

大豆活性肽生理保健功能研究进展

Research progress in physiological health functions of soybean bioactive peptides

王立博 陈复生

WANG Li-bo CHEN Fu-sheng

(河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:大豆活性肽是指大豆蛋白经蛋白酶水解、分离纯化后得到的一种由 3~6 个氨基酸组成的小分子量低聚肽混合物,具有良好的生理保健功能。文章主要阐述大豆活性肽降血压、抗氧化、抗癌以及降血脂等生理保健功能,并对其应用前景进行展望,以期为大豆活性肽的进一步研究提供参考。

关键词:大豆活性肽;大豆蛋白;生理保健;应用

Abstract: Soybean bioactive peptides, which is prepared from soy protein by hydrolysis and purification, is one kind of mixture of small molecular peptides, which composed of 3 to 6 amino acids and have excellent bioactivity. The physiological health functions of soybean bioactive peptides in antihypertensive, antioxidant, anticancer and hypolipidemic were also described. It provided a reference for the further study of soybean bioactive peptides as functional food additives.

Keywords: soybean bioactive protein; soy protein; physiological health functions; application

大豆是膳食中植物性蛋白的主要来源之一,其蛋白质含量丰富,约为 36%~56%^[1]。大豆蛋白是一种氨基酸平衡特性良好的植物性蛋白,富含人体所需 8 种必需氨基酸^[2],除甲硫氨酸外,其他必需氨基酸组成及比例与动物性蛋白极为相似。此外其相对分子量较大,溶解度较低,且具有一定的抗原性^[3]。而大豆肽结构简单,在酸性条件下溶解度明显提高,消化吸收率高于大豆蛋白,且具有良好的持钙性^[4]。通过对大豆活性肽的急性毒性和遗传毒性的小鼠试验^[5],发现大豆活性肽是一种安全无毒物质,为大豆活性肽的进一步研究和应用提供了重要参考依据。文章主要综述大豆活性肽的多种生理保健功能,并对其应用前景进行展望。

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:21176058, 31171790, 21376064);国家“863”计划(编号:2013AA102208);国家支撑计划(编号:2014BAD04B10)

作者简介:王立博,男,河南工业大学在读硕士研究生。

通讯作者:陈复生(1963—),男,河南工业大学教授,博士生导师。

E-mail: fushengc@aliyun.com

收稿日期:2015-07-02

1 大豆活性肽组成

大豆活性肽是指大豆蛋白经蛋白酶水解、分离纯化等处理后得到的一种由 3~6 个氨基酸组成的小分子量低聚肽混合物,平均分子量小于 1 000 Da,主要分布于 300~700 Da,其生理活性取决于相对分子质量大小及氨基酸序列。此外还含有少量的游离氨基酸,无机盐及糖类等^[6-7]。大豆活性肽可分为 3 类:内源肽、合成肽以及酶解肽^[8],其相对分子质量大小和氨基酸序列与蛋白质水解所用酶的种类以及水解度大小有关。制备大豆活性肽常用的原料有大豆分离蛋白、大豆粕、大豆粉等。生产上常用的方法有化学水解法、酶水解法和微生物发酵法^[9]。在生物代谢调控中起着重要的作用。

2 大豆活性肽的生理保健功能

2.1 大豆活性肽降血压功能

目前,中国高血压患病率仍在持续增长。而高血压又可导致心力衰竭、中风、冠心病、心肌梗塞等疾病的发生。血管紧张素转化酶(angiotensin-converting enzyme, ACE)在肾素血管紧张素转化过程中起着重要作用。可催化血管紧张素 I 转换成血管紧张素 II,进而使得血管收缩,血压升高。

Shin 等^[10]对韩国豆酱中制备的 ACE 抑制肽作了进一步的分离纯化。通过 Edman 降解方法确定其氨基酸序列为:组氨酸-组氨酸-亮氨酸(His-His-Leu, HHL)。其 ACE 抑制率 IC_{50} (半抑制浓度)为 2.2 $\mu\text{g/mL}$ 。将人工合成的三肽(spHHL)通过股静脉注入自发性高血压大白鼠(SHR),测得大白鼠颈动脉收缩压变化显著。原因可能是 spHHL 口服后,经小肠吸收进入血液循环,通过小动脉内皮依赖性舒张作用调节外围阻力,从而发挥降低血压的作用,结果表明 ACE 抑制肽 HHL 具有降低血压的作用。Giovan-
na 等^[11]用胃蛋白酶水解不同豆类蛋白,比较其水解产物对 ACE 活性的抑制强弱,结果表明,所有豆类水解产物对 ACE 均有抑制作用,其中大豆水解产物对 ACE 抑制作用较为显

著(其 IC_{50} 为 $224\text{ }\mu\text{g/mL}$),这可能是因为胃蛋白酶以不同方式水解蛋白质,从而产生更多的活性肽。该研究表明,豆类蛋白可作为 ACE 抑制肽的一个重要来源,但需对酶作用机理作进一步研究。

李响等^[12]采用微生物发酵法制备大豆 ACE 抑制肽,并对乳酸菌、霉菌和枯草芽孢杆菌 3 种菌种进行了筛选。结果表明,3 种菌株发酵液中的肽含量及 ACE 抑制活性均显著增强,说明 ACE 抑制活性与肽含量之间具有一定的正相关性,且乳酸菌发酵凝乳后能够促进 ACE 抑制肽的释放。Wang 等^[13]采用纳豆芽孢杆菌进行大豆粕固体发酵,经分离、纯化等方法来制备 ACE 抑制肽。结果表明,ACE 抑制活性为 84.1% , IC_{50} 为 0.022 mg/mL ,大豆粕固体发酵制备 ACE 抑制肽具有良好的应用前景,为工业化生产具有降血压功能的发酵产品奠定了基础。

Vishwanath 等^[14]用乳酸杆菌,对大豆蛋白发酵,得到血管紧张素转换酶-I(ACE I)抑制肽。采用 Edman 降解方法测定其氨基酸序列为:Leu-Ile-Val-Thr-Gln (LIVTQ)。通过 C-末端处去除单个氨基酸的方法,合成不同的肽 LIVTQ、LIVT、LIV、LI,进而探究不同残基对 ACE 的影响。结果表明,LIVTQ 和 LIVT 肽表现出对 ACE 活性的抑制,二者 ACE 抑制率 IC_{50} 分别为 $0.087\text{ }\mu\text{mol/L}$ 和 $0.110\text{ }\mu\text{mol/L}$ 。因此,谷氨酰胺(Q)和苏氨酸(T)残基对 ACE 的抑制起重要作用。该研究对 ACE 抑制作用作了进一步探讨,由肽链结构深入到氨基酸结构,具有重要的意义。

Novokinin (Arg-Pro-Leu-Lys-Pro-Trp) 是通过多肽 ovokinin 进行改造得到的小分子六肽物质,能够显著降低血压。Yuko 等^[15]将 novokinin 的基因序列转入大豆制得转基因大豆,发现将其产生的 4novokinin- α -肽以 0.15 g/kg 的量饲喂 SHR 大鼠后,大鼠血压显著下降。其原因可能是大豆中的一些蛋白或蛋白肽对 novokinin 具有一定的保护作用,避免其被肠道中的肽酶降解,从而产生 4novokinin- α -肽,表现出抗高血压的作用。该研究表明对大豆生物活性肽抑制高血压的研究,已经深入到基因水平。

2.2 大豆活性肽抗氧化活性

过量的自由基会导致细胞损伤,从而引起动脉粥样硬化、关节炎、糖尿病及癌症等疾病。大豆肽具有清除自由基,抑制脂肪过氧化以及金属离子螯合的性能^[16]。大豆蛋白水解后,更具有生物活性的氨基酸 R 基团暴露出来,因此,大豆活性肽具有比大豆蛋白更高的抗氧化性^[1]。

Janet 等^[17]用胃蛋白酶和胰蛋白酶水解豆蛋白,将所得水解产物通过 1 kDa 截止膜过滤,并通过体积排阻色谱法进行分级。3 个组分对应分子量为: $0.7\sim1.0\text{ kDa}$ (A1), $0.43\sim0.7\text{ kDa}$ (A2), $<0.43\text{ kDa}$ (A3)。测定其抗氧化活性,金属螯合活性以及氨基酸等。结果表明:A1 对铜离子和铁离子螯合活性最为显著;A2 抗氧化活性最强;A3 的 ABTS 自由基清除能力最为显著。这可能是因为氢原子及电子贡献作用、自由基稳定化以及过渡金属的螯合作用等使得肽组分产生抗氧化活性。

Miryam 等^[18]研究了体外消化作用对大豆 β -伴球蛋白

(7S)及其糖基化形式(D7S)中抗氧化肽释放的影响,通过对人体肠道 Caco-2 细胞的增殖、分化及氧化状态等分析来评估大豆肽的抗氧化能力。结果表明,两种形式的蛋白肽均具有较强的抗氧化性,D7S 肽对细胞增殖、分化、氧化状态影响更为显著。这可能是因为去糖基化可以提高 7S 的抗氧化能力,降低其免疫反应。高义霞等^[19]将豆渣蛋白经中性蛋白酶水解后,以抗坏血酸(V_C)为对照,对豆渣蛋白肽进行研究,结果表明,豆渣蛋白肽的总还原力与浓度成正比,对 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 均具有清除作用,且对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力低于 $\cdot\text{OH}$ 。这是因为 $\cdot\text{OH}$ 氧化性强于 $\text{O}_2^{\cdot-}$;与 V_C 相比较,豆渣蛋白肽对脂质过氧化的抑制能力基本不变,且部分抗氧化指标相对较低,这可能是由于酶解产物成分较为复杂,且为初级提纯产品的缘故。该研究有利于扩大豆渣的使用范围,但有必要对其作用机理进行深入研究。

Patrycja 等^[20]对市场上销售的 5 种大豆婴儿配方奶粉(SBIFs)中的大豆活性肽进行了评估。通过超滤按分子量分为: $5\sim10\text{ kDa}$ 、 $3\sim5\text{ kDa}$ 、 $<3\text{ kDa}$ 三部分。采用高效液相—电喷雾四极杆飞行时间串联质谱(HPLC—ESI—Q—TOF—MS/MS)对大豆活性肽组分进行鉴定。测得 $5\sim10\text{ kDa}$ 肽组分的抗氧化活性最显著。对该组分模拟肠道消化,测得其具有较强的抗氧化活性,结果表明,大豆肽可以在肠道吸收并发挥其生物活性,产生积极的作用。尤其对胃肠道发育不完全的婴儿更为重要。但仍需要对其作用机理作进一步研究。

2.3 大豆活性肽抗癌功能

目前,大豆在人们的饮食中占有重要的地位。尤其是大豆中的一些生物活性物质,如植酸、异黄酮等,在预防癌症中发挥着重要作用。此外大豆中的一些生物活性肽,也具有预防及治疗癌症的作用^[21]。

Maria 等^[22]对试验鼠接种宫颈癌细胞并喂食发芽大豆的蛋白,进而研究发芽大豆蛋白对肿瘤生长的影响。以酪蛋白为对照组比较 5 周后肿瘤体积抑制率。结果显示,喂食 2 d 发芽大豆蛋白的试验鼠肿瘤体积抑制率为 98.9% 。且发芽大豆中的活性肽能够使宫颈癌细胞坏死凋亡,进而起到抗癌的作用。这可能是因为发芽大豆中的一些活性肽是豆类胰岛素的缘故。吴非等^[23]以 4 种蛋白酶水解大豆分离蛋白,采用 MTT 法(一种检测细胞存活和生长的方法)测定大豆蛋白酶解产物对胃癌细胞的抑制率,结果表明,木瓜蛋白酶水解物对胃癌细胞的抑制率显著高于其他 3 种,原因可能是酶解产物中存在 Lunasin(露那辛)或 Lunasin 中的某些活性片段。

Lunasin 是从大豆中分离的已经证明具有抗癌特性的生物活性肽^[24]。它可以选择性地杀死由于肿瘤抑制基因失活而导致癌变或癌变中的细胞,抑制组蛋白乙酰化,起到抗癌的作用^[25]。Mariola 等^[26]用 40% 的乙醇对蛋白质进行萃取,并采用快速流琼脂糖凝胶柱对大豆蛋白分级纯化,超滤后得到 5 kDa 的蛋白肽,其分子质量及等电点与 Lunasin 相对应。将得到的蛋白肽进行宫颈癌细胞 MTT 增殖试验,表现出对宫颈癌细胞生长具有抑制作用。Vermont 等^[27]通过测量小鼠肝重与体重之比,来评价腹腔注射与喂食两种方法下,Lu-

nasin 抑制人体 KM12L4 结肠癌细胞转移的能力,结果显示,腹腔注射 Lunasin 能够显著抑制结肠癌细胞转移,而喂食的 Lunasin 与对照组相比对结肠癌细胞转移抑制不显著。这可能是由于操作方法不同使得喂食的 Lunasin 被消化的缘故。可见 Lunasin 在抗癌方面的应用具有广阔的前景,后续仍需要通过基因组学及蛋白组学对其进行深入的研究。

2.4 大豆活性肽降血脂功能

大豆活性肽可以降低胆固醇、甘油三酯以及低密度脂蛋白等,因而具有降低血脂的功能。现如今,人们对大豆肽的生物活性功能越来越重视,特别是其降血脂功能。

褚斌杰等^[28]用大豆肽对 Wistar 大鼠进行试验,与对照组相比,试验组大鼠血清总胆固醇和甘油三酯均低于对照组,表明大豆活性肽具有降低血脂的功能。王金玲等^[29]用高变性豆粕酶解制备的大豆活性肽灌胃高脂模型小鼠,发现小鼠血清总胆固醇显著降低,高密度脂蛋白胆固醇提高,结果表明,酶解大豆多肽具有降血脂的功能。孙青等^[30]研究了大豆肽对试验性高脂血症模型大鼠血脂代谢的影响,与高脂模型组相比,中、高剂量大豆肽组的血清总胆固醇及甘油三酯含量显著降低,这可能是因为大鼠总脂酶、肝脂酶和脂蛋白脂酶活性明显增强所引起的。

刘恩岐等^[31]以体外降低胆固醇胶束溶解度试验筛选黑豆肽组分并进行小鼠试验,发现黑豆肽能够显著降低高血脂小鼠血清中总胆固醇、总甘油三酯以及低密度脂蛋白胆固醇+极低密度脂蛋白胆固醇浓度,表明黑豆肽具有辅助降血脂的作用。Nao 等^[32]研究了大豆活性肽对脂质代谢的影响。通过 4 次试验对大豆蛋白肽进行分级纯化,最终结果显示,3 个二肽:赖氨酸—丙氨酸 (Lys-Ala),缬氨酸—赖氨酸 (Val-Lys),丝氨酸—酪氨酸 (Ser-Tyr),能抑制甘油三酯的合成,降低自发性 II 型糖尿病大鼠的血脂,其中 Ser-Tyr 能够抑制 HepG2 细胞中载脂蛋白 B100(apoB100)的合成,而 apoB100 是低密度脂蛋白的主要结构蛋白,能够反映血脂的含量。因而推测 Ser-Tyr 是能够降低血脂的大豆活性肽的有效功能成分。此研究仍需对其有效浓度及作用机理作进一步探索。可见对具有降血脂功能大豆活性肽的深入研究具有重要的意义。

2.5 大豆活性肽其他功能

大豆活性肽还具有减肥、调节免疫、降胆固醇、抗病毒,抑菌等保健功能。

肥胖是由于体内脂肪,尤其是甘油三酯积聚过多而导致的一种状态,可引起多种并发症如 II 型糖尿病、高血压、高脂血症、冠心病等^[33-34]。Jang 等^[35]对黑大豆中的一种新型异黄酮自自由肽(BSP)进行了研究,并建立小鼠高脂肪肥胖模型,测定小鼠体重、细胞中胆固醇以及甘油三酯的含量等,结果表明,BSP 能够有效降低甘油三酯并抑制肥胖。May-June 等^[36]运用风味蛋白酶水解大豆分离蛋白,来制备促脂肪水解大豆肽,以甘油释放量进行筛选,并通过超滤,凝胶过滤以及反向高效液相色谱法对水解产物进行分离纯化。结果显示,3 个活性肽:异亮氨酸—亮氨酸—亮氨酸 (ILL),亮氨酸—亮氨酸—亮氨酸 (LLL),缬氨酸—组氨酸—缬氨酸—缬

氨酸(VHVV),能够有效促进脂肪水解,这可能是因为 3 个活性肽具有疏水性侧链氨基酸,从而表现出脂肪水解活性。大豆活性肽可以有效降低体内胆固醇以及甘油三酯的含量,从而起到减肥的作用。但是应用于人体的研究还比较少,且没有深入到细胞水平,因此有必要对其作用机理作进一步的研究和探索。

卢连华等^[37]通过灌胃的方法观察大豆肽粉对环磷酰胺模型大鼠及正常大鼠白细胞数量及自然杀伤(NK)细胞活性的影响,发现高剂量大豆肽粉能显著增加大鼠白细胞总数并提高正常大鼠 NK 细胞活性,表明大豆肽粉对大鼠有正向免疫调节作用。Seong-Jun 等^[38]通过对大豆蛋白肽研究,发现大豆活性肽的特定序列能够有效刺激低密度脂蛋白受体在肝细胞转录,从而降低血液中的胆固醇。Athanasia 等^[39]从大豆 β -伴球蛋白中制备肽的混合物(7S)并对其进行研究,发现经豆蔻酰化的和棕榈酰化的 7S 表现出较高的抗猫杯状病毒活性,表明大豆活性肽具有抗病毒的功能。Stephen 等^[40]对 4 种具有抗高血压功能的生物活性肽进行抑菌试验,发现从大豆中提取的活性肽(PGTAVFK)能够显著抑制革兰氏阳性金黄色葡萄菌和藤黄微球菌、革兰氏阴性大肠杆菌以及白色念珠球菌的生长。这可能与 PGTAVFK 中氨基酸带电性及疏水性有关,从而表现出抑菌性。由此可见,大豆活性肽作为一种新型的具有多种生理保健功能的食品,具有良好的应用前景。

3 结论

大豆蛋白作为肽的主要来源之一,具有广泛的应用前景。大豆活性肽具有抗高血压、抗氧化、抗癌、降血脂、减肥,抗病毒及抑菌等生理保健功能,可作为膳食补充剂、功能食品以及药物等的有效成分,被广泛应用于食品、医药、饲料等行业。目前,已有一些学者对大豆活性肽作了研究,但对其了解还不够深入,一些生理功能研究还不够透彻。虽然市场上已经推出一些关于大豆生物活性肽的产品,但其生产成本高且生产工艺繁琐。因此有必要探索一些工艺简单、成本低的生产方法,并且可以针对某些生理功能如,抗癌、抗病毒、抑菌等作进一步研究,开拓其在疾病防治、食品保鲜等新领域的应用。相信随着科技的进步及科研的深入,大豆活性肽产业及其产品在功能食品领域中的应用推广必将得到更高层次的快速发展。

参考文献

[1] Brij Pal Singh, Shilpa Vij, Subrota Hati. Functional significance of bioactive peptides derived from soybean[J]. Peptides, 2014, 54: 171-179.

[2] 金牧, 何志勇, 熊幼翎, 等. 改性大豆分离蛋白对法兰克福香肠品质的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 1-4.

[3] 李文, 陈复生, 丁长河, 等. 大豆肽生理功能的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 360-362.

[4] 卢薇. 生物转化酶法制备营养改善大豆蛋白和大豆肽的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 8.

[5] 高梦妮, 江连洲, 朱秀清, 等. 大豆活性肽的安全性评价[J]. 食品科技, 2014, 39(3): 266-270.

[6] 徐曼, 窦岫, 杨春霞, 等. 大豆活性肽的研究进展[J]. 食品工业, 2012, 33(4): 126-130.

[7] 张慧慧, 贺寅, 刘新旗, 等. 大豆肽的研究进展及其发展前景[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 406-408.

[8] 潘瑶. 大豆活性肽制备工艺的研究[D]. 淮北: 淮北师范大学, 2010: 6.

[9] 卜汉萍, 王璐, 许宙, 等. 免疫活性肽的酶法制备及其活性机制研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 244-248.

[10] Shin Z I, Yu R, Park S A, et al. His-His-Leu, an angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide derived from Korean soybean paste, exerts antihypertensive activity in vivo[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(6): 3 004-3 009.

[11] Giovanna Boschin, Graziana Maria Scigliuolo, Donatella Resta, et al. ACE-inhibitory activity of enzymatic protein hydrolysates from lupin and other legumes[J]. Food Chemistry, 2014, 145: 34-40.

[12] 李响, 刘畅, 吴非. 微生物发酵法制备大豆 ACE 抑制肽菌种的筛选[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 185-188.

[13] Wang Hai-kuan, Zhang Shan-ting, Sun Yan, et al. ACE-inhibitory peptide isolated from fermented soybean meal as functional food[J]. International Journal of Food Engineering, 2013, 9(1): 1-8.

[14] Vishwanath S Vallabha, Purnima Kaul Tikku. Antihypertensive peptides derived from soy protein by fermentation[J]. International Journal of Peptide Research and Therapeutics, 2014, 20(2): 161-168.

[15] Yuko Yamada, Keito Nishizawa, Megumi Yokoo, et al. Antihypertensive activity of genetically modified soybean seeds accumulating novokinin[J]. Peptides, 2008, 29(3): 331-337.

[16] Bahareh H Sarmadia, Amin Ismail. Antioxidative peptides from food proteins: A review[J]. Peptides, 2010, 31(10): 1 949-1 956.

[17] Janet Carrasco-Castilla, Alan Javier Hernández-álvarez, Cristian Jiménez-Martínez, et al. Antioxidant and metal chelating activities of peptide fractions from phaseolin and bean protein-hydrolysates[J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 1 789-1 795.

[18] Miryam Amigo-Benavent, Alfonso Clemente, Simonetta Cairra, et al. Use of phytochemomics to evaluate the bioavailability and bioactivity of antioxidant peptides of soybean β -conglycinin[J]. Electrophoresis, 2014, 35(11): 1 582-1 589.

[19] 高义霞, 周向军, 魏苇娟, 等. 豆渣蛋白肽的酶解工艺、抗氧化作用及其特性研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(4): 46-52.

[20] Patrycja Puchalska, M Luisa Marina, M Concepción García. Isolation and identification of antioxidant peptides from commercial soybean-based infant formulas[J]. Food Chemistry, 2014, 148: 147-154.

[21] Margarita Ortiz-Martínez, Robert Winkler, Silverio García-Lara. Preventive and therapeutic potential of peptides from cereals against cancer[J]. Journal of Proteomics, 2014, 111: 165-183.

[22] Mariadel Carmen Robles-Ramírez, Eva Ramón-Gallegos, Francisco J Reyes-Duarte, et al. Effect of germinated soy protein on the growth of HeLa cervical cancer cells in female athymic mice[J]. Nutrition and Cancer, 2012, 64(8): 1 261-1 268.

[23] 吴非, 于胜男, 葛锡娟, 等. 大豆蛋白酶解物的抗癌活性研究[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(12): 98-102.

[24] Rowan A C Mitchell, Alison Lovegrove, Peter R Shewry. Luminasin in cereal seeds: What is the origin? [J]. Journal of Cereal Science, 2013, 57(3): 267-269.

[25] Blanca Hernandez-Ledesma, Chia-Chien Hsieh, Ben O de Lumen. Luminasin, a novel seed peptide for cancer prevention[J]. Peptides, 2009, 30(2): 426-430.

[26] Mariola Galbas, Filip Porzucek, Anna Woźniak, et al. Isolation of low-molecular albumins of 2S fraction from soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) [J]. Acta Biochimica Polonica, 2013, 60(1): 107-110.

[27] Vermont P Dia, Elvira Gonzalez de Mejia. Potential of luminasin orally-administered in comparison to intraperitoneal injection to inhibit colon cancer metastasis in vivo[J]. Journal of Cancer Therapy, 2013, 4(6): 34-43.

[28] 褚斌杰, 祁高富, 梁运祥. 大豆肽减肥降血脂作用的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(11): 65-68.

[29] 王金玲, 江连洲, 许晶. 豆粕功能肽制备及其降血脂作用[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 52-55.

[30] 孙青, 王淑娥, 付舒倩, 等. 大豆肽对实验性高脂血症大鼠血脂的影响及其机制[J]. 中国老年学杂志, 2014, 34(8): 2 169-2 171.

[31] 刘恩岐, 巫永华, 张建萍, 等. 黑豆肽的分离纯化及其辅助降血脂作用[J]. 食品科学, 2011, 32(19): 248-252.

[32] Nao Inoue, Koji Nagao, Kotaro Sakata, et al. Screening of soy protein-derived hypotriglyceridemic di-peptides in vitro and in vivo[J]. Lipids in Health and Disease, 2011, 10(85): 1-10.

[33] 陈健, 谭思荣, 黄建辉, 等. 减肥降脂活性成分的研究[J]. 现代生物医学进展, 2014, 14(2): 361-363.

[34] 杜振亚, 陈复生. 大豆蛋白保健功能研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 247-250.

[35] Jang E H, Moon J S, Ko J H, et al. Novel black soy peptides with antiobesity effects: activation of leptin-like signaling and AMP-activated protein kinase[J]. International Journal of Obesity, 2008, 32(7): 1 161-1 170.

[36] Tsou M J, Kao F J, Lu H C, et al. Purification and identification of lipolysis-stimulating peptides derived from enzymatic hydrolysis of soy protein[J]. Food Chemistry, 2013, 138(2/3): 1 454-1 460.

[37] 卢连华, 周连奎, 谢玮, 等. 大豆肽粉对低白细胞大鼠白细胞及 NK 细胞的影响[J]. 食品与药品, 2014, 16(4): 262-265.

[38] Seong-Jun Cho, Juillerat, Marcel A, et al. Identification of LDL-receptor transcription stimulating peptides from soybean hydrolysate in human hepatocytes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(12): 4 372-4 376.

[39] Athanasia O Matemu, Kosuke Nakamura, Hisataka Kayahara, et al. Enhanced antiviral activity of soybean β -conglycinin-derived peptides by acylation with saturated fatty acids[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(6): M299-M304.

[40] Stephen McClean, Louise B Beggs, Robert W Welch. Antimicrobial activity of antihypertensive food-derived peptides and selected alanine analogues[J]. Food Chemistry, 2014, 146: 443-447.