

超声处理对南极磷虾蛋白功能特性的影响

戚亭^{1,2}, 陈雪忠², 刘志东^{2*}, 黄洪亮², 汪一红², 刘宝林¹, 曲映红³, 汪雯翰⁴, 冯实⁵, 石彦国⁵

1(上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海, 200093) 2(中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海, 200090)

3(上海海洋大学 食品学院, 上海, 201306) 4(上海市农业科学院 食用菌研究所, 上海, 201403)

5(哈尔滨商业大学 食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨, 150076)

摘要 以南极磷虾蛋白为研究对象, 采用超声处理, 研究了超声功率、超声时间、超声温度等对南极磷虾蛋白功能特性(溶解性、持水/油性、起泡性和乳化性等)的影响。结果表明, 超声处理时间对南极磷虾蛋白持水性、溶解性影响显著, 乳化性影响次之。表明超声处理能够改变南极磷虾蛋白的功能特性。

关键词 超声波; 南极磷虾; 蛋白质; 功能特性

南极磷虾(*Euphausia superba* Dana)是一种生活于南极海域的小型浮游海洋生物, 资源量巨大(生物储量约为6.5亿~10亿t), 且目前处于尚未充分开发利用的状态。研究表明, 南极磷虾的蛋白质含量约为11.9%~15.4%(鲜重)、60%~80%(干重)^[1]; 南极磷虾蛋白质含有8种人体必需氨基酸, 并满足FAO/WHO/UNU规定的成人和婴儿需要量, 营养价值较高^[2]。因此, 南极磷虾被认为是地球上最大的潜在动物性蛋白资源库^[3-4]。蛋白质在食品工业的应用除了应具有优良的营养特性, 还要具有良好的功能特性。因此, 开发具有良好功能特性的食品蛋白质或者提高现有食品蛋白质的功能特性已经成为研究人员的重要任务之一。国内外关于南极磷虾蛋白质的制备、营养特性、衍生产品、生物活性和加工利用等开展了相关研究。JÖRG OEHLenschläger等^[5]研究发现, 南极磷虾蛋白浓缩物具有良好的溶解性, 起泡性, 乳化性和乳化稳定性。但作为一种新来源的蛋白质其功能特性的研究还较少, 对它的改性的研究则更少; 而关于超声处理对南极磷虾蛋白功能特性影响的研究则鲜见报道。超声波作为一种非热处理技术, 在特定条件下具有机械作用, 热作用和空化作用; 能够改变蛋白质的构象和特性, 影响蛋白质的功能

特性^[6-7]。

本文以南极磷虾蛋白为原料, 研究了超声处理对南极磷虾蛋白的溶解性、持水性、持油性、乳化性、起泡性等功能性质的影响, 探索了超声处理对南极磷虾蛋白功能特性的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

南极磷虾, 由上海开创远洋渔业有限公司2014年11月于南极设得兰群岛海域捕获, 冷藏运回国内, 实验室于-80℃贮藏备用; 所用试剂均为分析纯及以上级别。大豆油福临门一级大豆油GB-1535。

PHS-3C型pH计, 上海精密科学仪器有限公司; TGI-16M高速台式冷冻离心机, 湖南湘仪试验仪器开发有限公司; BM255C搅拌机, 美的集团有限公司; 电子天平, 梅特勒-托利多仪器有限公司; 90-2型定时恒温磁力搅拌器, 上海市沪西分析仪器有限公司; KQ-100DB超声波发生器, 江苏省昆山; 紫外可见分光光度计, 上海尤尼柯分析仪器有限公司; 真空冷冻干燥机, LABCONCO FreeZone公司。

1.2 实验方法

1.2.1 南极磷虾蛋白的制备

参考高飞等^[8]方法提取南极磷虾蛋白质。

1.2.2 南极磷虾蛋白溶解性的测定

称取0.5g南极磷虾蛋白溶于15mL蒸馏水中, 混匀后采用10000r/min, 离心10min, 吸取上清液并稀释50倍; 吸取1mL稀释蛋白液于试管中。上清液中的蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定^[9]。根据上清液中的蛋白含量占总蛋白含量的百分比表

第一作者: 硕士研究生(刘志东副研究员为通讯作者, E-mail: zdl-liu@hotmail.com)。

基金项目: 上海市科技兴农项目(沪农科攻字(2015)第5-5号); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2016HY-ZD0903; 2016HY-ZD1003); 公益性行业(农业)科研专项(201203018); 南极海洋生物资源开发利用专项(2015); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2011M06)

收稿日期: 2016-11-11, 改回日期: 2016-12-20

示蛋白的溶解度。

1.2.3 南极磷虾蛋白持水性的测定

称取南极磷虾蛋白 0.5 g 并加入 15 mL 蒸馏水, 使用旋涡混合仪充分混匀 (V_0 , mL), 静置 30 min; 10 000 r/min、离心 10 min, 记录上清液的体积 (V , mL), 持水率的计算公式如下^[10]。

$$\text{持水率}/\% = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

1.2.4 南极磷虾蛋白持油性的测定

称取 0.5 g 南极磷虾蛋白与 10 mL 大豆油混和 (V_0 , mL), 室温静置 30 min; 10 000 r/min, 离心 10 min, 测定上清液的体积 (V , mL), 持油率的计算公式如下^[11]。

$$\text{持油率}/\% = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 \quad (2)$$

1.2.5 南极磷虾蛋白起泡性和泡沫稳定性的测定

称取 0.6 g 南极磷虾蛋白与 30 mL 蒸馏水混和, 转速 10 000 r/min, 均质 3 min, 立即将液体转移至量筒中, 分别测定 0 min 时泡沫体积 V_0 (mL); 静置 10 min 后测定泡沫体积 V_{10} (mL), 分别按照下式计算起泡性和泡沫稳定性^[12]。

$$\text{起泡性}/\% = \frac{V_{10} - V_0}{V_{10}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{泡沫稳定性}/\% = \frac{V_{10}}{V_0} \times 100 \quad (4)$$

1.2.6 南极磷虾蛋白乳化性和乳化稳定性的测定

称取 0.3 g 南极磷虾蛋白与 30 mL 蒸馏水混匀, 再加入 10 mL 大豆油, 转速 10 000 r/min, 匀浆 1 min; 由乳浊液底部吸取上清液用 0.1% SDS 溶液稀释 100 倍至 5 mL, 测定波长 500 nm 处的吸光度 A_0 , 10 min 后再次测定吸光度值 A_{10} 。南极磷虾蛋白的乳化活性指数和乳化稳定性指数按照下式进行计算^[13]。

$$\text{EAL}/(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{2 \times \varphi \times 100 \times A_0}{c \times 0.25 \times 10\,000} \quad (5)$$

$$\text{ESL}/\% = \frac{A_{10}}{A_0} \times 100 \quad (6)$$

式中: A , 波长 500 nm 处的吸光值; φ , 油相体积分数 ($\varphi = 2.303$); c , 南极磷虾蛋白含量 (g/mL); A_0 、 A_{10} 分别为乳状液在 0 min、10 min 时的吸光值。

1.3 数据处理与分析

数据采用 SPSS Statistics 17.0 对实验数据进行统计分析, 实验结果采用 (平均值 \pm 标准偏差) 表示, 样品平均值之间的差异显著性 ($P < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 超声处理时间对南极磷虾蛋白功能特性的影响

2.1.1 超声处理时间对南极磷虾蛋白溶解性的影响

溶解性是蛋白质的重要功能特性之一, 也是其他功能特性的基础, 是判断蛋白变性程度和聚集度的重要指标^[14-16]。由图 1 可知, 超声处理能够改变南极磷虾蛋白的溶解性。超声处理时间 10 min 时, 改性南极磷虾蛋白的溶解度为 12.01%; 20 min 时, 改性蛋白的溶解度最大值为 12.06%。可能是由于在 1 ~ 10 min 内, 超声处理增加了可溶性蛋白含量, 溶解度逐渐提高, 但继续延长超声时间不会发生明显改变。

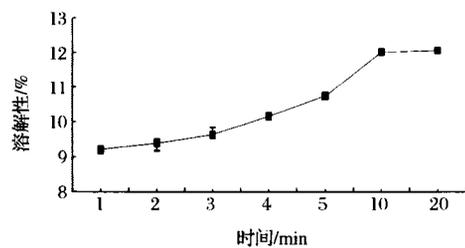


图 1 超声处理时间对南极磷虾蛋白溶解性的影响

Fig. 1 Effect of treatment time on solubility of Antarctic krill protein

2.1.2 超声处理时间对南极磷虾蛋白持水性/持油性的影响

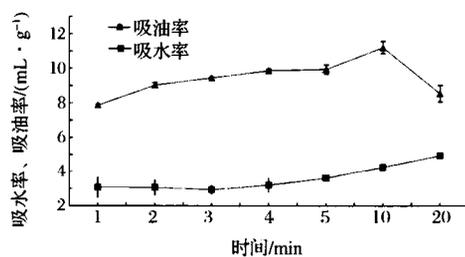


图 2 超声处理时间对南极磷虾蛋白持水性/吸油性的影响

Fig. 2 Effect of treatment time on water holding capacity/oil holding capacity of Antarctic krill protein

由图 2 可知, 超声处理 5 ~ 10 min 时, 南极磷虾蛋白持水率增加迅速, 10 ~ 20 min 时, 南极磷虾蛋白持水力几乎不变。超声处理时间为 20 min 时, 南极磷虾蛋白的持水率最大, 4.93 mL/g。超声处理促使南极磷虾蛋白发生改变, 亲水性基团暴露, 提高了蛋白的水结合能力; 随着超声处理时间的延长, 蛋白的变性增强, 降低了蛋白与水的结合能力^[10]。处理时间为 1

~4 min 时,南极磷虾蛋白的吸油能力增长缓慢;5 min 时突然降低;随后持油性开始增加;10 min 时达到峰值 11.2 mL/g, 随后降低。JÖRG OEHLenschläger 等^[5]研究发现,将刚刚冷冻干燥的南极磷虾蛋白(水分含量约为 3%)暴露在空气中(相对湿度 50% ~ 60%;20 ~ 23 ℃)。3 h 后重量增加约 2.65%, 继续放置 164 h 后,水分含量达到 5.6%^[5]。

2.1.3 超声处理时间对南极磷虾蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

由图 3 可知,随着超声时间的延长,南极磷虾蛋白的起泡性和起泡稳定性呈先增后减的趋势。超声处理时间 5 min 时,南极磷虾蛋白的起泡性和起泡稳定性达到最大,分别为 21.11% 和 10.22%。一方面,超声处理改变了南极磷虾蛋白的表面疏水性,促进了蛋白分子在水-空气界面的展开和界面膜的形成,提高了南极磷虾蛋白的起泡性。另一方面,随着超声时间延长,南极磷虾蛋白分子形成的网络结构遭到破坏,泡沫界面膜破裂,导致南极磷虾蛋白的起泡性和泡沫稳定性下降^[17,18]。

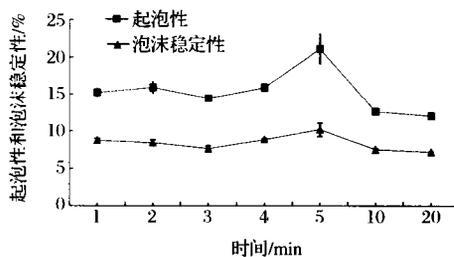


图 3 超声处理时间对南极磷虾蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

Fig. 3 Effect of treatment time on foaming ability and foam stability of Antarctic krill protein

2.1.4 超声处理时间对南极磷虾蛋白乳化性和乳化稳定性的影响

如图 4 所示,南极磷虾蛋白的乳化性随超声处理时间的延长而上升,在超声处理时间 20 min 时,南极磷虾蛋白的乳化性最大值为 9.41 m²/g。一方面,超声使蛋白分子快速伸展,有助于提高南极磷虾蛋白的乳化性^[17];另一方面,长时超声打断了部分蛋白分子链,导致蛋白分子聚集,疏水性基团减少,其乳化性下降^[18]。

由图 5 可知,南极磷虾蛋白的乳化稳定性随超声时间延长而下降。超声时间 2 min,南极磷虾蛋白乳化稳定性最大,达到 66.40%。超声降低了蛋白质分子的柔顺性,故其乳化性能降低^[19-21]。

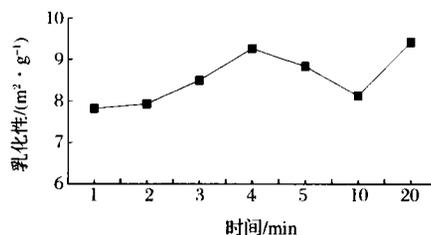


图 4 超声处理时间对南极磷虾蛋白乳化性的影响

Fig. 4 Effect of treatment time on emulsifying properties of Antarctic krill protein

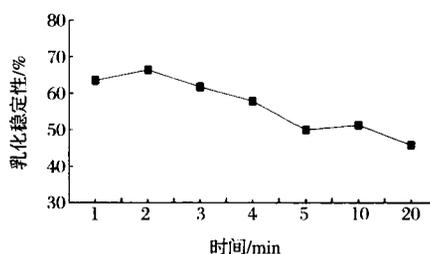


图 5 超声处理时间对南极磷虾蛋白乳化稳定性的影响

Fig. 5 Effect of treatment time on emulsion stability of Antarctic krill protein

2.2 超声处理功率对南极磷虾蛋白功能性质的影响

2.2.1 超声处理功率对南极磷虾蛋白溶解性的影响

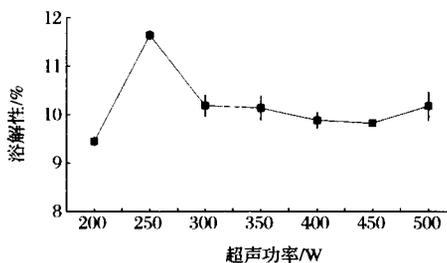


图 6 超声处理时间对南极磷虾蛋白溶解度的影响

Fig. 6 Effect of ultrasonic intensity on solubility of Antarctic krill protein

图 6 可知,随着超声功率的增加,处理时间 4 min,南极磷虾蛋白的溶解度先上升后下降,在 250 W 时达到最大值(11.64%)。超声导致部分蛋白分子链断裂成水溶性的小分子亚基或肽,其溶解度增加;但随着超声功率加强,水溶性的小分子亚基或肽的增加,抑制了蛋白的溶解,故南极磷虾蛋白的溶解趋于平衡^[22]。

2.2.2 超声处理功率对蛋白质持水性/持油性的影响

由图 7 可知,随着超声功率的增加,南极磷虾蛋白的持水率先上升后下降,在 350 W 时达到最大值

(3.67 mL/g);其持油率则呈持续下降趋势。原因可能是由于超声功率为 200 ~ 350 W, 南极磷虾蛋白中的亲水性基团暴露占主导作用, 蛋白持水率上升, 持油率下降; 超声功率大于 350 W, 南极磷虾蛋白变性占主导作用, 亲水性基团减少, 蛋白持水率下降, 持油率也下降(不溶性蛋白增多)。

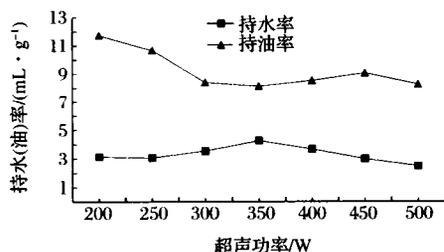


图7 超声处理功率对南极磷虾蛋白持水率/持油率的影响

Fig.7 Effect of ultrasonic intensity on water/oil holding capacity of Antarctic krill protein

2.2.3 超声处理功率对南极磷虾蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

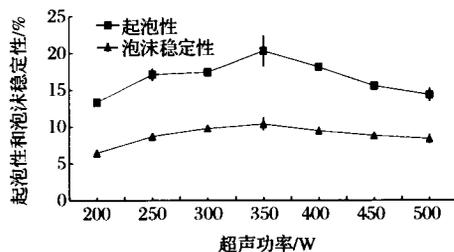


图8 超声处理功率对南极磷虾蛋白起泡能力和泡沫稳定性的影响

Fig.8 Effect of ultrasound intensity on foaming ability and foam stability of Antarctic krill protein

由图8可知,随着超声功率的增加,南极磷虾蛋白的起泡性和泡沫稳定性呈现相同的变化趋势,都在超声功率为 350 W 时达到峰值。由前面分析可知,适宜的超声功率(200 ~ 350 W)能够增强南极磷虾蛋白的起泡能力,其泡沫稳定性也增强。超声功率过大(大于 350 W)时,超声破坏了蛋白结构,蛋白分子链被切断导致分子质量降低,其起泡能力降低,泡沫稳定性也降低(蛋白质浓度下降)^[5,10]。

2.2.4 超声处理功率对南极磷虾蛋白乳化性及乳化稳定性的影响

超声强度对南极磷虾蛋白乳化性的影响见图9。随着超声功率增加,南极磷虾蛋白的乳化性持续下降。大功率的超声切断了部分蛋白质分子链,导致蛋

白质分子聚集,疏水性基团减少,其乳化性下降^[18]。

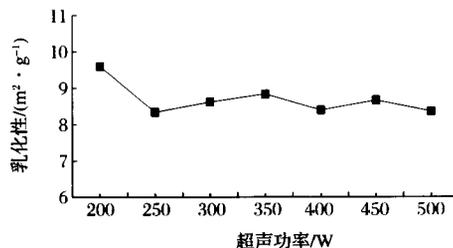


图9 超声处理功率对南极磷虾蛋白乳化性的影响

Fig.9 Effect of ultrasound intensity on emulsifying properties of Antarctic krill protein

由图10可知,随着超声功率的增加,南极磷虾蛋白的乳化稳定性呈现下降趋势。不断增加的超声功率导致蛋白的亲水性小分子亚基或肽持续增加,一方面使分子间的亲水相互作用强于疏水性相互作用^[23],另一方面使蛋白柔顺性降低^[18],故其乳化稳定性持续下降。

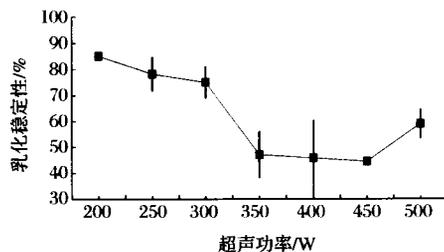


图10 超声处理功率对南极磷虾蛋白乳化稳定性的影响

Fig.10 Effect of ultrasound intensity on emulsion stability of Antarctic krill protein

2.3 超声处理温度对南极磷虾蛋白功能特性的影响

2.3.1 超声处理温度对南极磷虾蛋白溶解性的影响

南极磷虾蛋白的溶解度受超声处理温度影响见图11。超声功率 350 W, 超声时间 5 min, 南极磷虾蛋白的溶解度随超声处理温度的升高而呈现上升的趋势; 超声温度为 75 °C 时, 南极磷虾蛋白的溶解度达到 12.60%。该值尽管在试验范围内是最高的, 但与商品化蛋白产品的溶解度相比, 仍然较低。原因可能是由于南极磷虾蛋白在超声和温度共同作用下引起次级键断裂, 亲水基团暴露; 温度的升高增强了蛋白质分子之间的机械性振荡, 引起蛋白质分子重排、缔合形成类似于可溶性蛋白聚集体, 进一步提高了南极磷虾蛋白的溶解度^[24]。

2.3.2 超声处理温度对南极磷虾蛋白持水性/吸油性的影响

由图12可知, 超声功率 350 W, 超声时间 5 min,

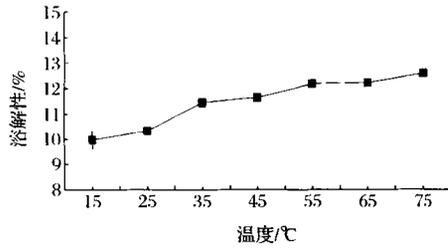


图 11 超声处理温度对南极磷虾蛋白溶解度的影响
Fig. 11 Effect of ultrasound temperature on solubility of Antarctic krill protein

随着超声处理温度的升高,南极磷虾蛋白的持水率逐渐提高,持油率则呈现下降的趋势。超声处理温度为 75 °C 时,南极磷虾蛋白的持水率最大,为 7.8 mL/g,持油率的最大值出现在温度为 15 °C 时,最大值为 10.8 mL/g。超声处理温度高,则蛋白表面含有亲水性基团多,因此,南极磷虾蛋白持水率增强^[25];但温度过高容易导致蛋白的变性,其疏水基团减少,故其持油率下降。

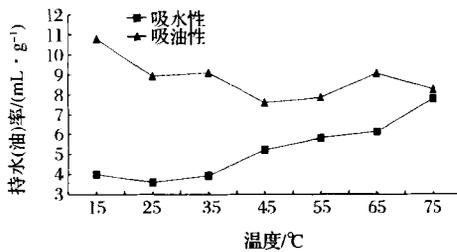


图 12 超声处理温度对南极磷虾蛋白持水/油率的影响
Fig. 12 Effect of ultrasound temperature on water/oil holding capacity of Antarctic krill protein

2.3.3 超声处理温度对南极磷虾蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

由图 13 知,超声功率 350 W, 超声时间 5 min, 随着超声处理温度的升高,泡沫稳定性持续下降;南极磷虾蛋白的起泡能力呈上升趋势,当温度达到 65 °C 时,蛋白变性增加,其起泡性增长变缓;超声温度过高(65 °C),溶解在水中的蛋白减少,其起泡能力降低^[5,24]。原因可能是由于超声温度升高,蛋白分子结构进一步打开,隐藏在分子内部的疏水基团和巯基暴露到分子表面,极化的蛋白分子重新形成大分子聚集体,界面膜的稳定性下降^[26,28]。同时,蛋白变性加剧,蛋白浓度下降,因而,泡沫稳定性下降^[10]。

2.3.4 超声处理温度对南极磷虾蛋白乳化性和乳化稳定性的影响

南极磷虾蛋白乳化性和乳化稳定性随着超声温

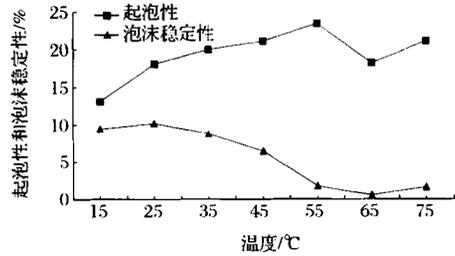


图 13 超声处理温度对南极磷虾蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

Fig. 13 Effect of ultrasound temperature on foaming capacity and foam stability of Antarctic krill protein

度变化的趋势见图 14 和图 15。

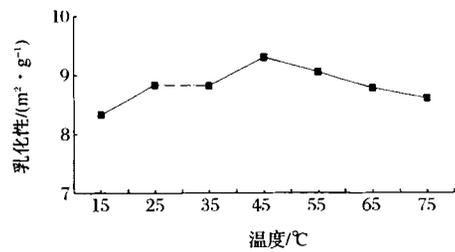


图 14 超声处理温度对南极磷虾蛋白乳化性能的影响
Fig. 14 Effect of ultrasound treatment temperature on emulsion properties of Antarctic krill protein

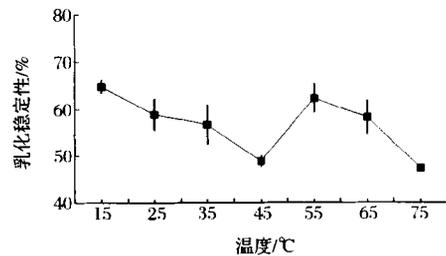


图 15 超声处理温度对南极磷虾蛋白乳化稳定性的影响
Fig. 15 Effect of ultrasound treatment temperature on emulsion stability of Antarctic krill protein

超声功率 350 W, 超声时间 5 min, 南极磷虾蛋白乳化性先随超声温度升高而升高,随后减低;超声温度 45 °C 时,乳化值最高为 9.30 m²/g (图 14)。超声温度在 15 ~ 45 °C 内,超声提高了南极磷虾蛋白的溶解性,其乳化能力提高。超声温度上升(45 ~ 75 °C),蛋白暴露的疏水性氨基酸残基数增加,蛋白分子发生热聚集^[27-28],降低了蛋白的溶解性,其乳化能力下降。

从图 15 可知,随着超声温度的升高,南极磷虾蛋白的乳化稳定性下降。一方面,温度上升提高了蛋白的乳化稳定性^[29]。另一方面,超声温度在 15 ~ 45 °C

范围内,超声提高了蛋白的溶解性;超声温度上升(45~75℃),蛋白聚合增加,溶解性降低。结合这两方面的因素,蛋白的乳化稳定性呈下降趋势。

3 结论

超声波对蛋白功能特性的影响主要是基于其对蛋白结构的改变。南极磷虾蛋白的溶解性随着超声强度的提高而增大,超声时间和温度对溶解性、持水性和持油性的影响较大,超声强度影响较小;超声时间、温度和强度都对南极磷虾蛋白的起泡性和泡沫稳定性产生较大的影响;超声时间对南极磷虾蛋白的乳化性和乳化稳定性影响较大,超声温度和强度影响较小。因此,适当的超声波处理能够改善南极磷虾蛋白的功能特性。

参 考 文 献

- [1] GRANTHAM G J. The Southern Ocean: The Utilization of Krill; Southern Ocean Fisheries Surveyprogramme [M]. Money & the Global Economy, 1977:299-304.
- [2] CHEN Y C, TOU J C, JACZYNSKI J. Amino acid and mineral composition of protein and other components and their recovery yields from whole Antarctic krill (*Euphausia superba*) using isoelectric solubilization/precipitation [J]. J Food Sci, 2009, 74(2): 31-39.
- [3] STEPHEN NICOL, JACQUELINE FOSTER, SO KAWAGUCHI. The fishery for Antarctic krill-recent developments [J]. Fish and fisheries, 2012, 13(1): 30-40.
- [4] 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析 [J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 451-458.
- [5] JÖRG OEHLenschLÄGER, WOLFGANG SCHREIBER. A functional protein concentrate (FKPC) from Antarctic krill (*Euphausia superba*, Dana 1850) [J]. Z LebensmUnters Forsch, 1981, 172(5): 393-398.
- [6] HU H, WU J, LI-CHAN ECY, et al. Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(2): 64-655.
- [7] ARZENI C, MARTINEZ K, ZEMA P, et al. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(3): 463-472.
- [8] 高飞, 韩春然, 石彦国, 等. 南极磷虾蛋白质提取条件优化 [J]. 天然产物研究与开发, 2016(2): 307-312, 194.
- [9] 王芳, 包怡红, 于震, 等. 食品中蛋白质快速检测技术的研究 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(11): 372-375.
- [10] THOMPSON L U, CHO Y S. Chemical composition and functional properties of acylated low phytate rapeseed protein isolate [J]. Journal of food Science, 1984, 49(8): 1584-1588.
- [11] 陈志军, 李向红, 刘永乐, 等. 鲢鱼蛋白酶法水解产物的功能性质 [J]. 食品科学, 2012, 33(5): 62-65.
- [12] MA L, ZHAO Q, YAO C, et al. Impact of welan gum on tricalcium aluminate-gypsum hydration [J]. Materials Characterization, 2012, 64: 88-95.
- [13] AGYARE K K, ADDO K, XIONG Y L. Emulsifying and foaming properties of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate as influenced by pH, temperature and salt [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(1): 72-81.
- [14] 吴倩, 张丽芬, 陈复生. 超声波对蛋白质提取及改性影响的研究进展 [J]. 食品与机械, 20015, 31(4): 256-259.
- [15] 任为聪, 程建军, 张智宇, 等. 不同改性方法对蛋白质溶解性的影响研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2011, 26(8): 123-128.
- [16] 王忠和, 王军, 李珍妮, 等. 超声波处理对豌豆分离蛋白功能特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 116-120.
- [17] 郭荣荣, 潘思轶, 王可兴. 碱法与酶法提取大米蛋白工艺及功能特性比较研究 [J]. 食品科学, 2005, 26(3): 173-177.
- [18] 贾俊强, 马海乐, 赵伟睿, 等. 超声波处理对麦胚清蛋白结构和功能性质的影响 [J]. 过程工程学报, 2009, 9(1): 107-112.
- [19] 孙冰玉, 石彦国, 马永强, 等. 超声波技术对醇浸出法大豆浓缩蛋白乳化性的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(2): 145-148.
- [20] 张海华, 朱科学, 周惠明. 超声波对小麦面筋蛋白结构的影响 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(22): 4687-4693.
- [21] 张雪春, 涂宗财, 郑为完, 等. 超高压微射流均质对花生球蛋白性质的影响 [J]. 食品工业科技, 2009, 30(11): 99-101.
- [22] 邵悦, 张琪, 张程, 等. 超声波对花生蛋白功能特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2012, (12): 130-133.
- [23] 贾俊强, 马海乐, 赵伟睿, 等. 超声波处理对小麦胚芽球蛋白理化和功能性质的影响 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 105-110.
- [24] 刘高梅, 任海伟. 不同功率超声波对芸豆蛋白理化和功能性质的影响 [J]. 中国粮油学报, 2012, 27(12): 20-23.
- [25] 顾炜, 刘远洋, 杨晓泉, 等. 喷射蒸煮辅助提取对花生

- 分离蛋白结构和功能的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(9): 151 - 156.
- [26] JITNGARMKUSOL S, HONG S J, TANANUWONG K. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours [J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 23 - 30.
- [27] HUSSAIN R, GAIANI C, JEANDEL C, et al. Combined effect of heat treatment and ionic strength on the functionality of whey proteins [J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(11): 6 260 - 6 273.
- [28] SHEN XUE, TIAN-QI FANG, GAO FENG, et al. Effects of ultrasound treatment on physicochemical and emulsifying properties of whey proteins pre- and post-thermal aggregation [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 63: 668 - 676.
- [29] PENG W, KONG X, CHEN Y, et al. Effects of heat treatment on the emulsifying properties of pea proteins [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 301 - 310.

Effect of ultrasound treatment on functional properties of Antarctic krill protein (*Euphausia superba* Dana)

QI Ting^{1,2}, CHEN Xue-zhong², LIU Zhi-dong^{2*}, HUANG Hong-liang²,
WANG Yi-hong², LIU Bao-lin¹, QU Ying-hong³, WANG Wen-han⁴,
FENG Shi⁵, SHI Yan-guo⁵

1(School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

2 (East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. Shanghai 200090, China)

3(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China) 4(Institute of edible fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China) 5(School of Food Science and

Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

ABSTRACT The effect of ultrasonic technology on the protein properties of *Euphausia superba* was studied. Through single factor experiments, the effects of ultrasound power, ultrasound time, ultrasound temperature on protein water absorption, oil absorption and solubility were studied. The result showed that ultrasonic treatment time has obvious effect on water absorption and solubility, and certain degree to emulsification. Ultrasound can changed the protein properties.

Key words ultrasound treatment; Antarctic krill; protein; functional properties