

肖雪, 钱明莉, 范江平, 等. 鸡肉酶解工艺及其产物功效研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 394-400. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070239

XIAO Xue, QIAN Mingli, FAN Jiangping, et al. Research Progress of Enzymatic Hydrolysis of Chicken and the Efficacy of Its Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 394-400. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070239

· 专题综述 ·

鸡肉酶解工艺及其产物功效研究进展

肖 雪^{1,2}, 钱明莉^{1,2}, 范江平^{1,2}, 普岳红^{1,2}, 葛长荣³, 肖智超^{1,2,*}

(1. 云南农业大学, 云南省畜产品加工工程技术研究中心, 云南昆明 650201;

2. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201;

3. 云南农业大学, 云南昆明 650201)

摘 要: 鸡肉蛋白在适宜的工艺条件下与蛋白酶发生酶促水解反应, 从而使肽键断裂生成分子质量较小的肽及游离氨基酸。因而, 鸡肉酶解产物中含有丰富的氨基酸和肽类物质, 具有抗氧化、抗疲劳、免疫调节等多种生物活性, 用于研发相关天然功能性产品、调味料等, 可大幅度地提高鸡肉的附加价值和利用率。本文主要对鸡肉酶解工艺、酶解产物功效及其应用进行综述, 以期促进对鸡肉酶解产物的深入研究, 为鸡肉酶解产物的开发利用提供理论参考。

关键词: 鸡肉, 酶解工艺, 水解度, 酶解产物, 功效

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)14-0394-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070239

Research Progress of Enzymatic Hydrolysis of Chicken and the Efficacy of Its Products

XIAO Xue^{1,2}, QIAN Mingli^{1,2}, FAN Jiangping^{1,2}, PU Yuehong^{1,2}, GE Changrong³, XIAO Zhichao^{1,2,*}

(1. Yunnan Engineering Technology Research Centes for Processing of Livestock Products, Kunming 650201, China;

2. College of Food Science and Technology, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China;

3. Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China)

Abstract: Under suitable technological conditions, chicken protein undergoes a hydrolysis react with protease, so that peptide bonds are broken to generate peptides and free amino acids with smaller molecular mass. Therefore, chicken enzymatic hydrolysis is rich in amino acids and peptides, which have a variety of biological activities such as anti-oxidation, anti-fatigue, immune regulation and so on. Using their characteristics and biological activities, relevant natural functional products and seasonings can be developed. The added value and utilization rate of chicken are greatly improved. This article mainly reviewed the chicken enzymatic hydrolysis technology, the efficacy and application of enzymatic hydrolysis products, in order to promote the in-depth study of chicken enzymatic hydrolysis products, and provide a theoretical reference for the development and utilization of chicken enzymatic hydrolysis products.

Key words: chicken; enzymatic hydrolysis process; degree of hydrolysis; enzymatic hydrolysis; efficacy

近年来, 全球鸡肉产量一直呈迅猛上升趋势, 据联合国粮食及农业组织报道, 2018 年全球鸡肉产量累计达 1.11 亿吨, 较 2006 年增长了 1.70 倍, 其中中国的鸡肉产量为 14.58 千万吨, 位居世界鸡肉产量的

第三位^[1]。鸡肉味道鲜美, 含人体所需的各种氨基酸, 其氨基酸种类与乳制品、蛋类相似, 是优质的动物蛋白质营养来源^[2-3]。同时因其价格较牛肉、羊肉低, 消费者接受度较高。

收稿日期: 2020-07-21

基金项目: 2019 年中央引导地方专项-云南省畜产品加工与质量控制技术研发创新平台 (YDZX201953000002253); 云南省赵继明专家工作站 (云科发[2020]11 号)。

作者简介: 肖雪 (1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: xiaoxue313507@163.com。

* 通信作者: 肖智超 (1985-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: 413906063@qq.com。

蛋白质水解是指大分子蛋白质在催化剂等的作用下被降解为其他小分子的肽类或氨基酸的过程,是近年来食品加工领域用于改造并用于提高蛋白质价值的重要方法之一^[4]。目前,蛋白质水解的方法主要包括酸水解法、碱水解法和酶水解法,各方法间存在较大的差异,如酸水解法容易造成色氨酸、谷氨酰胺等敏感氨基酸的破坏,碱水解法会造成氨基酸构型改变,降低营养价值^[4-5]。与酸、碱法水解蛋白质相比酶水解法具有条件温和、产物安全性高、能较好保留酶解产物生物活性等优点,已成为蛋白质深加工领域重要的发展、研究方向之一^[6-7]。

鸡肉蛋白在适宜的工艺条件下与蛋白酶发生酶促水解反应,从而使肽键断裂生成分子质量较小的肽及游离氨基酸。由于蛋白酶的作用位点不同,如木瓜蛋白酶属于内切酶,可以直接作用于鸡肉蛋白肽链的中间位点,而复合风味蛋白酶包含了多种外切酶和内切酶,既可以从肽链的两端酶解,也可以作用于肽链的中间位点,因此不同蛋白酶水解鸡肉蛋白的产物和水解度有所差异^[8]。在食品工业中,采用酶水解法对鸡肉及生产加工中产生的鸡肉下角料进行深加工,能大幅增加产品中分子肽类和游离氨基酸等物质的含量,提高鸡肉资源的附加价值和利用率。

本文对鸡肉资源的酶解工艺、酶解产物功效及其应用进行了综述,以期加强和促进对鸡肉酶解产物的深入研究,为鸡肉酶解产物的开发及利用提供理论参考。

1 鸡肉酶解工艺的优化及辅助技术

1.1 酶解工艺

不同酶对同一底物水解效率和酶解产物的功能特性及组成存在很大差异。因此,酶的选择直接影响鸡肉蛋白水解度,酶解产物肽分子量大小、游离氨基酸组成,酶解液抗氧化能力以及酶解液营养价值和风味等^[9]。目前常用于水解鸡肉蛋白的酶主要有动物蛋白酶、木瓜蛋白酶、风味蛋白酶、中性蛋白酶及复合蛋白酶,酶解方法主要包括单一酶水解和复合酶水解,其中复合酶水解又分为多酶复合水解和多酶分步水解。

1.1.1 单一酶水解 单一酶水解即鸡肉蛋白的水解过程中只使用一种蛋白酶。单一酶水解操作简单,但不同酶的酶解效果不同,且蛋白质水解度相对较低,酶解产物及其生物活性差异较大。对腾冲雪鸡肌肉蛋白酶解工艺进行优化,结果表明在选用的 4 种酶中,动物蛋白酶的酶解效果最佳,通过对加酶量、固液比、酶解温度和酶解时间进行优化后,鸡肉蛋白的水解度最高可达到 57.13%^[10]。研究发现,采用木瓜蛋白酶和中性蛋白酶制备鸡肉抗氧化肽,两种酶酶解鸡肉蛋白的水解度相近,但酶解液的抗氧化能力和超氧阴离子自由基清除率差异较大,原因可能是木瓜蛋白酶的水解作用位点更为广泛,产生了更小的多肽,从而提高了酶解液的还原能力^[11]。谢永洪等^[12]研究

了 4 种蛋白酶对鸡肉的酶解作用,结果表明木瓜蛋白酶单独水解鸡肉蛋白的作用效果最佳,在最佳水解条件下,水解度可以达到 26.07%,水解效果显著优于中性蛋白酶、菠萝蛋白酶、胃蛋白酶。综上,动物蛋白酶和木瓜蛋白酶在单一酶酶解鸡肉蛋白过程中效果最好。单一酶水解成本低,操作简便,然而鸡肉蛋白的水解度和酶解产物的含量及生物活性都不高,水解效果不理想,因此,研究人员使用多酶复合水解法或多步复合水解法对鸡肉酶解开展研究。

1.1.2 多酶复合水解 多酶复合水解是指在水解过程中按一定比例同时加入两种或者两种以上的酶,在适宜的工艺条件下对鸡肉进行酶解。杨二刚等^[13]采用 5 种酶对鸡肉蛋白进行酶解,结果表明木瓜蛋白酶在单一酶水解过程中水解效果最好,水解度最高为 38.00%,而将中性蛋白酶与木瓜蛋白酶按 1:1 比例复配后的复合酶酶解效果更好,水解度可达 51.0%~54.0%,且用复配酶制备的酶解液香味浓郁,无苦味。安攀宇等^[14]采用多种酶对鸡肉蛋白的酶解工艺进行优化,单一酶酶解鸡肉蛋白的水解度最高为 24.68%,而将复合蛋白酶与木瓜蛋白酶进行复配使用后,水解度较单一酶酶解提高显著,最高可达到 32.84%,且酶解液中必需氨基酸和呈鲜甜味、苦味的游离氨基酸含量较高。因此,部分多酶复合水解的效果明显优于单一酶水解,然而直接影响多酶水解的因素相对较多,复配蛋白酶的选择、复配蛋白酶的比例和最适酶解条件等均需多次试验后方可确定。

1.1.3 多酶分步水解 多酶分步水解是指水解过程中依次添加最适蛋白酶,一种酶反应完成后,调节相应的酶解条件,加入其他的酶继续水解。邱燕翔等^[15]采用复合蛋白酶和风味蛋白酶进行分步酶解,水解度最高可达 48.80%;最佳工艺条件下,酶解产物中小分子肽和氨基酸含量高达 99.85%。于亚辉等^[16]采用动物蛋白酶和复合蛋白酶分步水解鸡肉蛋白,最佳工艺条件下酶解液中游离氨基酸及多肽含量达到 346.09、275.44 mg/g。有研究对比了单一酶酶解、双酶同步酶解及双酶分步酶解三种酶解方法的工艺及效果,结果表明采用木瓜蛋白酶和风味蛋白酶分步酶解的酶解效果显著优于单一酶酶解和双酶同步酶解,另外酶解产物含丰富的酸性和碱性氨基酸,酶解液具有较强的抗氧化活性^[17]。相较于单一酶水解和多酶同步水解,多酶分步水解的水解效果较优。此外,多酶分步水解操作简单,在试验过程中只需确定单一酶的最适工艺即可。

1.2 酶解条件的优化

除了酶的选择及复配,影响酶解效果的主要工艺参数还包括酶用量、固液比、酶解时间、温度及 pH 等,这些因素在酶解过程中存在复杂的交互作用^[18]。因此,确定最适酶后,需要对酶解条件进行优化,以确定最佳工艺参数,通常采用单因素实验和响应面分析法。

肖作兵等^[19]在试验中对酶解参数进行了显著性筛选并优化了工艺参数,结果表明,酶解时间、固液比和酶的添加量对鸡肉蛋白的水解度及美拉德反应的风味影响显著($P<0.05$)。此外,酶解液的还原能力和超氧阴离子自由基清除率分别受温度、酶的添加量和酶解时间的影响显著,工艺优化后的酶解效果显著提高。鸡肉蛋白的水解效果受多种因素影响,多项研究在单因素实验基础上,运用响应面分析法进一步明确了在各因素中,温度、酶的添加量和酶解时间对鸡肉蛋白的整体水解效果影响最显著^[10,20]。

1.3 辅助酶解技术

近年来,国内外在蛋白质深加工的研究中,多采用一些辅助技术与酶解技术结合使用,可以加快水解速度,提高酶解效率和蛋白质水解率^[21-22]。目前,辅助酶解技术主要包括超声波、微波、超高压等。

1.3.1 超声波辅助技术 超声波技术因能缩短酶解反应时间,增加产物得率,近年来被广泛用于辅助蛋白质酶解,以制备肽及氨基酸^[23-24]。超声波技术通过机械传质、加热和空化作用,增强分子运动性,提高底物和酶的接触概率,从而提高酶促反应速率^[25-26]。此外,超声波还可以作用于酶分子,使其空间构象改变,产生易与底物结合的中间体,提高酶促反应能力^[26]。

有研究发现,通过超声预处理酶解底物,并利用超声辅助处理酶解过程,在一定程度上改变了底物蛋白质和酶的分子构象,提高了蛋白质水解度,水解效率显著提高,同时极大地缩短了蛋白质的水解时间^[27]。钟群^[28]对超声波 320 W 条件下预处理后的乌骨鸡肉蛋白进行酶解,酶解液中小分子量肽的含量达 44.64 mg/mL,酶解效果明显优于对照组。在超声辅助酶解鸡肉下脚料的研究中发现,与常规酶解相比,鸡肉蛋白的溶出率及水解度显著提高,同时,极大缩短了酶解时间^[29]。大量研究表明,超声辅助酶解的酶解效果优于单独酶解,水解度和酶解产物的活性显著提高^[30-32]。

1.3.2 超高压辅助技术 超高压技术通常是利用高压适度改变蛋白质分子结构,非共价键的稳定结构被破坏,使低聚体蛋白解离从而提高酶解效率^[33]。Thoresen 等^[34]研究发现,采用 100、200 MPa 高压预处理鸡肉蛋白,其酶解液的抗氧化性和蛋白质溶解性均显著增强。超高压辅助酶解技术可以提高蛋白酶的活性,提高酶促反应速率,促进蛋白质的酶解和酶解产物肽及氨基酸的产生^[35]。

1.3.3 微波辅助技术 采用微波辅助加热,可使鸡肉蛋白由内向外迅速升温,蛋白质结构发生改变,更易与酶结合发生酶促反应,从而促使酶解反应快速有效的进行,从而提高水解度和水解产物的得率^[36-37]。微波辅助酶解技术主要包含微波预处理蛋白质和水解过程中用微波加热。在微波加热条件下,利用复配蛋白酶对鸡肉进行水解,与单独酶解法相比,酶解时间显著降低,水解度高达 28.1%^[38]。利用微波辅助酶

解技术水解鸡肉蛋白,极大地提高了酶解速率,缩短了酶解时间,同时酶解液的生物活性显著提高。

2 酶解产物成分分析

鸡肉蛋白质含量较高,利用酶解技术进行深加工以后,蛋白质降解为肽类和氨基酸等小分子量物质,除了增加鸡肉的风味外,还具有多种功效。

2.1 氨基酸

氨基酸是蛋白质的基本组成单位,更是维持机体活动的基础物质。同时,氨基酸呈味能力强,对食品的呈味特性也具有十分重要的贡献。鸡肉蛋白酶解后,酶解液中含有丰富的必需氨基酸和呈鲜味、甜味、苦味及无味四种风味类型的 17 种游离氨基酸^[39-40]。

赵谋明等^[41]对比了鸡肉蛋白酶解前后其氨基酸组成及含量变化,结果表明,鸡肉蛋白及酶解液中均含有 17 中氨基酸,鸡肉蛋白的氨基酸组成以谷氨酸、色氨酸含量最高,而酶解液种含量最高的是谷氨酸、天冬氨酸;水解产物中必需氨基酸指数(即必需氨基酸占总氨基酸量)低于原料鸡肉蛋白,但水解产物的氨基酸分(AAS 值)为 0.91,远高于原料鸡肉蛋白,其氨基酸组成更接近于 FAO/WHO 推荐的成人模式。陈怡颖等^[42]研究发现,鸡肉酶解液中游离氨基酸的总量是鸡汤的 12 倍,必需氨基酸和呈味氨基酸的含量也远高于鸡汤。多项研究表明,鸡肉酶解液中包含了原料鸡肉蛋白的全部氨基酸,且其氨基酸组成更接近理想氨基酸组成模式^[42-43]。因呈味氨基酸及必需氨基酸的含量丰富,赋予鸡肉酶解液浓厚的风味及较高的营养价值。

2.2 多肽

多肽是鸡肉蛋白经过一定的工艺优化酶解后获得的,具有一定分子量范围的产物,主要分布在 5000 Da 以下。采用酶法制备鸡肉多肽,酶解产物中小分子肽和氨基酸含量可达 99.80%,其中,分子质量小于 1000 Da 的小分子肽热反应产物具有明显的醇厚感;制备其中 5 段呈味肽,γ-L-Glu-L-Glu 和 γ-L-Glu-L-Val-Gly 呈鲜味显著^[15,44]。林霖等^[45]测定乌骨鸡活性肽的含量及分布,结果表明,酶解液中小分子量多肽含量达 51%,游离氨基酸含量为 36%;乌骨鸡活性肽分子量主要分布在 1900 Da 以下。Kong 等^[46]对鸡汤和鸡肉酶解液中非挥发性鲜味物质进行了比较,结果表明鸡肉酶解物中的鲜味肽含量显著高于鸡汤;鸡肉酶解液中含有 Ala-Asp、Ala-Met、His-Ser 等八种风味寡肽,而鸡汤中只鉴定出四种风味寡肽,包括 Val-Thr、Ala-His、Ala-Phe 和 Thr-Glu。

研究表明,肽的功能及生物活性与其分子量密切相关,相对分子质量小于 1000 Da 的小肽大多具有一定的功能活性,如促进矿物质的吸收、提高免疫力等;同时,相对分子质量较小的肽作为肉的风味物质前体物更容易参与美拉德反应,产生更多的挥发性化合物^[47-49]。

3 鸡肉酶解产物功能特性

3.1 呈味作用

由于酶解工艺及方法的不同,鸡肉蛋白酶解产物的组成及活性存在显著差异。当鸡肉蛋白在适宜的条件下酶解后,酶解液中的呈味物质主要是对风味有一定贡献的寡肽物质、呈味氨基酸及挥发性风味物质^[50]。张永生等^[51]研究水解度与鸡肉香精呈味特性的关系,结果发现在不同水解度的美拉德反应液中,其游离氨基酸含量和肽的组成差异显著,因而表现出了不同的感官特性;并且游离氨基酸含量与水解度呈正相关,且组氨酸等苦味氨基酸含量高于天冬氨酸等鲜味氨基酸,其中分子质量分布在 189~1423 Da 范围的酶解液对美拉德反应液的醇厚感有较大影响。研究者们以鸡胸肉为原料开发鸡肉粉末香精,在最佳工艺条件下制备的清炖型鸡肉粉末香精不但保留了原有的鸡汤鲜甜风味,而且没有苦涩味,口感浓郁;并且优化后的酶解工艺操作简单,原料利用充分,可实现清炖型鸡肉粉末香精的规模化生产;同时,将酶解液中的肽进行分离纯化后,鉴定出酶解液中含有较多的 Leu(Ile)-X-和 pGlu-X-结构的肽,其中, N 端为 pGlu 的肽对酶解液的鲜味具有重要的作用^[52-53]。陈怡颖等^[54]分别研究了鸡肉酶解液和水煮鸡肉中的挥发性风味成分,对比分析结果发现鸡肉酶解液中挥发性风味成分更丰富,约 63 种,是水煮鸡肉中的三倍,这使得鸡肉酶解液的风味更佳,肉感更强。这与 Zeng 等^[55]的研究结果一致,用酶预处理鸡肉,可以显著增加挥发性风味物质的含量和种类。

3.2 生物活性作用

鸡肉经蛋白酶酶解后,酶解液具有抗氧化、抗疲劳等多种生物活性,并从中鉴定出了有生物活性的肽序列^[56-57]。其中,鸡肉抗氧化肽是目前鸡肉酶解液中研究应用较多的一种生物活性肽,通过螯合金属离子、捕捉自由基等多种方式达到抗氧化的目的^[58],可作为抗氧化剂使用,相较于合成抗氧化剂更安全、经济、无助氧化作用^[59]。

用碱性蛋白酶制备鸡肉抗氧化肽,其羟自由基清除率高达 88.40%,抗氧化效果显著,AOV 值最大可达到 0.74 mg/mL,这说明鸡肉活性肽具有较高的抗氧化活性^[20]。同时,利用鸡肉的酶解物喂食小鼠,

实验小鼠体内血超氧化物歧化酶、过氧化氢酶及谷胱甘肽过氧化物酶等抗氧化酶的活性得到显著提高,研究表明鸡肉酶解物可以有效增强机体清除自由基的能力,另外实验小鼠力竭游泳时间明显延长,抗疲劳和抗氧化效果显著^[60]。鸡肉酶解产物生物活性相关研究见表 1。

3.3 提高营养价值

鸡肉蛋白经酶解后,降解为氨基酸、多肽、寡肽及小肽等存在于酶解液中。有研究发现,蛋白质经蒸煮、酶解等处理后,其消化率显著提高,并且降解后的小肽和氨基酸在人体内可以被完全地吸收,有效的提高了对蛋白质的吸收利用率^[66-67]。其中小肽的吸收利用率比游离氨基酸高,并且有改善食品感官的效果^[68]。研究人员采用多种蛋白酶水解鸡肉蛋白,结果表明各酶水解产物中都含有丰富的人体必需氨基酸^[69]。白芳等^[70]研究发现乌骨鸡鸡肉蛋白酶解液中亮氨酸、甲硫氨酸和苯丙氨酸等人体必需氨基酸含量较高;肽的分子量主要集中在 0~1084 Da,比例达 88.91%,大多是利于人体吸收的小分子活性肽。综上,将鸡肉蛋白进行水解不但有利于提高其营养价值,而且可提高其蛋白质的吸收利用率。

4 鸡肉酶解液的应用

4.1 用于天然调味料制备

近年来,利用酶解技术和美拉德反应辅助酶技术制备的天然调味料,在工业生产中得到了广泛应用^[71]。对鸡肉蛋白进行酶解再与糖类物质发生美拉德反应,可制备鸡肉香精、鸡肉鲜香膏、咸味增强肽等调味料。

传统鸡肉调味料的主要特点是在产品中直接添加鸡肉/鸡骨的粉末或其浓缩提取物等,因蛋白质未经水解处理,其吸收及利用率较低;同时,在生产过程还原糖的过量使用易使调味料产生怪味^[72-73]。采用美拉德反应辅助酶解技术制备的鸡精调味料和鸡肉鲜香膏具有更加浓郁的风味和香味,肉感以及整体协调性也较传统工艺生产的产品有了显著的提高^[74-75]。陈瑞霞等^[76]利用蛋白酶解技术,以淘汰蛋鸡为原料制备咸味增强肽,酶解产物能够将 50 mmol/L NaCl 溶液的咸味强度提升 26.20%,可用于开发兼具调味和营养功能的调味品。

表 1 鸡肉酶解产物生物活性相关研究

Table 1 Studies on the biological activity of chicken enzymatic hydrolysis products

来源	生物活性	参考文献
鸡胸肉肌原纤维蛋白酶解产物	抗氧化性(DPPH、ABTS 自由基清除率较高)	曲金萍等 ^[61]
鸡肉盐溶蛋白、肌纤蛋白酶解产物	抗疲劳作用(小鼠延长力竭游泳时间显著延长);抗氧化作用(提高了体内抗氧化酶的活性)	郑华等 ^[60]
乌骨鸡肉蛋白酶解产物	免疫调节作用(显著提升小鼠促进 T-、B-淋巴细胞增殖及巨噬细胞的吞噬能力)	魏颖等 ^[62]
乌骨鸡肉蛋白酶解产物	降血压(鉴定出了一种新型的 ACE 抑制肽,可以有效地降低血压)	刘建华等 ^[57]
鸡肠蛋白酶解产物	抗菌作用(对大肠杆菌有抑制作用);降低胆固醇作用;抗氧化作用	王世宽等 ^[63]
鸡肉胶原蛋白酶解产物	降血脂(改善动脉粥样硬化)	Zhang You-zou 等 ^[64]
鸡腿肉蛋白酶解产物	抑制脂肪酶活性	李瑞霞等 ^[65]

4.2 用于功能性鸡肉蛋白制备

鸡肉蛋白在酶的催化作用下,可使蛋白质内部多肽链间或蛋白质间形成共价键,产生交联反应,从而使鸡肉蛋白的乳化性、凝胶性、溶解性、吸水性等功能特性得到改善^[77-78]。

利用酶解技术酶解鸡肉蛋白,根据酶解工艺的差别,可以制备多种功能性鸡肉蛋白。将其添加于肉制品中,可明显改善产品的胶黏性和切割性,另外可减少烹煮造成的产品损失^[79]。李作为等^[80]研究了经酶解处理后的鸡肉蛋白对鸡肉肠品质的影响,结果表明在添加了不同鸡肉功能蛋白(不同酶解时间下的鸡肉蛋白)后鸡肉肠的硬度、弹性、咀嚼性和回弹力等质构指标均得到明显改善,其中添加水解时间为2~4 h的鸡肉功能蛋白的鸡肉肠的感官品质最佳。功能性肉蛋白作为肉制品添加剂,既可以回收利用鸡肉边角料及鸡肉副产品,避免浪费和污染,又可提升鸡肉的附加值。

4.3 用于抗氧化剂的制备

鸡肉抗氧化肽作为抗氧化剂使用,相较于合成抗氧化剂更安全、经济作用。研究发现,将鸡肉蛋白酶解产物以冷藏液、冷冻液和干燥粉末等形式贮藏,鸡肉蛋白酶解产物的抗氧化活性具有良好的热稳定性和贮藏稳定性,各种形式贮藏的酶解产物其清除自由基活性和还原力在半年内均无显著变化,鸡肉蛋白酶解产物易被产业化生产应用^[81]。裴小平等^[82]采用喷雾干燥的方式制备鸡肉蛋白抗氧化肽干粉,结果发现,抗氧化肽抗氧化活性保持率达90.67%,鸡肉蛋白抗氧化肽能较好地应用于工业生产。

4.4 其他应用

鸡肉蛋白酶解产物因含有丰富的氨基酸和肽类,不但可广泛应用于调味品、营养强化食品、功能性保健食品的研发和生产中,还可作为动物饲料等。潘兆广等^[83]用酶解法制备鸡肉抗疲劳蛋白肽粉,试验发现灌喂高剂量抗疲劳蛋白肽粉的小鼠可较长时间负重游泳,其体内肝糖原含量明显高于对照组,表明利用鸡肉蛋白酶解液制备的蛋白肽粉,可用于缓解体力疲劳。李瑞霞等^[65]以鸡肉蛋白为原料制备的鸡肉蛋白源脂肪酶抑制肽,可明显抑制脂肪酶的活性,抑制率可达67.35%,推测鸡肉蛋白酶解液可用于研发制备减肥功能产品。有研究表明,鸡肉粉因氨基酸组成丰富、产品安全可靠、价格低廉,可以部分或者全部代替鱼粉作为鱼饲料,并且不会影响鱼类的生长性能^[84]。

5 结语与展望

酶水解法因具有条件温和、产物安全性高、能较好保留酶解产物生物活性等优点,在食品加工领域被广泛应用。利用生物酶解技术对鸡肉产品进行深加工是目前肉制品加工领域的热点之一。在对鸡肉蛋白进行酶解的过程中,各个因素之间存在复杂的交互作用,酶解产物因酶解条件及酶解方法的不同存在很

大差异,因此必须合理的优化酶解条件以高效获得目标酶解产物。鸡肉酶解产物中含有大量的氨基酸和肽类,具有多种生物活性待开发和利用。然而目前,国内的研究主要集中在对酶解工艺的优化及酶解液抗氧化活性的研究,关于鸡肉酶解产物开发应用及其他生物活性的研究较少。因此,加强对鸡肉蛋白酶解产物活性的研究并合理的利用其生物活性,开发具有一定生理功能的保健食品,具有广阔的市场前景和广泛的现实意义。

参考文献

- [1] Chen X, Zou Y, Xu W. Effects of ultrasound pretreatment on the extent of Maillard reaction and the structure, taste and volatile compounds of chicken liver protein[J]. Food Chemistry, 2020: 331.
- [2] 邓宏玉, 刘芳芳, 张秦蕾, 等. 5种禽肉中矿物质含量测定及营养评价[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 21-24.
- [3] Rabeler F, Feyissa A H. Kinetic modeling of texture and color changes during thermal treatment of chicken breast meat[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11: 1495-1504.
- [4] 魏强华, 姚勇芳. 食品生物化学与应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2015.
- [5] 张邵博, 靳冬武, 李明生. 蛋白水解物制备工艺及其在生物技术领域中的应用研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(2): 354-362.
- [6] Yang H, Qu Y, Li J, et al. Improvement of the protein quality and degradation of allergens in soybean meal by combination fermentation and enzymatic hydrolysis[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020: 128.
- [7] Zhang M, Huang T H, Mu T U. Production and characterization of antioxidant peptides from sweet potato protein by enzymatic hydrolysis with radio frequency pretreatment[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(6): 2352-2358.
- [8] 陈海涛, 徐晓兰, 王鹤, 等. 鸡肉酶解工艺对热反应鸡肉香精香气的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(9): 150-154.
- [9] 于笛, 郑杰, 陈冲, 等. 水产蛋白酶解物抗氧化活性研究进展[J]. 中国调味品, 2016, 41(8): 148-151.
- [10] 郭磊, 杨晶晶, 朱金花, 等. 响应面法优化腾冲雪鸡肌肉的酶解工艺[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 89-92.
- [11] 孙杨赢, 潘道东, 郭宇星. 鸡肉蛋白的酶解及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 63-68.
- [12] 谢永洪, 刘学文, 王文贤, 等. 鸡肉蛋白酶水解工艺条件的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 207-210.
- [13] 杨二刚, 童群义. 复合酶水解鸡肉工艺条件的优化[J]. 安徽农业科学, 2008(14): 401-402.
- [14] 安攀宇, 赵珊, 王鑫, 等. 响应面法优化鸡胸肉蛋白酶解工艺[J]. 肉类研究, 2018, 32(11): 22-29.
- [15] 邱翔翔, 陆志鸿, 许守庆, 等. 鸡肉蛋白酶解工艺及水解产物成分研究[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 284-287.
- [16] 于亚辉, 陈沁雯, 李晓婷, 等. 响应面法优化鸡肉蛋白酶解工艺[J]. 福建农业学报, 2020, 35(1): 80-89.
- [17] 魏新颜, 苏国万, 孙为正. 鸡肉蛋白钙离子螯合肽酶解工艺的优化研究[J]. 现代食品科技, 2019(8): 168-173.
- [18] Maluf J U, Fiorese M L, Maestre K L, et al. Optimization of

- the porcine liver enzymatic hydrolysis conditions[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2020, 43(4): 1–12.
- [19] 肖作兵, 吴旻玲, 牛云蔚. 双指标响应面优化鸡肉酶解工艺[J]. *中国食品学报*, 2016(11): 121–128.
- [20] 曾卓, 王金水, 付雅丽. 鸡肉蛋白的酶解特性及酶解产物的抗氧化性研究[J]. *食品工业科技*, 2008(6): 126–128.
- [21] Chen L, Chen J, Ren J, et al. Effects of ultrasound pretreatment on the enzymatic hydrolysis of soy protein isolates and on the emulsifying properties of hydrolysates[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2011, 59(6): 2600–2609.
- [22] 耿军凤, 张丽芬, 陈复生, 等. 超声波辅助酶技术在食品蛋白质中的应用研究[J]. *食品工业*, 2019, 40(1): 237–242.
- [23] Kadam S U, Tiwari B K, Alvarez C, et al. Ultrasound for the extraction, identification and delivery of food proteins and bioactive peptides[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 46(1): 60–67.
- [24] Ashraf J, Liu L, Zhou S, et al. Effect of thermosonication pretreatment on mung bean (*Vigna radiata*) and white kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) proteins: Enzymatic hydrolysis, cholesterol lowering activity and structural characterization[J]. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 2020, 66: 105–121.
- [25] Zhang Q, Chen Q, He G. Effect of Ultrasonic-ionic liquid pretreatment on the hydrolysis degree and effect of ultrasonic-ionic liquid pretreatment on the hydrolysis degree and antigenicity of enzymatic hydrolysates from whey protein[J]. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 2019: 63.
- [26] O'Sullivan J, Beevers J, Park M, et al. Comparative assessment of the effect of ultrasound treatment on protein functionality pre- and post-emulsification[J]. *Colloids & Surfaces a Physicochemical & Engineering Aspects*, 2015, 484: 89–98.
- [27] Abadía-García L, Castaño-Tostado E, Ozimek L, et al. Impact of ultrasound pretreatment on whey protein hydrolysis by vegetable proteases[J]. *Innovative Food Science and Emerging*, 2016, 37: 84–90.
- [28] 钟群. 雪峰乌骨鸡活性肽制备及抗氧化功能测定 [D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [29] 张慤, 万婕, 刘亚萍, 等. 一种鸡肉下脚料超声波处理辅助酶解的方法: 中国, CN108477583A[P]. 2018-09-04.
- [30] Wang D, Hou F, Ma X, et al. Study on the mechanism of ultrasound-accelerated enzymatic hydrolysis of starch: Analysis of ultrasound effect on different objects[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 148: 493–500.
- [31] Cheng Y, Liu Y, Ma H, et al. Improving the enzymolysis efficiency of potato protein by simultaneous dual-frequency energy-gathered ultrasound pretreatment: Thermodynamics and kinetics[J]. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 2017, 37: 351–359.
- [32] Wen C, Zhang J, Zhou J, et al. Antioxidant activity of arrowhead protein hydrolysates produced by a novel multi-frequency S-type ultrasound-assisted enzymolysis[J]. *Natural Product Research*, 2019: 1–4.
- [33] 张崧, 王新惠, 王卫, 等. 高压和酶解辅助制备超微骨粉的工艺研究[J]. *现代食品科技*, 2014(10): 172–175.
- [34] Thoresen B P P, Álvarez R G, Vakaa M R, et al. Potential of innovative pre-treatment technologies for the revalorisation of residual materials from the chicken industry through enzymatic hydrolysis[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020: 64.
- [35] Marciniak A, Suwal S, Brisson G, et al. Evaluation of casein as a binding ligand protein for purification of alpha-lactalbumin from beta-lactoglobulin under high hydrostatic pressure[J]. *Food Chemistry*, 2019, 275: 193–196.
- [36] Taşkıran M, Olum E, Candoğan K. Changes in chicken meat proteins during microwave and electric oven cooking[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2020, 44(2): 1–8.
- [37] Wang X, Xu J, Wang L G X. Optimization of microwave-ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis extraction of iodine amino acids in laminaria by high performance liquid chromatography with a photodiode array detector[J]. *Algal Research*, 2019: 39.
- [38] 宋宏光, 王岩. 微波双酶水解鸡肉的研究[J]. *食品工程*, 2010(3): 34–35.
- [39] 肖群飞, 王天泽, 谢建春. 鸡肉酶解物中不同氨基酸前体对肉香味形成的贡献[J]. *中国食品学报*, 2020(3): 221–231.
- [40] Xiao Z, Ge C, Zhou G, et al. ¹H NMR-based metabolic characterization of Chinese Wuding chicken meat[J]. *Food Chemistry*, 2019, 274(15): 574–582.
- [41] 赵谋明, 周雪松. 木瓜蛋白酶水解鸡肉蛋白及其产物氨基酸分析研究[J]. *食品科学*, 2005(z1): 6–9.
- [42] 陈怡颖, 丁奇, 赵静, 等. 鸡汤及鸡肉酶解液中游离氨基酸及呈味特性的对比分析[J]. *食品科学*, 2015(16): 132–136.
- [43] 侯佰慧, 夏杨毅, 周涛, 等. 鸡肉酶解液制备鸡汤热反应过程中呈味物质的变化[J]. *食品科学*, 2017(14): 182–187.
- [44] 邓莉, 郝学财, 刘娜. 呈味肽的制备、纯化与鉴定[J]. *中国酿造*, 2017, 36(4): 142–148.
- [45] 林霖, 田颖刚, 谢明勇, 等. 乌骨鸡活性肽组成成分及体外抗氧化活性研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(10): 41–45.
- [46] Kong Y, Yang X, Ding Q, et al. Comparison of non-volatile umami components in chicken soup and chicken enzymatic hydrolysate[J]. *Food Research International*, 2017, 102: 559–566.
- [47] Langley, Sophie. ‘Fifth taste’ Umami could be beneficial for health, study[J]. *Nutridate*, 2015, 26(1): 7.
- [48] Kerth C R, Miller R K. Beef flavor: A review from chemistry to consumer[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2015, 95(14): 2783–2798.
- [49] Moghadam M, Salami M, Mohammadian M, et al. Physicochemical and bio-functional properties of walnut proteins as affected by trypsin-mediated hydrolysis[J]. *Food Bioscience*, 2020: 36.
- [50] 肖智超, 葛长荣, 周光宏, 等. 肉的风味物质及其检测技术研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(4): 325–330.
- [51] 张永生, 耿伟涛, 江方, 等. 水解度对热反应鸡肉香精呈味的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(12): 274–279.
- [52] 刘建彬. 鸡肉肽参与美拉德反应的机理及其反应产物风味特性研究 [D]. 北京: 北京工商大学, 2015.
- [53] 陈昊林. 清炖型鸡肉粉末香精生产工艺的研究[J]. *农产品加工·学刊*, 2018(12): 53–56.
- [54] 陈怡颖, 张玥琪, 孙颖, 等. 鸡肉及其酶解液挥发性风味成

分的对比分析[J]. 精细化工, 2015(4): 70-77.

[55] Zeng X, Liu J, Dong H, et al. Variations of volatile flavour compounds in *Cordyceps militaris* chicken soup after enzymolysis pretreatment by SPME combined with GC-MS, GC×GC-TOF MS and GC-IMS[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(2): 509-516.

[56] 李玉萍, 张小慧, 黄建华, 等. 乌骨鸡活性肽研究进展[J]. 中国家禽, 2017, 39(1): 38-41.

[57] 刘建华, 燕郑, 谢明勇. 泰和乌骨鸡肉模拟胃肠道消化液中ACE抑制肽的分离纯化及结构鉴定[J]. 南昌大学学报(理科版), 2005, 35(2): 163-168.

[58] 包显颖, 陈丽, 倪姮佳, 等. 抗氧化多肽研究及其应用前景[J]. 生命科学, 2016, 28(9): 998-1005.

[59] 俞媛瑞, 王雪峰, 廖国周, 等. 鸡肉中生物活性肽的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019(22): 220-224.

[60] 郑华, 莫妮妹, 戴妍, 等. 鸡肉酶解物提高小鼠的抗疲劳及抗氧化活性[J]. 现代食品科技, 2020(6): 1-16.

[61] 曲金萍, 陈金玉, 张坤生. 响应面法优化鸡胸肉肌原纤维蛋白抗氧化肽的制备及其二级结构研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(13): 1-8.

[62] 魏颖, 谷瑞增, 林峰, 等. 乌鸡肽免疫调节作用的研究[J]. 食品研究与开发, 2014(16): 1-4.

[63] 王世宽, 李怡萱, 李丽, 等. 鸡肠蛋白酶解多肽功能特性研究[J]. 食品科技, 2018, 43(8): 239-244.

[64] Zhang Y, Kouguchi T, Shimizu K, et al. Chicken collagen hydrolysate reduces proinflammatory cytokine production in C57BL/6. KOR-ApoEshl mice[J]. Journal of Nutritional Ence & Vitaminology, 2010, 56(3): 208-210.

[65] 李瑞霞, 淡洁, 吕金潇, 等. 鸡肉蛋白源脂肪酶抑制肽的制备及影响因素[J]. 肉类研究, 2019, 33(8): 29-34.

[66] 王宁, 令狐恩强. 寡肽吸收的研究进展[J]. 中华胃肠内镜电子杂志, 2018, 4(5): 29-35.

[67] Rakotondramavo A, Rabesona H, Brou C, et al. Ham processing: Effects of tumbling, cooking and high pressure on proteins[J]. European Food Research and Technology, 2019, 245(2): 273-284.

[68] Chung T, Wang M. Analysis of enzymatic hydrolysis process of protein by experimental design method[J]. Iop Conference, 2019, 289: 12001-12009.

[69] 周雪松. 鸡肉蛋白酶解及其产物抗氧化活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2006.

[70] 白芳, 李映红, 黄飞娟, 等. 乌鸡肽的营养成分及其功能特性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(2): 25-29.

[71] 李芳浩, 朱广琪, 郭小旬, 等. 风味蛋白酶酶解制备中国对虾调味料风味前体物质工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 164-169.

[72] 李亚楠. 酶解鸡骨肉粉在鸡精中的应用价值分析[J]. 食品安全导刊, 2019(12): 139-140.

[73] 郑英亮, 孙合群, 李沛, 等. 浓厚味酵母抽提物产品分析及其在鸡精复合调味料中的应用研究[J]. 中国调味品, 2020(1): 5-8.

[74] 陆君, 刘奕, 闫丹丹. 鸡精调味料鸡肉风味的优化[J]. 食品工业, 2019(10): 66-70.

[75] Tian H, Zhang Y, Chen C, et al. Effects of natural ingredients on the shelf life of chicken seasoning[J]. Food Chemistry, 2019, 293: 120-126.

[76] 陈瑞霞, 孙思远, 相悦, 等. 以淘汰蛋鸡为原料利用蛋白酶解技术制备咸味增强肽[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(1): 166-171.

[77] 刘甜, 赵鹏森, 孙常雁, 等. 提高蛋白质乳化功能性的研究[J]. 中国林副特产, 2020(1): 82-86.

[78] Niu H, Xia X, Wang C, et al. Thermal stability and gel quality of myofibrillar protein as affected by soy protein isolates subjected to an acidic pH and mild heating[J]. Food Chemistry, 2018, 242: 188-195.

[79] 封雯瑞. 功能肉蛋白——一种具创新价值的肉制品添加剂[J]. 中外食品, 2002(9): 56-57.

[80] 李作为, 张立彦. 酶解鸡肉蛋白对鸡肉肠品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(7): 65-69.

[81] 周雪松, 赵谋明. 鸡肉蛋白酶解产物稳定性的研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(8): 1-4.

[82] 裴小平, 唐道邦, 肖更生, 等. 酶法制备鸡肉蛋白抗氧化肽工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(11): 104-109.

[83] 潘兆光, 陈中, 林伟锋, 等. 鸡肉抗疲劳蛋白肽粉的制备研究[J]. 现代食品科技, 2009(5): 41-44.

[84] 胡海滨, 解绶启, 钱雪桥, 等. 饲料中添加玉米蛋白粉或鸡肉粉替代部分鱼粉对卵形鲳鲹生长性能的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(6): 2752-2764.