

发酵肉制品中生物活性肽的研究进展

周天硕¹, 赵家圆^{1,2}, 孟彩云¹, 李艳青¹, 李鹤^{3,*}, 韩齐^{1,*}

(1.黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319; 2.黑龙江省安心食品集团有限责任公司, 黑龙江 大庆 163319; 3.黑龙江八一农垦大学动物科技学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 发酵肉制品营养丰富、风味独特, 深受广大消费者的喜爱。肉制品在发酵过程中受组织内源酶和微生物共同作用会发生一系列复杂的生物化学变化, 其中最重要的是蛋白质降解。蛋白质降解既可以增加肉制品风味物质的种类, 又提高了蛋白质的消化率, 提升了产品的营养价值, 并且蛋白质降解生成的部分肽类物质具有一定的生物活性及生理功能, 如抗氧化、抗菌、降血压、提高人体免疫力等, 因此对生物活性肽的制备与功能研究具有重要的理论与应用价值。发酵肉制品是生物活性肽的一个良好来源, 本文主要综述发酵肉制品中蛋白质降解生成生物活性肽的种类、分离纯化方法及生物活性肽的功能利用, 旨在为功能性发酵肉制品的研发和生产提供理论支持。

关键词: 发酵肉制品; 生物活性肽; 蛋白质; 降解; 分离纯化

Progress in Research on Bioactive Peptides in Fermented Meat Products

ZHOU Tianshuo¹, ZHAO Jiayuan^{1,2}, MENG Caiyun¹, LI Yanqing¹, LI He^{3,*}, HAN Qi^{1,*}

(1.College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2.Heilongjiang Anxin Food Group Co. Ltd., Daqing 163319, China; 3.College of Animal Science and Veterinary Medicine, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: Fermented meat products, which are rich in nutrients and unique in flavor, are popular with consumers. During the fermentation process, a series of complex biochemical changes occur due to the cooperative action of endogenous enzymes and microorganisms, among which the most important is the degradation of protein. Not only does protein degradation increase the types of flavor substances, the protein digestibility, and the nutritional value of fermented meat products, but also some resulting peptides have biological activities and physiological functions, such as antioxidant, antibacterial, antihypertensive and immunoenhancing effects. Therefore, fermented meat products are a good source of bioactive peptides. In this paper, the types, separation and purification methods and function application of bioactive peptides produced by protein degradation in fermented meat products are reviewed in order to provide theoretical support for the development and production of functional fermented meat products.

Keywords: fermented meat products; bioactive peptide; protein; degradation; separation and purification

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220630-075

中图分类号: TS251.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2022) 12-0067-05

引文格式:

周天硕, 赵家圆, 孟彩云, 等. 发酵肉制品中生物活性肽的研究进展[J]. 肉类研究, 2022, 36(12): 67-71. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220630-075. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2022-06-30

基金项目: 黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划项目 (UNPYSCT-2020039);

黑龙江八一农垦大学引进人才科研启动计划资助项目 (XYB201803);

黑龙江八一农垦大学“青年创新人才”项目 (CXRC2017012); 大庆市指导性科技计划项目 (zd-2020-50);

黑龙江省“百千万”工程科技重大专项 (2020ZX07B02); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32202109)

第一作者简介: 周天硕 (2000—) (ORCID: 0000-0002-8549-3371), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学与工程。

E-mail: 1317478988@qq.com

*通信作者简介: 李鹤 (1989—) (ORCID: 0000-0002-8229-9709), 男, 讲师, 博士, 研究方向为兽医微生物。

E-mail: lihe15164526483@163.com

韩齐 (1988—) (ORCID: 0000-0003-1601-7133), 女, 讲师, 博士, 研究方向为肉制品加工及安全控制。

E-mail: hanqihappy@foxmail.com

ZHOU Tianshuo, ZHAO Jiayuan, MENG Caiyun, et al. Progress in research on bioactive peptides in fermented meat products[J]. Meat Research, 2022, 36(12): 67-71. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220630-075.
<http://www.rlyj.net.cn>

发酵肉制品是指原料肉经微生物发酵（主要是乳酸菌及酵母菌等）和酶共同作用下发生一系列物理、化学及生物变化，最终形成具有特殊风味、色泽和质地的一类肉制品^[1]，具有高营养、高品质、风味独特及贮存期长等优点。肉制品发酵过程中蛋白质发生变性和降解，生成醇类、酸类、氨基酸、短肽、肽段等大量生物活性成分，有助于提高蛋白质的吸收率，加快人体对营养物质的消化利用^[2-3]。本文主要阐述发酵肉制品中的生物活性肽及其制备方法。

1 生物活性肽

生物活性肽是一类对人体有益或具有特定生理功能的肽类化合物^[4]，分子质量一般小于6 000 Da，由20种天然氨基酸按照不同的排列方式组成，一般长度为2~30个氨基酸^[5]，易消化吸收，是对人体具有积极影响的特定蛋白质片段^[6]，对人体的生理代谢活动具有多种生物学功能，如免疫调节、抗菌、抗氧化、降血压、降血脂等^[7-8]。

生物活性肽的功能活性取决于其结构，如氨基酸的组成、N端和C端氨基酸的类型、肽链的长度、氨基酸的电荷特性、疏水和亲水性及空间结构等。例如，C端氨基酸的结构可影响对血管紧张素转化酶（angiotensin converting enzyme, ACE）的抑制活性，当C端氨基酸为芳香族氨基酸时，其抑制活性最高。N端为疏水性氨基酸或碱性氨基酸时的抑制活性较高，脯氨酸除外。根据氨基酸序列的不同，这些肽可能在体内发挥多种不同的活性作用，从而影响心血管、内分泌、消化、免疫和神经系统等^[9]。迄今为止，具有免疫调节、抗菌、抗血栓、阿片类、矿物质结合、抗氧化、抗高血压及降胆固醇等功能的生物活性肽已在一系列食品中发现。

2 发酵肉制品中多肽的生物活性

2.1 抗氧化活性

肉类蛋白一直以来都被认为是获得抗氧化肽的良好来源，因为肉类蛋白中含有大量必需氨基酸，可满足人体生长所需。大量研究表明，从肌肉蛋白源中得到的生物活性肽具有抗氧化活性。此外，还有大量研究发现大部分肉类副产物，如皮、骨头、血液等也具有一定的生理活性。谷胱甘肽是一种含γ-酰胺键和巯基，由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸通过肽键缩合而成的三肽化合物，具有抗氧化作用，广泛分布于动植物中^[10]。谷胱甘肽在

未加工的肉中含量为50~200 mg/kg^[11]。Chen Wei等^[12]发现，磷脂过氧化氢谷胱甘肽过氧化物酶是肌肉组织中重要的抗氧化酶，对肉类品质性状和抗氧化离子机制起着重要作用。天然肌肽一般大量存在于动物的肌肉和脑组织中。Bellia等^[13]研究证实，肌肽具有较好的抗氧化能力，发现在畜类肉源中以猪、牛、羊为代表的肌肉中含较高含量的肌肽。叶春等^[14]以酸肉为原材料，提取酸肉中的活性肽并对其抗氧化能力进行测定，结果发现，提取的活性肽对1,1-二苯基-2-三硝基苯肼（1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH）自由基有良好的清除能力，半抑制质量浓度（IC₅₀）为247.96 μg/mL，是抗氧化剂二丁基羟基甲苯（butylated hydroxytoluene, BHT）的4.97倍，对羟自由基也具有较好的清除能力，IC₅₀为33.60 μg/mL，是BHT的1.52倍。吴宝森等^[15]从诺邓火腿中分离得到具有抗氧化活性的肽，通过体外抗氧化实验发现，分离得到的组分C3体外抗氧化活性最强，质量浓度为1 mg/mL时，羟自由基清除率、DPPH自由基清除率和Fe²⁺螯合能力分别可以达到73.01%、51.21%和65.23%。通过研究发现，游离氨基酸及氨基酸序列对肽的抗氧化活性起着至关重要的作用^[16]。

2.2 ACE抑制活性

ACE抑制肽是一种存在于蛋白质中的生物活性肽，根据作用机理可将ACE抑制肽分为3类^[17]：1）底物型肽，是一种能被ACE水解成活性或非活性肽的肽段，只具有少量的抑制活性；2）真抑制型肽，是一种具有抑制能力的肽，不受其他因素的影响，即真正能够抑制酶的反应；3）药物前抑制剂，这种肽是ACE或消化酶的底物，水解后释放抑制剂，从而起到抑制作用。Arihara等^[18]从家畜肌肉蛋白（猪骨骼肌蛋白的热裂解酶）中提取并鉴定出2种ACE抑制肽（肌肽A和肌肽B），2种ACE抑制肽在肌球蛋白重链的一级结构中存在。研究结果表明，肌肉蛋白经酶解可产生ACE抑制活性。Dellafiora等^[17]通过将成熟18、24个月的帕尔马干腌火腿体外消化，从中得到部分生物活性肽，经检测已确认为ACE抑制肽。韩冬雪^[19]从牛里脊肉中分离出具有ACE抑制活性的多肽，同时具有抗高血压生物活性。李星云等^[20]的研究表明，酶解法水解猪骨骼肌蛋白可产生ACE抑制肽，发酵猪肉制品中也可以产生具有ACE抑制活性和抗高血压功效的肽。丁苗^[21]从发酵20 d的酸肉中提取得到粗肽并分离纯化，得到具有较高活性的ACE抑制剂，ACE抑制率为59.18%，肽含量为86.54%，同时发现酸肉ACE抑制肽具有很强的吸湿性和较强的pH值稳定性，但高温处理后，ACE抑制肽活性下降。

2.3 抗菌活性

抗菌肽是生物体内经外源物质诱导而产生的具有生物活性的小分子多肽,由12~60个氨基酸残基构成,大多数抗菌肽具有分子质量小、热稳定性和广谱抗菌等特点^[22-23],是一类普遍存在于生物体内的小分子多肽,可从肌肉、肝脏及血液中分离出来^[24]。天然生物抗菌肽具有抑菌效果好、不易产生耐药性、稳定性好等优点。抗菌肽作为天然保鲜剂对人体健康无害,是继冷藏保鲜和气调保鲜后的第3代保鲜技术。刘辉^[25]利用抑耐冷乳酸菌抗菌肽对肉制品的保鲜进行研究,从乳酸菌发酵液中分离纯化得到2种抗菌肽,均可以有效抑制荧光假单胞菌,并且抗菌肽活力越高,保鲜效果越好。清酒乳杆菌清酒亚种2a^[26]是从巴西猪肉香肠中分离得到的一种具有抗菌功能的乳酸菌,其产生的抗菌肽(细菌素)能够抑制重要食源性致病菌的生长,研究发现,将提取出的抗菌肽在室温(30℃)和冷藏条件(7℃)下培养24 h后,能有效抑制单核细胞增生李斯特菌的生长,在冷藏条件下,病源性微生物经抗菌肽处理5 d后失活。

2.4 神经活性

目前,在发酵肉制品中对于神经活性肽的研究还比较少。因为神经活性肽,如阿片样肽(内啡肽和脑啡肽等)、舒缓激肽等一般存在于动物的胰腺及大脑中。Ianzer等^[27]从动物大脑中分离出阿片样肽类似物,通过实验发现这类肽具有一定的神经活性,还能够加强血管舒缓激肽活性。因此猜测这是由于阿片样肽序列存在于肌肉蛋白质氨基酸序列上,所以肌肉中也可能产生阿片样肽,目前有待研究。

3 发酵肉制品中生物活性肽的制备方法

目前关于生物活性肽的制备方法主要分为3类^[28]:提取法、合成法和降解法。提取法可分为化学提取和物理提取。合成法又可分为化学合成法和基因重组法。降解法分为酶解法和发酵法。发酵肉制品一般采用降解法来制备生物活性肽,即酶法混合微生物发酵法制备生物活性肽。一些研究尝试利用基因重组技术获得特定表达的活性肽,但目前该方法尚在实验中。

3.1 酶解法

蛋白水解酶的分类方法有多种,根据蛋白酶活性部位的性质可分为4类^[29]:丝氨酸蛋白酶、巯基蛋白酶、天冬氨酸蛋白酶和金属蛋白酶。根据生理功能又可分为非限制性水解蛋白酶和限制性水解蛋白酶。根据国际酶学委员会分类,蛋白水解酶属于3.4亚类,可分为肽段内切酶和外肽酶^[30]。

Koohmaraie^[31]将蛋白质水解系统概括为4种,分别为钙激活中性蛋白酶水解、组织蛋白酶水解、蛋白酶体水解和半胱天冬酶水解。卜冬冬等^[32]以萨拉米为原料进行酶法水解,发现胰蛋白酶的酶解效果最佳,水解度为11.0%;木瓜蛋白酶的酶解效果次之,水解度为9.7%;复合酶的酶解效果优于单个酶的酶解效果,水解度为12.9%。并且温度对蛋白酶的活性具有较大影响,随着酶解温度的增加,水解度先升高后降低,这是因为当温度较高时,部分酶失活,导致水解不完全。

3.2 微生物发酵法

微生物发酵法是利用微生物在发酵过程中产生的蛋白酶将底物蛋白水解成不同的生物活性肽。目前,常采用的微生物有侧孢短芽孢杆菌、植物乳杆菌、清酒乳杆菌和弯曲乳杆菌等^[33-36],底物蛋白主要为猪肉的肌浆蛋白和肌原纤维蛋白等^[36]。Castellano等^[36]对猪肉中的蛋白质进行发酵降解,结果表明,乳杆菌能够降解肌肉蛋白质产生具有ACE抑制活性的活性肽,通过释放ACE抑制肽,可产生降压效果;清酒乳杆菌CRL1862和弯曲乳杆菌CRL705产生的生物活性肽均可用于开发生理功能食品。

3.3 酶解法-微生物发酵法复合

蛋白质是肉制品的重要组成成分,其在加工和贮藏中发生的生物化学变化对肉制品品质有关键性影响,酶法水解和微生物发酵法是发酵肉制品中制备生物活性肽的主要方法。利用蛋白酶制剂水解蛋白质并分离纯化得到生物活性肽,其产品安全性高、生产条件温和、水解过程易控制、可定位生产特定的肽、成本低,同时还具有良好的溶解性、耐酸、耐热及较高的速溶性等优点^[37]。利用微生物发酵降解蛋白得到的生物活性肽,具有菌体蛋白互相利用提供能量、合成小肽、修饰某些功能基团等优点^[38]。除此之外,微生物代谢是一个复杂的降解体系,可以合成多种复杂的初级代谢产物和次级代谢产物^[39],制备得到的生物活性肽水解度更高^[40]。2种降解方式共同作用,可弥补单一方法存在的不足。

发酵肉制品蛋白质的降解是内源蛋白酶和微生物共同作用的结果。微生物发酵过程中产酸导致内源酸性蛋白酶活性增加,促使微生物胞外酶、蛋白酶等降解蛋白质^[41-42],生成一些多肽、小肽、氨基酸、醛、有机酸和胺类等物质,这些都是发酵肉制品特殊风味和质地形成的主要因素^[43-44]。除此之外,陈倩等^[45]在肉制品发酵过程中发现乳酸菌代谢产物可促进蛋白质的降解,植物乳杆菌能降解肌浆蛋白和肌原纤维蛋白,清酒乳杆菌可分解蛋白质产生游离氨基酸,赋予产品特有的鲜酸味^[46]。

4 生物活性肽的纯化方法

蛋白质降解后的产物是多肽混合物，因此对混合物进行分离提纯至关重要。最常见的肽类纯化方法有超滤、反相高效液相色谱、凝胶过滤层析及离子交换色谱等。

超滤是一种膜分离技术，通过压力作用使混合肽按照分子质量通过一定孔径的薄膜，小分子肽通过薄膜^[47]，而大分子肽遗留在薄膜上，从而分离出所需要分子质量的肽。超滤方法简单、成本低、常温下即可操作，但如混合物中杂质过多会导致超滤薄膜堵塞，需要经常清洗，且不适用于分离分子质量大小相近的混合肽。反相高效液相色谱常用于多肽类和其他代谢产物的特性分析中，它是利用极性介质作为固定相进行离子交换的一种方法，不同规格色谱适应不同肽类，且柱容量较大，分离效果强，但分离过程中色谱柱容易被堵塞，因此会导致分离结果出现误差^[48-49]。凝胶过滤层析法是根据凝胶网状结构进行的一种分离方法，多用于分离纯化水溶性大分子物质，不需要有机溶剂，具有较好的分离效果和较高的回收率^[50]。离子交换色谱是利用溶质分子携带不同性质的电荷和不同的电荷量从而实现分离的一种色谱技术^[51]，它具有可控性、多选择性、可浓缩性、高载量和高回收率，通过相反电荷之间的相互作用实现离子交换，因此可通过调节pH值来控制选择性。

都荣强等^[52]采用膜超滤法分离由胰蛋白酶、风味酶、混合酶酶解肌肉蛋白所得酶解液，发现酶解液中各组分的呈味强度均随肽分子质量的减小而增强，当肽分子质量小于3 kDa时，味鲜醇厚，特别是小于1 kDa的肽鲜味最强；同时利用Sephadex G-15凝胶色谱分离，通过高效凝胶液相色谱、基质辅助激光解析电离飞行时间质谱分析，确定从胰蛋白酶酶解液中分离得到的鲜味肽组分。

Kang等^[53]采用反相高效液相色谱法对牛肉酶解物进行分离纯化，得到多种风味肽。胡亚亚^[54]采用凝胶层析法对火腿粗肽液进行简单分离，并对各组分清除自由基的能力进行测定。结果表明，当火腿粗肽液质量浓度为1 mg/mL时，超氧阴离子自由基清除率为49%，DPPH自由基清除率为38%。戴璐瑶等^[55]利用反相高效液相色谱紫外检测与离子交换色谱电导检测2种方法对牛肉中肌肽进行一致程度检测，结果发现，反相高效液相色谱法与离子交换色谱方法均能较好地对待样品中的肌肽进行定性和定量分析。郭鑫杰^[56]、姚婷婷^[57]等均通过离子交换层析法对抗菌肽进行纯化，从而得到高纯度的抗菌肽。

5 结 语

肉及肉制品中的蛋白质含有多种有利于人体健康的生物活性肽，其功能特性包括抗氧化、降血压、降血脂、

抗血栓、抑菌、神经调节等多方面。由于其具有多种优势而受到越来越多国内外研究人员的关注，国外研究人员对生物活性肽在医疗方面的应用给予极高的肯定，特别是对过敏反应，因为其可能保留部分前体蛋白过敏活性，并且生物活性肽还具备成为治疗非传染性疾病（如高血压和免疫性疾病）的潜在药物^[58]。

我国对生物活性肽的研究，尤其是肉制品中生物活性肽的研究相对较少，因此肉源生物活性肽的发展还有很大空间。且现阶段多数国内研究都仅限于活性肽功能特性的体外评估，不足以评估其消化后在人体中的活性。在作为功能性成分使用之前，有必要对其在体内的疗效、剂量反应和安全性进行评估。所以，在未来，我国研究人员应加强生物活性肽在应用方面的研究，深入研究以益生菌为发酵剂发酵的肉制品中可能产生的生物活性肽。

参考文献：

- [1] FRIEDRICH-KARL L. Fermented meat products[J]. Food Research International, 1994, 27(3): 299-307. DOI:10.1016/0963-9969(94)90098-1.
- [2] 赵俊仁, 孔保华. 自然发酵风干肠中酵母菌生产性能的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(10): 27-31. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2010.10.040.
- [3] 龙强, 聂乾忠, 刘成国. 发酵肉制品功能性发酵剂研究现状[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 263-269. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-201617044.
- [4] 杨闯. 生物活性肽在营养保健中的应用[J]. 食品科学, 2003, 24(12): 153-154.
- [5] 周亭屹, 高新昌, 党亚丽, 等. 基于生物信息学技术的生物活性肽功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2019(12): 335-340. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.12.054.
- [6] KITTS D D, WEILER K. Bioactive proteins and peptides from food sources: applications of bioprocesses used in isolation and recovery[J]. Current Pharmaceutical Design, 2003, 9(16): 1309-1323. DOI:10.2174/1381612033454883.
- [7] 樊蕊, 徐美虹, 王军波, 等. 生物活性肽在保健/功能食品中的应用[C]//中国疾病预防控制中心达能营养中心专题资料汇编. 营养健康新观察(第四十九期): 肽营养与健康. 2018: 7.
- [8] XU Qingbiao, HONG Hui, WU Jianping, et al. Bioavailability of bioactive peptides derived from food proteins across the intestinal epithelial membrane: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2019, 86: 399-411. DOI:10.1016/j.tifs.2019.02.050.
- [9] NONGONIERMA A, FITZGERALD D. Learnings from quantitative structure activity relationship (QSAR) studies with respect to food protein-derived bioactive peptides: a review[J]. RSC Advances, 2016, 79: 75400-75413. DOI:10.1039/C6RA12738J.
- [10] 梁帆. 黑藻蛋白酶解多肽的分离纯化及抗氧化活性研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2021: 21-22. DOI:10.27426/d.cnki.gxtdu.2021.000974.
- [11] 解冰心, 唐善虎, 郑渝川. 肉及其副产物中生物活性肽研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 206-212. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.06.047.
- [12] CHEN Wei, ZENG Yongqing, CUI Jingxiang, et al. Effects of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase mRNA expression on meat quality of *M. longissimus dorsi* in pigs[J]. European Food Research and Technology, 2011, 232(3): 433-440. DOI:10.1007/s00217-010-1407-3.
- [13] BELLIA F, AMORINI A M, MENDOLA D L, et al. New glycosidic derivatives of histidine-containing dipeptides with antioxidant properties and resistant to carnosinase activity[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2008, 43(2): 373-380. DOI:10.1016/j.ejmech.2007.03.038.



- [14] 叶春, 马顺强, 张倩, 等. 酸肉肽抗氧化活性的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 94-97.
- [15] 吴宝森, 王桂瑛, 谷大海, 等. 诺邓火腿抗氧化肽的分离纯化与鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(7): 102-109. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.015594.
- [16] LIU Rui, XING Lujuan, FU Qingquan, et al. A review of antioxidant peptides derived from meat muscle and by-products[J]. Antioxidants, 2016, 5(3): 32. DOI:10.2174/1381612033454883.
- [17] DELLAFIORA L, PAOLELLA S, DALL'ASTA C, et al. Hybrid *in silico* *in vitro* approach for the identification of angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides from parma dry-cured ham[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(28): 6366-6375. DOI:10.1021/acs.jafc.5b02303.
- [18] ARIHARA K, NAKASHIMA Y, MUKAI T, et al. Peptide inhibitors for angiotensin I-converting enzyme from enzymatic hydrolysates of porcine skeletal muscle proteins[J]. Meat Science, 2001, 57(3): 319-324. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00108-x.
- [19] 韩冬雪. 发酵牛肉火腿中ACE抑制肽的提取和鉴定[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2015: 24-45.
- [20] 李星云, 剧柠, 欧阳霞, 等. 肉蛋白中衍生的生物活性肽的研究进展[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10): 413-414; 417. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2010.10.085.
- [21] 丁苗. 发酵酸肉中ACE抑制肽的分离纯化、特性及其对血管内皮细胞功能因子的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 29-52.
- [22] 卫泽峰. 抗绿脓杆菌的活性物质筛选及其有效成分分析[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2012: 14-15.
- [23] 赵学良, 史振霞. 抗菌肽的制备方法与作用机理研究进展[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(1): 128-131. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2014.01.034.
- [24] 韩文瑜, 孙长江. 抗菌肽的研究现状与展望[J]. 中国兽药杂志, 2009, 43(10): 11-19. DOI:10.3969/j.issn.1002-1280.2009.10.003.
- [25] 刘辉. 抑制耐冷菌的乳酸菌抗菌肽筛选及其结构和抗菌机理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016: 81-95.
- [26] MALHEIROS P S, JOZALA A F, PESSOA A, Jr, et al. Immobilization of antimicrobial peptides from *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei* 2a in bacterial cellulose: structural and functional stabilization[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 17: 25-29. DOI:10.1016/j.foodpack.2018.05.001.
- [27] IANZER D, KONNO K, XAVIER C H, et al. Hemorphin and hemorphin-like peptides isolated from dog pancreas and sheep brain are able to potentiate bradykinin activity *in vivo*[J]. Peptides, 2006, 27(11): 2957-2966. DOI:10.1016/j.peptides.2006.06.009.
- [28] 陈丽娜, 温宇旗, 韩国庆, 等. 生物活性肽制备工艺的研究进展[J]. 农产品加工, 2018(17): 57-62. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2018.09.018.
- [29] 彭辉. 貂源绿脓杆菌血清型和毒力基因的检测及其致病性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018: 16-17.
- [30] 吴飞林, 赵明治, 张瑶, 等. 蛋白质水解酶和样品预处理优化技术在蛋白质组学研究中的应用[J]. 生物工程学报, 2016, 32(3): 306-316. DOI:10.13345/j.cjb.150373.
- [31] KOOHMARAIE M. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system[J]. Meat Science, 2006, 74(1): 34-43. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.04.025.
- [32] 卜冬冬, 汪建明, 周红, 等. 酶法制备萨拉米风味基料的研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(3): 85-90. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2017.03.020.
- [33] 李宁, 剧建格, 于宏伟, 等. 抗菌肽产生菌 *Brevibacillus laterosporus* S62-9 最适发酵条件的优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(3): 182-186. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2016.03.046.
- [34] QIN Chubin, LI Gong, ZHANG Xiaoping, et al. Effect of *Saccharomyces boulardii* and *Bacillus subtilis* B10 on gut microbiota modulation in broilers[J]. Animal Nutrition, 2018(4): 358-366. DOI:10.1016/j.aninu.2018.03.004.
- [35] SHIRO K, TADAO O. Whole-genome sequence of *Lactobacillus sakei* LT-13 isolated from moto starter of sake[J]. Genome Announcements, 2017, 5(31): 17. DOI:10.1128/genomeA.00651-17.
- [36] CASTELLANO P, ARISTOY M C, SENTANDREU M Á, et al. Peptides with angiotensin I converting enzyme (ACE) inhibitory activity generated from porcine skeletal muscle proteins by the action of meat-borne *Lactobacillus*[J]. Journal of Proteomics, 2013, 89: 183-190. DOI:10.1016/j.jprot.2013.06.023.
- [37] 胡子聪, 于阿立, 刘香云, 等. 食物蛋白源生物活性肽的研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(6): 271-276.
- [38] 杜林, 李亚娜. 生物活性肽的功能与制备研究进展[J]. 中国食物与营养, 2005(8): 18-22. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2005.08.006.
- [39] 蒲首丞, 王金水. 生物活性肽的制备与应用[J]. 粮食加工, 2005, 30(5): 49-52. DOI:10.3969/j.issn.1007-6395.2005.05.017.
- [40] 张树华. 发酵法制备绿豆多肽[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014: 25-56.
- [41] YIN L J, PAN C L, JIANG S T. Effect of lactic acid bacterial fermentation on the characteristics of minced mackerel[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(2): 786-792. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb10677.x.
- [42] 陈超, 高学军, 刘营, 等. 产蛋白酶乳酸菌的筛选及蛋白酶的纯化[J]. 乳业科学与技术, 2008, 31(4): 160-162.
- [43] IKONIĆ P, TASIĆ T, PETROVIĆ L, et al. Proteolysis and biogenic amines formation during the ripening of Petrovská klobása, traditional dry-fermented sausage from Northern Serbia[J]. Food Control, 2013, 30(1): 69-75. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.06.021.
- [44] 汪淼, 于海, 吴满刚, 等. 发酵肉制品风味形成研究进展[J]. 食品工业, 2014(9): 221-226.
- [45] 陈倩, 韩齐, 孔保华, 等. 乳酸菌对发酵肉制品中肌肉蛋白降解作用的研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 279-284. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201409055.
- [46] 李华丽, 何煜波. 酸肉生产主发酵期发酵条件的确定[J]. 中国食物与营养, 2005(4): 40-43.
- [47] 刘丽君. 驼血抗氧化与降糖活性肽的制备与鉴定[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019: 26-27.
- [48] 刘桂洋, 毛香菊, 陈晋阳. 反相高效液相色谱的基本原理及其在应用[J]. 宁波化工, 2008(3): 22-25; 50.
- [49] JE J Y, QIAN Z J, BYUN H G, et al. Purification and characterization of an antioxidant peptide obtained from tuna backbone protein by enzymatic hydrolysis[J]. Process Biochemistry, 2007, 42(5): 840-846. DOI:10.1016/j.procbio.2007.02.006.
- [50] 周永婧. 小麦面筋蛋白源促酵母增殖与代谢活性肽的分离纯化与结构鉴定研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 15-19.
- [51] 陆建. 蛋白质纯化技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 53-55.
- [52] 都荣强, 肖群飞, 范梦蝶, 等. 猪肉蛋白酶解液中鲜味肽组分的分离[J]. 中国食品学报, 2017, 17(9): 134-141. DOI:10.16429/j.1009-7848.2017.09.017.
- [53] KANG L, ALIM A, SONG Huanlu. Identification and characterization of flavor precursor peptide from beef enzymatic hydrolysate by Maillard reaction[J]. Journal of Chromatography B, 2019, 1104: 176-181. DOI:10.1016/j.jchromb.2018.10.025.
- [54] 胡亚亚. 金华火腿粗肽液的制备及抗氧化活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016: 26-39.
- [55] 戴璐瑶, 朱仙娜, 陈玉燕, 等. 反相高效液相色谱与离子交换色谱测定牛肉中肌肽含量的对比研究[J]. 药物分析杂志, 2019, 39(5): 805-812. DOI:10.16155/j.0254-1793.2019.05.06.
- [56] 郭鑫杰, 袁凯松, 简敬一, 等. 抗菌肽分离纯化分析研究进展[J]. 国外医药(抗生素分册), 2017, 38(6): 9-12. DOI:10.13461/j.cnki.wna.005094.
- [57] 姚婷婷. 乳源抗菌肽的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2006: 57-61.
- [58] JOSE M L, PAULO E S M, BELEN G, et al. Bioactive peptides as natural antioxidants in food products: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2018, 79: 136-147. DOI:10.1016/j.tifs.2018.07.003.