

禽血蛋白生物技术利用及产业发展趋势

钟秋霞^{1,2}, 赵祥杰¹, 杨怀谷^{2*}, 陈健忠³, 林耀盛², 唐道邦²

(1. 淮阴工学院生命科学与食品工程学院, 江苏淮安 223003)(2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

(3. 梅州市金绿现代农业发展有限公司, 广东梅州 514542)

摘要: 禽血蛋白含有丰富的氨基酸营养, 是一种优质动物蛋白资源, 对其进行生物技术利用的前景十分广阔。该文介绍了禽血蛋白的营养特点, 并从加工学角度, 概括了发酵技术、酶工程技术以及血红素提纯技术在提升禽血蛋白风味、生物利用度、功能活性等方面的效果。进而, 总结了不同生物利用技术分别在食品、饲料、生物医药等领域的产业应用现状, 展示其经精细加工后在经济、社会与生态价值的提升。在此基础上, 针对现有的研究短板与不足, 展望了禽血蛋白生物利用的发展趋势, 通过创新加工和多元化利用途径, 进一步挖掘其加工增值潜力, 为相关产业的发展提供科学依据和实践指导。

关键词: 禽血蛋白; 营养特点; 生物技术; 应用领域; 发展趋势

文章编号: 1673-9078(2026)7-363-372

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.7.0435

Biotechnological Utilization of Avian Blood Protein and Its Industrial Development Trends

ZHONG Qiuxia^{1,2}, ZHAO Xiangjie¹, YANG Huaigu^{2*}, CHEN Jianzhong³, LIN Yaosheng², TANG Daobang²

(1. Huaiyin Institute of Technology, School of Life Sciences and Food Engineering, Huaian 223003, China) (2. Sericultural & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China) (3. Meizhou Jinlyu Modern Agricultural Development Co. Ltd., Meizhou 514542, China)

Abstract: Avian blood protein (ABP), recognized as a high-value animal protein source characterized by rich amino acid profiles, has emerged as a valuable bioresource with broad cross-industrial applications. This paper outlines the nutritional characteristics of ABP and reviews how fermentation, enzymatic engineering, and heme purification techniques enhance its flavor, bioavailability, and functional activity during processing. It summarizes current industrial applications of bio-utilization technologies in the food, feed, and biomedical sectors, highlighting their economic, social, and ecological values. Additionally, the paper examines existing research limitations and gaps to predict future development trends in ABP bio-utilization. Value enhancement is further explored through innovative processing methods and novel strategies, thereby establishing a scientific foundation and offering practical guidance for advancing related industries.

Key words: avian blood protein; nutritional profile; biotechnology; application fields; development trends

引文格式:

钟秋霞, 赵祥杰, 杨怀谷, 等. 禽血蛋白生物技术利用及产业发展趋势[J]. 现代食品科技, 2026, 42(7): 363-372.

ZHONG Qiuxia, ZHAO Xiangjie, YANG Huaigu, et al. Biotechnological utilization of avian blood protein and its industrial development trends [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(7): 363-372.

收稿日期: 2025-03-26; 修回日期: 2025-07-02; 接受日期: 2025-07-08

基金项目: 梅州市“鸿雁计划”紧缺领军人才项目(2024HY002LJ002); 广东省农业科学院科技人才引进专项资金项目(R2021YJ-YB3008); 广东省农产品加工技术研发中试公共服务平台升级建设项目

作者简介: 钟秋霞(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农业资源开发与利用, E-mail: 15607899605@139.com

通讯作者: 杨怀谷(1988-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: yanghgjgs@163.com

家禽血液作为家禽屠宰及加工过程中重要的副产物之一,通常可占到屠体的3%~8%。国内家禽品种资源丰富,近年来鸡鸭鹅等家禽饲养规模和存栏量持续增长,其中肉鸡年出栏量超过130.22亿只^[1],其可收集的血液占整鸡体质量的2.5%~3.5%^[2];肉鸭年出栏量达到42.2亿只,其血液占整鸭质量的3%~5%;肉鹅年出栏量达5.69亿只,其血液占整鹅约5%^[3];肉鸽出栏量将达8.5亿只,其血液占整鸽质量约6.5%。据此估算,我国每年家禽屠宰可产生100~200万t血液副产物。

禽血具有高蛋白(14%~16%)、低脂肪(0.15%~0.43%)的特点,且富含微量元素,有“液态肉”的美称。家禽血液中主要包括血红蛋白和血清白蛋白,以及超氧化物歧化酶、免疫球蛋白、凝血酶和凝血酶原等功能成分^[4]。禽血蛋白含量占比湿重15%,占比干重达90%以上,含有18种氨基酸,平衡性较好。但禽血蛋白因血腥味导致适口性变差,在某些产品类别中色泽感官表现较差,限制了禽血蛋白质在食品工业中的广泛和高值利用。除此之外,有些屠宰场在家禽血液收集环节采用的方式不当,致使血液易遭受屠宰动物羽毛、粪便及环境微生物的污染,从而导致提取富集的禽血蛋白卫生质量欠佳^[5]。因此,通过现代加工技术等新型手段(精准发酵、酶工程、精炼提取),提高禽血蛋白的综合利用效率,把资源优势转化为商品优势,将在产业链增值和社会健康方面发挥重要作用。

当前国内外有关禽血蛋白的研究与应用,可大致依据其处理方式与技术(图1)、加工目的与产品用途(图2)进行归类。前者,主要涵盖酶工程、物理处理(干燥、超声、超高压)、化工改性、发酵工程等,其中酶技术因其安全性和高效性在研究领域中占主导地位。后者,禽血蛋白主要被加工成血浆粉等蛋白类制品(用于食品或饲料的添加组分)、增稠剂和着色剂等食品添加剂^[6],以及经酶法、美拉德反应、包埋等处理后所制备的风味香料。在加工过程中,蛋白改性等生物技术可定向增强或改变禽血蛋白的营养及功能属性,为实现更好的消化吸收率、质构与风味或加工适宜性。以发挥特定功能或改善生理功效为目的的蛋白肽、免疫调节剂、生物医药材料等,也是禽血蛋白向大健康未来产业渗透的热点之一。然而,目前对不同类型禽血蛋白(微量蛋白)的认知尚不够全面与深入,特别是针对鸡、鸭之外的其他禽类尤为不足,对其中蛋白质结构、序列、功能及相关特性的解析仍待进一步补充和完善。

综上所述,虽然禽血在当下的产业应用存在许多

不足之处,但考虑到其体量,禽血蛋白在未来仍具有极为广阔的开发前景和利用空间。本文介绍了禽血蛋白的营养特点和加工现状,展望了禽血蛋白高效利用的发展趋势,旨在为禽血蛋白高值化应用和生产提供更多理论支撑和参考依据。

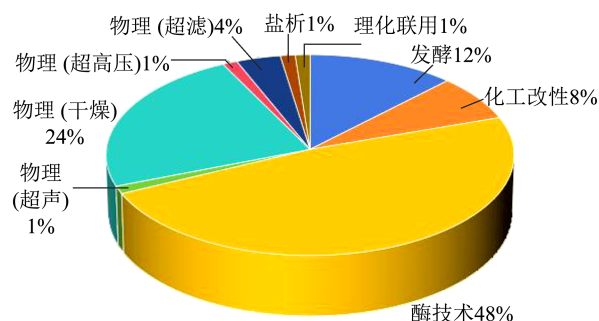


图1 禽血蛋白综合利用的主要加工处理方式

Fig.1 The main processing methods for the comprehensive utilization of avian blood protein

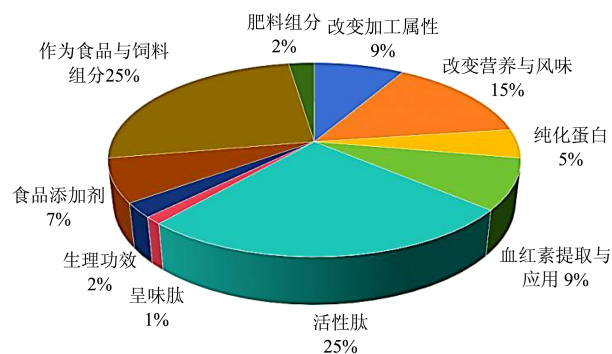


图2 禽血蛋白综合利用的主要研究目的或产品用途

Fig.2 The main research purposes or product uses of comprehensive utilization of avian blood protein

1 禽血蛋白

1.1 禽血蛋白营养特点

畜、禽血蛋白(以血红蛋白和血清白蛋白为主体成分)都富含赖氨酸,但在蛋白序列相似性上存在较大差异。由图3所示,鸡鸭鹅家禽类与猪牛羊家畜类,存在明显的蛋白种属异质特征;而水禽(鸭与鹅)之间、反刍动物(牛与羊)之间,则具有更强的序列相似度。禽类血红蛋白的限制性氨基酸为蛋氨酸,畜类则为异亮氨酸;禽类和畜类血清白蛋白的限制性氨基酸均为色氨酸,但前者蛋氨酸的含量显著高于后者。因此,从全血角度考虑,尽管家禽粗蛋白含量和必需氨基酸总含量较家畜血偏低,但其蛋白质的平衡性及吸收利用率却要优于家畜血^[7,8],PDCAAS评分结果也佐证了这一观点(表1),这些特点使得禽血蛋白成为一种优质的含氮类营养来源^[7]。

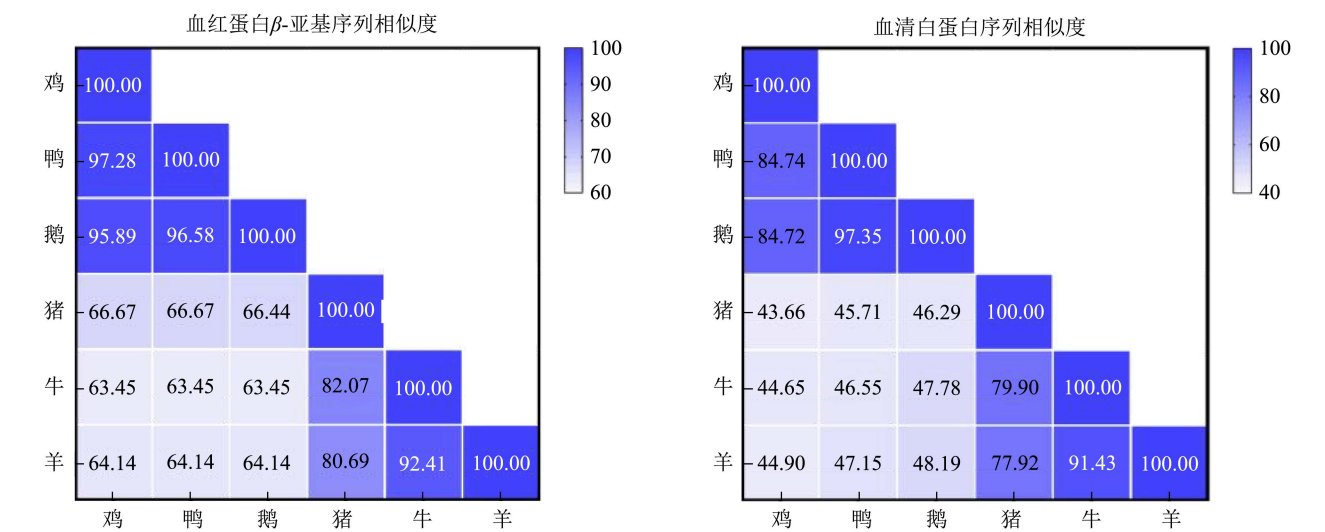


图 3 不同畜禽之间的血蛋白序列相似度（%）

Fig.3 Similarity of blood protein sequences between different livestock and poultry (%)

注：氨基酸序列源于 Uniprot 数据库。

表 1 不同来源的畜禽血蛋白的营养成分对比

Table 1 Comparison of the nutrients composition of animal blood protein from different origins

基本成分（平均）	禽血			家畜血			参考文献
	鸡血	鸭血	鹅血	猪血	牛血	羊血	
水分/%	87.00	85.10	86.47	79.2	77.38	80.10	[7,9-13]
粗蛋白/(g/100 g)	14.00	13.80	15.10	18.50	18.85	17.20	
血红蛋白/(g/100 mL)	10.30	10.00	12.99	14.22	10.31	9.29	
铁元素/(mg/100 g 血液)	37.80	35.00	44.00	44.90	49.13	45.0	
赖氨酸/(mg·g ⁻¹ 血液)	8.40	7.80	11.20	8.50	14.00	16.10	
血红蛋白 限制氨基酸	蛋氨酸 / 色氨酸	蛋氨酸 / 色氨酸	蛋氨酸 / 色氨酸	异亮氨酸	异亮氨酸	异亮氨酸	
血清白蛋白 限制氨基酸	色氨酸	色氨酸	色氨酸	蛋氨酸 / 色氨酸	色氨酸	色氨酸	
必需氨基酸/(mg·g ⁻¹)	40.97	42.03	52.45	43.28	68.03	76.24	
PDCAAS	0.71	0.63	0.67	0.46	0.49	0.40	

注：PDCAAS，蛋白质消化率校正过的氨基酸评分。

1.2 禽血蛋白生物活性肽

禽血蛋白中富含某些抗氧化、抑菌、免疫调节、降压等小分子活性肽片段^[14]，通过合理的水解步骤可衍生和富集相关肽段，在不同领域应用中发挥其潜在的生化或生理功能。此外，禽血蛋白还具有较好的加工功能特性（乳化、发泡、凝胶性等），可作为动物饲料和食品工业中重要的原料之一^[15,16]。表 2 展示了来自不同家禽血蛋白中生物活性肽的制备和作用机制。

2 禽血蛋白生物利用技术

目前研究当中有关的禽血蛋白生物利用技术，主要集中于禽血蛋白发酵、蛋白酶解以及血红素的提取等领域。

2.1 禽血蛋白发酵技术

在微生物的发酵过程中，禽血蛋白的营养价值和风味特性受到不同菌种和发酵条件的影响。通过特定微生物菌种的代谢作用，禽血蛋白的营养组成得以优化，其生物利用度和功能性也相应提升。

2.1.1 发酵菌的种类

筛选合适的发酵菌种可以实现对禽血蛋白的高效转化和利用。目前，常用来发酵禽血蛋白的菌种包括米曲霉、黑曲霉、溜曲霉、泡盛霉、纳地青霉、乳酸菌、酵母菌、枯草芽孢杆菌等^[23]。不同菌种具有不同的生长代谢特性和产物特性，能够催化禽血蛋白产生不同种类的多肽等生物活性物质和风味物质。

表 2 来源于不同家禽血的生物活性肽

Table 2 Bioactive peptides derived from different poultry blood					
生物活性	肽序列	蛋白质来源	活力	作用机制	参考文献
抗高血压	WMHVR	鸭血血红蛋白	WMHVR 的 ABTS ⁺ 清除率和 ACE 抑制率最高分别为：4.91%、73.24%	体外模拟血液消化实验中，WMHVR 通过范德华力、氢键作用与 S' 口袋中的 S1 和 S2 结合，竞争性抑制 ACE	[17]
	YAHVR				
	MPFKY				
	PDDPR				
	NKVHF				
	VSKRLNGDA	鸡血细胞	经体外胃肠消化后 ACE 抑制作用增强，IC ₅₀ 为 26.46 μmol·L ⁻¹	通过下调小鼠中的肾素和 AT-1 受体基因的表达，上调 AR-β3 和 Pparδ 受体基因的表达起到抗 ACE 的作用	[18]
抗氧化	EVGK	鸭血浆蛋白粉	EVGK 的 Fe ²⁺ 螯合率最高：16.35%、RCLQ 的 ABTS 和 DPPH 自由基清除率最高分别为 274.83 mMTE/mg、95.12%	AGGVPAG、LDGP 和 LHDVK 肽的末端 N 原子存在疏水性氨基酸，肽结构中存在 Cys、Arg、Glu、Gln、Gly、Leu 和 Ala 残基可增强肽的抗氧化活性	[19]
	RCLQ				
	LDGP				
	TGVGTK				
	LHDVK				
	KLGA				
	AGGVPAG				
	AEDKKLIQ	鸡血细胞	DPPH 自由基清除率：84.67%，ABTS 活性：93.81%	肽序列中含有疏水性氨基酸残基（Leu 和 Ile）促进自由基更好的相互作用，发挥抗氧化活性	[20]
	LSDLHAHKL	鸡血红蛋白	LSDLHAHKL 的 DPPH 和 ABTS 清除率最高分别为 65.21%、4.814%	LSDLHAHL 通过结合 Keap1 的 Kelch 结构域，抢占了 Keap1-Nrf2 通路之间的结合位点，抑制其相互作用并激活抗氧化通路。	[21]
	APAPAAK				
	AEDKKLIQ				
	LSNLHAYNL				
抗炎	IVYPWTQR	鹅血红蛋白	SOD: 38.68±1.68 U·mg ⁻¹ prot、GSH-Px: 79.14±3.41 U·mg ⁻¹ prot, NO: 15.66±1.47 μmol·L ⁻¹	下调 TLR4/NF-KB/iNOS 信号通路抑制巨噬细胞的炎症反应，并激活 Keap-1/NRF2/HO-1 系统抵抗 ROS 介导的氧化应激	[22]

梁肖娜等^[24]以天然发酵的鸡血为原料，从中分离筛选出细菌 60 株、霉菌 60 株，并对其进行综合比较（氨基酸态氮、可溶性蛋白含量等）和 rDNA 分子鉴定，最终从发酵鸡血中筛选出的优秀菌株为苏云金芽孢杆菌、希瓦氏菌、青霉菌属和塔宾曲霉。孙永才等^[25]以新鲜鸭血为原料，纳地青霉为发酵剂，在 27℃ 下发酵高温灭菌的鸭血，发酵鸭血产物中可溶性蛋白和游离氨基酸总量比未发酵鸭血显著增加，且鸭血经纳地青霉发酵后，其质地、风味、营养价值均得到改善和提高。刘天^[26]结合米曲霉（M2）和黑曲霉（H1）以 4:1 的比例混合制曲发酵鸭血酱油，比米曲霉单菌（M2）单独制曲提前了 12 h，混菌发酵后的鸭血酱油比米曲霉单菌发酵酱油中的氨基态氮含量和可溶性无盐固形物分别提升了 7.53% 和 5.18%。

2.1.2 发酵条件

发酵条件的优化对于提高禽血蛋白的转化率和产物质量至关重要。发酵条件包括温度、pH 值、通气量、

搅拌速度等多个方面。例如，在乳酸乳球菌发酵过程中，控制发酵温度在 20~40℃ 范围内，可以获得较好的发酵效果。同时，通过调节 pH 值和添加适量的营养物质，可以进一步提高发酵产物的产量和品质，如表 3 所示。

2.2 禽血蛋白酶解技术

酶水解是从蛋白序列中获取生物活性肽的有效方法。通过添加特定的体外蛋白酶制剂，可以促进血浆中蛋白质多肽的水解释放，提高产品的营养价值和利用率。赵朔等^[31]采用木瓜蛋白酶和中性蛋白酶的复合酶水解鹅血红蛋白，其 TCA 可溶性氮含量可达到 0.930 g/100 mL。刘成梅等^[32]采用中性蛋白酶和风味蛋白酶同步水解鸭血浆蛋白，可提高水解度至 25.85%，生成的小分子血肽成品无异味。

此外，不同蛋白酶的选择和酶解条件（温度、pH 值、时间等）会显著影响终水解产物的活性功能。例如：Yang 等^[33]以鸭血浆蛋白粉为原料优化了鸭血浆制备

水解物的酶解条件, 研究结果表明使用碱性蛋白酶在 65.5 ℃, pH 值 10, 水解 6 h 处理后的产物对 DPPH 的清除率最大, 可达 64.84%。毛筱艺^[21]研究表明木瓜蛋白酶对鸡血血红蛋白的水解效率最高, 酶解鸡血血红蛋白的最佳工艺条件为: 酶解温度 40 ℃、酶解时间 4 h、酶用量 8 869.45 u·g⁻¹, 得到的鸡血蛋白水解物的 DPPH 自由基清除活性为 67.34%。除此之外, 杨雁如等^[34]还通过单因素及响应面试验制备具有亚铁螯合能力的鸭血酶解产物, 结果表明使用碱性蛋白酶酶解鸭血的最佳工艺为: 酶添加量 9 800 U·g⁻¹, 酶解温度 50 ℃, pH 值 11, 酶解时间 2 h, 此条件下亚铁螯合率为 65.36%。在此, 对现有部分有关禽血酶解方式、产物目标与生化效果汇总于表 4。

2.3 血红素提取技术

由卟啉和单个亚铁离子结合的铁卟啉类化合物, 是肌红蛋白和血红蛋白的主要活性中心^[43]。血红素是负责氧的代谢和转移、电子转移和次生代谢等生理活动的重要分子, 在医药、食品等领域具有广泛的应用价值。

在制药行业中, 血红素不仅可做半合成胆红素原料, 还可制备抗癌药。临床上血红素作为补铁剂, 是一种良好的抗贫血药物, 治疗缺铁性贫血^[44]。在食品行业, 血红素作为一种天然色素, 可有效替代传统熟肉制品加工过程中使用的亚硝酸盐类发色剂及人工合成色素, 其应用不仅能够赋予肉制品良好的色泽特性, 提升产品感官品质, 还可降低亚硝酸盐的致癌风险^[45]。

表 3 不同禽血蛋白的发酵条件
Table 3 Fermentation conditions of different avian blood proteins

发酵原料	发酵条件	优化方法	产物得率	参考文献
鸡血血红蛋白	黑曲霉接种量 9%, 装液量 30 mL/250 mL, 30 ℃, 发酵时间 7 d。	正交实验	血红蛋白降解率从 28.2% 提高至 46.8%。	[27]
鸡血血红蛋白	米曲霉接种量 7.9%, 30.2 ℃, pH 值 7.01, 装液量 61 mL。	响应面法	多肽得率从 1.85 mg·mL ⁻¹ 提高至 2.18 mg·mL ⁻¹ 。	[28]
鸡血球蛋白粉	木瓜蛋白酶添加量 0.21%, 料水比 0.8 mL·g ⁻¹ , 38.5 ℃。	响应面法	可溶性氮释放率达到 12.77%。	[29]
全血粉	纳豆芽孢杆菌接种量 6.6%, 36.6 ℃, 202 r·min ⁻¹ 。	响应面法	水解度>29%; 可溶性氮 4.24 g·L ⁻¹ ; 游离氨基酸 1.09 g·L ⁻¹ 。	[30]

表4 不同禽血蛋白的酶解生物利用
Table 4 Enzymatic hydrolysis of different avian blood proteins

物种	原料类型	酶解方式	酶解效果	参考文献
鸡	鸡血细胞	木瓜蛋白酶、风味蛋白酶复配	自由基清除活性 94.99 %、得多新的抗氧化肽。	[35]
鸭	鸭血浆	碱性蛋白酶	酶解产物具有较高的水解度 (30.15%), ACE 抑制率: 58.63%。	[36]
鸭	90 ℃鸭全血	中性蛋白酶	蛋白质回收率 60.28%, 水解度 9.53%, ACE 抑制率 70.24%。	[37]
鸭	鸭红细胞	中性蛋白酶和风味蛋白酶混合酶解	水解度达到 31.41%, 水解产物含有丰富的小肽 (<3 kDa, 68.14%), 自由基清除活性 IC ₅₀ 为 4.16 mg·mL ⁻¹ 。	[38]
鹅	鹅血红蛋白	超声波辅助木瓜蛋白酶酶解	水解度为 7.93%、TCA 氮溶解指数为 89.23%。	[39]
鹅	鹅全血	碱性蛋白酶	水解度为 14.36%, 水解液中血红素的含量为 1.210 mg·mL ⁻¹ , 铁离子的含量为 90.42 μg·mL ⁻¹ 。	[40]
鸽	鸽血红蛋白	木瓜蛋白酶和复合蛋白酶复配 (2:1)	水解度为 18.41%, 血液中血红素铁提取量达到 95.43 μg·mL ⁻¹ 。	[41]
鸿雁	雁血蛋白干粉	复合蛋白酶 (中性蛋白酶: 碱性蛋白酶: 木瓜蛋白酶=1:1:1)	水解度为 29.9%, 雁血蛋白酶解后分子量主要分布在 10 kDa。	[42]

表 5 血红素提取方法比较
Table 5 Comparison of hemoglobin extraction methods

	方法	试剂	毒性	优缺点	提取效率	参考文献
化学 提取	冰醋酸法	冰醋酸、氯化钠	无毒	生产简单、速度快 提取温度高(100~105 ℃)、 溶剂回收利用率低、成本高	较低	[48-52]
	酸性丙酮法	醋酸钠、丙酮	有毒	提取纯度高; 有机物污染风险, 操作危险	较低	
	碱性丙酮法	丙酮、碱性试剂	有毒	提取纯度高、成本低; 生产周期长、 提取条件严格	较高, 可工业 化生产	
	羧甲基纤维素法 (CMC)	羧甲基纤维素、 酸性试剂	无毒	产品稳定性较好、生产成本低; 血红素纯度不高	较高, 可工业 化生产	
	羧甲基纤维素法 (CMC)	羧甲基纤维素、 酸性试剂	无毒	产品稳定性较好、生产成本低; 血红素纯度不高	较高, 可工业 化生产	
	醇法	甲醇、乙醇	有毒	产品纯度高、试剂可回收利用; 分离选择性差	一般	
	表面活性剂法	盐酸、两性表面 活性剂	无毒	条件温和、适用性广; 成本高	较低	
	十六烷基三甲基溴化铵法 (CTMAB)	CTMAB	有毒	工艺简单、成本低; 提取条件严格	可工业化生产	
生物 提取	酶法	蛋白酶	无毒	反应条件温和、能源消耗少、工艺流程简单; 产物纯度较低	高	

当前针对动物血液中血红素的提取技术研究，主要集中在猪、羊、牛等哺乳类家畜，而禽血血红素的提取研究则以鹅和鸭为主。目前国内外比较常见的且工艺成熟的血红素提取方法有：化学法（有机溶剂法：冰醋酸法和丙酮法、羧甲基纤维素法、十六烷基三甲基溴化铵法、表面活性剂法等）、生物法（酶解法）（表 5），以及一些物理辅助的联用技术。张晋等^[46]以牦牛血粉为原料，采用辅助酶法（风味酶）从牦牛血粉中提取氯化血红素，当超声 4 h、超声功率 800 W、酶 / 底物浓度 17 U·mg⁻¹ 的条件下，氯化血红素提取纯度达 14.89%（净含量占比），提取得率达 63.3%。与普通酶解提取工艺相比，超声波辅助酶解提取得率和纯度分别提高 1.29 倍和 1.07 倍。代文婷等^[47]以马血为原料，采用超声波结合 CMC-Na 提取血红素，当超声功率 338 W，超声 10 min，pH 值 5.5，去离子水与红细胞按 5:1（V/V）比例混合的条件下，血红素提取率达到最大值 0.42 g/50 mL。在实际生产中往往根据不同加工需求（成本、得率、纯度、食品安全）来选择合适的方法，同时也要考虑到环保压力。

3 禽血蛋白的加工应用

目前禽血蛋白的加工产品主要包括全血蛋白粉、血浆 / 血球蛋白粉以及生物活性肽等，它们在食品、饲料、医药等领域具有广泛的应用与消费场景。

3.1 饲料领域

家禽血液因其高蛋白、氨基酸比重、矿物元素丰

富、功能活性等优点，常作为饲料组分应用于畜禽业和水产养殖，可部分替代植物或动物蛋白来源^[53]。特别是禽血中高含量的赖氨酸使其在饲料中可有效替代饼粕类或鱼粉，从而增加全价饲料中限制性氨基酸的含量^[54]。王剑桥等^[55]利用水解鸡血珠蛋白替代 10% 的鱼粉对罗氏沼虾存活率无显著影响，且有利于增加鱼肉中蛋白质和氨基酸的含量。岳茹等^[56]采用酶解鸡血红蛋白粉替代 1.5% 鱼粉，可增强卵形鲳鲅幼鱼的免疫力，具有降血糖和血脂作用，并改善其肠道菌群结构。Li 等^[57]研究发现饲料中添加鸡血浆蛋白粉，有效提高了断奶仔猪的生产性能和体内消化酶的活性。在生物安全性方面，用家禽血蛋白粉替代鱼粉饲养所出现的重金属残留率更低^[13]。

3.2 食品领域

在欧洲和亚洲许多国家，家禽血液已被广泛制作为血豆腐、血凝乳、血肠或血酱等传统食品^[58]。禽血蛋白尤其是血浆蛋白，因其优良的成胶性，常用作食品中的胶凝剂和稳定剂。例如，鸡血浆蛋白具有良好的乳化、发泡和热定型性能^[10]，可作为食品中的脂肪替代品，特别适用低脂肉制品、乳液型香肠的生产^[59]。此外，从禽血中提取的纤维蛋白原和凝血酶可用作肉类黏合剂制造重组肉制品^[60]。经改性处理后的血红蛋白还能代替亚硝酸盐用于肉制品加工中，使肉品保持鲜亮色泽，同时更安全健康^[61]。

禽血蛋白除了可以调节改善食品口感和质地，还可以加工成为食品调味和增香剂。田琦茹^[62]用鸡血低

盐固态发酵酿造出来的酱油风味独特, 品质优良。罗斌等^[63]结合微胶囊技术将鸭血肽微胶囊化制备鸭血香精, 实现了鸭血香精的包埋及缓释。乐慧等^[64]通过酶解处理鸡血蛋白制备肉味香精, 提高鸡血在调味品领域的附加值。

3.3 生物医药领域

家禽血液中含有大量的酶、激素、活性肽等, 可发挥不同类型的生物功效, 参与心血管、三高慢病等的干预或调控环节^[65]。到目前为止, 血红蛋白肽已广泛应用于医药领域。如扬州生化制药厂以血红素为原料生产荧光注射剂, 注射后能与癌细胞靶位点产生荧光反应, 继而用激光杀死癌细胞^[66]。现已被用于治疗膀胱癌、黑色素瘤、肝癌等疾病, 取得良好的临床治疗效果^[67]。此外, 以禽血资源制备氯化血红素胶囊作为铁补充剂, 具有良好的应用潜力^[19]。秦春青^[50]将鹅血水解液喷雾干燥制成微胶囊, 该产品中血红素含量 9.15%, 铁含量 $0.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。林晓楠^[68]采用碱性蛋白酶和风味蛋白酶酶解鸡血红蛋白, 将酶解液超滤后冷冻干燥制成亚铁血红素微胶囊, 所得产品亚铁血红素含量为 $13.73 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

3.4 其他领域

在通过发酵等一些预处理及提炼后, 禽血也可成为沼气、有机肥等清洁能源的潜在原料^[69]。Nazif 等^[70]计算不同来源的动物血(猪血、羊血、家禽血等)进行厌氧发酵后理论甲烷产量分别为: 0.518 、 0.446 、 $0.512 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。Wang^[71]估计, 每天屠宰 20 万只家禽产生的家禽血液和家禽加工废水以 1:3 (V/V) 的比例进行厌氧发酵后将产生 146.2 m^3 甲烷。梁肖娜^[72]采用新鲜鸡血为原料发酵成为液体肥并施用小白菜, 结果表明其与清水组相比, 可降低亚硝酸盐含量约 40.15%, Vc 含量增加 28.11%, 小白菜幼苗生长和品质有明显提升。

4 禽血蛋白加工发展趋势

随着生物技术的提高和产品标准要求的提升, 禽血蛋白加工将逐渐走向精细化, 可以通过不同的加工技术, 凸显风味特征, 继续扩大禽血蛋白的应用范围。如前所述, 目前基于禽血及禽血蛋白开发的产品种类较少, 以血豆腐、血肠、血粉等^[73]传统形式为主。深加工领域, 禽血原料所制备的食品添加剂、血红素铁等有一定的产量, 但围绕生物活性的研究多数停留在实验室阶段, 较少有落地转化。虽然禽血蛋白具有较高的营养价值和潜在的高附加值, 但禽血的利用仍不

够充分。全世界每年在屠宰场可收集 958 万 t 禽血, 只有约 30% 被用于加工。目前禽血原料的采集极易污染, 难以保存, 净化成本高、周期长, 难以满足工业化需求这也是禽血加工利用率较低的原因之一。使用家禽血除了卫生安全问题, 还受到了颜色和风味的限制, 禽血蛋白在加工过程中因颜色不稳定导致产品质量较差。对此, 在未来食品及交叉领域, 禽血蛋白的产业化进程需要聚焦(不限于)以下几个方面:

(1) 禽血清洁收集标准化: 需要建立家禽屠宰过程血液收集的标准操作规程, 以及产品监管制度。其次, 在采集过程中, 需采用无菌操作技术, 避免环境微生物污染。通过专门的禽血处理站, 配备现代化的采集、净化、储运、检测设备, 确保禽血蛋白原料的卫生质量。

(2) 禽血蛋白的深度解析与功能挖掘: 建立不同家禽血液的全蛋白谱, 定量主体与微量蛋白组分, 根据序列、结构等信息比对预测蛋白功能, 开发提纯工艺并作活性验证; 结合软件模拟预测(如酶解、定量构效关系)和构建机器/深度学习模型, 以期为不同类型禽血蛋白的加工适宜性铺垫理论基础。进而, 通过现代生物技术手段, 加大禽血蛋白及其衍生物在功能性食品、生物医药版块的应用渗透。例如, 禽血蛋白活性肽作为食品基料在代餐、特医特膳或保健食品中的使用; 通过化学改性、交联等方法制备成生物材料(生物膜、生物支架等), 用于组织工程、伤口敷料等领域; 也可以考虑利用血红蛋白的生物相容性, 开发靶向药物递送系统; 利用血浆蛋白中的功能蛋白(免疫球蛋白、酶类等), 加以改性处理(修饰、稳态化等), 开发低副作用或低致敏力的临床药物或免疫强化剂。

(3) 适用于禽血蛋白发酵的(新)菌种分离与发酵工艺摸索: 目前用于禽血蛋白发酵的菌种主要集中在米曲霉、黑曲霉和青霉菌属等少数几种, 一定程度限制了禽血蛋白发酵工艺的优化和产品品质的进一步提升。因此, 可继续从动物肠道、土壤等复杂环境中筛选更多高效降解和利用禽血蛋白的菌种^[74,75], 又可通过基因工程对现有菌种进行改造。为丰富发酵风味轮廓和平衡营养性, 可以采用多菌种混合协同发酵, 或动植物原料(如: 大豆与禽血蛋白搭配)混合发酵的方法。通过风味组学和多肽组学等高通量检测手段, 深度解析血蛋白发酵后产物的组分, 寻找特征风味代谢物, 并通过新型的 AI 软件计算预测关键风味物质的前体来源, 为混合协同发酵的特征凸显(例如: 鲜味、咸味、肉香味等), 进一步在原料的选择等方面优化工艺策略。

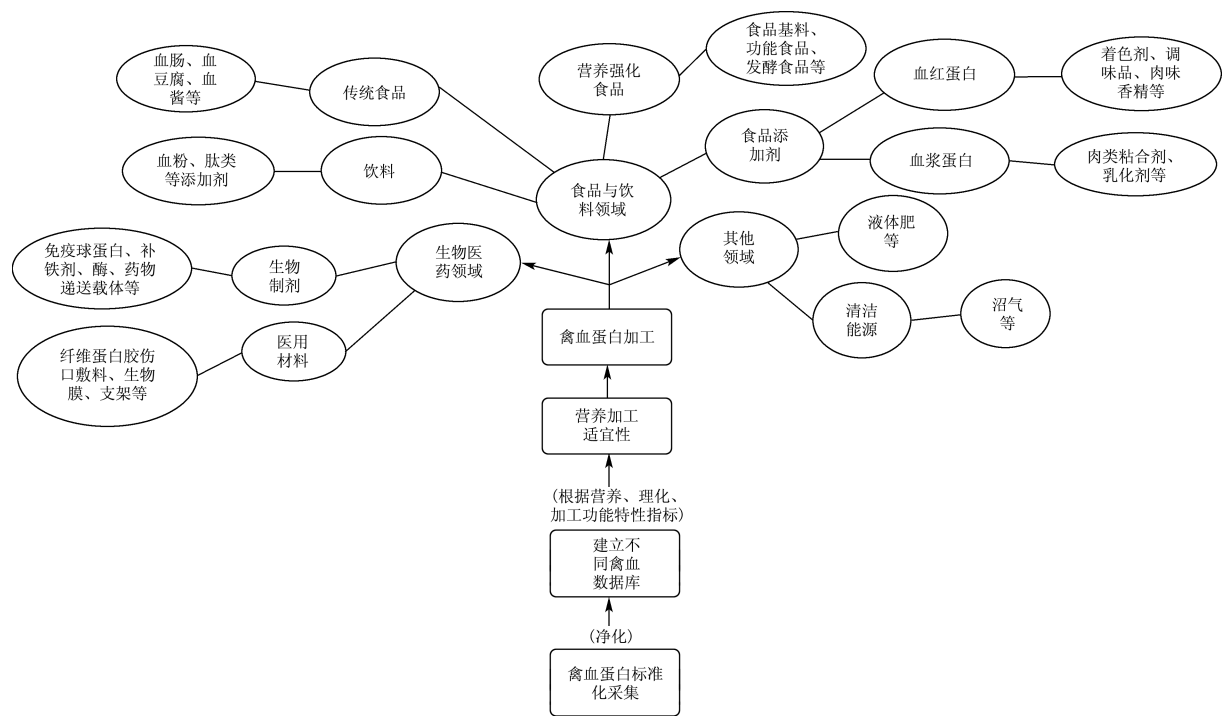


图 4 禽血蛋白的加工链条与综合利用产业领域

Fig.4 Processing chain and comprehensive utilization of avian blood protein in the future industrial fields

（4）禽血红蛋白脱色技术：禽血红蛋白具有优异的加工性能和营养价值，可添加入不同的食品中（如灌肠等肉制品），但因血红素在加热过程中氧化褐变影响产品的外观，限制了其应用。目前基于酶水解、有机溶剂提取和化学氧化（添加氧化剂）等脱色技术在效率和环保性存在一定的局限性。在未来需要开发更高效和绿色的脱色技术，研究重点转向复合酶系协同作用（如蛋白酶与氧化酶的联合应用）可提高脱色效率并减少化学试剂的使用。还可结合超声波辅助脱色、高压脉冲电场技术、纳米材料吸附和膜分离技术，定向截留或去除血红素基团实现精准脱色。

5 结语

禽血蛋白作为一种营养丰富、可循环持续且经济层面可行的蛋白质来源，展现出广阔的应用前景。禽血蛋白的广泛收集，能够有效增加动物源性蛋白原料供给，是解决国内优质蛋白和功能蛋白匮乏的有效途径，为养殖、食品、医药等行业的稳健发展提供保障。随着产业链的完善，以及无害提取、深加工转化、生物利用等技术和装备水平的提高，禽血蛋白的经济价值和促健康效应将愈发显现，成为生物制造等未来产业的重要组成部分。

参考文献

[1] 辛翔飞,郑麦青,文杰,等.2023年我国肉鸡产业形势分析、未来

展望与对策建议[J].中国畜牧杂志,2024,60(3):312-317.

[2] WONGNGAM W, MITANI T, KATAYAMA S, et al. Production and characterization of chicken blood hydrolysate with antihypertensive properties [J]. Poultry Science, 2020, 99(10): 5163-5174.

[3] 侯水生,刘灵芝.2024年水禽产业与技术发展报告[J].中国畜牧杂志,2025,61(3):383-387.

[4] BERRAQUERO-GARCÍA C, ALMÉCIJA M C, GUADIX E M, et al. Valorisation of blood protein from livestock to produce haem iron-fortified hydrolysates with antioxidant activity [J]. Food Research International, 2022, 57(4): 2479-2486.

[5] ZBRUN M, ALTINA, BONANSEA E, et al. Identification of lactic acid bacteria with bio-preservative potential isolated from contaminated avian blood obtained at the slaughterhouse [J]. Austral Journal of Veterinary Sciences, 2013, 45(3) :273-282.

[6] ÁLVAREZ-CASTILLO E, FELIX M, BENGOCHEA C, et al. Proteins from agri-food industrial biowastes or co-products and their applications as green materials[J]. Foods, 2021, 10(5): 981.

[7] 张莺莺,王洪洋,涂尾龙,等.9种畜禽血液的氨基酸组成和蛋白质营养分析[J].江苏农业科学,2021,49(5):150-158.

[8] SORAPUKDEE S, NARUNATSOPANON S, JIRAPAKDEE J, et al. Comparative study on compositions and functional properties of porcine, chicken and duck blood [J]. Food Science and Technology International, 2017, 37(2): 228-236.

[9] LYNCH A S, MULLEN M A, O’ NEILL E, et al. Harnessing the potential of blood proteins as functional ingredients: A Review of the State of the Art in Blood Processing [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(2): 330-344. .

[10] 吴文锦,汪兰,孙静,等.鸡血血红蛋白酶法提取血红素工艺优化[J].食品研究与开发,2021,42(9):90-96.

[11] 黄承钰,张恕生.六种动物血的铁和蛋白质含量 [J].营养学

- 报,1984,2:183-184.
- [12] 张莺莺,戴建军,林月霞,等.湖羊和崇明白山羊血液营养成分分析与蛋白质营养价值评价[J].上海畜牧兽医通讯,2021,5:7-14.
- [13] FUERNISS H F, GIFFORD C L, MORTENSEN E G, et al. Nutrient analysis of raw united states beef offal items [J]. *Nutrients*, 2024, 16(18): 3104.
- [14] 郑召君,张日俊.畜禽血液的开发与研究进展[J].饲料工业,2014,35(17):65-70.
- [15] ZOU Y, LU F, YANG B, et al. Effect of ultrasound-assisted konjac glucomannan treatment on properties of chicken plasma protein gelation [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 80: 105821.
- [16] PARÉS D, TOLDRÀ M, SAGUER E, et al. Scale-up of the process to obtain functional ingredients based on plasma protein concentrates from porcine blood [J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 304-310.
- [17] LAO S P, LUASIRI P, NAKHARUTHAI C, et al. Enzymatic hydrolysis of duck blood protein produces stable bioactive peptides: Pilot-scale production, identification, and stability during gastrointestinal and plasma digestion [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 283(P3): 137864.
- [18] WONGNGAM W, ROYTRAKUL S, MITANI T, et al. Isolation, identification, and *in vivo* evaluation of the novel antihypertensive peptide, VSKRLNGDA, derived from chicken blood cells [J]. *Process Biochemistry*, 2022, 115: 169-177.
- [19] YANG J, HUANG J, DONG X, et al. Purification and identification of antioxidant peptides from duck plasma proteins [J]. *Food Chemistry*, 2020, 319(prepublish): 126534.
- [20] ZHENG Z, SI D, AHMAD B, et al. A novel antioxidative peptide derived from chicken blood corpuscle hydrolysate [J]. *Food Research International*, 2018, 106: 410-419.
- [21] 毛筱艺.鸡血源抗氧化肽的分离纯化及其体外消化产物的研究[D].银川:宁夏大学,2022.
- [22] YEYE D, SHUANG Z, RAN W, et al. Isolation and identification of anti-inflammatory peptide from goose blood hydrolysate to ameliorate lps-mediated inflammation and oxidative stress in raw264.7 macrophages [J]. *Molecules*, 2022, 27(24): 8816.
- [23] 张滨,马永忠,唐道邦,等.畜禽血的微生物降解技术和综合利用[J].肉类研究,2003,2:44-47.
- [24] 梁肖娜,叶青,吴尚,等.发酵鸡血中优良菌株的筛选与鉴定[J].食品研究与开发,2018,39(5):165-170.
- [25] 孙永才,孙京新,王宝维,等.纳地青霉发酵鸭血食用品质的变化[J].食品工业科技,2018,39(10):154-158.
- [26] 刘天.鸭血酱油的工艺研究[D].南昌:南昌大学,2024.
- [27] 张炫,唐道邦,陈之瑶,等.黑曲霉发酵鸡血血红蛋白工艺条件的优化[J].食品与发酵工业,2015,41(8):140-145.
- [28] 张炫,程镜蓉,唐道邦,等.米曲霉发酵鸡血血红蛋白制备小分子肽条件的优化[J].食品科学技术学报,2017,35(1):50-58.
- [29] 张慧萍,孙逢雪,王利华.基于Box-Behnken响应面法优化血粉菌酶混合发酵条件的研究[J].饲料研究,2024,47(22):95-98.
- [30] 潘春梅,李彦红,袁丽娟.纳豆芽孢杆菌发酵制备高蛋白微生态血粉的研究[J].中国饲料,2015,9:26-29.
- [31] 赵翔,于长青,谢宁.酶法水解鹅血蛋白工艺参数研究[J].食品工业科技,2007,5:146-148.
- [32] 刘成梅,吴宇,钟业俊,等.鸭血小分子肽同步酶解工艺的优化[J].食品科学,2010,31(10):151-154.
- [33] YANG J, HUANG J, ZHU Z, et al. Investigation of optimal conditions for production of antioxidant peptides from duck blood plasma: response surface methodology [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(12): 7159-7168.
- [34] 杨雁如,刘洋,孙杨赢,等.鸭血酶解产物亚铁螯合能力的研究及酶解物的组分分析[J].食品工业科技,2020,41(19):179-185.
- [35] ZHENG Z, SI D, AHMAD B, et al. A novel antioxidative peptide derived from chicken blood corpuscle hydrolysate [J]. *Food Research International*, 2018, 111: 345-352.
- [36] 郭昊宇.番鸭血浆蛋白酶解产物ACE抑制特性研究[D].南京:南京农业大学,2022.
- [37] LAOSAM P, LUASIRI P, NAKHARUTHAI C, et al. Enzymatic hydrolysis of duck blood protein produces stable bioactive peptides: Pilot-scale production, identification, and stability during gastrointestinal and plasma digestion [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 283: 137864.
- [38] ZHENG Z, WEI X, SHANG T, et al. Bioconversion of duck blood cell: process optimization of hydrolytic conditions and peptide hydrolysate characterization [J]. *BMC Biotechnology*, 2018, 18(1): 67.
- [39] 贾伟,武关,赵丽娟,等.超声辅助处理促进鹅血蛋白酶解效果的研究[J].食品科技,2015,40(3):166-169.
- [40] 秦春青,黄可,李本姣,等.酶解鹅血制备高氨基酸血红素[J].食品工业科技,2016,37(12):172-177.
- [41] 张远红,张伟嘉,李滢,等.酶解提取肉鸽血液中血红素铁的工艺优化[J].肉类研究,2024,38(4):17-22.
- [42] 王铮.向海鸿雁血肽的制备及其免疫活性研究[D].长春:长春工业大学,2020.
- [43] ZHAO X, ZHOU J, DU G, et al. Recent advances in the Microbial Synthesis of Hemoglobin [J]. *Trends in Biotechnology*, 2021, 39(3): 286-297.
- [44] GENG L, DUAN X, WANG Y, et al. Quantum dots-hemin: Preparation and application in the absorption of heme iron [J]. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 2016, 12(7): 1747-1755.
- [45] 郭晓东.牦牛血液提纯氯化血红素工艺优化及产业化研究[D].兰州:兰州理工大学,2022.
- [46] 张晋,吴晓丽,田雨薇,等.超声波辅助酶解牦牛血粉提取氯化血红素的响应面工艺优化及品质表征[J].浙江农业学报,2024, 36(6):1357-1367.
- [47] 代文婷,陶永霞,杨海燕,等.超声波结合CMC-Na对马血中血红素提取工艺效果影响[J].食品工业科技,2014,35(13):257-261.
- [48] 韩晴,王维婷,杜鹏飞,等.畜禽血液中血红素的提取、检测及应用[J].黑龙江畜牧兽医,2023,16:28-34.
- [49] 杨海,唐章勇,张革,等.十六烷基三甲基溴化铵制备高纯度血红素[J].华西药理学杂志,2018,33(1):49-51.
- [50] 秦春青.酶解鹅血提取血红素及其补铁效果和微胶囊化的研究[D].重庆:西南大学,2017.
- [51] 马素敏.利用猪血制备血红素肽和原卟啉二钠工艺研究[D].武汉:华中农业大学,2018.
- [52] 闫文杰,李兴民.动物血液主要功能成分制备及应用研究进展[J].食品研究与开发,2018,39(16):215-219.

- [53] 北京澳龙港生物技术研究中心.一种功能性肽蛋白粉及其制备方法和应用:中国,201310327342.X[P].2016-09-28.
- [54] 姜大丽,李治国,姜永杰,等.血粉的营养价值及其在饲料中的应用[J].广东饲料,2021,30(7):39-43.
- [55] 王剑桥,纪鹏,施雨露,等.水解鸡血珠蛋白部分替代鱼粉对罗氏沼虾生长、体组成和消化酶活性的影响[J].淡水渔业,2020,50(2):100-106.
- [56] 岳茹,黄小林,谭小红,等.酶解鸡血珠蛋白粉替代鱼粉对卵形鲳鲹幼鱼生长性能、抗氧化能力、免疫力及肠道菌群的影响[J].动物营养学报,2023,35(3):1910-1925.
- [57] LI Z, YANG Z, LING S, et al. Differential responses of weaned piglets to supplemental porcine or chicken plasma in diets without inclusion of antibiotics and zinc oxide [J]. Animal Nutrition, 2021, 7(4): 1173-1181.
- [58] HAN F, AHETO J H, RASHED M M A, et al. Machine-learning assisted modelling of multiple elements for authenticating edible animal blood food [J]. Food Chemistry: X, 2022, 14: 100280.
- [59] BAH C S, BEKHIT A E D A, CARNE A, et al. Slaughterhouse blood: an emerging source of bioactive compounds [J]. Meat Science, 2013, 12(3): 314-331.
- [60] TOLDRÁ F, ARISTOY M C, MORA L, et al. Innovations in value-addition of edible meat by-products [J]. Meat Science, 2012, 92(3): 290-296.
- [61] ZHOU A, CHEN H, ZOU Y, et al. Insight into the mechanism of optimal low-level pressure coupled with heat treatment to improve the gel properties of *Nemipterus virgatus* surimi combined with water migration [J]. Food Research International, 2022, 157: 111230.
- [62] 田琦茹.鸡血低盐固态发酵酱油酿造工艺研究[D].南昌:南昌大学,2023.
- [63] 罗斌,谢作桦,邱波.鸭血肉味香精微胶囊制备工艺研究[J].江西农业学报,2017,29(12):98-101.
- [64] 乐惠,邹孟琳,马纪园,等.鸡血制备肉味香精前体物酶解工艺的优化[J].中国调味品,2024,49(12):124-131.
- [65] BOSCENCU R, MANDA G, RADULEA N, et al. Studies on the synthesis, photophysical and biological evaluation of some unsymmetrical meso-tetrasubstituted phenyl porphyrins [J]. Molecules, 2017, 22(11): 1815.
- [66] AZMI Y. Heme-regulated inhibitor: an overlooked eIF2 α kinase in cancer investigations [J]. Medical Oncology, 2022, 39(7): 73-73.
- [67] CHANDIMALI N, BAK S G, HYUN P E, et al. Bioactive peptides derived from duck products and by-products as functional food ingredients [J]. Journal of Functional Foods, 2024, 113: 105953.
- [68] 林晓楠.亚铁血红素寡肽的制备及其微胶囊化[D].广州:华南农业大学,2018.
- [69] 滨州市京阳生物肥业有限公司.利用畜禽血液制备液体有机水溶肥料的系统及工艺:中国,202111359099.0[P].2022-01-04.
- [70] NAZIFA T H, SAADY N M C, BAZAN C, et al. Anaerobic digestion of blood from slaughtered livestock: A review [J]. Bioresource Technology, 2021, 14(18): 5666.
- [71] WANG S. Anaerobic digestion of poultry processing wastes for bioenergy and nutrients recovery [D]. University of Georgia Athens, GA, USA, 2015.
- [72] 梁肖娜.鸡血发酵液体肥料的制备及肥效研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [73] 王玲.畜禽血液的开发利用与研究进展[J].畜牧兽医杂志,2018,37(5):42-43.
- [74] 合肥工业大学.一种益生菌及其在血红素肽铁制备中的应用:中国,202310569120.2[P].2023-08-22.
- [75] 吉林农业大学.乳酸水解畜禽血液的方法:中国,201510238274.9[P].2018-10-30.