

豌豆蛋白对猪肉盐溶蛋白理化性质的影响

计红芳^{1,2}, 李莎莎¹, 张令文¹, 王雪菲¹, 陈复生², 马汉军^{1,*}

(1. 河南科技学院食品学院, 河南新乡 453003;

2. 河南工业大学食品科学与工程博士后流动站, 河南郑州 450001)

摘要:以猪背最长肌为原料提取盐溶蛋白, 研究添加 2%、4%、6%、8%、10% 的豌豆蛋白对猪肉盐溶蛋白的 SDS-PAGE、溶解度、表面疏水性、巯基、二硫键含量以及乳化性等的影响。结果表明, 随豌豆蛋白添加量的增加, 盐溶蛋白中肌球蛋白重链、C-蛋白、 α -肌动素、肌球蛋白轻链条带逐渐变窄且颜色变浅; 盐溶蛋白中的肌动蛋白与豌豆球蛋白(vicilin 7S)亚基, 盐溶蛋白中的肌钙蛋白 T 与豌豆蛋白中酸性多肽(legA), 分子量相近, 其条带逐渐变粗且颜色加深。与未添加豌豆蛋白的盐溶蛋白相比, 当豌豆蛋白添加量为 2%~6% 时, 盐溶蛋白的表面疏水性和乳化性显著上升($p < 0.05$), 豌豆蛋白添加量为 8%~10% 时, 差异不显著($p > 0.05$); 随豌豆蛋白添加量的增加, 浊度、二硫键含量均呈上升趋势, 且二硫键在添加量为 10% 时最高, 为 $2.196 \text{ mol}/10^5 \text{ g}$; 总巯基和自由巯基含量下降; 溶解度则先升高后下降, 在豌豆蛋白添加量为 4% 时达到最大值, 为 42.88%。可见, 添加适量的豌豆蛋白对猪肉盐溶蛋白的理化性质有显著影响。

关键词:猪肉盐溶性蛋白, 豌豆蛋白, 理化性质

Effect of Pea Protein on Physicochemical Properties of Salt-soluble Protein of Pork

JI Hong-fang^{1,2}, LI Sha-sha¹, ZHANG Ling-wen¹, WANG Xue-fei¹, CHEN Fu-sheng², MA Han-jun^{1,*}

(1. School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

2. Food Science and Engineering Post-doctoral Research Station, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The salt-soluble protein was extracted from the longissimus dorsi muscle of pigs. And the effects of different contents pea protein (2%, 4%, 6%, 8%, 10%) on the physicochemical properties (solubility, surface hydrophobicity, sulfhydryl group, disulfide bond content, emulsifying property) of salt-soluble protein from pork were studied. Results indicated that the bands of myosin heavy chain, C-protein, α -actinin and myosin light chain in salt-soluble protein became narrower and lighter with the increasing of pea protein addition. Both the actin in salt-soluble protein and vicilin (7S) subunit in pea protein, the troponin T in salt-soluble protein and legA in pea protein were similar in molecular weight, and the bands became thicker and much colored. Compared with the control (without addition of pea protein), the surface hydrophobicity and emulsifying property of salt-soluble protein increased significantly ($p < 0.05$) when the amount of pea protein was among 2% and 6%. The difference was not significant ($p > 0.05$) when pea protein amount was in the range of 8% and 10%. With the increasing of pea protein addition, the content of turbidity and disulfide bonds increased, and content of disulfide bonds was up to $2.196 \text{ mol}/10^5 \text{ g}$ when pea protein addition amount was up to 10%, and both the total sulfhydryl and free sulfhydryl content decreased. Additionally, the solubility increased firstly and then decreased, and it reached the maximum value of 42.88% when the added amount was 4%. It suggested that pea protein with proper amount could have a significant effect on the physicochemical properties of salt-soluble protein from pork.

Key words: salt-soluble protein of pork, pea protein, physicochemical properties

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)08-0031-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.08.006

引文格式: 计红芳, 李莎莎, 张令文, 等. 豌豆蛋白对猪肉盐溶蛋白理化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 31-36.

收稿日期: 2018-07-16

作者简介: 计红芳(1978-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 肉制品加工与品质控制, E-mail: jhf300@126.com.

* 通讯作者: 马汉军(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉制品加工与品质控制, E-mail: xxhjm@126.com.

基金项目: 河南省重大科技专项项目(161100110600); 河南省博士后基金(2017); 河南科技学院博士后基金(2017)。

盐溶蛋白是动物肌肉中的主要蛋白质,包括肌原纤维蛋白和肌浆蛋白等,约占蛋白总量的50%~55%^[1]。在肉类食品加工中,盐溶蛋白具有吸水、吸油、乳化、胶凝、溶解等多种功能^[2-3],而这些功能的发挥,与蛋白分子的结构与组成,以及离子强度、温度、pH等外在因素有关^[4]。肌肉盐溶蛋白形成热诱导凝胶的能力是生产和开发新的肉制品的关键^[5]。通常可加入非肉成分,如膳食纤维、大豆分离蛋白、植物淀粉、魔芋粉等,以改善肉类凝胶制品的风味及品质特性。张巍^[6]研究表明,与未改性的大豆分离蛋白相比,热改性后的大豆分离蛋白可以显著提高猪肉盐溶蛋白的硬度、弹性与保水性。栗俊广等^[7]研究发现,当蒜粉添加量为3%时,能够增强猪肉盐溶蛋白凝胶疏水相互作用,提高凝胶强度与保水性;当木薯淀粉添加量为1.5%时,可以改善猪肉盐溶蛋白凝胶质构与保水性,组织结构更加紧密有序^[8]。冯云等^[9]研究表明,添加0.9 g/100 mL牛血浆蛋白的猪肉盐溶蛋白凝胶品质最好,与添加0.125 g/100 mL转谷氨酰胺酶效果相当。Fernández-Martí等^[10]研究指出,添加海藻酸盐可以增强猪肉肉糜凝胶的保水保油性、硬度与弹性。Chou等^[11]研究认为,添加低聚木糖可以增加猪肉肌原纤维蛋白凝胶的保水性与质构特性。Gao等^[12]研究发现,卡拉胶、大豆分离蛋白与猪肉盐溶性蛋白发生了相互作用,可以增加凝胶的强度。但这些非肉成分是如何影响猪肉盐溶蛋白的理化性质,进而影响到凝胶品质鲜见报道。

豌豆(*Pisum sativum* Linn.)属豆科植物,富含碳水化合物、蛋白质、维生素、纤维素、常量和微量元素等,其中蛋白质含量为23%~25%。豌豆蛋白是从豌豆中提取的最有价值的成分之一,必需氨基酸比例协调,且具有良好的溶解性、凝胶性、起泡性和乳化性,是一种比较理想的蛋白资源^[13-15]。有关豌豆蛋白的研究主要集中在提取制备、生物酶法改性、酶解工艺,以及在酸奶、植脂奶油、糕点、馒头等方面的应用,与大豆分离蛋白等相比,在食品行业中的应用有限^[16-17]。本课题组前期研究表明,添加4%的豌豆蛋白可显著改善猪肉盐溶蛋白凝胶品质。因此,本文研究了添加不同量豌豆蛋白对猪肉盐溶蛋白理化特性的影响,为豌豆蛋白在肉类凝胶制品中应用提供理论指导,以拓宽豌豆蛋白在食品领域中的应用范围。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

猪背最长肌 新乡洪门菜市场;大豆油(食品级) 新乡市易购世纪华联超市;豌豆蛋白(蛋白含量80%) 烟台东方蛋白科技有限公司;牛血清蛋白 上海金穗生物科技有限公司;标准蛋白(5~250 kDa) 美国飞世尔;异硫氰酸胍、甘氨酸、十二烷基硫酸钠、溴酚蓝(Bromophenol blue, BPB)、EDTA、5,5'-二硫双(2-硝基苯甲酸,DTNB)、尿素等 均为分析纯。

BP221S型电子天平 德国 Sartorius 公司;台式高速冷冻离心机 德国 Thermo Fisher Scientific;

AD200L-P型分散均质机 上海昂尼仪器仪表有限公司;TGL-15B高速离心机 上海安亭科学仪器厂;FE28型pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;DKW-4恒温水浴锅 北京中兴伟业仪器有限公司;WFJ7200型紫外可见分光光度计 上海尤尼柯仪器有限公司;DYCZ-24DN型电泳仪 北京六一生物技术有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 盐溶蛋白的提取 参考Chen等^[18]及孔鹏等^[19]的方法并稍作修改。取50 g新鲜猪背最长肌剔除脂肪和结缔组织,切块,用绞肉机绞成肉糜,加入200 mL 0.6 mol/L NaCl溶液,匀浆,调pH7.0,4℃放置24 h,10000 r/min离心10 min,上清液即盐溶性蛋白。

1.2.2 蛋白混合液制备 将豌豆蛋白0、0.6、1.2、1.8、2.4、3 g(质量体积比分别为0、2、4、6、8、10 g/mL)分别添加到30 mL 50 mg/mL的盐溶蛋白溶液中,均质,4℃静置12 h,使豌豆蛋白与盐溶蛋白溶液充分结合,以未添加豌豆蛋白的盐溶蛋白溶液为对照。牛血清蛋白为标准蛋白,采用双缩脲法测混合液的蛋白浓度。以蛋白浓度为横坐标,吸光度为纵坐标所得的标准曲线为 $Y = 0.0998X - 0.0044$,相关系数 $r = 0.9994$,测得蛋白浓度范围为1~10 mg/mL。

1.2.3 蛋白混合液 SDS-PAGE 电泳 参考Laemmli^[20]的方法,分别以盐溶蛋白与豌豆蛋白溶液为对照,对蛋白混合液进行SDS-PAGE电泳,样品蛋白浓度均为1 mg/mL,上样量为10 μL。

1.2.4 表面疏水性的测定 参考刘丹等^[21]和Chelh等^[22]的方法并稍作修改。将蛋白混合液用0.1 mol/L磷酸缓冲溶液(pH7.0)稀释至5 mg/mL,取1 mL蛋白溶液加入200 μL 1 mg/mL溴酚蓝(BPB)剧烈震荡,使其充分混合,7000 r/min的条件下离心15 min,取上清液300 μL,用磷酸缓冲溶液稀释10倍,595 nm波长下测其吸光度 $A_{\text{样品}}$,以未加蛋白溶液的磷酸缓冲溶液作为对照,测得的吸光值为 $A_{\text{对照}}$ 。表面疏水性大小用溴酚蓝结合量表示,按以下公式计算:

$$\text{溴酚蓝结合量}(\mu\text{g}) = \frac{200 \mu\text{g} \times (A_{\text{对照}} - A_{\text{样品}})}{A_{\text{对照}}}$$

1.2.5 二硫键含量的测定 取0.5 mL浓度为4 mg/mL蛋白混合液,加入3 mL pH9.5的新配NTSB检测溶液,搅拌均匀,暗处反应25 min,412 nm处测吸光值^[23]。计算公式如下:

$$\text{二硫键含量}(\text{mol}/\text{mg}) = (A_{412} \times D) / (13900 \times 10^3 \times C_{\text{蛋白}})$$

式中:D表示稀释倍数,此处为2.29;C表示蛋白质溶液浓度,mg/mL;13900×10³为摩尔消光系数 ϵ , mL/(mol·cm)。

1.2.6 巯基含量的测定 参考曾宪明等^[24]的方法并稍作修改。取0.5 mL 4 mg/mL蛋白混合液于离心管中,加入4.5 mL缓冲液(10 mmol/L K₂HPO₄/KH₂PO₄, 10 mmol/L EDTA, 0.6 mol/L KCl, pH7.0),再加入0.5 mL 0.1%的DTNB溶液,混匀后在4℃条件下避

光保存 1 h, 10000 × g 离心 15 min, 于 412 nm 处比色, 测吸光值。以 0.5 mL 蒸馏水加 4.5 mL 缓冲液, 再加 0.5 mL DTNB 溶液作为空白。巯基含量计算公式如下:

$$\text{巯基含量 (mol/mg)} = (A_{412} \times D) / (13600 \times 10^3 \times C_{\text{蛋白}})$$

式中: D 表示稀释倍数, 此处为 2.29; $C_{\text{蛋白}}$ 表示蛋白质溶液浓度, mg/mL; 13600 为摩尔消光系数 ϵ , mL/(mol·cm)。

1.2.7 浊度和溶解度的测定 取 20 mL 0.5 mg/mL 的蛋白混合液于离心管中, 25 °C 水浴 20 min 取出, 340 nm 处测其吸光度值, 即为浊度^[25]。将蛋白混合液稀释至 4 mg/mL, 3500 × g, 4 °C 条件下离心 15 min, 测其上清液蛋白浓度。溶解度计算公式^[26]:

$$S(\%) = C_x / C_y \times 100$$

式中: S 为溶解度(%); C_x 为离心后上清液中的蛋白浓度(mg/mL); C_y 离心前的蛋白浓度(mg/mL)。

1.2.8 乳化稳定性指数 (ESI) 和乳化活性指数 (EAI) 的测定 采用 Pearce 等^[27] 的方法并稍作调整。取 28 mL 5 mg/mL 的蛋白混合液于烧杯中, 加入 7 mL 的大豆油, 匀浆制成乳液状。从新制的乳液底部迅速吸取 60 μ L, 并迅速用 1 mg/mL SDS 溶液稀释 500 倍, 立即在 500 nm 下测其吸光度 A_0 。将乳液静置 5 min, 采用同样的方法测定样品的吸光度 A_5 。计算公式为:

$$\text{ESI (min)} = 5A_0 / (A_0 - A_5)$$

$$\text{EAI (m}^2/\text{g)} = [2 \times 2.303 / (C \times \Phi \times 10^4)] \times 500 \times A_0$$

式中: C 为乳化前盐溶性蛋白质量浓度 (mg/mL); Φ 为乳状液中大豆油所占的体积比例 (%)。

1.3 数据处理

数据用 Excel 2010 进行处理, SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析 (one-way analysis of variance, ANOVA) 及最小显著差法 (LSD) 统计分析, $p < 0.05$ 为差异显著。每组试验均重复 3 次, 结果表示为平均值 \pm 标准差 ($\bar{X} \pm SD$)。

2 结果与分析

2.1 猪肉盐溶蛋白溶液 SDS-PAGE 电泳

根据 Xiong 等^[28]、周光宏^[29] 研究报道, 肌原纤维蛋白的分子量为: 肌球蛋白重链约 200 kDa, C-蛋白约 135~150 kDa, α -肌动素约 95 kDa, 肌动蛋白 41~61 kDa, 肌钙蛋白 T 30~37 kDa, 肌球蛋白轻链 30 kDa。彭伟伟^[30]、O' Kane 等^[31] 研究发现, 未加热豌豆蛋白由较多的肽段组成, 主要包含豌豆球蛋白 (legumin 11S) 和豌豆球蛋白 (vicilin 7S), vicilin 包括 50 kDa、31~34 kDa 和 10~12 kDa 的亚基, legumin 有酸性多肽 (legA 38 kDa) 和碱性多肽 (legB 15 kDa), Aguilar-Vázquez 等^[32] 发现在非还原条件下豌豆蛋白对应条带为脂氧合酶 (lipoxygenase 97 kDa), conviciline (70 kDa) 和 legumin (50 kDa)。

由图 1 所示, 根据分子量范围可以得知盐溶蛋白 A 泳道对应的条带分别为肌球蛋白重链、C-蛋白、

α -肌动素、肌动蛋白、肌钙蛋白 T 和肌球蛋白轻链, 与 Gao 等^[12]、Wu 等^[33] 得到的猪盐溶蛋白凝胶电泳条带类似; 豌豆蛋白 G 泳道中对应的条带分别为 vicilin 亚基、legA、legB、lipoxygenase 和 conviciline, 有研究者认为 conviciline 属于 vicilin 的亚基, 因为它与 vicilin 有高度的同源性^[31], 这一结果与彭伟伟^[30]、Aguilar-Vázquez 等^[32]、Xiong 等^[34] 研究的豌豆蛋白电泳结果基本一致。

如图 1, 随豌豆蛋白添加量的增加, 肌球蛋白重链、C-蛋白、 α -肌动素、肌球蛋白轻链条带逐渐变窄且颜色变浅, lipoxygenase、conviciline、legB、vicilin 亚基条带逐渐变粗且颜色加深。盐溶蛋白 A 中的肌动蛋白与豌豆蛋白 G 中的 vicilin (7S) 亚基, 盐溶蛋白 A 的肌钙蛋白 T 与豌豆蛋白 G 中 legA, 分子量相近, 在此位置的条带逐渐变粗且加深。豌豆蛋白与盐溶蛋白的相互作用, 将有利于豌豆蛋白-盐溶蛋白凝胶三维网络结构的形成。Gao 等^[12] 研究发现, 将 5% 的大豆分离蛋白添加到猪盐溶蛋白中, 仅出现了 94 和 20 kDa 两条条带。Choi 等^[35] 将 0.1%、0.5%、1%、2% 的米糠纤维加入猪盐溶蛋白中, SDS 凝胶电泳结果显示, 无论其添加量如何改变, 蛋白条带均无明显变化。

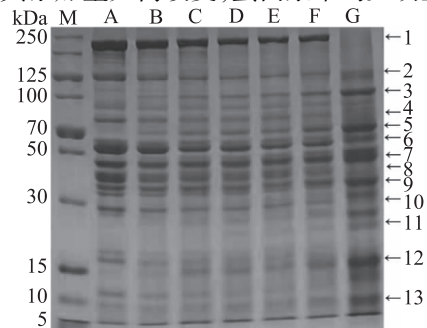


图 1 豌豆蛋白添加到盐溶蛋白溶液中 SDS-PAGE 电泳图谱

Fig.1 SDS-PAGE electrophoretogram of salt-soluble protein solution with different content of pea protein

注: M 为标准蛋白, A-G 分别为豌豆蛋白添加量 0%、2%、4%、6%、8%、10%、100%; 图谱右侧 1~13 条带分别代表肌球蛋白重链、C-蛋白、脂氧合酶、 α -肌动素、conviciline、8-肌动蛋白、肌动蛋白或 vicilin 亚基、肌钙蛋白 T、肌球蛋白轻链、legA、legB、vicilin 亚基。

2.2 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白表面疏水性的影响

蛋白表面疏水性能反应其表面疏水性氨基酸的相对含量, 也能反映蛋白结构展开程度。Li 等^[36] 研究发现, 蛋白聚集或交联会使其表面疏水性降低, 蛋白结构伸展则会使其表面疏水性增强。由图 2 可知, 随着豌豆蛋白添加量 (2%~6%) 的增加, 表面疏水性呈上升趋势, 6% 之后, 差异不显著 ($p > 0.05$), 豌豆蛋白添加量在 2%~6% 之间时, 对盐溶蛋白表面疏水性影响较为显著 ($p < 0.05$)。可能是在盐溶蛋白加入豌豆蛋白后, 在处理过程中经过反复均质, 剧烈震荡使蛋白质结构展开, 氨基酸残基暴露, 且大多数都能与具有结合疏水基团作用的溴酚蓝结合^[37]。因此, 随着豌豆蛋白添加量逐渐增多, 溴酚蓝与暴露出的疏水性氨基酸残基的结合量增加, 从而使表面疏

水性升高。袁程程等^[38]研究发现,添加0.4%~0.6%的沙蒿胶可以显著提高虾蛄肌原纤维蛋白的表面疏水性。低添加量香辛料提取物使埋藏在蛋白分子内部的疏水性氨基酸残基暴露,表面疏水性升高^[21],本试验研究结果与上述报道一致。

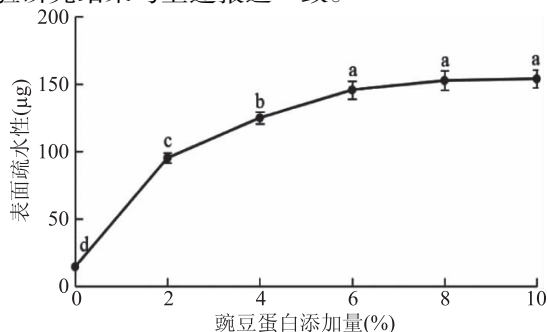


图2 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白表面疏水性的影响

Fig.2 Effects of pea protein addition

on surface hydrophobicity of salt-soluble protein

注:不同小写字母代表差异性显著, $p < 0.05$;图3~图7同。

2.3 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白二硫键及巯基含量的影响

总巯基包括隐藏的巯基和表面活性巯基。半胱氨酸等的巯基与巯基间易发生氧化交联,可生成分子内或分子间二硫键,二硫键是维持蛋白质空间构象的主要作用力之一^[39]。如图3,二硫键含量逐渐上升,豌豆蛋白添加量为10%时达到最大值,但与8%的二硫键含量相比,差异不显著($p > 0.05$),但比对照增加了46.2%。盐溶蛋白在处理过程中,蛋白分子内部结构发生改变,使隐藏的自由巯基暴露,混合体系之间的巯基通过交联作用形成二硫键。随豌豆蛋白添加量的增加,巯基含量下降,总巯基由对照的 $5.483 \text{ mol}/10^5 \text{ g}$ 下降到添加量为10%的 $2.703 \text{ mol}/10^5 \text{ g}$ (图4),差异显著($p < 0.05$)。表面活性巯基含量下降,间接导致了总巯基含量的下降。刘丹等^[21]研究发现,迷迭香、丁香和肉桂提取物添加量的增加可以显著降低猪肉肌原纤维蛋白总巯基含量;Jongberg等^[40]研究表明,高浓度的绿茶提取物能降低猪肉肌原纤维蛋白巯基的含量。

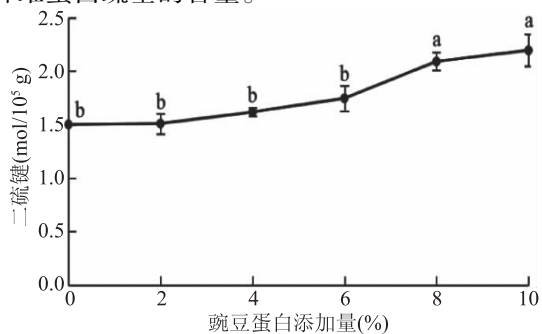


图3 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白二硫键含量的影响

Fig.3 Effects of pea protein addition on disulfide bonds content of salt-soluble protein

2.4 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白浊度和溶解度的影响

浊度能够间接反映蛋白分子间的交联程度,当

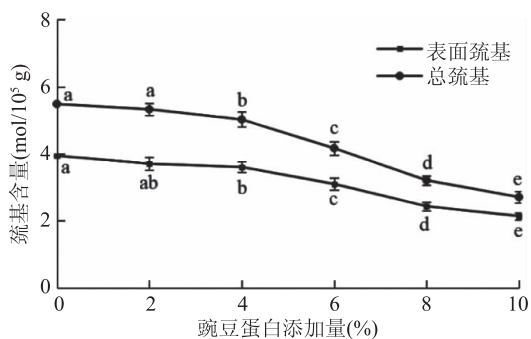


图4 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白巯基含量的影响

Fig.4 Effects of pea protein addition on sulfhydryl content of salt-soluble protein

蛋白质间发生交联作用时,会增加蛋白液的光学密度^[41]。蛋白质的溶解性主要取决于蛋白分子表面亲水性及疏水性的平衡。由图5可知,随豌豆蛋白添加量的增加,浊度始终呈上升趋势,可能是因为蛋白分子间交联程度逐渐增加,悬浮颗粒直径增大,因此浊度逐渐升高。

由图6可知,盐溶蛋白的溶解度在豌豆蛋白添加量为2%~4%呈上升趋势,4%时,溶解度最大,为42.88%,之后溶解度下降。低添加量引起的溶解度上升,可能是因为盐溶蛋白中含有少量的氯化钠,发生了盐溶现象。随豌豆蛋白添加量的进一步增加,样品在均质、剧烈震荡过程中,蛋白分子内部的疏水性基团进一步暴露,使分散在蛋白液中的蛋白通过分子间疏水相互作用发生聚集,致使溶解度下降。另外,巯基含量的下降与二硫键含量的上升,使蛋白分子易于凝聚和沉淀,也会显著降低其溶解度。

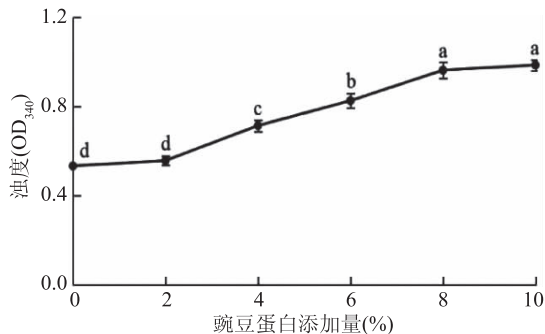


图5 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白浊度的影响

Fig.5 Effects of pea protein addition on turbidity of salt-soluble protein

2.5 豌豆蛋白添加量对盐溶性蛋白ESI和EAI的影响

豌豆蛋白具有乳化剂的特征结构,即两亲结构,在蛋白分子中同时具有亲水和疏水基团,亲水基团与水分子结合,疏水基团结合于脂肪球表面,然后悬浮在水溶液中,形成乳液^[42]。由图7可知,随着豌豆蛋白添加量的增加,EAI呈现先明显上升后趋于平缓的趋势,在添加量6%之后,变化不显著($p > 0.05$)。盐溶蛋白的ESI,随着豌豆蛋白添加量的增加持续上升,添加量为8%与10%时,差异不显著($p > 0.05$)。可能是由于豌豆蛋白的添加降低了盐溶蛋白溶液的界

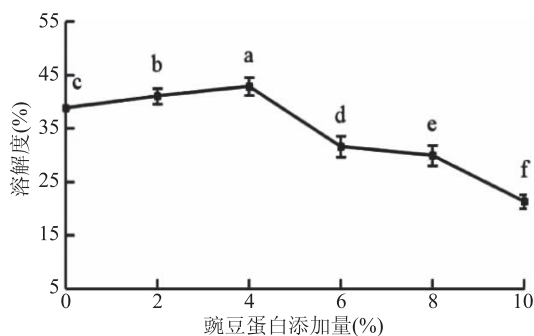


图6 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白溶解度的影响

Fig.6 Effects of pea protein addition on solubility of salt-soluble protein

面张力,形成更加稳定的乳化状态,当豌豆蛋白添加过量,蛋白分子聚集,使蛋白的ESI增加不显著。盐溶蛋白乳化性的整体提高,可能是由于疏水基团的暴露,使蛋白更易于吸附至油水界面上并进一步展开,从而提高了乳化性。刘英丽等^[43]研究表明,随小麦麸膳食纤维添加量的增加,猪肉肌原纤维蛋白乳化活性略有升高,可能是由于该膳食纤维具有很多亲水基团,同时对油脂有一定的吸附能力所致。

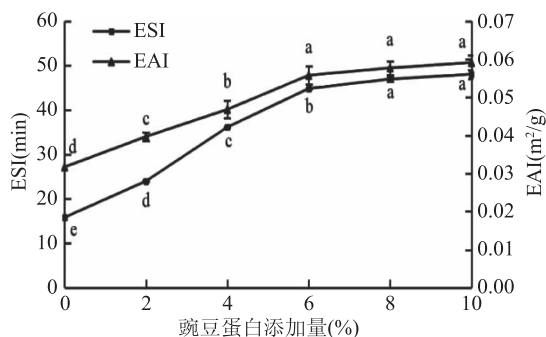


图7 豌豆蛋白添加量对盐溶蛋白EAI和ESI的影响

Fig.7 Effects of pea protein addition on EAI and ESI of salt-soluble protein

3 结论

在试验范围内,随豌豆蛋白添加量的增加,猪肉盐溶蛋白的肌球蛋白重链、C-蛋白、 α -肌动素、肌球蛋白轻链条带逐渐变窄且颜色变浅;盐溶蛋白中的肌动蛋白与豌豆蛋白中的vicilin(7S)亚基,盐溶蛋白中的肌钙蛋白T与豌豆蛋白中legA,分子量相近,其条带逐渐变粗且颜色加深。随豌豆蛋白添加量的增加,盐溶蛋白的表面疏水性、二硫键含量、浊度、EAI、ESI均升高,溶解度先增加后降低,而总巯基与自由巯基含量均呈减少趋势。综上,添加4%~6%的豌豆蛋白对猪肉盐溶蛋白的表面疏水性、浊度、乳化性、巯基含量等理化性质均有显著影响($p < 0.05$)。

参考文献

[1] 郭世良,赵改名,王玉芬,等.离子强度和pH对肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响[J].食品科技,2008,33(1):84-87.
 [2] 周纷,谷大海,徐家慧,等.淀粉对鸡胸肉盐溶性蛋白乳化特性的影响[J].食品科学,2016,37(15):7-12.
 [3] 彭增起.肌肉盐溶蛋白质溶解性和凝胶特性研究[D].南

京:南京农业大学,2005.

[4] 张曼,王岸娜,吴立根,等.蛋白质、多糖和多酚间相互作用及研究方法[J].粮食与油脂,2015(4):42-46.
 [5] Sun J, Wu Z, Xu X, et al. Effect of peanut protein isolate on functional properties of chicken salt-soluble proteins from breast and thigh muscles during heat-induced gelation [J]. Meat Science, 2012, 91(1): 88-92.
 [6] 张巍.大豆分离蛋白(SPI)与猪肉盐溶蛋白共凝胶的研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2011.
 [7] 栗俊广,李增,蒋爱民,等.蒜粉添加量对猪肉盐溶蛋白凝胶特性的影响[J].食品科学,2013,34(17):15-18.
 [8] 栗俊广,蒋爱民,白艳红,等.木薯淀粉对猪肉盐溶蛋白凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2016,32(11):123-127,55.
 [9] 冯云,张伟清,彭增起,等.牛血浆蛋白对猪肉盐溶蛋白质凝胶特性的影响[J].食品科学,2011,32(13):28-31.
 [10] Fernández-Martí N F, LóPezl6-Pez I, Cofrades S, et al. Influence of adding sea spaghetti seaweed and replacing the animal fat with olive oil or a konjac gel on pork meat batter gelation. Potential protein/alginate association [J]. Meat Science, 2009, 83(2): 209-217.
 [11] Chou Y T, Lin K W. Effects of xylooligosaccharides and sugars on the functionality of porcine myofibrillar proteins during heating and frozen storage [J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 127-131.
 [12] Gao X Q, Hao X Z, Xiong G Y, et al. Interaction between carrageenan/soy protein isolates and salt-soluble meat protein [J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 100:47-53.
 [13] 周向军,朱敏涛,袁毅君.赤藓糖醇对豌豆分离蛋白结构和功能特性的影响[J].食品工业科技,2018,39(8):73-77,84.
 [14] Swiatecka D, Narbad A, Ridgway K P, et al. The study on the impact of glycosylated pea proteins on human intestinal bacteria [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 145(1): 267-272.
 [15] Costa G E D A, Queiroz-Monici K D S, Reis S M P M, et al. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes [J]. Food Chemistry, 2006, 94(3): 327-330.
 [16] 蒋将,李开放,刘元法,等.pH偏移处理豌豆分离蛋白的胶凝性质[J].食品科学,2013,34(21):10-15.
 [17] 梁晗妮,唐传核.豌豆蛋白的功能特性研究[J].现代食品科技,2012,28(12):1640-1644.
 [18] Chen H, Xu S, Wang Z, et al. Interaction between flaxseed gum and meat protein [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1051-1059.
 [19] 孔鹏,王志耕.3种淀粉对鸡肉糜盐溶蛋白特性影响及其配方研究[J].肉类研究,2011,25(6):9-15.
 [20] Laemmli U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 [J]. Nature, 1970, 227(5259): 680-685.
 [21] 刘丹,贾娜,杨磊,等.3种不同香辛料提取物对猪肉肌原纤维蛋白功能特性的影响[J].食品科学,2017,38(15):14-19.

- [22] Chelh I, Gatellier P, Santé-Lhoutellier V. Technical note: A simplified procedure for myofibril hydrophobicity determination [J]. *Meat Science*, 2006, 74(4): 681-683.
- [23] Thannhauser T W, Konishi Y, Scheraga H A. Analysis for disulfide bonds in peptides and proteins [J]. *Methods in Enzymology*, 1987, 143(1): 115-119.
- [24] 曾宪明, 徐幸莲, 白云, 等. 兔肌球蛋白热诱导凝胶过程中的物理化学变化[J]. *食品科学*, 2008, 29(4): 149-153.
- [25] 尚永彪, 夏杨毅, 张彩霞, 等. 磷酸盐对PSE猪肉肌原纤维蛋白溶胶及凝胶性质的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(1): 38-42.
- [26] 魏朝贵, 吴菊清, 邵俊花, 等. KCl 和 MgCl₂ 部分替代 NaCl 对猪肉肌原纤维蛋白乳化凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(5): 89-95.
- [27] 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.
- [28] Xiong Y L, Brekke C J. Protein extractability and thermally induced gelation properties of myofibrils isolated from pre- and post rigor chicken muscles [J]. *Journal of Food Science*, 1991, 56(1): 210-215.
- [29] 周光宏. 畜产品加工学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 40-41.
- [30] 彭伟伟. 热处理对豌豆蛋白乳化性质及界面吸附行为的影响 [D]. 无锡: 江南大学, 2016.
- [31] O' Kane F E, Happe R P, Vereijken J M, et al. Characterization of pea vicilin. I. Denoting convicilin as the α -subunit of the pisum vicilin family [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(10): 3141-3148.
- [32] Aguilar-Vázquez G, Loarca-Piña G, Figueroa-Cárdenas J D, et al. Electrospun fibers from blends of pea (*Pisum sativum*), protein and pullulan [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018: 83.
- [33] Wu L, Wu T, Wu J, et al. Effects of cations on the "salt in" of myofibrillar proteins [J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 58: 179-183.
- [34] Xiong T, Xiong W, Ge M, et al. Effect of high intensity ultrasound on structure and foaming properties of pea protein isolate [J]. *Food Research International*, 2018, 109: 260-267.
- [35] Choi Y S, Choi J H, Han D J, et al. Effects of rice bran fiber on heat-induced gel prepared with pork salt-soluble meat proteins in model system [J]. *Meat Science*, 2011, 88(1): 59-66.
- [36] Li C E, Naki S, Wood D F. Relationship between functional (fat binding emulsifying) and physicochemical properties of muscle proteins. Effects of heating, freezing, pH and species [J]. *Journal of Food Science*, 1985, 50(4): 1034-1040.
- [37] 钱晖. 生物化学与分子生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 27.
- [38] 袁程程, 张坤生, 任云霞. 沙蒿胶对虾蛄肌原纤维蛋白乳化和理化特性的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(4): 78-83.
- [39] 周纷, 孙迪, 许帅强, 等. 不饱和脂肪酸对猪肉蛋白质乳化特性的影响 [J]. *食品科学*, 2018, 39(24): 34-40.
- [40] Jongberg S, Terkelsen Lde S, Miklos R, et al. Green tea extract impairs meat emulsion properties by disturbing protein disulfide cross-linking [J]. *Meat Science*, 2015, 100: 2-9.
- [41] 刘红, 康玉凡. 食用豆类球蛋白研究进展 [J]. *粮食与油脂*, 2013, 26(5): 5-8.
- [42] 何希强, 肖怀秋, 王穗萍. 豌豆蛋白质起泡、乳化功能特性研究 [J]. *粮油加工*, 2008, 28(12): 100-103.
- [43] 刘英丽, 谢良需, 丁立, 等. 小麦麸膳食纤维对猪肉肌原纤维蛋白凝胶功能特性的影响 [J]. *食品科学*, 2016, 37(19): 15-23.
- [37] Ma R X, Gao T, Song L, et al. Effects of oil-water mixed frying and pure-oil frying on the quality characteristics of soybean oil and chicken chop [J]. *Food Science & Technology*, 2016, 36(2): 329-336.
- (上接第 25 页)
- 40(8): 116-121.
- [36] Rahimi J, Ngadi M O. Surface ruptures of fried batters as influenced by batter formulations [J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 152: 50-56.
- (上接第 30 页)
- milk proteins in whole milk [J]. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87(12): 4013-4022.
- [19] 张勇, 段旭昌, 白艳红, 等. 超高压处理对牛乳微观特性影响的研究 [J]. *食品科技*, 2008(3): 115-118.
- [20] 吴新. 脉冲电场对牛乳蛋白功能性质和结构的影响 [D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [21] 刘燕. 酪蛋白胶束结构与功能特性的研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2007.
- [22] Montilla A, Baleones E, Olano A, et al. Influence of heat treatments on whey protein denaturation and rennet clotting properties of cow and goat milk [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1995, 43: 1908-1911.
- [23] Allmere T, Andrén A, Björck L. Interactions between different genetic variants of β -lactoglobulin and κ -casein during heating of skim milk [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(5): 1564-1569.
- [24] Henry G, Mollé D, Morgan F, et al. Heat induced covalent complex between casein micelles and β -lactoglobulin from goats milk: Identification of an involved disulfide bond [J]. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 2002, 50: 185-191.

权威 · 核心 · 领先 · 实用 · 全面