

## 罗非鱼蛋白-大豆蛋白混合体系乳化性的研究

张梦霞, 周春霞\*, 洪鹏志, 朱东宏, 洪伟 (广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088)

**摘要** [目的] 初步探讨动物蛋白和植物蛋白混合体系的乳化特性。[方法] 分别以罗非鱼肉和低温脱脂豆粕为原料, 采用碱溶-等电点沉淀法制备罗非鱼分离蛋白(FPI)和大豆分离蛋白(SPI), 固定蛋白浓度0.5%, 试验pH值、NaCl浓度、多糖类型对不同比例混合蛋白体系乳化活性和乳化稳定性的影响。[结果] 在试验范围内, FPI、FPI-SPI(2:1)、FPI-SPI(1:1)和SPI的乳化活性和乳化稳定性随pH值(3.0~10.0)的变化趋势基本一致, 在pH 4.0~5.0范围内最小, 而在pH 3.0和pH 10.0条件下较大; 在pH值3.0时, 添加NaCl(0~0.4 mol/L)会使体系乳化活性下降, 而在pH值5.0和7.0时, 试验蛋白体系的乳化活性均随NaCl的添加而增大; 黄原胶、卡拉胶、瓜尔豆胶和壳聚糖的添加均可改善蛋白体系的乳化性, 比较而言, 瓜尔豆胶对混合蛋白体系乳化活性的改善最明显, 黄原胶对混合蛋白乳化稳定性的改善最显著, 壳聚糖效果最差。[结论] 2种蛋白物理混合对体系乳化性的改善程度有限, 而添加多糖能明显改善体系的乳化性。

**关键词** 罗非鱼蛋白; 大豆蛋白; 乳化活性; 乳化稳定性

**中图分类号** S965.125 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)34-13369-03

## Study on Emulsifying Properties of Mixture System for Tilapia Protein and Soybean Protein

ZHANG Meng-xia et al (College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088)

**Abstract** [Objective] Emulsifying properties of mixture system for plant protein and animal protein were determined. [Method] Fish protein isolates (FPI) and soy protein isolates (SPI) were prepared by alkaline solution and isoelectric precipitation from Tilapia muscle and defatted soy flour product. Effect of pH value, NaCl concentration and polysaccharide on the emulsifying ability and emulsifying stability was studied for mixing system at 0.5% of protein concentration. [Result] In the pH value range from 3.0 to 10.0, for FPI, FPI-SPI (2:1), FPI-SPI (1:1) and SPI system, the same trend was obtained for emulsifying properties with increased pH value. The minimum emulsifying activity and stability values were obtained at pH 4.0-5.0, while the larger values were observed at pH 3.0 and 10.0. At pH 3.0, emulsifying activity of mixing protein system decreased with addition of NaCl (range from 0 to 0.4 mol/L), while emulsifying activity increased with NaCl addition at pH 5.0 and 7.0. The addition of xanthan gum, carrageenan, guar gum and chitosan could improve emulsifying properties of mixed protein system. In comparison, effect of guar gum on emulsifying activity of mixture system was most obvious, effect of xanthan gum on emulsifying ability was most remarkable, and no obvious improvement was observed for adding chitosan. [Conclusion] Effect of physical mixing of two proteins on the emulsifying properties was limited, and the addition of polysaccharides can improve effectively the emulsifying properties.

**Key words** Tilapia protein; Soybean protein; Emulsifying activity; Emulsifying stability

罗非鱼蛋白是一种优质蛋白资源,但在食品工业中的应用一直受到限制,其主要原因是其功能特性不强。天然大豆蛋白具有较好乳化、起泡、凝胶等功能特性,有研究表明在肉制品中添加适量大豆蛋白,可增加肉的水持水性、增强口感、嫩度和咀嚼性<sup>[1]</sup>。因此,鱼蛋白体系中加入一定量的大豆蛋白能否改善鱼蛋白的功能特性是一个值得探讨的问题。乳化性是蛋白质的一种重要功能特性。蛋白质之所以具有乳化作用,是因为蛋白质分子含有亲水和亲油的两亲结构,当这些基团聚集于油水界面时,能够降低乳液表面张力,促进形成油-水乳液<sup>[2]</sup>。蛋白质乳化性不仅受蛋白来源、氨基酸组成等<sup>[3]</sup>影响,同时也受外部因素包括pH、离子强度、油体积分数、蛋白浓度、多糖类型和浓度等的影响<sup>[4-6]</sup>,相关研究在大豆蛋白、乳蛋白和鱼蛋白等都有报道。但有关动物蛋白与植物蛋白混合体系乳化性的研究较少。为此,该研究主要探讨了pH、盐浓度、多糖对罗非鱼蛋白与大豆蛋白混合体系乳化性的影响,旨在了解动物蛋白与植物蛋白复合体系乳化的乳化特性,以期开发高营养、低价格的动植物蛋白复合乳制品提供理论指导。

## 1 材料与方 法

**1.1 试验材料** 鲜活罗非鱼:购自湛江东风水产市场,取其背部白肉、分装、-75℃冰箱中储存备用,其粗蛋白含量

16.47%±0.18%;低温脱脂豆粕:山东万德福植物蛋白厂生产,其粗蛋白含量51.3%±0.23%,豆粕粉碎后过100目筛备用;金龙鱼一级大豆油:益海粮油工业有限公司生产;卡拉胶、瓜儿豆胶、壳聚糖, Sigma试剂;其余试剂均为分析纯。

## 1.2 方 法

**1.2.1 罗非鱼分离蛋白(FPI)的制备。**罗非鱼肉→4℃解冻→加冰蒸馏水(鱼肉:水=1:9, g/ml)→均质2 min→调节pH值12.0→4℃搅拌提取10 min→冷冻离心(10 000 r/min, 20 min, 4℃)→上清液→调节pH 5.5→冷冻离心(10 000 r/min, 20 min, 4℃)→沉淀加少量冰水分散,调pH值7.0→冷冻干燥→罗非鱼分离蛋白(FPI)→真空包装后4℃保存,其蛋白含量为92.83%±1.35%。

**1.2.2 大豆分离蛋白(SPI)的制备。**低温脱脂豆粕粉→加蒸馏水分散(豆粕:水=1:10, g/ml)→调节pH值8.0→室温搅拌提取2 h→离心(8 000 r/min, 25 min, 4℃)→上清液→调节pH 4.5→冷冻离心(10 000 r/min, 15 min, 4℃)→沉淀加少量水分散,调pH值7.0→冷冻干燥→大豆分离蛋白(SPI)→真空包装后4℃保存,其蛋白含量为88.26%±1.22%。

**1.2.3 乳化性的检测。**将一定比例混合的FPI和SPI溶于不同缓冲液中,制备出不同条件下蛋白浓度为0.5%的蛋白溶液。采用浊度法<sup>[7]</sup>测定混合蛋白的乳化活性(EA)和乳化稳定性(ES)。取6 ml蛋白溶液于50 ml量杯中,加入2 ml的大豆油,高速均质1 min(固定转速12 000 r/min)。迅速从量杯底部取20 μl乳状液分散到4 ml 0.1%的SDS溶液中,

**基金项目** 广东省科技计划项目(2010B020313006)。

**作者简介** 张梦霞(1988-),女,河南周口人,在读硕士生,研究方向:食品质量与安全控制。\*通讯作者,副教授,博士。

**收稿日期** 2013-11-04

摇匀,立即在 500 nm 波长下(以 0.1% 的 SDS 为空白)测定 0 min 的吸光度值( $A_0$ );静置 10 min 后再取样同上检测吸光度值( $A_{10}$ )。在该试验中,EA 和 ES 分别用乳化活性指数(EAI)和乳化稳定性指数(ESI)来表示。公式如下:

$$EAI = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times D}{c \times \phi \times l \times 10000}$$

$$ESI = \frac{A_0}{A_0 - A_{10}} \times \Delta t$$

式中, $D$  为稀释倍数, $D = 200$ ;  $C$  为蛋白质浓度, $C = 0.5\%$  (g/ml);  $\Phi$  为油体积分数, $\Phi = 1/4$ ;  $L$  为比色皿的厚度, $L = 1$  cm;  $EAI$  单位为  $m^2/g$ ;  $\Delta t = 10$  min;  $ESI$  单位为 min。

## 2 结果与分析

### 2.1 pH 值对罗非鱼蛋白—大豆蛋白混合体系溶解性的影响

由图 1 可知,在试验范围内,2 种蛋白及其混合蛋白溶解性随 pH 值的变化趋势基本一致;在 pH 4.0~5.0 范围内,混合蛋白的溶解性较差;而在体系 pH 值低于 4.0 或高于 7.0 条件下,罗非鱼蛋白、大豆蛋白及混合体系的溶解性较好,这主要与蛋白质表面电荷随体系 pH 值的变化有关。溶液 pH 值接近等电点时,蛋白分子结构折叠,表面静电荷几乎为零,水合作用最弱,溶液中易聚集沉淀,溶解性较差;溶液 pH 偏离等电点时,蛋白分子结构展开,表面带净正电荷或净负电荷,通过静电相互作用与水分子结合稳定,溶解性较好<sup>[8]</sup>。比较而言,在低于等电点的 pH 条件下,鱼蛋白的溶解性较好,而在中性和碱性 pH 条件下,大豆蛋白的溶解性较好。另外,相同 pH 值条件下,不同比例混合的 FPI 和 SPI 溶解性存在差异,其主要原因是 2 种蛋白的等电点和理化性质不同,影响了蛋白分子与水分子水合作用。

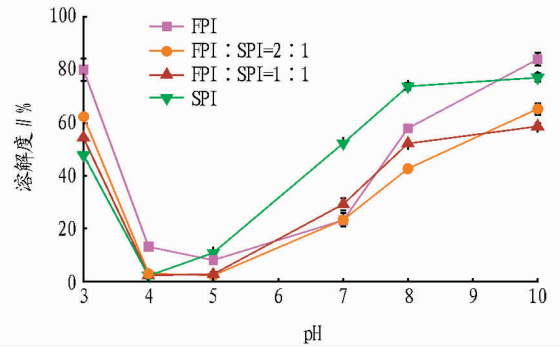
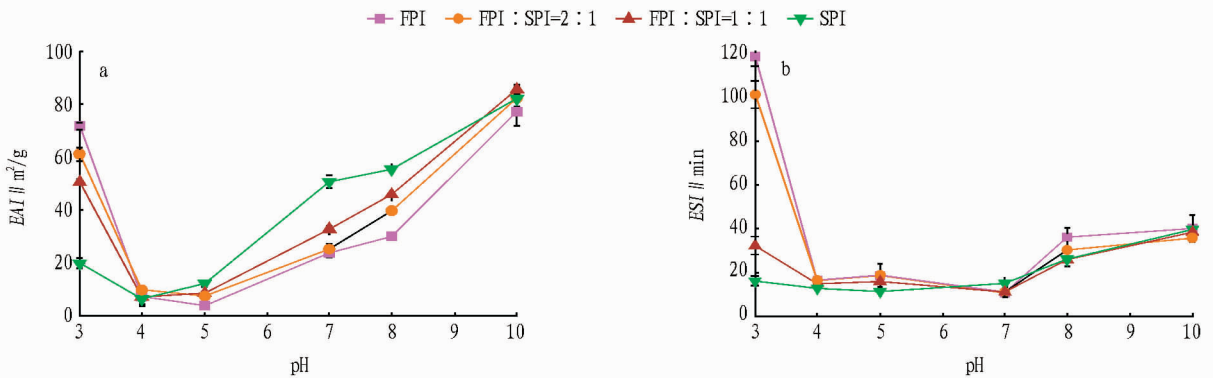


图 1 pH 值对罗非鱼蛋白—大豆蛋白混合体系溶解性的影响

### 2.2 pH 值对罗非鱼蛋白—大豆蛋白混合体系乳化性的影响

由图 2 可知,在试验范围内,一定比例混合蛋白乳化活性和乳化稳定性随 pH 值的变化基本类似,且与溶解性随 pH 值的变化趋势一致,即在等电点 pH 值(4.0~5.0)范围内体系的乳化性最差,而在偏离等电点的酸性和碱性范围内,体系的乳化性较好。在 pH 3.0 时,罗非鱼分离蛋白的乳化性最好,其体系的  $EAI$  值和  $ESI$  值分别为  $71.6 m^2/g$  和 118.2 min,而随着鱼蛋白含量的减少,混合体系的乳化性随之下降;而在高于等电点的 pH 条件下,大豆分离蛋白的乳化活性较好,而随着大豆蛋白含量的减少,混合体系的乳化性也随之下降;随着 FPI 含量的升高,其值也随之减小。总体而言,鱼蛋白和大豆蛋白物理混合对蛋白体系溶解性和乳化性的改善比较有限。因此,蛋白质的乳化性不仅受外界 pH 值的影响,也与其来源有关,同时  $EAI$  与  $ESI$  值之间并没有直接关联。蛋白质乳化性随 pH 值变化而呈现以上规律,主要原因是 pH 值变化影响蛋白质自身所带的净电荷,而蛋白质所



注:a 为乳化活性,b 为乳化稳定性。

图 2 pH 值对罗非鱼蛋白—大豆蛋白混合体系乳化活性和乳化稳定性的影响

带电荷多少及性质不同,影响其在溶液中的三维结构,进而影响其溶解度和乳化性。

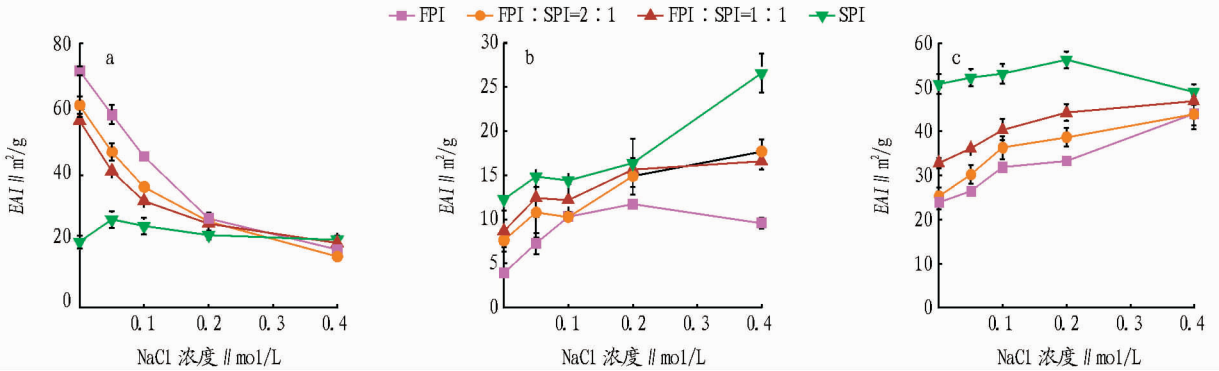
### 2.3 盐浓度对罗非鱼蛋白—大豆蛋白混合体系乳化性的影响

由图 3 可知,NaCl 添加量对混合体系乳化活性的影响明显,且在不同 pH 下,混合体系乳化活性的变化趋势不完全相同。在试验范围内,当 pH 值为 3.0 时,添加 NaCl 会使体系乳化活性下降,且对于罗非鱼分离蛋白的影响最明显;而当 pH 值为 5.0 和 7.0 时,试验蛋白体系的乳化活性均随 NaCl 的添加而增大,且大豆分离蛋白体系的乳化活性最好。此

外,在 pH 值 3.0~7.0 范围内,在较低盐浓度(小于 0.05 mol/L)条件下,混合蛋白的乳化稳定性随浓度的增加而减小,其后随着盐浓度的增加,乳化稳定性的变化不明显(数据未列出)。由试验结果可知:在溶液为弱酸性和中性时,盐浓度为 0~0.4 mol/L 的条件下,混合蛋白的乳化性随 SPI 含量的增加而升高,主要原因可能有 2 个方面,一是 SPI 的主要成分是水溶性的球蛋白,该条件下 SPI 的分子展开度增加,水合程度较大,溶解度较高,乳化性较好;二是 FPI 的主要成分是盐溶性蛋白,试验范围内随着盐浓度增加,溶解度提高(等

电点附近除外),乳化性增加。另外,pH 7.0 时,SPI 的 EAI 值之所以随盐浓度增加而降低,是因为当溶液中游离电荷增多到一定程度,SPI 分子所带电荷会被中和,双电层作用破坏,SPI 分子就从溶液中析出,使溶解度降低,乳化性下降。

因此,离子强度对蛋白质 EAI 和 ESI 的影响不仅受其自身大小的影响,还与体系的 pH 有很大关系,并且因蛋白质来源不同而不同。

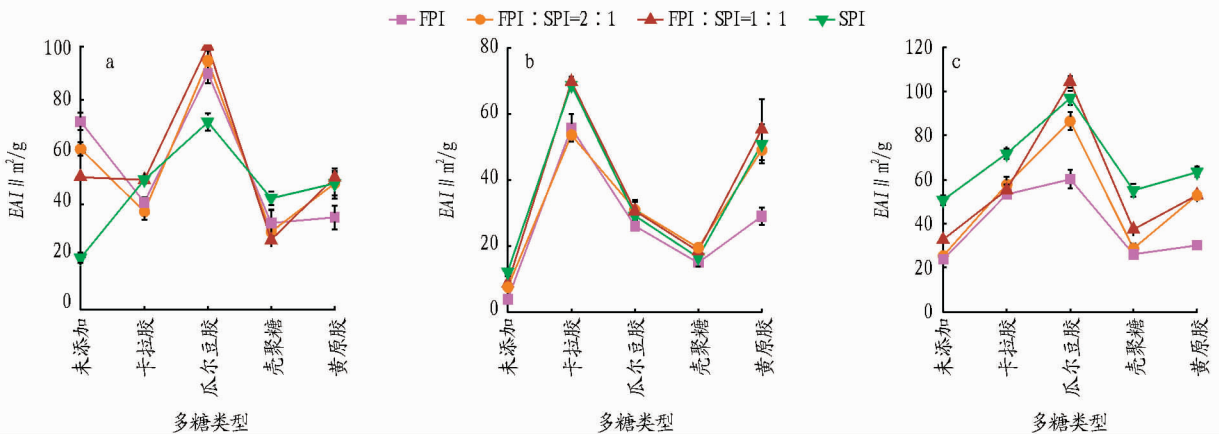


注:a 为 pH 3.0,b 为 pH 5.0,c 为 pH 7.0。

图3 盐浓度对罗非鱼蛋白-大豆蛋白混合体系乳化活性的影响

**2.4 多糖对罗非鱼蛋白-大豆蛋白混合体系乳化活性的影响** 图4表明,试验所选用的4种多糖对混合体系乳化活性均有不同程度的改善,且受pH值的影响比较明显。在pH 3.0和7.0条件下,瓜儿豆胶对混合蛋白体系的改善效果最明显,其次是卡拉胶和黄原胶,壳聚糖的效果最差。pH 7.0时,添加0.2%的瓜儿豆胶,FPI-SPI(2:1)混合体系的EAI值从25.3 m<sup>2</sup>/g增至86.4 m<sup>2</sup>/g,FPI-SPI(1:1)混合体系的EAI值从32.8 m<sup>2</sup>/g增至104.4 m<sup>2</sup>/g。在pH 5.0条件下,卡拉胶能明显改善各试验体系的乳化活性,其次是黄原胶、瓜儿豆

胶,壳聚糖效果最差。多糖对蛋白体系乳化性的影响主要是改变体系的溶解性和增加体系的粘度。试验选用的黄原胶和卡拉胶为阴离子多糖,在弱酸性条件下,带部分正电荷的蛋白质与带负电荷的阴离子多糖表现出一定的静电相互作用,形成可溶性的多糖-蛋白络合物,使蛋白质溶解度增加,乳化性提高;瓜儿豆胶为中性多糖,一般认为它与蛋白质不发生相互作用<sup>[9]</sup>,它是通过改善乳液体系的粘度来改善蛋白质的乳化性;壳聚糖为阳离子多糖,溶解性较差,对蛋白乳化性的改善不明显。



注:a 为 pH 3.0,b 为 pH 5.0,c 为 pH 7.0。

图4 多糖对罗非鱼蛋白-大豆蛋白混合体系乳化活性的影响

**2.5 多糖对罗非鱼蛋白-大豆蛋白混合体系乳化稳定性的影响** 由图5可知,试验所添加的黄原胶、卡拉胶、瓜儿豆胶、壳聚糖均能不同程度影响混合蛋白的乳化稳定性,但变化规律随pH值和混合比例的变化各不相同。比较而言,在pH 5.0和7.0时,黄原胶对混合蛋白乳化稳定性的改善效果最显著,其次是卡拉胶和瓜儿豆胶,壳聚糖效果最差。在pH 7.0时,添加0.2%的黄原胶能使FPI-SPI(1:1)混合体系的ESI值从21.1 min增至111.5 min。多糖改善蛋白乳化体系

稳定性的主要原因是多糖能在自身浓度较低的情况下,显著改变体系分散介质的流变特性,使乳粒均匀悬浮在介质中<sup>[10]</sup>。在弱酸性、中性条件下,黄原胶能改善乳液稳定性,是因为它能显著增加乳状液分散相的粘度和形成弱凝胶结构,从而减缓由于重力或布朗运动造成的乳粒聚结、絮凝等不稳定现象的发生<sup>[11]</sup>;卡拉胶是通过增加乳浊体系的粘稠度、增大界面膜强度,防止乳粒聚集沉淀,来提高乳液稳定

(下转第13417页)

作,并且提供已掌握的产业地区分布及企业汇总资料。

**4.2 信息资源服务操作** 围绕“玉米深加工”,企业结合近期的研发项目发起了 3 个知识任务,即玉米浸泡、玉米浆提纯、玉米淀粉加工。在专题下再逐级细分专题,从发展策略、应用前景、政策规划、地区对比分析 4 个二级专题。图书馆围绕某个知识专题,对馆藏资源进行组织与归类,与企业协作编辑重要的专业术语、技术标准、专利等词条。对于已经建立的文档,图书馆与企业分别进行评价。图书馆从文献来源、可信度,企业从效用价值、创新性的角度分别对文献作出评价。图书馆与企业的评价操作是一个持续的过程,评价内容不断累积并且保存下来,作为文献筛选的依据。通过图书馆与企业共同规划知识专题、文档组织与归类、协同编辑、协

同评价,逐渐沉淀积累而成知识专题社区,这些凝聚了双方的知识与智慧,产生了显著的知识增值,为图书馆与更多企业合作提供了依据<sup>[6]</sup>。

### 参考文献

- [1] 孙凤云. 图书馆信息服务的新亮点——兼议为中小企业提供信息服务[J]. 图书馆工作与研究,2010(2):91-93.
- [2] ELLYSSA K. The social tools of Web2.0: Opportunities for academic libraries[J]. Choice,2007(8):2011-2021.
- [3] 江树青,吴志德,吴昌合. Lib2.0 环境下高校图书馆信息资源建设策略研究[J]. 合肥工业大学学报:社会科学版,2010(6):27-31.
- [4] 胡昌平. 信息服务与用户[M]. 武汉:武汉大学出版社,2008:312-318.
- [5] 王伟军,甘春梅,孙晶. Web2.0 环境下企业信息资源管理变革[J]. 情报科学,2009(8):1126-1132,1138.
- [6] 黄悦深. 基于知识协同的高校图书馆企业信息服务研究——以五邑大学为例[J]. 图书馆论坛,2012(4):72-75.

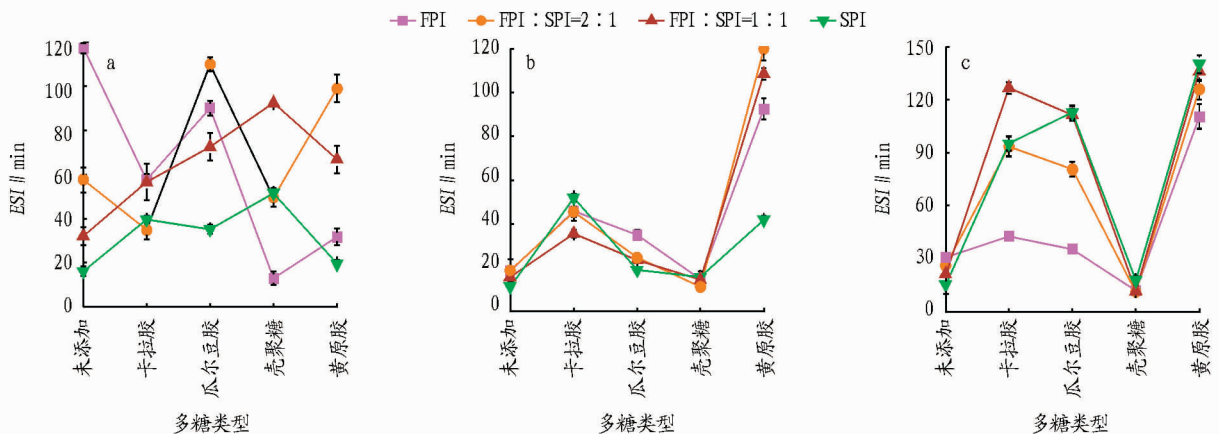
(上接第 13371 页)

性<sup>[12]</sup>;瓜尔豆胶主要是通过增加体系粘稠度来提高乳浊液稳定性的;壳聚糖在试验条件下溶解性较差,对体系流变性影响不明显。

### 3 结论

pH 值、盐浓度、多糖均能影响 FPI、SPI 及其混合体系的乳化活性和乳化稳定性。① FPI、FPI-SPI(2:1)、FPI-SPI(1:1)和 SPI 的乳化活性和乳化稳定性随 pH 值(3.0~10.0)

的变化趋势基本一致,在 pH 4.0~5.0 范围内最小,而在 pH 3.0 和 pH 10.0 条件下较大;②在 pH 值 3.0 时,添加 NaCl(0~0.4 mol/L)会使体系乳化活性下降,而在 pH 值 5.0 和 7.0 时,试验蛋白体系的乳化活性均随 NaCl 的添加而增大;盐浓度对混合蛋白的 ESI 影响不明显。③黄原胶、卡拉胶、瓜尔豆胶和壳聚糖的添加均可改善蛋白体系的乳化性,且受 pH 值的影响明显。比较而言,瓜尔豆胶对混合蛋白体系乳化活性的改善最明显,黄原胶对混合蛋白乳化稳定性的改善最显



注:a 为 pH 3.0, b 为 pH 5.0, c 为 pH 7.0。

图 5 多糖对罗非鱼蛋白—大豆蛋白混合体系乳化稳定性的影响

著,壳聚糖效果最差。在 pH 7.0 时,添加 0.2% 的瓜尔豆胶能使 FPI-SPI(1:1)混合体系的 EAI 值从 32.8 m<sup>2</sup>/g 增至 104.4 m<sup>2</sup>/g,添加 0.2% 的黄原胶能使 FPI-SPI(1:1)混合体系的 ESI 值从 21.1 min 增至 111.5 min。总体分析,鱼蛋白和大豆蛋白物理混合对体系乳化性的改善程度有限,而添加多糖能明显改善体系的乳化性。

### 参考文献

- [1] 周玲,彭顺清,汪学荣,等. 大豆分离蛋白在肉制品中的应用[J]. 肉类工业,2004,283(11):42-43.
- [2] WAGNER J R, GUEGUEN J. Surface functional properties of native, acid-treated, and reduced soy glycinin. 2. Emulsifying properties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(6):2181-2187.
- [3] MU T, TAN S, XUE Y. The amino acid composition, solubility and emulsifying properties of sweet potato protein [J]. Food Chemistry, 2009, 112(4):1002-1005.
- [4] 杨玉玲,彭晓蓓,董哲,等. 草鱼盐溶蛋白乳化性的研究[J]. 食品工业科技,2013,23(1):121-124.

- [5] HEMUNG B, BENJAKUL S, YONGSAWATDIGUL J. pH-dependent characteristics of gel-like emulsion stabilized by threadfin bream sarcoplasmic proteins [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1):315-322.
- [6] HEFNAWY T M H, MOHAMED F R. Physicochemical characteristics of soy protein isolate and fenugreek gum dispersed systems [J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(3):371-377.
- [7] CHAVAN U D, MCKENZIE D B, SHAIDI F. Functional properties of protein isolates from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) [J]. Food Chemistry, 2001, 74(2):177-187.
- [8] 安广杰,王璋. 改性水解明胶的理化性质分析——乳化性和溶解性[J]. 食品科技,2007(8):84-87.
- [9] 胡坤,赵谋明,林伟锋,等. 中性多糖对大豆分离蛋白乳浊液稳定性影响的机理探讨[J]. 食品科学,2005,26(11):30-34.
- [10] 麻建国, DICKINSON E, POVEY M J W. 黄原胶对 O/W 乳状液稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 1988, 24(1):26-33.
- [11] CUI S W. Food carbohydrates: chemistry, physical properties and applications [M]. Boca Raton, FL: Taylor and Francis, 2005.
- [12] SETA L, BALDINO N, GABRIELE D, et al. The influence of carrageenan on interfacial properties and short-term stability of milk whey proteins emulsions [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(2):373-382.