不同分子量海鲈鱼胶原蛋白肽组分的功能特性比较

祝婧，刘磊，张名位，魏振承，张业辉，马永轩，池建伟
（广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所，农业部功能食品重点实验室，广东省农产品加工重点实验室，广东广州 510610）

摘要：本文采用不同截留分子量的超滤膜对海鲈鱼胶原蛋白肽溶液进行分级分离，采用碱性蛋白酶水解海鲈鱼加工副产物中提取的胶原蛋白制得的胶原蛋白肽溶液分成三个不同分子量组分 SBCP1（Mw<2000 u）、SBCP2（2000 u< Mw <3000 u）和 SBCP3（Mw >3000 u），比较了海鲈鱼胶原蛋白肽它们的吸水性、持水性、溶解性、吸油性、乳化性和乳化稳定性、起泡性和起泡稳定性等功能特性。结果显示：小分子量的 SBCP1 组分的吸水性和溶解性最好；大分子量 SBCP3 组分的持水性、乳化性和乳化稳定性以及起泡性和泡沫稳定性最好；中等分子量的 SBCP2 组分的吸油性最好，这个结果提示了海鲈鱼胶原蛋白肽不同分子量组分的理化特性存在显著差异，其功能特性和分子量分布有密切关系。本研究为海鲈鱼胶原蛋白肽产品的开发利用提供了指导。

关键词：海鲈鱼加工副产物；胶原蛋白肽；超滤；功能特性

文章篇号：1673-9078(2014)12-113-118 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.12.019

Comparing the Functional Properties of Sea Bass Collagen Peptides (SBCP) with Different Molecular Weights

ZHU Jing, LIU Lei, ZHANG Ming-wei, WEI Zhen-cheng, ZHANG Ye-hui, MA Yong-xuan, CHI Jian-wei,
（Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture/ Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610）

Abstract: In this study, sea bass collagen peptide (SBCP) solution was fractionated using ultrafiltration membranes with different molecular weight cutoffs (Mw COs). The enzymatic hydrolysis of collagen peptide extracted from sea bass processing byproducts yielded collagen peptide solution, which was separated into three components with different molecular weights (Mw s): SBCP1 (Mw < 2000 u), SBCP2 (2000 u < Mw <3 000 u), and SBCP3 (Mw > 3000 u). The water absorption capacity, water holding capacity, solubility, oil absorption, emulsifying properties, emulsion stability, foaming properties, and foaming stability of those components were also compared. SBCP1 showed the highest water absorption capacity and solubility; SBCP3 had the highest water holding capacity, emulsifying properties, emulsion stability, foaming properties, and foam stability; SBCP2 showed the highest capacity for oil absorption. This result suggested that there was a significant difference in physicochemical characteristics among components of SBCP with different Mw s and that the functional properties were closely related to the Mw distribution. This study provides guidance for the development and application of SBCP products.

Key words: sea bass processing by-products; collagen peptides; ultrafiltration; functional properties

海鲈鱼（*Lateolabrax japonicus*）又称七星鲈、花鲈、青鲈、日本花鲈、日本真鲈，为辐鳍鱼纲（*Actinopterygii*）鲈形目（*Perciformes*）真鲈科（*Percichthyidae*）花鲈属（*Lateolabrax*），分布于西太平洋，我国沿海均产。海鲈鱼加工副产物鱼皮、鱼头及鱼骨含有丰富胶原蛋白[1]，通常丢弃或者用于动物饲料或肥料，既污染环境又提高了成本。胶原蛋白是含有三股螺旋结构，分子量在 300 ku 至 400 ku 的大分子，在人体的吸收利用率低，经降解成小分子胶原蛋白肽后，其吸收率可达 95%。Qian 等[2]研究证明蛋白质水解物的平均分子量是决定其生物学性质最重要的因素之一，蛋白肽组分的理化、功能特性与其分子量大小有关。超滤膜系统是在工业上有利且有效的获得所需的分子大小和较高的生物活性的肽组分的方法，这取决于原始水解产物的组成和所研究的活性。邓成萍等[3]研究了经超滤分离获得的分子量为 Mw >30

收稿日期：2014-07-06
基金项目：国家高技术研究发展计划（863 计划）项目（2013AA102201）；广东省重大专项（2011A080403019）；广东省社会发展项目（2012A031100013）；广东省农业科学院院长基金（201415）
作者简介：祝婧（1991-），女，硕士研究生，研究方向：功能食品
通讯作者：张名位（1967-），男，博士，研究员，研究方向：功能食品

ku、10 ku< Mw <30 ku、5 ku< Mw <10 ku 及 Mw <5 ku 的四个分子量段大豆多肽的功能特性，结果表明：不同分子量段的大豆多肽在溶解性、起泡性和乳化性等功能特性方面各不相同。张新会等[4]对经超滤分离获得的分子量为 Mw >30 ku、10 ku< Mw <30 ku、5 ku< Mw <10 ku 和 Mw <5 ku 的四个组分的大豆肽溶液的功能特性进行了研究，结果表明：不同分子量的大豆肽在溶解性、起泡性和乳化性等功能特性方面各不相同。近年，对大豆肽不同分子量组分的功能特性方面做了许多研究，然而，研究胶原蛋白肽不同分子量组分的功能特性的报道较少。本文以海鲈鱼胶原蛋白肽超滤得到的三种组分（SBCP1、SBCP2 和 SBCP3）为原料，评价其理化、功能特性，包括吸水性、持水性、溶解性、吸油性、起泡性及乳化性，以期为开发创伤患者专用临床营养品的胶原蛋白肽配料提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所农业部功能食品重点实验室进行。

1.2 试验材料与设备

1.2.1 主要试验材料

海鲈鱼鱼头、鱼骨及鱼皮，购于广州世纪联华超市；碱性蛋白酶（酶活力 1.25×10^5 U/g）购于广州市齐云生物技术有限公司；其它均为国产分析纯试剂。

1.2.2 主要试验设备

UV2450 紫外可见分光光度计，购于日本岛津公司；D-500 高速电动均质机，购于广州市深华生物技术有限公司；EYELA FDU-2110 冷冻干燥机，购于 EYELA 东京理化器械株式会社；KDN-08A 全自动凯氏定氮仪，购于上海新嘉电子有限公司；MSM2011 实验用超滤微滤膜分离装置，购于上海摩速科学器材有限公司；LRH-250 生化培养箱，购于上海一恒科技有限公司；VUS-B2V-M/VU22 真空干燥箱，购于德国 MMM 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 海鲈鱼胶原蛋白的制备

将海鲈鱼加工副产物（鱼头、鱼皮和鱼骨）洗净，用绞肉机绞碎后混匀。用海鲈鱼加工副产物质量 20 倍的 0.1 mol/L 的氢氧化钠溶液浸泡 24 h，以去除杂蛋白；用蒸馏水洗至中性，再用其质量 20 倍的 0.6 mol/L 的盐酸浸泡 24 h，以脱钙；用蒸馏水洗至中性，最后用其质量 2 倍的 10%的乙醚浸泡 24 h，反复两次，共脱脂 48 h；脱脂完成后，经蒸馏水反复洗涤，沥干，用等量的 0.5 mol/L 的乙酸溶液浸泡 3 d；4400 r/min 离心 20 min 后取上清，冻干即可得到胶原蛋白粗品[5]，放入-20 ℃冰箱中备用。

1.3.2 海鲈鱼胶原蛋白肽粉末的制备

将碱性蛋白酶与海鲈鱼胶原蛋白以 2.33%:1 的比例混合，调节 pH 值至 9.0，放入 47 ℃的恒温磁力搅拌器中水解 2.5 h。水解过程中需维持 pH 值的恒定。反应结束后 95 ℃水浴加热 10 min 灭酶，4400 r/min 离心 20 min，取上清，依次用截留分子量为 2000 u 和 3000 u 的超滤膜进行超滤，得到三种不同分子量的海鲈鱼胶原蛋白肽组分 SBCP1（Mw <2000 u）、SBCP2（2000 u< Mw <3000 u）和 SBCP3（Mw >3000 u）。经冷冻干燥得到海鲈鱼胶原蛋白肽粉末。

1.3.3 吸水性测定

准确称取 m_0=1.0 g（精确至 0.001 g）海鲈鱼胶原蛋白肽三个组分样品，均匀平铺在干燥恒重的培养皿中，称其与培养皿总重为 m_1。以等重 1.0 g 的甘油作为对照。然后放在温度 30 ℃、相对湿度 60%的恒温恒湿生化培养箱中，每 4 h 称重一次为 m_2，直至培养皿质量不再增加。

吸水性按下式计算：

$$\text{吸水性}(\%)=\frac{m_2-m_1}{m_0}\times100\%$$

1.3.4 持水性测定

准确称取 m_0=1.0 g（精确至 0.001 g）海鲈鱼胶原蛋白肽三个组分样品，溶于蒸馏水，定容至 100 mL。以等重 1.0 g 的甘油作为阳性对照。定容后取 2 mL 样液均匀平铺在干燥恒重的培养皿（培养皿重为 m_1），称其总重为 m_2，然后放在温度 30 ℃、相对湿度 60%的恒温恒湿生化培养箱中，每 10 min 称重一次测定样液的水分残存量为 m_3。以等量 2 mL 的蒸馏水作为阴性对照。

持水性按下式计算：

$$\text{持水性}(\%)=\frac{m_2-m_1-m_0}{m_2-m_1}\times100\%$$

1.3.5 溶解性测定

氮溶解指数（NSI）可以被用来确定蛋白质水解产物的溶解性[6]。取 0.01 g/mL 海鲈鱼胶原蛋白肽溶液的上清液。采用全自动凯氏定氮仪测定上清液和胶原蛋白肽样品中的氮含量，得到其在各 pH 下的水溶性蛋白含量[7]。绘制出 NSI-pH 曲线，作为不同组分胶原蛋白肽在不同 pH 下的溶解性指标。

氮溶解指数 NSI 按下式计算：

$$NSI(\%)=\frac{A}{B}\times 100\%$$

其中，A 为上清液中蛋白质含量（g/g）；B 为样品中的总蛋白含量（g/g）。

1.3.6 吸油性测定

准确量取 V_0=2 mL 大豆油放入 5 mL 带刻度的离心管中，再称取 m_0=0.3 g 样品加入离心管中，用细棒搅拌后涡旋振荡 1 min。静止 30 min，4400 r/min 转速离心 10 min，记下游离油的体积 V_1。

吸油性按下式计算:

$$吸油性(mL/g)=\frac{V_0-V_1}{m_0}$$

1.3.7 乳化活性和乳化稳定性测定

乳化能力可以用乳化活性指数（EAI）和乳化稳定性指数（ESI）来评价[8]。乳化活性指数（EAI）和乳液稳定性指数（ESI）根据 Pearce 等[9]的方法略加修改[10]后进行测定。取 8 mL 浓度为 10 mg/mL 的海鲈鱼胶原蛋白肽样品，加入 2 mL 大豆油后用高速电动均质机乳化 1 min。在距离心管底部立即取样 50 μL 与 5 mL 0.1%的 SDS 溶液充分混匀后，在 500 nm 波长处测定吸光值（A_1），得到乳化活性指数。静置 10 min 后再次取样，按上述相同步骤测定吸光值（A_2），得到乳化稳定性指数。

乳化活性指数 EAI 按下式计算：

$$EAI(cm^2/mg)=\frac{2.303\times 2\times A_1\times B}{C\times\phi\times 10000}$$

乳化稳定性指数 ESI 按下式计算：

$$ESI(min)=\frac{A_1\times\Delta t}{\Delta t}$$

式中：A_1、A_2 为 500 nm 处测得吸光值；B 为稀释倍数；C 为蛋白质水溶液中蛋白质浓度（g/mL）；ϕ为乳化液中油的体积分数（L/L）；Δ A=A_1-A_2；Δ t=30 min。

1.3.8 起泡性及起泡稳定性测定

起泡性和起泡稳定性均根据 Shahidi 等[11]的方法测定。取 50 mL（V_0）浓度为 5 mg/mL 的海鲈鱼胶原蛋白肽样品均质 5 min，测定搅拌后含泡沫的总体积 V_1。静置 3 min 后，再次记下总体积 V_2。

泡沫膨胀率 FE 按下式计算：

$$FE(\%)=\frac{V_1-V_0}{V_0}\times 100\%$$

泡沫稳定性 FS 按下式计算：

$$FS(\%)=\frac{V_2-V_0}{V_1-V_0}\times 100\%$$

1.3.9 数据分析

所有的试验均重复测定三次，结果以均数±标准差表示（$\bar{x}\pm s$）。使用 IBM SPSS Statistics 19.0 统计软件对每组数据进行分析，采用单因素方差分析（ANOVA）两两比较中的 Duncan 假定方差齐性分析对各组数据进行差异比较，$p<0.05$ 为显著差异。

2 结果与讨论

2.1 吸水性

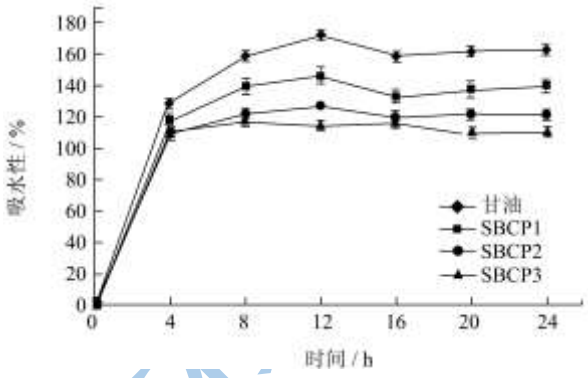


图 1 不同胶原蛋白肽组分的吸水性

Fig.1 Water absorption capacity of different SBCP components

不同胶原蛋白肽组分的吸水性如图 1 所示。甘油和不同胶原蛋白肽组分的吸水性均随时间的延长呈上升趋势。0~4 h，吸水最为显著，海鲈鱼胶原蛋白肽的吸水曲线与甘油的十分接近，吸湿速率较快；4 h 以后，甘油的吸水性明显高于海鲈鱼胶原蛋白肽三个组分；8 h 以后吸水达到饱和，吸水性基本不变。海鲈鱼胶原蛋白肽三个组分中吸水性最好的 SBCP1 在 12 h 吸水性最高达到 145.89%；SBCP2 的最高吸水性为 126.64%；吸水性最差的 SBCP3 最大吸水性也可达 114.06%，这一趋势与彭德翔[12]的研究结果一致。

2.2 持水性

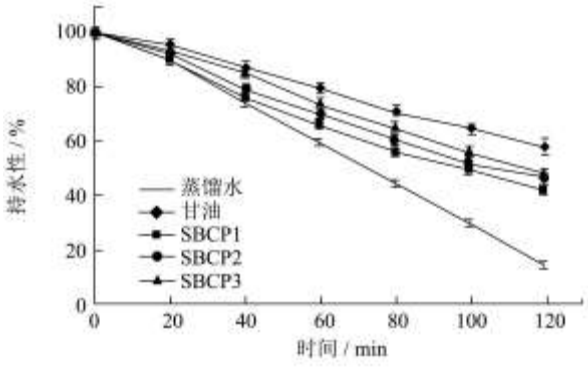


图 2 不同胶原蛋白肽组分的持水性

Fig.2 Water holding capacity of different SBCP components

不同胶原蛋白肽组分的持水性随时间的变化如图 2 所示。随着时间的延长，甘油、蒸馏水及不同胶原蛋白肽组分持水性呈下降趋势。0~20 min，海鲈鱼胶

原蛋白肽的持水曲线与甘油的非常接近；20 min 以后海鲈鱼胶原蛋白肽的持水性明显降得比甘油快，均呈直线下降趋势。持水性下降得最慢的是甘油，持水性下降的最快的是蒸馏水；同一时间海鲈鱼胶原蛋白肽中持水性从小到大依次为SBCP1、SBCP2、SBCP3。到 140 min，蒸馏水组的持水性为 0%，此时三种组分的持水性均低于甘油，但仍持有一定的水分，持水性最低的 SBCP1 持有水分 34%。

2.3 溶解性

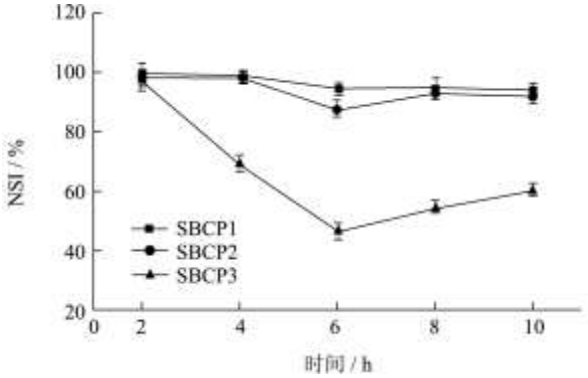


图 3 不同胶原蛋白肽组分的溶解性

Fig.3 Solubility of different SBCP components

不同胶原蛋白肽组分的溶解性如图3所示。SBCP1、SBCP2在不同pH下都具有很高的溶解性（超过85%），SBCP3在不同pH下的溶解性波动较大且普遍偏低。随着分子量的减小，海鲈鱼胶原蛋白肽的溶解性逐渐增大，在不同pH值下的溶解性也越稳定。低分子量制备的胶原蛋白肽的溶解性高是由于其水解时可得到更多极性残基，这些残基具有与水形成氢键和增加溶解性的能力[13]。蛋白及其水解物通常在它们的等电点表现出最低溶解性，在带有最多电荷时亲水性最好表现出最高溶解性[14]。由图3上可以知道SBCP2、SBCP3的等电点在pH=6处，在pH=2时SBCP1、SBCP2和SBCP3均带有最多电荷。

2.4 吸油性

不同胶原蛋白肽组分的吸油性如图 4 所示。随着温度的升高，海鲈鱼胶原蛋白肽组分 SBCP1 的吸油性总体呈升高趋势；组分 SBCP2 的吸油性先升高，到 40 ℃时达到最大值，然后逐渐降低；组分 SBCP3 的吸油性呈波动趋势，但是波动的幅度不大。在 20~60 ℃范围内，同一温度条件下，SBCP2 的吸油性明显高于另外两个组分。在 30~40 ℃时 SBCP2 的吸油性显著高于 SBCP1 和 SBCP3（$p<0.05$）。由图 4 知海鲈鱼胶原蛋白肽三个组分中中等分子量的 SBCP2 组分吸油性最好，这一结果与陈哲[15]的研究结果一致。陈哲的研究结果表明四个分子量段的银杏多肽 Mw >20 ku、10 ku< Mw <20 ku、2.5 ku< Mw <10 ku 和 MW<2.5 ku 中 2.5 ku< Mw <10 ku 之间的肽段吸油性最佳。

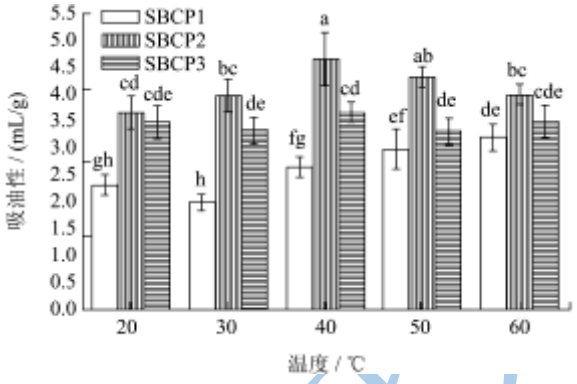


图 4 不同胶原蛋白肽组分的吸油性（$p<0.05$）

Fig.4 Oil absorption capacity of different SBCP components

2.5 乳化性和乳化稳定性

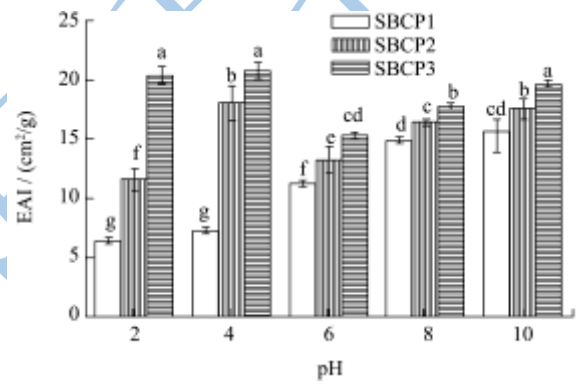


图 5 不同胶原蛋白肽组分的乳化性（$p<0.05$）

Fig.5 Emulsifying property of different SBCP components

不同胶原蛋白肽组分的乳化活性指数随 pH 的变化如图 5 所示。乳化活性指数 EAI 是指通过单位面积的界面稳定每单位重量的蛋白质来衡量蛋白质有助于乳液形成和稳定化的能力。随着 pH 的增大，SBCP1 的乳化活性指数随之增加，pH 值为 10 时 EAI 最大为 15.30 cm^2/g；SBCP2 的乳化活性指数则表现出波动，先升高，到 pH 为 4 时有最大 EAI 值 17.98 cm^2/g，pH 为 6 时 EAI 值急剧下降后又随着 pH 的增大而 EAI 值也逐渐增大；SBCP3 的乳化活性指数的波动趋势与 SBCP2 相同，在 pH 为 4 时有最大 EAI 值 20.65 cm^2/g。在 pH 2~10 的范围内，pH 值相同时，SBCP3 的乳化活性指数显著高于 SBCP1 和 SBCP2（$p<0.05$），与 Surh 等[16]研究结果一致，这是因为小分子量的海鲈鱼胶原蛋白肽中疏水基团暴露过度，打破了亲水-疏水平衡，无法减少界面张力，从而使得乳化性降低。

不同胶原蛋白肽组分乳化稳定性指数随 pH 的变化如图 6 所示。乳化稳定性指数 ESI 是用来衡量乳化体系中油水界面膜的稳定性的参数。随着 pH 的增大，

三个组分的 ESI 值呈先增大后减小的趋势，SBCP1 在 pH 值为 6 时有最大乳化稳定性 43.41 min；SBCP2 在 pH 值为 6 时有最大乳化稳定性 49.18 min；SBCP3 在 pH 值为 8 时有最大乳化稳定性 55.57 min。在 pH 为 2~10 时，pH 值相同时，SBCP3 的乳化稳定性指数均高于 SBCP1 和 SBCP2 的，并且 pH 为 2 和 pH 为 6~10 时 SBCP3 的乳化稳定性显著高于 SBCP1 和 SBCP2（$p<0.05$），与 Surh 等[16]研究结果一致，这是因为小分子量的海鲈鱼胶原蛋白肽中疏水基团暴露过度，表面疏水作用减弱，不利于表面吸附[17]，使其在乳化体系的形成过程中难以与脂类结合，从而不利于形成稳定的乳化体系，使得乳化稳定性降低。

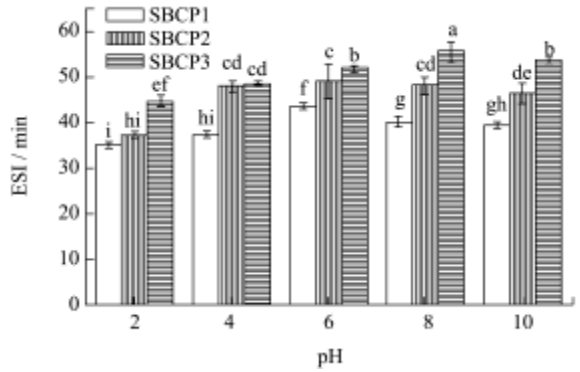


图 6 不同胶原蛋白肽组分的乳化稳定性（$p<0.05$）

Fig.6 Emulsion stability of different SBCP components

2.6 起泡性和起泡稳定性

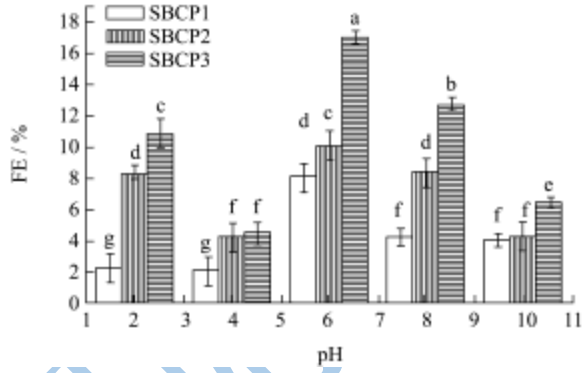


图 7 不同胶原蛋白肽组分的起泡性（$p<0.05$）

Fig.7 Foaming properties of different SBCP components ($p < 0.05$)

不同胶原蛋白肽组分起泡性随 pH 的变化如图 7 所示。SBCP1 的起泡性随着 pH 的增大逐渐增大，在 pH 为 6 时出现最大的 FE 值 10%，之后随着 pH 的增大 FE 值逐渐减小；SBCP2 的起泡性随着 pH 的增大不断波动，在 pH 为 2 时其 FE 值最大为 8.33%，在 pH 为 4 时其 FE 值最小，之后随着 pH 的增大逐渐增大，到了 pH 为 6 以后又随着 pH 的增大 FE 值逐渐减小；SBCP3 的起泡性也是随着 pH 的增大不断波动，在 pH 为 4 时其 FE 值最小，到了 pH 为 6 时有最大 FE 值 17.02%，之后随着 pH 的增大 FE 值逐渐减小。在 pH 为 2 和 pH 为 6~10 时，同一 pH 条件下，SBCP3 的起泡性均显著高于 SBCP1 和 SBCP2（$p<0.05$），这是由于小分子量的海鲈鱼胶原蛋白肽的肽链中许多疏水基团被充分暴露，从而导致疏水性增强，表面张力减弱，为形成坚韧液膜创造了良好条件，增强了蛋白质溶液的发泡力[18]。

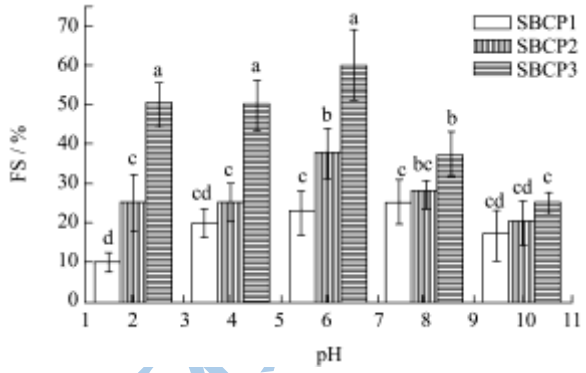


图 8 不同胶原蛋白肽组分的泡沫稳定性（$p<0.05$）

Fig.8 Foam stability of different SBCP components

不同胶原蛋白肽组分泡沫稳定性随 pH 的变化如图 8 所示。SBCP1 的泡沫稳定性随着 pH 的增大逐渐增大，在 pH 为 6 时出现最大的 FS 值 22.5%，之后随着 pH 的增大 FS 值逐渐减小；SBCP2 与 SBCP3 的起泡性均随着 pH 的增大呈先升高后下降的趋势，在 pH 为 6 时均有最大 FS 值分别为 37.5%和 60%；在 pH 为 2~6 范围内，SBCP3 的起泡性显著高于 SBCP1 和 SBCP2（$p<0.05$），这是由于小分子量的海鲈鱼胶原蛋白肽的肽链中许多疏水基团被充分暴露，从而导致疏水性增强，表面张力减弱，界面膜稳定性较差，从而使得泡沫稳定性降低。

3 结论

本文研究经超滤膜截留分离出的海鲈鱼胶原蛋白肽三个组分 SBCP1（Mw <2000 u）、SBCP2（2000 u< Mw <3000 u）和 SBCP3（Mw >3000 u）的吸水性、吸油性、溶解性、吸油性、乳化性和乳化稳定性、起泡性和起泡稳定性。研究结果显示：海鲈鱼胶原蛋白肽三个组分中 SBCP1 吸水性和溶解性最好；SBCP3 的持水性、乳化性和乳化稳定性以及起泡性和泡沫稳定性最好；SBCP2 的吸油性最好。本研究可以为海鲈鱼胶原蛋白肽在临床营养品中的开发利用提供指导。

参考文献

[1] Nagai T, Suzuki N. Isolation of collagen from fish waste material-skin, bone and fins [J]. Food Chemistry, 2000, 68(3):

277-281

[2] Qian Z J, Je J Y., Kim S K. Antihypertensive effect of angiotensin I converting enzyme-inhibitory peptide from hydrolysates of bigeye tuna dark muscle, Thunnus obesus [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry ,2007, 55 : 8398-8403

[3] 邓成萍, 薛文通, 孙晓琳, 等. 不同分子量段大豆多肽功能特性的研究[J].食品科学,2006,27(5):109-112
DENG Cheng-ping, XUE Wen-tong, SUN Xiao-lin, et al. Functional properties of different molecular weight segments of soybean peptides [J]. Food science, 2006, 27(5): 109-112

[4] 张新会,杨晓泉,陈中,等.大豆肽的分级膜分离及功能特性研究[J].中国粮油学报,2003,18(6):49-52
ZHANG Xin-hui ,YANG Xiao-quan, CHEN Zhong, et al. Study on the fractional uhrafiltration and functional properties of soy peptide [J]. Journal of the chinese cereals and oils association, 2003, 18(6): 49-52

[5] Nagai T, Suzuki N. Preparation and characterization of several fish bone collagens [J]. Journal of Food Biochemistry, 2000, 24(5): 427-436

[6] Giménez B, Alemán A, Montero P,et al. Antioxidant and functional properties of gelatin hydrolysates obtained from skin of sole and squid [J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 976-983

[7] Li X, Xiong H, Yang K W, et al. Optimization of the biological processing of rice dregs into nutritional peptides with the aid of trypsin [J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(5): 537-546

[8] Samhouri M, Abu-Ghoush M, Yaseen E, et al. Fuzzy clustering-based modeling of surface interactions and emulsions of selected whey protein concentrate combined to ι-carrageenan and gum arabic solutions [J]. Journal of food engineering, 2009, 91(1): 10-17

[9] Pearce K N, Kinsella J E. Emulsifying properties of proteins:evaluation of a turbidimetric technique [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 26(3): 716-723

[10] Li X, Xia W. Effects of concentration, degree of deacetylation and molecular weight on emulsifying properties of chitosan [J]. International journal of biological macromolecules, 2011, 48(5): 768-772

[11] Shahidi F, Han X-Q, Synowiecki J. Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (Mallotus villosus) [J]. Food Chemistry, 1995, 53(3): 285-293

[12] 彭德翔.鱿鱼皮胶原蛋白复合肽的制备及其抗氧化和抗衰老活性的研究[D].上海:上海海洋大学,2006
PENG De-xiang. Preparation of bioactive peptides from squid skin collagen and their antioxidant and anti-ageing activities [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2006

[13] Gbogouri G, Linder M, Fanni J, et al. Influence of hydrolysis degree on the functional properties of salmon byproducts hydrolysates [J]. Journal of food science, 2004, 69(8): 615-622

[14] Kristinsson H G, Rasco B A. Fish protein hydrolysates: production,biochemical,and functional properties [J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2000, 40(1): 43-81

[15] 陈哲.银杏多肽的提取,分离纯化及体内抗氧化活性研究[D].合肥:合肥工业大学,2012
CHEN Zhe. Preparation, purification and in vivo antioxidant activity of ginkgo peptides from ginkgo nuts [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012

[16] Surh J, Decker E A, Mcclements D J. Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by fish gelatin [J]. Food hydrocolloids, 2006, 20(5): 596-606

[17] 周瑞宝,周兵.蛋白质的生物和化学改性[J].中国油脂,2000,25(6):181-185
ZHOU Rui-bao, ZHOU Bin. Biological and chemical modification of proteins [J]. China oils and fats, 2000, 25(6): 181-185

[18] Kato A, Osako Y, Matsudomi N, et al. Changes in the emulsifying and foaming properties of proteins during heat denaturation [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1983, 47(1): 33-37