

奇亚籽蛋白的提取和营养评价

文 宁¹, 宁伟伟¹, 陶宁萍^{1,2}

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要:以奇亚籽粕为原料, 采用碱提酸沉法提取奇亚籽蛋白, 研究不同提取条件对奇亚籽蛋白提取率的影响。对提取的奇亚籽蛋白进行氨基酸组成分析和评价, 并与大豆分离蛋白进行对比。结果表明: 奇亚籽蛋白的等电点为 4.2; 在液料比 35:1、pH 9.5、提取温度 45 °C、提取时间 40 min、重复提取 2 次的条件下, 奇亚籽蛋白的提取率达到 61.52%; 奇亚籽蛋白氨基酸总量为 (991.84 ± 0.26) mg/g, 其中必需氨基酸总量为 (351.14 ± 0.18) mg/g, 均高于大豆分离蛋白; 根据 EAAI, 奇亚籽蛋白的氨基酸组成比大豆分离蛋白更接近标准蛋白, 具有较高的营养价值。

关键词:奇亚籽蛋白; 碱提酸沉; 氨基酸分析; 营养评价

中图分类号: TS229; TQ936.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2018)09-0044-05

Extraction and nutrition evaluation of Chia (*Salvia hispanica*) protein

WEN Ning¹, NING Weiwei¹, TAO Ningping^{1,2}

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic - Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China)

Abstract: Chia seed meal was used as raw material to extract Chia protein by alkali extraction and acid precipitation method. The effects of different conditions on the extraction yield were studied. Amino acid composition of Chia protein was analyzed and its nutritional value was evaluated and compared with soybean protein isolate. The results showed that the isoelectric point of Chia protein was 4.2. Under the conditions of ratio of water to material 35:1, pH 9.5, extraction temperature 45 °C, extraction time 40 min, and extraction for twice, the extraction rate of Chia protein was 61.52%. The total amount of amino acids was (991.84 ± 0.26) mg/g, and the content of essential amino acids was (351.14 ± 0.18) mg/g, which were higher than those of soybean protein isolate. According to EAAI, the essential amino acid composition of the Chia protein was closer to the standard protein than soybean protein isolate. The Chia protein had high nutritional value.

Key words: Chia protein; alkali extraction and acid precipitation; amino acid analysis; nutrition evaluation

奇亚 (*Salvia hispanica*) 起源于墨西哥和危地马拉等地, 奇亚籽是该植物的种子^[1-2]。在南美洲, 奇亚有着悠久的种植和食用历史^[3]。奇亚籽中富含蛋白质、膳食纤维、矿物质等成分^[4], 奇亚籽的蛋白质含量高于其他传统作物如大麦、玉米、燕麦、小麦、

大米等^[5]。奇亚籽蛋白包括 4 种成分, 其中球蛋白是主要成分 (占 52%), 白蛋白、谷蛋白和醇溶蛋白比例相当, 具有良好的持水性和起泡性^[6]。奇亚籽膳食纤维尤其是水溶性膳食纤维含量高, 具有一定润肠通便的作用, 但是会干扰蛋白质的提取^[7]。经分析测定, 奇亚籽粕中蛋白质含量约占 38%, 膳食纤维含量占 6%。本文在预试验的基础上, 采用碱提酸沉法提取奇亚籽蛋白, 研究不同提取条件对奇亚籽蛋白提取率的影响, 并对奇亚籽蛋白的营养特性等进行研究, 为奇亚籽蛋白的进一步开发利用提

收稿日期: 2018-03-29; 修回日期: 2018-07-23

作者简介: 文 宁 (1993), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与品质评价 (E-mail) 974045490@qq.com。

通信作者: 陶宁萍, 教授 (E-mail) npta@shou.edu.cn。

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

奇亚籽,上海中福集团有限公司;奇亚籽粕,奇亚籽饼经正己烷脱脂处理后干燥制得,残油量(0.56±0.04)%,实验室制备;大豆分离蛋白(纯度>99%),西亚试剂公司;17种氨基酸标品,国家标准物质中心;盐酸、氢氧化钠、无水乙醇,分析纯;色氨酸标准品,中国国药集团化学试剂有限公司;试验用水,均为实验室自制。

1.1.2 仪器与设备

Kjeltec 8400 全自动定氮仪;Soxtec 自动索氏抽提系统;Fibertec 2010 膳食纤维分析系统 Fiber E;DHG-9140A 型鼓风干燥箱;FOSS 高速粉碎机;SALVIS VC20 真空干燥箱;SXL-1002 型马弗炉;L-8800 氨基酸自动分析仪;Mini-PROTEAN Tetra System;Avanti J-26XP 高速冷冻离心机。

1.2 试验方法

1.2.1 基本营养成分含量测定

蛋白质:参照 GB 5009.5—2010;脂肪:参照 GB 5009.6—2003;膳食纤维:参照 AOAC 991.43;碳水化合物:参照 GB/Z 21922—2008 2.2.8,选用差减法计算;水分:参照 GB 5009.3—2010;灰分:参照 GB 5009.4—2010;氨基酸:参照 GB 5009.124—2003,用氨基酸自动分析仪测定,色氨酸的测定参考吴芳等^[8]方法。

1.2.2 奇亚籽蛋白等电点的确定

奇亚籽粕经高速粉碎机粉碎 1 min 后过 60 目筛,准确称取 5.00 g 于锥形瓶,按液料比 30:1 加入蒸馏水,在 50℃ 下用 1 mol/L NaOH 溶液调节 pH 至 9,第一次提取 45 min,第二次提取 45 min,6 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,用量筒平均分成 6 份,再用 1 mol/L HCl 调节溶液 pH 至 3.4、3.6、3.8、4.0、4.2、4.4。静置 2 h,6 000 r/min 离心 10 min,计算沉淀量,以 pH 为横坐标、沉淀量为纵坐标绘图,分析不同 pH 条件对奇亚籽蛋白沉淀量的影响,从而确定其等电点。

1.2.3 奇亚籽蛋白提取工艺

奇亚籽粕经高速粉碎机粉碎 1 min 后过 60 目筛,准确称取 5.00 g 于锥形瓶,加入一定比例蒸馏水,在一定温度下调节 pH,搅拌一定时间后离心分离,对不溶物重复上述操作,将两次碱提得到的上清液混合并在一定 pH 条件下酸沉,将得到的粗蛋白凝乳水洗至 pH 呈中性后真空干燥,即得奇亚籽蛋

白,按下式计算提取率。

提取率 = 奇亚籽蛋白质量 / 奇亚籽粕中蛋白质质量 × 100%

1.2.4 奇亚籽蛋白氨基酸组成分析

准确称取奇亚籽蛋白 200 mg,于 100℃ 经 6 mol/L HCl 水解 24 h,用氨基酸自动分析仪测定氨基酸组成及含量。测定色氨酸样品用量为 400 mg,于 100℃ 经含 0.5% 淀粉的 6 mol/L NaOH 水解 20 h。

1.2.5 奇亚籽蛋白的营养评价

以 1991 年 FAO/WHO 推荐的氨基酸评分模式和鸡蛋蛋白质氨基酸评分模式^[9]为评分标准,化学评分(CS)、氨基酸评分(AAS)、必需氨基酸指数(EAAI)计算公式如下:

$CS = \text{试验蛋白质氨基酸含量} / \text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量} \times 100$

$AAS = \text{试验蛋白质氨基酸含量} / \text{FAO 评分模式氨基酸含量} \times 100$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100a}{a_e} \times \frac{100b}{b_e} \times \dots \times \frac{100h}{h_e}}$$

式中: n 为比较的必需氨基酸个数; a 、 b 、 c 、 \dots 、 h 为试验蛋白质的必需氨基酸含量,mg/100 g; a_e 、 b_e 、 \dots 、 h_e 为鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量,mg/100 g。

1.2.6 统计分析

采用 SPSS(21.0) 统计软件进行处理,数据均以“平均值±标准偏差”(n=3)的形式表示。

2 结果与分析

2.1 奇亚籽蛋白等电点的确定

在 1.2.2 的条件下,分别考察不同酸沉 pH 对奇亚籽蛋白沉淀量的影响,结果如图 1 所示。

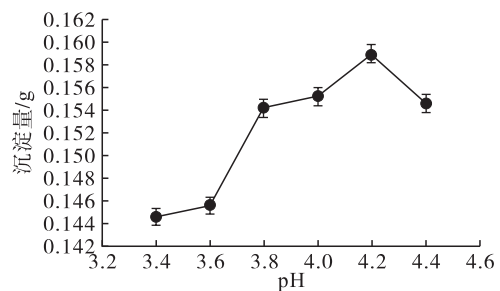


图 1 酸沉 pH 对奇亚籽蛋白沉淀量的影响

在等电点时,蛋白质分子带有相等数目的正电荷和负电荷,整体呈电中性。蛋白质颗粒之间的静电斥力最小,因此溶解度也最小。由图 1 可知,奇亚籽蛋白的等电点为 4.2。

2.2 液料比对奇亚籽蛋白提取率的影响

在 pH 10、提取温度 50℃、提取时间 60 min、重

复提取 2 次的条件下,研究不同液料比对奇亚籽蛋白提取率的影响,结果如图 2 所示。

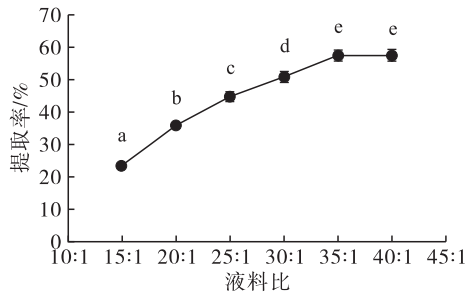


图 2 液料比对奇亚籽蛋白提取率的影响

由图 2 可知,奇亚籽蛋白提取率随液料比的增加而升高,当液料比为 35:1 时,提取率最高。液料比继续增大,提取率增幅不大。液料比太大,不但会增加提取结束后废液处理的负担,而且会造成蛋白质浓度偏低,不利于蛋白质的絮凝沉淀^[10]。故选取 35:1 为奇亚籽蛋白提取的适宜液料比。

2.3 pH 对奇亚籽蛋白提取率的影响

在液料比 35:1、提取温度 50℃、提取时间 60 min、重复提取 2 次的条件下,分别考察不同 pH 对奇亚籽蛋白提取率的影响,结果如图 3 所示。

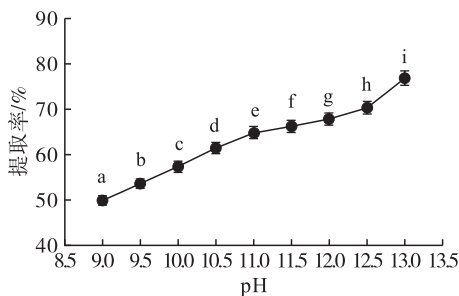


图 3 pH 对奇亚籽蛋白提取率的影响

由图 3 可知,随着 pH 的增大,提取率平稳增加。但 pH 过高时,过强的碱性将导致蛋白质发生脱氨、脱羧和水解反应,影响产品色泽和风味,不利于保存产品营养质量和功能特性,丧失食用价值^[11]。此外,当 pH 大于 10 时,奇亚籽蛋白提取液和干燥蛋白均呈现灰褐色。综合考虑,提取奇亚籽蛋白的 pH 宜保持在 9.5~10 之间。

2.4 提取温度对奇亚籽蛋白提取率的影响

在液料比 35:1、pH 9.5、提取时间 60 min、重复提取 2 次的条件下,考察不同提取温度对奇亚籽蛋白提取率的影响,结果如图 4 所示。由图 4 可知,在一定温度范围内,温度升高有利于提高奇亚籽蛋白的提取率。但在碱性条件下进行热处理反应,会使氨基酸残基发生异构化,形成外消旋混合物,降低蛋白质的营养价值^[12]。为了保证奇亚籽蛋白的质量及应用价值,选择 45℃ 为适宜提取温度。

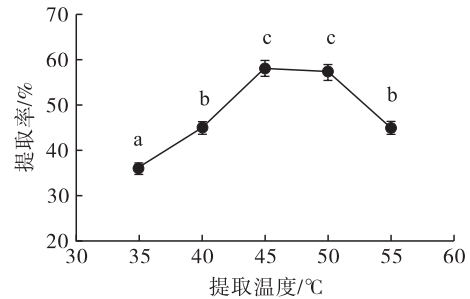


图 4 提取温度对奇亚籽蛋白提取率的影响

2.5 提取时间对奇亚籽蛋白提取率的影响

在液料比 35:1、pH 9.5、提取温度 45℃、重复提取 2 次的条件下,考察不同提取时间对奇亚籽蛋白提取率的影响,结果如图 5 所示。

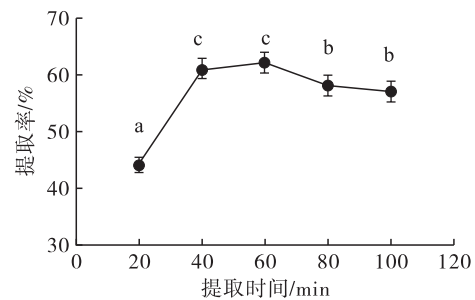


图 5 提取时间对奇亚籽蛋白提取率的影响

由图 5 可知,随着提取时间的延长,奇亚籽蛋白提取率先上升后接近平稳,当提取时间继续延长超过 40 min 后,奇亚籽蛋白的溶出接近饱和,提取率几乎不再增加。值得注意的是,提取时间从 40 min 延长到 100 min 时,奇亚籽蛋白提取率甚至略有下降,这可能是由于奇亚籽膳食纤维产生的溶胀吸附作用使部分蛋白质难以分离出来的缘故。此外,提取时间过长,物料容易受微生物污染,影响产品卫生质量,因此提取时间选取 40 min 较为适宜。

取同一批奇亚籽粕样品,在优化的提取条件下进行 6 组验证试验,得到的奇亚籽蛋白提取率达到 61.52%。提取蛋白后的残渣经烘干等处理后可以进一步制成膳食纤维相关产品。

2.6 奇亚籽蛋白营养成分分析(见表 1)

表 1 奇亚籽蛋白营养成分分析(湿基) %

蛋白质	脂肪	膳食纤维	碳水化合物	水分	灰分
73.06±0.75	N. D.	7.18±0.11	6.83±0.15	4.23±0.35	8.41±0.59

注:N. D. 未检出。

由表 1 可以看出,奇亚籽蛋白中蛋白质含量为 73.06%,膳食纤维占 7.18%,灰分占 8.41%。可以看出,选用碱提酸沉法可以较好地分离出奇亚籽蛋白。此外,奇亚籽蛋白所含的膳食纤维可以刺激肠道蠕动,利于粪便排出^[13]。

2.7 奇亚籽蛋白氨基酸组成分析及营养评价(见表2)

表2 奇亚籽蛋白和大豆分离蛋白的氨基酸组成比较 mg/g

氨基酸	奇亚籽蛋白	大豆分离蛋白
EAA		
苏氨酸	39.56 ± 0.31	30.11 ± 0.11
缬氨酸	44.20 ± 0.23	42.73 ± 0.22
蛋氨酸	28.34 ± 0.24	16.99 ± 0.23
异亮氨酸	35.84 ± 0.12	40.91 ± 0.12
亮氨酸	70.62 ± 0.21	67.67 ± 0.25
苯丙氨酸	55.12 ± 0.19	70.62 ± 0.15
赖氨酸	55.68 ± 0.09	47.93 ± 0.24
色氨酸	21.78 ± 0.22	10.12 ± 0.21
NEAA		
丙氨酸	53.75 ± 0.13	40.53 ± 0.14
半胱氨酸	34.41 ± 0.08	12.12 ± 0.12
天冬氨酸	91.59 ± 0.15	94.42 ± 0.22
酪氨酸	31.82 ± 0.24	32.51 ± 0.33
脯氨酸	14.19 ± 0.16	36.42 ± 0.11
丝氨酸	53.32 ± 0.11	43.42 ± 0.23
谷氨酸	175.44 ± 0.14	176.10 ± 0.31
甘氨酸	49.02 ± 0.25	39.72 ± 0.21
组氨酸	31.39 ± 0.20	29.83 ± 0.20
精氨酸	105.78 ± 0.17	66.71 ± 0.22
TAA	991.84 ± 0.26	898.37 ± 0.23
EAA	351.14 ± 0.18	326.81 ± 0.19

注: EAA 表示必需氨基酸, NEAA 表示非必需氨基酸, TAA 表示总氨基酸。

由表2可知, 奇亚籽蛋白中含有18种氨基酸, 其中氨基酸含量较高的是谷氨酸(175.44 mg/g)和精氨酸(105.78 mg/g)。必需氨基酸中含量最高的

是亮氨酸(70.62 mg/g), 其次是苯丙氨酸和赖氨酸。亮氨酸能促进骨骼肌和脂肪中蛋白质的形成, 并具有调节血糖平衡的功能^[14]。奇亚籽蛋白必需氨基酸含量占氨基酸总量的35.40%, 与大豆和杏仁相似, 并优于核桃、松果、花生和亚麻籽^[15]。参照联合国粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)推荐的食物蛋白氨基酸组成模式, 即必需氨基酸与总氨基酸含量的比值为0.4, 必需氨基酸与非必需氨基酸含量的比值为0.6^[16], 奇亚籽蛋白中必需氨基酸与总氨基酸含量的比值为0.35, 必需氨基酸与非必需氨基酸含量的比值为0.55, 接近于FAO/WHO的理想模式, 说明奇亚籽蛋白中氨基酸组成均衡, 具有较高的食用和开发利用价值。

2.8 奇亚籽蛋白的营养评价(见表3)

由表3可知, 奇亚籽蛋白中绝大部分必需氨基酸的AAS和CS优于大豆分离蛋白的。在奇亚籽蛋白中, 评分最高的是蛋氨酸+半胱氨酸, 这表明奇亚籽蛋白中的含硫氨基酸含量丰富。含硫氨基酸与抗氧化能力密切相关, 其可以合成谷胱甘肽对抗机体中的氧化损伤^[17]。根据CS, 奇亚籽蛋白的第一限制氨基酸为异亮氨酸, 因此在后续开发奇亚籽蛋白产品时需考虑适当利用蛋白质互补作用以提高机体对蛋白质的利用。奇亚籽蛋白的EAAI值高于大豆分离蛋白, 达到86.69, 这表明奇亚籽蛋白中必需氨基酸的含量比大豆蛋白更接近标准蛋白质^[18]。可见奇亚籽蛋白是一种优质的蛋白质资源。

表3 奇亚籽蛋白和大豆分离蛋白的必需氨基酸评分和化学评分比较

必需氨基酸	FAO/WHO 模式/(mg/g)	全鸡蛋 蛋白/(mg/g)	AAS		CS	
			奇亚籽蛋白	大豆分离蛋白	奇亚籽蛋白	大豆分离蛋白
异亮氨酸	28	54	128	146	66	76
亮氨酸	66	86	107	102	82	79
赖氨酸	58	70	96	83	80	68
蛋氨酸+半胱氨酸	25	57	251	116	110	51
苯丙氨酸+酪氨酸	63	93	138	164	93	111
缬氨酸	34	66	130	126	67	65
色氨酸	11	17	198	92	128	92
苏氨酸	35	47	113	86	84	64
总计	130	490	-	-	-	-

注: 根据公式计算的奇亚籽蛋白和大豆分离蛋白的EAAI值分别为86.69和73.85。

3 结论

(1) 选用碱提酸沉法提取奇亚籽蛋白, 在液料比35:1、pH 9.5、提取温度45℃、提取时间40 min的条件下重复提取2次, 提取率达61.52%。与其他常见作物如大豆、花生、芝麻等相比, 奇亚籽蛋白的提取率相对较低。奇亚籽中含有较多的膳食纤维, 这些膳食

纤维在提取的过程中易吸水膨胀, 阻碍碱液与蛋白质的接触, 导致奇亚籽蛋白不能提取完全。但含有一定量膳食纤维的蛋白具有改善肠道功能的作用。

(2) 奇亚籽蛋白中蛋白质含量为73.06%, 必需氨基酸与总氨基酸含量的比值为0.35, 与非必需氨基酸含量的比值为0.55, 接近于FAO/WHO的理想

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.