆分离蛋白乳浊凝胶特性的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2003, 29(11):10-13.

Influence of several additives on the gel properties of salt soluble protein from *Cynoglossus robustus*

YANG Wen-ge^{1*}, JIN Miao¹, YAN Wei-hua¹, XU Da-lun¹, XU Pei-fang²

(1. Faculty of Life Science and Biotechnology, Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology,

Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2 Ningbo Yuzhimei Seafood Plant, Ningbo 315021, China)

Abstract: The gel-forming properties of salt soluble protein are one of the most important functional properties in processed surimi products, which could affect the texture, emulsion, water holding capability (WHC), gel strength and sensory characteristics of fish products. However, the gel-forming properties of salt soluble protein are affected by a lot of factors including additives. To study the influence of several additives (TGase, sodium alginate, carrageenan, kanjoc gel) on the gel properties of salt-soluble protein from *Cynoglossus robustus*, the multiple regression models were set up between the WHC, strength of salt-soluble protein gel and content of additives according to the quadratic composite rotational experimental design and response surface method, then the optimal quantities of four additives were determined. When the additive composition was TGase 0.36%, sodium alginate 1.00%, carrageenan 1.00% and kanjoc gel 0.71%, the net structure of gel was dense evenly, and the WHC and strength of salt-soluble protein gel were 60.36% and 55.20 g, respectively. Compared with the control group, the WHC and gel strength of salt soluble protein from *Cynoglossus robustus* increased by 36.41% and 351.80%. Appropriate additives combination could significantly improve the WHC and gel strength of salt soluble protein from *Cynoglossus robustus*.

Key words: *Cynoglossus robustus*; additives; salt soluble protein; gel strength; water holding capability

Corresponding author: YANG Wen-ge. E-mail: yangwenge@nbu.edu.cn