

花椒籽仁分离蛋白起泡力及泡沫稳定性的影响因素研究

付本宁, 李超, 潘姝璇, 蒋培基, 徐丹萍, 蒲彪

(四川农业大学 食品学院, 四川 雅安 625000)

摘要: 研究花椒籽仁分离蛋白起泡力及泡沫稳定性的影响因素。以花椒籽仁为原料制备花椒籽仁分离蛋白, 分别测定在不同的 pH、NaCl 浓度、蔗糖质量分数以及温度条件下 10 mg/mL 的花椒籽仁分离蛋白的起泡力和泡沫稳定性, 并通过单因素试验和正交试验确定各因素对起泡性的影响程度及其最佳条件。结果表明: 随着 pH、NaCl 浓度、蔗糖质量分数和温度的增加, 花椒籽仁分离蛋白的起泡力和泡沫稳定性均呈先上升后下降的趋势; 通过正交试验得出花椒籽仁分离蛋白起泡性的最佳工艺条件为溶液 pH 13、NaCl 浓度 0.2 mol/L、温度 45 °C、蔗糖质量分数 5%, 该条件下花椒籽仁分离蛋白的起泡力达到 380.58%, 泡沫稳定性达到 86.43%。

关键词: 花椒籽仁分离蛋白; 起泡力; 泡沫稳定性; 正交试验

中图分类号: TS201.2; TQ936.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7969(2018)09-0040-05

Factors affecting foaming ability and foam stability of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seed kernel protein isolate

FU Benning, LI Chao, PAN Shuxuan, JIANG Peiji, XU Danping, PU Biao
(Food College, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625000, Sichuan, China)

Abstract: The factors affecting foaming ability and foam stability of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seed kernel protein isolate were studied. With *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seed kernel as raw material, *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seed kernel protein isolate was prepared. The foaming ability and foam stability of 10 mg/mL *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seed kernel protein isolate were determined under different conditions of pH, NaCl concentration, sucrose mass fraction and temperature. The influence degree of various factors on the foaming property and the optimal conditions were determined by single factor experiment and orthogonal experiment. The results showed that the foaming ability and foam stability of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seed kernel protein isolate first increased and then decreased with the increasing of pH, NaCl concentration, sucrose mass fraction and temperature. The optimal conditions of foaming property were obtained as follows: solution pH 13, NaCl concentration 0.2 mol/L, temperature 45 °C and sucrose mass fraction 5%. Under these conditions, the foaming ability and foam stability of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seed kernel protein isolate reached 380.58% and 86.43% respectively.

Key words: *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seed kernel protein isolate; foaming ability; foam stability; orthogonal experiment

收稿日期: 2017-12-28; 修回日期: 2018-07-12

基金项目: 四川省科技厅科技支撑计划重点研发项目(2018SZ0064)

作者简介: 付本宁(1991), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品新资源利用与新产品开发(E-mail) 171983628@qq.com。

通信作者: 蒲彪, 教授, 博士生导师(E-mail) pubiao2002@163.com。

花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.)在我国有非常悠久的栽培历史, 是我国饮食文化中的传统调味料, 含有挥发精油、蛋白质等多种有效成分^[1]。花椒品种较多, 超过 200 种, 主产地为亚洲, 我国的种植面积最大, 除东北和内蒙古等少数地区外均有

种植^[2]。花椒籽是花椒脱去外种皮后的籽实,分为种皮和种仁,种皮和种仁分别占整籽质量的30%和70%,种皮包括表层和硬壳两部分,种仁中含有丰富的油脂和蛋白质^[3-4]。花椒籽中粗蛋白质含量14%~18%,其脱脂后的饼粕中蛋白质含量高达48%以上,而种仁中蛋白质含量为41.17%,脱脂后高达60.34%,是一种优质的植物蛋白质资源^[5-6]。目前,对花椒籽的研究主要集中在油脂提取工艺及其成分分析上^[7-9],对花椒籽蛋白的研究较少。

起泡性是蛋白质的重要的功能性质之一,在蛋糕、肉制品、面包、冰淇淋等食品加工过程中发挥着非常重要的作用,并作为一个质量控制指标^[10]。目前,人们常把影响蛋白质的起泡性的因素分为内在因素和外在因素。内在因素主要是蛋白质分子本身的分子构成和结构特征,外在因素主要为化学因素和物理因素,如热处理、温度、pH、糖类等^[11-12]。关于蛋白质起泡性研究较多的是大豆分离蛋白,研究发现,在20~90℃时,随着溶解温度升高,大豆分离蛋白的起泡力逐渐增强,泡沫稳定性则逐渐下降,而且不同厂家的大豆分离蛋白起泡力及泡沫稳定性存在显著性差异^[13-14]。通过肖连冬等^[15]对大豆分离蛋白的起泡性因素试验可以看出,蛋白质质量浓度、加热温度、pH、离子强度、卡拉胶质量浓度、蔗糖添加量以及山梨酸钾使用量对大豆分离蛋白的起泡性均有不同程度影响。同时也有对其他植物分离蛋白起泡性的研究,例如关于椰子^[16]、豌豆^[17-18]、红松种子^[19]等的研究。目前,国内外对于花椒籽仁分离蛋白的起泡特性的研究较少,有关于其起泡力和泡沫稳定性影响因素的研究更少。

本文研究pH、NaCl浓度、蔗糖质量分数、温度对花椒籽仁分离蛋白起泡性的影响,以期制备营养价值和功能特性更好的花椒籽仁分离蛋白奠定基础,从而更好地开发利用花椒籽仁蛋白资源,开拓花椒籽在食品工业中的新应用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

花椒籽:蛋白质含量约为22.67%,由四川省洪雅县么麻子食品有限公司提供;盐酸、氢氧化钠、氯化钠、石油醚(30~60℃),分析纯,成都市科龙化工试剂厂。

CP225D型电子天平,德国Sartorius公司;LGJ-18S型冷冻干燥机,宁波新艺超声设备有限公司;KDN-C型凯氏定氮仪,上海新嘉电子有限公司;FJ200-SH型数显高速分散均质机,上海标本模型厂;PHSJ-4A型pH计,上海精密科学仪器有限公司;电子恒温水浴锅。

1.2 试验方法

1.2.1 原料预处理

花椒籽经破碎去壳、烘干、粉碎至过40目筛,以石油醚作为提取剂在料液比为1:13的条件下脱去花椒籽仁中的油脂,脱脂后的花椒籽仁再次烘干并粉碎至80目备用。

1.2.2 盐提法制取花椒籽仁分离蛋白

脱脂后的花椒籽仁按照1:20的料液比加入1.2 mol/L NaCl溶液,并用0.1 mol/L的NaOH溶液调节pH至11,50℃振荡提取35 min,离心(4 000 r/min,20 min)后取上清液透析72 h,再经真空冷冻干燥制得花椒籽仁分离蛋白样品,并按照GB 5009.5—2010测得蛋白质纯度为93.17%,提取率为88.77%,4℃存放备用。

1.2.3 起泡力和泡沫稳定性的测定

分别取100 mg花椒籽仁分离蛋白样品溶解于不同pH、NaCl浓度、蔗糖质量分数的10 mL溶液中,在不同的水浴温度下恒温水浴30 min,均质1 min(12 000 r/min),记录均质前后溶液的体积。做3组平行试验。

起泡性的评价方法以起泡力及泡沫稳定性表示。

1.2.3.1 起泡力的测定

参考肖连冬等^[15]的方法,起泡力以均质后增加的体积与原始体积之比表示。按下式计算起泡力。

$$\text{起泡力} = (V_1 - V_0) / V_0 \times 100\%$$

式中: V_0 为溶液的初始体积; V_1 为均质后溶液的体积。

1.2.3.2 泡沫稳定性的测定

参考Sathe^[20]的方法,将均质后的样品静置30 min后,记录泡沫体积,试验重复3次,取平均值。按下式计算泡沫稳定性。

$$\text{泡沫稳定性} = (V_2 - V_0) / (V_1 - V_0) \times 100\%$$

式中: V_0 为溶液的初始体积; V_1 为均质后溶液的体积; V_2 为均质后静置30 min溶液体积。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 不同pH对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响

固定NaCl浓度0.4 mol/L、蔗糖质量分数4%、温度40℃,考察不同pH对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响,结果如图1所示。

由图1可知,在pH为6~12时,随着pH的增加花椒籽仁分离蛋白的起泡力和泡沫稳定性呈上升趋势;在pH 12时花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫

稳定性同时达到最大值;pH 大于 12 时,花椒籽仁分离蛋白的起泡力和泡沫稳定性呈下降趋势。蛋白质的起泡性增加可能是因为 pH 的变化引起花椒籽仁分离蛋白表面净电荷的变化从而改变了蛋白质溶解度的大小、相互作用力与持水力,使得蛋白质的起泡力与泡沫稳定性发生了变化。此外,可溶性蛋白参与泡沫的形成使得极性基团增多,从而提高了花椒籽仁分离蛋白表面的疏水性,增大了起泡力;液膜是影响泡沫稳定性的主要因素,液膜的强度与表面吸附膜的坚固性关系较大,随 pH 的增大,表面活性较高,故泡沫稳定性也高^[15]。因此,选择 pH 为 12。

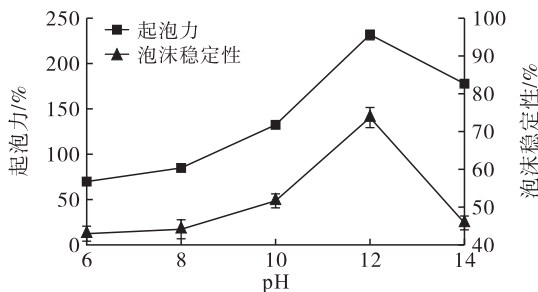


图1 pH对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响

2.1.2 不同 NaCl 浓度对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响

固定蔗糖质量分数 4%、pH 12、温度 40℃,考察不同 NaCl 浓度对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响,结果如图 2 所示。

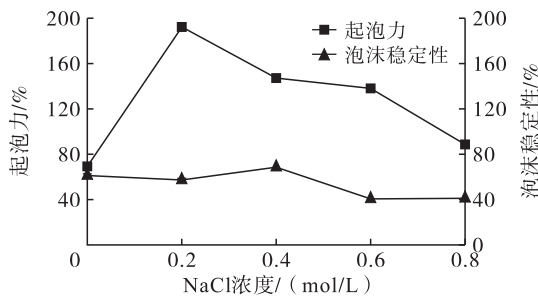


图2 NaCl 浓度对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响

由图 2 可知,离子强度影响蛋白质起泡力和泡沫稳定性。NaCl 浓度在 0~0.2 mol/L 范围内,随 NaCl 浓度的增大,花椒籽仁分离蛋白的起泡力呈上升趋势,NaCl 浓度在 0.2 mol/L 起泡力最强,NaCl 浓度高于 0.2 mol/L 时起泡力逐渐下降;NaCl 浓度在 0~0.4 mol/L 范围内泡沫稳定性逐渐上升,在 0.4 mol/L 时泡沫稳定性最高,NaCl 浓度高于 0.4 mol/L 时泡沫稳定性逐渐下降。这可能是由于适当地加大 NaCl 浓度相对蛋白质有盐溶效果从而加强了蛋白质的起泡力;但是离子强度加大会使蛋白质产生静电屏蔽现象,降低了蛋白质在水中的溶解度,导致蛋白质起泡力下

降。综合考虑,选择 NaCl 浓度为 0.2 mol/L。

2.1.3 不同蔗糖质量分数对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响

固定 NaCl 浓度 0.2 mol/L、pH 12、温度 40,考察不同蔗糖质量分数对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响,结果如图 3 所示。

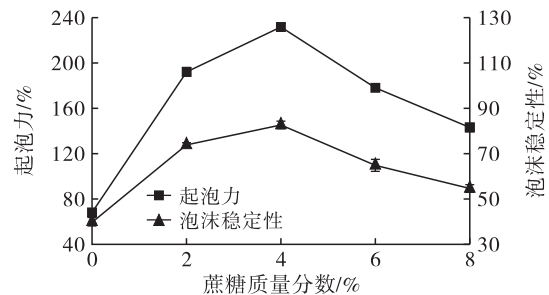


图3 蔗糖质量分数对花椒籽仁分离蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

由图 3 可知,蔗糖质量分数在 0%~4% 范围内时,花椒籽仁分离蛋白的起泡力和泡沫稳定性均随着蔗糖质量分数的增加逐渐增大,在蔗糖质量分数 4% 时,蛋白质的起泡力和泡沫稳定性均达到最大值;而蔗糖质量分数大于 4% 时,花椒籽仁分离蛋白的起泡力和泡沫稳定性均随着蔗糖质量分数的增加呈下降趋势。可能是由于蔗糖质量分数的增加使得溶液的黏性提高,从而增强蛋白质的起泡力,然而蔗糖质量分数达到一定水平后,过高的蔗糖质量分数使得溶液黏度太大,蛋白质分子吸附在界面上时较难展开,降低了蛋白质在均质时产生大的界面面积和泡沫体积的能力,因此导致蛋白质的起泡力下降^[21]。因此,选择蔗糖质量分数 4%。

2.1.4 不同温度对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响

固定 NaCl 浓度 0.2 mol/L、pH 12、蔗糖质量分数 4%,考察不同温度对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响,结果如图 4 所示。

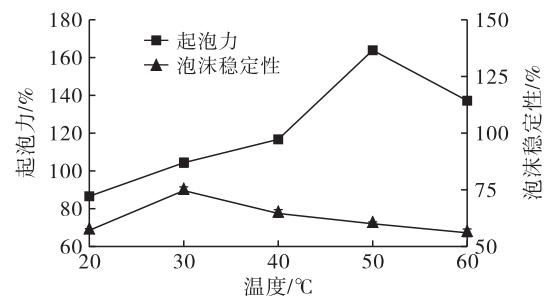


图4 温度对花椒籽仁分离蛋白起泡力和泡沫稳定性的影响

由图 4 可知,温度在 20~50℃ 时,随着温度的升高,花椒籽仁分离蛋白的起泡力呈上升趋势,当温

度达到 50℃ 时起泡力达到最大值,当温度超过 50℃ 时,起泡力逐渐降低;温度在 20~30℃ 时,随着温度的升高花椒籽仁分离蛋白的泡沫稳定性呈上升趋势,当温度达到 30℃ 时泡沫稳定性达到最大值,当温度超过 30℃ 时,泡沫稳定性呈下降趋势。可能是因为温度升高,蛋白质在溶液中的溶解度增加,蛋白质的起泡力增强而稳定性降低;当温度上升到一定水平后,蛋白质的二、三、四级结构都受到影响,发生不可逆的变性作用,从而导致蛋白质的溶解度急剧减小,蛋白质的起泡力变弱^[14-15]。综合考虑,选择温度为 50℃。

2.2 正交试验

根据单因素试验结果,选取 pH、NaCl 浓度、蔗糖质量分数、温度 4 个因素进行四因素三水平正交试验,并对正交试验结果进行分析验证,从而得到起泡力和泡沫稳定性的最优条件。正交试验因素水平见表 1,正交试验设计及结果见表 2。

表 1 正交试验因素水平

水平	A pH	B NaCl 浓度/ (mol/L)	C 蔗糖质量 分数/%	D 温度/℃
1	11	0.1	3	45
2	12	0.2	4	50
3	13	0.3	5	55

表 2 正交试验设计及结果

试验号	A	B	C	D	起泡力/%	泡沫稳定性/%
1	1	1	1	1	135.33	80.04
2	1	2	2	2	68.67	38.75
3	1	3	3	3	88.15	68.33
4	2	1	2	3	163.04	50.16
5	2	2	3	1	341.06	79.43
6	2	3	1	2	152.33	53.40
7	3	1	3	2	241.67	75.24
8	3	2	1	3	317.34	64.52
9	3	3	2	1	186.67	76.21
起泡力						
k_1	97.38	180.01	201.67	221.02		
k_2	218.81	242.36	139.46	154.22		
k_3	248.56	142.38	223.63	189.51		
R	151.18	99.98	84.17	66.80		
泡沫稳定性						
k_1	62.37	68.47	65.98	78.55		
k_2	60.99	60.89	55.04	55.79		
k_3	71.99	65.99	74.32	61.00		
R	11.00	7.58	19.28	22.76		

由表 2 可知,4 个因素对起泡力的影响大小为 A>B>C>D,即 pH>NaCl 浓度>蔗糖质量分数>温度,其中 pH 对花椒籽仁分离蛋白起泡力的影响

最大,温度的影响最小;4 个因素对泡沫稳定性的影响大小依次为 D>C>A>B,即温度>蔗糖质量分数>pH>NaCl 浓度,其中温度对花椒籽仁分离蛋白的泡沫稳定性影响最大,NaCl 浓度的影响最小。得到起泡力最好的因素水平组合为 A₃B₂C₃D₁,泡沫稳定最好的因素水平组合为 A₃B₁C₃D₁,二者的最优条件并不吻合,最适 NaCl 浓度存在差异;为了使花椒籽仁分离蛋白同时具有较好的起泡力和泡沫稳定性,分析比较 NaCl 浓度对起泡力和泡沫稳定性影响程度,NaCl 浓度对泡沫稳定性的影响相对较小;因此选用 A₃B₂C₃D₁ 组合作为花椒籽仁分离蛋白起泡性的最佳条件,即 pH 13、NaCl 浓度 0.2 mol/L、蔗糖质量分数 5%、温度 45℃。经验证试验表明,该条件下花椒籽仁分离蛋白的起泡力达到 380.58%,泡沫稳定性达到 86.43%。

3 结论

通过对花椒籽仁分离蛋白起泡力及泡沫稳定性影响因素研究得出,各因素对起泡力的影响大小为:pH>NaCl 浓度>蔗糖质量分数>温度;对泡沫稳定性的影响大小为:温度>蔗糖质量分数>pH>NaCl 浓度。确定起泡力最好因素水平组合(A₃B₂C₃D₁)和泡沫稳定最好的因素水平组合(A₃B₁C₃D₁)并不吻合,最适 NaCl 浓度存在差异;通过分析 NaCl 浓度对起泡沫稳定性的影响程度,得出花椒籽仁分离蛋白起泡性的最佳条件为:pH 13、NaCl 浓度 0.2 mol/L、温度 45℃、蔗糖质量分数 5%。经验证试验表明,该条件下花椒籽仁蛋白的起泡力为 380.58%,泡沫稳定性达到 86.43%。

参考文献:

- [1] 寇明珏. 花椒籽蛋白质分离提取及功能性质的研究[D]. 重庆:西南大学, 2006.
- [2] 中国农业百科全书总编辑委员会. 中国农业百科全书:林业卷[M]. 北京:中国农业出版社, 1989.
- [3] 赵国华. 中国蛋白质饲料资源[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2013.
- [4] ZHAO L C, WANG Y F, LIU C J, et al. Climatic implications of fruit and seed assemblage from Miocene of Yunnan, southwestern China[J]. Quatern Int, 2004, 117(1):81-89.
- [5] 唐宝奎. 花椒籽——一种极待开发利用的油脂资源[J]. 中国野生植物资源, 1992(2):24-26.
- [6] 杨令叶. 韩城大红袍花椒籽种仁蛋白质分离提取和性能的研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2008.
- [7] 张剑, 王焯军. 制备生物柴油用高游离脂肪酸花椒籽油的酯化法降酸[J]. 应用化工, 2012, 41(3):384-385, 393.

(下转第 48 页)

模式。且 EAAI 值为 86.69, 可见奇亚籽蛋白中氨基酸组成均衡, 是一种优质的蛋白质资源, 具有较高的食用价值。

参考文献:

- [1] CAHILL J P. Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae)[J]. *Econ Bot*, 2003, 57(4): 604 - 618.
- [2] AYERZA R, COATES W. Chia; rediscovering a forgotten crop of the Aztecs[M]. Arizona: University of Arizona Press, 2005.
- [3] CAPITANI M I, SPOTORNO V, NOLASCO S M, et al. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2012, 45(1): 94 - 102.
- [4] 荣旭, 陶宁萍, 李玉琪, 等. 奇亚籽营养成分分析与评价[J]. *中国油脂*, 2015, 40(9): 89 - 93.
- [5] MOHD A, YEAP S K, HO W Y, et al. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. [J]. *J Biomed Biotechnol*, 2012, 2012: 171956.
- [6] TIMILSENA Y P, WANG B, ADHIKARI R, et al. Preparation and characterization of chia seed protein isolate - chia seed gum complex coacervates[J]. *Foohyes*, 2015, 52: 554 - 563.
- [7] REYES - CAUDILLO E, TECANTE A, VALDIVIA - LÓPEZ M A. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds[J]. *Food Chem*, 2008, 107(2): 656 - 663.
- [8] 吴芳, 郭卫东, 张润, 等. 荧光法测定微藻中色氨酸的含量[J]. *海洋科学*, 2005, 29: 1 - 4.
- [9] LISTED N. Protein quality evaluation. Joint FAO/WHO [J]. *FAO Food Nutrition Paper*, 1991, 51: 1 - 66.
- [10] HODEK O, KRÍŽEK T, COUFAL P, et al. Design of experiments for amino acid extraction from tobacco leaves and their subsequent determination by capillary zone electrophoresis[J]. *Anal Bioanal Chem*, 2017, 409(9): 1 - 9.
- [11] ULBRICHT C, CHAO W, NUMMY K, et al. Chia (*Salvia hispanica*): a systematic review by the natural standard research collaboration[J]. *Rev Recent Clin Trials*, 2009, 4(3): 168 - 174.
- [12] LONGVAH T, MANGTHYA K, RAMULU P. Nutrient composition and protein quality evaluation of erisilkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae [J]. *Food Chem*, 2011, 128(2): 400 - 403.
- [13] 丁莎莎, 黄立新, 张彩虹, 等. 油橄榄果渣水溶性膳食纤维的组成成分和功能特性分析[J]. *林产化学与工业*, 2017(6): 110 - 116.
- [14] LI F, YING Y, TAN B, et al. Leucine nutrition in animals and humans; mTOR signaling and beyond [J]. *Amino Acids*, 2011, 41(5): 1185 - 1193.
- [15] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2009.
- [16] 丁月, 陶宁萍, 魏志宇, 等. 养殖博氏(鱼芒)肉营养成分的分析及评价[J]. *水产学报*, 2011(12): 1857 - 1864.
- [17] 钟春梅, 王小菁. 富含半胱氨酸的 GASA 小分子蛋白研究进展[J]. *植物学报*, 2016, 51(1): 1 - 8.
- [18] 谢良, 王璋, 蔡宝玉. 大豆分离蛋白的组成与功能性质[J]. *中国粮油学报*, 2000, 15(6): 6 - 10.
- (上接第 43 页)
- [8] 刘春叶, 张剑, 苗延青, 等. 花椒籽油的提取及 GC - MS 分析[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(6): 3594 - 3596, 3599.
- [9] 徐文秀, 翟永亮. 超声波辅助提取花椒籽油的工艺研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(4): 62 - 66.
- [10] 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.
- [11] ISTAROVA T A. Effect of pH on the interactions of sodium caseinate with soy phospholipids in relation to the foaming ability of their mixtures[J]. *Food Hydrocoll*, 2005, 19(3): 429 - 440.
- [12] MARINOVA K G, BASHEVA E S, NENOVA B, et al. Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: sodium caseinate and whey protein concentrates[J]. *Food Hydrocoll*, 2009, 23(7): 1864 - 1876.
- [13] 邓塔, 李军生, 肖海波, 等. 大豆分离蛋白表面活性比较分析[J]. *粮油食品科技*, 2013, 21(3): 35 - 38.
- [14] 李维瑶, 何志勇, 熊幼翎, 等. 温度对于大豆分离蛋白起泡性的影响研究[J]. *食品工业科技*, 2010(2): 86 - 88.
- [15] 肖连冬, 程爽, 李杰. 大豆分离蛋白起泡性和乳化性影响因素的研究[J]. *中国酿造*, 2014(4): 83 - 86.
- [16] 刘磊, 郑亚军, 李艳, 等. 椰子分离蛋白起泡性、黏度及其影响因素的研究[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(12): 2358 - 2362.
- [17] 何希强, 肖怀秋, 王穗萍. 豌豆蛋白质起泡性与乳化性研究初探[J]. *粮油食品科技*, 2008, 16(3): 50 - 53.
- [18] 沙金华. 豌豆分离蛋白的制备、性质及应用研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2009.
- [19] 吴晓红, 毛坤财, 王宏伟, 等. 红松种子水溶性蛋白乳化性及起泡性研究[J]. *中国油脂*, 2011, 36(9): 31 - 33.
- [20] SATHE S K. Functional properties of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris* L.) proteins: emulsion, foaming, viscosity, and gelation properties[J]. *J Food Sci*, 1981, 46(1): 71 - 81.
- [21] 赵国华. 胡麻籽分离蛋白的溶解性与起泡性研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(9): 95 - 98.