

食源性生物活性肽制备工艺、功能特性及应用研究进展

阮晓慧, 韩军岐, 张润光, 张有林*

(陕西师范大学 食品工程与营养科学学院, 陕西 西安, 710119)

摘 要 食源性生物活性肽因具有原料广泛、安全性高、效果明显等特点, 已成为研究热点。文中重点综述了食源性生物活性肽的制备工艺及功能特性, 同时简述了食源性生物活性肽在食品、养殖业及其他领域的应用, 并对其发展前景进行了展望。

关键词 食源性生物活性肽; 生理功能; 应用; 研究进展

生物活性肽(bioactive peptides)是指对生物机体生命活动有益或具有特定生理调节作用的一类多功能化合物的总称。生物活性多肽数据库中报道了1 250多个具有不同功能意义的生物活性肽^[1]。生物活性肽在蛋白质的长链中以非活性状态存在, 避免了游离氨基酸之间吸收竞争, 因此更容易被动物吸收利用, 可通过添加含有氨基酸的短肽来给动物提供氨基酸^[2]。生物活性肽除营养功能外, 还具有降血压、抑菌、抗氧化、提高免疫力、降胆固醇等生理功能特性^[3-4]。

生物活性肽种类繁多, 其中食源性生物活性肽是指动植物蛋白质通过酶解或发酵后形成的从二肽到复杂的线性、环形结构的不同肽类的总称^[5]。植物源包括豆类(黄豆、扁豆等)、谷物类(小麦、燕麦、玉米)、麻类植物的种子和油菜籽等, 动物源包括牛奶蛋白、肉制品中的蛋白质、奶酪、蛋类以及海洋生物蛋白(鱼类、大型藻类等)^[6]。食源性蛋白质资源丰富且价格低廉, 因此所获得的生物活性肽不仅价格便宜、安全性高, 而且容易实施工业化生产, 应用前景十分广阔^[7]。本文对食源性生物活性肽制备工艺、生理功能特性、应用以及发展前景等方面的研究进展进行综合论述。

1 食源性生物活性肽的制备方法

1.1 酶水解法

酶解富含蛋白质的食源性材料是制备生物活性肽最常用的一种方法。酶水解法具有生产成本低、条

件温和、水解进程易于控制、可定位生产特定肽、产品安全性高等特点, 能较好地满足生产需要^[8]。酶水解法中蛋白酶的选择是关键, 不仅要求酶切出所需肽段, 又必须符合食品安全。胃蛋白酶, 胰蛋白酶, 胰凝乳蛋白酶, 菠萝蛋白酶和木瓜蛋白酶是几种常用的蛋白酶, 同时这些酶也被组合使用来生产更多高效、稳定的生物活性肽^[9]。随着酶工程的发展, 目前已能生产特定的酶类, 使得蛋白质水解为不同的肽段, 从而得到目标肽。然而, 传统的间歇酶解工艺不仅造成了酶的大量浪费, 而且生产效率低下、产品质量难以控制。而酶膜反应器(EMR)通过依靠酶促反应的高效率及膜的选择通过性, 实现了生物反应与反应产物的原位分离、浓缩和酶的回收一体, 既能改变反应过程、控制反应进程, 还可减少副产物的生成、提高产品收率等^[10]。酶膜反应器已被广泛应用于各种食源蛋白质的酶解中。

1.2 微生物发酵法

微生物发酵法是利用微生物自身的胞外蛋白酶将蛋白质降解的过程, 是生产生物活性肽和食品级水解蛋白质的一种有效方法。目前, 国外主要研究流态型发酵乳制品(酸奶、酸乳饮料等)和干酪, 而我国主要研究发酵豆制品和其他发酵食品^[5]。大量研究表明, 瑞士乳杆菌菌株可以释放多种ACE抑制肽, 其中Val-Pro-Pro(VPP)和Ile-Pro-Pro(IPP)是发现最早、应用最广的肽, 将其添加到功能性食品可起到降低血压的作用^[11]。WANG等^[12]将酸奶中分离出的*L. helveticus* ND01添加到高达干酪中, 研究发现添加的*L. helveticus* ND01可促进干酪成熟过程中蛋白质的水解, 并且产生降血压肽。迟晓星等^[13]以脱脂豆粕为原料, 控制各种发酵条件, 当底物浓度为10%、pH值为7.0、发酵温度为36℃、发酵周期为30h时,

第一作者: 硕士研究生(张有林教授为通讯作者, E-mail: youlinzh@snnu.edu.cn)。

基金项目: 西安市现代农业创新计划项目(NC1317.3, NC1405.2)

收稿日期: 2015-08-12, 改回日期: 2015-12-03

肽转化率相对较高,肽比率可达 79.33%。

1.3 人工合成法

人工合成法主要包括化学合成法和基因工程法^[14]。化学合成法又分为固相合成法和液相合成法。固相合成法一般从 C 端向 N 端合成,可合成含有 10~100 个残基的多肽,产品纯度高、技术成熟、操作较方便,但是产量低、成本高,主要用于实验室研究和生产较高价值的保健型多肽制品。液相合成法可合成短链肽或中链肽,产品纯度高且产量大,可应用于工业化生产高价值的短链或中链保健型肽制品^[15]。基因工程法包含 2 个步骤:首先合成具有特定功能的酶;其次使用合成的酶分解前体蛋白,从而得到生物活性肽。但由于表达效率低、产品提取、回收难度大,因此基因工程法在短链肽合成方面存在较大弊端^[16]。

2 食源性生物活性肽的生理功能特性

2.1 降血压肽

降血压肽是血管紧张素转化酶(ACE)抑制剂,一方面抑制血管紧张素转换酶将血管紧张素 I 转换为可使血压升高的血管紧张素 II,另一方面抑制血管紧张素转换酶对舒缓激肽的破坏作用,从而达到降压的目的^[17]。自从 1979 年 OSHIMA 等^[18]首次从明胶酶解液中提取 ACE 抑制肽以来,如今已成功从乳制品、肉类、水产品等分离纯化得到了大量不同氨基酸序列的降血压肽。BALTI 等^[19]从乌贼肌肉中分离出最有效的 ACE 抑制剂的氨基酸序列是 Val-Glu-Leu-Tyr-Pro,它作为 ACE 的非竞争性抑制剂,ACE 活性的半数抑制质量浓度(IC₅₀值)达到 5.22 μmol/L,可以显著($P < 0.01$)降低自发性高血压大鼠的收缩压,这些结果表明 Val-Glu-Leu-Tyr-Pro 可用作功能食品或是药品来治疗高血压。GIRGIH 等^[20]用大麻籽蛋白水解物(含 ACE、肾素抑制肽),按 200 mg/kg 体重对自发性高血压大鼠进行灌胃实验,结果表明 8h 后大鼠收缩压(systolic BP,SBP)明显下降 30 mmHg。

2.2 抗氧化肽

氧化代谢是细胞生命活动所必需的过程,但是代谢过程中所产生的自由基和活性氧与人的衰老和许多疾病与有关,如关节炎、帕金森病、癌症、动脉粥样硬化、老年痴呆症等^[21]。而抗氧化肽具有抑制、延缓脂质氧化,保护人体组织器官免受自由基侵害的作用。抗氧化肽的氨基酸组成、肽序、结构会因食源性原料、酶、制备条件的不同而产生差异,最终会导致抗

氧化肽活性不同。大部分抗氧化肽在 N 端包含疏水性氨基酸如 Val 或 Leu,并且序列中含有 Pro、His、Tyr、Trp 和 Cys 等氨基酸^[22];芳香族氨基酸 Trp、Tyr 可通过供氢^[23]、Cys 可通过供电子发挥抗氧化作用^[24]。与化学抗氧化添加剂相比,食源性抗氧化肽安全性更高,且不会对食品的风味和色泽产生影响,因此高效低毒的天然食品抗氧化剂成为目前一大研究热点。

2.3 阿片样肽

阿片样肽是一类具有吗啡受体配体活性的生物活性肽,根据来源分为内源性阿片样肽和外源性阿片样肽两大类。内源性阿片样肽是动物体内产生的“吗啡”,外源性阿片样肽主要存在于外源性食物中,也称外啡肽。阿片样肽能够作为激素和神经递质与体内的 μ-、δ-、γ-受体相互作用,具有镇静止痛、调节人体情绪、促进睡眠、延长胃肠蠕动和刺激胃肠激素的释放等功能^[25]。酪啡肽是来源于酪蛋白的阿片样肽,所有类型的酪啡肽都是由 β-CM-11 的 C-末端丢掉一个或多个氨基酸残基形成的,N-末端 Tyr-Pro-Phe-氨基酸结构对保持其生物活性非常重要。研究表明,β-CM-7 可以减轻链脲佐菌素性糖尿病大鼠氧自由基损伤,促进胰岛素分泌,加速肌糖原的合成、降低血糖^[26]。

2.4 降胆固醇肽

血浆中胆固醇浓度升高与会增加人类患心脏相关疾病的风险,食源性生物活性肽可以预防或治疗这种情况。降胆固醇肽来源广泛,然而,大多数的研究都集中在来自大豆和乳蛋白活性肽^[27]。用大鼠做实验,发现大豆蛋白消化水解物(SPH)降低血清胆固醇的效果比完整的大豆蛋白好^[28]。β-伴球蛋白和大豆球蛋白对喂食高胆固醇饮食的大鼠有降胆固醇作用,大鼠血浆中总胆固醇和甘油三酯含量与非诺贝特(药物)治疗组非常接近^[29]。姚余祥等^[30]以鹰嘴豆为原料提取得到鹰嘴豆多肽,用 Wister 大鼠进行试验。结果表明在最佳酶解条件下,鹰嘴豆多肽体外胆固醇抑制率可达到 71.55%。另外,动物试验显示灌胃 100 mg/kg(体重)剂量的鹰嘴豆肽可使大鼠体内胆固醇含量降低 22.39%。研究显示^[31],用碱性蛋白酶、中性蛋白酶、番木瓜胶乳木瓜蛋白酶和猪胰腺胰蛋白酶水解米糠得到蛋白水解物(RBPHs),碱性蛋白酶水解程度最高,得到的水解产物经过体外高胆固醇血症测试,表现出最高约束胆固醇抑制能力。

2.5 免疫活性肽

免疫活性肽是继牛乳提取物中发现阿片样肽后第2个被发现的生物活性肽,也是人乳蛋白中第1个被发现的生物活性肽^[32]。免疫活性肽通过促进淋巴细胞分化成熟、增强巨噬细胞的吞噬功能、调节细胞分泌因子等方式调节机体免疫功能^[33]。HOU等^[34]用胰蛋白酶水解阿拉斯加鳕鱼架,并用脾淋巴细胞增殖试验研究水解产物的免疫调节作用,水解度在15%~18%时,水解产物的活性最高,将活性最高的产物纯化后得到序列分别为Asn-Gly-Met-Thr-Tyr、Asn-Gly-Leu-Ala-Pro和Trp-Thr的免疫活性肽,用20 μg/mL纯化后的免疫活性肽进行脾淋巴细胞增殖试验,淋巴细胞增殖率分别为35.92%,32.96%和31.35%。从牛酪蛋白中分离的免疫调节肽β-酪蛋白f191-193和αS1酪蛋白的C-末端六肽(f194-199)能刺激巨噬细胞。虽然β-酪蛋白f63-68刺激能够体外吞噬,但是它和β-酪蛋白f191-193在小鼠体内却没有保护作用^[35]。

2.6 抗菌肽

抗菌肽广泛来源于微生物、动物和植物。与传统的抗生素相比,抗菌肽具有广谱抗细菌、病毒、真菌、原虫、抑杀肿瘤细胞等活性作用^[36]。不同结构的抗菌肽对目标微生物的抗菌效果和作用机制也不同。可以通过测定最小抑制微生物增殖浓度来确定抗菌肽的活性。在一般情况下,动物源抗菌肽比细菌源抗菌肽的广谱抗微生物能力强,但是细菌源抗菌肽在低浓度甚至是毫摩尔级浓度下也表现出高抗菌活性。然而,抗菌肽具有一定的共性,比如:大多数抗菌肽氨基酸数目少于50个且含有约50%的疏水性氨基酸,并经常折叠成三维两亲结构。另外,抗菌肽和免疫活性肽具有协同作用,例如,具有特异性免疫调节作用的乳蛋白生物活性肽被证明能增加对病原体的抑制^[37]。

2.7 抗肥胖肽

肥胖已经成为许多发达国家的一个主要的健康问题,它会导致血脂异常、糖代谢异常,从而增加心脑血管疾病和Ⅱ型糖尿病的发病率^[38]。减少食物的摄入和增加能量消耗是控制肥胖的一种手段。然而抗肥胖肽通过刺激胆囊收缩素(CCK)的释放,同时抑制胃分泌物的产生来抑制食欲达到减肥的效果^[39]。酪蛋白糖巨肽(CMP)天然存在于乳中,是κ-酪蛋白C末端的106~169氨基酸残基片段,可刺激CCK释放,是一种食欲抑制剂^[40]。另有研

究发现,大豆β-伴大豆球蛋白水解产物通过刺激大鼠CCK释放来减少食物的摄入量,通过健康志愿者试验发现:与大豆蛋白水解物相比,大豆β-伴大豆球蛋白水解产物可以有效提高健康人体的饱腹感,减少食物摄入^[41]。

2.8 其他食源性生物活性肽

食源性生物活性肽还具有许多其他重要的生理活性。酪蛋白磷酸肽可以促进矿物元素的吸收,预防龋齿,增强动物机体免疫力^[42]。马丹丹等^[43]发现海洋胶原肽对正常大鼠血糖水平无明显影响,但能显著降低四氧嘧啶糖尿病大鼠的空腹血糖水平,明显改善糖尿病大鼠的糖耐量。虾虎鱼肉经酶解分离后得到的结构为Leu-Cys-Arg、His-Cys-Phe、Cys-Leu-Cys-Arg和Leu-Cys-Arg-Arg的多肽具有较高的抗凝血活性^[37]。用干酪乳杆菌发酵酪蛋白得到的YQEPVLG-PVRGPFPIIV多肽,经体外测试,这种多肽不仅具有抗血栓活性,而且抑制ACE-I的活性,用胃蛋白酶和胰蛋白酶处理后,仍能保持其生物活性^[44]。KIM等^[45]研究发现,用α-胰凝乳蛋白酶水解蛤仔,水解物纯化后得到一种N末端序列为Ala-Val-Leu-Val-Asp-Lys-Gln-Cys-Pro-Asp的新抗癌肽,它可以有效地诱导前列腺细胞、乳腺癌细胞和肺癌细胞的凋亡,但对正常肝细胞没有作用。

3 生物活性肽的应用

3.1 在食品中的应用

近年来的研究发现,人体吸收的蛋白质并不是只能以氨基酸的形式吸收,而是以小分子肽的形式直接吸收^[34],且活性肽有特殊的生理调节功能,添加食源性生物活性肽的功能性食品可以用来预防或调节慢性病。以鲜活蚕蛹为原料加工得到的全营养蚕蛹肽具有降血脂、预防心脑血管疾病、提高免疫力、抗疲劳、延缓衰老等功效^[47]。以新鲜海参或干品海参为原料,加工得到的海参肽具有抗肿瘤、降血压等功效,可作保健食品食用,也可作食品、药品添加剂使用^[48]。以谷胱甘肽为主要原料,配合有重要小分子肽的保健食品具有抗氧化、抗衰老和保护心血管功能^[49]。来源于热稳定性的脱脂米糠的活性五肽具有抗癌、减肥、预防老年痴呆等作用^[50]。商业用于功能食品或食品原料中包含有生物活性肽的相关产品已经上市,比如我国生产的“九生牌苦瓜多肽”“三九牌大豆多肽”、荷兰DMV的奶酪、法国Ingredia的蜜饯、美国Davisco乳清蛋白水解产物等^[51]。

3.2 在养殖业中的应用

食源性生物活性肽可以提高矿物质的吸收率、增强动物的免疫力和抗氧化能力^[52],作为饲料添加剂可以改善饲料的品质,从而提高动物的采食量和体重,降低饲料成本,增加毛利润。抗菌肽可以替代部分抗生素来预防疾病和感染的发生,还可以促进肠道内有益菌生长,提高消化吸收功能。某些活性肽可以改善饲料风味,提高饲料适口性,包括 Gly-Leu、Pro-Glu 和 Val-Glu 等增强风味的缓冲肽以及 Glu-Glu、Glu-Glu-Glu 等掩盖苦味的寡聚谷氨酸。因此,可以设计出不同的肽段,通过模仿、掩盖或加强味觉来改善饲料的适口性^[53]。

3.3 其他方面应用

食源性生物活性肽除了在食品和养殖业中有着广泛的应用外,因其具有抗高血压、降血脂、抑制肿瘤等生理功能而被用于相关疾病的预防和治疗中。经分离、纯化得到的一些海洋生物活性肽,通过动物模型试验和临床验证并最终证明可以投向市场^[46]。某些生物活性肽含有较多亲水基团,有良好的吸湿性和保湿性,且能维持、修补及更新皮肤组织,可应用到化妆品中^[32]。大豆蛋白分离多肽、大豆多肽的前体或其改性物可作为材料生产食用型大豆蛋白膜、大豆蛋白塑料和大豆蛋白纤维等,不仅提高了产品性能,而且无毒害,是一种环境友好型产品^[54]。随着科学技术的进步、研究方法的不断提高,生理活性肽更多的生理功能被揭示,应用范围也会进一步扩大。

4 问题与展望

我国食源性蛋白质资源极其丰富,但食品加工过程产生的富含蛋白质的下脚料及废弃物通常被当作肥料或直接排放掉,致使食源性蛋白资源的利用率低,也对环境造成污染。由于基础研究较差,人才队伍建设不完善,导致创新型研究不多,成果转化率底。目前多采用酶解法和生物发酵法来制备食源性生物活性肽,导致生产效率低、产品质量不稳定,难以实现工业化生产,并且没有系统有效的方法和标准来检测食源性生物活性肽。目前大多数的生物活性肽还处于实验室研究阶段,在体外和动物模型中证明存在较好生理效应,但在临床医学的应用受到限制。大多数生物活性肽的作用机制尚未明了,需要科研工作者在以后的大量实验中进一步探讨。

基于上述的食源性生物活性肽促进健康的功能,相关产品已经进入市场,还有许多产品处于开发阶

段,表明开发食源性生物活性肽具有巨大潜力。食源性生物活性肽未来的发展方向仍然是发现新的肽并揭示其可能存在的保健功能及对健康的好处,并研发出相应的保健产品。另外,还需要不断提高分离纯化技术,以从食物来源的各种蛋白质的水解产物中分离活性肽,并且根据需要使其活性保留一定时间。肽的系统合成、模拟肽学和量效结构关系等在寻找新的生物活性肽的结构以及阐明结构信息上有着重要的作用。虽然我国食源性生物活性肽的发展存在许多问题与不足,但是由于食源性生物活性肽原料来源广泛、安全性高、效果明显,在我国发展生物活性肽食品产业有非常好的前景。

参 考 文 献

- [1] SINGH B P, VIJ S, HATI S. Functional significance of bioactive peptides derived from soybean [J]. *Peptides*, 2014, 54(2): 171 - 179.
- [2] 章少在, 张少斌. 植物源活性肽的研究进展及其吸收机制[J]. *中国酿造*, 2011, 30(5): 1 - 4.
- [3] NONGONIERMA A B, FITZGERALD R J. Biofunctional properties of caseinophosphopeptides in the oral cavity [J]. *Caries Research*, 2012, 46(3): 234 - 267.
- [4] POWER O, JAKEMAN P, FITZGERALD R J. Antioxidative peptides: enzymatic production, *in vitro* and *in vivo* antioxidant activity and potential applications of milk-derived antioxidative peptides [J]. *Amino Acids*, 2013, 44(3): 797 - 820.
- [5] 葛平珍, 周才琼. 源活性肽制备与分离纯化的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(4): 363 - 368.
- [6] UDENIGWE C C, ALUKO R E. Food protein-derived bioactive peptides: production, processing, and potential health benefits [J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(1): R11 - R24.
- [7] 王丙莲, 孟庆军, 张利群, 等. HPLC - MS/MS 在活性多肽检测中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(6): 159 - 161.
- [8] 李建杰, 叶磊, 荣瑞芬. 生物活性肽的酶法制备及分离鉴定研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2012, 33(2): 195 - 199.
- [9] BYUN T, KOFOD L, BLINKOVSKY A. Synergistic action of an X-prolyl dipeptidyl aminopeptidase and a non-specific aminopeptidase in protein hydrolysis [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(4): 2 061 - 2 063.
- [10] 程小飞, 肖通虎, 章表明, 等. 酶膜反应器及其在生物催化领域的应用[J]. *高分子通报*, 2011(8): 60 -

65.

- [11] 顾浩峰, 张富新, 张怡, 等. 乳制品中生物活性肽的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 370 - 375 + 381.
- [12] WANG H K, CUI L M, CHEN W, et al. An application in Gouda cheese manufacture for a strain of *Lactobacillus helveticus* ND01[J]. International Journal of Dairy Technology, 2011, 64(3): 386 - 393.
- [13] 迟晓星, 张涛, 王楠. 微生物发酵法制备大豆多肽的研究[J]. 食品科技, 2012(2): 69 - 72.
- [14] DZIUBA B, DZIUBA M. Milk proteins-derived bioactive peptides in dairy products: molecular, biological and methodological aspects[J]. Acta Sci Pol Technol Aliment, 2014, 13(1): 5 - 25.
- [15] 孔令明, 李芳, 陶永霞, 等. 多肽的功能活性与研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2009(3): 71 - 73, 67.
- [16] KORHONEN H, PIHLANTO A. Food-derived bioactive peptides opportunities for designing future foods[J]. Current Pharmaceutical Design, 2003, 9(16): 1 297 - 1 308.
- [17] LUNA-VITAL D A, MOJICA L, GONZALEZ DE MEJIA E, et al. Biological potential of protein hydrolysates and peptides from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A review[J]. Food Research International, 2015, 76: 39 - 50.
- [18] OSHIMA G, SHIMABUKURO H, NAGASAWA K. Peptide inhibitors of angiotensin converting enzyme in digests of gelation by bacterial collagenase[J]. Biochimica Biophysica acta, 1979, 566(1): 128 - 137.
- [19] BALTI R, BOUGATEF A, SILA A, et al. Nine novel angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from cuttlefish (*Sepia officinalis*) muscle protein hydrolysates and antihypertensive effect of the potent active peptide in spontaneously hypertensive rats[J]. Food chemistry, 2015, 170: 519 - 525.
- [20] GIRGIH A T, UDENIGWE C C, LI H, et al. Kinetics of enzyme inhibition and antihypertensive effects of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysates[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011, 88(11): 1 767 - 1 774.
- [21] SARMADI B H, ISMAIL A. Antioxidative peptides from food proteins: A review[J]. Peptides, 2010, 31(10): 1 949 - 1 956.
- [22] 张晖, 唐文婷, 王立, 等. 抗氧化肽的构效关系研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32(7): 673 - 679.
- [23] 徐力, 李相鲁, 吴晓霞, 等. 一种新的玉米抗氧化肽的制备与结构表征[J]. 高等学校化学学报, 2004, 25(3): 466 - 469.
- [24] QIAN Z J, JUNG W K, KIM S K. Free radical scavenging activity of a novel antioxidative peptide purified from hydrolysate of bullfrog skin, *Rana catesbeiana* Shaw[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(6): 1 690 - 1 698.
- [25] 张贵川, 袁吕江. 食源性生物活性肽的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2009(9): 157 - 162.
- [26] 韩东宁, 王艳霞, 徐晨阳, 等. β -酪啡肽-7 对大鼠血糖及脂质过氧化的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(5): 243 - 247.
- [27] GONZÁLEZ-ORTEGA O, LÓPEZ-LIM N A R, MORALES-DOMÍNGUEZ J F, et al. Production and purification of recombinant hypocholesterolemic peptides[J]. Biotechnology Letters, 2015, 37(1): 41 - 54.
- [28] SUGANO M, GOTO S, YAMADA Y, et al. Cholesterol-lowering activity of various undigested fractions of soybean protein in rats[J]. The Journal of Nutrition, 1990, 120(9): 977 - 985.
- [29] 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(4): 275 - 283.
- [30] 姚余祥, 张久亮, 何慧, 等. 鹰嘴豆降胆固醇肽的制备及活性[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 33 - 38.
- [31] ZHANG H, YOKOYAMA W H, ZHANG H. Concentration - dependent displacement of cholesterol in micelles by hydrophobic rice bran protein hydrolysates[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(7): 1 395 - 1 401.
- [32] 陈文雅, 计成, 王碧莲. 生物活性肽的功能与应用[J]. 饲料研究, 2014(21): 38 - 41.
- [33] 龚吉军, 黄卫文, 钟海雁, 等. 油茶粕多肽对小鼠免疫调节功能的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(12): 21 - 27.
- [34] HOU H, FAN Y, LI B F, et al. Purification and identification of immunomodulating peptides from enzymatic hydrolysates of Alaska pollock frame[J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 821 - 828.
- [35] FIAT A M, MIGLIORE-SAMOUR D, JOLLÈS P, et al. Biologically active peptides from milk proteins with emphasis on two examples concerning antithrombotic and immunomodulating activities[J]. Journal of Dairy Science, 1993, 76(1): 301 - 310.
- [36] 李冠楠, 夏雪娟, 隆耀航, 等. 抗菌肽的研究进展及其应用[J]. 动物营养学报, 2014(1): 17 - 25.

- [37] NONGONIERMA A B, FITZGERALD R J. The scientific evidence for the role of milk protein-derived bioactive peptides in humans: A review [J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 17: 640 - 656.
- [38] NGUYEN N, CHAMPION J, PONCE J, et al. A review of unmet needs in obesity management [J]. *Obesity Surgery*, 2012, 22(6): 956 - 966.
- [39] GUILLOTEAU P, ROMÉ V, DELABY L, et al. Is caseinomacropeptide from milk proteins, an inhibitor of gastric secretion? [J]. *Regulatory Peptides*, 2010, 159(1 - 3): 129 - 136.
- [40] THOMAS-WORRINGER C, SØRENSEN J, LÓPEZ-FANDIÑO R. Health effects and technological features of caseinomacropeptide [J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16(11): 1 324 - 1 333.
- [41] HIRA T, MORI N, NAKAMORI T, et al. Acute effect of soybean beta-conglycinin hydrolysate ingestion on appetite sensations in healthy humans [J]. *Appetite*, 2011, 57(3): 765 - 768.
- [42] NASRIA R, AMORBI B, BOUGATEFA A, et al. Anticoagulant activities of goby muscle protein hydrolysates [J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(3): 835 - 841.
- [43] 马丹丹, 王春蕾, 朱文丽, 等. 海洋胶原肽对糖尿病大鼠空腹血糖的影响 [J]. *现代预防医学*, 2011(23): 4 840 - 4 842, 4 849.
- [44] ROJAS-RONQUILLO R, CRUZ-GUERRERO A, FLORES-NÁJERA A, et al. Antithrombotic and angiotensin-converting enzyme inhibitory properties of peptides released from bovine casein by *Lactobacillus casei* Shirota [J]. *International Dairy Journal*, 2012, 26(2): 147 - 154.
- [45] KIM E K, KIM Y S, HWANG J W, et al. Purification and characterization of a novel anticancer peptide derived from *Ruditapes philippinarum* [J]. *Process Biochemistry*, 2013, 48(7): 1 086 - 1 090.
- [46] 陈锦瑶, 张立实. 生物活性肽的安全性评价研究进展 [J]. *毒理学杂志*, 2013(2): 142 - 146.
- [47] 赵兴坤, 赵楠. 一种全营养蚕蛹肽功能食品及其制备方法 [P], 中国. CN101406295, 2009 - 04 - 15.
- [48] 赵兴坤, 赵楠. 一种海参肽功能食品及其制备方法 [P], 中国. CN101341978, 2009 - 01 - 14.
- [49] 周世宁, 邱志琦. 一种功能肽强化的保健食品 [P]. 中国, CN102356879A, 2012 - 02 - 22.
- [50] BONILLA J, VARGAS F C, OLIVEIRA de T G, et al. Recent patents on the application of bioactive compounds in food: a short review [J]. *Food Engineering and Processing*, 2015(5): 1 - 7.
- [51] KORHONEN H, PIHLANTO A. Bioactive peptides: production and functionality [J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16(9): 946 - 960.
- [52] 崔欣, 效梅, 安立龙. 海洋生物活性肽的生理功能及其应用研究进展 [J]. *广东农业科学*, 2013, 40(9): 103 - 105, 109.
- [53] 刘建萍. 生物活性肽在饲料中的应用进展 [J]. *饲料与畜牧*, 2013(8): 25 - 28.
- [54] 陈琛. 大豆多肽的生物功能研究进展 [J]. *饲料研究*, 2010(5): 28 - 31.

Progress in the preparation, functional properties and applications of food-derived bioactive peptides

RUAN Xiao-hui, HAN Jun-qi, ZHANG Run-guang, ZHANG You-lin *

(College of Food Engineering and Nutritional Science of Shanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

ABSTRACT Food-derived bioactive peptides have become the focus of the research because of its wide source, highly safe and efficiency. This paper reviewed the preparation process and functional characteristics of food-derived bioactive peptides. Meanwhile, applications in food, farming industry and other fields were briefly reviewed. Finally, the development of the prospect of food-derived peptides was also discussed.

Key words food-derived bioactive peptides; physiological function; preparation; progress