

提取方法对青叶苧麻叶蛋白功能特性的影响

Effect of extraction method on the functional characteristics of leaf protein from green leaves ramie

职士淇¹

王满生^{2,3}

叶凤凌¹

陈 龙¹

张晓婷¹

ZHI Shi-qi¹

WANG Man-sheng^{2,3}

YE Feng-ling¹

CHEN Long¹

ZHANG Xiao-ting¹

邱浩楠¹

何 强¹

熊夏宇⁴

董 怡¹

QIU Hao-nan¹

HE Qiang¹

XIONG Xia-yu⁴

DONG Yi¹

(1. 四川大学轻工科学与工程学院, 四川 成都 610065; 2. 中国农业科学院麻类研究所, 湖南 长沙 410205;

3. 农业部麻类生物学与加工重点实验室, 湖南 长沙 410205; 4. 中山市第一职业技术学校, 广东 中山 528478)

(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China;

2. Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410205, China;

3. Key Laboratory of Biological and Processing for Bast Fiber Crops, MOA, Changsha, Hunan 410205, China;

4. Zhongshan No.1 Vocational School, Zhongshan, Guangdong 528478, China)

摘要:分别采用超声波辅助碱溶液、盐溶液和水3种溶剂提取青叶苧麻叶蛋白质,并分析其浓度、氮溶解指数、起泡性、起泡稳定性、乳化性和乳化稳定性。结果表明,超声波辅助盐溶液提取的蛋白质浓度(10.73 mg/mL)和氮溶解指数(61.95%)最高,且该方法提取的蛋白质的起泡性(26.34%)及泡沫稳定性(24.49%)显著优于其他两种溶剂方法;超声波辅助水提取的蛋白质乳化性(11.17 m²/g)最佳,而超声波辅助碱溶液提取的蛋白质的乳化稳定性最佳(231.92)。

关键词:青叶苧麻;蛋白质;乳化性;起泡性

Abstract: In this paper, 3 kinds of methods such as ultrasonic assisted alkali solution extraction, salt solution extraction and water extraction, were used to extract the green leaf ramie protein, and the protein was also analyzed on the protein concentration, nitrogen solubility index, foaming property, foaming stability, emulsifying property and emulsifying stability. Results: The protein extracted with ultrasonic assisted salt solution exhibited

the highest protein concentration (10.73 mg/mL) and nitrogen dissolution index (61.95%). Additionally, the foaming property (26.34%) and foam stability (24.49%) of the protein extracted by this method were significantly better than the other two extraction methods. The protein extracted with ultrasonic assisted water had the best emulsification (11.17 m²/g), while the protein extracted with ultrasonic assisted alkali solution had the best emulsification stability (231.92).

Keywords: green leaf ramie; protein; emulsifying; foaming

随着世界人口的剧增和生活水平的不断提高,人类对蛋白质的需求量也越来越大,积极开发新的蛋白资源具有重要意义^[1-2]。苧麻是中国传统的纤维作物,生长快、产量高,其叶片约占植株质量的40%,苧麻叶还可食用^[3]。青叶苧麻(*Boehmeria nivea* var. *tenacissima*)是白叶苧麻(*Boehmeria nivea* L. Gaud.)的变种^[4]。孙延炜等^[5]研究发现,青叶苧麻嫩茎叶粗蛋白含量比白叶苧麻的高3.75%,而粗纤维比白叶苧麻的低9.57%;其氨基酸含量较丰富,总氨基酸(TAA)和必需氨基酸(EAA)含量分别较白叶苧麻的高20.71%,19.41%,且EAA/TAA为41%>40%,EAA/NEAA为69%>60%,被认为是优质植物蛋白源。此外,由于青叶苧麻叶片没有白色绒毛,极易被高速刀片打碎而过筛,粉碎机的生产性能和度电产量也大大提高^[6]。

超声波辅助提取法由于操作简便、提取效率高、能维持提取物原有结构和活性等优点,已被广泛用于辅助植物

基金项目:四川大学专职科研博士后科研启动项目(编号:20826041D4060);湖南省自然科学基金(编号:2020JJ5640);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:1610242020004)

作者简介:职士淇,男,四川大学在读本科生。

共同第一作者:王满生,男,中国农业科学院麻类研究所助理研究员,博士。

通信作者:董怡(1986—),女,四川大学助理研究员,博士。

E-mail: waydongyi2501779@163.com

收稿日期:2020-10-09

叶蛋白质的提取工艺研究,如桑树叶蛋白的提取率达 14% 左右^[7];青豆蛋白的最佳提取率达 42% 左右^[8];辣木蛋白的最佳提取率为 38% 左右^[9];苎麻品种“中苎 2 号”的叶片蛋白质提取效率达 11.26%^[10]。作为蛋白质改性的手段之一,超声处理还能提高蛋白质的部分功能特性^[1,11]。根据蛋白的溶解特性,目前对植物蛋白的提取研究多采用碱溶液、盐溶液和水为提取剂^[7,12]。王满生等^[6]通过碱溶酸沉的方法提取青叶苎麻叶蛋白,其最佳叶蛋白溶出率达 45.27%,最佳酸沉条件下叶蛋白溶出率达 72.65%。

目前苎麻叶多为饲用,苎麻叶蛋白提取及功能特性等相关研究尚未见报道。研究拟以青叶苎麻叶片为研究对象,利用超声波简捷高效的优势辅助提取青叶苎麻叶蛋白,探究碱溶液、盐溶液和水对青叶苎麻叶蛋白质的提取效果及其乳化性、起泡性等功能特性的影响,以期为青叶苎麻中叶蛋白资源的有效开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

青叶苎麻叶粉:过 60 目筛,中国农业科学院麻类研究所南方蛋白饲料植物资源开发与利用创新团队;

福临门大豆油:市售;

氯化钠、十二烷基硫酸钠(SDS)、甲基红、溴甲酚绿:分析纯,成都科隆化学用品有限公司;

氢氧化钠、硫酸铜、碘化钾、硫酸钾、硼酸、酒石酸钾钠、无水乙醇:分析纯,成都金山化学试剂有限公司;

浓硫酸、盐酸:分析纯,西陇化工股份有限公司;

牛血清蛋白(BSA Albumin Fraction V):纯度 > 98%,德国 Bio Froxx 公司;

离心机: TG-1850 型,四川蜀科仪器有限公司;

电子天平: ESJ210-4A 型,沈阳龙腾电子有限公司;

多功能微孔板检测仪: H1M 型,美国 BioTek Instruments 公司;

消化炉: HYP-320 型,上海纤检仪器有限公司;

自动型定氮仪: KDN-19F 型,上海纤检仪器有限公司;

可调高速匀浆机: FSH-2A 型,常州润华电器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 苎麻叶蛋白的提取 分别采用超声波辅助碱溶液、盐溶液和水溶液进行提取。提取工艺参照谢艺潇等^[7,12]的方法并适当修改。准确称取 1.5 g 苎麻粉于不同离心管中,按料液比 1 : 20 (g/mL) 分别加入 0.1 mmol/L 的 NaOH 溶液、5% 的 NaCl 溶液和蒸馏水,振荡混匀,150 W 下超声 60 min,6 000 r/min 离心 20 min,取上清液,4 ℃ 冰箱保存备用。每种提取液均设置 3 个平行。

1.2.2 蛋白质含量的测定 参照周欣悦^[13]的方法稍作

修改。准确称取牛血清蛋白溶解于蒸馏水中,分别配制浓度为 0.25, 0.50, 1.00, 2.50, 5.00, 7.50 mg/mL 的溶液,与配制好的双缩脲试剂以 1 : 4 (体积比) 混合,避光反应 30 min,测定 540 nm 处吸光度,根据蛋白浓度和吸光度值计算得标准曲线方程 $Y = 0.027 \ 0X + 0.099 \ 2$ ($R^2 = 0.998 \ 9$)。

分别取适量碱提、盐提、水提取的苎麻叶蛋白质溶液,用对应提取剂稀释 1 倍,与双缩脲试剂以 1 : 4 (体积比) 混合,避光反应 30 min,测定 540 nm 处吸光度,通过标准曲线方程计算溶液中蛋白质浓度。

1.2.3 氮溶解指数(NSI)的测定 参照杨希娟等^[14]的方法稍加修改。准确称取苎麻粉末样品 0.5 g,共 12 份,其中 3 份不作任何处理,另外 9 份按 1.2.2 的方法进行蛋白提取,将提取后的残渣于 110 ℃ 下烘干,于消化管中将 12 份样品分别与 3.0 g 硫酸钾、0.2 g 硫酸铜和 20 mL 浓硫酸混合,另取 3 支消化管分别加入 3.0 g 硫酸钾、0.2 g 硫酸铜、20 mL 浓硫酸作空白试验。样品消化程序: 200 ℃ 10 min,420 ℃ 120 min。分别取 50 mL 2% 的硼酸溶液和 3 滴甲基红溴甲酚绿混合指示剂于 250 mL 锥形瓶,消化结束后待消化管冷却至室温,用自动型定氮仪进行定氮,用 0.1 mol/L 盐酸溶液滴定。按式(1)计算氮溶解指数。

$$N_{SI} = \frac{P - P_1}{P} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

N_{SI} ——氮溶解指数, %;

P_1 ——提取后残渣中粗蛋白含量, g;

P ——苎麻粉末样品中粗蛋白含量, g。

1.2.4 起泡性及泡沫稳定性的测定 参照王一博等^[15-16]的方法稍加修改。分别将碱提、盐提、水提蛋白溶液稀释至蛋白质含量为 2 mg/mL,取稀释后的溶液 20 mL,10 000 r/min 高速搅打 2 min,然后迅速倒入量筒中,记录上层泡沫体积和搅拌停止时蛋白质溶液体积,静置 30 min 后,再次记录上层泡沫的体积,分别按式(2)、(3)计算起泡性及泡沫稳定性。

$$F_P = \frac{V_0}{V_2} \times 100\%, \quad (2)$$

$$S_F = \frac{V_1}{V_0} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

F_P ——起泡性, %;

S_F ——泡沫稳定性, %;

V_0 ——搅拌停止时上层泡沫体积, mL;

V_1 ——搅拌停止 30 min 后泡沫体积, mL;

V_2 ——搅拌停止时蛋白质溶液体积, mL。

1.2.5 乳化性及乳化稳定性的测定 参照叶凤凌

等^[17-18]的方法稍加修改。取 3 mL 大豆油和 9 mL 已用对应提取溶剂稀释至 2 mg/mL 的蛋白质溶液于 50 mL 塑料离心管内混合,10 000 r/min 均质 2 min,分别在 0, 30 min 时从离心管底部 5 mm 处取 16 μ L 乳状液与 4 mL 0.1% 的 SDS 溶液混匀,测定 500 nm 处吸光值。分别按式(4)、(5)计算乳化性及乳化稳定性^[19]。

$$E_P = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times D}{c \times \varphi \times 10\,000}, \quad (4)$$

$$S_E = \frac{A_0 \times \Delta t}{A_0 - A_{30}}, \quad (5)$$

式中:

E_P ——乳化性, m^2/g ;

S_E ——乳化稳定性;

D ——稀释倍数,取 125;

c ——蛋白溶液中蛋白质浓度, g/mL ;

φ ——乳化液中油相的体积分数,取 0.25;

A_0 、 A_{30} ——0、30 min 时的吸光值;

Δt ——两次检测的间隔时间。

1.3 数据处理

每组试验重复 3 次,采用 Office 2019、SPSS 19.0 等软件对试验数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 对蛋白质溶液浓度的影响

由图 1 可知,碱提、盐提和水提得到的蛋白质量浓度分别为 9.99、10.73、9.53 mg/mL ,说明盐提法得到的蛋白含量最高,碱提法次之,水提法最低。这主要是因为中性盐中和了蛋白质表面的电荷并破坏了水化膜,使蛋白凝聚沉淀,且蛋白质提取过程中低浓度中性盐还可增加水的极性,进而使更多的蛋白质溶解至溶液中,最终提高了蛋白质提取率^[20]。

2.2 对氮溶解指数的影响

由图 2 可知,水提法、盐提法和碱提法的氮溶解指数分别为 56.96%、61.95%、55.09%,即盐提法 > 水提法 >

碱提法,与双缩脲法检测的蛋白提取液中蛋白含量的结果趋势相吻合。水提法和碱提法的青叶苎麻叶蛋白溶液的 NSI 值 < 60.00%,而盐提法的蛋白溶液的 NSI 值略 > 60.00%,说明这 3 种方法均不能完全提取出青叶苎麻原料中的蛋白质,可能与植物蛋白组分有关。植物蛋白多含有清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、麦谷蛋白和残渣蛋白,其中球蛋白在盐溶液中溶解性较好,易被盐提溶出;清蛋白可被蒸馏水提取;麦谷蛋白可用碱性溶液提取^[20],因此推测青叶苎麻叶片中球蛋白含量较高。此外,提取原料中蛋白质含量过高会影响蛋白提取率,如高蛋白豆粕提取后的残渣蛋白明显高于低蛋白豆粕,且更高的蛋白含量会导致分离蛋白提取率有所降低^[21]。青叶苎麻叶粉中蛋白质含量约为 28.89%,属于高蛋白含量植物,故测得的样品 NSI 值较低,符合上述原因分析。

2.3 对起泡性和泡沫稳定性的影响

由图 3 可知,相比于 10 mg/mL 浓度条件下的大豆分离蛋白的起泡性只有 10%^[22],青叶苎麻蛋白质表现出更佳的起泡性,且盐提法蛋白质溶液的起泡性及泡沫稳定性均较佳。这可能是由于 NaCl 溶液可以与蛋白质发生相互作用,影响蛋白质的黏度、展开和聚集,进而对起泡性产生一定的影响^[23]。同时,一定量的 NaCl 所提供的离子环境还可以增大蛋白质的溶解度,降低在气-液界面上未吸附蛋白质与吸附蛋白质之间的排斥力,有助于蛋白质吸附在泡沫的界面上而防止泡沫粗化,从而增强蛋白质溶液的起泡性和泡沫稳定性^[24]。

由图 3 还可知,相比于水提法,碱提法蛋白质溶液的起泡性稍差,但其泡沫稳定性稍好,可能是水提法溶液的 pH 值更接近蛋白质的等电点,由于缺乏在界面和吸附分子之间的排斥力,被吸附到界面上的蛋白质数量增加,提高了蛋白质的起泡性,而碱提法的 pH 值略高,排斥作用降低,促进界面上蛋白质之间的相互作用形成黏度较大的膜,从而表现得更加稳定^[25-26]。

2.4 对乳化性和乳化稳定性的影响

由图 4 可知,3 种蛋白质溶液的乳化性分别为 5.89,

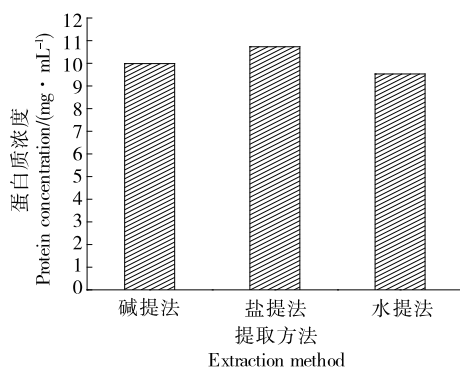


图 1 提取方法对蛋白质溶液浓度的影响

Figure 1 Effect of extraction method on the concentration of protein solution

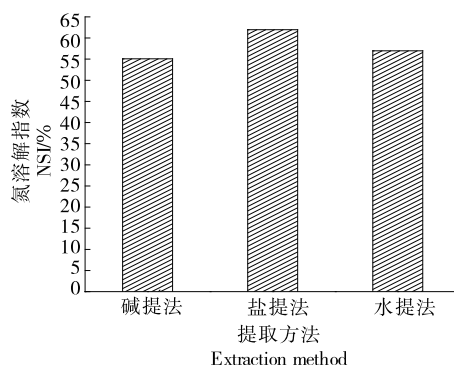


图 2 提取方法对 NSI 值的影响

Figure 2 Effect of extraction method on NSI value

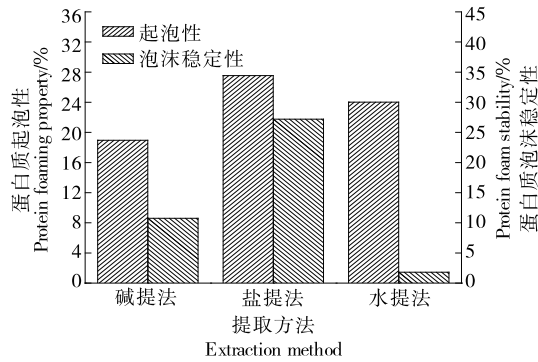


图3 提取方法对蛋白质起泡性和泡沫稳定性的影响

Figure 3 Effect of extraction method on foaming property and foam stability of protein

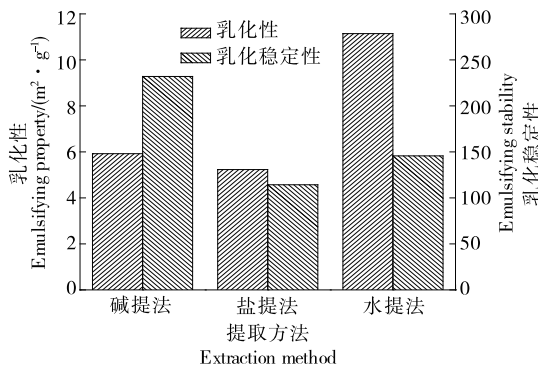


图4 提取方法对蛋白乳化性及乳化稳定性的影响

Figure 4 Effect of extraction method on the emulsifying property and stability of protein

5.27, 11.17 m²/g, 其中水提法蛋白质的乳化性效果最好, 而盐提法的乳化性效果不佳。3种蛋白质溶液的乳化稳定性分别为 231.92, 114.26, 145.65。由于蛋白质的乳化性受溶解性和表面活性两个因素影响, 碱提法的蛋白质提取液 pH 值有所升高, 远离等电点, 而远离等电点时蛋白质的溶解度增大, 参与乳化作用的蛋白质也随之增多, 因此碱提法蛋白质溶液有较好的乳化性及乳化稳定性^[27]。而盐提法蛋白质溶液, 其乳化性和乳化稳定性均比另外两种提取方法有一定程度的降低, 这一情况与邓塔等^[28]的结果类似。这可能是盐溶液中的离子破坏了乳状液中液滴表面电荷平衡, 液滴间无法保持平衡, 乳化稳定性减小。当食盐浓度 ≥ 0.5 mol/L 时, 可能会促进脂肪之间的加速融合, 从而降低蛋白质溶液的乳化稳定性^[29]。

3 结论

研究了超声波辅助碱溶液、盐溶液和水对青叶苧麻叶蛋白的提取效果。结果表明, 低浓度的中性盐溶液可增加水的极性, 从而促进蛋白质的溶解并提高其提取率, 根据植物蛋白组分的溶解特性, 推测青叶苧麻叶片中球蛋白含量较高。青叶苧麻叶蛋白含量约为 28.89%, 3种

溶剂提取的蛋白质的氮溶指数均较低, 且盐提法 (61.95%) > 水提法 (56.96%) > 碱提法 (55.09%)。3种提取法的青叶苧麻叶蛋白的起泡性均优于 10 mg/mL 浓度条件下的大豆分离蛋白的起泡性 (10%), 且盐提法的青叶苧麻叶蛋白的起泡性及泡沫稳定性均优于其他两种提取方法。后续可进一步明确青叶苧麻叶蛋白组分的结构和功能性质, 为青叶苧麻叶的开发利用提供更多的理论依据。

参考文献

- [1] 望运滔, 王营娟, 田金凤, 等. 高强度超声对鹰嘴豆分离蛋白结构和功能特性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 9-14, 71.
- [2] 柳青海, 张唐伟, 李天才. 叶蛋白提取分离及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 468-471.
- [3] 王文采. 中国苧麻属校订[J]. 云南植物研究, 1981(3): 307-328.
- [4] 姚蕾, 杨艳梅. 苧麻的民族植物学[J]. 现代园艺, 2014(19): 21-23.
- [5] 孙延炜, 孟桂元, 周静, 等. 苧麻近缘植物氨基酸组成及其营养评价[J]. 中国麻业科学, 2013, 35(6): 296-299, 328.
- [6] 王满生, 杨晶, 王延周. 青叶苧麻叶蛋白提取工艺的优化[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 70-73.
- [7] 谢艺潇, 孙红, 王雨, 等. 木本植物叶蛋白提取工艺研究进展[J]. 世界林业研究, 2018, 31(3): 41-47.
- [8] 张悦, 刘振春, 彭雪, 等. 响应面法优化青豆蛋白提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(13): 45-50, 132.
- [9] 陈汝财. 辣木蛋白超声辅助提取实验[J]. 福建农业科技, 2015(10): 31-34.
- [10] 陈平, 朱爱国, 陈继康, 等. 超声波辅助浸提苧麻叶蛋白工艺优化技术[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 122-125.
- [11] 颜辉, 张琦, 聂旭东, 等. 超声预处理对麦胚蛋白结构的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 13-17.
- [12] 徐卓, 陈震, 吴桂成, 等. 长江下游农区金花菜叶蛋白提取工艺优化及关键参数特征[J]. 草业科学, 2020, 37(5): 993-1001.
- [13] 周欣悦. 荞麦蛋白的制备与功能特性分析[J]. 食品安全导刊, 2019(18): 154, 156.
- [14] 杨希娟, 党斌, 刘玉皎. 蚕豆蛋白酶法改性增溶工艺优化及功能性研究[J]. 核农学报, 2014, 28(7): 1273-1281.
- [15] 王一博. 高起泡性蛋清液制备与应用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 4-8.
- [16] 郑煜焱, 曾洁, 李晶, 等. 米糠蛋白的组成及功能性[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 143-149.
- [17] 叶凤凌, 池玉闽, 周敏之, 等. 氧化对兔肉肌原纤维蛋白结构、乳化性和凝胶性的影响研究[J/OL]. 食品工业科技. (2020-06-29) [2020-07-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200628.1657.038.html>.

(下转第 216 页)

- [53] 肖玉娟, 傅奇, 何少贵, 等. 蓝圆鲹多肽亚铁螯合物制备及其抗氧化性[J]. 食品工业, 2020, 41(2): 126-129.
- [54] CANABADY-ROCHELLE L L, SELMECZI K, COLLIN S, et al. SPR screening of metal chelating peptides in a hydrolysate for their antioxidant properties[J]. Food Chemistry, 2018, 239: 478-485.
- [55] 孔维宝, 杨树玲, 霍焕燃, 等. 油橄榄叶提取物的抑菌活性研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(2): 95-100.
- [56] 孙秀秀. 大豆碱性多肽对大肠杆菌的抑菌机制及应用研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2016: 42-43.
- [57] 李敏晶, 孙蔷薇, 王旭蕊, 等. 多棘海盘车多肽的抑菌活性研究[J]. 应用化工, 2017, 46(10): 2 073-2 076.
- [58] 张囡. 香菇柄多肽的制备、分离及其生物活性研究[D]. 西安: 西北大学, 2019: 3-5.
- [59] 吕诗文, 叶芳, 吴国辉, 等. 苦瓜抑菌作用的研究进展[J]. 农产品加工, 2020(1): 84-86.
- [60] 徐海花, 牛钟相, 秦爱建, 等. 细菌耐药性研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2010, 41(1): 156-160.
- [61] 郑晨, 何晓静, 菅凌燕. 细菌耐药性及特殊使用级抗菌药物使用情况分析[J]. 中国临床药理学杂志, 2018, 34(14): 1 700-1 702.
- [62] LIN Hui-min, DENG Shang-gui, HUANG Sai-bo. Antioxidant activities of ferrous-chelating peptides isolated from five types of low-value fish protein hydrolysates[J]. Journal of Food Biochemistry, 2015, 38(6): 627-633.
- [63] FANG Zheng, XU Liang-zong, LIN Yan-lan, et al. The preservative potential of Octopus scraps peptides-Zinc chelate against *Staphylococcus aureus*: Its fabrication, antibacterial activity and action mode[J]. Food Control, 2018, 98: 24-33.
- [64] 杨玉蓉, 李安平, 钟政昌, 等. 桃仁多肽螯合亚铁的抑菌活性及结构表征[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 57-62.
- [65] 潘天齐, 何荣海, 徐军, 等. 莱籽多肽增强免疫力作用的研究[J]. 现代医学, 2016, 44(11): 1 605-1 608.
- [66] YUAN Biao, ZHAO Cong, CHENG Chen, et al. A peptide-Fe(II) complex from *Grifola frondosa* protein hydrolysates and its immunomodulatory activity[J]. Food Bioscience, 2019, 32: 100549.
- [67] 谈森焱. 小球藻酶解多肽的制备及其增强免疫力的功能研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2018: 7-9.
- [68] HUANG Sai-bo, LIN Hui-min, DENG Shang-gui. Study of anti-fatigue effect in rats of ferrous chelates including hairtail protein hydrolysates[J]. Nutrients, 2015, 7(12): 9 860-9 871.

(上接第 157 页)

- [18] 朱秀清, 王子玥, 李美莹, 等. 热处理对汉麻乳稳定性的影响及蛋白结构表征[J/OL]. 食品科学. (2020-04-28) [2020-07-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200428.0858.005.html>.
- [19] 寇明钰. 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: 4-9.
- [20] 王震, 乔天磊, 霍乃蕊, 等. 植物叶蛋白提取方法及研究进展[J]. 山西农业科学, 2016, 44(1): 126-130.
- [21] 贾峰, 刘效谦, 王震磊, 等. 小麦粉蛋白质溶解性差异的韦恩分类研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, 38(1): 1-4, 11.
- [22] 宋鹏. 大豆蛋白质组成对其提取率的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011: 5-7.
- [23] 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, 33(4): 83-86.
- [24] 上官新晨, 陈锦屏, 蒋艳, 等. 籽粒苋蛋白质功能特性的理论研究 II: 籽粒苋蛋白质发泡性的理论研究[J]. 中国粮油学报, 2003(2): 40-42.
- [25] 迟玉杰, 赵英, 毋引子. 鸡蛋蛋清液起泡性的研究[J]. 中国家禽, 2017, 39(3): 1-5.
- [26] 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.
- [27] 王雪, 郭兴凤. 蛋白质乳化性研究进展[J]. 粮食加工, 2017, 42(1): 39-43.
- [28] 邓塔, 李军生, 阎柳媚, 等. 大豆蛋白乳化性的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 90-93.
- [29] 徐丽兰, 赵燕, 徐明生, 等. 食盐诱导的蛋黄凝聚行为研究进展[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 317-325.

(上接第 164 页)

- [10] 李钰, 李雅雅, 王鑫玥, 等. 神经网络一遗传算法优化细菌拟青霉多糖超声提取工艺[J]. 吉林医药学院学报, 2019, 40(1): 15-17.
- [11] 郭新铭, 赖志荣. 天然冬虫夏草多糖的提取及其抗氧化活性研究[J]. 临床合理用药杂志, 2018, 11(15): 32-34.
- [12] 查昱, 张宗豪, 李秀璋, 等. PB 试验结合 BBD 响应面法优化冬虫夏草菌菌丝体多糖的提取工艺[J]. 中国食用菌, 2020, 39(6): 25-31.
- [13] 王斌, 连宾. 食药真菌多糖的研究与应用[J]. 食品与机械, 2005(6): 96-100.
- [14] 杜景东, 田凤娟, 陈培雄, 等. 云雾绿茶多糖提取方法的优化及 Seville 法除蛋白的工艺研究[J]. 中南药学, 2015, 13(12): 1 281-1 283.
- [15] LEE H G, JO Y, AMEER K. Optimization of green extraction methods for cinnamic acid and cinnamaldehyde from Cinnamon (*Cinnamomum cassia*) by response surface methodology[J]. Pubmed, 2018, 27(6): 1 607-1 617.
- [16] 池源, 王丽波. 苯酚-硫酸法测定南瓜籽多糖含量的条件优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 89-92.
- [17] 柳荫, 吴凤智, 陈龙, 等. 考马斯亮蓝法测定核桃水溶性蛋白含量的研究[J]. 中国酿造, 2013, 32(12): 131-133.