

文章编号:1673-2383(2019)02-0132-08

网络出版网址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1378.N.20190419.0945.042.html

网络出版时间:2019-4-19 9:45:55

大豆多肽的功能性质及应用前景

戴 媛,冷进松

(重庆文理学院 林学与生命科学学院,重庆 402160)

摘要:大豆多肽是大豆蛋白质的水解产物,具有优良的物理特性、营养特性、加工特性和生理功能,在食品、医药保健品和饲料添加剂中得到了广泛的应用。综述了大豆多肽的物理特性、营养特性、加工特性、生理功能和研究现状,并对大豆多肽在研究和应用中的主要问题进行了阐述。

关键词:大豆多肽;功能性质;应用

中图分类号:TS201.2

文献标志码:A

0 引言

大豆多肽是大豆蛋白质经蛋白酶作用后,再经特殊处理而得到的蛋白质水解产物,其必需氨基酸组成与大豆蛋白质完全一样,含量丰富且平衡^[1],还具有大豆蛋白质所不具备的良好的溶解性、吸水性等物理性质,而且具有促进矿物质吸收、促进脂肪代谢、降低胆固醇、降低血压、增强肌肉能力等多种生理功能。大豆多肽是食品、药品等行业中极具潜力的一种功能性基料,具有广阔的市场应用前景。

1 大豆多肽的物理特性

1.1 溶解性

在大范围的温度、酸碱度、氮浓度、离子强度区间内,大豆多肽都呈现出良好的溶解性^[2]。与蛋白质相比,大豆多肽的分子量和体积都较小,因而亲水性较强,溶解度较大。有研究表明,即使不完全水解也能提高生成物的溶解性。通常大豆蛋白在 pH 4.3 的等电点附近就会产生沉淀,并且在温度升高的情况下,易形成凝胶状态,但大豆多肽则可保持溶解状态,其溶解性不受溶剂的温度和酸

碱度的影响^[3]。

1.2 黏度

与大豆蛋白质相比,即使在高浓度下,大豆多肽仍然具有较低的黏度。多肽经蛋白酶水解形成时,连接氨基酸分子的肽键发生断裂,降低了水解产物的疏水性,增加了其电荷数,使吸引力和排斥力达到平衡,从而不易发生凝胶现象^[4]。随着温度和浓度的增加,大豆蛋白质溶液的黏度也会逐渐上升,但大豆多肽溶液的黏度受温度和浓度的影响较小。大豆蛋白的质量分数为 10%时,其黏度为 90.60 Pa·s,质量分数为 15%时,黏度高达 356 Pa·s,且质量分数超过 15%时的溶液一经加热即凝固,而酶法水解所得的大豆多肽具有黏度小、流动性好的特点,60%大豆多肽的黏度只有 31 Pa·s^[5]。

1.3 吸水性

大豆多肽的吸水性比大豆蛋白质高,由于蛋白质发生水解作用,破坏了其分子结构,导致亲水性基团暴露在外^[6],因此大豆多肽比大豆蛋白质具有更强的吸水性和保水性^[7]。大豆多肽和大豆分离蛋白的吸水性受温度的影响也不同,在 30℃以下,大豆分离蛋白的吸水性随温度上升而增强,当蛋白质遇热时,球状分子内部的极性基团由于蛋白质分子离解和开键而转向分子表面,从而使其吸水性得到增强。当温度上升到 30℃以上,随着温度的上升,吸水性反而降低,可能是由于温度上升,导致氢键的减少,从而使其吸水性降低,也可能由于蛋白质遇热变性造成的聚集作用使其吸水性降低。相对于大豆分离蛋白而言,在 0~90℃范围内,大豆多肽的吸水性却随温度的上升而一直增大。

收稿日期:2018-09-25

基金项目:重庆文理学院校级科研课题引进人才专项(2017RLX37)

作者简介:戴媛(1979—),女,吉林永吉人,讲师,博士,研究方向为食品营养与功能食品。

1.4 乳化性

丛建民等^[8]用碱性蛋白酶水解大豆分离蛋白制备大豆多肽,并分析和测定了大豆多肽乳化性。由结果可知,蛋白质水解物的乳化性可以通过适度的水解作用来提高。原因是包裹在蛋白质内部的疏水性基团由于水解作用而暴露在外,使其在界面的吸附力增强,从而导致了内聚性膜的形成。但过度的水解会导致乳化性能大幅降低,原因是包裹在蛋白质内部的疏水基团的过度暴露,导致表面活性层的平衡被打破,使小肽不能在表面展开,界面张力不能降低,使其乳化能力降低^[9]。一般情况下,具有良好乳化性的多肽,其肽链的长度应大于 20 个氨基酸残基^[10]。

1.5 渗透压

与氨基酸相比,大豆多肽溶液的渗透压较低。人体周边组织细胞中的水分会因某种液体的渗透压高于体液,而向胃肠移动并引发腹泻,氨基酸的摄入常会发生这种情况^[11]。因为大豆多肽的渗透压远比氨基酸要低,因此,作为提供蛋白源的口服液或肠道营养液有着比氨基酸更好的功效^[12]。

2 大豆多肽的营养特性

在肠道中,蛋白质大部分都以多肽的形式被吸收,小部分转化成氨基酸被吸收。大豆多肽的吸收速度快,吸收力强,是氨基酸的 3 倍,吸收时不经降解,直接吸收^[13],并且与蛋白质或氨基酸相比,大豆多肽具有更低的渗透压,因此会降低胃肠的不适感和电解质不平衡等症状的发生率。所以对于消化功能较弱或者衰退、不健全的特殊人群^[14],大豆多肽可作为肠道营养剂或流态食品使用,以满足机体对于蛋白质的营养需求。

3 大豆多肽的加工特性

氮源是微生物生长代谢过程中不可缺少的一种营养成分,由于大豆多肽富含氮源,因此,具有促进微生物生长发育和活跃代谢的作用^[15],有研究表明,在酸奶的生产过程中添加 1% 的大豆多肽,可以提高产品的稳定性,改善风味^[16]。在面包中添加大豆多肽,能促进面包酵母的产气作用,使产品质地柔软、新鲜、体积增大、香气增加^[17]。

4 大豆多肽的生理功能

4.1 低过敏性

过敏反应是由存在于食物中的过敏原而引起的特异性过敏反应,是一种异常病理性免疫应答^[18]。

蛋白质的水解作用可以降低过敏性,从而使诸如阵发性鼻炎、哮喘、荨麻疹、接触性皮炎、过敏性休克等过敏症状发生的概率下降^[19]。据报道,分子质量小于 3 400 Da 的大豆多肽不会引起过敏反应^[20]。因此,将大豆蛋白质水解为大豆多肽可有效解决长久以来大豆蛋白质的食用安全性问题。

4.2 降血压

高血压是目前最常见的心血管疾病之一。血管紧张素转换酶(ACE)在血压调节中起到了至关重要的作用,无活性血管紧张素 I 可以通过 ACE 催化而转变成具有活性的血管紧张素 II,从而导致末梢血管收缩压上升而引起高血压^[21]。高血压患者一般使用降压药调节血压,但长期服用会发生肾的功能性病变、蛋白尿、味觉障碍等不良后果^[22]。大豆多肽能降低 ACE 活性和末梢血管收缩压,从而可有效降低血压,并且它能平稳降压,不会对正常血压起到降低作用^[23],安全性高、毒副作用小,目前作为一种降压的食物肽,越来越受到人们的关注^[24]。

目前,从酶法水解大豆蛋白质中分离纯化得到的降压肽有多种,例如 Val-Ala-His-Ile-Asn-Val-Gly-Lys-Tyr-Val-Trp-Lys-Ile-Phe-Leu 和 Trp-Leu 等^[25]。另外,发酵大豆提取物也用于生产 ACE 抑制肽^[26]。Shimakage 等^[27]从蛋白酶处理的日本纳豆中纯化并鉴定出 5 种 ACE 抑制肽(Ile-Ile-Ile-Asp-Ile-Phe-Tyr-Leu-Phe-Tyr-Leu-Tyr-Tyr) 和 8 种含有 Phe-Tyr-Tyr 和 Trp-His-Pro 的新型 ACE 抑制肽,其最高 ACE 抑制活性是蛋白酶处理豆奶所得降压肽的 36 倍左右。

4.3 降胆固醇

大豆多肽可增加甲状腺激素的分泌,促进胆固醇加快代谢,产生胆汁酸,食物纤维将胆汁酸吸附并排出体外,从而降低机体吸收胆固醇的量,进而达到降低胆固醇的目的^[28]。大豆肽也可与磷脂结合,从而降低人体血清胆固醇的活性^[29]。由于大豆多肽所显示的降低胆固醇效应,食品和药物管理部门已将天然富含大豆肽类物质的食物与降低冠心病发病率联系起来^[30]。目前,从大豆甘氨酸中分离出一种四肽(LPYP),具有降低胆固醇作用^[31]。此外,Zhong 等^[32]研究了大豆多肽对小鼠模型的降胆固醇作用,发现大豆蛋白酶水解物的水解度为 18%,胆固醇胶束溶解度抑制率为 48.6%。张晓梅等^[33]也用碱性蛋白酶水解大豆分离蛋白,并进一步分离纯化得到降胆固醇多肽,其具有最高降低胆固醇活性的多肽对胆固醇胶束溶解度的抑制率为 81.26%。

大豆多肽能有效降低胆固醇值过高的症状,对正常胆固醇值的人并无降胆固醇的作用,在日常生活中,还可预防因食用胆固醇高的食物而造成的胆

固醇升高的情况^[34]。大豆多肽与非诺贝特(一种降低胆固醇的药物)相比,在降低血浆总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)等方面效果相当^[35]。

4.4 促进矿物质吸收

存在于大豆蛋白中的草酸、植酸、纤维以及其他多酚类物质,降低了锌、钙、镁、铜及铁在机体内的吸收效果及生物利用率。而大豆多肽可与这些矿物质元素形成金属螯合物,使其保持可溶性状态,避免与植酸、草酸、纤维及单宁等结合形成沉淀,使矿物质元素的溶解性、吸收率和输送速度都明显提高,大大提高了它们的生物利用率。张东杰等^[36]采用木瓜蛋白酶水解大豆分离蛋白制备大豆多肽的水解液,水解液按分子量大小分为 4 个组分:SP1>SP2>SP3>SP4,SP4 的铜离子螯合能力最强,但该研究并未对多肽进行分离纯化,也未鉴定其氨基酸序列。Zhu 等^[37]分离纯化出两种新的锌螯合肽,并鉴定了氨基酸序列,NAPLPPPLKH 和 HNAPNPGLPYAA,其中 HNAPNPGLPYAA 具有较高的锌螯合能力(91.67%±0.81%),且锌的生物利用度高于硫酸锌,此研究结果提示锌螯合肽可用于食品锌的强化,提高矿物质的生物利用度。

4.5 抗肥胖性

肥胖是许多国家面临的主要健康问题,它会大大提高心血管疾病和其他相关疾病的发病率^[38]。高胰岛素血症、抗胰岛素性和其他的脂质代谢异常等疾病都与肥胖相关,肥胖还可能引起代谢综合征和患 II 型糖尿病的风险,因为它增加了极低密度脂蛋白(VLDL)和低密度脂蛋白(LDL),降低了高密度脂蛋白(HDL),升高了甘油三酯。研究发现,大豆多肽的消耗可降低血清总胆固醇、LDL、甘油三酯、胆固醇、甘油三酯^[39]。动物实验的几项研究表明,在摄入大豆多肽后,肠道胆固醇的吸收降低,粪便胆汁酸的排泄增加,从而降低了肝脏胆固醇含量,并增强了 LDL 的去除效果^[40]。目前,已经从具有抗肥胖性的大豆蛋白质中鉴定出了几种抗肥胖性的生物活性肽,如 Leu-Pro-Tyr-Pro-Arg 和 Pro-Gly-Pro^[41]。

Jang 等^[42]在饮食诱导的肥胖小鼠中研究了新的黑大豆肽(BSP)的抗肥胖作用,发现用 BSP2%、5%和 10%喂食高脂(HF)饮食的小鼠,13 周后体质量分别为 21.4 g、19.8 g 和 17.1 g,而没有喂食 BSP 的小鼠体质量为 22.6 g。结果表明,BSP 降低了小鼠的食欲和 HF 饮食诱导的体质量增加。最新研究发现,胆囊收缩素受体 1 型(CCK1R)在降低食欲、体质量方面发挥关键的作用,而该受体可通过生物活性肽的活化进行诱导,并可进一步应用于治疗和预防肥胖症的功能性食品中^[43]。

4.6 抗疲劳和增强肌肉能力

葡萄糖是生命体主要的能量来源,葡萄糖供给不足会导致能量短缺,机体疲劳,机体首先分解糖原产生葡萄糖,在将糖原耗尽后,会启动糖异生途径(由非糖物质合成葡萄糖的过程),以满足机体对能量的需求,蛋白质的分解代谢增强以产生更多的氨基酸作为糖异生的前体,加速糖异生途径的进行,产生更多的葡萄糖,帮助维持血糖浓度,满足组织对糖的需求,此时,为避免肌肉蛋白质负平衡,应及时从外部补充摄入氨基酸,由于机体对大豆多肽的吸收比氨基酸和蛋白质更容易,因此可以快速恢复和增强体力^[44]。大豆多肽还能增强肌肉的功能,通过适当的运动刺激和蛋白质的充分补充,可使机体的肌肉有所增强。在这个过程中,生长激素起了极其重要的作用,生长激素在运动后与睡眠中分泌旺盛,在此期间摄入可作为肌肉蛋白质合成原料的大豆多肽将非常有效^[45]。

4.7 提高免疫力

免疫力是指机体对疾病发展的抵御能力,是机体对外源入侵异物的识别和消灭,同时处理自身细胞的衰亡、变性、损伤,以及对机体中突变和病毒感染细胞的辨识和应答的能力^[46]。预防各类疾病的发生以及机体的快速康复,通过饮食来提高机体免疫力是其中的关键。

目前,从大豆蛋白水解物中已分离出 His-Cys-Gln-Arg-Pro-Arg 和 Gln-Arg-Pro-Arg 两种免疫调节肽^[47]。研究发现,低分子量和带正电的多肽在刺激免疫调节活性方面起关键作用,Zhao 等^[48]从大豆蛋白水解物中分离出的正电荷肽在较低浓度下就可刺激淋巴细胞的增殖。Kong 等^[49]以大豆蛋白为原料,酶法水解得到低分子量大豆多肽,对小鼠脾淋巴细胞的增殖和巨噬细胞的吞噬作用具有较高的免疫调节活性。Dilshat 等^[50]研究了大豆多肽对健康人群免疫功能的影响,结果发现大豆多肽通过调节白细胞、淋巴细胞和粒细胞的数量来调节机体的免疫功能^[50]。

4.8 抗癌作用

有学者研究发现,无论在实验动物的体内还是体外,疏水性大豆多肽都有抗癌活性。例如,将脱脂大豆蛋白酶解,进一步用乙醇纯化,再用凝胶过滤层析法分级,得到的大豆多肽对于小鼠单核巨噬细胞系统的体外细胞毒性的 IC_{50} 为 0.16 mg/mL。将此肽进一步用高效液相色谱纯化,得到分子质量为 1 157 Da 的九肽,氨基酸序列为 X-Met-Leu-Pro-Ser-Tyr-Ser-Pro-Tyr^[51]。

最新研究发现,大豆多肽 Lunasin 作为一种药剂具有较强的抗癌作用^[52]。Lunasin 是一个天然存在

于大豆蛋白中的由 43 个氨基酸残基构成的肽,包含一个由 9 个天冬氨酸残基构成的羧基端^[53]。Lunasin 首先在 2S 大豆清蛋白中被发现,它通过结合非乙酰化 H3 和 H4 组蛋白抑制核心组蛋白的乙酰化,因此可以抑制哺乳动物由致癌物或致癌基因引起的癌细胞的转移。最新研究机制认为,Lunasin 可以选择性地杀死转移的细胞,或者是杀死通过与脱乙酰化的核心组蛋白结合而形成的新转化的细胞。Galvez 等^[54]研究发现,Lunasin 的局部应用,可以降低小鼠皮肤肿瘤的形成。其他具有抗癌作用的大豆多肽包括 Kunitz 型胰蛋白酶抑制剂,此肽通过阻断尿激酶水平上升来抑制卵巢癌细胞的扩散。

4.9 抗氧化

DNA 等生物大分子易受自由基的攻击而造成氧化损伤,增加机体患肿瘤和心血管疾病的概率^[55]。由研究结果可知,大豆多肽能有效清除机体内自由基、减小脂质氧化发生的概率,降低脂质与金属离子的螯合能力,具有一定抗氧化特性^[56]。因此大豆多肽在抗衰老食品、化妆品和医疗保健品等的开发中可作为天然抗氧化剂使用。

大豆多肽的抗氧化作用与其氨基酸组成和序列是紧密相关的^[57],分子组成中富含色氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、亮氨酸和酪氨酸的多肽具有抗氧化性。Chen 等^[58]制备了 2 种三肽,一种由组氨酸和酪氨酸组成,另一种由脯氨酸和组氨酸组成。其抗氧化活性由以下指标确定:抗亚油酸过氧化的活性、还原性、自由基清除活性和过氧亚硝基阴离子的清除作用。结果表明,在 C 末端包含酪氨酸残基的三肽具有较强的抗氧化活性。

5 大豆多肽的开发利用前景

大豆多肽具有较高的经济价值,应用前景广阔,将其应用于食品、医药保健品和饲料添加剂中将会产生良好的经济效益和社会效益。

5.1 在食品中的应用前景

大豆多肽具有良好的稳定性、较低的黏度,并且对热和酸均稳定,添加到饮料中,可保持饮料状态均一稳定、不分层、不产生沉淀。刘伟等^[59]以大豆多肽和富硒酵母为主要原料,通过对加工工艺及配方参数的优化,生产出具有大豆多肽和硒双重健康功效、滋气味深受饮用者欢迎的富硒大豆多肽健康饮料。舒静等^[60]以大豆多肽为原料,以白砂糖和柠檬酸为辅料,采用一定的生产工艺和技术条件制备了大豆多肽运动饮料,并对饮料的最佳配方进行了优化。大豆多肽还具有促进微生物生

长发育和活跃新陈代谢的作用,它能促进双歧杆菌、乳酸菌及其他有益菌类的增殖,也能促进酵母的产气作用,因此可用于生产酸奶、干酪、醋、酱油和面包等食品,能够改善产品的品质、增强风味和增加营养价值^[61]。尹贵忠等^[62]采用一定的生产工艺和技术条件,在 200 mL 豆酸奶中加入了 1 g 大豆多肽,制得了感官品质较好的大豆多肽酸奶产品。另外,大豆多肽具有较强的吸湿性和保湿性,将其应用于各种豆制品、高蛋白食品、焙烤食品、火腿及人造肉等食品时,不仅可以保持水分,调整硬度,而且可以改善口感和增加食品的营养。例如在月饼的制作过程中添加大豆多肽,效果是非常明显的。通常月饼在制作过程中会出现饼皮发硬、裂口、外观无光泽等缺陷,针对此种情况,在制皮的过程中添加一定量的大豆多肽,月饼的品质会得到很大的提高,不仅弥补了制作过程中常出现的缺陷,而且将月饼的保质期延长了十几天,且感官质地柔软新鲜。将大豆多肽添加到鱼肉制品中,可以大大提高其香鲜度。在糖果糕点和冷饮食品中,大豆多肽的应用能使生产成本降低,风味品质改善,保质期延长,具有极佳的生理功能和加工特性,很有发展前景。

5.2 在医药保健品中的应用前景

大豆多肽的过敏性较低,消化吸收性能良好,能增进脂质代谢,迅速给机体补充能量,加快体力恢复速度;因此,大豆多肽可用作康复期的病人、消化能力下降的老年人以及消化功能不全的婴幼儿的肠道液态营养补剂或运动后人员的粉状、片状和颗粒状食品^[63]。樊秀花等^[64]以大豆多肽为主要原料,配以苹果酸、果蔬粉、木糖醇、 β -环糊精、脱脂奶粉等辅料,经混合、造粒、干燥、压片等工序生产大豆多肽含片。大豆多肽还可以和其他辅料相结合,强化人类必需氨基酸,强化钙、铁、镁、锌等微量元素,生产出各种适合不同人群的保健食品^[65]。李迪等^[66]以大豆多肽为原料,以盐酸、乳酸、苹果酸或柠檬酸作为调酸剂,将大豆多肽与外源性钙以质量比为 10:1 的比例复合,采用一定的生产工艺和技术条件,制备了大豆肽钙复合物,且这种复合物钙的含量较高,稳定性和吸收效果均较好^[66]。大豆多肽还具有降低人体血清胆固醇、降血压和促进脂肪代谢等功能,因此大豆肽可用于生产降胆固醇、预防心血管系统疾病、降血压、防肥胖症等功能的保健食品^[67]。

5.3 在动物饲料中的应用前景

豆粕是大豆榨油后的副产品,是动物饲料中重要的蛋白来源。但是,豆粕中因含有的蛋白酶抑制剂、脲酶、植物凝集素及植酸等成分,影响了动

物机体对豆粕中营养物质的充分利用,不但阻碍了动物肠道对豆粕中营养成分的消化、吸收和利用,而且严重地危害了动物机体的健康生长^[66]。所以,应用豆粕生产大豆多肽是提高豆粕利用价值的良好方法。大豆多肽具有降血压、降血脂、增强机体免疫力、抗氧化等功能,代谢过程中,大豆多肽可分解抗原蛋白分子及某些抗营养因子,使动物饲料易于消化吸收,促进机体的消化吸收和生长发育。李丹等^[67]研究了大豆多肽对肉鸡肉品质的影响,在肉鸡日粮中添加不同比例的大豆多肽,测定肉鸡胸肌的色泽、嫩度、持水性和粗脂肪含量,结果发现日粮中添加大豆多肽能提高胸肌的嫩度和持水性,降低粗脂肪含量,色泽也得到改善^[67]。董雪梅等^[68]研究在蛋种鸡不同生长期饲料中添加大豆多肽,对蛋种鸡产蛋性能及孵化成绩的影响。结果表明大豆多肽可使死胚率下降,种蛋受精率和孵化率提高,能延长产蛋时间以及提高产蛋期的成活率。由此可见,应用豆粕提纯大豆多肽,生产大豆多肽饲料,不仅具有良好的营养特性、各种生理功能,而且能将农业副产品变废为宝,节约资源,是一种非常有前途的功能性蛋白质原料,因此,多肽饲料在畜牧行业中必将具有十分广泛的应用前景^[69]。

6 展望

大豆多肽具有多种生理活性,对人类健康具有重要意义,具有重要的研究与开发价值。今后,有关大豆多肽的研究将主要集中在3个方向:一是将其应用于动物体后,测定生理指标的变化,以确定大豆多肽的生理活性;二是开发大豆多肽产品,并对产品的配方进行优化;三是研究大豆多肽的作用机制^[70]。这3个方向将是今后大豆多肽研究的重点目标。随着社会和经济的发展,广大人民群众健康意识的不断增强,具有良好生理功能的大豆多肽将来必定会受到人们更加广泛的关注和应用。

参考文献:

- [1] 武莹浣. 微波法中性蛋白酶酶解大豆分离蛋白的条件研究[J]. 农业机械, 2012(12): 53-55.
- [2] 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): 126-129.
- [3] 汪桐, 张健, 徐争辉, 等. 大豆活性肽的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(26): 13105-13106.
- [4] 乐国伟. 大豆肽的营养及其在食品工业中应用安全性探讨[J]. 中国食品添加剂, 2007, (Z1): 140-145.
- [5] 刘静, 张光华. 蛋白酶解大豆多肽的理化特性[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 302-306.
- [6] 董颖超. 蛋白酶对大豆蛋白的水解特性及动力学性质的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
- [7] LIU W, HOU T, SHI W, et al. Hepatoprotective effects of selenium-biofortified soybean peptides on liver fibrosis induced by tetra-chloromethane[J]. Journal of Functional Foods, 2018(50): 183-191.
- [8] 从建民, 李艳丽, 陈光. 大豆肽的制备及其加工特性的研究[J]. 粮油加工, 2007(2): 48-52.
- [9] LI Y Q. Structure changes of soybean protein isolates by pulsed electric fields [J]. Physics Procedia, 2012(33): 132-137.
- [10] 邓成萍, 薛文通, 孙晓琳, 等. 不同分子量段大豆多肽功能特性的研究 [J]. 食品科学, 2006, 27(5): 109-112.
- [11] 顾明. 过度训练对大鼠肠道黏膜形态结构的影响及谷氨酰胺、大豆多肽的干预作用[D]. 扬州: 扬州大学, 2008.
- [12] 范喜宽, 庄磊, 赵一敏, 等. 大豆蛋白活性肽的研究现状及应用前景 [J]. 饮料工业, 2009, 12(5): 1-3.
- [13] YUAN B, REN J, ZHAO M, et al. Effects of limited enzymatic hydrolysis with pepsin and high-pressure homogenization on the functional properties of soybean protein isolate [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(2): 453-459.
- [14] 张连慧, 贺寅, 刘新旗. 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.
- [15] SANJUKTA S, RAI A K. Production of bioactive peptides during soybean fermentation and their potential health benefits [J]. Trends in Food Science & Technology, 2016(50): 1-10.
- [16] ZHAO Y, SUN-WATERHOUSE D, ZHAO M, et al. Effects of solid-state fermentation and proteolytic hydrolysis on defatted soybean meal [J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 97: 496-502.

- [17] 隋晓楠, 江连洲, 李杨. 大豆多肽的功能特性及在食品工业中的应用[J]. 中国食物与营养, 2010(3): 36-39.
- [18] 陈红兵, 高金燕. 食物过敏反应及其机制[J]. 营养学报, 2007, 29(2): 105-109.
- [19] EYSINK P E D, BINDELS P J E, STAPEL S O, et al. Do levels of immunoglobulin G antibodies to foods predict the development of immunoglobulin E antibodies to cat, dog and/or mite?[J]. *Clinical and Experimental Allergy*, 2002, 32(4): 556-562.
- [20] 张海龙, 宋宏春. 大豆短肽的增效学研究[J]. 内蒙古中医药, 2012(21): 117-119.
- [21] 吴建平, 丁霄霖. 大豆降压肽的研制(II): 酶E作用条件的优化[J]. 中国油脂, 1998, 23(3): 6-8.
- [22] 周炜, 郭小梅. 高血压药物治疗进展[J]. 医药导报, 2010, 29(1): 36-39.
- [23] 王莉娟. 大豆肽的制备及其体内外抗氧化活性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [24] ZAELK S, YU R, PARK S, 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): 3004-3009.
- [25] CLAUDIA C L, OMAR G O, CELMA E O M, et al. Expression of multiple antihypertensive peptides as a fusion protein in the chloroplast of *Chlamydomonas reinhardtii* [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2018, 30(3): 1701-1709.
- [26] RHO S J, LEE J S, CHUNG Y, et al. Purification and identification of an angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide from fermented soybean extract [J]. *Process Biochemistry*, 2009(44): 490-493.
- [27] SHIMAKAGE A, SHINBO M, YAMADA S. ACE inhibitory substances derived from soy foods [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2012, 12(3): 72-80.
- [28] FRIEDMAN M. Nutritional value of proteins from different food sources [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1996, 44(1): 6-29.
- [29] OMAR G O, ANA R L L, JOSÉ F M D, et al. Production and purification of recombinant hypocholesterolemic peptides [J]. *Biotechnology Letters*, 2015, 37(1): 41-54.
- [30] PHAKHAMON L, MANOTE S, NANTEETIP L. Hypocholesterolemic effect of sericin-derived oligopeptides in high-cholesterol fed rats [J]. *Journal of Natural Medicines*, 2017, 71(1): 208-215.
- [31] ADEDAYO O A, GANIYU O. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity and hypocholesterolemic effect of some fermented tropical legumes in streptozotocin-induced diabetic rats [J]. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 2015, 35(4): 493-500.
- [32] ZHONG F, LIU J, MA J, et al. Preparation of hypocholesterol peptides from soy protein and their hypocholesterolemic effect in mice [J]. *Food Research International*, 2007, 40(6): 661-667.
- [33] 张晓梅, 钟芳, 麻建国. 大豆降胆固醇活性肽的初步分离纯化 [J]. 食品与机械, 2006, 22(2): 33-36.
- [34] 王勇生, 程宗佳. 大豆肽的生理功能和制备工艺 [J]. 饲料博览, 2014(8): 40-43.
- [35] FERREIRA E S, SILVA M A, DEMONTE A, et al. β -Conglycinin (7S) and glycinin (11S) exert a hypocholesterolemic effect comparable to that of fenofibrate in rats fed a high-cholesterol diet [J]. *Journal of Functional Foods*, 2010(2): 275-283.
- [36] 张东杰, 马中芬. 凝胶过滤色谱分离大豆抗氧化肽活性的研究 [J]. 中国酿造, 2010(6): 41-43.
- [37] ZHU K X, WANG X P, GUO X N. Isolation and characterization of zinc-chelating peptides from wheat germ protein hydrolysates [J]. *Journal of Functional Foods*, 2015(12): 23-32.
- [38] AYUMU N, YOKO K Y, TOMOKO A, et al. Antiobesity and emetic effects of a short-length peptide YY analog and its PEGylated and alkylated derivatives [J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2018, 26(3): 566-572.
- [39] NAOKI N, AYUMU N, YUSUKE A, et al. Highly potent antiobesity effect of a short-length peptide YY analog in mice [J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2017, 25(20): 5718-5725.
- [40] KAZUHIRO T, KOJI O, KIRIKO K. Ubiquitous expression and multiple functions of biologically active peptides [J]. *Peptides*, 2015(72):

- 184-191.
- [41] TAKENAKA Y, UTSUMI S, YOSHIKAWA M. Introduction of enterostatin (VPDPR) and a related sequence into soybean proglycinin A1aB1b subunit by site-directed mutagenesis [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2000, 64(12): 2731-2733.
- [42] 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: 1161-1170.
- [43] BÁRBARA G, MARCELO T A, MÁRIO R F, et al. Designing improved active peptides for therapeutic approaches against infectious diseases [J]. *Biotechnology Advances*, 2018, 36(2): 415-429.
- [44] OZUNA C, PANIAGUA -MARTÍNEZ I, CASTAÍO-TOSTADO E, et al. Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides [J]. *Food Research International*, 2015, 77(4): 685-696.
- [45] 杨彩艳, 宋俊梅. 大豆肽研究进展 [J]. *粮食与油脂*, 2009(1): 43-45.
- [46] THANUTCHAPORN K, WANG Z Q, SHINYA M, et al. Identification of peptides from soybean protein, glycinin, possessing suppression of intracellular Ca^{2+} concentration in vascular smooth muscle cells [J]. *Food Chemistry*, 2014, 152: 218-224.
- [47] MERAM C, YU W, WU J. Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review [J]. *Food Chemistry*, 2018, 245(15): 205-222.
- [48] ZHAO Z X, SONG C Y, XIE J, et al. Effects of fish meal replacement by soybean peptide on growth performance, digestive enzyme activities, and immune responses of yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *Fisheries Science*, 2016, 82(4): 665-673.
- [49] KONG X Z, GUO M M, HUA Y, et al. Enzymatic preparation of immunomodulating hydrolysates from soy proteins [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(18): 8873-8879.
- [50] DILSHAT Y M D, PARIDA H M D, NURMUHAMMAT A M D, et al. Effects of soybean peptide on immune function, brain function, and neurochemistry in healthy volunteers [J]. *Nutrition*, 2012, 28(2): 154-158.
- [51] KIM S E, KIM H H, KIM J Y, et al. Anti-cancer activity of hydrophobic peptides from soyproteins [J]. *Biofactors*, 2000, 12(1): 151-155.
- [52] HERNANDEZ-LEDESMA B, HSIEH C C, DE LUMEN B O. Lunasin, a novel seed peptide for cancer prevention [J]. *Peptides*, 2009, 30(2): 426-430.
- [53] JEONG H J, PARK J H, LAM Y, et al. Characterization of lunasin isolated from soybean [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(27): 7901-7906.
- [54] GALVEZ A F, CHEN N, MACASIEB J, et al. Chemopreventive property of a soybean peptide (Lunasin) that binds to deacetylated histones and inhibits acetylation [J]. *Cancer Research*, 2001, 61(20): 7473-7478.
- [55] NGO D H, RYU B M, KIM S K. Active peptides from skate (*Okamejei kenoeji*) skin gelatin diminish angiotensin-I converting enzyme activity and intracellular free radical-mediated oxidation [J]. *Food Chemistry*, 2014, 143: 246-255.
- [56] ALEJANDRO E R, CHRISTOPHER K R. Abomasal infusion of casein, starch and soybean oil differentially affect plasma concentrations of gut peptides and feed intake in lactating dairy cows [J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2008, 35(1): 35-45.
- [57] CHRISTOPHER B M E, JOCHEN H B S. Anti-oxidative capacity of enzymatically released peptides from soybean protein isolate [J]. *European Food Research and Technology*, 2009(229): 637-644.
- [58] CHEN H M, MURAMOTO K, YAMAUCHI F, et al. Antioxidative properties of histidine-containing peptides designed from peptide fragments found in the digests of a soybean protein [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46(1): 49-53.
- [59] 刘伟, 孙鹤, 马德松, 等. 富硒大豆肽健康饮料的研制 [J]. *大豆科技*, 2010(6): 40-41.
- [60] 舒静, 陈季旺, 陈卉. 大豆肽运动饮料的研制 [J]. *粮食科技与经济*, 2010, 35(4): 54-56.

- [61] 段娜娜,陈复生,刘伯业,等. 大豆多肽的功能特性及其在食品中的应用 [J]. 农业机械,2011,2(10):134-137.
- [62] 尹贵忠,华欲飞. 大豆多肽豆酸奶的研制 [J]. 食品科技,2008,27(1):37-39.
- [63] LU J,ZENG Y,HOU W,et al. The soybean peptide aglycin regulates glucose homeostasis in type 2 diabetic mice via IR/IRS1 pathway [J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2012,23(11):1449-1457.
- [64] 樊秀花,张爱琳,何新益. 大豆肽口含片的制备工艺研究 [J]. 农产品加工,2009(12):30-32.
- [65] 李迪,吕莹,郭顺堂. 大豆肽钙复合物的溶解稳定性研究 [J]. 食品工业科技,2011,32(4):94-96.
- [66] 马静. 微生物发酵豆粕产活性大豆肽饲料的研究进展 [J]. 饲料工业,2016,37(8):27-31.
- [67] 李丹,江连洲,田瑞红,等. 日粮中添加大豆肽对白羽肉鸡肉品质的影响 [J]. 饲料工业,2008,29(23):36-38.
- [68] 董雪梅,杨涛. 添加大豆肽对不同阶段海兰白父母代蛋种鸡产蛋性能及孵化成绩的影响 [J]. 饲料博览,2006(9):24-26.
- [69] 姚小飞,石慧. 大豆多肽的功能特性及其开发应用进展 [J]. 中国食物与营养,2009(7):21-24.
- [70] 邹险峰,李梅,谷冉峰. 大豆肽的功能性研究 [J]. 广东技术师范学院学报(自然科学),2009(4):44-46.

Functional Properties and Application Prospect of Soybean Polypeptide

DAI Yuan, LENG Jinsong

(College of Forestry and Life Sciences, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract: Soybean polypeptides are hydrolysate of soybean protein with excellent physical, nutritional, processing and physiological functions, and can promote mineral absorption, promote fat metabolism, reduce cholesterol, reduce blood pressure, enhance muscle capacity and other physiological functions. They have been widely used in food, medical and health products and feed additives. In this paper, the physical properties, nutritional characteristics, processing characteristics, physiological functions and research status of soybean polypeptides were reviewed, and the main problems in the research and application of soybean peptides were described.

Key words: soybean polypeptide; functional properties; applications

(上接第 131 页)

Research Progress on Biological Modification and Activity of Flavonoids

XIAO Yongmei, LI Ming, MAO Pu, YUAN Jinwei

(School of Chemistry, Chemical and Environmental Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Flavonoids are secondary metabolites of plants. In general, most flavonoids are combined with glucosides and have extremely complex molecular structures. In the nature, these flavonoids have a variety of biological activities, such as anti-oxidation, anti-virus, anti-tumor, scavenging free radicals and so on, however, due to poor solubility and stability of flavonoids, their bioavailability is limited. It has become a hot spot to modify the structure of flavonoids by biocatalytic methods to improve their water solubility or lipid solubility. In this paper, several methods for the modification of the biological structures of flavonoids at home and abroad and the biological activities of modified flavonoids were reviewed in recent years.

Key words: flavonoids; biological modification; biological activity