

小豆功能活性成分及加工利用研究进展

张旭娜^{1,2}, 么 杨², 任贵兴^{1*}, 崔 波^{2*}

(1. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 2. 齐鲁工业大学食品科学与工程学院, 济南 250353)

摘 要: 小豆是一种营养丰富的豆科植物, 富含蛋白质、膳食纤维、糖类、维生素以及铁、钙、磷、钾等多种微量元素和人体必需氨基酸在内的 18 种氨基酸, 具有多种功能活性。目前从小豆中提取分离出来的生物活性物质主要有多酚、多糖、黄酮、植物甾醇、色素、无机盐、单宁、植酸、皂苷以及其他豆类缺乏的三萜皂苷等成分。研究发现, 小豆活性成分具有抗氧化、抗炎、降血糖、降血脂、提高免疫力、抑菌、抗病毒、抗癌等多种功能活性, 且因其天然无毒副作用, 因此有加工成具有食用和药用价值保健产品的潜力, 具有广阔的发展前景。本文综述了近年来国内外关于小豆多酚、黄酮、多肽等多种生物活性物质在其功能活性及应用方面的研究进展, 以期推进小豆高值化利用, 促进小豆深加工产业发展, 进一步为功能食品开发和农产品深加工提供理论依据。

关键词: 小豆; 多酚; 黄酮; 多肽; 功能活性

Research progress of the biological activity and application of adzuki bean (*Vigna angularis*)

ZHANG Xu-Na^{1,2}, YAO Yang², REN Gui-Xing^{1*}, CUI Bo^{2*}

(1. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. School of Food Science and Technology, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China)

ABSTRACT: Adzuki bean is a kind of nutrient rich legume plants, which contains protein, dietary fiber, sugar, vitamins and iron, calcium, phosphorus, potassium and other essential elements, and 18 kinds of amino acids including essential amino acids, which has many kinds of functional activities. At present, bioactive substances extracted from adzuki bean are mainly composed of polyphenols, polysaccharides, flavonoids, phytosterols, pigments, inorganic salts, tannins, phytic acid, saponins, and other three triterpenoid saponins, which are deficient in legumes. It is found that the active ingredients of adzuki bean have many functional activities, such as anti-oxidation, anti-inflammatory, hypoglycemic, hypolipidemic, immune enhancing, bacteriostasis, anti-virus, anticancer and so on. Because of its natural non-toxic and side effects as well, it has the potential to be processed into health products with edible and medicinal value, and has broad prospects for development. In this paper, the

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-08-G20)、中国农业科学院科技创新工程杂粮营养与功能创新团队项目

Fund: Supported by Technical System Special of Modern Agricultural Industry (CARS-08-G20) and Team Project on Nutrition and Function Innovation In Scientific and Technological Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences

***通讯作者:** 崔波, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品加工与应用。E-mail: cuibopaper@163.com

任贵兴, 博士, 研究员, 主要研究方向为杂粮营养与功能。E-mail: renguixing@caas.cn

***Corresponding author:** CUI Bo, Ph.D, Professor, School of Food Science and Technology, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China. E-mail: renguixing@caas.cn

REN Gui-Xing, Ph.D, Professor, Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China. E-mail: cuibopaper@163.com

recent advances in the functional activities and applications of polyphenols, flavonoids, peptides, and other bioactive substances of bean polyphenols, flavonoids and polypeptides were reviewed, which were in order to promote the high value utilization of the adzuki bean and promote the development of the deep processing industry of the adzuki bean. It also provided a theoretical basis for the development of the functional food and the deep of processing agricultural products of adzuki bean.

KEY WORDS: adzuki bean; polyphenol; flavonoids; polypeptide; functional activity

1 引言

小豆(*Vigna angularis*)又名赤豆、赤小豆等,是一年生豆科作物^[1],外表呈现红色或赤褐色,属于菜豆族豇豆属,在亚洲、欧洲、非洲及美洲等地区均有种植。中国是世界上小豆种植面积最大、总产量最多、出口量最多的国家^[2],全国各地都有广泛栽培,且已经有两千多年的种植历史,产区主要分布在东北、华北、西北等地区,南方部分地区也有少量种植^[3]。

小豆营养丰富,富含蛋白质、膳食纤维、糖类、维生素以及铁、钙、磷、钾等多种微量元素^[4],且脂肪含量较低,小豆中含有人体必需氨基酸在内的18种氨基酸,且其中赖氨酸含量较高^[5]。此外,小豆中含有多种生物活性物质,如多酚、多糖、黄酮、植物甾醇、色素、无机盐、单宁、植酸、以及其他豆类缺乏的三萜皂苷等成分^[6-8],具有抗氧化、抗炎、降血糖、降血脂、提高免疫力、抑菌、抗病毒、抗癌等多种功能活性^[9]。小豆是一种药食同源杂粮,在疾病治疗方面,古书早有记载,小豆有补血、利尿、清毒、护肝、助肾、治水肿、净化血液、开目明窍、治疗热毒、缓解疲劳等功效,对心脏和肾脏均有益处^[10]。

本文综述了近年来国内外关于小豆多酚、黄酮、多肽等多种生物活性物质在其功能活性及应用方面的研究进展,以期推进小豆高值化利用,促进小豆深加工产业发展,进一步为功能食品开发和农产品深加工提供理论依据。

2 小豆的功能成分及生理活性

小豆中富含多种生物活性物质,如多酚、黄酮、多肽、皂苷、多糖等。多酚可以与蛋白质发生较强的络合作用,具有一定的血脂调节能力以及较强的抗氧化活性,黄酮类物质具有潜在的抗炎活性,而小豆中含有的多肽则有显著的抗癌和提高免疫力的能力。当前对于小豆方面的研究多集中于营养成分,而对其功能成分方面的研究则较少,目前仍处于起步阶段,且多数研究为其提取物,并没有确切的单体物质,因此研究小豆中确切的活性物质是本文的焦点。

2.1 多酚

多酚是在植物中发现的、具有潜在促进健康作用的化合物^[11]。它存在于一些常见的植物性食物,如茶、可可豆、

红酒、爆米花、大豆、水果和蔬菜中,具有抗氧化活性,能够预防多种由于氧化引起的慢性疾病,如衰老、心血管病和癌症^[12]。此外,多酚可抑制低密度脂蛋白(low density lipoprotein, LDL)胆固醇氧化,降低血凝块形成,促进血管舒张,降低炎症反应^[13]。以色列研究人员还发现多酚可以有效预防高脂食物对人体的危害^[14,15]。

陶莎等^[16]通过比较5种不同型号大孔树脂分离纯化煮制小豆水多酚类物质,筛选出最优型号HPD 600,最佳工艺参数为:多酚浓度0.96 mg/mL, pH值6.8,温度30℃,流速1.0 mL/min,以此方式得到小豆纯化液,其总酚含量和总抗氧化能力均有显著提高。Kitanokada等^[17]研究了小豆多酚提取物对甘油三酯含量、脂质代谢和促炎细胞因子分泌的影响。体外细胞实验表明,多酚可降低细胞内甘油三酯、甘油磷酸脱氢酶含量和炎症水平,动物实验表明,可降低大鼠肝脂质的积累和粪便油脂分泌,对血脂代谢均有影响。李丽等^[18]通过铁还原力测定小豆萌发过程中抗氧化活性的变化,结果表明,抗氧化能力第1 d和第5 d较高,通过液相色谱-质谱联用法(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)定性研究发现,发芽第1 d多酚含量迅速增加,之后逐渐降低又逐渐增加,第5 d达到最高,推测此时发挥抗氧化活性的多酚类物质有莽草酸、香草酸、肉桂酸、对香豆酸4种。Nishi等^[19]研究了小豆多酚的降胆固醇作用,采用80%乙醇提取小豆多酚,并添加到小鼠高脂饲料中,进行小鼠灌胃实验,测定其血液中胆固醇含量,研究发现,与对照组相比,服食小豆多酚的小鼠血液中胆固醇含量明显降低。

2.2 黄酮

黄酮类化合物广泛存在于植物界,具有抗炎、抗病毒、利胆、镇静、强心、镇痛、抗氧化、抗衰老、免疫调节等作用^[20],因而受到广泛关注和应用,目前所发现的黄酮类化合物有8000多种,主要分为10类,包括黄酮、异黄酮、黄烷酮、花色苷等^[21]。

张小慧等^[22]通过测定发现,小豆豆皮中总黄酮含量高于茎和胚,通过1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除试验表明,其抗氧化活性也明显高于茎和胚,总黄酮含量与其抗氧化活性之间呈现显著的相关性。李波等^[23]研究了小豆总黄酮的抗氧化活

性及其对大鼠肝细胞的保护作用,抗氧化测定仪测定发现,小豆总黄酮具有较强的体外抗氧化活性。在加入 Fe^{2+} 的肝细胞的培养液中加入小豆总黄酮后,肝细胞活性,培养液中谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)活力,以及细胞脱落现象均得到有效改善。此后李波^[24]进一步提取和分离纯化了小豆总黄酮,经鉴定发现,其黄酮类物质主要有槲皮素、儿茶素、杨梅素及其糖苷类化合物。研究发现,总黄酮提取物中杨梅素芸香苷具有最强的超氧阴离子清除作用。与对照组相比,浓度为 50 和 100 $\mu\text{mol/L}$ 的杨梅素芸香苷对 Fe^{2+} 介导的氧化损伤大鼠肝细胞活性分别提高 1.62 和 2.04 倍,胞外 ALT 活力由 (47.7 ± 8.8) U/L 降低至 (30.7 ± 3.0) U/L 和 (23.7 ± 3.7) U/L,细胞内超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活力明显增加。Yao 等^[25]通过乙酸乙酯对小豆进行提取,得到牡荆素和异牡荆素 2 种黄酮类化合物,分别测定其体外 α -葡萄糖苷酶抑制活性,通过测定发现 2 种黄酮类化合物抑制活性分别为 0.4 mg/g 和 4.8 mg/g,说明黄酮具有较强的体外降糖活性。

2.3 多肽

多肽是由氨基酸脱水缩合,通过肽键连接的化合物,根据氨基酸结合个数不同,称为二肽、三肽、四肽、五肽等,由 3 个以上氨基酸组成的肽称为多肽^[26],50 个以上的氨基酸组成的肽为蛋白质^[27],蛋白质有时也被称为多肽。多肽是蛋白质水解的中间产物,具有抗氧化、降血糖、抗癌、抗炎和免疫等多种生理功能^[28]。

Durak 等^[29]研究了小豆水解多肽的抗氧化活性和血管紧张素转换酶(angiotensin converting enzyme, ACE)抑制活性,结果发现,从球蛋白组分中得到的多肽具有最强的铁离子螯合能力,含谷氨酸较多的多肽有最强的螯合铜离子能力。而缩氨酸具有最高的抗自由基活性和 ACE 抑制活性($IC_{50}=0.17$ mg/mL)。娜仁图雅^[30]通过正交法优化小豆蛋白提取工艺,并对蛋白进行酶解,对酶解产物进行组分分离,得到生物活性肽,研究其超氧自由基清除能力及其对小鼠肝脏氧化产物丙二醛(malonaldehyde, MDA)的抑制能力,研究发现,小豆分离多肽具有抗氧化活性。本课题组前期做了大量相关研究^[31-33],研究了分离纯化后的挤压小豆蛋白的抗氧化活性和降血糖活性,通过 DPPH 自由基清除能力研究发现,挤压小豆蛋白具有抗氧化活性。体外实验表明其具有明显的 α -葡萄糖苷酶抑制活性。小鼠体内实验发现,灌胃后小鼠体内低密度脂蛋白和甘油三酯水平降低,总胆固醇含量降低,粪便中胆汁酸排泄量显著增加,明显改善 KK-Ay 糖尿病小鼠血糖,且呈剂量依赖性。Chen 等^[34]研究了黄豆、黑豆、小豆和绿豆蛋白提取物在抗氧化和抗癌方面的功能活性,结果发现,4 种豆类都有较强的抗氧化和抗癌活性,且在 4 种豆类中,小豆蛋白抗氧化活性

最强。

2.4 其它功能成分

Yao 等^[35]研究了水提和碱提小豆多糖的抗氧化活性和免疫活性,通过 DPPH 自由基和氧化自由基吸收能力(oxygen radical absorbance capacity, ORAC)测定发现其具有抗氧化活性,RAW 小鼠巨噬细胞实验研究表明,小豆多糖具有免疫活性。Amarowicz 等^[36]用丙酮萃取-葡聚糖凝胶柱层析分离得到小豆粗提物,经乙醇和乙腈洗脱得 2 个组分,经鉴定,2 种组分分别为酚类和单宁,体外抗氧化实验表明,乙腈洗脱液的抗氧化能力最强,是乙醇洗脱液的 3 倍,说明单宁具有抗氧化活性。Lee 等^[37]研究发现,小豆中的芳香类物质具有较强的抗氧化活性,这可能是由于其中的一些香气成分,如苯甲醇、麦芽酚、丁内酯、丁子香酚等。Sato 等^[38]将小豆皮磨粉,并按照 0.5%和 2.0%的比例分别添加到饲料中,对小鼠进行灌胃实验,研究其对由顺铂引起的小鼠肾间质纤维化的影响,研究表明,服食小豆饲料的小鼠肾脏中巨噬细胞的浸润得到抑制,间质纤维化得到改善,分析认为,小豆皮中发挥护肾作用的成分可能是原花色素和膳食纤维。闫洁等^[39]依次用石油醚、三氯甲烷、乙酸乙酯、正丁醇萃取小豆的乙醇提取物,并连续 7 d 将萃取物灌胃正常小鼠,每天灌胃 1 次。可观察到,三氯甲烷萃取部分及正丁醇萃取部分均有较强的利尿作用,推断小豆中产生利尿作用的物质主要为皂苷类化合物。

3 小豆加工利用现状

中国是小豆生产第一大国,年产量 20~40 吨,营养丰富,具有多种生理功能,在传统饮食中,小豆以直接食用为主。随着生活水平的提高以及膳食结构的调整,小豆食品的市场需求量逐渐增大,相关研究日益发展。

目前小豆制品主要有炸糕、香肠、罐头、小豆发酵饮品、豆沙等产品,门洋^[40]以红小豆做馅,糯米做皮,用油炸制成“耳朵眼炸糕”,成品外形呈淡金黄色扁球状,馅心黑红细腻,是津门特产。陈云涛^[41]发明了一种红色植物香肠,由红小豆、鲜猪肉、胡萝卜、白菜、油菜等对人体健康没有危害的材料制成,绿色无公害,安全健康,长期食用无副作用。龚魁杰^[42]发明了一种红小豆罐头,产品既能克服季节性贮藏困难,又能满足人们直接食用的需求,深受都市消费群体的欢迎。李会芬^[43]以红小豆为主要原料,采用正交实验的方法,制成红小豆饮料,并确定该饮品白砂糖、柠檬酸等辅料的最佳配方,在此条件下红小豆饮料口味最佳。任贵兴等^[44]通过粉碎、筛选、加水搅拌、挤压膨化等加工过程,发明了一种具有降血糖效果的红小豆粉食品的制作方法,该方法制得食品具有降血糖效应。实验证明,挤压膨化后的红小豆粉能使体外降血糖效率提高 5 倍以上,并且将此红小豆粉制成各种食品,不会破坏红小豆中降血

糖的功能成分。范志红等^[45]发明了一种低能量红小豆玫瑰营养饮料,该饮料成分包括红小豆和玫瑰花清汁、维生素、柠檬酸、抗氧化剂、甜味剂和水,制备方法包括原料分选、清洗和沥干→红小豆煮制→玫瑰花碾碎→玫瑰花煮制→过滤→调配→灌装及杀菌,产品口感纯正且营养丰富。相微微等^[46]发明了一种红枣红小豆果冻,包括红枣汁、红小豆汁、果冻粉和绵白糖等配方,产品将红小豆和红枣的营养和风味结合,是一种比较有市场前景的零食。奚会松^[47]设计了单因素响应面试验,优化最佳酶解条件。并将酶解后的红小豆浆进行喷雾干燥得到速溶红小豆粉,提高了红小豆粉的溶解性和产品的消化吸收率,为红小豆粉的工业化生产提供技术支持。

国外小豆资源相对匮乏,加工利用较少,但在日本小豆颇受欢迎,日本是小豆生产和消费大国^[48],小豆是其传统的保健和吉祥食品,自古以来备受推崇,在日本传统食品加工中主要用来制作甜豆、豆沙糕点等甜食或豆汤等,仅豆沙糕点在市场上就占很大份额^[49]。总体来说,目前国内关于小豆产品开发利用方面的研究不多,加工的相关产品较少,小豆资源的综合利用十分有限,且加工技术多为手工操作,高档品较少,创新型方便食品缺乏,且小豆中的多种活性成分尚未发挥,经济效益较低。

4 结 论

小豆营养价值丰富,具有多种生物活性物质,对多种疾病的预防和治疗起到辅助作用,有很好的食用价值和保健功能,是一种药食同源的粮食资源^[50]。为了适应消费者对新型食品的需求,充分发挥小豆的保健功能,完善全民膳食营养,全面提升小豆产业附加值,发挥良好的经济效益,应充分挖掘小豆资源潜能,加强其蛋白、淀粉、纤维、脂肪酸及功能因子的深入研究,改良传统加工工艺,利用先进技术进行深加工和综合利用,进一步研发出深受广大消费者欢迎的新型、方便、美味的小豆健康食品。

参考文献

- [1] Yoshida Y, Marubodee R, Ogiiso-Tanaka E, *et al.* Salt tolerance in wild relatives of adzuki bean, *Vigna angularis*, (Willd.) Ohwi et Ohashi [J]. Genet Resour Crop Evol, 2016, 63(4): 627-637.
- [2] 刘笑然. 东北三省的红小豆、绿豆生产[J]. 中国粮食经济, 2013, (9): 38-41.
Liu XR. The production of red beans and mung beans in the three northeastern provinces [J]. China Food Econ, 2013, (9): 38-41.
- [3] Oliveira AD, Naozuka J. Effects of iron enrichment of adzuki bean (*Vigna angularis*) sprouts on elemental translocation, concentrations of proteins, distribution of Fe-metalloproteins, and Fe-bioaccessibility [J]. J Br Chem Soc, 2017, 28(10): 1937-1946.
- [4] 刘建霞, 刘海霞, 温日宇, 等. 小豆种质资源营养成分检测与分析[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2017, 33(4): 54-57.
- [5] Liu JX, Liu HX, Wen RY, *et al.* Detection and analysis of nutritional components of the germplasm resources of Adzuki [J]. J Shanxi Datong Univ (Nat Sci Ed), 2017, 33(4): 54-57.
- [5] 魏源. 如何防治红小豆常见病虫害[J]. 农民致富之友, 2016, (9): 147.
Wei Y. How to prevent the common diseases and insect pests of red beans [J]. Nongming Zhifu Zhiyou, 2016, (9): 147.
- [6] 赵建京, 范志红, 周威. 红小豆保健功能研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2009, 11(3): 46-50.
Zhao JJ, Fan ZH, Zhou W. Research progress on the health function of red beans [J]. China Agric Sci Technol Guid, 2009, 11(3): 46-50.
- [7] 常暖迎, 赵天瑶, 张淑杰, 等. 小豆生物活性物质、功能特性及芽苗菜生产发展研究[J]. 种子科技, 2018, (1): 101-103.
Chang NY, Zhao TY, Zhang SJ, *et al.* Research on the production and development of soybean bioactive substances, functional characteristics and sprout vegetables [J]. Seed Technol, 2018, (1): 101-103.
- [8] 李家磊, 姚鑫森, 卢淑雯, 等. 红小豆保健价值研究进展[J]. 粮食与油脂, 2014, (2): 12-15.
Li JL, Yao XM, Lu SW, *et al.* Research progress on health value of red beans [J]. Food Oil, 2014, (2): 12-15.
- [9] 彭游, 李仙芝, 柏杨. 赤小豆活性成分的提取及保健功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 389-391.
Peng Y, Li XZ, Bo Y. Study on the extraction and health function of the active components of red bean. [J]. Food Ind Technol, 2013, 34(9): 389-391.
- [10] 何国兴. 赤小豆治病有良效[J]. 家庭医学, 2010, (2): 52-52.
He GX. Family medicine [J]. Family Med, 2010, (2): 52-52.
- [11] Ishimoto M, Sato T, Chrispeels MJ, *et al.* Bruchid resistance of transgenic azuki bean expressing seed α -amylase inhibitor of common bean [J]. Entomol Exp Et Appl, 2015, 79(3): 309-315.
- [12] 刘畅, 周家春. 植物多酚抗氧化性研究[J]. 粮食与油脂, 2011(2): 43-46.
Liu C, Zhou JC. Study on antioxidant properties of plant polyphenols [J]. Food Oil, 2011(2): 43-46.
- [13] 谢静. 糖友常食多酚 护心健血管[J]. 糖尿病之友, 2017, (6): 28-29.
Xie J. Sugar friends eating polyphenols to protect heart and heart blood vessels [J]. Friends Diabetes, 2017, (6): 28-29.
- [14] 董朝菊. 以色列发现柿果能抗动脉硬化[J]. 柑桔与亚热带果树信息, 2002, (2): 16.
Dong CJ. Israel found that persimmon fruit can resist atherosclerosis [J]. Inf Citrus Subtrop Fruit Trees, 2002, (2): 16.
- [15] Zamora-Ros R, Knaze V, Rothwell JA, *et al.* Dietary polyphenol intake in Europe: the European prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC) study [J]. Eur J Nutr, 2016, 55(4): 1-17.
- [16] 陶莎, 黄英, 康玉凡, 等. 大孔吸附树脂分离纯化小豆多酚工艺及效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 276-285.
Tao S, Huang Y, Kang YF, *et al.* Technology and effect of separation and purification of pea polyphenols by macroporous adsorption resin [J]. J Agric Eng, 2013, 29(23): 276-285.
- [17] Kitanookada T, Ito A, Koide A, *et al.* Anti-obesity role of adzuki bean extract containing polyphenols: *In vivo* and *in vitro* effects [J]. J Sci Food Agric, 2012, 92(13): 2644-2651.

- [18] 李丽,李驰荣,任晗莹,等.赤小豆萌芽过程中抗氧化活性及多酚类成分变化分析[J].食品工业,2015,(12):208-211.
Li L, Li CR, Ren HK, et al. Analysis on the changes of antioxidant activity and polyphenols during the germination of red bean [J]. Food Ind, 2015, (12): 208-211.
- [19] Nishi S, Saito Y, Souma C, et al. Suppression of serum cholesterol levels in mice by Adzuki bean polyphenols [J]. Food Sci Technol Res, 2008, 14: 217-220.
- [20] 郑丽,刘振春,张星,等.紫薯茎叶中黄酮的提取及其功能性研究进展[J].食品安全质量检测学报,2016,(9):3566-3573.
Zheng L, Liu ZC, Zhang X, et al. Research on the extraction and functional research of flavonoids in the stem leaves of purple sweet potato [J]. J Food Saf Qual, 2016, (9): 3566-3573.
- [21] Nan J, Doseff AI, Erich G. Flavones: From biosynthesis to health benefits [J]. Plants, 2016, 5(2): 27.
- [22] 张小慧,李丽,董银卯,等.赤小豆萌芽不同部位总酚酸和总黄酮含量分析及其抗氧化活性研究[J].食品工业,2014,(10):90-92.
Zhang XH, Li L, Dong YM, et al. Analysis of total phenolic acid and total flavonoids in different parts of red bean bud and their antioxidant activity. [J]. Food Ind, 2014, (10): 90-92.
- [23] 李波,赵青威, Nadine, 等.赤豆荚果总黄酮提取物对原代培养大鼠肝细胞氧化损伤的保护作用[J].营养学报,2005,27(5):397-400.
Li B, Zhao QW, Nadine, et al. Protective effect of total flavone extract from red bean pod on oxidative damage in primary cultured rat hepatocytes [J]. J Nutr, 2005, 27(5): 397-400.
- [24] 李波.八种中国豆类荚果乙醇提取物及所含的杨梅素芸香苷抗氧化作用研究[D].杭州:浙江大学,2005.
Li B. Antioxidation effects of ethanol extracts from eight Chinese legume pods and myricetin rutin. [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [25] Yao Y, Cheng X, Wang L, et al. A determination of potential α -glucosidase inhibitors from azuki beans (*Vigna angularis*) [J]. Int J Mol Sci, 2011, 12(10): 6445-6451.
- [26] 袁宏丽,刘翔.食源性功能肽在饮品中的应用[J].食品工业科技,2012,33(21):38-39.
Yuan HL, Liu X. The application of foodborne functional peptide in beverage [J]. Food Ind Technol, 2012, 33(21): 38-39.
- [27] 谷瑞增.神奇的低聚肽[J].健康与营养,2015(Z2):96-98.
Gu RZ. The amazing low poly peptide [J]. Health Nutr, 2015(Z2): 96-98.
- [28] Yoshikawa M, Ogura S, Tatsumi M. Some properties of proteinase inhibitors from adzuki beans (*Phaseolus angularis*) [J]. J Agric Chem Soc Japan, 2008, 41(11): 2235-2239.
- [29] Durak A, Baraniak B, Jakubczyk A, et al. Biologically active peptides obtained by enzymatic hydrolysis of Adzuki bean seeds [J]. Food Chem, 2013, 141(3): 2177-2183.
- [30] 娜仁图雅.小豆分离蛋白的特性研究以及抗氧化肽制备[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.
Narentoya. Study on the characteristics of Soybean protein isolate and preparation of Antioxidant peptides. [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [31] Yao Y, Ren G. Suppressive effect of extruded adzuki beans (*Vigna angularis*) on hyperglycemia after sucrose loading in rats [J]. Ind Crops Prod, 2014, 52(1): 228-232.
- [32] 么杨.挤压小豆降血糖活性研究[D].北京:中国农业科学院,2015.
Yao Y. Study on hypoglycemic activity of extruded pea [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.
- [33] Yao Y, Cheng X, Ren G. α -Glucosidase inhibitory activity of protein-rich extracts from extruded adzuki bean in diabetic KK-Ay mice [J]. Food Funct, 2014, 5(5): 966-971.
- [34] Chen Z, Wang J, Liu W, et al. Physicochemical characterization, antioxidant and anticancer activities of proteins from four legume species [J]. J Food Sci Technol, 2017, 54(4): 964-972.
- [35] Yao Y, Xue P, Zhu Y, et al. Antioxidant and immunoregulatory activity of polysaccharides from adzuki beans (*Vigna angularis*) [J]. Food Res Int, 2015, 77(3): 251-256.
- [36] Amarowicz R, Troszyńska A, Pegg RB. Antioxidative and radical scavenging effects of phenolics from *Vicia sativum* [J]. Fitoterapia, 2008, 79(2): 121-122.
- [37] Lee SJ, Lee KG. Inhibitory effects of volatile antioxidants found in various beans on malonaldehyde formation in horse blood plasma [J]. Food Chem Toxicol, 2005, 43(4): 515-520.
- [38] Sato S, Hori Y, Yamate J, et al. Protective effect of dietary azuki bean (*Vigna angularis*) seed coats against renal interstitial fibrosis of rats induced by cisplatin [J]. Nutrition, 2005, 21(4): 504-511.
- [39] 闫洁,卫莹芳,钟熊,等.赤小豆对小鼠利尿作用有效部位的筛选[J].四川中医,2010,28(6):53-55.
Yan J, Wei YF, Zhong X, et al. Screening of effective fractions of diuretic effect of red bean on mice [J]. Sichuan Tradit Chin Med, 2010, 28 (6): 53-55.
- [40] 门洋.耳朵眼炸糕[J].农业知识,2014,(8):26-27.
Meng Y. Fried cake with ears and eyes [J]. Agric Knowl, 2014, (8): 26-27.
- [41] 陈云涛.一种红色植物香肠的加工方法:CN103519225 A[P].2014.
Chen YT. Processing method of red plant sausage: CN 103519225 A [P]. 2014.
- [42] 龚魁杰.小豆也能做罐头[J].农家女,2006,(7):57.
Gong KJ. The beans can also be canned food [J]. Farmer, 2006, (7): 57.
- [43] 李会芬.小豆饮料的加工工艺[J].农业科技与装备,2010(1):42-44.
Li HF. The processing technology of the small bean beverage [J]. Agric Sci Technol Eq, 2010, (1): 42-44.
- [44] 任贵兴,么杨.一种具有降血糖效果的红小豆粉食品的制作方法:CN103689456A [P].2014.
Ren GX, Yao Y. A method of producing red bean powder with hypoglycemic effect: CN103689456A [P]. 2014.
- [45] 范志红,王蓉,刘芳.红小豆玫瑰营养饮料及其制备方法:CN104489842 A [P].2015.
Fan ZH, Wang R, Liu F. Red bean rose nutrition drink and its preparation method: CN 104489842 A [P]. 2015.
- [46] 相微微,王建武,郭建华,等.一种红枣红小豆果冻及其制备方法:CN106666587A [P].2017.
Xiang WW, Wang JW, Guo JH, et al. A red jujube red bean jelly and its preparation method: CN106666587A [P]. 2017.
- [47] 奚会松.酶法速溶红小豆粉加工技术研究及生产设计[D].哈尔滨:东北农业大学,2014.

Xi HS. Research and production design of enzymatic instant red bean powder processing [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014.

- [48] 张志宏, 张颜宇, 佟敏强. 红小豆国际市场需求与变化[J]. 对外经贸, 2001(21): 46-46.

Zhang ZH, Zhang YY, Tong MQ. International market demand and change [J]. Foreign Trad, 2001(21): 46-46.

- [49] 马瑞萍, 任顺成. 小豆的保健功能及加工利用[J]. 粮食科技与经济, 2012, (3): 36-37.

Ma RP, Ren SC. Health function and processing using bean [J]. Grain Sci Technol Econ, 2012, (3): 36-37.

- [50] 李新贵. 浅谈小豆的经济药用价值与加工综合利用[J]. 现代化农业, 2005, (7): 19.

Li XG. Economic medicinal value of light bean and comprehensive utilization [J]. Mod Agric, 2005, (7): 19.

(责任编辑: 姜 珊)

作者简介



张旭娜, 硕士研究生, 研究方向为功能食品与食品添加剂。

E-mail: 2534730149@qq.com



任贵兴, 博士, 研究员, 执业药师资格, 博导, 主要研究方向为杂粮营养与功能。

E-mail: renguixing@caas.cn



崔 波, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品加工与应用。

E-mail: cuibopaper@163.com