

低 pH 条件下大豆蛋白 7S 和 11S 组分的表面特性

徐红华,董世荣,何雪飞

(东北农业大学食品学院,黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:本文采用 7S 形成纤维聚合结构的制备条件,研究低 pH 条件下长时间热处理对大豆蛋白 7S 和 11S(包括酸性亚基和碱性亚基)乳化性和起泡性的影响。结果发现,低 pH 条件下长时间热处理的聚合手段,可以显著($p < 0.05$)改善不同大豆蛋白组分的起泡性,但对乳化性没有明显的改善作用,甚至对乳化稳定性有降低作用,这种改善程度与是否形成纤维聚合结构无关。与 pH7.0 条件下的热处理手段相比,低 pH 条件下长时间热处理的聚合手段能够使大豆蛋白 7S 和 11S 表面疏水性显著增加,这种特殊的结构变化更有助于提高起泡性能。因此,在低 pH 条件下长时间热处理后,7S 和 11S 具有较高的表面疏水性和较好的起泡性能。

关键词:大豆蛋白,起泡性,乳化性,表面疏水性,聚合

Superficial properties of soy protein 7S and 11S at low pH

XU Hong-hua, DONG Shi-rong, HE Xue-fei

(College of Food, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Based on the conditions of 7S forming fibril, the emulsifying and foaming properties of soy protein 7S and 11S (including acidic and basic subunits) was investigated under prolonged heat treatment at low pH. The results showed that the foaming properties of different soy protein components were significantly improved ($p < 0.05$), while the emulsification was not significantly regular changed even the emulsion stability was reduced by heating treatment at low pH. There were no relationships between the fibrillar aggregates and modified properties. Compared with the heating treatment at pH7.0, the surface hydrophobicities of soy protein 7S and 11S were significantly increased under heating treatment at low pH, and the special structure with high surface hydrophobicities was benefit for improving foaming properties of soy protein. Then, the surface hydrophobicities and foaming properties of 7S and 11S were improved significantly after prolonged heat treatment at low pH.

Key words: soy protein; foaming properties; emulsifying properties; surface hydrophobicity; aggregation

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)15-0092-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.15.011

与其他植物蛋白相比,大豆蛋白拥有较突出的表面性质,表面性质的改善取决于大豆蛋白分子的组成、形状、电荷分布、表面疏水性、空间结构、分子的柔性和刚性以及与其他成分的作用或反应等^[1],其中,热聚合是改善蛋白质表面性质非常重要的手段之一。Wang 等人^[2]发现在 pH2.0 条件下 85℃ 加热 7S 的三种亚基(α , α' 和 β) 6~20 h 可以形成纤维聚合物; Tang 等人^[3]发现在 pH2.0 条件下 80℃ 长时间加热 7S 可以形成纤维聚合物;同时 Tang 等人^[4]研究发现 pH 2.0 的 7S 在不同的静电屏蔽条件下 80℃ 加热也可以形成纤维聚合物。这种独特的蛋白质聚合结构引起了人们的广泛关注。本文研究了在低 pH (2.0) 长时间热处理条件下形成纤维聚合结构的 7S 与不能形成纤维结构的 11S(包括酸性亚基和碱性亚

基)的乳化性和起泡性,比较了与常规 pH(7.0)条件下对应表面性能的差异,分析了不同 pH 条件下蛋白质热聚合物表面结构特性的变化,以及这种结构差异与界面性质之间的关系,希望为改善大豆蛋白功能性质提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大豆 购自东北农业大学大豆研究中心;自制脱脂豆粉 利用组织捣碎机将大豆磨碎,过 60 目筛,按照国标 G2906-82 进行脱脂,样品自然干燥得到自制脱脂豆粉(蛋白质 49.44%,灰分 0.0891%),ANS 荧光探针, Sigma 公司。

DS-1 高速组织捣碎机 上海精科实业有限公

收稿日期: 2014-10-21

作者简介: 徐红华(1969-),女,博士,教授,从事食品蛋白质及营养的教学和研究, E-mail: dongshirong118@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471682); 黑龙江省教育厅青年学术骨干项目(1155G10)。

司;BME100L 高剪切混合乳化机 启东市长江机电有限公司;KDN-102C 半自动定氮仪 上海纤检仪器有限公司;F-4500 荧光分光光度计 日本日立。

1.2 实验方法

1.2.1 7S 和 11S 的分离 依据 Nagano^[5] 的方法对 7S 和 11S 球蛋白进行分离。取一定量的自制脱脂大豆粉与去离子水按照 1:15 (w/v) 的比例进行充分溶解后调解 pH 至 8.0, 然后在室温下充分搅拌 2 h。将溶液离心(9000 × g, 30 min), 取上清液后, 用 2 mol/L HCl 和 0.1 mol/L HCl, 将 pH 调解至 6.4, 冰浴过夜。然后将溶液离心(6500 × g, 20 min, 4 °C) 得到的沉淀即为 11S 球蛋白(用去离子水清洗两遍), 收集上清液将 pH 调至 4.8, 离心(6500 × g, 20 min, 4 °C), 沉淀为 7S 球蛋白。将所得的 7S 和 11S 球蛋白沉淀溶于去离子水中, 调节 pH 至 7.0, 充分搅拌直至充分溶解后用去离子水透析 48 h。冷冻干燥, 即制得 7S 和 11S 球蛋白。

1.2.2 酸性亚基和碱性亚基的分离 酸性(Acidic subunits)和碱性亚基(Basic subunits)的分离和制备依据 Mo^[6] 等人的分离方法。将上述分离得到的 11S 大豆球蛋白用 30 mmol/L Tris-HCl 缓冲液(pH 8.0) 配成 5 mg/mL 的溶液, 添加 10 mmol/L 的 β-巯基乙醇, 然后在 90 °C 水浴 30 min 后冷却, 离心(10000 × g, 20 min, 4 °C), 收集上清液和沉淀。收集的沉淀用去离子清洗两遍, 此沉淀即为碱性亚基。将上清液调节 pH 至 5.0, 然后再离心(6500 × g, 20 min, 4 °C), 沉淀用去离子水清洗两遍, 即为酸性亚基。

1.2.3 热聚合物的制备 参考 Wang 等人^[2] 关于 7S 纤维聚合物的制备方法, 分别将一定量的 7S、11S、酸性亚基和碱性亚基溶于去离子水中, 将溶液 pH 调至 2.0(2 mol/L HCl 和 0.1 mol/L HCl), 对对照 pH 调至 7.0, 然后在 15000 g 离心 20 min(20 °C), 取中间清液, 根据凯氏定氮测定的中间清液蛋白质含量结果, 用去离子水调整蛋白质浓度至 10 mg/mL, 然后将溶液的 pH 精确调至 2.0(对对照调至 7.0), 95 °C 水浴加热 20 h, 每隔 2 h 取样立即冷却, 后立即冷却, 4 °C 冰箱保存过夜。

1.2.4 表面疏水性的测定 利用 ANS 荧光探针法可以测定大豆蛋白表面疏水性的方法, 在此基础上进行一定的修饰^[7]。pH7.0 或 pH2.0、浓度为 10 mg/mL 的 7S、11S、酸性亚基和碱性亚基溶液, 在 95 °C 分别加热 20 h, 每隔 2 h 取样, 作为样品。然后用 0.01 mol/L 的磷酸缓冲液(pH7.0) 分别将加热后的样品溶液稀释成蛋白浓度 0.1、0.05、0.0025、0.00125 mg/mL 等一系列样品, 然后加入 20 μL 的 ANS(8 mmol/L, 溶于 0.01 mol/L 的磷酸缓冲液, pH7.0) 荧光探针, 混匀后在室温下避光 15 min, 激发波长 390 nm, 发射波长 470 nm 以及狭缝 5 nm 的条件下, 在荧光分光光度计下比色测得的荧光强度对蛋白溶液浓度作图, 选择线性关系良好的回归线的斜率作为蛋白质表面的疏水性指数。

1.2.5 起泡性的测定 参考 Motoi^[8] 等人测定蛋白质溶液的起泡能力(FC)和泡沫稳定性(FS)的方法进

行如下实验。pH7.0 或 pH2.0、浓度为 10 mg/mL 的 7S、11S、酸性亚基和碱性亚基溶液, 在 95 °C 分别加热 0 h 和 20 h, 然后用 0.01 mol/L、pH7.0 的磷酸缓冲液稀释至 1 mg/mL, 室温下用组织捣碎机 12000 r/min 均质 1 min, 立即转移至 500 mL 的量筒中测定搅打后大豆蛋白质样品泡沫的体积, 再测定放置 30 min 后泡沫的体积, 通过泡沫体积和静止后稳定的泡沫体积的比来计算样品的起泡能力(FC)和泡沫稳定性(FS), 具体计算方法如下:

$$\text{起泡能力}(\%) = V_0/V_i \times 100$$

$$\text{泡沫稳定性}(\%) = V_i/V_0 \times 100$$

式中: V_0 —起泡 0 min 时的泡沫体积, V_i —起泡 t min 后的泡沫体积, V_i —起泡前最初液体的体积。

1.2.6 乳化性的测定 蛋白质溶液乳化性能的测量采用 Pearce^[9] 等人的方法。pH7.0 或 pH2.0、浓度为 10 mg/mL 的 7S、11S、酸性亚基和碱性亚基溶液, 在 95 °C 分别加热 0 h 和 20 h, 然后分别取 3 mL 加入 1 mL 的大豆油, 混合液在 20000 r/min 均质 2 min, 乳化液静止 0 min 和 10 min, 然后立即从乳化液中取 10 μL 加入 5 mL 的 1 mg/mL 的 SDS 中, 混匀, 在 500 nm 处测定吸光值, 以 1 mg/mL 的 SDS 为空白调零。乳化活性(EAI)和乳化稳定(ESI)计算公式如下^[10]:

$$\text{EAI}(\text{m}^2/\text{g}) = ((2 \times 2.303)/(C \times (1 - \varphi) \times 10^4)) \times A_{500} \times D$$

$$\text{ESI}(\%) = 100 \times A_t/A_0$$

式中: 2.303—乳化活性计算常数; A_{500} —溶液在 500 nm 下的吸光值, 可用平均值计算, C —蛋白质浓度(g/mL), D —稀释倍数, φ —大豆油占乳化液的体积分数($\varphi = 0.25$), A_t —乳化液静止时间为 t min 时的吸光值, A_0 —乳化液静止时间为 0 min 时的吸光值。

1.2.7 数据分析 实验数据采用 excel 和 Statistix8.1 软件对实验数据进行统计分析。数据均以平均值 ± 标准差表示($n = 3$)。

2 结果与分析

2.1 起泡性

2.1.1 低 pH 下大豆蛋白组分起泡性的比较 从结果中可以看出, 依据 7S 形成纤维结构的处理条件, 4 种大豆蛋白组分在 pH2.0 的条件下长时间加热, 起泡性均有一定程度的提高, 但是提高的幅度不同($p < 0.05$), 其中 7S、11S、酸性亚基和碱性亚基起泡能力的提高幅度分别为 132.32%、122.54%、140.83% 和 48.76% (图 1a); 同时, 泡沫稳定性提高的幅度分别为 61.69%、50.35%、35.55% 和 29.01% (见图 1b)。这种改善与是否能够形成纤维聚合物无关, 因为 Tang^[3] 等人研究发现 7S 较 11S 具有更强的纤维化能力, 因此, 对于形成纤维聚合物的 7S 和不能形成纤维结构的 11S, 以及由 11S 解离出来的酸性亚基和碱性亚基均有很大程度的改善。说明低 pH 条件下长时间加热的处理手段可以显著改善 4 种大豆蛋白组分的起泡性。具有良好起泡性能的蛋白具有的特征之一是通过分子相互作用形成黏性膜^[1], 而 Akkermans 等人发现在低 pH 下加热形成的纤维聚合物使得黏度增加^[11], 这些可以解释在低 pH 下加热 4

种大豆蛋白可以改善其起泡性。

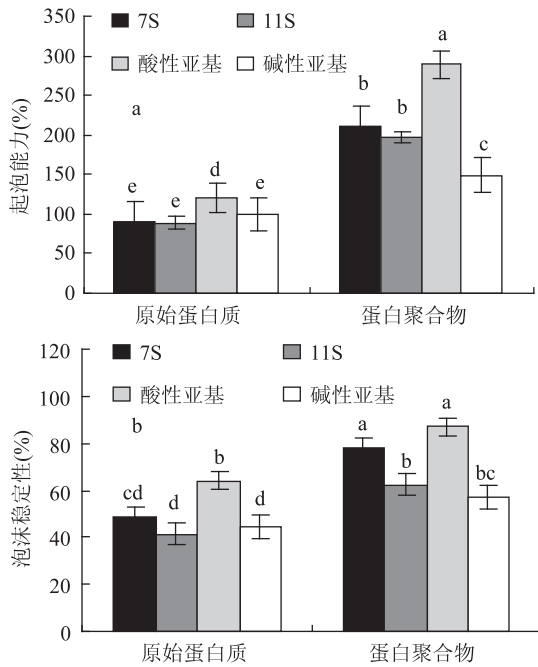


图1 低 pH 条件下 4 种大豆蛋白组分热处理前后起泡性的差异

Fig.1 The foaming properties of

four soy protein components at low pH

注:同一图上字母不同表示差异显著($p < 0.05$);

图 2~图 4 同。

2.1.2 不同 pH 下起泡性的差异 从图 2 的实验结果可以发现,无论是形成纤维聚合结构的 7S 还是不能形成纤维结构的 11S,在加热 20 h 后, pH2.0 条件下 7S 和 11S 的起泡能力显著($p < 0.05$)高于 pH7.0 条件下的起泡能力。7S 和 11S 在 pH2.0 条件下形成的聚合物的起泡能力分别是 pH7.0 条件下形成聚合物的起泡能力的 2.37 倍和 6.32 倍;7S 和 11S 泡沫稳定性分别是 pH7.0 条件下的 1.79 倍和 4.16 倍。说明低 pH 条件下 7S 和 11S 形成的热聚物结构更有利于改善其起泡性,这种聚合结构不仅仅局限于纤维结构。Martinez 等人^[12]研究发现在糖基化的酪蛋白和明胶混合体系中 pH3.5 和 pH6.5 条件形成不同的复合体使得其起泡性存在不同。因此,7S 和 11S 在不同 pH 下具有不同的起泡性,可能也是因为两者在不同 pH 下形成的聚合物结构不同。

2.2 乳化性

与起泡性的结果不同,低 pH 的处理手段并没有对 7S 和 11S 的乳化性存在一致的改善作用。与 pH7.0 的结果相比,在 pH2.0 条件下 7S 形成的纤维聚合结构降低了乳化活性,同时也降低了乳化稳定性;11S 在低 pH 条件下热聚合的非纤维聚合结构提高了其乳化活性,但是,热处理前后的乳化稳定性显著($p < 0.05$)降低,降低幅度明显高于 pH7.0 的结果(图 3)。如果将 11S 解离为酸性亚基和碱性亚基,碱性亚基乳化活性有所提高($p < 0.05$),但酸性亚基变化不明显($p > 0.05$),对于乳化稳定性而言,与 11S 不同,酸性亚基和碱性亚基相对热处理之前均有明显

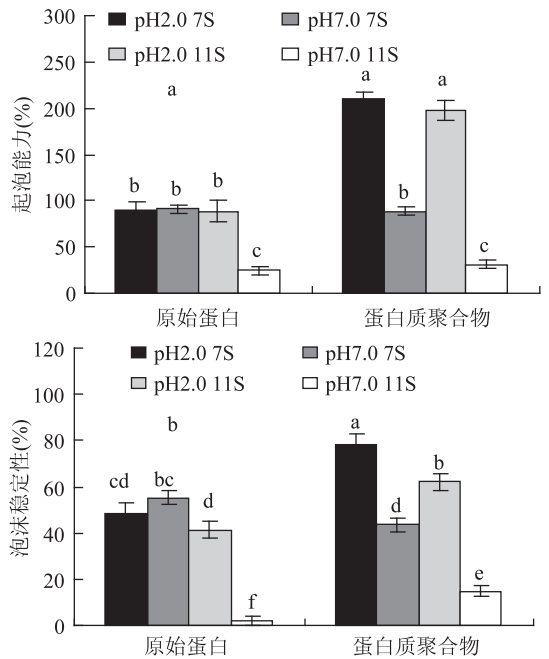


图 2 不同 pH 下 7S 和 11S 起泡性的差异

Fig.2 The foaming properties of soy protein 7S and 11S at different pH

提高(图 4)。总之,低 pH 的处理手段对 7S 和 11S (包括酸性亚基和碱性亚基)乳化性并没有一致的改善作用。王金梅等人^[13]发现在低 pH(酸性)条件下长时间加热大豆蛋白可以不同程度的增加其界面活性,但是其形成的纤维聚合物对其乳化液的性质和稳定性并没有明显的改善。

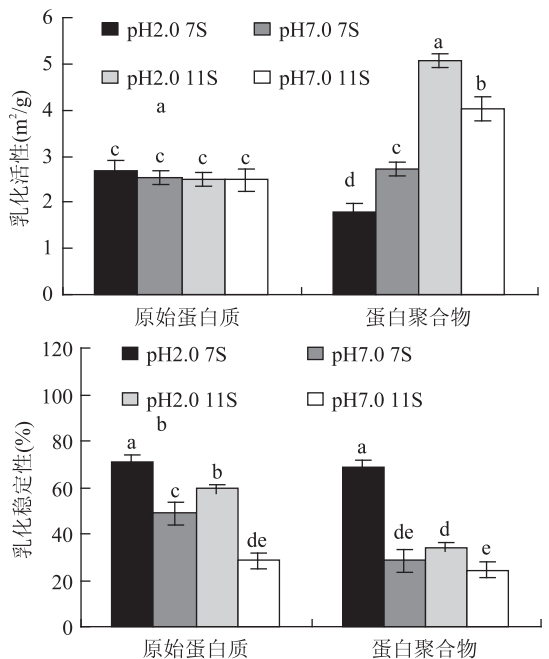


图 3 不同 pH 下 7S 和 11S 乳化性

Fig.3 The emulsifying properties of soy protein 7S and 11S at different pH

2.3 表面疏水性

从实验结果可以看出,在加热过程中,pH7.0 条件下的 7S 和 11S 的表面疏水性明显低于 pH2.0 条件

表1 不同 pH 下 7S 和 11S 加热后起泡性和表面疏水性的关系

pH	名称	起泡能力增加	泡沫稳定性增加	乳化活性增加	乳化稳定性增加	表面疏水性	表面疏水性
		幅度(%)	幅度(%)	幅度(%)	幅度(%)	2 h	20 h
2.0	11S	122.54	50.35	104.03	-42.27	4120.80 ± 19.8 ^b	2771.35 ± 28.65 ^b
	7S	132.32	61.69	-33.70	-2.72	4224.65 ± 12.65 ^a	3827.45 ± 18.45 ^a
7.0	11S	27.55	59.67	62.09	-14.47	732.30 ± 0.325 ^d	746.81 ± 9.33 ^d
	7S	-2.74	-21.16	6.27	-41.86	1368.15 ± 9.05 ^c	1350.10 ± 1.8 ^c

注:同列字母不同者差异显著($p < 0.05$)。

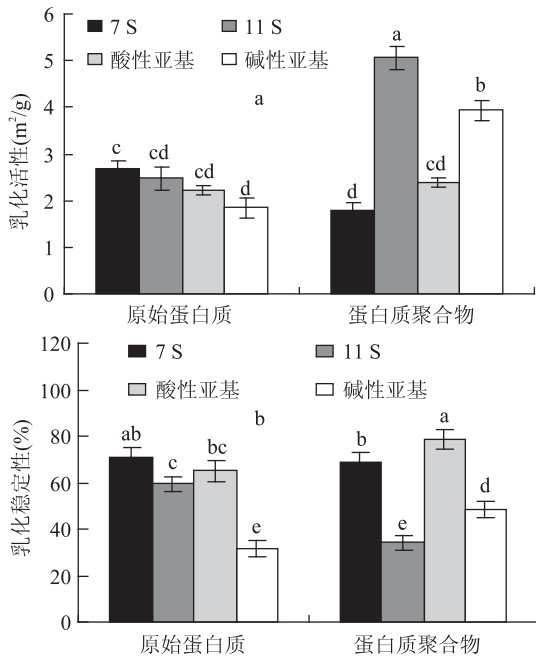


图4 4种原料在 pH2.0 条件下的乳化性
Fig.4 The emulsifying properties of four soy protein components at pH2.0

下的 7S 和 11S 的表面疏水性(图 5)。不同 pH 下 7S 和 11S 蛋白质表面疏水性的变化与其起泡性能和乳化性能有着密切的关系,低 pH 条件下热处理 2 h 后 7S 和 11S 蛋白质分子表面疏水性最高,有更多的疏水氨基酸残基暴露,随后表面疏水性虽有一定降低,但是,依然显著高于 pH7.0 时 7S 和 11S 的热聚合变化,这种蛋白质结构的变化结果使 7S 和 11S 的起泡性显著($p < 0.05$)改善,特别是起泡能力有大幅度提

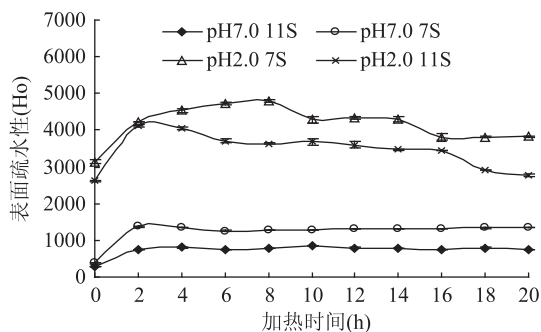


图5 不同 pH 下 7S 和 11S 加热过程中的表面疏水性
Fig.5 The surface hydrophobicity of soy protein 7S and 11S at different pH

升,而疏水性的这种变化对乳化活性的改善不显著($p > 0.05$)(表 1)。乳化性的结果与 Zhang 等人^[14]发现的在不同 pH 下乳化活性和表面疏水性是相互独立的结果一致。

3 结论

低 pH 条件下长时间热处理的聚合手段,可以显著改善大豆蛋白 7S 和 11S(包括酸性亚基和碱性亚基)的起泡性,对乳化性的影响不显著,这种改善与是否形成纤维聚合结构无关。低 pH 条件下长时间热处理与 pH7.0 条件下的热处理手段相比,能够使大豆蛋白 7S 和 11S 表面疏水性显著增加,这种结构的变化结果更有利于提高起泡性能。

参考文献

- [1] 赵新淮,徐红华,姜毓君.食品蛋白质结构、性质与功能[M].北京:科学出版社,2009:1-485.
- [2] Wang J M, Yang X Q, Yin S W, et al. Growth Kinetics of Amyloid-like Fibrils Derived from Individual Subunits of Soy β -Conglycinin[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2011, 59:11270-11277.
- [3] Tang C H, Wang C S. Formation and Characterization of Amyloid-like Fibrils from Soy β -Conglycinin and Glycinin[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58: 11058-11066.
- [4] Tang C H, Wang S S, Huang Q R. Improvement of heat-induced fibril assembly of soy β -conglycinin (7S Globulins) at pH2.0 through electrostatic screening [J]. Food Research International, 2012, 146: 229-236.
- [5] Nagano T, Hirotsuka M, Mori H, et al. Dynamic viscoelastic study on the gelation of 7S globulin from soybeans[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(6): 941-944.
- [6] Mo X Q, Zhong Z K, Wang D H, et al. Soybean Glycinin Subunits Characterization of Physicochemical and Adhesion Properties[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2006, 54: 7589-7593.
- [7] Hayakawa S, Nakai S. Relationships of hydrophobicity and net charge to the solubility of milk and soy proteins [J]. Journal of Food Science, 1985, 50: 486-491.
- [8] Stieger M, Richering W, Pedersen J S, et al. Small-angle neutron scattering study of structural changes in temperature sensitive microgel colloids[J]. The Journal of Chemical Physics, 2004, 120: 6197-6206.
- [9] Pearce K N, Kinsella J E. Emulsifying properties of proteins: (下转第 99 页)

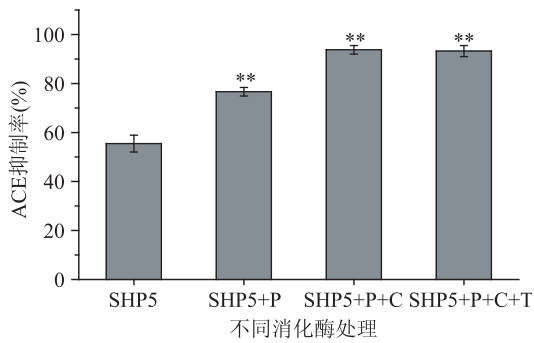


图4 SHP5 消化酶处理后的 ACE 抑制率

Fig.4 ACE-inhibitory activity of component SHP5 treated by digestive enzyme

注:与 SHP5 相比较, ** 表示差异显著($p < 0.05$)。

现三斑海马碱性蛋白酶酶解液具有较高的 ACE 抑制活性。该酶解液经葡聚糖凝胶层析分离后,分离组分 SHP5(分子量 < 1 ku)的 ACE 抑制率最高, IC_{50} 为 0.91 mg/mL。实验结果还表明,该分离组分中疏水性氨基酸、丙氨酸、谷氨酸、甘氨酸和亮氨酸含量较高,且其经消化酶作用后 ACE 抑制活性显著提高。今后,有待于对该分离组分的消化液进行深入的分析研究。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
- [2] Ryu B, Qian Z J, Kim S K. SHP-1, a novel peptide isolated from seahorse inhibits collagen release through the suppression of collagenases 1 and 3, nitric oxide products regulated by NF- κ B/p38 kinase[J]. Peptides, 2010, 31(1): 79-87.
- [3] 姜素芬, 吉爱国, 梁浩, 等. 我国海马的研究进展[J]. 中药材, 2007(7): 884-887.
- [4] Qian Z-J, Ryu B, Kim M-M, et al. Free radical and reactive oxygen species scavenging activities of the extracts from seahorse, Hippocampus kuda Bleeler[J]. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2009, 13(6): 705-715.
- [5] Apud G R, Vvquero M J, Rollan G, et al. Increase in antioxidant and antihypertensive peptides from Argentinean wines by Oenococcus oeni[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 163(2-3): 166-170.
- [6] Pihlanto A, Johansson T, M Kinen S. Inhibition of angiotensin I-converting enzyme and lipid peroxidation by fermented rapeseed and flaxseed meal[J]. Engineering in Life Sciences, 2012,

(上接第 95 页)

- evaluation of a turbidimetric technique[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 6: 716-723.
- [10] Agyare K K, Kwaku A, 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: 72-81.
- [11] Akkermans C, Vader Goot A J, Venema P, et al. Micrometer-Sized Fibrillar Protein Aggregates from Soy Glycinin and Soy Protein Isolate[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55: 9877-9882.

12(4): 450-456.

- [7] Ahmed A M, Muguruma M. A review of meat protein hydrolysates and hypertension[J]. Meat Sci, 2010, 86(1): 110-118.
- [8] Liu Z, Shen X R, Yu Y, et al. Optimization of the Extraction of Coconut Protein and the Evaluation of Antioxidant and ACE Inhibitory Activities of its Enzymatic Hydrolysates[J]. Advanced Materials Research, 2012(535): 2330-2334.
- [9] 陈飞平. 芡籽 ACE 抑制肽的分离纯化及其性质评价[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [10] Norris R, Casey F, Fitzgerald R J, et al. Predictive modelling of angiotensin converting enzyme inhibitory dipeptides[J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1349-1354.
- [11] 胡松青, 张婷婷, 郭莎莎, 等. 鱼鳞明胶 ACE 抑制肽的制备及其活性研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(11): 1491-1494.
- [12] Kim S - K, Wijesekara I. Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A review[J]. Journal of Functional Foods, 2010, 2(1): 1-9.
- [13] Zhao Y, Li B, Liu Z, et al. Antihypertensive effect and purification of an ACE inhibitory peptide from sea cucumber gelatin hydrolysate[J]. Process Biochemistry, 2007, 42(12): 1586-1591.
- [14] Wilson J, Hayes M, Carney B. Angiotensin - I - converting enzyme and prolyl endopeptidase inhibitory peptides from natural sources with a focus on marine processing by-products[J]. Food Chemistry, 2011, 129(2): 235-244.
- [15] 曹文红, 章超桦. 食品蛋白降血压肽及其酶法制备(二)[J]. 食品科技, 2002(5): 11-13.
- [16] Alem N A, G Mez - Guill N M C, MONTERO P. Identification of ace-inhibitory peptides from squid skin collagen after *in vitro* gastrointestinal digestion[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 790-795.
- [17] Morinaga Y, Iwai K, Tomita H, et al. Chemical nature of a new antihypertensive peptide derived from jellyfish[J]. Food science and technology research, 2010, 16(4): 333-340.
- [18] Zhao Y, Li B, Dong S, et al. A novel ACE inhibitory peptide isolated from Acaudina molpadioidea hydrolysate[J]. Peptides, 2009, 30(6): 1028-1033.
- [19] Hai-Lun H, Xiu-Lan C, Cai-Yun S, et al. Analysis of novel angiotensin - I - converting enzyme inhibitory peptides from protease-hydrolyzed marine shrimp Acetes chinensis[J]. Journal of Peptide Science, 2006, 12(11): 726-733.

- [12] María J Martínez, Víctor M. Pizones Ruiz-Henestrosa, Cecilio Carrera Sánchez, et al. Foaming and surface properties of casein glycomacropeptide-gelatin mixtures as affected by their interactions in the aqueous phase[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33: 48-57.
- [13] 王金梅. 大豆蛋白热聚集行为及界面、乳化性质研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012, 1-24.
- [14] Zhang T, Jiang B, Mu W.M., et al. Emulsifying properties of chickpea protein isolates: Influence of pH and NaCl[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23: 146-152.