

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240622002

药用植物蛋白提取方法及生物活性研究进展

赵一萌¹, 索晓雄¹, 刘彩霞¹, 尚彩玲¹, 杜晨晖¹, 闫 艳², 裴香萍^{1*}

(1. 山西中医药大学中药与食品工程学院, 晋中 030619; 2. 山西大学中医药现代研究中心, 太原 030006)

摘 要: 随着国家对大健康产业的积极倡导, 全民健康已成为社会发展的需要, 对健康食品的种类和品质提出了更高的要求, 中药功能食品逐渐得到了消费者的普遍认可。药用植物资源丰富, 具有抗肿瘤、提高免疫、抗氧化等多种生物活性, 常应用于人们的日常生活保健。药用植物中含有蛋白质、氨基酸、皂苷、多糖、生物碱等多种活性成分, 其中药用植物蛋白具有降血压、降血脂、改善睡眠和提高免疫力等作用, 广泛应用于功能食品、保健品、药物研发等领域, 开发前景良好, 越来越多的药用植物蛋白被开发为蛋白饮品、蛋白棒、高品质蛋白粉等。本文整理了中国知网、维普网等数据库近 10 年的文献资料, 综述药用植物蛋白的提取分离纯化工艺及生物活性研究进展, 以为药用植物蛋白的进一步开发及合理利用提供参考。

关键词: 药用植物; 蛋白质; 提取; 分离纯化; 生物活性

Research progress on extraction methods and biological activities of protein from medicinal plants

ZHAO Yi-Meng¹, SUO Xiao-Xiong¹, LIU Cai-Xia¹, SHANG Cai-Ling¹, DU Chen-Hui¹,
YAN Yan², PEI Xiang-Ping^{1*}

(1. College of Traditional Chinese Medicine and Food Engineering, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China; 2. Modern Research Center for Traditional Chinese Medicine, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

ABSTRACT: With the country's active advocacy of the great health industry, the public health has become the need of social development. People put forward higher requirements for the variety and quality of healthy food. Traditional Chinese medicine functional food has gradually been recognized widely by consumers. Medicinal plant are abundant resources, with anti-tumor, immune, antioxidant and other biological activities, often used in health care for people. Medicinal plants contain protein, amino acid, saponin, polysaccharide, alkaloid and other active ingredients. The medicinal plant protein has the effect of lowering blood pressure, lowering blood lipid, improving sleep and improving immunity. It has been widely used in functional food, health products, drug research and development and other fields. The development prospect is good, more and more medicinal plant proteins are developed into protein drinks, protein bars, high-quality protein powders, etc.. This paper collated the literature of recent 10 years from

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(81603251)、十大晋药资源评价与生态种植团队项目(zyytd2024026)、山西中医药大学科技创新能力“太行本草”项目(2022PY-TH-32)、2022 年山西中医药大学研究生创新创业教育项目(2022Y723)

Fund: Supported by the Young Science Foundation of National Natural Science Foundation of China (81603251), the Ten Projects of Medicinal Resources Evaluation and Ecological Planting in Shanxi Province (zyytd2024026), the Taihang Mountains Materia Medica Project on Scientific and Technological Innovation Capacity of Shanxi University of Traditional Chinese medicine (2022PY-TH-32), and the 2022 Innovation and Entrepreneurship Education Project for Graduate Students in Shanxi University of Traditional Chinese Medicine (2022Y723)

***通信作者:** 裴香萍, 教授, 主要研究方向为中药鉴定及中药质量评价。E-mail: peixp69@163.com

***Corresponding author:** PEI Xiang-Ping, Professor, College of Traditional Chinese Medicine and Food Engineering, Shanxi University of Chinese Medicine, No.121, Daxue Street, Wujinshan Town, Jinzhong 030619, China. E-mail: peixp69@163.com

CNKI and VIP databases, and reviewed the research progress in the extraction, separation and purification of medicinal plant proteins and their biological activities. In order to provide reference for the further development and rational utilization of medicinal plant proteins.

KEY WORDS: medicinal plants; proteins; extraction; isolation and purification; biological activity

0 引言

近年来,随着国家对全民健康事业的重视和居民健康意识的提升,大健康产业逐渐兴起并迅速发展,许多功能性食品开始涌现,功能食品不仅具有增强人体防御、调节生理节律、促进健康等功能,还具有调节体内菌群结构、改善心血管健康、促进神经发育等作用,消费者对健康食品的种类和品质提出了更高的要求,含有药用植物的功能食品组方逐渐得到消费者的普遍认可。药用植物资源丰富,具有抗肿瘤、提高免疫、抗氧化等多种生物活性,常应用于人们日常保健,功能性食品也成为人们日常生活中调节人体节律、缓解疲劳较为便捷、有效的途径之一^[1]。

药用植物中常含有皂苷、黄酮、生物碱等多种次生代谢产物,对人类疾病的治疗具有巨大的应用价值^[2],如沙棘黄酮对抑制肿瘤和缓解心脑血管等疾病具有显著功效^[3];铁皮石斛生物碱具有治疗细胞损伤、抗氧化、保肝、抗炎等生物活性^[4]。除了这些次生代谢产物,药用植物中还有一些初生代谢产物,如脂肪油、多糖和蛋白质等,研究发现药用植物的蛋白质类成分同样具有抗氧化、抗癌、降血糖、降血压和神经元保护等活性,具有广阔的开发前景^[5]。此外,药用植物蛋白还具有溶解性好、乳化及起泡稳定等功能特性,常被开发为药品、保健品、功能食品和休闲食品等^[6]。鉴于此,本文通过知网、维普等数据库查阅了国内外近 10 年文献资料,对药用植物蛋白的提取分离纯化及生物活性进行综述,以期对药用植物蛋白的合理开发利用及进一步研究提供参考。

1 药用植物蛋白的提取方法

在对药用植物进行蛋白提取的研究中,常用的方法有闪式提取法、反胶束法、溶剂提取法、酶法、沉淀法、Osborne 分级提取法等。新型提取技术如闪式提取法、反胶束法等具有提取时间短的优势,更适用于大规模生产。溶剂提取法适用范围广泛、提取效率高,为蛋白质提取中最常用的提取方法之一。由于不同提取方法的提取效率不同,因此在提取药用植物蛋白时需要选择适宜的提取方法,有时还需要多种方法联合运用。下面分别对几种提取方法进行综述。

1.1 闪式提取法

闪式提取法是基于组织破碎原理,同时结合超分子渗透技术和快速搅拌,溶剂用量小,提取时间短,提取

效率高。范三红等^[7]通过优化紫苏籽蛋白质闪式提取工艺,结果以 pH=10、提取时间 30 s、料液比 1:20 (m/V,下同)为最佳提取条件,蛋白提取率可达到(46.54±0.17)%。郭洪亮^[8]通过研究杜仲叶蛋白闪式提取工艺,得出了以水为溶剂的最优条件为,料液比 1:20,闪提次数 10 次,浸取 60 min。李启照^[9]采用闪式提取法提取莱菔子蛋白,所得到的提取工艺为,料液比 1:30,提取次数 3 次,提取时间 3 min,提取温度 5℃,提取率可达到 9%左右。闪式提取法以其时间短、效率高、成本低等优点,逐渐应用于药用植物蛋白的提取。

1.2 反胶束法

反胶束法是利用表面活性剂形成的反胶束来萃取水相中的生物大分子物质至有机相的过程,具有分子选择性强、条件温和、时间相对较短等优势。和丽等^[10]以脱脂辣木籽粉为原料,利用反胶束法提取辣木籽蛋白,结果表明反胶束前萃取工艺为 pH 9、料液比 1:50、反胶束质量浓度 0.08 g/mL、提取温度 45℃、水分活度 25;后经超声波辅助反胶束后萃最佳工艺条件为提取时间 45 min、提取温度 45℃、pH 6.5、KCl 浓度 1.25 mol/L,在此条件下所得辣木籽蛋白提取率为 58.5%。张永松等^[11]采用反胶束法提取扁桃仁蛋白,经优选后前提取工艺条件为,料液比 1:15、反胶束质量浓度 0.11 g/mL、温度 41℃、pH 为 7.0;后提取工艺条件为 KCl 浓度 0.5 mol/L、温度 45℃、新水相 pH 为 8.0,该条件下提取率为 66.50%。由此表明,反胶束法由于提取条件相对温和,适合于药用植物蛋白的提取。

1.3 溶剂提取法

溶剂提取法具有效率高、操作简单、应用范围广等特点,是药用植物蛋白经典的提取方法之一,适用于药用植物种子、叶、果实、根、根茎等多种部位。常用溶剂可分为碱溶液、盐溶液和缓冲液。研究者为提高提取效率,结合超声波和微波 2 种辅助方法,此两种辅助方法通过产生强烈的空化作用和搅拌作用,加速蛋白的溶出,使得提取效率更高。文献报道见表 1。

1.4 酶法

酶法一般指利用酶水解蛋白或降解植物细胞壁等原理提取蛋白,常用的酶有碱性蛋白酶、 α -淀粉酶、纤维素酶、中性蛋白酶、果胶酶、糖化酶等。酶法提取条件温和且具有较高的提取率,但对环境要求较为严格。研究报道表明,超声提取辅助酶法可缩短提取时间、升高提取

率。超声波在适宜的强度和频率下, 通过产生空化效应、机械振荡效应和伸缩效应改变底物的特性和酶的构象, 使其暴露出更多活性位点而提升活性; 同时为反应提供更适宜的环境, 而对酶促反应有促进作用^[25]。由此可见, 酶法结合辅助工艺提取药用植物蛋白具有很大的发展潜力。文献报道见表 2。

表 1 溶剂提取法所用溶剂、工艺条件及提取率
Table 1 Extraction solvent, process conditions, extraction rate of solvent extraction method

药用植物	提取溶剂	工艺条件	提取部位	提取率/%	参考文献
枸杞 <i>Lycium chinense</i> Miller	碱溶液	pH 9、液料比 1:10、温度 45℃、时间 2.5h	果实	14.20	[12]
	缓冲液(Tris-HCl)	pH 7.4、液料比 1:15、温度 4℃、时间 1 h	果实	8.62	[13]
银杏 <i>Ginkgo biloba</i> L.	碱溶液	pH 10.0、料液比 1:30、温度 50℃、时间 1 h	果实	10.70	[14]
		pH 10.5、温度 60℃、时间 70 min	种子	63.54	[15]
大麻 <i>Cannabis sativa</i> L.	碱溶液	pH 10、料液比 1:20、温度 50℃、时间 60 min	种子	96.10	[16]
		液料比 1:17、碱浓度 0.2 mol/L、温度 62℃、时间 2.5 h	种子	84.88	[17]
	超声提取辅助碱溶液	pH 9.5、料液比 1:25、温度 60℃、时间 35 min	种子	59.63	[18]
	超声提取辅助正己烷	料液比为 1:40、温度 30℃、超声时间 30 min、超声频率为 25 kHz	种子	69.25	[19]
酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i> Mill. var. <i>spinosa</i> (Bunge) Hu ex H.F.Chow.	碱溶液	pH 10、液料比 1:20 、温度 51℃、时间 49 min	种子	79.71	[20]
		pH 11.4、料液比 1:32、温度 51℃、时间为 58 min	种子	78.47±0.17	[21]
水飞蓟 <i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	碱溶液	pH 11、料液比 1:16、温度 60℃、时间 50 min	种子	62.88	[22]
		pH 10、料液比 1:20、温度 45℃、时间 2 h	根	11.73	[23]
铁皮石斛 <i>Dendrobium officinale</i> Kimura et Migo	缓冲液 (Tris-HCl)	pH 7.4、料液比 1:27、温度 4℃、时间 6 h、溶液浓度 20 mmol/L	茎	8.65±0.13	[24]

注: 三羟甲基氨基甲烷盐酸盐(Tris hydrochloride, Tris-HCl)。

表 2 酶法所用酶种类、工艺条件及提取率
Table 2 Enzyme type, process conditions and extraction rate used in enzymatic method

药用植物	酶	工艺条件	提取部位	提取率/%	参考文献
牡丹 <i>Paeonia</i> × <i>suffruticosa</i> Andr.	超声提取辅助糖化酶	料液比 1:9.8、温度 49.5℃、时间 119 min、加酶量 1.9%	种子	90.95	[26]
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> L.	碱性蛋白酶	pH 10.0、料液比 1:14、温度 45℃、时间 50 min、加酶量 240 U/g	种子	78.45	[27]
火麻仁 <i>Cannabis sativa</i> L.	中性蛋白酶	液料比 1:6、温度 50℃、时间 1.5 h、酶添加量 1.0%	种子	41.6±0.8	[28]
枸杞 <i>Lycium chinense</i> Miller	超声提取辅助纤维素酶	料液比 1:9、温度 35℃、时间 120 min、加酶量 30 U/g	叶	13.79	[29]

1.5 沉淀法

沉淀法主要包括等电点沉淀法和盐析法等。等电点沉淀法是较常用的方法,操作简单、经济实惠、应用范围广,但过低的 pH 可能会造成蛋白的失活。王满生等^[30]以青叶苧麻叶鲜叶为研究对象,优化青叶苧麻叶蛋白的工艺条件,结果表明 pH 4.0 时叶蛋白的沉淀率最高,达到 72.65%。盐析法不易破坏蛋白质的空间结构,但引入了新的盐类杂质,导致盐析法制备的蛋白需额外除去盐类等小分子物质。李晓梅等^[31]提取三七蛋白,得到三七蛋白溶液后,按照比例加入 75%的硫酸铵沉淀蛋白,后经透析除盐,冻干,得到三七蛋白固体样品。

1.6 Osborne 分级提取法

药用植物含有多种黄酮、皂苷、多糖和纤维素等多种成分,在蛋白质提取时,提取物中常会掺杂大量的杂质,影响效率和样品的纯度。因此有时需要采用 Osborne 分级提取法,依次用水、盐溶液、乙醇及碱溶液进行分级分离,可依次得到清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白。此方法制备的蛋白便于对其结构、理化性质进行进一步分析,操作简单、成本低,但提取效率较低,提取过程中每一步参数都需要依次优化。吴颖^[32]用 Osborne 分级提取法依次提取苦荞的 4 种蛋白,结果显示荞麦蛋白中清蛋白的含量最高,经过提取工艺的优化,清蛋白提取率可达到 (35.86±0.89)%,球蛋白提取率达到(5.60±0.26)%。魏馨瑶^[33]用 Osborne 分级提取法提取三七花的清蛋白和球蛋白,清蛋白提取率可达到 39.02%,球蛋白提取率达到 4.61%。

Osborne 分级提取法制备的蛋白在后续的生物活性研究中,可发现不同种类的蛋白具有不同的生物活性或生物活性的强度不同,溶解性、吸油性、乳化性等功能特性也不同^[34]。综上所述,该方法制备的蛋白可通过比较其药理作用和功能特性等,助于研究者对药用植物蛋白的进一步研究及开发利用。

2 药用植物蛋白的纯化

药用植物经提取分离后得到的蛋白质产物包含着各种不同分子量、不同结构的蛋白质。为更好的研究蛋白质的生物活性及结构特点,还需要进一步纯化得到单一的蛋白质组分。

药用植物蛋白的纯化主要利用蛋白极性和分子量等的不同进行分离。常用的方法有离子交换层析、分子筛层析、亲和层析、疏水层析等。有时在分离时,为提高分离效率,常采用多种方法的联用。文献报道见表 3。

3 药用植物蛋白的生物活性

药用植物中的多种蛋白质具有抗氧化、抗肿瘤、抗菌、抗疲劳、免疫和神经元保护等生物活性。研究表明,大多数药用植物蛋白具有抗氧化、抗菌等活性,除这些共同的生物活性外,随着科学技术的发展,一些药用植物蛋白的特殊功效被发现,如黄芪蛋白还具有抗癌活性^[37]。由此可见,药用植物蛋白的生物活性广泛,具有较大的开发价值,值得研究者们进一步的研究。现将其总结如下(图 1)。

表 3 药用植物蛋白纯化的方法及蛋白种类
Tabke 3 Purification methods and protein types of medicinal plants

药用植物名称	纯化方法	蛋白种类	参考文献
银杏 <i>Ginkgo biloba</i> L.	DEAE-52 树脂柱 Sephadex G-100 葡聚糖凝胶柱	白果蛋白	[14]
铁皮石斛 <i>Dendrobium officinale</i> Kimura et Migo	DEAE 阴离子交换柱层析	TPSHP-2 蛋白	[24]
三七 <i>Panax notoginseng</i> (Burkill) F. H. Chen ex C. Y. Wu & K. M. Feng	DEAE 离子交换层析、Sephadex G-50 凝胶层析	三七花蛋白 PNFA-1 和 PNFA-2	[33]
酸枣仁 <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> (Bunge) Hu ex H.F.Chow.	Sephadex G-50 葡聚糖凝胶柱; DEAE Sepharose Fast Flow 琼脂糖凝胶柱	S1F2G1	[20]
	Sephadex G-50 葡聚糖凝胶柱; DEAE Sepharose Fast Flow 琼脂糖凝胶柱	S1F1G1	[35]
山药 <i>Dioscorea opposita</i> Thunb.	Q-HPR 阴离子交换柱、SDS-PAGE 电泳	山药致痒蛋白	[36]

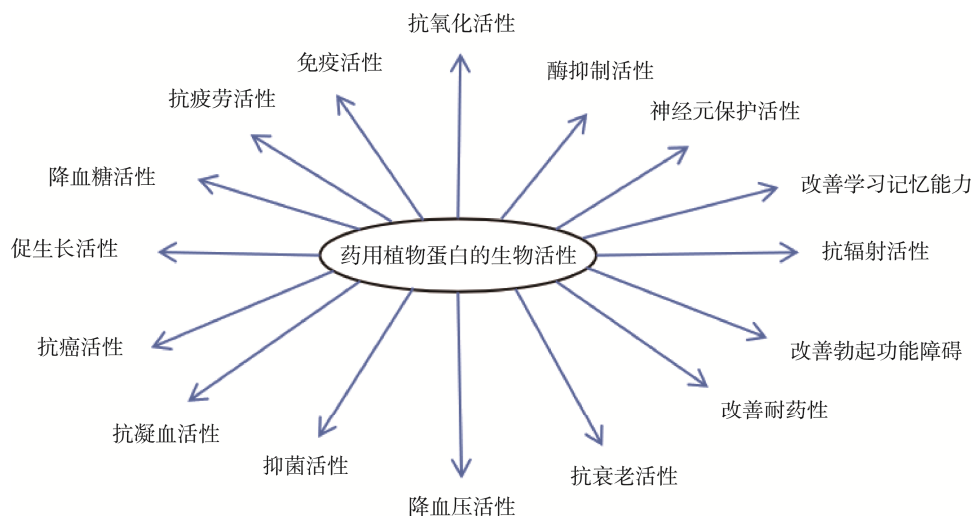


图1 药用植物蛋白的生物活性

Fig.1 Pharmacological effects of medicinal plant proteins

3.1 抗氧化活性

研究报道显示,当人体内出现代谢异常时,会导致氧化应激,增加人体衰老和疾病的风险;心脏病、糖尿病等疾病的产生也与体内自由基含量的增加有关;同时衰老也是由于自由基对细胞的有害攻击导致,因此自由基清除及抗氧化研究对人体健康具有重要的意义^[38]。药用植物蛋白大多数具有较强的抗氧化活性和自由基清除能力。因此研究药用植物蛋白的抗氧化作用具有重要的意义。

王苗^[23]通过碱溶酸沉法制备葛根蛋白,发现葛根蛋白具有显著的抗氧化活性,且自由基清除能力且与蛋白的浓度呈现明显的量效关系。张清等^[39]用盐析法提取落葵种子蛋白,发现在蛋白含量提高时,还原力不断增强,说明落葵种子蛋白具有很强的抗氧化能力。

3.2 抑菌活性

药用植物蛋白大多具有抗菌活性,且抗菌谱范围广,抗菌活性强,可用于制备植物源杀菌剂及研发新型抗病植株,推动药用植物产业的健康发展^[40]。李静舒等^[41]制备荞麦抗真菌蛋白,研究结果显示荞麦抗真菌蛋白对绿色木霉菌的生长具有明显的抑制作用,表明荞麦抗真菌蛋白具有显著的抑菌活性。吴海霞^[42]用缓冲溶液提取及硫酸铵沉淀法制备的银杏种仁蛋白对 *Klebsiella pneumoniae* 等细菌和 *Penicillium* 等真菌均具有较强的抑菌活性。

3.3 降血糖活性

糖尿病是一种常见的慢性代谢疾病,其病因诸多,机制复杂,已成为继心血管疾病、肿瘤之后的第 3 大疾病^[43]。目前对于糖尿病的治疗主要依赖于药物降血糖,而药物降血糖会导致骨折风险增加^[44]、肝毒性^[45]、肠道功能紊乱^[46]等多种副作用,因此研究人员更倾向于利用药用植物开发

功能性食品调节膳食结构从而控制血糖。杨稳等^[47]提取菊芋蛋白,利用小鼠高血糖模型研究菊芋蛋白的降血糖活性,结果显示给菊芋蛋白后,小鼠血糖显著低于对照组,表明菊芋蛋白具有一定的降血糖活性。刘洪霞等^[48]提取沙棘蛋白,结果显示沙棘蛋白可显著降低糖尿病小鼠的葡萄糖敏感性,减少葡萄糖的吸收,具有显著的降血糖活性。

3.4 其他活性

除上述提到的生物活性外,研究发现药用植物蛋白还具有提高免疫、抗疲劳、促生长和防辐射等活性。修志儒等^[49]研究发现,松子蛋白能够显著缩短记忆障碍小鼠的逃避潜伏期、逃避路程及错误次数,促使谷胱甘肽和超氧化物歧化酶的表达,活性及丙二醛含量增加,表明松子蛋白可能通过促进小鼠脑组织自由基的清除,从而促进脑内相关代谢机制恢复。

已有大量研究证明,药用植物蛋白不仅具有原植物已有的功效,也具有一些原植物本身不具有的功效。如山药蛋白不仅具有益肾固精作用,能够治疗勃起功能障碍,而且还具有抗氧化功效^[50];酸枣仁蛋白不仅具有抗疲劳作用,也有抗氧化和提高免疫的作用^[20]。故药用植物蛋白具有广泛的生物活性和较大开发价值。

4 结束语

蛋白质具有多种生物活性,在食品、保健等领域具有良好的应用前景。目前从药用植物中提取纯化蛋白、寻找活性蛋白并研究其作用机制已成为研究的热点内容之一。对于药用植物蛋白的研究开发主要基于具有显著药理作用的活性蛋白,因此更高效的蛋白分离纯化方法,是蛋白质开发应用必要的保障和基础。本文系统总结了药用植物中蛋白质提取分离、纯化工艺及生物活性研究进展,为药用

植物蛋白质的开发和应用提供参考。

参考文献

- [1] 李荣华, 郑旗. 部分植物蛋白肽在抗疲劳功能食品中的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(2): 529–535.
- LI RH, ZHENG Q. Study on the application of partial plant protein peptides in anti-fatigue functional food [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(2): 529–535.
- [2] AL-SNAFI AE. Phenolics and flavonoids contents of medicinal plants, as natural ingredients for many therapeutic purposes-A review [J]. IOSR J Pharm, 2020, 10(7): 42–81.
- [3] 王颖, 张智锋, 任婧楠, 等. 沙棘活性成分及功能特性的研究进展[J/OL]. 现代食品科技, 1-10. [2024-05-24]. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.4.0348
- WANG Y, ZHANG ZF, REN JN, *et al.* Progress on the active components and functional properties of sea buckthorn [J/OL]. Mod Food Sci Technol, 1-10. [2024-05-24]. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.4.0348
- [4] YUE C, YUNZHU W, PING L, *et al.* Comparative transcriptomic analysis reveal the regulation mechanism underlying MeJA-induced accumulation of alkaloids in *Dendrobium officinale* [J]. J Plant Res, 2019, 132(3): 419–429.
- [5] SHABEER WS, DAR PA, ZARGAR SM, *et al.* Therapeutic potential of medicinal plant proteins: Present status and future perspectives [J]. Curr Prot Pept Sc, 2020, 21(5): 443–487.
- [6] LIU W, ZOU M, WANG Y, *et al.* Ginkgo seed proteins: Characteristics, functional properties and bioactivities [J]. Plant Food Hum Nutr, 2021, 76(3): 281–291.
- [7] 范三红, 贾槐旺, 张锦华, 等. 不同提取方法对紫苏籽粕蛋白功能性质的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(12): 61–69.
- FAN SH, JIA HW, ZHANG JH, *et al.* Effects of different extraction methods on the functional properties of perilla seed meal protein [J]. China Cond, 2021, 46(12): 61–69.
- [8] 郭洪亮. 杜仲叶蛋白的分离纯化及药理活性研究[D]. 开封: 河南大学, 2016.
- GUO HL. Research on purification and separation on eucommia leaf protein and the pharmacological [D]. Kaifeng: Henan University, 2016.
- [9] 李启照. 中药莱菔子中蛋白闪式提取工艺研究[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2016, 32(6): 57–60.
- LI QZ. The extraction technology of protein from the seed of Chinese medicine Raphani by flash [J]. J Qiqihar Univ (Nat Sci Ed), 2016, 32(6): 57–60.
- [10] 和丽, 吴君瑞, 王雪峰, 等. 反胶束法提取辣木籽蛋白工艺优化[J]. 中国油脂, 2021, 46(7): 80–85, 98.
- HE L, WU JR, WANG XF, *et al.* Optimization of extraction process of *Moringa oleifera* seed protein by reverse micelle method [J]. China Oils Fats, 2021, 46(7): 80–85, 98.
- [11] 张永松, 丁真真, 陈辛杰, 等. 反胶束提取扁桃仁蛋白工艺优化及理化特性比较[J/OL]. 现代食品科技, 1-13. [2024-08-02]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.8.0031>
- ZHANG YS, DING ZZ, CHEN XJ, *et al.* Optimization of extraction process and comparison of physicochemical properties of amygdala protein by reverse micelles [J/OL]. Mod Food Sci Technol, 1-13. [2024-08-02]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.8.0031>
- [12] 吴启康, 杨芝芝, 陈周秀, 等. 枸杞蛋白提取工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(10): 140–142.
- WU QK, YANG ZZ, CHEN ZX, *et al.* Optimization of extraction process for *Lycium barbarum* protein [J]. Guizhou Agric Sci, 2020, 48(10): 140–142.
- [13] 杨重晖, 赵大庆, 王德慧, 等. 响应面法优化黑果枸杞蛋白提取工艺及其抗衰老活性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(7): 98–104.
- YANG CH, ZHAO DQ, WANG DH, *et al.* Response surface optimized extraction of protein from *Lycium ruthenicum* Murr. and anti-aging activity research [J]. Food Res Dev, 2019, 40(7): 98–104.
- [14] 赵禹光. 银杏白果蛋白的改性及抗氧化性研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2023.
- ZHAO YG. Study on the modification and antioxidant properties of ginkgo biloba protein [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2023.
- [15] 石杰, 宋淑敏, 魏连会, 等. 碱提酸沉法提取汉麻籽蛋白粉的优化[J]. 食品工业, 2021, 42(9): 4–6.
- SHI J, SONG SM, WEI LH, *et al.* Optimization of extraction of hemp seed protein powder by alkali extraction and acid precipitation [J]. Food Ind, 2021, 42(9): 4–6.
- [16] 宋淑敏, 魏连会, 石杰, 等. 汉麻籽蛋白提取制备工艺[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 63–65.
- SONG SM, WEI LH, SHI J, *et al.* Extraction and preparation of hemp seed protein [J]. Food Ind, 2019, 40(10): 63–65.
- [17] 杨松, 杨俊杰, 张婉迎, 等. 响应面法优化火麻仁水溶性总蛋白工艺[J]. 食品工业, 2019, 40(1): 117–122.
- YANG S, YANG JJ, ZHANG WY, *et al.* Response surface method to optimize the extraction process of water soluble total protein of fire flaxen [J]. Food Ind, 2019, 40(1): 117–122.
- [18] 许光映. 火麻蛋白粉提取工艺研究[J]. 农产品加工, 2020, (24): 20–23.
- XU GY. Study on extraction technology of hemp protein powder [J]. Farm Prod Process, 2020, (24): 20–23.
- [19] 沈慧, 张菲, 龚菊梅, 等. 超声波辅助火麻仁蛋白提取工艺的研究[J]. 新乡学院学报, 2020, 37(12): 13–16.
- SHEN H, ZHANG F, GONG JM, *et al.* Study on ultrasonic assisted extraction technology of hemp seed protein [J]. J Xinxiang Univ, 2020, 37(12): 13–16.
- [20] 张红印. 酸枣仁蛋白的及其生物活性研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2022.
- ZHANG HY. Study on protein extraction and biological activity of semen ziziphi spinosae [D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2022.

- [21] 谭力铭, 裴海生, 赵丹丹, 等. 超微冷冻粉碎处理下酸枣仁蛋白提取工艺优化[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23): 122–128.
- TAN LP, PEI HS, ZHAO DD, *et al.* Optimization of extracting jujube kernel protein by ultramicro freezing grinding [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(23): 122–128.
- [22] 刘春梅. 水飞蓟蛋白的提取工艺研究功能性评价及面包制备[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2021.
- LIU CM. Extraction process of the silybum marianum protein, functionality evaluation and bread preparation [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2021.
- [23] 王苗. 葛根蛋白的提取及抗氧化、抗疲劳活性研究[D]. 吉林: 长春中医药大学, 2022.
- WANG M. Extraction, antioxidant and antifatigue activities of *Pueraria lobata* protein [D]. Jilin: Changchun University of Chinese Medicine, 2022.
- [24] 曾婧, 白雪媛, 王悦, 等. 铁皮石斛蛋白提取工艺优化、活性成分筛选及结构研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(19): 228–237.
- ZENG J, BAI XY, WANG Y, *et al.* Extraction process optimization, active ingredient screening and structure study of *Dendrobium Officinale* protein [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(19): 228–237.
- [25] HUANG GP, CHEN SW, DAIC HH, *et al.* Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity [J]. *Ultra Sono*, 2016, 37: 144–149.
- [26] 李若敏, 张焕新, 盘赛昆, 等. 牡丹籽粕蛋白提取工艺优化和功能性质分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 197–204.
- LI RM, ZHANG HX, PAN SK, *et al.* Process optimization and functional properties of peony seeds protein [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, 44(8): 197–204.
- [27] 解芳, 孙允武. 沙棘籽粕蛋白提取工艺技术研究[J]. 青海科技, 2021, 28(5): 80–83.
- XIE F, SUN YW. Extraction technology of protein from seabuckthorn seed meal [J]. *Qinghai Sci Technol*, 2021, 28(5): 80–83.
- [28] 李晓君, 韩飞燕, 寇君, 等. 酶辅助大麻蛋白提取工艺的研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(9): 17–21.
- LI XJ, HAN FY, KOU J, *et al.* Research progress on enzyme-assisted extraction of hempseed protein [J]. *Cere Oils*, 2019, 32(9): 17–21.
- [29] 李明. 枸杞叶蛋白提取及应用研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2020.
- LI M. Study on the extraction and application of lycium barbarum leaf protein [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2020.
- [30] 王满生, 杨晶, 王延周. 青叶苎麻蛋白提取工艺的优化[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 70–73.
- WANG MS, YANG J, WANG YZ. Optimization of the extraction technology for the leaf protein of green leaf ramie [J]. *Food Ind*, 2020, 41(7): 70–73.
- [31] 李晓梅, 睢博文, 赵雨, 等. 三七蛋白提取及热稳定性研究[J]. 食品工业, 2017, 38(8): 165–168.
- LI XM, SUI BW, ZHAO Y, *et al.* Study on extraction process and thermostability of notoginseng protein [J]. *Food Ind*, 2017, 38(8): 165–168.
- [32] 吴颖. 苦荞蛋白的提取及活性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- WU Y. Study on extraction and activity of Tartary buckwheat protein [D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.
- [33] 魏馨瑶. 三七花蛋白的提取纯化、功能性质及其抗凝血活性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.
- WEI XY. Study on extraction, purification, functional properties and anticoagulant activity of panax notoginseng flower protein [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2021.
- [34] SONDA B, SABRINE D, AFEF G, *et al.* Extraction of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) proteins via Osborne sequential procedure: Structural and functional characterizations [J]. *J Food Compos Anal*, 2023. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.104984
- [35] 刘晖, 李光哲, 肖凤琴, 等. 酸枣仁蛋白的分离纯化及体外免疫活性[J]. 食品科技, 2022, 47(12): 214–220.
- LIU H, LI GZ, XIAO FQ, *et al.* Isolation, Purification and *in vitro* immune activity of *Ziziphi Spinosae Semen* protein [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 47(12): 214–220.
- [36] 孙冬红, 洪玉晓, 陈洪铎, 等. 山药蛋白及其致痒成分分析[J]. 中国医科大学学报, 2021, 50(12): 1069–1075.
- SUN DH, HONG YX, CHEN HD, *et al.* Analysis of Chinese yam proteins and the itch-causing components [J]. *J Chin Med Univ*, 2021, 50(12): 1069–1075.
- [37] 王禹璇, 刘海英, 姚红, 等. 中药黄芪蛋白抗肝癌细胞 HepG2 作用机制[J]. 药学报, 2020, 55(2): 241–246.
- WANG YX, LIU HY, YAO H, *et al.* The mechanism of anti-hepatocellular carcinoma cell line HepG2 by Chinese medicine *Astragalus* protein [J]. *Acta Pharm Sinica*, 2020, 55(2): 241–246.
- [38] GIOVANNI M, CIRO C, MICHELE M, *et al.* Free radical properties, source and targets, antioxidant consumption and health [J]. *Oxygen*, 2022, 2(2): 48–78.
- [39] 张清, 桂萌, 高亮, 等. 落葵种子蛋白工艺优化及其抑菌和抗氧化特性分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(4): 816–824.
- ZHANG Q, GUI M, GAO L, *et al.* Optimization of extraction technology for *Basella alba* L. seed protein and its bacteriostasis and antioxidant properties [J]. *J Southern Agric*, 2019, 50(4): 816–824.
- [40] ABATE L, BACHHETI A, BACHHETI RK, *et al.* Antibacterial properties of medicinal plants: Recent trends, progress, and challenges [J]. *Tradit Herb Therap Hum Imm Syst*, 2021, 1: 13–54.
- [41] 李静舒, 贺东亮. 荞麦籽粒中抗真菌蛋白的分离纯化及抗真菌活性研究[J]. 天津农业科学, 2022, 28(6): 8–11, 15.
- LI JS, HE DL. Purification and antibacterial activity of antifungal protein from buckwheat seed [J]. *Tianjin Agric Sci*, 2022, 28(6): 8–11, 15.
- [42] 吴海霞. 银杏种仁抑菌蛋白及其抑菌机制研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.
- WU HX. Study on antimicrobial activity and mechanism of protein from *Ginkgo biloba* seeds [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014.

- [43] ZIMMET PZ, MAGLIANO DJ, HERMAN WH, *et al.* Diabetes: A 21st century challenge [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2014, 2(1): 56–64.
- [44] KAHN SE, ZINMAN B, LACHIN JM, *et al.* Rosiglitazone-associated fractures in type 2 diabetes: An analysis from a diabetes outcome progression trial (ADOPT) [J]. *Diabetes Care*, 2008, 31(5): 845–851.
- [45] JAISWAL S, MEHTA R, MUSUKU M, *et al.* Repaglinide induced acute hepatotoxicity [J]. *J Nepal Med Ass*, 2009, 48(174): 162.
- [46] LLOYD-STILL JD. Cholestyramine therapy and intestinal obstruction in infants [J]. *Pediatrics*, 1977, 59(4): 626–627.
- [47] 杨稳, 刘飞, 刘文静, 等. 菊芋蛋白的提取及其降血糖作用研究[J]. *山东中医杂志*, 2017, 36(8): 714–716, 724.
- YANG W, LIU F, LIU WJ, *et al.* Extraction of *Helianthus Tuberosus* protein and its hypoglycemic activity [J]. *Shandong J Tradit Chin Med*, 2017, 36(8): 714–716, 724.
- [48] 刘洪霞, 舒丹阳, 刘鹏展, 等. 沙棘蛋白的特性及其对 db/db 糖尿病小鼠的降血糖作用[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(7): 309–313, 319.
- LIU HX, SHU DY, LIU PZ, *et al.* Characteristics of seabuckthorn seed protein and its hypoglycemic effect on db/db diabetic mice [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(7): 309–313, 319.
- [49] 修志儒, 阚默, 于澎, 等. 松子蛋白改善脑缺血再灌注损伤小鼠的认知学习能力作用研究[J]. *长春中医药大学学报*, 2020, 36(6): 1160–1162.
- XIU ZR, KAN M, YU P, *et al.* Effects of pine nut protein on cognitive

learning ability in mice with cerebral is chemia-reperfusion injury [J]. *J Changchun Univ Chin Med*, 2020, 36(6): 1160–1162.

- [50] 邢欣. 山药蛋白对高糖诱导内皮功能障碍的改善作用及其机制研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2022.

XING X. Study on improving effects and mechanisms of Chinese yam protein against endothelial dysfunction induced by high glucose [D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2022.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

作者简介



赵一萌, 硕士研究生, 主要研究方向为中药新产品的开发与应用。
E-mail: 1786370952@qq.com

裴香萍, 教授, 主要研究方向为中药鉴定及中药质量评价。
E-mail: peixp69@163.com