

# 生物活性肽制备及其在粮油中的开发

陈文雅,谭云

(国家粮食局科学研究院,北京 100037)

**摘要:**生物活性肽具有多种生理功能,其制备方法主要包括酶解法、微生物发酵法、化学合成法等。介绍了生物活性肽制备的各种方法及其特点,并对活性肽的纯化鉴定及在粮油中的开发进行了概述,为肽制品的深入研究与工业化生产提供参考。

**关键词:**生物活性肽;制备方法;分离纯化;粮油

**中图分类号:**TQ 464.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2017)06-0040-06

## Preparation of biological active peptides and its development in grain and oil

CHEN Wen-ya, TAN Yun

(Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

**Abstract:** Biological active peptides possess multiple physiological functions, and can be prepared through enzymatic hydrolysis, microbiological fermentation, chemical synthesis, and so on. The preparation, purification, identification of the peptide was briefly reviewed, as well as the development of peptides derived from the grain and oil, to support the further study and industrial production of peptides.

**Key words:** biological active peptides; preparation; separation and purification; grain and oil

生物活性肽是众多生物活性成分中的重要一员,属蛋白质片段,除了营养功能外其对机体功能或状态有一定的调节作用,通过作用消化系统、内分泌系统、心血管系统、免疫系统和神经系统等影响机体健康。肽种类繁多,按来源可分为内源性生物活性肽和外源性生物活性肽,按功能可分为生理活性肽和食品感官肽。目前,已得到多种活性肽,如抗氧化肽、降血压肽、抗菌肽、抗血栓肽、降胆固醇肽、阿片样肽、提高矿物质吸收或其生物活性的肽、细胞生长调节肽、免疫调节肽、减肥的肽、抗遗传毒性的肽<sup>[1]</sup>。虽然对活性肽的研究较多,但只有极少部分活性肽真正进入市场,原因很多,其中重要的一点是活性肽制备难以实现规范化、规模化生产,产品活性保留检测和功能鉴定耗时耗材。

活性肽制备来源广泛,涵盖动物、植物、微生物<sup>[2]</sup>,可以直接从生物体中分离得到天然活性肽,如可从苦瓜<sup>[3]</sup>、鸵鸟<sup>[4]</sup>、人脑皮层组织<sup>[5]</sup>等物质中分离出各种生物活性肽,也可以通过酶解法、微生物

发酵法、化学合成法、生物工程法等技术生成。天然活性肽安全、高效、低毒,但生物体中的活性肽一般很少,原料数量要求大,分离技术复杂,成本高,在食品中的应用受限。人工制备的活性肽因其产物复杂难以纯化,阻碍了活性肽制品的市场形成。目前,从食源中获得生物活性肽主要采用酶解法和微生物发酵法,工艺流程一般为:原料(预处理:粉碎、各种溶剂溶解后离心取上清或悬浊液等)一酶解反应/微生物发酵(优化工艺参数)一检测活性一离心干燥,研究中常用单因素实验结合正交实验或响应面分析方法优化工艺参数。关于生物活性肽方面的综合报道较多,但大多集中在其活性功能方面,鲜有文献对其制备方法进行整体分析,不利于活性肽的深入研究与工业化,本文综述了各种制备方法在活性肽中的应用,尤其是在粮油源肽中的开发应用,以期为各类活性肽的深入研究与工业化生产提供一定的参考价值。

### 1 酶解法

活性肽一般以非活性状态存在于蛋白质中,只有在适当条件下降解成中小分子后才有生物活性。

收稿日期:2017-03-17

作者简介:陈文雅,1985年出生,女,博士。

通讯作者:谭云,1965年出生,女,高级工程师,执行主编。

在蛋白质酶解过程中,部分起关键活性作用的氨基酸序列将得到保护,在将周围的成分降解后,这些活性成分被释放出来从而发挥生理功能。酶解法应用较多,技术成熟、安全、成本低,生产条件温和,对原料中的营养价值破坏小,且所得肽品溶解性好、耐酸、耐碱等,已成为生物活性肽最主要的生产方式<sup>[6]</sup>。Gibbs B F 等<sup>[7]</sup>以大豆水解物和大豆发酵食品为原料,选择多种蛋白酶(链霉蛋白酶、胰蛋白酶、Glu C 蛋白酶、血浆蛋白酶和肾脏膜蛋白酶)酶解,得到的寡肽具有 ACE 抑制活性、抗血栓、表面张力、抗氧化活性等。

酶解法中常用的酶包括胰蛋白酶、木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶、 $\alpha$ -胰凝乳蛋白酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶、风味蛋白酶、复合蛋白酶(Protamex)、黑曲霉酸性蛋白酶等<sup>[8-10]</sup>,使用多酶组合可提高肽制备效率和品质,如榨油后的苦杏仁蛋白经风味蛋白酶与碱性蛋白酶双酶组合水解后得到的肽对 DPPH 自由基、羟基自由基、超氧负离子清除能力较好,表现了很好的抗氧化性。酶种类的选择对于产物的生理活性有重要影响,赵涛<sup>[11]</sup>以葵花籽粕球蛋白为底物,通过碱性蛋白酶或木瓜酶酶解可制备抗氧化肽,而通过中性蛋白酶酶解可制备降血压肽。产物的分离过程对生理功能也有较大影响,分离方法(如吸附分离技术、膜分离技术、色谱分离技术、电泳分离技术等)的选择直接影响产物的性质。郭浩楠<sup>[12]</sup>以鲢鱼蛋白为原料,采用碱性蛋白酶进行酶解,所得4种不同水解度的酶解物的抗氧化能力均较原料明显提高,再将优化得到的酶解物进行超滤、凝胶柱分离纯化,制备 ACE 抑制肽,可用于开发具有降血压功能的食品或药品。酶解时间对所得蛋白水解产物的营养、抗氧化活性、功能特性都有影响<sup>[13]</sup>。

在酶解过程中疏水性氨基酸残基暴露,使得产物有苦味,难以被消费者接受。通过物理吸附作用,如添加吸附剂活性肽、硅藻土等可脱苦;通过乙醇、丙醇、丁醇等醇提或者 $\beta$ -环糊精、多磷酸盐、明胶等络合处理酶解物可去除苦味肽<sup>[6]</sup>。但脱苦处理工序复杂,目的产物损失多,成本高,影响其在食品中的应用<sup>[8]</sup>。采用多酶法或微生物发酵法可有

效去除或改善水解产物肽的苦味。陈亮<sup>[14]</sup>采用乳杆菌对蛋白水解液进行发酵后,酶解液的苦味值下降了75%。蛋白酶特异性弱,定向酶解是酶解法制备生物活性肽的一大技术难点,酶解产物组成复杂,不易提纯。将酶解法与其他方法适当地结合起来可更有效生产生物活性肽,如将酶解法与高效液相色谱法结合生产风味肽<sup>[15]</sup>、酶解法与微生物发酵法结合可去除肽产物中的苦味等。

目前在酶解法制备活性肽的研究领域,除了酶的筛选、酶解工艺优化外,还应关注原料预处理、产物分离纯化、产品加工中的活性保护等,已有学者对酶解反应器、固定化酶、可控酶解等开展研究以期提高酶解法肽制备效益。表1列出了近几年国内外采用酶解法制备活性肽的研究情况。

表1 不同原料酶解法制备活性肽

原料	酶种类	产物生物活性	参考来源
大豆蛋白	碱性蛋白酶	免疫调节	Kong X <sup>[16]</sup>
鹰嘴豆蛋白	胃蛋白酶和胰酶	促进铁吸收,提高铁的生理功能	Torres - Fuentes C <sup>[17]</sup>
豌豆蛋白	木瓜蛋白酶、中性蛋白酶、胰蛋白酶	抗菌、抗氧化	张秋萍 <sup>[18]</sup>
挤压玉米蛋白粉	2709 碱性蛋白酶	抗氧化	孙旭 <sup>[19]</sup>
枣椰籽粉	碱性蛋白酶、风味酶、嗜热菌蛋白酶	抗氧化、ACE 抑制	Ambigaipalan P <sup>[20]</sup>
亚麻籽蛋白	胰蛋白酶和链霉蛋白酶	抗高血压、抗糖尿病	Doyen A <sup>[21]</sup>
油菜籽蛋白	碱性蛋白酶 2.4 L FG	抗氧化	Pan M <sup>[22]</sup>
蛋清蛋白	碱性蛋白酶	ACE 抑制	于志鹏 <sup>[23]</sup>
鸡皮蛋白	碱性蛋白酶、胃蛋白酶和胰酶	抗氧化活性	Onuh J O <sup>[24]</sup>
牡蛎	枯草杆菌蛋白酶	抗氧化	Wang Q <sup>[25]</sup>
淡水鲤鱼	复合蛋白酶、菠萝蛋白酶、碱性蛋白酶、风味蛋白酶	抗氧化、乳化稳定性、起泡稳定性	Elavarasan K <sup>[26]</sup>
金枪鱼蛋白	碱性蛋白酶、中性蛋白酶、胃蛋白酶、木瓜蛋白酶、ACE 抑制活性 $\alpha$ -糜蛋白酶、胰蛋白酶		LeeS H <sup>[27]</sup>

## 2 微生物发酵法

微生物发酵法是通过蛋白酶产生菌对蛋白原料作发酵处理,分离纯化目的活性肽的过程,其本质也是利用蛋白酶酶解蛋白,但法法是直接利用微生物产酶水解蛋白源,减少了制备酶的成本,且酶

的种类丰富,可以满足多种酶解过程的需要。发酵过程中产生的活性肽可能会影响微生物的生长代谢,进而反过来影响生物活性肽的生成。作为新型生物活性肽制备方法,微生物发酵法具有较多优势,如微生物来源广、繁殖快、酶产量高、含有多种酶可去除肽制品苦味、生产效率高、成本低。但从工艺上来说,微生物发酵法在效率和分离纯化方面都不如酶水解法<sup>[10]</sup>。微生物发酵产物纯化困难,很多产酶菌株对机体有毒,限制了该法的应用。目前采用的菌株主要有枯草芽孢杆菌、黑曲霉、米曲霉等<sup>[6,8]</sup>。

微生物产生的端肽酶能修饰小肽末端,可去除酶解法所得肽的苦味与异味<sup>[28]</sup>。微生物发酵法与酶解法相结合,可提高肽的生产效率。研究发现利用乳杆菌对蛋白酶液作进一步发酵处理,水解度可提高 34.6%<sup>[14]</sup>。同多酶酶解法类似,发酵法也可采用双菌种或多菌种,能更高效地生产活性肽<sup>[29]</sup>。表2列出了近几年国内外采用微生物发酵法制备生物活性肽的情况。

表2 不同原料微生物发酵法制备活性肽

原料	微生物	产物生物活性	参考来源
大豆蛋白粉	植物乳杆菌 LP6	抗氧化	Amadou I <sup>[30]</sup>
花生粕	枯草芽孢杆菌	抗氧化	张友维 <sup>[31]</sup>
玉米胚芽粕	黑曲霉、米曲霉	降压、促进乙醇代谢	李建军 <sup>[32]</sup>
酪蛋白	瑞士乳杆菌	ACE 抑制活性、抗氧化、细胞生长调节	王立平 <sup>[33]</sup>
鱼肉蛋白	枯草芽孢杆菌 A26	抗氧化、抗菌性	Jemil I <sup>[34]</sup>
鲑鱼皮	米曲霉	抗氧化、降血压	吴海滨 <sup>[35]</sup>
鸡毛	短小芽孢杆菌 A1	抗氧化	Fakhfakh N <sup>[36]</sup>
羊毛	短小芽孢杆菌 A1	抗氧化	Fakhfakh N <sup>[37]</sup>

### 3 其他制备方法

利用不溶性树脂,将不同的氨基酸通过酯键相连延伸制成多肽,即为固相多肽合成法,是化学合成肽类的经典方法,但该方法所用试剂毒性大、耗时、成本高、所得肽链短、效率低<sup>[8]</sup>。将固相多肽合成法制备的短链通过液相合成法形成长肽链,即片段连接法,可改善固相合成法的部分缺点,但这样会使产物的纯化工作困难<sup>[6]</sup>。化学合成法主要用于生产作为药物的活性肽。

有研究者利用分子生物学制备活性肽。如可将表达目标肽的基因片段整合到生物体中,载体生

物体直接表达目标肽<sup>[38]</sup>,但该类方法还不够成熟、技术设备要求高、成本高,且基因重组方法易形成包涵体,不易合成目标肽。简单的酸解降解蛋白质也可制备生物活性肽,但易使肽产物受损,且副产物多,纯化困难。多种制备方法相结合的方法,能更有效地制备肽。

昆虫也可以用来制备肽。昆虫的食源很广泛,这是由于其多变的酶系统,有些是昆虫自身产生的酶,而有些由相关微生物提供<sup>[39]</sup>。已分离出几种谷物害虫,它们对小麦或大米中的储藏蛋白有分解作用,其中谷蠹具有较强的能分解脯氨酰的肽酶。通过阴离子交换色谱法对谷蠹提取物进行处理,纯化肽酶,得到肽酶片段,能分解小麦和大麦中的肽<sup>[39]</sup>。昆虫中这些酶系统或许可以用来工业化生产蛋白水解物。

### 4 产物纯化与鉴定

无论采用哪种方法制备生物活性肽,分离纯化都是获取高活性产物的重要步骤,目前常用的方法有离子交换层析法、高效液相色谱法、超滤法、凝胶过滤柱层析法、毛细血管电泳法、反渗透法、膜分离法等<sup>[15]</sup>。于志鹏等<sup>[23]</sup>采用交联葡聚糖凝胶色谱纯化蛋清蛋白酶解物得到高活性肽,并通过液相色谱四极杆线性离子阱串联质谱(Q TRAP)鉴定肽片段结构。Rafik Balti 等<sup>[40]</sup>经葡聚糖凝胶 G-25 排阻色谱法将乌贼蛋白水解产物分离出 8 个片段,再通过反相高效液相色谱(RP-HPLC)对其中具有高活性的肽片段进行分离纯化,采用 ESI-MS 和 ESI-MS/MS 对得到的 ACE 抑制肽进行测序。Sang-Hoon Lee 等<sup>[27]</sup>采用超滤膜生物反应器系统分离金枪鱼蛋白酶解物,得到 3 种分子量物质,其中将 ACE 抑制活性最高的成分进一步纯化,得到由 21 个氨基酸组成的 ACE 抑制肽。Alain Doyen 等<sup>[21]</sup>依靠不同的超滤膜通过电渗析得到亚麻籽蛋白酶解物分离物,并评估了这种方法对肽迁移、分离特性的影响。短肽因不易被消化酶降解,更易在机体中发挥生理功能,但目前短肽分子的鉴定依然比较困难,time-of-flight ESI-MS/MS 可有效分离和鉴定短肽,或可广泛地用于食源肽中小分子肽序列的鉴定<sup>[41]</sup>。如何将肽生成过程与分离纯化过程有效结

合起来,提高生产效率与肽制品活性,是该领域需要解决的重点。

## 5 肽制品在粮油中的开发

肽制品来源多种多样,食品源中最大的一类当属粮食源,不仅来源广泛、数量多,而且因人们长期食用粮食,粮食中提取的肽对人体的副作用较少,对粮食源肽制品进行深入开发有重要意义。粮食包括谷物、豆类、薯类,我国常见的粮食作物包括稻米、小麦、玉米、大豆、红薯等。粮食加工产品主要分为主食、食用油,加工副产物中含有丰富的蛋白质,一般用作饲料蛋白,附加值较低,资源浪费严重。研究表明,稻米、小麦、玉米、大豆等粮食作物中含有多种生物活性成分,如多酚、黄酮、多糖、活性肽等,其中活性肽种类繁多,功能多样,是营养学家的研究热点。

米渣中含有约60%的蛋白质<sup>[42]</sup>,来源广、价格低廉,是良好的肽加工原料,米肽具有抗氧化、降血压等作用。Jiwang Chen<sup>[43]</sup>等通过纯化从大米蛋白水解物中分离出ACE抑制肽,有望用于功能性食品或抗高血压药物。赵强等<sup>[44-45]</sup>以米渣为原料,通过酶解法制备米肽,但由于酶法水解物中含有大量短肽,影响产物的乳化性和稳定性,研究者将米肽与葡萄糖进行湿法接枝反应,所得米肽-葡萄糖接枝物较米肽在乳化性、抗氧化性方面明显得到改善。我国是世界上最大的小麦生产国,小麦资源丰富,小麦主要作为主食,目前为止对其副产物的开发较少,具有较大的开发潜力。代卉等<sup>[46]</sup>研究发现经碱性蛋白酶降解小麦蛋白得到的小麦肽对应激状态引起的机体抗氧化体系紊乱和免疫降低有调节作用。有研究报道,含小麦肽的饮料可以缓解大负荷运动训练造成的肌肉损伤,加快运动性疲劳的恢复<sup>[47]</sup>。国外研究发现麦麸自溶肽LRP和LQP可以改善非酒精性脂肪性肝炎相应指标,或可用于生产非酒精性脂肪性肝炎的治疗剂<sup>[48]</sup>。小麦胚芽还是谷胱甘肽的重要来源,可用于不同类型功能食品的制作。作为三大主粮之一,玉米的产量也不容小觑,但就目前国内消费市场来看,供远大于求,对玉米进行营养学研究,不仅能促进玉米产业发展,缓解市场压力,还能提高生活品质。有学者以玉米蛋

白粉为原料,通过生物酶解、膜分离及冷冻干燥等技术制备玉米肽,再通过进一步研究开发出一种肽饮料,能辅助增强记忆<sup>[49]</sup>。另有研究报道,玉米蛋白通过酶解得到低聚肽,其对肝损伤有较好的保护作用,还能为肝细胞提供能量,可研究开发成保肝产品<sup>[50]</sup>。

大豆是一种常见蛋白来源,大豆油脂生产副产物大豆粕,其蛋白含量高且氨基酸比例比较平衡。在所有的粮油产品中,对大豆产品的开发最为广泛,对大豆肽的研究和应用也最为深入。研究表明大豆肽有多种生理功能,如免疫调节、抗血栓、抗高血压、体重控制等,可开发应用到医学领域,如治疗糖尿病、增强大脑功能等<sup>[51-52]</sup>,大豆肽还具有抗疲劳、抗氧化、提高胶原蛋白等作用,可用于化妆品中以提升皮肤水分和弹力<sup>[53]</sup>。Lunasin是一种大豆源生物活性肽,广泛存在于所有大豆品种中,含有40多个氨基酸,具有抗氧化、抗炎、抗癌作用,对机体内胆固醇的生物合成具有重要的调节作用,且具有热稳定性,是最有开发前景的一种大豆肽<sup>[54-57]</sup>。大豆蛋白水解产物还可作为原料制备肉味香精<sup>[58]</sup>。其他豆类也有一定的开发价值,如芸豆蛋白通过碱性蛋白酶酶解制备的活性肽具有抗氧化性和ACE抑制性<sup>[59]</sup>,胃蛋白酶和胰酶作用于鹰嘴豆蛋白生成的肽具有促进矿物元素吸收的作用<sup>[17]</sup>。

由表1和表2可知,其他粮油原料,如花生、亚麻籽、油菜籽等均可用于生物活性肽的制备,研究利用粮油副产物开发肽制品或可大幅提高粮油产业的附加值。目前,对粮食源肽的研究报道较多,但有明显的偏向性,主要研究豆源活性肽,其他粮油源活性肽的开发潜力仍较大。

## 6 小结

目前已有小部分肽制品上市,大多数肽制品还停留在实验室阶段。虽然食源活性肽被证明有多种生理功能,但是这些功能大部分是通过体外实验被证实,缺少临床证据,而一种食源肽能否真正产生生理活性则依赖于其活性结构到达靶组织的能力。要想将活性肽实现商业化和工业化生产,必须使肽产品的分析方法标准化,包括产品质量分析、感官评价以及能很好支持其健康功能的临床实验

等。因此,肽制品的研发还需深入细胞、体内实验,对于活性结构的保护加工也需重视。粮油及其加工副产物产量大,经济效益低,且对环境有较大的影响,通过对肽制品的进一步研发可降低粮油加工副产物对环境的污染、提高粮油加工产品的附加值,是提高粮油经济效益的有效途径。

#### 参考文献:

- [1] Bhat Z F, Kumar S, Bhat H F. Bioactive peptides of animal origin: a review[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(9): 5377-5392.
- [2] 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.
- [3] 刘红雨, 付中平, 周吉燕, 等. 苦瓜降糖多肽研究进展[J]. *上海中医药杂志*, 2008, 42(7): 89-91.
- [4] 樊博. 鸵鸟血中性粒细胞中抗菌肽的分离纯化及其抗菌抗病毒作用的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008.
- [5] Hackler L, Kastin A J, Zadina J E. Isolation of a novel peptide with a unique binding profile from human brain cortex: Tyr - K - MIF - 1 (Tyr - Pro - Lys - Gly - NH<sub>2</sub>) [J]. *Peptides*, 1994; 15(6): 945-950.
- [6] 魏宗友, 潘晓花, 季响. 生物活性肽的制备、功能及在动物生产中的应用研究进展[J]. *中国饲料*, 2010, 23: 22-26.
- [7] Gibbs B F, Zougman A, Masse R, et al. Production and characterization of bioactive peptides from soy hydrolysate and soy-fermented food[J]. *Food Research International*, 2004, 37(2): 123-131.
- [8] 刘海军, 乐超银, 邵伟, 等. 生物活性肽研究进展[J]. *中国酿造*, 2010(5): 5-8.
- [9] Sufian K N, Hira T, Nakamori T, et al. Soybean  $\beta$ -conglycinin bromelain hydrolysate stimulates cholecystokinin secretion by enteroendocrine STC-1 cells to suppress the appetite of rats under meal-feeding conditions [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2011; 75(5): 848-853.
- [10] 曾晓波, 林永成, 王海英. 食物中的生物活性肽: 生物活性及研究进展[J]. *食品工业科技*, 2004, 25(4): 151-155.
- [11] 赵涛. 葵花籽粕中绿原酸和蛋白酶解肽的制备及生物活性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [12] 郭浩楠. 鲢鱼蛋白酶解物的功能性质、抗氧化活性及其ACE抑制肽的制备[J]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [13] Siddeeg A, Xu Y, Jiang Q, et al. Influence of Enzymatic Hydrolysis on the Nutritional, Functional and Antioxidant Properties of Protein Hydrolysates Prepared from Seinat (Cucumis melo var. tibish) Seeds [J]. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, 3(4): 259-266.
- [14] 陈亮. 生物活性肽生产工艺及其生理活性研究[D]. 西安: 西北大学, 2006.
- [15] 张守文, 高铁俊. 米糠生物活性肽制备的研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2009(9): 30-31, 41.
- [16] Kong X, Guo M, Hua Y, et al. Enzymatic preparation of immunomodulating hydrolysates from soy proteins [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(18): 8873-8879.
- [17] Torres - Fuentes C, Alaiz M, Vioque J. Iron - chelating activity of chickpea protein hydrolysate peptides [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(3): 1585-1588.
- [18] 张秋萍. 豌豆分离蛋白酶解产生活性肽的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [19] 孙旭. 挤压玉米蛋白粉酶法生物活性肽制备及特性[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [20] Ambigaipalan P, Al - Khalifa A S, Shahidi F. Antioxidant and angiotensin I converting enzyme (ACE) inhibitory activities of date seed protein hydrolysates prepared using Alcalase, Flavourzyme and Thermolysin [J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, doi: 10.1016/j.jff.2015.01.021.
- [21] Doyen A, Udenigwe C C, Mitchell P L, et al. Anti - diabetic and antihypertensive activities of two flaxseed protein hydrolysate fractions revealed following their simultaneous separation by electro dialysis with ultrafiltration membranes [J]. *Food Chemistry*, 2014, 145(7): 66-76.
- [22] Pan M, Jiang T S, Pan J L. Antioxidant Activities of Rapeseed Protein Hydrolysates [J]. 2011, 4(7): 1144-1152.
- [23] 于志鹏, 赵文竹, 于一丁, 等. 蛋清肽的结构及活性研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(12): 76-78, 81.
- [24] Onuh J O, Girgih A T, Aluko R E, et al. *In vitro* antioxidant properties of chicken skin enzymatic protein hydrolysates and membrane fractions [J]. *Food Chemistry*, 2014, 150(2): 366-373.
- [25] Wang Q, Li W, He Y, et al. Novel antioxidative peptides from the protein hydrolysate of oysters (Crassostrea talienwhanensis) [J]. *Food Chemistry*, 2014, 145c(7): 991-996.
- [26] Elavarasan K, Naveen K V, Shamasundar B A. Antioxidant and Functional Properties of Fish Protein Hydrolysates from Fresh Water Carp (Catla catla) as Influenced by the Nature of Enzyme [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2014, 38(3): 1207-1214.
- [27] Lee S H, Qian Z J, Kim S K. A novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from tuna frame protein hydrolysate and its antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats [J]. *Food Chemistry*, 2010, 118(1): 96-102.
- [28] 周磊, 侯利霞, 王金水, 等. 生物活性肽的制备及分离纯化研究[J]. *农业机械*, 2011(14): 131-133.
- [29] 管风波, 宋俊梅. 双菌种液体发酵法发酵豆粕制备大豆肽的研

- 究[J]. 中国食品添加剂, 2008, (5): 123 - 125.
- [30] Amadou I, Le G W, Shi Y H, et al. Reducing, Radical Scavenging, and Chelation Properties of Fermented Soy Protein Meal Hydrolysate by *Lactobacillus plantarum* LP6[J]. *International Journal of Food Properties*, 2011, 14(3): 654 - 665.
- [31] 张友维. 枯草芽孢杆菌发酵花生粕制备抗氧化肽的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [32] 李军军. 固态发酵玉米胚芽粕制备玉米肽[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2012.
- [33] 王立平. 瑞士乳杆菌酪蛋白源活性肽制备及其生理功效研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [34] Jemil I, Jridi M, Nasri R, et al. Functional, antioxidant and antibacterial properties of protein hydrolysates prepared from fish meat fermented by *Bacillus subtilis* A26[J]. *Process Biochemistry*, 2014, 49(6): 963 - 972.
- [35] 吴海滨. 利用米曲霉(*Aspergillus oryzae*)发酵鳕鱼皮制备生物活性肽的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [36] Fakhfakh N, Ktari N, Haddar A, et al. Total solubilisation of the chicken feathers by fermentation with a keratinolytic bacterium, *Bacillus pumilus* A1, and the production of protein hydrolysate with high antioxidative activity[J]. *Process Biochemistry*, 2011, 46(9): 1731 - 1737.
- [37] Fakhfakh N, Ktari N, Siala R, et al. Wool - waste valorization: production of protein hydrolysate with high antioxidative potential by fermentation with a new keratinolytic bacterium, *Bacillus pumilus* A1[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2013, 115(2): 424 - 433.
- [38] 郑雨燕, 凌均荣, 麦穗. 变形链球菌表面蛋白多肽片段在转基因番茄中的表达[J]. *华西口腔医学杂志*, 2007, 25(2): 180 - 183.
- [39] Mika N, Gorshkov V, Spengler B, et al. Characterization of novel insect associated peptidases for hydrolysis of food proteins[J]. *European Food Research and Technology*, 2015, 240(2): 431 - 439.
- [40] Balti R, Nedjar - Arroume N, Adjé E Y, et al. Analysis of Novel Angiotensin I - Converting Enzyme Inhibitory Peptides from Enzymatic Hydrolysates of Cuttlefish (*Sepia officinalis*) Muscle Proteins[J]. *J. Agric. Food Chem*, 2010, 58(6): 3840 - 3846.
- [41] O'Keeffe M B, FitzGerald R J. Identification of short peptide sequences in complex milk protein hydrolysates[J]. *Food Chemistry*, 2015, 184: 140 - 146.
- [42] 刘晶, 温志英, 韩清波. 米渣肽抗疲劳作用及抗疲劳肽的分离鉴定[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(1): 1 - 5.
- [43] Chen J, Liu S, Ye R, et al. Angiotensin - I converting enzyme (ACE) inhibitory tripeptides from rice protein hydrolysate: Purification and characterization[J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(4): 1684 - 1692.
- [44] 赵强, 钟红兰, 熊华, 等. 米肽 - 葡萄糖湿法接枝反应产物的功能性质[J]. *食品科学*, 2010, 31(19): 115 - 120.
- [45] 李湘, 彭地纬, 熊华, 等. 胰蛋白酶有限酶解米渣蛋白的机理及动力学模型研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(21): 166 - 171.
- [46] 代卉, 乐国伟, 孙进, 等. 小麦肽对受环磷酸腺苷免疫抑制小鼠的免疫调节及抗氧化功能[J]. *生物工程学报*, 2009, 25(4): 549 - 553.
- [47] 潘兴昌, 胡要娟, 谷瑞增, 等. 补充小麦肽对预防散打运动员发生过度训练的作用[J]. *中国运动医学杂志*, 2015, 34(2): 170 - 174.
- [48] Kawaguchi T, Ueno T, Nogata Y, et al. Wheat - bran autolytic peptides containing a branched - chain amino acid attenuate non - alcoholic steatohepatitis via the suppression of oxidative stress and the upregulation of AMPK/ACC in high - fat diet - fed mice[J]. *Int J Mol Med*, 2017, 39(2): 407 - 414.
- [49] 王新欣. 玉米源辅助增强记忆肽的活性研究与产品研制[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [50] 刘雪皎. 玉米低聚肽保肝作用的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.
- [51] 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]. *J Nutr Biochem*, 2012, 23(11): 1449 - 1457.
- [52] Yimit D, Hoxur P, Amat N, et al. Effects of soybean peptide on immune function, brain function, and neurochemistry in healthy volunteers[J]. *Nutrition*, 2012, 28(2): 154 - 159.
- [53] Tokudome Y, Nakamura K, Kage M, et al. Effects of soybean peptide and collagen peptide on collagen synthesis in normal human dermal fibroblasts[J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2012, 63(6): 689 - 695.
- [54] Lule V K, Garg S, Pophaly S D, et al. Potential Health Benefits of Lunasin: A Multifaceted Soy - Derived Bioactive Peptide[J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80(3): R485 - R494.
- [55] Alaswad A A, Krishnan H B. Immunological Investigation for the Presence of Lunasin, a Chemopreventive Soybean Peptide, in the Seeds of Diverse Plants[J]. *J Agric Food Chem*, 2016, 64(14): 2901 - 2909.
- [56] Pabona J M, Dave B, Su Y, et al. The soybean peptide lunasin promotes apoptosis of mammary epithelial cells via induction of tumor suppressor PTEN: similarities and distinct actions from soy isoflavone genistein[J]. *Genes Nutr*, 2013, 8(1): 79 - 90.
- [57] 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 Res*, 2001, 61(20): 7473 - 7478.
- [58] 赵妍嫣, 姜绍通, 康海超. 水解大豆制备食用香精的工艺优化[J]. *食品科学*, 2010, 31(4): 103 - 105.
- [59] 韩晶. 黑龙江芸豆主栽品种蛋白质营养价值分析及抗氧化活性肽的研究[J]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2016. 