带鱼鱼糜漂洗水中回收蛋白的性质及其在鱼糜中的再利用

魏华茂，杨文鸽，张梦芸，胡小超，徐大伦，楼乔明，严小军
（宁波大学海洋学院，浙江海洋高效健康养殖协同创新中心，浙江宁波 315211）

摘要：为提高鱼糜加工品附加值，探究回收的鱼糜漂洗水可溶蛋白添加至鱼糜中的可行性，本文对絮凝法沉淀的漂洗水可溶蛋白进行氨基酸组成、重金属含量和挥发性风味成分分析，评价其营养价值、安全性及风味特点，并进一步将回收蛋白添加至鱼糜，以鱼糜白度、凝胶强度等为指标，确定其最适添加量。结果表明，从鱼糜漂洗水中回收的蛋白质，其氨基酸含量达 73.11%，其中必需氨基酸占氨基酸总量的 43.95%，必需氨基酸指数（EAAI）为 70.04%，具较高的营养价值；回收蛋白的重金属（铅、镉、汞、铬、砷）含量均在国家标准限定值之内，具较好的安全性；气质联用仪（GC-MS）结合感官分析，鱼糜漂洗水中的回收蛋白鱼香味明显，无令人不愉快的气味，添加至带鱼鱼糜后能改善鱼糜凝胶特性，合适的添加量为 3%。表明鱼糜漂洗水中的可溶蛋白营养价值高、安全，重新添加到鱼糜中能提高鱼糜白度，一定程度上改善鱼糜的凝胶特性。

关键词：鱼糜；漂洗水；回收蛋白；营养评价
文章篇号：1673-9078(2016)6-321-327 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.6.049

Analysis of Protein from Hairtail Surimi Rinse Water and Its Utilization in Surimi Production

WEI Hua-mao, YANG Wen-ge, ZHANG Meng-yun, HU Xiao-chao, XU Da-lun, LOU Qiao-ming, YAN Xiao-jun
(School of Marine Science, Ningbo University, Collaborative Innovation Center for Zhejiang Marine High-efficiency and Healthy Aquaculture, Ningbo315211,China)

Abstract: To improve the value of surimi products, the feasibility of adding soluble protein recovered from surimi rinse water to surimi was explored. The amino acid composition, heavy-metal content, and volatile-flavor compounds in the soluble proteins recovered by flocculation from surimi wash-water were determined, and the nutritional value, safety, and flavor characteristics of the recovered proteins were evaluated. Furthermore, the optimum amount of the recovered protein to be added was determined using whiteness and gel strength of surimi as quality indicators. The results showed that the total amino acid content, the value of essential amino acids (EAA)/total amino acids (TAA), and essential amino acid index (EAAI) were 73.11%, 43.95%, and 70.04%, respectively, showing a high nutritional value. The levels of heavy metals (lead, cadmium, mercury, chromium, and arsenic) were lower than the allowable values of the national standard, showing a good food safety profile. The samples were further analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and sensory analysis. The protein recovered from surimi wash-water had an obvious fish-like flavor without an unpleasant odor. The gel properties of hairtail surimi were improved by adding the recovered protein, and the optimum amount of supplementation was 3%. This study indicates that the soluble protein recovered from surimi wash-water is safe and high in nutritional value, and addition of the recovered protein can enhance surimi whiteness and improve its gel properties.

Key words: surimi; wash-water; recovered protein; nutritional evaluation

鱼糜是海洋食品加工的一种重要原料，也是全球生产量、消费量最大，最受消费者欢迎的水产食品之一。近几年国内鱼糜加工业发展迅速，年产量以近30%的复合增长率递增，2013年鱼糜制品的年产量达117.2万t，占水产品加工总量的6.14%。然而在鱼糜生产中，由于鱼肉的漂洗，会造成约30%左右的可溶蛋白流失到漂洗水中，按目前我国年产30~40万t鱼糜计算，漂洗水中的可溶蛋白流失约9~12万t[1]。

收稿日期：2015-08-06
基金项目：海洋公益性行业科研专项(201305013)，浙江省大学生新苗人才计划（2015R405012）
作者简介：魏华茂，男，硕士生，主要从事水产品加工与高值化利用研究。
通讯作者：杨文鸽(1966-)，女，博士，教授，主要从事水产品保鲜加工与高值化利用研究

通过对鱼糜漂洗水成分的分析，发现其蕴含丰富的营养价值。从鱼糜漂洗水中回收的蛋白质，其氨基酸组成合理，是一种优质蛋白质，可作为蛋白源添加到饲料或食品中。如李流川[2]等分析了带鱼鱼糜漂洗水的回收蛋白特性，回收蛋白的必需氨基酸（EAAI）指数为68.21，构成符合FAO/WHO标准；李鹏等[3]将鲶鱼鱼糜漂洗水中回收的肌浆蛋白添加至鱼糜之中，发现随添加量的增大，鲶鱼鱼糜的凝胶硬度、弹性、咀嚼度和凝胶强度不断上升，并在添加量为4%时达最大值；随后在鲶鱼火腿肠中添加4%的肌浆蛋白，鲶鱼火腿肠的蛋白含量及其剪切力均上升且达到较理想的结果。目前，对鱼糜漂洗水中的可溶蛋白研究，国内外主要集中于如何提高其蛋白回收率[4,5]，而对于漂洗水回收蛋白的营养价值、安全性、风味特点，以及其在鱼糜中再利用的研究较少。

本文在前期利用絮凝剂回收蛋白条件优化的基础上，使用絮凝法提取鱼糜漂洗水中的可溶蛋白，随后对回收蛋白的氨基酸组分、重金属含量进行测定，结合固相微萃取-气质联用（SPME-GC-MS）和感官分析回收蛋白的风味特点，并进一步将回收蛋白添加到带鱼鱼糜中，确定合适的添加量，为实现鱼糜漂洗水回收蛋白的再利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

冷冻带鱼鱼糜和鱼糜漂洗水：由宁波飞日水产实业有限公司提供。其中鱼糜等级为 AB 级，含水量73%±0.19%；鱼糜漂洗水为加工带鱼鱼糜时的一次漂洗水，经 100 目筛网过滤后使用复合絮凝剂（$V_{壳聚糖}$:$V_{海藻酸钠}$:V_{FeCl3}=1:7:2）沉淀，过滤，固形物经冷冻干燥，得到的蛋白质干粉即为鱼糜漂洗水中的回收蛋白。壳聚糖、海藻酸钠、氯化钠等均为食品级。

氨基酸自动分析仪，型号 835-50，北京华阳分析仪器有限公司；原子吸收光谱仪，型号 AA2610，北京华阳分析仪器有限公司；固相微萃取装置：手动进样手柄、萃取头（聚二甲基硅氧烷/二乙烯苯（PDMS/DVB），涂层厚度 65 μm）。气质联用仪：ISQ Series MS，TRACE 1300 Series GC，美国 Thermo Fisher Scientific 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鱼糜漂洗水回收蛋白的氨基酸组成分析

通过预实验，在漂洗水中添加絮凝剂（海藻酸钠、壳聚糖、氯化铁分别配成 1%溶液，三者按不同体积比混合，添加后每升漂洗水中絮凝剂的总质量为 0.4 g），14 ℃静置 3 h，最终得出絮凝剂 $V_{壳聚糖}$:$V_{海藻酸钠}$:V_{FeCl3}=1:7:2 处理后的蛋白回收率最高，因此本试验采用该复合絮凝剂回收蛋白。

回收蛋白的氨基酸组成分析参照国标 GB/T 5009.124-2003 测定。根据 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式（%，dry）和全鸡蛋蛋白的氨基酸模式（%，dry），分别按下列公式计算氨基酸评分（AAS）、化学评分（CS）和必需氨基酸指数（EAAI）。

$$AAS=\frac{aa}{AA_{FAO/WHO}}:CS=\frac{aa}{AA_{Egg}}:EAAI=[\frac{100A}{AE}\times\frac{100B}{BE}\times\cdots\times\frac{100I}{IE}]^{\frac{1}{n}}$$

其中，*aa* 为所测样品的氨基酸含量（%）；$AA_{FAO/WHO}$ 为 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸的含量（%）；AA_{Egg} 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸的含量（%）；*n* 为必需氨基酸个数，*A*、*B*、*C*……为回收蛋白中必需氨基酸的含量（%，dry），*AE*、*BE*、*CE*……为全鸡蛋蛋白质中必需氨基酸含量（%，dry）。

1.2.2 鱼糜漂洗水回收蛋白的重金属分析

铅：GB 5009.12-2010 食品安全国家标准食品中铅的测定；镉：GB/T 5009.15-2003 食品中镉的测定；汞：GB/T 5009.17-2003 食品中总汞及有机汞的测定；砷：GB/T 5009.11-2003 食品中总砷及无机砷的测定；所测得的重金属含量根据《GB 2762-2012 食品安全国家标准食品中污染物限量》判断是否超标。

1.2.3 鱼糜漂洗水回收蛋白的挥发性风味分析

固相微萃取条件：准确称取 0.1 g 回收蛋白放入顶空瓶，60 ℃水浴条件恒温挥发 30 min，将进样针插入顶空瓶中，调整并固定萃取头在顶空体积中的位置，吸附 30 min。将进样针插入气相色谱进样口，解析 5 min。

色谱条件：TR-5MS（30 m×0.25 mm×0.25 μm）弱极性毛细管柱；程序升温：初温 40 ℃，保持 3min，以 4 ℃/min 升温至 150 ℃，保持 5 min，以 10 ℃/min 升温至 250 ℃，保持 15 min。进样口温度 280 ℃，分流比 20%，解析时间 5 min。

质谱条件：传输线温度 280 ℃；离子源温度 230 ℃；四极杆温度 150 ℃；电子能量 70 eV；质量扫描范围 35~400。挥发性成分通过 NIST MS Search 2.0 确认定性。

1.2.4 鱼糜漂洗水回收蛋白的再利用

1.2.4.1 鱼糜凝胶的制备[6]

冷冻带鱼鱼糜→低温解冻→空斩 2 min→添加鱼糜质量 3%的食盐，盐擂 2 min→添加回收蛋白（0%、1%、2%、3%、4%、5%），斩拌 3 min→调节水分含量至 80%→灌肠→凝胶化：40 ℃ 60 min 后 90 ℃ 30 min→鱼肠→冷却→4 ℃冷藏

1.2.4.2 TPA 及凝胶强度测定

质构剖面分析（TPA）的测定[7]：将鱼肠（φ 2.5 cm）切成 25 mm 高的圆柱体，用 P50 探头测定 TPA，测试压缩比 75%，下压力 5 g，两次压缩间隔时间 5 s，通过软件宏运算得到硬度、弹性、粘聚性和咀嚼性。在测试曲线中，第一次挤压得到的最大峰值即表示为硬度；第二次挤压开始到达最大峰值的时间与第一次挤压开始到达峰值的时间比（t_2/t_1）即表示弹性；第二次挤压与第一次挤压的正力面积之比表示为粘聚性；而咀嚼性则为硬度、弹性和粘聚性的乘积。

凝胶强度的测定[8]：将鱼肠切成 25 mm 高的圆柱体，用 P/0.5 s 球形探头测凝胶强度，破断力为穿刺曲线上的第一个最高峰值；凹陷深度为与破断力相对应的破断距离，参数为测前 5 mm/s 测试速度 1 mm/s，测后速度 5 mm/s，下压距离 10 mm，触发力 10 g。凝胶强度（g mm）=破断力（g）×破断距离（mm），每组样品 3 个平行，结果取均值。

1.2.4.3 鱼肠持水性和白度测定方法

白度测定[9]：将鱼肠切成 10 mm 左右的薄片，使用色差仪测定 L*, a*，b*值。每组样品 3 次重复测定，再根据以下白度公式计算：

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

持水性的测定：取鱼肠 5 g，滤纸包好后置于离心管内，4 ℃下 8000 r/min 离心 10 min，除去滤纸，并用滤纸吸干样品表面的水分，称重，重复操作 3 次。持水性计算公式如下：

$$\text{持水性} = \frac{\text{鱼肠中水分质量-离心释放出的水分质量}}{\text{离心前的鱼肠质量}} \times 100$$

式中：鱼肠中水分质量=鱼肠的水分含量×离心前的鱼肠质量；离心释放出的水分质量=离心前的鱼肠质量-离心后鱼肠的质量。

1.3 数据处理方法

数据采取平均值±标准偏差表示，采用 origin8.5 作图，并通过 SAS 软件分析显著性（$p<0.05$）及其方差。

2 结果与讨论

2.1 回收蛋白的氨基酸组分分析

鱼糜漂洗水回收蛋白的氨基酸组成如表 1 所示，共检测出 15 种氨基酸，其中人体所必需的氨基酸占回收蛋白干重的 32.13%，占全部氨基酸总量的 43.95%，此外必需氨基酸与非必需氨基酸的比例为 78.40%。根据 FAO/WHO 的理想模式，质量好的蛋白质其组成氨基酸中必需氨基酸与氨基酸总量的比值为 40%以上，而必需氨基酸和非必需氨基酸的比例应在 60%以上，可见来自鱼糜漂洗水的回收蛋白具有较好的营养质量。

表 1 鱼糜漂洗水回收蛋白的氨基酸组成

Table 1 Amino acid composition of proteins recovered from surimi wash-water

氨基酸种类	含量/(g/100 g)	氨基酸种类	含量/(g/100 g)
苏氨酸*(Thr)	3.36±0.07	甘氨酸(Gly)	4.44±0.22
缬氨酸*(Val)	4.52±0.13	酪氨酸(Tyr)	2.36±0.25
蛋氨酸*(Met)	2.52±0.15	组氨酸(His)	3.26±0.17
异亮氨酸*(Ile)	4.46±0.06	精氨酸(Arg)	3.26±0.36
苯丙氨酸*(Phe)	3.44±0.17	丙氨酸(Ala)	4.94±0.15
赖氨酸*(Lys)	5.80±0.12	必需氨基酸(EAA)	32.13±0.15
亮氨酸*(Leu)	8.03±0.22	氨基酸总量(TAA)	73.11±0.15
丝氨酸(Ser)	3.68±0.15	非必需氨基酸(NEAA)	40.98±0,18
天冬氨酸(Asp)	7.02±0.09	EAA/TAA	43.95±0.22
谷氨酸(Glu)	12.02±0.06	EAA/NEAA	78.40±0.36

注：*为必需氨基酸。

表 2 回收蛋白的氨基酸品质评价

Table 2 Quality evaluation of the essential amino acids in recovered proteins

必需氨基酸种类	回收蛋白/%	FAO/WHO	全鸡蛋/%	AAS/%	CS/%
苏氨酸(Thr)	33.58	40	47	83.95	71.45
缬氨酸(Val)	45.22	50	66	90.44	68.52
蛋氨酸(Met)	25.19	35	57	71.97	44.19
异亮氨酸(Ile)	44.55	70	54	63.64	82.50
苯丙氨酸+酪氨酸(Phe+Tyr)	57.94	60	93	96.57	62.30
亮氨酸(Leu)	80.27	70	86	114.67	93.34
赖氨酸(Lys)	58.22	55	70	105.85	83.17
EAAI	-	-	-	-	70.47

注：*为第一限制氨基酸。

根据表 1 数据，按照 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白的氨基酸模式，计算鱼糜漂洗水回收蛋白中的必需氨基酸含量、AAS、CS 以及 EAAI 值，结果见表 2。从氨基酸评分（AAS）来看，第一、第二限制性氨基酸分别为蛋氨酸和异亮氨酸，其他氨基酸均在 60 以上；从化学评分（CS）来看，第一、第二限制性氨基酸分别为蛋氨酸和苯丙氨酸，其他种类的氨基酸均高于 70；必需氨基酸指数（EAAI）高达 70.47%，表明该类回收蛋白具有丰富并且适合人体营养需要的氨基酸。

2.2 回收蛋白的重金属含量分析

鱼糜漂洗水回收蛋白的重金属测定结果见表 3。对照 GB 2762-2012 食品安全国家标准食品中污染物限量，鱼糜漂洗水中得到的回收蛋白，其铅、镉、总汞、铬、砷主要重金属含量均属于食品安全限量范围，回收蛋白具有较高的安全性。

表 3 鱼糜漂洗水回收蛋白的重金属分析

Table 3 Heavy-metal content of the proteins recovered from surimi wash-water

重金属	铅	镉	总汞	铬	砷
含量/(mg/kg)	0.12±0.02	0.06±0.02	未检出	未检出	0.03±0.01
卫生标准/(mg/kg)	≤0.5	≤0.1	≤0.5	≤2.0	≤0.1

2.3 回收蛋白的挥发性风味分析

由 6 位评定员采用描述性方法感官评定回收蛋白的色泽和气味，均认为该回收蛋白色泽较好，呈乳白色，存在淡淡的鱼香味，无刺激性气味和明显鱼腥味。为进一步分析鱼糜漂洗水中回收蛋白的风味成分，采用 SPEM-GC-MS 联用技术检测其中的挥发性物质，结果如图 1 和表 4。

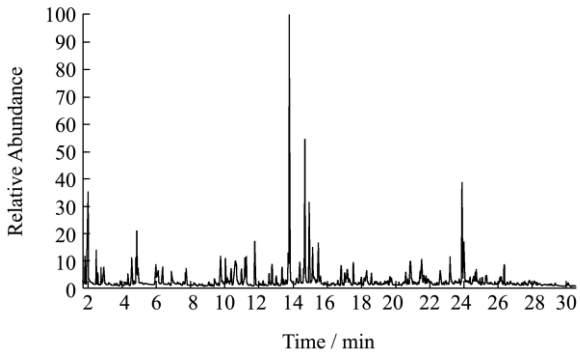


图 1 鱼糜漂洗水回收蛋白的挥发性风味分析

Fig.1 Volatile-flavor analysis of the proteins recovered from surimi wash-water

表 4 鱼糜漂洗水回收蛋白的挥发性风味物质组分

Table 4 Volatile-flavor compounds in the proteins recovered from surimi wash-water

化合物分类	保留时间/min	化合物名称	英文名	气味特征	相对含量/%
醇类化合物	2.77	1-戊烯-3-醇	1-penten-3-ol	水果香气	0.86
	4.14	戊醇	1-pentanol	面包香	0.10
	4.20	顺-2-戊烯-1 醇	cis-2-penten-1-ol		0.23
	6.73	正己醇	1-hexanol	果香	1.42
	9.07	乙醇	ethanol		0.15
	9.41	1-辛烯-3-醇	1-octen-3-ol		0.34
	9.76	2-乙基己醇	2-ethy hexanol	蘑菇香气	0.59
	10.17	3-甲基正丁醇	isoamyl alcohol		1.92
	10.38	环己醇	cyclohexanol	果香	0.54
	10.99	辛醇	1-octyl alcohol	强烈的油脂味	1.00
	12.25	苯甲醇	benzyl alcohol	清香	0.85
	12.59	癸醇	n-decyl alcohol		0.24
	13.02	2,7-辛二烯-1-醇	2,7-octadiene-1-ol		0.88
	15.15	壬醇	1-nonanol	泥土油脂气息	0.62
	23.20	苯乙醇	phenylethyl alcohol	愉快而持久玫瑰香	2.72
	24.74	十一醇	1-undecyl alcohol	菠萝样果香	1.88
芳香化合物	8.21	乙苯	ethylbenzene	芳香气味	0.18

	8.28	苯酚	Phenol		0.10
醛类化合物	2.58	3,2-二甲基戊醛	2,3-dimethyl-pentanal	蜡香	0.42
	4.86	己醛	hexanrl	青草味	2.95
接上页					转下页
	7.75	壬醛	nonanal	脂肪香，青草味	1.26
	8.49	癸醛	decanal	脂肪香气	0.16
	10.06	苯甲醛	benzaldehyde	水果香	1.50
	11.26	十一醛	undecanal	甜橙玫瑰香	1.48
	14.70	苯乙醛	phenylacetaldehyde	风信子香气	8.96
	14.95	十二醛	dodecyl aldehyde	甜奶油香气	4.37
酸类化合物	2.00	乙酸	aceticacid		5.95
	3.90	2-甲基丙酸	2-methylpropionic acid	水果香	0.21
	6.11	3-甲基丁酸	3-methyl Butyric acid	水果香	1.40
	6.37	2-甲基丁酸	2-methyl Butyric acid		1.29
	7.25	戊酸	pentanoic acid		0.18
	10.62	己酸	caproic acid		2.45
碳氢化合物	2.49	2,2-二甲基戊烷	2,2-dimethylpentane		0.86
	3.98	4,4-二甲基-2-戊烯	4，4-dimethyl-2-pentene		1.14
	11.19	2,4-己二烯	2,4-hexadiene		0.23
	13.36	十二烷	bihexyl		1.68
	13.79	3,3,5-三甲基-2-己烯	3,3,5-trimethylhexene		1.08
	15.48	十一烷	undecane		16.28
	16.82	1-辛烯	1-octene		2.54
	17.03	1-十二烯	1-dodecene		1.24
	18.19	癸烷	decane		0.65
	20.61	十五烷	pentadecane		0.77
	21.44	十四烷	n-tetradecane		0.80
	24.66	十六烷	n-tetradecane		0.82
酮类化合物	2.95	甲基异丁酮	methyl isobutyl ketone		1.35
	3.67	1-环丙基-2-丙酮	1-cyclopropyl-2-propanone		0.08
	5.97	3-辛酮	3-octanone	果香	1.09
	11.77	2,3-辛二酮	2,3-octanedione	蘑菇香	2.66
	14.41	壬酮	nonanone	果香，甜香	1.44
	17.17	2-壬酮	2-nonanone	果香	1.09
	19.68	十一酮	undecanone	蜡香、果香、脂肪香	0.59
	21.52	2-十一酮	2- undecanone	蜡香、果香、脂肪香	1.88
	23.89	苯乙酮	acetophenone	杏仁香	6.23
胺类化合物	1.83	三甲胺	trimethylamine	鱼腥味	0.86
	6.89	1-戊胺	n-Amylamine		1.00

由表 4 得出，在鱼糜漂洗水回收蛋白中，共检测出 57 种挥发性风味物质，其中醇类化合物 16 种，芳香族化合物 2 种，醛类化合物 8 种，挥发性有机酸 6 种，碳氢化合物 14 种，酮类化合物 9 种及胺类化合物 2 种。醛类化合物主要表现出脂肪、蜡等气味，体现了鱼类的一些特征性气味，其中己醛、癸醛等的贡献度较大，十一醛、十二醛以及苯乙醛具有的一些奶油清香、风信子香气等对回收蛋白风味的贡献也较大；酮类化合物大多数为花香味和果香味，整体上对蛋白风味有一定贡献；醇类物质中的 1-辛烯-3-醇主要是亚

油酸的氢过氧化物的降解产物，主要出现在鱼类之中，其他气味表现的较为柔和，无其他刺激性气味。烃类化合物其阈值较高，对鱼肉风味形成的直接贡献不大，但有助于提高蛋白的整体香气，总体上鱼糜漂洗水中的回收蛋白具有良好的挥发性风味[10,11]。

2.4 回收蛋白在带鱼鱼糜中的再应用

将漂洗水中的回收蛋白添加至带鱼鱼糜，通过二段加热法制得鱼糜凝胶[12]，测定其凝胶的相关质构指标和凝胶强度，结果如表 5、表 6。

表 5 回收蛋白添加量对鱼糜凝胶质构特性的影响

Table 5 Effect of adding varying amounts of recovered proteins on textural properties of surimi gel

添加量/%	硬度/g	粘性/g	咀嚼性/g	弹性/g
0	1225.92±125.73^{a}	170.15±12.11^{a}	47.03±5.16^{a}	0.22±0.02^{a}
1	1141.84±146.42^{b}	140.61±11.41^{b}	39.13±2.22^{b}	0.28±0.02^{b}
2	1309.51±136.83^{c}	181.42±15.62^{c}	56.42±7.16^{c}	0.31±0.02^{c}
3	1663.12±143.14^{d}	240.56±18.45^{d}	57.16±2.18^{c}	0.30±0.01^{c}
4	1513.45±126.45^{e}	207.43±12.41^{e}	43.22±3.25^{d}	0.27±0.02^{d}
5	1448.53±146.22^{e}	175.59±16.88^{f}	43.99±8.22^{d}	0.25±0.02^{de}

表 6 回收蛋白添加量对鱼糜凝胶强度的影响

Table 6 Effect of adding varying amounts of recovered proteins on the gel strength of surimi gel

添加量/%	破断力/g	破断距离/mm	凝胶强度/(g mm)
0	125.52±3.15^{a}	14.91±1.72^{a}	1865.82±113.66^{a}
1	124.53±2.22^{a}	14.26±1.83^{a}	1770.55±110.32^{b}
2	143.74±5.45^{b}	15.82±2.24^{a}	2263.61±103.44^{c}
3	204.98±4.37^{c}	15.48±5.26^{a}	3161.68±106.75^{d}
4	161.92±5.65^{d}	15.52±2.71^{a}	2504.22±102.22^{e}
5	148.85±3.52^{e}	15.51±3.32^{a}	2303.99±111.22^{f}

注：表5和表6中，同列中的不同字母（a、b、c、d、e、f）表示具显著性差异（p<0.05）。

由表5可见，当回收蛋白的添加量由1%增加到3%时，鱼糜凝胶的硬度、粘性、咀嚼性、弹性对照组均有所增加。表6表明，在破断距离相差无几的情况下，破断力和凝胶强度也呈先升高再下降趋势，在3%时达到最高。一方面在加热过程中，由于鱼糜凝胶中肌原纤维蛋白分子变性伸展，相互交联形成凝胶网络结构，另一方面由于回收蛋白含有一定量的水溶性转谷氨酰胺酶（TG酶），可催化Gln残基与Lys残基发生交联作用，在分子内或分子间产生架桥粘结，形成交叉结合的蛋白质结构，能加固鱼糜凝胶中肌原纤维蛋白分子的网络结构[13,14]，使得鱼糜凝胶的硬度、粘性、咀嚼性、弹性及凝胶强度开始上升，至添加量在3% 时达到最高值（p<0.05），该结果与李鹏[3]所得出的结论基本相似。

此外鱼糜凝胶白度和持水性的测定如图2，可见鱼糜漂洗水回收蛋白对鱼糜凝胶的白度有较大影响。随添加量的增加，鱼糜凝胶白度呈先上升趋势，在添加量为3%时，达到最大值68.54；当添加量超过3%时，白度又有所下降，但仍然高于对照组，说明回收蛋白的添加不会降低鱼糜凝胶白度，原因在于回收的主要为水溶性的肌浆蛋白，而漂洗水中的色素类物质未被回收。鱼糜凝胶的持水性随着添加量的增加，一直呈现上升趋势，主要是由于漂洗水蛋白大多数为水溶性蛋白[15]，这类蛋白质富含谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸等具有亲水基团的氨基酸，有利于鱼糜凝胶结合更多的水分。

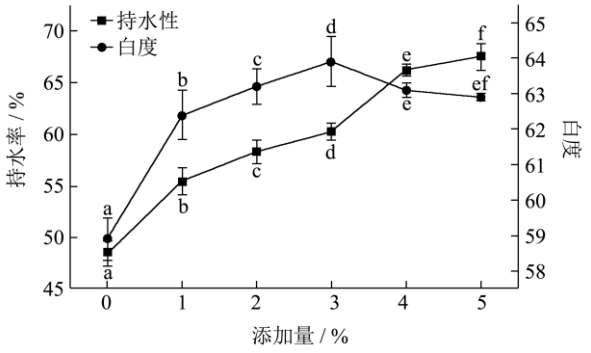


图 2 回收蛋白添加量对鱼糜凝胶白度及持水性的影响

Fig.2 Effect of adding varying amounts of recovered proteins on the whiteness and WHC of surimi gel

注：同一条折线中字母不同表示差异显著（p<0.05）。

3 结论

使用复合絮凝剂（$V_{壳聚糖}$:$V_{海藻酸钠}$:V_{FeCl3}=1:7:2）回收带鱼鱼糜漂洗水中的可溶蛋白，回收蛋白的氨基酸组成较合理，必需氨基酸指数（EAAI）达到 70.04%，具有较高的营养价值。通过重金属、SPEM-GC-MS 风味分析，表明鱼糜漂洗水回收蛋白中的重金属含量均在国家标准限量以下，同时酮类、醛类以及醇类对回收蛋白的风味有较大贡献，没有不愉快的气味，将鱼糜漂洗水的回收蛋白再添加至鱼糜食品中，安全性较好，又不会影响鱼糜风味。在带鱼鱼糜中添加 3%的

回收蛋白，所制得鱼糜凝胶的粘性、硬度、咀嚼性、凝胶强度以及白度均达到最高，弹性接近最大值。可见鱼糜漂洗水中的回收蛋白营养价值高、安全，重新添加到鱼糜中能提高鱼糜白度，在一定程度上改善鱼糜凝胶特性。

参考文献

[1] 农业部渔业局.2013 中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2013:98
The Ministry of Agriculture Fisheries Bureau.2013 China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013, 98

[2] 李流川,李德华,陈玲.鱼糜加工废弃水回收蛋白营养与品质分析[J].食品研究与开发,2014,35(9):108-110
LI Liu-chuan, LI De-hua, CHEN Ling. Nutrition and quality analysis on recycling protein from surimi processing wastewater [J]. Food Research and Development, 2014, 35(9): 108-110

[3] 李鹏.漂洗次数对鲶鱼鱼糜品质的影响及漂洗液中肌浆蛋白的回收与利用[D].天津:天津农学院,2014
Li Peng. Effect of washing condition on the qualitu of catfish (*Clarias gariepinus*) surimi and recycle of sarcoplasmic protein from washings [D].Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2014

[4] H-Kittikun A, Bourneow C, Benjakul C. Hydrolysis of surimi wastewater for production of transglutaminase by *Enterobacter* sp. C2361 and *Providencia* sp. C1112 [J]. Food Chemistry, 2012, 135(3), 1183-1191

[5] Sulaiman R N R, Othman N, Amin NAS. Emulsion liquid membrane stability in the extraction of ionized nanosilver from wash water [J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2014, 20(5): 3243-3250

[6] 田其英.壳聚糖对鲢鱼鱼糜凝胶品质的影响[J].食品科技,2012,37(1):132-134
TIAN Qi-ying. Effect on the gel quality of silver carp about chitosan [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(1): 132-143

[7] Yang Z, Wang W, Wang H, et al. Effect of a highly resistant rice starch and pre-incubation temperature on the physicochemical properties of surimi gel from carp (*Ctenopharynodon idellus*) [J]. Food Chemistry, 2014, 57(2): 603-611

[8] Mohtar N F, Perera C, Quek S Y. Optimisation of gelatine extraction from hoki (*Macruronus novaezelandiae*) skins and measurement of gel strength and SDS-PAGE [J]. Food Chemistry, 2010, 122(1): 307-313

[9] Debusca A, Tahergorabi R, Beamer S K, et al. Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute [J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 201-208

[10] 王雪峰,涂行浩,吴佳佳,等.草鱼的营养评价及关键风味成分分析[J].中国食品学报,2014,14(12):182-189
WANG Xue-feng, TU Xing-hao, WU Jiajia, et al. Nutritional evaluation and analysis of the volatile flavor component of grass carp [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12): 182-198

[11] 焦慧.海鱼及其制品挥发性风味的研究[D].浙江:浙江工商大学,2012
JIAO Hui. Study on flavor of seawater fish meat and its products [D]. Zhejiang: Zhejiang Gongshang University, 2012

[12] 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品质凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2015,31(3):108-114
HU Jie, ZHAO Jian-xin, HU Jian-lian, et al. Physicochemical properties of low loisture potato starch and their effects on surimi products [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(3): 108-114

[13] 陈海华,薛长湖.亲水胶体对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响[J].农业机械学报,2009,40(2):119-125
CHEN Hai-hua, XUE Chang-hu. Effect of hydrocolloids on the gel properties of horse-mackerel surimi [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 119-125

[14] 李鹏,郭耀华,马媛等.鲶鱼肌浆蛋白对鲶鱼鱼糜凝胶性的影响[J].肉类研究,2014,28(6):5-8
LI Peng, GUO Yao-hua, MA Yuan, et al. Influence of catfish sarcoplasmic proteins on gel characteristics of catfish surimi [J]. Meat Research, 2014, 28(6): 5-8

[15] Hernandez-Briones A, Velazquez G, Manuel Vazquez M, et al. Effects of adding fish gelatin on Alaska Pollock surimi gels [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(8): 2446-2449