



栗俊广,张旭玥,陈宇豪,等. 鹰嘴豆分离蛋白对猪肉肌原纤维蛋白乳化特性的影响[J]. 轻工学报,2021,36(6):30-37.

LI J G,ZHANG X Y,CHEN Y H,et al. Effects of chickpea protein isolate on the emulsification properties of pork myofibrillar protein[J]. Journal of Light Industry,2021,36(6):30-37. DOI:10.12187/2021.06.004

中图分类号:TS251.1 文献标识码:A 文章编号:2096-1553(2021)06-0030-08

鹰嘴豆分离蛋白对猪肉肌原纤维蛋白 乳化特性的影响

Effects of chickpea protein isolate on the emulsification properties of pork myofibrillar protein

栗俊广^{1,2},张旭玥¹,陈宇豪¹,王昱^{1,2},刘骁^{1,2},白艳红^{1,2}
LI Junguang^{1,2},ZHANG Xuyue¹,CHEN Yuhao¹,WANG Yu^{1,2},LIU Xiao^{1,2},
BAI Yanhong^{1,2}

1. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001;
 2. 河南省冷链食品质量与安全控制重点实验室, 河南 郑州 450001
1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
2. He'nan Key Laboratory of Cold Chain Food Quality and Safety Control, Zhengzhou 450001, China

关键词:
鹰嘴豆分离蛋白;
猪肉肌原纤维蛋白;
乳化特性

Key words:
chickpea protein isolate;
pork myofibrillar
protein;emulsifying
property

摘要:将不同质量分数的鹰嘴豆分离蛋白(Chickpea Protein Isolate,CPI)加入猪肉肌原纤维蛋白中,研究其对猪肉肌原纤维蛋白乳化特性的影响.结果表明:随着CPI添加量的增加,猪肉肌原纤维蛋白乳液的EAI指数、ESI指数和流变储能模量G'均逐渐升高;当CPI添加量为1.2%时,猪肉肌原纤维蛋白乳液的EAI指数和储能模量G'均达到最大值,总体稳定指数和乳析指数均达到最小值,即添加1.2%的CPI可有效改善猪肉肌原纤维蛋白的乳化特性,提升猪肉肌原纤维蛋白乳液的稳定性.

收稿日期:2021-04-12

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(32102045);河南省青年骨干教师计划项目(2019GGJS127);河南省青年人才托举计划项目(2021HYTP026)

作者简介:栗俊广(1987—),男,河南省漯河市人,郑州轻工业大学副教授,博士,主要研究方向为畜禽产品加工与质量安全控制.

Abstract: This study aimed to investigate the effects of different mass fractions of Chickpea Protein Isolate (CPI) on the emulsifying property of pork myofibrillar protein. The results showed that the EAI, ESI and rheological storage modulus G' of pork myofibrillar protein emulsion increased gradually with the increase of the addition of CPI. When the addition of CPI was 1.2%, the EAI and storage modulus G' of pork myofibrillar protein emulsion reached the maximum, and the total stable index and emulsification both reached the minimum. The results indicated that adding 1.2% CPI could effectively improve the emulsification properties of pork myofibrillar protein, and enhance the stability of pork myofibrillar protein emulsion.

0 引言

肌原纤维蛋白(Myofibrillar Protein, MP)是肌肉蛋白质中最主要的一种,约占肌肉总蛋白质含量的50%^[1]。肌原纤维蛋白的乳化特性直接决定肉制品的质构和持水保油能力,在肉类加工中对脂肪和水分的固定起着至关重要的作用。在肉制品的储藏加工过程中,肌原纤维蛋白易受外界环境影响,如冷冻、加热等均可使其溶解度降低、乳化特性减弱,从而影响肉制品的品质^[2]。此时,添加外源植物蛋白(如大豆蛋白、乳清蛋白等)是改善肌原纤维蛋白乳液特性的常用手段,可以有效改善肌原纤维蛋白乳化特性,提高肉制品的品质^[3-4]。

鹰嘴豆(*Cicer arietinum* Linn.)是世界第二大消费豆类,因其极高的蛋白质功效比值、生物利用价值和消化吸收率赢得了“豆中之王”的称号,近年来在中国云南、甘肃、新疆等地大面积种植^[5]。鹰嘴豆的蛋白质含量约占鹰嘴豆种子总质量的22%,并含有人体所需的18种氨基酸及8种必需氨基酸^[6-7]。鹰嘴豆分离蛋白(Chickpea Protein Isolate, CPI)是从鹰嘴豆中提取出的一种高纯度蛋白质,具有较高的溶解性、吸水性、保水性及乳化特性^[8-11],在肉制品生产加工中具有很好的应用前景。目前,国内外学者对大豆分离蛋白与猪肉肌原纤维蛋白的相互作用已有大量研究。例如,梁婧等^[12]建立了改性大豆分离蛋白与猪肉肌原纤维蛋白共混体系,发现经热改性处理后,该共混体系的乳化特性和凝胶特性均显著提高;朱佳倩等^[13]研究发

现,在猪肉肌原纤维蛋白中添加质量分数为10%的大豆分离蛋白可以显著提高混合凝胶的凝胶强度和保水性,而CPI对肌原纤维蛋白乳化特性的影响还鲜有报道。基于此,本研究拟向猪肉肌原纤维蛋白中添加不同质量分数的CPI,研究其对猪肉肌原纤维蛋白乳液的乳化活性(Emulsion Activity Index, EAI)、乳化稳定性(Emulsion Stability Index, ESI)、流变特性等乳化特性的影响,以期CPI在肉制品加工中的应用提供理论依据和参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

鹰嘴豆,产自云南省文州自治区丘北市天星乡;猪里脊肉、金龙鱼大豆油,购于郑州丹尼斯百货有限公司;标准牛血清蛋白(Bovine Albumin, BSA),北京索莱宝科技有限公司产;NaCl、MgCl₂、NaH₂PO₄、Na₂HPO₄、HCl、NaOH,天津市大茂化学试剂厂产;十二烷基硫酸钠(SDS),上海源叶生物有限公司产;正己烷,天津市富宇精细化工有限公司产;乙二醇双(2-氨基乙基醚)四乙酸(EGTA),北京华迈科生物技术有限责任公司产。以上化学试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

AB265-S型分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产;JA3003N型电子天平,上海菁海仪器设备有限公司产;101C-4型电热恒温鼓风烘箱,上海一恒科学仪器有限公司产;LM3100型锤式实验粉碎磨,瑞典波通公司产;T25型数显型高速匀浆机,德国IKA公司产;

Lab-1-50 型冷冻干燥机,北京博医康实验仪器有限公司产;SZ-22A 型绞肉机,广州旭众食品机械有限公司产;GM200 型刀式研磨仪,德国莱驰公司产;HH-42 型水浴锅,常州国华电器有限公司产;Discovery 型流变仪,美国 TA 仪器有限公司产;TU-1810 型紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司产;TURBTSCAN LAB 型稳定性分析仪,法国 Formulaction 仪器公司产。

1.3 实验方法

1.3.1 CPI 的提取 参考栗俊广等^[14]的方法,将脱脂鹰嘴豆粉与去离子水混合,调节混合溶液 pH 值至 10.0,于 40 ℃ 水浴条件下连续搅拌至充分溶解;于 6000 r/min 条件下离心 15 min,将沉淀重复提取两次并收集上清液,调节上清液 pH 值至等电点后再次离心;收集蛋白沉淀物并加少量去离子水复溶,调节复溶溶液 pH 值为 7.0,真空冷冻干燥后即到 CPI。

1.3.2 CPI 化学成分的测定 CPI 水分、脂肪、蛋白质、灰分等化学成分均按照国标规定的检测方法进行测定^[15-18]。

1.3.3 CPI 理化性质的测定 按照 E. S. Tan 等^[19]的方法,分别测定 CPI 的持水力、持油力、乳化活性和乳化稳定性。将 0.1 g CPI 与 1.5 mL 蒸馏水或大豆油(密度为 0.912 g/mL)于 10 mL 离心管中涡旋混合 1 min 后称重,在室温下孵育 30 min,于 6526 r/min 转速下离心 30 min,弃上清液后称重。CPI 的持水力和持油力分别按式①和式②计算:

$$\text{持水力} = \frac{m_1}{m_2} \quad \text{①}$$

$$\text{持油力} = \frac{m_3}{m_4} \quad \text{②}$$

式中, m_1 为样品、蒸馏水和离心管总质量/g; m_2 为弃上清液后混合样品和离心管总质量/g; m_3 为样品、大豆油和离心管总质量/g; m_4 为弃上

清液后混合样品和离心管总质量/g。

用生理盐水缓冲液(0.6 mol/L NaCl, 50 mmol/L 磷酸盐缓冲液, pH 值为 7.0)将 CPI 的质量浓度调整为 0.1 mg/mL,加入与样品总体积相同的大豆油,使用高速匀浆机在 10 000 r/min 转速下匀浆 2 min,再于 3197 r/min 转速下离心 5 min,测量乳化液层高度。对于乳液稳定性分析,按照上述方法制备样品后,于 80 ℃ 条件下孵育 30 min,于 3197 r/min 转速下离心 5 min,测量乳化液层高度。CPI 的乳化活性和乳化稳定性分别按式③和式④计算:

$$\text{乳化活性} = \frac{V_E}{V_T} \times 100\% \quad \text{③}$$

$$\text{乳化稳定性} = 1 - \left(\frac{R}{R_i} \times 100\% \right) \quad \text{④}$$

式中, V_E 为乳化层体积/mL; V_T 为总体积/mL; R 为于 80 ℃ 条件下孵育 30 min 后的乳化层体积/mL; R_i 为初始乳化层体积/mL。

1.3.4 猪肉肌原纤维蛋白的提取 按照 J. G. Li 等^[20]的方法,将猪里脊肉解冻后,倒入 4 倍体积的冰肌原纤维蛋白提取液(0.1 mol/L NaCl, 10 mmol/L 磷酸盐缓冲液, 10 mmol/L MgCl₂ 和 1 mmol/L EGTA, pH 值为 7.0),使用高速匀浆机在 10 000 r/min 的转速下匀浆 60 s (每匀浆 20 s 间歇 20 s),于 5460 r/min 转速下离心 15 min,弃上清液,并重复上述步骤两次;再加入 4 倍体积的冰 NaCl 溶液(0.1 mol/L)洗涤蛋白沉淀物,并于 5460 r/min 转速下离心 15 min,弃上清液,重复该步骤 3 次,在最后一次离心前过滤,即得纯净的猪肉肌原纤维蛋白;将该蛋白置于冰水浴中,于 4 ℃ 条件下储存,最长存放 2 d。猪肉肌原纤维蛋白质量浓度采用双缩脲法进行测定,以 BSA 作为标准蛋白绘制标准曲线。

1.3.5 猪肉肌原纤维蛋白乳液的制备 用生理盐水缓冲液将猪肉肌原纤维蛋白的质量浓度

调整为 10 mg/mL. 分别加入质量分数为 0、0.3%、0.6%、0.9%和 1.2%的 CPI,使用高速匀浆机在 10 000 r/min 的转速下匀浆 60 s(每匀浆 20 s 间歇 20 s),于 2229 r/min 转速下离心 5 min,以赶出蛋白中的气泡. 取 20 mL 混合蛋白溶液,加入总溶液体积 20%的大豆油后混匀,即制得猪肉肌原纤维蛋白乳液. 将该乳液置于冰浴条件下,并于 0~4 ℃冰箱中储存备用.

1.3.6 猪肉肌原纤维蛋白乳液 EAI 指数和 ESI 指数的测定 参考 K. N. Pearce 等^[21]的浊度法,并稍加修改. 吸取 50 μL 猪肉肌原纤维蛋白乳液,再加入 5 mL 质量分数为 0.1%的 SDS 溶液,漩涡振荡混匀后,于 500 nm 波长处测其吸光度,记为 A_0 . 从乳液制备好即开始计时,10 min 后再次从乳液底部相同位置吸取 50 μL 匀浆乳液,按照上述方法混合并测其吸光度,记为 A_{10} . 分别按照如下公式计算乳液的 EAI 指数和 ESI 指数:

$$\text{EAI 指数} = \frac{2 \times 2.303}{C \times (1 - \varphi) \times 10^4} \times A_0 \times n \quad (5)$$

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

式中, C 为蛋白质质量浓度/($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$); φ 为油相体积分数, $\varphi = 20\%$.

1.3.7 猪肉肌原纤维蛋白乳液流变特性的测定 按照 K. Li 等^[22]的方法,并稍加修改. 取 1.3.5 中制备好的猪肉肌原纤维蛋白乳液,将乳液充分覆盖在 40 mm 平板底座测试平台上,切边后使用硅油密封. 夹缝间距 0.5 mm,频率 0.1 Hz,应变 1%,初始温度 25 ℃. 在 25 ℃条件下保温 5 min 后,以 1 ℃/min 的升温速率加热至 90 ℃. 测试指标为流变储能模量 G' .

1.3.8 猪肉肌原纤维蛋白乳液总体稳定指数的测定 使用稳定性分析仪测定乳液的总体稳定指数. 将被测样品装入样品池中,温度为室温(20 ℃),设定扫描时间 1 h 和扫描间隔时间

4 s. 测定样品的透射光(T)和被样品反射后的背散射光(Backscattering,BS),通过软件分析总体稳定指数曲线获得乳液的总体稳定指数.

1.3.9 猪肉肌原纤维蛋白乳液乳析指数的测定 参考刘竞男等^[23]的方法,并稍加修改. 将 1.3.5 制备好的猪肉肌原纤维蛋白乳液立即装入带刻度的 10 mL 玻璃试管中,于 4 ℃环境下分别静置 1 h、2 h、4 h、8 h,记录乳析界面的高度变化. 按式⑦计算乳液的乳析指数:

$$\text{乳析指数} = \frac{H_0}{H_t} \times 100\% \quad (7)$$

式中, H_0 为清液的高度/cm; H_t 为乳液的初始高度/cm.

1.4 数据处理

每个实验至少重复 3 次,每个样品的各项指标至少平行测定 3 次,实验结果以(平均值±标准差)表示. 采用 SPSS 22.0 中的 Duncan's test 检验进行组间平均值显著性分析,利用 Origin9.0 作图.

2 结果与分析

2.1 CPI 的化学成分和理化性质分析

CPI 化学成分的测定结果显示,CPI 中含(6.03±0.85)%的水分、(1.90±0.22)%的脂肪、(3.80±0.28)%的灰分及(81.90±4.22)%的蛋白质. 蛋白质持水力、持油力的大小是评价蛋白质品质的重要指标,持油力越高,蛋白质与脂质的结合能力越强. CPI 理化性质的测定结果显示,每 g CPI 的持水力为(3.21±0.08)g,持油力为(5.85±0.35)g,高于已有报道的米糠蛋白((2.60±0.00)g,(5.00±0.30)g)和大豆蛋白((3.10±0.20)g,(2.60±0.10)g);每 g CPI 的乳化活性为(28.17±1.34) m²,也高于该报道中测定的大豆分离蛋白((12.13±0.55) m²)^[24]. 顾楠等^[25]研究发现的 CPI 乳化稳定性(75%)低于本研究测得的结果(87.14±2.22)%. CPI

的乳化稳定性差异可能与鹰嘴豆种类、提取方法、处理手段的差异有关。本研究提取的 CPI 具有良好的持水力、持油力和乳化特性。

2.2 CPI 添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液 EAI 的影响分析

EAI 是指蛋白质在形成乳液过程中在油-水界面的吸附能力,它取决于蛋白质-油或蛋白质-蛋白质之间的相互作用^[26]。CPI 添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液 EAI 的影响如图 1 所示,其中不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$,下同)。由图 1 可以看出,随着 CPI 添加量的增加,猪肉肌原纤维蛋白乳液的 EAI 指数呈逐渐升高的趋势。未添加 CPI 时,猪肉肌原纤维蛋白乳液的 EAI 指数为 $24.54 \text{ m}^2/\text{g}$;随着 CPI 添加量的增加,猪肉肌原纤维蛋白乳液的 EAI 指数显著升高($P < 0.05$),并在 CPI 添加量为 1.2% 时达到最大值,为 $30.49 \text{ m}^2/\text{g}$ 。这表明 CPI 的加入可提升猪肉肌原纤维蛋白的乳化能力,并在其添加量为 1.2% 时,猪肉肌原纤维蛋白能乳化的油量最多。

2.3 CPI 添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液 ESI 的影响分析

ESI 可表征加工过程中蛋白质维持乳液体系稳定不分层的能力^[27]。CPI 添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液 ESI 的影响如图 2 所示。由图 2

可以看出,未添加 CPI 的肌原纤维蛋白乳液,其 ESI 指数为 33.2%。随着 CPI 添加量的增加,肌原纤维蛋白乳液的 ESI 指数逐渐升高($P < 0.05$),当 CPI 添加量为 0.9% 时达到最大值,为 94.41%,此时的 ESI 指数与 CPI 添加量为 0.6% 和 1.2% 的组别之间无显著差异($P > 0.05$),且 3 个处理组乳液的 ESI 指数均显著高于未添加 CPI 组。这表明添加 CPI 能够显著提升猪肉肌原纤维蛋白乳液的稳定性,并在 CPI 的添加量为 0.6%~1.2% 时 ESI 指数相对较高且稳定。

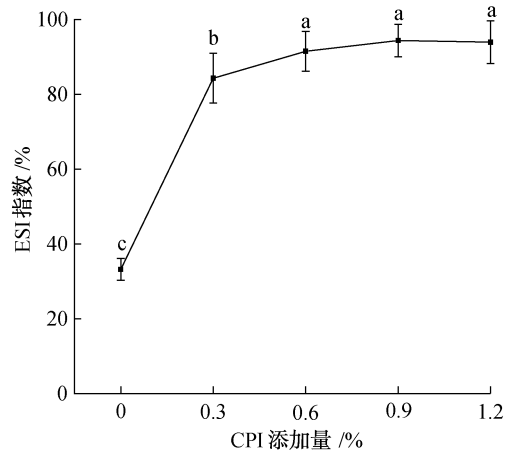


图 2 CPI 添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液 ESI 的影响

Fig. 2 Effect of CPI addition on ESI of pork myofibrillar protein emulsion

2.4 CPI 添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液流变特性的影响分析

CPI 添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液储能模量 G' 的影响如图 3 所示。由图 3 可以看出,在 30~50 °C 时,所有处理组乳液的流变储能模量 G' 均随温度的升高而逐渐缓慢增大,然后迅速增大,并在 52~54 °C 达到最大值。随后, G' 急剧下降,并在 61 °C 时降到最小。之后, G' 再次随温度的升高而逐渐增大。与未添加 CPI 组相比,猪肉肌原纤维蛋白乳液的 G' 随着 CPI 添加量的增加而增大,且在 CPI 添加量为 1.2% 时达到最大值。这表明添加 CPI 能提升猪肉肌原纤维蛋白乳液热诱导形成的凝

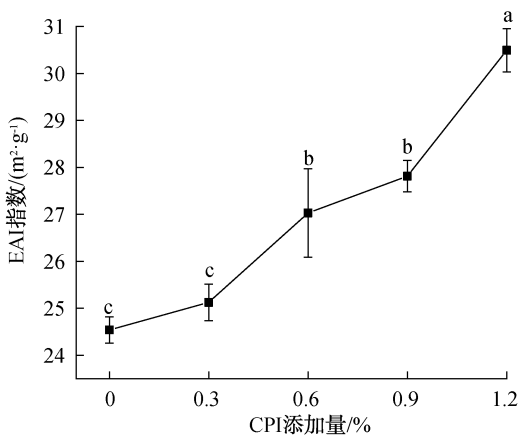


图 1 CPI 添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液 EAI 的影响

Fig. 1 Effect of CPI addition on EAI of pork myofibrillar protein emulsion

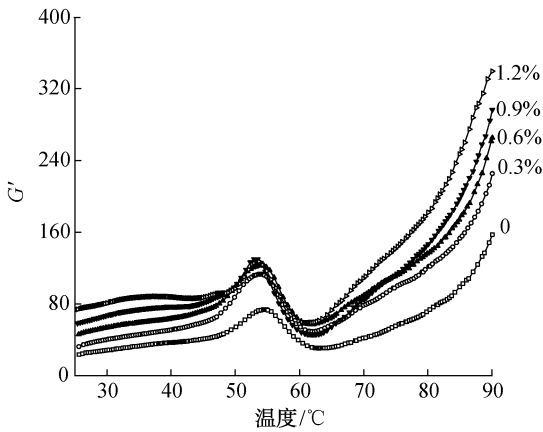


图3 CPI添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液储能模量 G' 的影响

Fig. 3 Effect of CPI addition on storage modulus (G') of pork myofibrillar protein emulsion

胶的保水能力,且能提升猪肉肌原纤维蛋白乳液的凝胶强度,使其形成更稳定的乳化凝胶网络。

2.5 CPI添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液总体稳定指数的影响分析

总体稳定指数可以快速、简便地表征样品的稳定性,而近红外脉冲光源可以快速分析半液态、液态溶液等分散体系的乳化现象。分散相粒子的体积分数和平均粒径可影响散射光强度的变化程度,决定体系的稳定程度,总体稳定指数曲线越低表明体系的总体稳定性越好^[28]。CPI添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液总体稳定指数的影响如图4所示。由图4可以看出,随着CPI添加量的增加,猪肉肌原纤维蛋白乳液的总体稳定性逐渐升高,当CPI添加量为1.2%时,总体稳定指数最小,即乳液体系稳定性最好,这与ESI分析结果一致,表明添加CPI能提升猪肉肌原纤维蛋白乳液的稳定性。

2.6 CPI添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液乳析指数的影响分析

新制备的乳液在静置过程中,会随着时间的推移而出现絮凝、聚集甚至乳化分层的现象,这与乳液的稳定性密切相关。乳液可分为上下

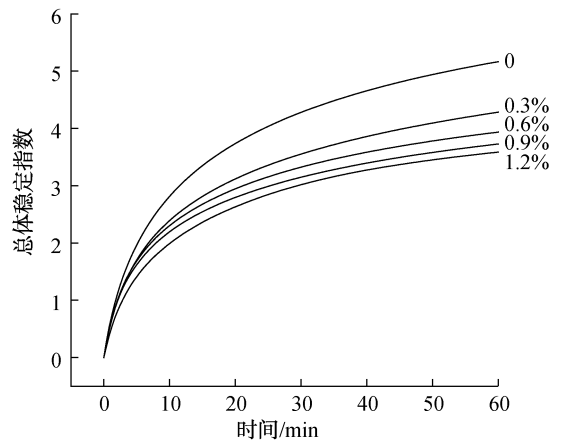


图4 CPI添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液总体稳定指数的影响

Fig. 4 Effect of CPI addition on total stability index of pork myofibrillar protein emulsion

两层,顶层为乳化层,底层为水层,分层越明显表明乳液体系的稳定性越差^[29]。乳析指数反映了乳液中油滴聚集和絮凝的程度,乳析指数越小,乳液越稳定^[30]。CPI添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液乳析指数的影响如图5所示。由图5可以看出,随着CPI添加量的增加,乳析指数逐渐减小($P < 0.05$),当CPI添加量为1.2%时,猪肉肌原纤维蛋白混合乳液的乳析指数最小,为2.9%,且显著低于未添加CPI组($P < 0.05$),该结果与ESI及总体稳定指数分析结果一致。这表明添加CPI能提升猪肉肌原纤维蛋白乳液的稳定性。

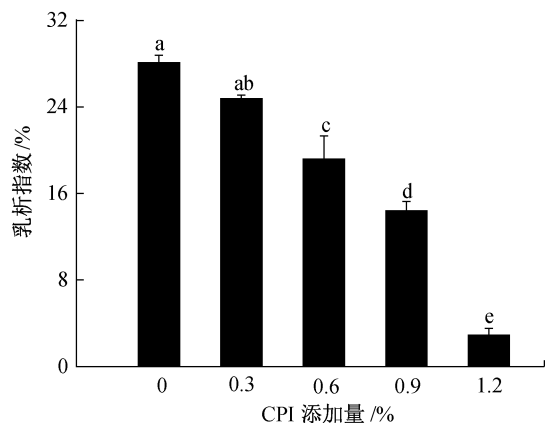


图5 CPI添加量对猪肉肌原纤维蛋白乳液乳析指数的影响

Fig. 5 Effect of CPI addition on creaming index of pork myofibrillar protein emulsion

3 结论

本文研究了添加不同质量分数的 CPI 对猪肉肌原纤维蛋白乳液的 EAI、ESI、流变性能等乳化特性的影响,结果表明:添加 CPI 可以显著提高猪肉肌原纤维蛋白乳液的 EAI 和 ESI;随着 CPI 添加量的增加,猪肉肌原纤维蛋白乳液的流变储能模量 G' 逐渐升高,总体稳定指数曲线逐渐降低,当 CPI 添加量为 1.2% 时,猪肉肌原纤维蛋白乳液的 G' 最大,总体稳定指数和乳析指数均最小,乳液最稳定. 该研究结果表明添加 CPI 能改善猪肉肌原纤维蛋白的乳化特性,在肉制品加工中具有广阔的应用前景.

参考文献:

- [1] XIONG Y L. Myofibrillar protein from different muscle fiber types: implications of biochemical and functional properties in meat processing [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1994, 34(3): 293.
- [2] ALI S, ZHANG W G, RAJPUT N, et al. Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat [J]. *Food Chemistry*, 2015, 173: 808.
- [3] UTRERA M, PARRA V, ESTÉVEZ M. Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles [J]. *Meat Science*, 2014, 96(2): 812.
- [4] 郭玉华, 李钰金. 植物蛋白与乳蛋白在肉制品加工中的应用 [J]. *肉类研究*, 2011, 25(5): 28.
- [5] XU Y X, OBILODAN M, SISMOUR E, et al. Physicochemical, functional, thermal and structural properties of isolated Kabuli chickpea proteins as affected by processing approaches [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(5): 1147.
- [6] 张俊杰, 郭晨, 杨旭, 等. 鹰嘴豆根瘤菌多样性研究进展 [J]. *轻工学报*, 2016, 31(6): 1.
- [7] 郭晨, 汪晓鸽, 孔少华, 等. 双菌株联合发酵提高鹰嘴豆纳豆激酶活力的研究 [J]. *轻工学报*, 2019, 34(4): 15.
- [8] SANCHEZVIOQUE R, CLEMENTE A, VIOQUE J, et al. Protein isolates from chickpea (*Cicer arietinum* L.): chemical composition, functional properties and protein characterization [J]. *Food Chemistry*, 1999, 64(2): 237.
- [9] BASHIR K, AGGARWAL M. Effects of gamma irradiation on the physicochemical, thermal and functional properties of chickpea flour [J]. *LWT-Food Science & Technology*, 2016, 69: 614.
- [10] BOYE J I, AKSAY S, ROUFIK S, et al. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques [J]. *Food Research International*, 2010, 43(2): 537.
- [11] ZHANG T, JIANG B, WANG Z. Gelation properties of chickpea protein isolates [J]. *Food Hydrocolloids*, 2007, 21(2): 280.
- [12] 梁婧, 王中江, 李丹, 等. 改性大豆分离蛋白与肌原纤维蛋白共混体系乳化性及凝胶性研究 [J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(8): 37.
- [13] 朱佳倩, 张顺亮, 赵冰, 等. 大豆分离蛋白对肌原纤维蛋白加热过程中结构及流变特性的影响 [J]. *肉类研究*, 2019, 33(9): 1.
- [14] 栗俊广, 陈宇豪, 王登顺, 等. 鹰嘴豆分离蛋白对减盐猪肉糜凝胶品质的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(1): 143.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定:GB 5009.4—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [19] TAN E S,NGOH Y Y,GAN C. A comparative study of physicochemical characteristics and functionalities of pinto bean protein isolate (PBPI) against the soybean protein isolate (SPI) after the extraction optimisation [J]. Food Chemistry,2014,152:447.
- [20] LI J G,CHEN Y H,DONG X P,et al. Effect of chickpea (*Cicer arietinum* L) protein isolate on the heat-induced gelation properties of pork myofibrillar protein[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,2021,101(5): 2018.
- [21] PEARCE K N, KINSELLA J E. Emulsifying properties of proteins:evaluation of a turbidimetric technique [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry,1978,26(3):716.
- [22] LI K, FU L, ZHAO Y Y, et al. Use of high-intensity ultrasound to improve emulsifying properties of chicken myofibrillar protein and enhance the rheological properties and stability of the emulsion[J]. Food Hydrocoll 2020,98: 105275.
- [23] 刘竞男,徐晔晔,王一贺,等. 高压均质对大豆分离蛋白乳液流变学特性和氧化稳定性的影响[J]. 食品科学,2020,41(1):80.
- [24] 于枫,贺雷雨,孙丽慧. 稻米米糠蛋白乳化特性研究[J]. 食品科技,2020,45(6):224.
- [25] 顾楠,张子沛,吴锦波,等. 不同处理方式对鹰嘴豆分离蛋白乳化性质的影响[J]. 食品工业科技,2011,32(12):158.
- [26] KEVIN N P,JOHN E K. Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,1978,26(3):716.
- [27] SUN Y J,CHEN J H,ZHANG S W,et al. Effect of power ultrasound pre-treatment on the physical and functional properties of reconstituted milk protein concentrate [J]. Journal of Food Engineering,2014,124:11.
- [28] 江漩涛,敬加强,杜磊,等. TURBISCAN LAB 稳定性分析仪研究稠油乳状液稳定性[J]. 现代化工,2016,36(1):180.
- [29] MA W C,WANG J M,XU X B,et al. Ultrasound treatment improved the physicochemical characteristics of cod protein and enhanced the stability of oil-in-water emulsion [J]. Food Research International,2019,121:247.
- [30] GAO X Q,ZHANG W G,ZHOU G H. Emulsion stability, thermo-rheology and quality characteristics of ground pork patties prepared with soy protein isolate and carrageenan [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2015, 95(14):2832.