

花生蛋白的高静压联合酶法改性及其性质

刘加艳¹, 任宇鹏¹, 郭立²

(1. 河南应用技术职业学院, 郑州 450042; 2. 郑州远洋油脂工程技术有限公司, 郑州 450018)

摘要:为促进花生蛋白的深加工和更广泛的应用,采用高静压联合碱性蛋白酶酶法改性花生蛋白。通过单因素试验考察了静压力、pH、酶添加量、酶解时间和酶解温度对花生蛋白溶解度的影响,在此基础上,采用正交试验优化花生蛋白联合改性工艺条件,并测定了联合改性花生蛋白的起泡性和泡沫稳定性、巯基和二硫键含量以及总还原能力。结果表明:花生蛋白联合改性最佳工艺条件为静压力 300 MPa、1 g/100 mL 碱性蛋白酶(20 万 U/g)添加量 3.0 mL(100 mL 质量分数 5% 的花生蛋白溶液)、酶解时间 60 min、pH 10、酶解温度 50 °C,在此条件下联合改性花生蛋白溶解度为(82.87 ± 0.51)%;联合改性花生蛋白的起泡性、泡沫稳定性、巯基含量、总还原能力显著提高,二硫键含量显著下降。综上,高静压联合酶法改性改善了花生蛋白的理化性质及功能特性,有利于其深加工及更广泛的应用。

关键词:花生蛋白;蛋白改性;高静压;碱性蛋白酶;功能特性

中图分类号:TS213.3;TS221 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)06-0047-06

Modification of peanut protein by high hydrostatic pressure combined with enzymatic method and its properties

LIU Jiayan¹, REN Yupeng¹, GUO Li²

(1. Henan Technical Institute, Zhengzhou 450042, China; 2. Zhengzhou Ocean Oil Engineering Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450018, China)

Abstract: In order to promote the deep processing and broader application of peanut protein, peanut protein was modified by high hydrostatic pressure combined with alkaline protease hydrolysis. The effects of hydrostatic pressure, pH, enzyme addition amount, enzymatic time and enzymatic temperature on the solubility of peanut protein were investigated by single factor experiment, then orthogonal experiment was used to optimize the modification process of peanut protein. The foaming property and foam stability, sulfhydryl and disulfide bond contents, and total reducing capacity of the co-modified peanut protein were determined. The results showed that the optimal co-modification conditions for peanut protein were hydrostatic pressure 300 MPa, 1 g/100 mL alkaline protease(200 000 U/g) addition amount 3.0 mL (based on 100 mL peanut protein solution with mass fraction of 5%), pH 10, enzymatic temperature 50 °C, and enzymatic time 60 min, and the protein solubility was (82.87 ± 0.51)% under these conditions. The foaming property and foam stability, sulfhydryl group content, and total reducing capacity of co-modified peanut protein improved, while the disulfide bond content decreased. In conclusion, the combination of high hydrostatic pressure and enzymatic method can improve the physicochemical properties and functional properties of peanut protein, which facilitates the deep processing and broader application of peanut protein.

Key words: peanut protein; protein modification; high hydrostatic pressure; alkaline protease; functional property

收稿日期:2023-08-14;修回日期:2024-03-18

基金项目:河南应用技术职业学院校级项目(2023-KJ-55)

作者简介:刘加艳(1978),女,讲师,研究方向为生物化工产品的研究与开发(E-mail)1615963404@qq.com。

通信作者:任宇鹏,副教授(E-mail)450976891@qq.com。

花生饼粕是花生榨油后的副产品,其蛋白质含量高达 44% 以上。花生蛋白不仅富含人体所需的 8 种必需氨基酸,还含有生物活性物质精氨酸和白藜

芦醇。精氨酸可使血管平滑肌产生一氧化氮(NO),使血管松弛并降低血压。白藜芦醇具有预防心血管疾病、抑制癌细胞增殖和抗炎的功能^[1]。此外,花生蛋白酶解产物中已鉴定出具有抗氧化性和抑制血管紧张素转化酶(ACE)活性的肽段^[2]。

在加工特性方面,改性花生蛋白较未改性花生蛋白具有较高的乳化性和起泡性,在食品工业的应用更广泛。国内关于花生蛋白的改性研究多集中在单一高静压改性或其他物理方法协同改性,如:周婷婷等^[3]研究了高静压处理对花生蛋白功能特性的影响,发现高静压可有效改善花生分离蛋白和花生球蛋白的溶解性和乳化性;李响等^[4]考察了挤压、酶法和挤压协同酶法3种改性方法对花生蛋白理化特性的影响,结果发现,挤压协同酶法改性对花生蛋白的功能特性、二级结构及巯基和二硫键含量均有显著影响。目前高静压联合酶法改性花生蛋白的研究较少,因此本研究以花生蛋白为原料,采用高静压联合酶法改性花生蛋白,通过单因素试验和正交试验优化高静压联合酶法改性花生蛋白的工艺条件,并测定联合改性花生蛋白在功能特性、巯基和二硫键含量及总还原能力方面的变化,以期为花生蛋白的深加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

花生粕[鲁花9号二次压榨粕,蛋白质含量(45.38±0.35)%,脂肪含量(4.55±0.31)%],碱性蛋白酶(20万U/g),河南万邦实业有限公司;大豆油,中粮集团;磷酸盐pH缓冲剂,上海雷磁有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

L2-600/2(MPa600/2L)超高压设备,天津华泰森森有限公司;BJ-750A粉碎机,德清拜杰电器有限公司;PHS-25型pH计,上海精科仪器有限公司;FD-1A-110真空冷冻干燥机,北京博医康实验仪器有限公司;Cary4000紫外-可见分光光度计,美国Agilent公司。

1.2 试验方法

1.2.1 花生蛋白的制备

将一定量的花生粕粉碎,过0.180mm(80目)筛,50℃干燥24h,干燥后的物料以1cm厚度于1200W微波下灭酶处理30s,灭酶后的花生粕按料液比1:5与正己烷混合,室温下300r/min搅拌脱脂2h,抽滤,滤饼重复脱脂2次,于30℃下干燥12h,过0.180mm(80目)筛,得脱脂花生粕,参照GB

5009.6—2016测得其粗脂肪含量为(0.71±0.27)%。

参考文献[5]采用碱溶酸沉法制备花生蛋白。脱脂花生粕按料液比1:9加入去离子水,以1mol/L的NaOH调节pH至9.0,室温下磁力搅拌2h,离心并收集上清液,沉淀重复提取2次,合并上清液,以1mol/L的HCl调节pH至4.5,随后于1600×g下离心15min,收集沉淀,复溶并调pH至7.0,冷冻干燥后得到花生蛋白,经凯氏定氮法测定其蛋白质含量为(83.45±0.32)%。

1.2.2 高静压联合酶法改性花生蛋白的制备

参考文献[6]采用高静压联合酶法进行花生蛋白的改性。以去离子水配制质量分数为5%的花生蛋白悬浮液,注入聚乙烯袋中并封装(100mL/袋);以水为加压介质,于超高压设备中在一定的静压力下保压10min,加压过程温度不超过30℃,再向其中加入一定量质量浓度为1g/100mL的碱性蛋白酶,在一定的pH、温度下酶解一定时间后,于90℃灭酶5min,冷却后冷冻干燥,得到联合改性花生蛋白。

1.2.3 溶解度的测定

取1.0g联合改性花生蛋白于100mL去离子水中,室温下300r/min搅拌1h,然后于2390×g下离心20min^[7],取上清液,采用凯氏定氮法分别测定上清液及联合改性花生蛋白样品中氮含量。溶解度以氮溶解指数(NSI)表示,NSI按公式(1)计算。

$$N = w_2/w_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中: N 为NSI; w_1 为联合改性花生蛋白样品中总氮含量; w_2 为上清液中氮含量。

1.2.4 起泡性与泡沫稳定性的测定

采用气流法测定花生蛋白的起泡性与泡沫稳定性。分别在500mL量筒中配制质量浓度为0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0mg/mL的样品溶液100mL,室温下以2L/min流速持续吹入CO₂气体3min,停止吹气,记录量筒内泡沫及溶液总体积(V_0);室温静置30min,再次记录泡沫及溶液总体积(V_{30})。每个样品重复3次,结果取平均值。按照公式(2)、公式(3)分别计算起泡性(F_c)和泡沫稳定性(F_s)^[8]。

$$F_c = \frac{V_0 - 100}{100} \times 100\% \quad (2)$$

$$F_s = \frac{V_{30} - 100}{V_0 - 100} \times 100\% \quad (3)$$

1.2.5 巯基和二硫键含量的测定

巯基含量参考文献[9]并稍作修改进行测定。准确称取5.2g三羟甲基氨基甲烷(Tris)、3.5g甘氨酸、0.6g乙二胺四乙酸(EDTA),溶解于去离子水

中,定容至 500 mL 并调 pH 至 8.0,得到 Tris - 甘氨酸缓冲液。称取 0.2 g 5,5'-二巯基双-2-硝基苯甲酸(DTNB)溶于 50 mL Tris - 甘氨酸缓冲液,得到 Ellman's 试剂。量取 1 mL 2 mg/mL 的蛋白溶液,加入 9 mL Tris - 甘氨酸缓冲液和 1 mL Ellman's 试剂,于 25 °C 下振荡反应 30 min,9 000 × g 离心 5 min,取上清液于 412 nm 处测定吸光度,按照公式(4)计算巯基含量。

$$S_0 = 73.53 \times A/C \quad (4)$$

式中: S_0 为巯基含量, $\mu\text{mol/g}$; 73.53 为消光转化系数; A 为上清液吸光度; C 为蛋白溶液质量浓度, mg/mL 。

二巯键含量:配制 10 mol/L pH 8 的 Tris - 甘氨酸 - 尿素缓冲液;量取 1 mL 2 mg/mL 蛋白溶液,加入 5 mL Tris - 甘氨酸 - 尿素缓冲液和 0.1 mL 巯基乙醇,摇匀后静置 1 h,滴加 10 mL 12% 的三氯乙酸溶液,室温下静置 1 h,9 000 × g 离心 10 min,沉淀用 5 mL 12% 的三氯乙酸溶液洗涤 2 次,用 3 mL 0.5% 的十二烷基硫酸钠溶液(SDS)溶解并稀释 10 倍后,加入 1 mL Ellman's 试剂,摇匀静置 10 min,于 412 nm 处测定吸光度,按公式(4)计算巯基含量(S_1),按照公式(5)计算二巯键含量(S_H)。

$$S_H = S_1 - S_0 \quad (5)$$

1.2.6 总还原能力的测定

参考文献[10],采用普鲁士蓝法测定花生蛋白的总还原能力。量取 2.5 mL 质量浓度分别为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mg/mL 的花生蛋白溶液于试管中,依次加入 2.5 mL 的磷酸盐缓冲液(pH 6.6)、2.5 mL 1% 的铁氰化钾溶液,摇匀后在 50 °C 反应 30 min,冷却,加入 2.5 mL 10% 的三氯乙酸溶液,摇匀,1 600 × g 离心 10 min,取 2.5 mL 上清液,加 2.5 mL 去离子水和 1.0 mL 0.1% 三氯化铁溶液,充分混匀,10 min 内在 700 nm 处测吸光度,以维生素 C 作为阳性对照。按照公式(6)计算总还原能力(Y)。

$$Y = A_i - A_0 \quad (6)$$

式中: A_i 为样品吸光度; A_0 为以去离子水代替铁氰化钾时的吸光度。

1.2.7 数据处理

平行试验 3 次,数据采用 SPSS 20 软件进行统计分析,结果以“平均值 ± 标准差”表示。

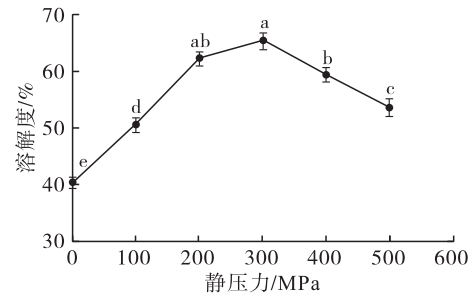
2 结果与分析

2.1 联合改性花生蛋白制备的单因素试验

2.1.1 静压力对花生蛋白溶解度的影响

在酶添加量 2.0 mL、酶解时间 10 min、pH 7、酶

解温度 30 °C 条件下,考察静压力对花生蛋白溶解度的影响,结果见图 1。



注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

图 1 静压力对花生蛋白溶解度的影响

由图 1 可知,静压力对花生蛋白的溶解度影响显著。随着静压力的增加,花生蛋白的溶解度呈先增加后减小的趋势,在静压力为 300 MPa 时,溶解度达到最大值(65.33%)。高静压可使蛋白质的空间结构发生变化,主要使非共价键解离,如氢键、疏水键等,从而影响蛋白质的空间位移与氨基酸残基暴露^[11]。静压力在 0 ~ 300 MPa 时,可能使亲水氨基酸残基暴露,溶解度增加;而静压力超过 300 MPa 时,可促使新的非共价键形成以及疏水性氨基酸残基暴露,从而使溶解度下降。这与 Zhu 等^[12]的研究结论相似。因此,选择静压力为 300 MPa。

2.1.2 酶添加量对花生蛋白溶解度的影响

在静压力 300 MPa、酶解时间 30 min、pH 7、酶解温度 45 °C 条件下,分别加入不同体积的碱性蛋白酶溶液,考察酶添加量对花生蛋白溶解度的影响,结果见图 2。

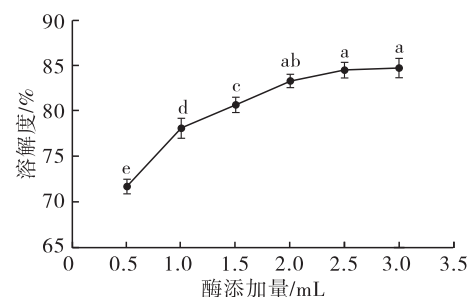


图 2 酶添加量对花生蛋白溶解度的影响

由图 2 可知,花生蛋白的溶解度随着酶添加量的增加呈逐渐增加趋势,当酶添加量超过 2.0 mL 时,溶解度增加缓慢。这是因为随着酶添加量的增加,花生蛋白酶解程度加大,其空间结构、一级结构被破坏,粒径变小,界面效应增强,从而使溶解度增加;但随着酶添加量不断增加,过多的疏水基团暴露,疏水作用力促使小颗粒蛋白聚集形成不溶性聚集体,且巯基和二巯键相互交换,形成网络结构,黏度增加导致溶解度增加趋缓^[13]。酶添加量在 2.0 ~

3.0 mL时,花生蛋白的溶解度无显著差异。综合考虑,选择酶添加量为2.0 mL。

2.1.3 酶解时间对花生蛋白溶解度的影响

在静压力300 MPa、酶添加量2.0 mL、pH 7、酶解温度45℃条件下,考察酶解时间对花生蛋白溶解度的影响,结果见图3。

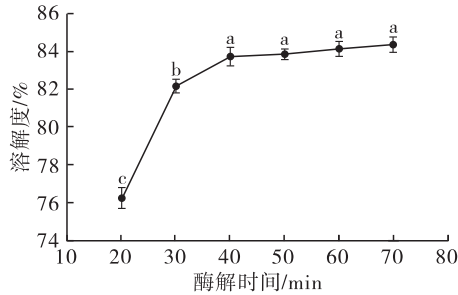


图3 酶解时间对花生蛋白溶解度的影响

由图3可知,随着酶解时间的延长,花生蛋白的溶解度呈增加趋势。李响等^[4]利用碱性蛋白酶对花生蛋白进行酶解,在酶解温度60℃、酶解时间60 min的条件下,花生蛋白溶解度约为60%,而在本研究中,花生蛋白溶解度最高达到84.39%,侧面说明高静压改变了蛋白质空间结构,暴露出更多酶切位点,蛋白解离多,溶解度增大。酶解时间超过40 min后花生蛋白溶解度增加缓慢,说明此时蛋白的解离达到饱和,继续延长酶解时间其溶解度差异不显著。因此,选择酶解时间为40 min。

2.1.4 pH对花生蛋白溶解度的影响

在静压力300 MPa、酶添加量2.0 mL、酶解时间40 min、酶解温度45℃条件下,考察pH对花生蛋白溶解度的影响,结果见图4。

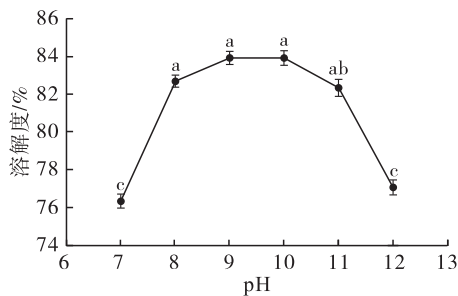


图4 pH对花生蛋白溶解度的影响

由图4可知,pH对花生蛋白溶解度影响显著,随着pH增高,花生蛋白溶解度呈先增加后降低的趋势,在pH为8~11时,花生蛋白的溶解度接近,远高于pH为7和12时的溶解度,这与碱性蛋白酶的最适pH相吻合,pH过高或过低会对碱性蛋白酶产生空间位阻,导致其活力降低。在pH为9时,花生蛋白的溶解度最高,因此选择pH为9。

2.1.5 酶解温度对花生蛋白溶解度的影响

在静压力300 MPa、酶添加量2.0 mL、酶解时间40 min、pH 9条件下,考察酶解温度对花生蛋白溶解度的影响,结果见图5。

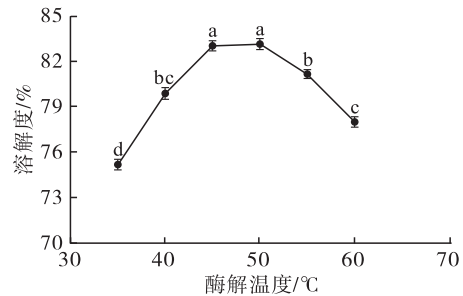


图5 酶解温度对花生蛋白溶解度的影响

由图5可知,花生蛋白溶解度随酶解温度的升高呈先增加后减小的趋势,当酶解温度为45~50℃时溶解度无显著差异。王真真等^[14]研究碱性蛋白酶提取米糠蛋白时也得出相似结论。最适温度下酶活力增强,解离出更多的水溶性多肽;温度过高,酶活力降低,酶部分失活导致花生蛋白溶解度降低。因此,选择酶解温度为45℃。

2.2 联合改性花生蛋白制备的正交试验

根据单因素试验结果,固定静压力为300 MPa,以酶添加量(A)、pH(B)、酶解温度(C)、酶解时间(D)为因素,花生蛋白溶解度(Y)为指标,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验设计,正交试验因素及水平见表1,正交试验设计及结果见表2。

表1 正交试验因素及水平

水平	A 酶添加量/mL	B pH	C 酶解温度/°C	D 酶解时间/min
1	3.0	9	45	60
2	2.5	10	40	50
3	2.0	11	50	40

表2 正交试验设计及结果

试验号	A	B	C	D	Y/%
1	1	1	1	1	82.35 ± 0.49
2	1	2	2	2	79.25 ± 0.51
3	1	3	3	3	78.87 ± 0.50
4	2	1	2	3	76.55 ± 0.46
5	2	2	3	1	82.24 ± 0.53
6	2	3	1	2	78.76 ± 0.46
7	3	1	3	2	78.34 ± 0.51
8	3	2	1	3	76.27 ± 0.52
9	3	3	2	1	78.96 ± 0.47
K_1	240.47	237.24	237.38	243.55	
K_2	237.55	237.76	234.76	236.35	
K_3	233.57	236.59	239.45	231.69	
R	6.90	1.17	4.69	11.86	

由表2可知,各因素对花生蛋白溶解度影响大小依次为 $D > A > C > B$,即酶解时间 > 酶添加量 > 酶解温度 > pH,最优组合条件为 $A_1B_2C_3D_1$,即酶添加量 3.0 mL、pH 10、酶解温度 50℃、酶解时间 60 min。对最优组合条件进行验证,联合改性花生蛋白溶解度为 $(82.87 \pm 0.51)\%$ 。

2.3 联合改性对花生蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

2.3.1 对起泡性的影响

未改性花生蛋白、高静压改性花生蛋白(按1.2.2步骤在静压力为300 MPa下处理样品后直接冷冻干燥制备)、联合改性花生蛋白(按正交试验最优条件制备)的起泡性见图6。

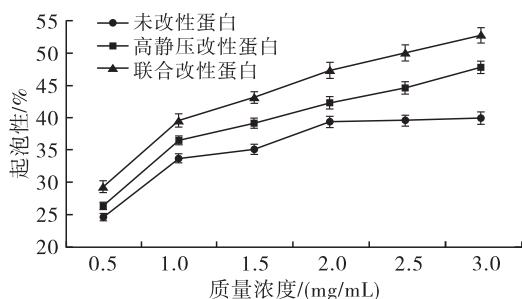


图6 花生蛋白的起泡性

由图6可知,随着花生蛋白质量浓度的增加,3种花生蛋白的起泡性均增加,且改性花生蛋白起泡性较未改性花生蛋白有显著提高。当花生蛋白质量浓度为3.0 mg/mL时,联合改性花生蛋白起泡性达到52.83%,而未改性花生蛋白起泡性仅为39.95%。这可能是因为联合改性后蛋白质的二硫键断裂,空间结构发生变化,内部疏水基团暴露,增加了蛋白在气液界面的吸附能力,起泡性增强;另外,构象变化也会导致界面处蛋白柔性增加,起泡性变大^[15]。

2.3.2 对泡沫稳定性的影响

未改性花生蛋白、高静压改性花生蛋白、联合改性花生蛋白的泡沫稳定性见图7。

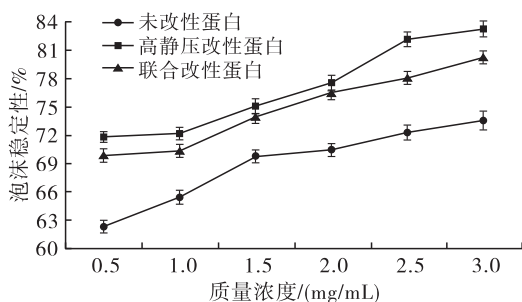


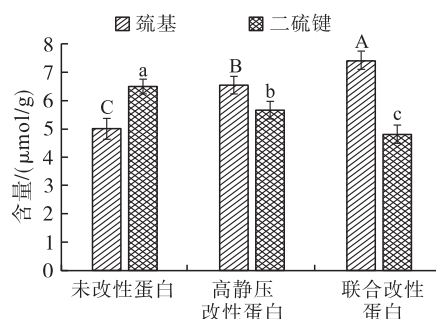
图7 花生蛋白的泡沫稳定性

由图7可知,随着花生蛋白质量浓度的增加,3

种花生蛋白的泡沫稳定性呈增加趋势,原因是蛋白泡沫稳定性与液相黏度和吸附膜厚度有关,当蛋白浓度增高时,溶液黏度增大,吸附在气液界面的蛋白增多,形成了黏性很高的薄膜,泡沫稳定性增加。高静压改性花生蛋白的泡沫稳定性显著增大,原因可能是高静压破坏了蛋白质结构,暴露出更多的疏水基团,同时降低了液体表面张力,使蛋白质快速分布于气液界面,蛋白质间相互作用、水合性质增强,蛋白膜增厚,泡沫稳定性增强^[16];而联合改性花生蛋白的蛋白质分解度更高,黏度降低,导致蛋白膜不稳定,加之亲水基团的暴露,表面张力增大,导致泡沫稳定性增加程度较小。

2.4 联合改性对花生蛋白巯基和二硫键含量的影响

二硫键属于稳定的共价键,对维系蛋白质的空间结构及调节生物活性有重要作用。未改性花生蛋白、高静压改性花生蛋白、联合改性花生蛋白的巯基和二硫键含量见图8。



注:同一指标不同字母表示差异显著($p < 0.05$)

图8 花生蛋白巯基和二硫键含量

由图8可知,与未改性花生蛋白相比,高静压改性及联合改性花生蛋白巯基含量均显著增加,二硫键含量均显著降低,且联合改性花生蛋白性质改变更加明显。联合改性花生蛋白巯基含量由改性前的5.02 μmol/g增加到7.42 μmol/g,二硫键含量由改性前的6.51 μmol/g下降到4.82 μmol/g,原因可能是在高静压及酶的作用下蛋白质的一级结构及空间结构改变,蛋白质内部的二硫键暴露,维系二硫键的共价键断裂形成巯基导致。李坤等^[17]研究发现花生主要过敏原Ara h2有4个二硫键,而联合改性降低了二硫键含量,推测联合改性可有效减少花生蛋白的致敏性。

2.5 联合改性对花生蛋白总还原能力的影响

未改性花生蛋白、高静压改性花生蛋白、联合改性花生蛋白及维生素C的总还原能力如图9所示。

由图9可知,随着花生蛋白质量浓度增加,未改性花生蛋白、高静压改性花生蛋白、联合改性花生蛋

白的总还原能力均呈增加趋势。花生蛋白质量浓度为 3.0 mg/mL 时,未改性花生蛋白总还原能力为 0.24,而联合改性花生蛋白总还原能力为 0.51,联合改性花生蛋白的总还原能力相较于未改性花生蛋白有显著提高,但均低于同质量浓度维生素 C 的。改性后花生蛋白中的抗氧化氨基酸序列得以释放,且花生蛋白中存在具有活性氢供体的氨基酸,如色氨酸、酪氨酸等,可形成苯氧自由基、吡啉自由基中间体,从而导致自由基链式反应减慢或停止^[18-19]。

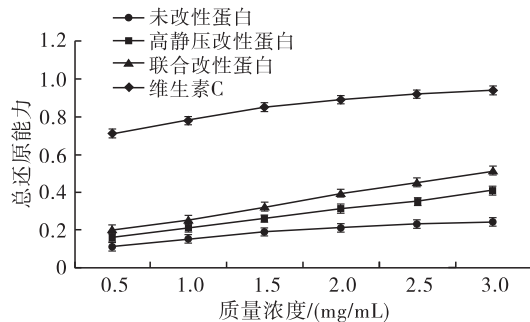


图9 花生蛋白的总还原能力

3 结论

本研究采用高静压联合碱性蛋白酶酶法改性花生蛋白,采用正交试验优化联合改性的工艺条件,并考察了联合改性花生蛋白的起泡性和泡沫稳定性、巯基和二硫键含量以及总还原能力。结果表明:最佳的花生蛋白联合改性条件为静压力 300 MPa、1 g/100 mL 碱性蛋白酶添加量 3.0 mL (100 mL 质量分数 5% 花生蛋白溶液)、酶解时间 60 min、pH 10、酶解温度 50 ℃,在此条件下联合改性花生蛋白溶解度为 (82.87 ± 0.51)%;联合改性后花生蛋白起泡性和泡沫稳定性、巯基含量及总还原能力较未改性花生蛋白均有提高,而联合改性花生蛋白的二硫键含量较未改性花生蛋白明显降低。综上,高静压联合碱性蛋白酶酶法改性可以改善花生蛋白的功能特性,为其深加工和更广泛的应用提供技术支持。

参考文献:

- [1] 张明振,张京良,丛晓飞,等.花生精深加工研究进展[J].农产品加工,2023(15):69-73,77.
- [2] 陈海文,徐思亮,郭建斌,等.不同花生品种白藜芦醇含量鉴定评价[J].中国油料作物学报,2021,43(5):942-946.
- [3] 周婷婷,吕茜,张玉玉,等.高静压处理对花生蛋白的改性研究[J].食品研究与开发,2013,34(1):18-22.
- [4] 李响,张焕丽,郭世龙,等.不同改性方法对花生蛋白理化特性影响研究[J].中国粮油学报,2021,36(9):101-108,193.
- [5] 李侠,章绍兵.pH值对水剂法提取花生蛋白凝胶特性的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2019,40(5):53-58.
- [6] 刘加艳,任宇鹏.米糠蛋白的静高压联合酶法改性工艺优化及其特性研究[J].中国油脂,2021,46(7):75-79,91.
- [7] 韩莉君,杨清馨,刘少伟.微波处理对花生蛋白功能特性和结构的影响[J].食品科技,2023,48(3):216-223.
- [8] 赵维高,刘文营,黄丽燕,等.食品加工中蛋白质起泡性的研究[J].农产品加工:学刊,2012(11):69-72.
- [9] ELLMAN G L. Tissue sulfhydryl groups [J]. Arch Biochem Biophys, 1959, 82(1): 70-77.
- [10] 赵荣生,孙锡南,王鑫,等.桑叶蛋白提取工艺优化及其酶解蛋白体外抗氧化活性[J].食品研究与开发,2022,43(22):138-144,152.
- [11] 陈梦婷,郑昌亮,汪兰,等.超高压技术在蛋白质改性和活性肽制备中的应用研究进展[J].食品科学,2023,44(5):298-304.
- [12] ZHU S M, LIN S L, RAMASWAMY H S, et al. Enhancement of functional properties of rice bran proteins by high pressure treatment and their correlation with surface hydrophobicity [J]. Food Bioprocess Technol, 2017, 10(2): 317-327.
- [13] ZHAO G L, LIU Y, ZHAO M M, et al. Enzymatic hydrolysis and their effects on conformational and functional properties of peanut protein isolate [J]. Food Chem, 2011, 127(4): 1438-1443.
- [14] 王真真,史晶晶,汪姣蓉,等.超声辅助酶法提取米渣中蛋白的研究[J].农产品加工,2021(7):6-10
- [15] 庞磊,郑嘉宜,刘伯业.花生蛋白改性技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2022,13(21):7042-7048.
- [16] 耿军凤,张丽芳,陈复生.超声波辅助提取对花生蛋白结构与功能特性的影响[J].食品研究与开发,2020,41(9):61-69.
- [17] 李坤,连君,朱瑾,等.还原协同加热处理对花生过敏原 Ara h2 结构及抗原性的影响[J].食品科学,2017,38(11):89-94.
- [18] 刘昭明,黄翠姬,李花,等.不同链长花生蛋白肽的体外抗氧化活性研究[J].食品与机械,2009,25(6):52-55.
- [19] 刘洪对,于丽娜,高俊安,等.五种花生抗氧化肽体外抗氧化活性比较[J].核农学报,2013,27(8):1162-1167.