

绿豆肽功能活性及其在食品中的应用进展

安宇^{1,2}, 冯玉超¹, 王长远^{1,2*}

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江大庆 163319) (2. 国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江大庆 163319)

摘要: 肽是生物活性小分子物质, 具有来源广、安全性高以及微量高效的特点。绿豆是我国传统的药食同源性杂粮豆类, 是良好的蛋白质来源, 其蛋白不仅含量高, 且具有多种生物学功能。绿豆肽的氨基酸组成与绿豆蛋白相似, 但却具备更多样的生物活性, 如抗氧化性、免疫活性、降血压作用等; 还具有较强的金属螯合能力, 可提升其功能活性以及金属离子在机体中的运转; 添加到食品中还可赋予食品相应功能特性, 且对于食品品质形成及保持具有一定作用, 故绿豆肽是一种极具潜力的植源性生物活性肽。近年国内外对绿豆肽的研究也在逐渐增多, 但尚未有广泛的文献综述, 该研究从绿豆肽的制备、改性、功能活性及其在食品中的应用几方面对其现有研究进行概述, 并指出其存在的问题及今后的研究重点。旨在为今后绿豆肽的生产、功能性产品研发及其在食品相关领域的应用提供现实的理论基础和智力支撑。

关键词: 绿豆肽; 制备; 功能活性; 应用

文章编号: 1673-9078(2022)02-340-346

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0516

Progress on the Functional Activities of Mung Bean Peptides and Their Applications in Foods

AN Yu^{1,2}, FENG Yuchao¹, WANG Changyuan^{1,2*}

(1. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

(2. Heilongjiang Farm Produce Processing Development Center, Daqing 163319, China)

Abstract: Peptides are bioactive small molecules, which have the characteristics of wide sources, high safety and high efficiency in trace. Mung bean is a traditional Chinese multi-grain legume with homology of medicine and food in China. It is a good source of proteins with a high protein content and multiple biological functions. Mung bean peptide had an amino acid composition similar to that of mung bean protein, but exhibited more diverse biological activities, such as antioxidant activity, immune activity, blood pressure-lowering effect. Mung bean peptide also had a strong metal chelating ability, which can improve its functional activity and the operation of metal ions in the body. Adding mung bean peptide to food can also give corresponding functional properties and play a certain role in the formation and maintenance of food quality. Therefore, mung bean peptide is a potential plant-derived bioactive peptide. In recent years, the domestic and international research on mung bean peptide is increasing gradually, but there is no extensive literature review. In this paper, the preparation, modification, functional activity of mung bean peptides and their applications in foods are summarized, and the existing problems and future research emphases are also pointed out. The aim is to provide realistic theoretical basis and intellectual support for mung bean peptide production, research and development of functional products, and their applications in food-related fields in the future.

Key words: mung bean peptide; preparation; functional activity; application

引文格式:

安宇,冯玉超,王长远.绿豆肽功能活性及其在食品中的应用进展[J].现代食品科技,2022,38(2):340-346

AN Yu, FENG Yuchao, WANG Changyuan. Progress on the functional activities of mung bean peptides and their applications in foods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 340-346

收稿日期: 2021-05-16

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFE0206300); 黑龙江省自然科学基金研究团队项目(TD2020C003); 黑龙江省自然科学基金项目(LH2019C054); 黑龙江八一农垦大学研究生创新项目(YJSCX2021-Z04)

作者简介: 安宇(1977-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: dayu224@126.com

通讯作者: 王长远(1976-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与工程、粮食、油脂及植物蛋白质工程, E-mail: byndwcy@163.com

绿豆 (*Vigna radiata* L.) 是我国传统的药食同源性杂粮豆类, 在提供基本营养需求的基础上, 绿豆具有很多潜在的健康益处^[1,2], 大量研究证实多肽是主要功能成分之一^[3]。绿豆肽是绿豆蛋白的水解产物, 其氨基酸组成与绿豆蛋白基本相同, 主要有蛋氨酸、色氨酸、酪氨酸和精氨酸, 分子量分布一般为 1.20~0.10 ku^[4]。肽与蛋白相比, 虽营养价值相近, 但更易被吸收, 且具有更多原蛋白没有的生物活性。作为生物活性小分子, 它的开发及应用价值要远高于蛋白质, 且具有来源广、安全性高以及微量高效的特点, 这使其成为食品国际学术领域研究的热点对象。我国蛋白资源丰富, 但真正已开发的蛋白资源却不多, 仍然面临蛋白资源短缺的情况, 植物蛋白来源广且应用性强, 是亟待开发的优质资源。绿豆产量高, 且为主要食用豆类之一, 是优质的可持续蛋白质来源, 含量在 20.97%~31.32%^[5], 氨基酸特征类似于 FAO/WHO 参考蛋白和大豆蛋白^[6-8], 其水解产物绿豆肽安全性高、应用范围广, 可作为功能性成分或添加剂应用在食品以及特殊食品中, 如具有良好的自由清除基能力, 则对机体可延缓衰老^[9]; 对食品具有延长保质期的作用^[10]; 易吸收且可促进肠道有益菌生长^[11,12], 则可制成肠道营养剂, 作为消化功能低的人群的辅助营养品等, 但目前开发程度较低, 是一种极具 Mung Bean (*Vigna radiata* L.) 潜力的新型食源性生物活性肽。绿豆肽在生物体内虽以微量存在, 但其生理活性却很显著, 多元化的功能活性也使其成为近年良好植物蛋白精深加工研究的重点对象。

1 绿豆肽的制备

目前绿豆肽的制备主要集中于酶法制备, 其中包括单酶水解、复合酶水解, 以及超声辅助酶法提取, 另外还有采用发酵及化学合成方式进行绿豆肽制备的研究。酶法研究中采用的酶主要集中于中性蛋白酶、碱性蛋白酶、胰蛋白酶、胃蛋白酶^[13,14], 还有少量学者采用了无花果蛋白酶和菠萝蛋白酶^[15], 其中碱性蛋白酶制备得到的肽效果最好, 在复合酶水解中碱性蛋白酶也是基础用酶; 而制备指标除水解度 (DH) 外,

也有以目的性指标如抗氧化肽以自由基清除率为指标的制备方法等。酶的类型决定了肽键的裂解模式, 可影响水解产物的性质, 此外, 水解条件也会对蛋白水解产物的性质及生物活性产生影响, 故酶法制备中研究者也均进行了工艺参数优化, 见表 1。在酶法制备绿豆肽的研究中, 无论蛋白酶种类是否相同, 其水解工艺参数均存在一定差异, 且进一步分离、纯化出的肽段大部分分子量也不相同, 其水解度在 11.45%~33.95%, 不同工艺结果间相差较大。在酶法制备的基础上, 还可协同物理法进行绿豆肽的制备, 如超声辅助酶法^[16]、热预处理及超声波辅助酶法提取^[17]等, 制备得到的肽浓度更高, 且功能性也显著增强。对于植物蛋白肽的制备目前多采用物理协同酶法进行, 多集中于超声波、微波、或者超声微波协同萃取, 但在绿豆肽的制备上物理法协同制取的研究还相对较少。以发酵法及化学合成法制备得到的绿豆肽分别具有产量大 (绿豆多肽含量达 1397.42 $\mu\text{g}/\text{mL}$) 和纯度高及目标性强的特点^[18,19], 但这两种方法均鲜有报道, 尚不成体系。

采用相似的酶解工艺水解绿豆蛋白得到的产物叫法也不统一, 当前更多研究者将其称为绿豆多肽, 少部分称其为绿豆肽、绿豆寡肽、绿豆蛋白水解物 (MBPHs)。在实验操作中的区别在于是否对其进行分离、纯化步骤, 而这直接决定了肽的纯度、分子量大小。目前绿豆肽纯化的主要的方式有超滤、阴离子交换 (AEC) 多肽分离、TSK-凝胶尺寸排除色谱、反相高效液相色谱 (RP-HPLC) 等。虽对绿豆肽的研究目的不一, 但是有必要对不同蛋白酶最佳工艺条件以及复合酶的复合方式及配比进行细化研究, 这对于制备得到的绿豆肽的功能性质研究具有重要影响。

2 绿豆肽功能活性

目前绿豆肽功能活性的研究主要集中于抗氧化性、ACE 抑制性以及免疫活性, 除此之外绿豆肽在解酒、提高细胞存活率、抗癌、对急性肺损伤的保护, 提高缺氧耐受力等方面也表现出良好的效果^[26-28]。且研究中发现, 分子量越小其功能作用越显著^[29,30]。

表1 酶解法绿豆肽制备工艺情况

Table 1 Preparation process of mung bean peptides by enzymatic hydrolysis

酶种类	酶解优化工艺参数	制备指标	指标结果	制备物名称	肽段分子量	参考文献
胃蛋白酶	沸水浴 90 °C 处理 20 min, 温度 37 °C、pH 1.80、底物质量分数 7.00%、加酶量 6000 U/g, 时间 180 min	DH	19.86%	绿豆小肽	未测定	[13]
风味蛋白酶	温度 60 °C、pH 7.00、底物浓度 9.00%、酶浓度 6000 U/g, 时间 180 min	DH	22.77%	绿豆低聚肽	未测定	[14]
中性蛋白酶	温度 50 °C、pH 6.50、底物浓度 7.00%、酶浓度 6000 U/g、水解时间 240 min	DH	28.82%	绿豆寡肽	未测定	[20]
中性蛋白酶	温度 50 °C、pH 7.0、底物浓度 9.00%、酶用量 6.00%, 时间 240 min	DH	30.49%; 肽得率为 12.10%	绿豆多肽	未测定	[21]
中性蛋白酶	温度 50 °C、pH 7.00、底物质量分数 3.00%、加酶量 2.00%, 时间 180 min	DPPH 清除率	81%~83%	绿豆多肽	5 个组分, 但未测定分子量	[22]
碱性蛋白酶	温度 56.5 °C、pH 9.1、底物浓度 3.40%、酶用量 6.20%、时间 240 min	DH	24.96%±0.27%	绿豆多肽	>10 ku, 5000 u~10ku, 3000 u~5000 u, <3000 u	[23]
碱性蛋白酶	温度 57 °C、pH 8.95、[E]/[S]为 3.50%、底物浓度 2.00%、时间 120 min	DH 和 DSI	23.07%; NSI 60.22%	绿豆蛋白水解物	600~1400 u	[24]
碱性蛋白酶	温度 50~60 °C、pH 8、底物浓度 3.00%、加酶量为[ES]×3%、时间 2 h	DH	22.70%	绿豆蛋白酶解物	<3 ku、3~10 ku 和 >10 ku	[25]
碱性蛋白酶 +木瓜蛋白酶	温度 55 °C、pH 8.50、底物浓度为 8.00%、酶底比为 8.00%、时间 180 min	DH	32.58%	绿豆多肽	<1 ku、1 ku~5 ku、>5 ku	[17]
碱性蛋白酶	温度 60 °C、pH 8.50、底物浓度 9.00%、酶用量 5.00%, 时间 240 min	DH	31.55%; 肽得率为 12.50%	绿豆多肽	未测定	[21]
碱性蛋白酶+ 中性蛋白酶	温度 56 °C、pH 8.50、底物浓度为 8.00%、酶用量 4.00%、复合酶比例为 1:1、水解时间为 180 min	DH	33.95%; 肽得率 13.17%	绿豆多肽	未测定	[21]
ficin 蛋白酶	在 100 °C 下短波红外辐射处理 20 min, 室温下冷却 16 min 后, 制备 10% (W/V) 的溶液, 分成两等份分别在 pH 5.70 和 65 °C 下与 bromelain 蛋白酶 (2%, W/W) 一起孵育, 在 pH 7.00 和 55 °C	DH	15.04%±0.33%	绿豆多肽	50 ku	[15]
bromelain 蛋白酶	与菠萝蛋白酶 (2%, W/W) 孵育, 时间 300 min		11.45%±0.02%		15 ku	

注: DSI 为可溶性氮的含量。

2.1 抗氧化活性

绿豆肽的抗氧化性的研究涉及体外抗氧化指标、细胞层次以及小鼠体内抗氧化性能的测定。体外抗氧化指标集中于 DPPH 自由基清除能力、超氧酸根离子 (O_2^-) 清除能力、羟基自由基 ($\cdot OH$) 清除能力和铁离子还原能力, 而结果均证实绿豆肽具有显著的抗氧化活性^[31], 且研究发现采用酶法制备得到的绿豆肽其抗氧化能力要显著强于发酵法; 细胞层面的研究主要体现在清除细胞内活性氧 (ROS)、促进超氧化物歧化酶 (SOD) 分泌、抑制丙二醛 (MDA) 生成等方面, 发现其功能作用与绿豆肽添加量成剂量依赖关系, 且该作用可能与绿豆肽的疏水性和芳香族氨基酸含量具有相关性^[32]。体内研究结果显示, 绿豆肽可降低小鼠血清和肝脏中 MDA 含量 (约 30.16%), 可大幅增加 SOD (约 14.03%) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 的活力 (66.59%)^[16,33], 在清除 ABTS 自由基活性方面也具有一定作用(清除量在 90~100 μg 抗坏血酸当量/mL)。绿豆肽的抗氧化能力主要取决于水解程度, 但目前的研究中对于水解度与抗氧化性关系的探究并不多, 且抗氧化性的研究仍以体外抗氧化指标居多, 绿豆肽发挥该活性的作用机理尚不清晰, 有待继续探讨。

2.2 降血压活性

从食物蛋白中提取的 ACE 抑制肽与 ACE 抑制剂药物相比具有安全性高, 性质温和、无副作用的优势^[34], 故植物蛋白 ACE 的挖掘与研究成为热点内容。研究发现绿豆肽的降血压效果要强于花生肽和大米肽等^[29,35]。现有研究中绿豆肽在体外的 ACE 抑制活性均可达到 89%以上, 经消化后其活性仍较高, 稳定性强^[29,36,37]; 在自发性高血压大鼠 (187.90 \pm 8.70 mmHg 降低 30.80 mmHg) 和小鼠体内也均表现出心脏收缩压显著下降的效果, 且在体内持续时间也较长, 可达 8 h 左右^[38]。目前已测定出的绿豆 ACE 抑制肽 (抑制率为 89.50%) 的活性成分有 FLVNPDDNENL、FLVNPDDNENLRII 和 KDNVISEIPTVLDL^[38,39]。绿豆肽是潜在的优质 ACE 肽源, 但绿豆肽若要在机体中发挥降压作用, 口服后需经肠道吸收以及进一步抵抗血浆肽酶的降解后而到达其作用靶点, 故其体外的 ACE 抑制活性与在体内的降压活性会有一定差异, 更多的体内研究对于绿豆肽降血压效果的探讨更具实际意义。目前绿豆降血压活性的研究仅局限于证实具有该作用, 但其发挥降血压活性的调控机制也尚不明确。

2.3 免疫活性

免疫调节对于维持自身生理功能稳定与平衡具有重要作用, 已有研究发现绿豆肽可提高机体的免疫活性, 此类多为纯化后得到的绿豆肽。绿豆肽不仅在体外免疫指标中表现出呈现一定剂量效应的免疫活性, 还可增强 RAW 264.7 巨噬细胞活性, 促进其增殖, 以及抑制溶菌酶和超氧歧化酶的活性, 在降低促炎细胞因子的表达, 以及在促进巨噬细胞 NO 分泌、iNOS 活性以及对 iNOSm RNA 的表达等方面也均表现出良好的效果。具有免疫活性的绿豆肽分子量通常较小 (<1000 u), 已鉴定出的一个肽段的氨基酸序列为 Asn-Asn-Tyr-Gly-Pro-Thr-Met, 且发现绿豆肽的免疫活性与疏水氨基酸的含量有关^[40-42]。在小鼠体内, 绿豆肽可提高其缺氧耐受性和免疫力, 体现在吞噬巨噬细胞的能力、半数溶血值、脾脏生成抗体的细胞数以及淋巴细胞的增殖能力显著提高等方面^[43]。刁静静^[4]还通过环磷酸腺苷致免疫低下小鼠模型对绿豆肽 (Mw<1000 u, 含量 96%) 发挥免疫调节作用的机制进行了探究, 其鉴定出三个免疫活性最强的绿豆肽的氨基酸序列, 分别为 Phe-Leu-Val-Asn-Arg-Ile (885.10 u), Phe-Leu-Val-Asn-Pro-Asp-Asp (961.06 u), Lys-Asp-Asn-Val-Ile-Ser-Glu-Leu (1043.13 u), 结果表明绿豆肽发挥免疫调控作用可能是通过 TLR1 受体调控 p38、ERK1/2 和 NF- κ B 信号通路实现的; 且绿豆肽免疫活性程度与其分子量大小、氨基酸构成及含量、疏水性及其二级结构均密切相关。

2.4 金属螯合能力

研究显示, 绿豆肽具有较强的金属螯合能力, 但目前仅体现在铁离子和锌离子螯合方面, 可作为较好的锌强化剂和亚铁离子螯合剂。Fu 等^[44]从碱性酶水解得到的绿豆蛋白水解物中分离纯化出一个分子量为 1192.56 u 具有锌结合能力的新肽, 其氨基酸序列为 SSEDQPFNLR, 其肽结合锌的能力为 80.82 mg/g, 研究显示锌在肽上的结合位点为酰胺的氮原子、末端氨基和羧基上的氧原子; 肽锌螯合物在酸性和碱性条件下均表现出良好的溶解性, 且螯合后促进了锌离子在机体中的转运及在胃肠道中的吸收。绿豆肽与铁离子的螯合物则表现出较强的抗氧化活性, Chunkao 等合成了五个由 5~8 个氨基酸组成的具有较高铁结合能力的抗氧化活性肽, 分子量为 88.86~153.59 mg/g。其中 PAIDL 的铁结合能力最高, LLLLG 和 LLGIL 的金属螯合活性最强, 而 PAIDL (46.63%) 和 LLGIL (81.27%) 清除 DPPH 自由基的活性显著优于其他肽段; 并发现短链与亮氨酸结合的 c 端氨基酸残基是肽具有较强抗氧化性^[45,46]。绿豆肽对于其他金属的螯合能力也有待

探索,且后续仍通过大量动物模型和人体实验来进一步研究。

3 绿豆肽在食品中的应用

目前绿豆肽在食品中的应用研究较少,现多将绿豆肽添加到液态食品中,研究其对食品感官及食品功能性的影响。如开发添加绿豆肽的抗氧化饮料(DPPH、 O_2^- 、 $\cdot OH$ 自由基的清除率分别为 81.48%、73.18%、54.90%)、具有抗氧化功能的糯米酒中(DPPH、 O_2^- 、 $\cdot OH$ 自由基的清除率分别为 82.53%、69.60%、79.85%)^[21],以及添加到发酵酸奶中^[24]促进乳酸菌发酵(缩短发酵时长 45 min),还可将其添加到葵花籽油中,延缓葵花籽油和葵花籽油水乳状液的脂质氧化速度和程度^[15]。绿豆肽本身具有苦味,故添加到食品中对其风味口感等会具有一定程度的影响,所以绿豆肽应用到食品中的添加量及对食品本身食味品质的影响应着重注意,尽管仍存在一定问题,但其功能作用在食品工业生产强化食品方面已展现出一定的优势。

4 展望

4.1 目前,绿豆肽的研究多集中在分离纯化技术上,对于功能活性的研究面广而不深,也多集中在体外检测和细胞水平上,但不可否认的是绿豆肽展现出了多种多样的生物活性,是一种极具开发潜力的生物活性肽。从来源的角度看,绿豆属于杂粮豆类,且具有药食同源性,故其可能具有更广泛的应用前景,但由于其作为外源性代谢调节物的作用靶点及生理活性调控的作用机制尚未清晰,制约了其在食品及相关领域的应用。

4.2 绿豆肽的研究主要存在几个问题,一是蛋白酶种类对绿豆肽功能活性影响不明确,尚缺乏体系性的研究,如相同蛋白酶不同水解程度得到的不同分子量肽其功能活性差异,以及不同蛋白酶相同水解程度得到的肽功能活性差异。二是绿豆肽构效关系尚不明确,具体氨基酸组成对其功能活性的影响不得而知。三是功能活性作用机制研究不透彻,目前仅证实其具有多种功能,但作用机制鲜有报道,从体外相应指标检测到细胞水平分子调控机制研究,再到体内动物实验作用机理解析可更系统性的对机制进行明确;其次功能活性作用机制研究方法也不全面,目前的机制研究深层次的落在细胞层面的信号通路方向,而作为食源性蛋白肽,肠道消化吸收后如何发挥作用的机制未有证实,机制研究中可结合分子生物学、蛋白组学以及代谢组学等平台综合进行验证。绿豆肽无论在食品还是医药领域均表现出良好的作用,所以有针对性的根据

原材料特点合理开发“定向功能活性肽”具有较好的现实意义,对于具有相应活性但不是主要活性的功能,则可与其他肽进行复配,研发“多功能复合型肽”产品。

参考文献

- [1] Giusti F, Caprioli G, Ricciutelli M, et al. Analysis of 17 polyphenolic compounds in organic and conventional legumes by high-performance liquid chromatography-diode array detection (hplc-dad) and evaluation of their antioxidant activity [J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2018, 69: 557-565
- [2] Ketha K, Gudipati M. Immunomodulatory activity of non starch polysaccharides isolated from green gram (*Vigna radiata*) [J]. *Food Res Int*, 2018, 113: 269-276
- [3] Sonklin C, Laohakunjit N, Kerchoechuen O. Assessment of antioxidant properties of membrane ultrafiltration peptides from mungbean meal protein hydrolysates [J]. *PeerJ*, 2018, 6: e5337
- [4] 刁静静. 绿豆肽对小鼠巨噬细胞免疫活性的影响及其作用机制[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019
- [5] DIAO Jingjing. Immunomodulatory activity and mechanism of mung bean peptides on macrophage [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2019
- [6] Anwar F, Latif S, Przybylski R, et al. Chemical composition and antioxidant activity of seeds of different cultivars of mung bean [J]. *J Food Sci*, 2007, 72(7): S503-510
- [7] Chatterjee C, Gleddie S, Xiao C W. Soybean bioactive peptides and their functional properties [J]. *Nutrients*, 2018, 10: 1211
- [8] Aykroyd W R, Doughty J. Legumes in human nutrition [M]. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Food Nutr Pap, 1982, 20, 1-152.
- [9] Mubarak A E. Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes [J]. *Food Chem*, 2005, 89: 489-495
- [10] Wongekalak L O, Sakulsom P, Jirasripungpun K, et al. Potential use of antioxidative mungbean protein hydrolysate as an anticancer asiatic acid carrier [J]. *Food Research International*, 2011, 44(3): 812-817
- [11] Mohammadian M, Salami M, Moghadam M, et al. Mung bean protein as a promising biopolymeric vehicle for loading of curcumin: structural characterization, antioxidant properties, and *in vitro* release kinetics [J]. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2021, 61: 102148
- [11] Gong L, Cao W, Chi H, et al. Whole cereal grains and

- potential health effects: involvement of the gut microbiota [J]. Food Res Int, 2018, 103: 84-102
- [12] Laparra J M, Sanz Y. Interactions of gut microbiota with functional food components and nutraceuticals [J]. Pharmacol Res, 2010, 61: 219-225
- [13] 徐娟,袁艳娟,屠春燕.胃蛋白酶水解绿豆分离蛋白的工艺[J].生物加工过程,2008,6(4):31-35
XU Juan, YUAN Yanjuan, TU Chunyan. Preparation of oligo-peptide by pepsin hydrolyzation of proteins isolated from mung bean [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2008, 6(4): 31-35
- [14] 潘自皓,顾薇,潘杨.Flavourzyme 蛋白酶酶解绿豆分离蛋白制备低聚肽的工艺研究[J].江苏食品与发酵,2008,4:1-3
PAN Zihao, GU Wei, PAN Yang. Flavourzyme preparation of oligopeptides from mung bean protein isolates by enzymatic hydrolysis with protease [J]. Jiangsu Food & Fermentation, 2008, 4: 1-3
- [15] Zheng Z J, Wang M L, Li J X, et al. Comparative assessment of physicochemical and antioxidative properties of mung bean protein hydrolysates [J]. RSC Advances, 2020, 10(5): 2634-2645
- [16] 邹基豪.绿豆 ACE 抑制肽的纯化及功能特性研究[D].长春:吉林农业大学,2018
ZOU Jihao. Urification and functional properties of ACE inhibitory peptides in mung bean [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2018
- [17] Ashraf Jawad, Liu L Y, Awais Muhammad, et al. Effect of thermosonication pre-treatment on mung bean (*Vigna radiata*) and white kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) proteins: enzymatic hydrolysis, cholesterol lowering activity and structural characterization [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 66: 105121
- [18] 张树华.发酵法制备绿豆多肽[D].济南:齐鲁工业大学,2014
ZHANG Shuhua. Study on mung bean peptides prepared by fermentation [D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2014
- [19] Chunkao S, Youravong W, Yupanqui C T, et al. Structure and Function of Mung Bean Protein-Derived Iron-Binding Antioxidant Peptides [J]. Foods, 2020, 9(10): 1406
- [20] 顾薇,屠春燕,袁艳娟,等.中性蛋白酶酶解绿豆蛋白制备寡肽的研究[J].安徽农业科学,2008,36(36):16140-16141
GU Wei, TU Chunyan, YUAN Yanjuan, et al. Research on the preparation of oligopeptides with green bean protein treated by neutral protease [J]. Journal of Anhui Agri. Sci, 2008, 36(36): 16140- 16141
- [21] 马诗文.复合酶法制备绿豆抗氧化活性多肽及其应用研究[D].鞍山:辽宁科技大学,2020
MA Shiwen. Preparation and application of antioxidant peptides from mung bean by complex enzyme method [D]. Anshan: University of Science and Technology Liaoning, 2020
- [22] 夏吉安,黄凯,李森,等.绿豆抗氧化肽的酶法制备及其抗氧化活性[J].食品与生物技术学报,2020,39(10):40-47
XIA Ji'an, HUANG Kai, LI Sen, et al. Enzymatic preparation of mung bean antioxidant peptides and antioxidant activity investigation [J]. Ournal of Food Science and Biotechnology, 2020, 39(10): 40-47
- [23] 富天昕.绿豆多肽锌螯合物的制备和结构鉴定及生物利用率研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2020
FU Tianxin. Preparation, structure identification and bioavailability of mung bean polypeptide zinc chelate [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2020
- [24] 何倩.绿豆多肽的制备工艺及其抗氧化性和促发酵作用[D].广州:暨南大学,2011
HE Qian. Preparation and antionxidant and promote fermentation of mung bean polypeptides [D]. Guangzhou: Jinan University, 2011
- [25] 杜梦霞.绿豆蛋白酶解物的制备及其对 NCTC1469 细胞氧化损伤的保护作用[D].南昌:南昌大学,2018
DU Mengxia. Prepa ration of mung bean protein hydrolysate and its protective effect on oxid ative dage of NCTC1469 cells [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018
- [26] 李萌.酶法制备绿豆多肽及其对乙醇脱氢酶活性影响研究[D].长春:吉林农业大学,2015
LI Meng. Research on the preparation of mung bean polypeptide by enzyme technology and its effect on the activity of alcohol dehydrogenase [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2015
- [27] 刁静静,刘妍兵,李朝阳,等.绿豆肽对脂多糖诱导急性肺损伤小鼠肺组织的保护作用[J].食品科学,2020,41(17): 176-181
DIAO Jingjing, LIU Yanbing, LI Chaoyang, et al. Protective effect of mung bean protein hydrolysate on lipopolysaccharide-induced acute lung injury in mice [J]. Food Science, 2020, 41(17): 176-181
- [28] 郭健,李延平.绿豆蛋白多肽对小鼠缺氧耐受力 and 免疫力提高的研究[J].食品与生物技术学报,2010,29(5):715-720
GUO Jian, LI Yanping. Study of MBPP on anoxia endurance and enhancing immunity [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2010, 29(5): 715-720
- [29] Xie J H, Du M X, Shen M Y, et al. Physico-chemical

- properties, antioxidant activities and angiotensin-I converting enzyme inhibitory of protein hydrolysates from mung bean (*Vigna radiate*) [J]. Food Chem, 2019, 270: 243-250
- [30] Hou D Z, Yousaf L, Xue Y, et al. Mung bean (*Vigna radiata* L.): bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, and health benefits [J]. Nutrients, 2019, 11(6): 1238-1246
- [31] 李琴,张海生,许珊,等. 绿豆抗氧化活性肽的制备及其抗氧化活性研究[J].江西农业大学学报,2013,35(5):1063-1069
- LI Qin, ZHANG Haisheng, XU Shan, et al. A study on the preparation and antioxidant activity of antioxidant peptide from mung bean [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2013, 35(5): 1063-1069
- [32] Xie J H, Ye H D, Du M G, et al. Mung bean protein hydrolysates protect mouse liver cell line NCTC-1469 cell from hydrogen peroxide-induced cell injury [J]. Foods, 2019, 9(1): 14
- [33] Kusumah Jennifer, Real Hernandez, Luis M, et al. Antioxidant potential of mung bean (*Vigna radiata*) albumin peptides produced by enzymatic hydrolysis analyzed by biochemical and in silico methods [J]. Foods, 2020, 9(9): 1241
- [34] Saleh A S M, Zhang Q, Shen Q. Recent research in antihypertensive activity of food protein-derived hydrolyzates and peptides [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2016, 56: 760-787
- [35] 黎观红,施用晖,乐国伟.三种植物蛋白质酶解物对自发性高血压大鼠降血压效应的比较[J].营养学报,2007,29(6): 596-599
- LI Guanhong, SHI Yonghui, LE Guowei. The comparative study on antihypertensive effects of three isolated vegetable protein hydrolysates prepared withalcalase [J]. Journal of Nutrition, 2007, 29(6): 596-599
- [36] 李庆波. 绿豆渣 ACE 抑制肽的制备、鉴定及其模拟移动床色谱分离技术研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2014
- LI Qingbo. Study on the purification, identification and simulated moving bed chromatography technology of ACE inhibition peptides of mung bean dregs [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2014
- [37] Li G H, Le G W, Liu H, et al. Mung-bean protein hydrolysates obtained with alcalase exhibit angiotensin i-converting enzyme inhibitory activity [J]. Food Sci Technol Int, 2005, 11: 281-287
- [38] Li G H, Shi Y H, Liu H, et al. Antihypertensive effect of alcalase generated mung bean protein hydrolysates in spontaneously hypertensive rats [J]. Eur. Food Res Technol, 2006, 222: 733-736
- [39] 刘振春,韩宇,孙慧娟,等.超声波辅助酶法制备绿豆 ACE 抑制肽的工艺研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014,42(8):125-131
- LIU Zhenchun, HAN Yu, SUN Huijuan, et al. Preparation of ACE inhibitory peptides from mung bean using ultrasonic-assisted enzymatic method [J]. Journal of Northwest A & F University (Nat Sci Ed), 2014, 42(8): 125-131
- [40] 杨健,郭增旺,刁静静,等.绿豆肽对 RAW264.7 巨噬细胞增殖及免疫活性物质的影响[J].中国食品学报,2019,19(8):22-30
- YANG Jian, GUO Zengwang, DIAO Jingjing, et al. Effects of mung bean peptides on cell proliferation and immunologically active substances of RAW264.7 macrophages [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(8): 22-30
- [41] 迟治平.不同级分绿豆肽对 RAW264.7 细胞免疫调节作用的研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2020
- CHI Zhiping. Studies on the immunomodulatory effects of different levels of mung bean peptides on RAW264.7 cells [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2020
- [42] 王凯凯.绿豆肽的结构鉴定及对小鼠巨噬细胞免疫活性物质的影响作用研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2016
- WANG Kaikai. Structure identification of mung bean peptides and its effect on the immunoreactive substances of macrophage in mice [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2016
- [43] 郭健,李延平.绿豆蛋白多肽对小鼠缺氧耐受力 and 免疫力提高的研究[J].食品与生物技术学报,2010,29(5):715-720
- GUO Jian, LI Yanping. Study of MBPP on anoxia endurance and enhancing immunity [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2010, 29(5): 715-720
- [44] Fu T X, Zhang S, Sheng Y N, et al. Isolation and characterization of zinc-binding peptides from mung bean protein hydrolysates [J]. European Food Research and Technology, 2019, 246(7): 113-124
- [45] 吴金鸿.绿豆中抗菌肽的分离纯化与表征及其晶体培养[D].福州:福州大学,2004
- WU Jinhong. Purification characterization and crystallization of a novel antimicrobial peptide from mung bean [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2004
- [46] Li M Q, Zhang Y J, Xia S W, et al. Finding and isolation of novel peptides with anti-proliferation ability of hepatocellular carcinoma cells from mung bean protein hydrolysates [J]. Journal of Functional Foods, 2019, 62: 1-12

