

3 种鸭内脏基本成分及其酶解液体外抗氧化活性 对比分析

郭德斌¹, 邱丽聪¹, 李 军¹, 王 阳², 胡福海¹, 支小强¹, 朱彤晖¹, 李金林^{2*}

(1. 江西煌上煌集团食品股份有限公司, 南昌 330052;

2. 江西师范大学生命科学学院, 国家淡水鱼加工技术研发专业中心, 南昌 330022)

摘 要: **目的** 对比分析鸭心、鸭肠、鸭胗基本成分及酶解产物的理化性质。**方法** 参照国家标准方法测定鸭心、鸭肠、鸭胗的基本成分组成及水解度, 采用 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS]阳离子自由基清除能力和 Fe^{2+} 螯合能力评价 3 种酶解产物的抗氧化能力; 使用超高效液相色谱法与氨基酸测定仪测定鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物的分子质量及其氨基酸组成。**结果** 鸭心、鸭肠、鸭胗的基本成分存在一定的差异, 其中鸭心的蛋白质含量、灰分含量和粗脂肪含量最高, 占比分别为 19.12%、2.35% 和 2.48%。鸭肠水分含量最高, 占比为 86.01%, 粗脂肪含量最低, 占比 0.58%。鸭胗灰分含量最低, 占比 0.76%。鸭胗的水解度最高, 为 10.59%。3 种鸭内脏酶解产物均具有良好的体外 ABTS 阳离子自由基清除能力和 Fe^{2+} 螯合能力, 即具有良好的体外抗氧化能力, 以鸭心酶解产物体外抗氧化能力最好。3 种样品酶解后的肽主要分布在 75~1000 Da。鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物中含有丰富的氨基酸; 3 种酶解产物氨基酸组成中疏水性氨基酸序列占比分别为 31.07%、29.19% 和 29.62%。**结论** 鸭心、鸭肠、鸭胗的基本成分组成存在一定的差异, 鸭心酶解产物体外抗氧化活性最强。本研究可为鸭副产物的综合利用提供理论依据。

关键词: 鸭内脏; 生物活性肽; 抗氧化活性; 分子质量分布; 氨基酸组成

Comparative analysis of basic composition and antioxidant activity *in vitro* of enzymatic hydrolysates of 3 kinds of duck viscera

GUO De-Bin¹, QIU Li-Cong¹, LI Jun¹, WANG Yang², HU Fu-Hai¹, ZHI Xiao-Qiang¹,
ZHU Tong-Hui¹, LI Jin-Lin^{2*}

(1. Jiangxi Huangshanghuang Group Food Co., Ltd., Nanchang 330052, China; 2. National Freshwater Fish Processing Technology Research and Development Center, College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

基金项目: 2020 年南昌市“双百计划”项目(洪科字[2020]137 号)、2021 年江西省技术创新中心项目(20212BCD43006)、2021 年江西省重点研发计划项目(20212BBF61007)、国家自然科学基金项目(32060557)

Fund: Supported by the Nanchang “Double Hundred Plan” Project in 2020 (Hongke Zi [2020] No.137), the Jiangxi Technological Innovation Center in 2021 (20212BCD43006), the Key Research and Development Projects of Jiangxi Province in 2021 (20212BBF61007), and the National Natural Science Foundation of China (32060557)

***通信作者:** 李金林, 博士, 副教授/高级工程师, 硕士生导师, 主要研究方向为水产加工、副产品高值化利用、风味化学研究。E-mail: lijnlin405@126.com

***Corresponding author:** LI Jin-Lin, Ph.D, Associate Professor/Senior Engineer, National Freshwater Fish Processing Technology Research and Development Center, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China. E-mail: lijnlin405@126.com

ABSTRACT: Objective To compare and analyze the physical and chemical properties of basic components and enzymatic hydrolysates of duck heart, duck intestine and duck gizzard. **Methods** The basic composition and hydrolysis degree of duck heart, duck intestine and gizzard were determined according to national standard method, and the antioxidant capacities of the 3 kinds of enzymatic hydrolysates were evaluated using 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt (ABTS) cation radical scavenging abilities and Fe^{2+} chelating abilities; the molecular weight and amino acid composition of enzymolysis drolysates of duck heart, duck intestine and duck gizzard were determined by ultra performance liquid chromatography and amino acid analyzer.

Results There were some differences in the basic composition of duck heart, duck intestine and gizzard, with duck heart having the highest protein content, ash content and crude fat content, accounting for 19.12%, 2.35% and 2.48%, respectively. Duck intestine had the highest moisture content with 86.01% and the lowest crude fat content with 0.58%. Duck gizzard had the lowest ash content with 0.76%. The highest degree of hydrolysis was found in duck gizzard with 10.59%. The 3 kinds of enzymatic hydrolysates of duck viscera all had good ABTS cation radical scavenging abilities of and Fe^{2+} chelating abilities of *in vitro*, in other words, the 3 kinds of enzymatic hydrolysates of duck viscera duck all had the good antioxidant ability *in vitro*, with duck heart enzymatic hydrolysates exhibiting the strongest antioxidant capacity *in vitro*. The peptides after enzymatic digestion of the 3 kinds of samples were mainly small molecule peptides, with size distribution between 75–1000 Da. The enzymatic digests of duck heart, duck intestine and gizzard were rich in essential amino acids; the percentages of hydrophobic amino acid sequences in the amino acid composition of the 3 kinds of enzymatic hydrolysates were 31.07%, 29.19% and 29.62%, respectively.

Conclusion There are some differences in the basic components of duck heart, duck intestine and duck gizzard. Duck heart enzymatic hydrolysates has the strongest antioxidant activity *in vitro*. This study can provide a theoretical basis for the comprehensive utilization of duck by-products.

KEY WORDS: duck viscera; bioactive peptide; antioxidant activity; molecular weight distribution; amino acid composition

0 引言

我国是世界上的产鸭大国与鸭类制品消费大国,鸭类制品历史悠久,种类繁多,如卤鸭、酱板鸭、烤鸭、盐焗鸭等^[1-3]。但鸭内脏如鸭心、鸭肠、鸭胗的加工利用较少,每年都有大量的鸭内脏被直接丢弃,不仅浪费资源、降低鸭的综合利用,还会造成环境污染^[4]。

随着消费水平与科学技术的发展,酶解动物内脏生产具有多种生理活性的生物活性肽已经成为一种有效提高副产物附加值的方法^[5-8]。同时这些生物活性肽还可作为功能性食品和营养保健品的重要开发资源^[9-12]。SHAFIEE 等^[13]通过响应面法优化水解鳟鱼内脏的条件,制备具有良好抗氧化活性的抗氧化肽;BOUGATEF 等^[14]酶解沙丁鱼内脏,发现其产物具有一定血管紧张素转换酶抑制活性;赵金等^[15]发现鹅肝酶解产物可以预防小鼠酒精性脂肪肝的形成,以上研究表明,酶解动物内脏制备生物活性肽已具有广泛的研究基础。但以上研究多采用响应面法优化单一样品的酶解条件,或者是研究其酶解产物的生理活性。鲜有人研究动物不同内脏在同一酶解条件下得到的生物活性肽在理化性质和生理活性等方面存在的差

异。同时,唐素婷等^[16]发现鸭心可以通过酶解制备具有抗氧化活性的生物活性肽。因此,比较鸭不同内脏的基本成分组成及在单一酶解条件下的酶解产物的抗氧化活性差异具有一定的理论基础和现实意义。

因此,本研究以鸭心、鸭肠、鸭胗 3 种鸭内脏为研究对象,先对其基本成分进行测定,再使用复合蛋白酶和碱性蛋白酶二步酶解的方法对其进行酶解,制备酶解产物,比较酶解产物的体外抗氧化活性,以期为促进鸭内脏的高值化利用提供一定的理论依据和参考价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鸭心、鸭肠、鸭胗由江西煌上煌集团食品股份有限公司提供,鸭品种为红毛麻鸭。

复合蛋白酶(100 U/mg)、碱性蛋白酶(200 U/mg)、羟脯氨酸(131.13 Da)、L-氧化型谷胱甘肽(612.63 Da)、抑肽酶(6511.51 Da)、细胞色素 C (12384 Da)(色谱纯)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS](纯度>95%)(北京索莱宝科技有限公司);石油醚、氯

化铁(分析纯, 天津大茂化学试剂厂); 甲醇、乙腈(色谱纯, 广东西陇化工有限公司); 三氟乙酸、苯酚(分析纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

SKD-800 型自动凯氏定氮仪(上海沛欧分析仪器有限公司); Acclaim PepMap 100 型纳流预柱、Acclaim PepMap RSLC 型纳流分析柱、EASY-nLC 1000 型超高效液相色谱仪[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; L-8900 型氨基酸分析仪(日本 Hitachi 公司); N2000+色谱工作站(杭州赛智科技有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 基本成分分析

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法和 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》分别测定 3 种鸭内脏水分和灰分含量; 参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法和 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法对鸭心、鸭肠、鸭胗的蛋白质和粗脂肪含量进行测定。

1.3.2 鸭内脏酶解产物制备

参照朱敏方^[17]的方法, 选用复合蛋白酶和碱性蛋白酶进行二步酶解, 复合蛋白酶酶解条件为: 料液比为 1:25 (g/mL)、pH 8.0、酶添加量 10000 U/g、酶解温度 50 ℃、酶解时间 3 h; 碱性蛋白酶二步酶解条件为: 料液比为 1:25 (g/mL)、pH 9.0、酶添加量 6000 U/g、酶解温度 50 ℃、酶解时间 2 h。随后将酶解液进行抽滤, 冻干后得到鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物。

1.3.3 水解度测定

根据 GB 5009.235—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定》中的甲醛滴定法, 测定鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物的水解度。

1.3.4 鸭内脏酶解多肽抗氧化能力测定

(1) ABTS 阳离子自由基清除能力

参照 XIE 等^[18]的方法, 计算鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物清除 50% 的 ABTS 阳离子自由基所需样品的质量浓度 (half maximal inhibitory concentration, IC₅₀, mg/mL)。

(2) Fe²⁺螯合能力测定

参照张美玲等^[19]方法, 计算鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物达到 50% 的 Fe²⁺螯合能力所需样品的质量浓度(IC₅₀, mg/mL)。

1.3.5 分子质量分布

参照廖子蔚^[20]的方法稍加修改, 测定条件: 流动相乙

腈:水(40:60, V/V), 加入 0.1%三氟乙酸; 紫外检测波长为 220 nm; 流速: 0.4 mL/min; 柱温: 30 ℃; 进样量: 10 μL;

1.3.6 氨基酸组成分析

依据廖佳瑜等^[21]方法稍加修改, 称量一定样品于 20 mL 安培管中, 加入 10 mL 6 mol/L 盐酸溶液, 加 1 g 苯酚于 110 ℃的烘箱中水解 24 h。水解完成后冷却至室温, 用蒸馏水定容至 50 mL, 混合均匀后取 1 mL 置于干净培养皿中, 60 ℃水浴蒸干后, 加入适量超纯水溶解, 重复蒸干 1~2 次。蒸干后加入 3~5 mL 样品稀释液, 振荡溶解后, 取用一定溶液用 0.22 μm 滤膜过滤后上机测定。

1.3.7 数据处理

所有实验重复 3 次, 数据以平均值±标准偏差表示。显著性差异分析由 SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)进行单因素方差分析法统计分析, $P<0.05$ 为差异显著。采用 Origin 9.1 (OriginLab Corp, USA)作图。

2 结果与分析

2.1 基本成分分析

3 种鸭内脏的基本成分如表 1 所示, 鸭心的基本成分含量与唐素婷^[4]的研究结果基本一致。比较 3 种鸭内脏基本成分, 鸭心的水分含量较低, 但蛋白含量最高, 说明其是挖掘潜在功能肽较为理想的廉价原料。另外, 鸭心的灰分含量也显著高于鸭肠和鸭胗。值得注意的是, 鸭心中粗脂肪含量亦为最高, 是鸭肠和鸭胗的 4~5 倍, 进一步表明鸭心是鸭油的主要来源之一。

2.2 水解度分析

鸭心、鸭肠、鸭胗的水解度分别为 5.91%、6.54%和 10.59%, 其中鸭胗水解度显著高于鸭心和鸭肠($P<0.05$), 而鸭心、鸭肠的水解度不存在显著性差异($P>0.05$), 不同内脏水解度的差异可能来自于蛋白质结构、肽段的种类、游离氨基酸的含量及酶与底物的亲和力等^[4]。其中鸭胗的水解度最高, 鸭心的水解度最低, 说明鸭胗经复合蛋白酶与碱性蛋白酶二步酶解的酶解效果较好, 而鸭心的酶解效果较差, 这可能是由于鸭心粗脂肪含量较高, 在一定程度上抑制了鸭心蛋白的水解^[22]。样品蛋白质含量越高, 其水解度往往也越大, 而鸭肠中蛋白质含量较低, 可能是导致其水解度较低的原因^[23]。

表 1 3 种鸭内脏的基本成分(湿重, n=3)
Table 1 Basic compositions of 3 kinds of duck viscera (wet weight, n=3)

鸭内脏	水分含量/%	蛋白质含量/%	灰分含量/%	粗脂肪含量/%
鸭心	73.85±0.45 ^a	19.12±0.61 ^a	2.35±0.06 ^a	2.48±0.21 ^a
鸭肠	86.01±0.60 ^b	7.93±1.22 ^b	1.18±0.30 ^b	0.58±0.02 ^b
鸭胗	72.96±1.08 ^a	17.19±0.31 ^c	0.76±0.16 ^c	0.63±0.03 ^b

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 表 2 相同。

2.3 3 种鸭内脏酶解后的抗氧化活性比较

ABTS 阳离子自由基清除能力是评价酶解产物体外抗氧化能力的常用方法之一^[24], 如图 1A 所示, 鸭心、鸭肠、鸭胗均具有良好的 ABTS 阳离子自由基清除能力, 在样品质量浓度为 0~0.625 mg/mL 范围内, ABTS 阳离子自由基清除能力与 3 种鸭内脏酶解产物呈现明显剂量依赖性关系, 3 种鸭内脏 IC_{50} 值分别为 0.26、0.32、0.31 mg/mL, 低于鲢鱼骨胶原多肽($IC_{50}=0.71$ mg/mL)^[25]、罗非鱼皮胶原蛋白($IC_{50}=2.51$ mg/mL)^[26]和乳清蛋白($IC_{50}=0.71$ mg/mL)^[27], 但高于谷胱甘肽($IC_{50}=0.02$ mg/mL)^[17], 这表明鸭内脏的酶解产物具有 ABTS 阳离子自由基清除能力, 其中鸭心酶解产物具有相对较强的抗氧化活性。

多肽具有螯合金属离子的能力, 可以减慢机体脂质系统的氧化速率^[28], 因此 Fe^{2+} 螯合能力可以用来表征酶解产物的抗氧化活性强弱^[29]。酶解产物的 Fe^{2+} 螯合能力

如图 1B 所示, 鸭心、鸭肠、鸭胗的 IC_{50} 值分别 0.60、1.10、1.09 mg/mL, 但低于草鱼鱼肉酶解产物($IC_{50}=2.47$ mg/mL)^[17]。3 种鸭内脏均具有良好的 Fe^{2+} 螯合能力, 且与质量浓度成正比。其中, 鸭肠、鸭胗酶解产物的 Fe^{2+} 螯合能力相差不大, 鸭心酶解产物的 Fe^{2+} 螯合能力最强。

综上所述, 3 种鸭内脏的酶解产物有良好的抗氧化活性, 其中鸭心酶解产物具有最强的抗氧化活性。为探究鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物抗氧化活性差异的原因, 进一步对鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物的分子质量分布及氨基酸组成进行了测定。

2.4 3 种鸭内脏酶解后多肽的分子质量分布

图 2 为 4 种不同分子质量的标准品和 3 种鸭内脏酶解产物的高效液相色谱图, 由图 2A 可绘制相对分子质量校正曲线, 得出方程为: $\lg M_w = 6.5206 - 0.1797T$ ($r^2 = 0.9974$), 计算出酶解产物中多肽的分子质量范围, 详见表 2。

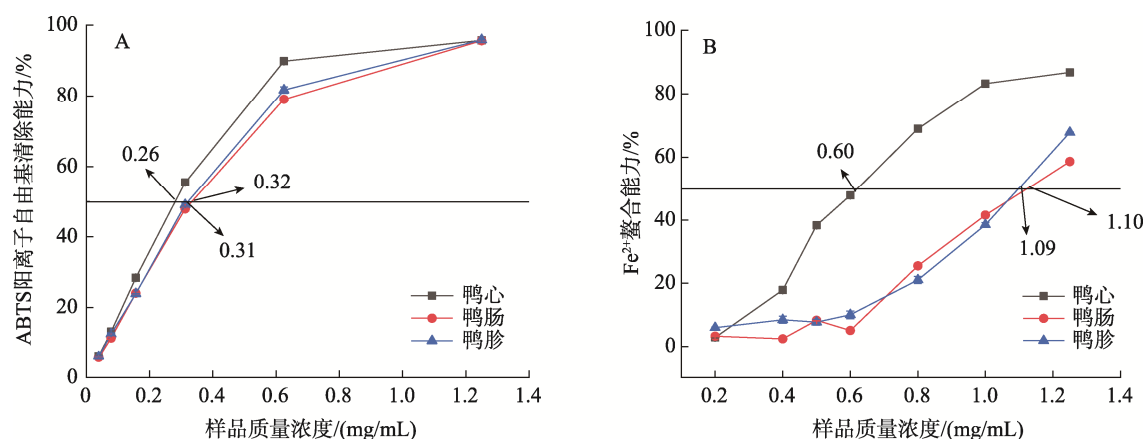
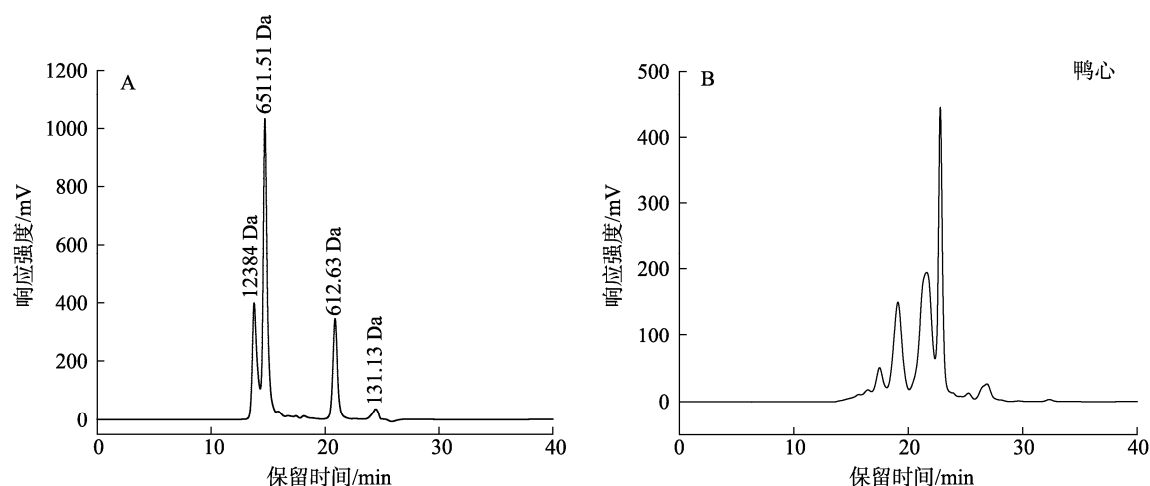


图 1 酶解产物的 ABTS 阳离子自由基清除能力(A)和 Fe^{2+} 螯合能力(B) ($n=3$)

Fig.1 ABTS cation radical scavenging abilities (A) and Fe^{2+} chelating abilities (B) of enzymatic hydrolysis products ($n=3$)



注: 羟脯氨酸(131.13 Da)、L-氧化型谷胱甘肽(612.63 Da)、抑肽酶(6511.51 Da)、细胞色素 C (12384 Da)。

图 2 4 种标准品(A)和 3 种鸭内脏酶解产物(B-D)的高效液相色谱图

Fig.2 High performance liquid chromatograms of 4 kinds of standard substances (A) and 3 kinds of duck viscera enzymatic hydrolysates (B-D)

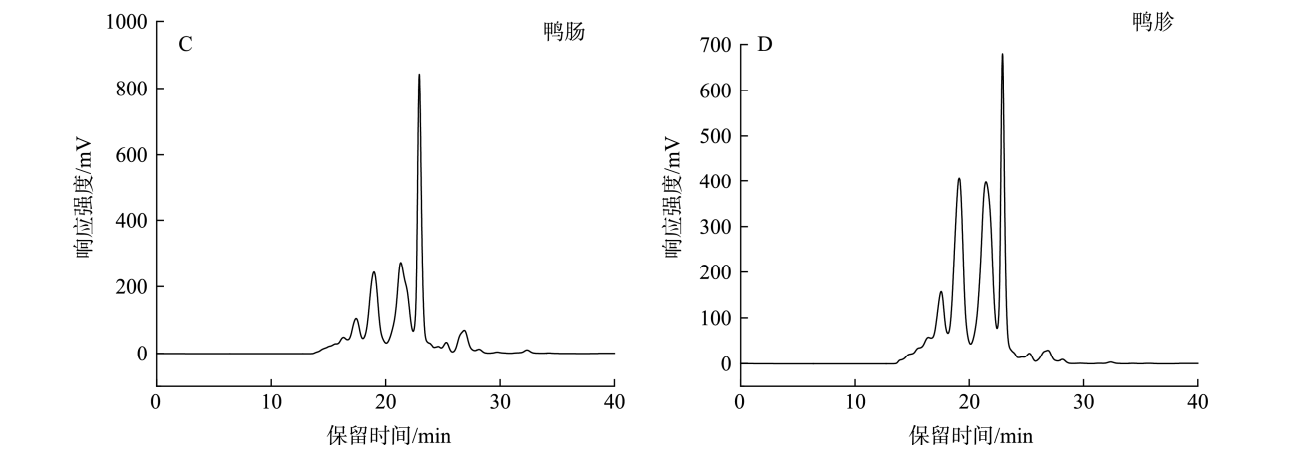


图 2(续) 4 种标准品(A)和 3 种鸭内脏酶解产物(B~D)的高效液相色谱图

Fig.2 High performance liquid chromatogram of 4 kinds of standard substances (A) and 3 kinds of duck viscera enzymatic hydrolysates (B-D)

表 2 3 种鸭内脏酶解产物各组分的分子质量及相对含量(%)						
Table 2 Molecular mass and relative content of each component of the enzymatic hydrolysates of 3 kinds of duck viscera (%)						
样品	分子量分布/Da					
	75~1000	1000~2000	2000~3000	3000~4000	4000~5000	5000 以上
鸭心酶解物	71.00 ^a	19.72 ^a	5.29 ^a	1.69 ^a	0.93 ^a	1.37 ^a
鸭肠酶解物	66.42 ^b	19.81 ^a	6.81 ^a	2.66 ^a	1.66 ^a	2.65 ^a
鸭胗酶解物	59.51 ^c	25.68 ^b	7.97 ^a	2.71 ^a	1.55 ^a	2.58 ^a

3 种鸭内脏的酶解多肽主要是由 5 种不同分子质量的多肽成分组成,酶解多肽分子质量主要集中在 75~2000 Da 之间。3 种鸭内脏酶解主要产生 75~1000 Da 的小分子肽。鸭心酶解产物中 75~1000 Da 多肽占比为 71.00%,3 种鸭内脏酶解后的小分子肽相对含量具有显著性差异,鸭心的小分子肽含量占比最高。相关研究表明,低分子质量的酶解多肽可能与其抗氧化活性有关^[30-31]。本研究的抗氧化活性研究结果也显示,3 种酶解产物均具有良好的抗氧化活性,且鸭心抗氧化活性最强,推测这可能与鸭心小分子肽相对含量最高有关。

2.5 3 种鸭内脏氨基酸组成分析

氨基酸的组成可以影响蛋白质的功能性质,一定程度上决定酶解液的生理活性。由表 3 可知,鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物总氨基酸含量分别为 23.69、26.72、30.21 g/100 g。鸭心和鸭肠酶解产物中含量最高的是精氨酸,鸭胗酶解产物含量最高的是谷氨酸。酶解多肽的抗氧化活性被认为与氨基酸组成中疏水性氨基酸含量有关,MENDIS 等^[32]发现疏水性氨基酸含量高可以有效提高酶解产物的抗氧化能力。鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物的疏水性氨基酸含量分别为 7.36、7.80、8.95 g/100 g,相对含量占比分别为 31.07%、29.19%、29.62%,其中鸭心酶解产物疏水性氨基酸相对含量占比最高,这可能是 3 种酶解产物中鸭心酶解产物体外抗氧化活性最好的原因之一。

表 3 3 种鸭内脏酶解产物的氨基酸组成(n=3)			
Table 3 Amino acid composition of enzymatic hydrolysates of 3 kinds of duck viscera (n=3)			
氨基酸名称	含量/(g/100 g)		
	鸭心	鸭肠	鸭胗
天冬氨酸(Asp)	2.68±0.01 ^a	2.92±0.09 ^b	3.46±0.18 ^c
苏氨酸(Thr)	1.12±0.00 ^a	1.21±0.04 ^a	1.42±0.07 ^b
丝氨酸(Ser)	0.90±0.00 ^a	0.96±0.01 ^b	1.04±0.04 ^c
谷氨酸(Glu)	3.44±0.01 ^a	3.92±0.13 ^b	5.09±0.32 ^c
甘氨酸(Gly)	1.31±0.01 ^a	1.83±0.06 ^b	2.31±0.13 ^c
丙氨酸(Ala [*])	1.85±0.02 ^a	2.00±0.07 ^a	2.42±0.14 ^b
缬氨酸(Val [*])	1.16±0.01 ^a	1.24±0.04 ^a	1.26±0.08 ^a
异亮氨酸(Ile [*])	1.01±0.01 ^a	1.20±0.04 ^b	1.29±0.08 ^b
亮氨酸(Leu [*])	2.20±0.10 ^a	2.21±0.09 ^a	2.66±0.10 ^b
苯丙氨酸(Phe [*])	1.14±0.02 ^a	1.15±0.05 ^a	1.32±0.09 ^b
组氨酸(His)	0.8±0.01 ^a	0.87±0.03 ^a	0.97±0.05 ^b
赖氨酸(Lys)	1.88±0.02 ^a	2.02±0.07 ^a	2.47±0.11 ^b
精氨酸(Arg)	4.21±0.08 ^a	5.18±0.11 ^b	4.5±0.26 ^a
总计	23.69±0.31 ^a	26.72±0.83 ^b	30.21±1.43 ^c

注: *为疏水性氨基酸。

综上所述,鸭心、鸭肠、鸭胗酶解多肽含有丰富的氨基酸,可以作为优质的蛋白质资源,用于酶解开发生物活性肽。同时 3 种鸭内脏酶解产物中高疏水性氨基酸含量占比是影响鸭心、鸭肠、鸭胗酶解产物抗氧化活性的因素之一。

3 结 论

3 种鸭内脏的水分、蛋白质、灰分、粗脂肪含量以及氨基酸组成之间存在一定的差异,其中鸭心的蛋白质含量、灰分含量、粗脂肪含量最高,其酶解产物也具有最强的抗氧化能力。这可能是与鸭心酶解产物含有较高的低分子质量多肽和疏水性氨基酸有关。但本研究仅采用 ABTS 阳离子自由基清除能力和 Fe^{2+} 螯合能力评价 3 种鸭内脏酶解产物的体外抗氧化性强弱,抗氧化能力的评价并不全面,后期亟待采用细胞和动物等实验验证其体内抗氧化能力,同时也需要鉴定出抗氧化肽的序列,以期高值化利用鸭副产物、开发新型抗氧化肽提供理论基础。

参考文献

- 程秋菊. 鸭肝中卵磷脂的分离提取工艺研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- CHEN QJ. Study on the separation and extraction process of lecithin from duck liver [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013.
- 王淑慧. 鸭骨架酶解及其产物制备鸭肉香精的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2013.
- WANG SH. Study on enzymatic digestion of duck skeleton and its products for preparation of duck meat flavors [D]. Ningbo: Ningbo University, 2013.
- ARINA F, SHAHIDAN N, HUDA N, *et al.* Antihypertensive and antiproliferative activities of bioactive peptide from pekin duck feet gelatin hydrolysed by different enzymes [J]. Biosci Res, 2020, 17(S1-1): 11-18.
- 唐素婷. 鸭心酶解工艺优化及其酶解产物特性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
- TANG ST. Optimization of enzymatic hydrolysis process and properties of enzymatic hydrolysis products in duck heart [D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- HU Y, YANG J, HE C, *et al.* Fractionation and purification of antioxidant peptides from abalone viscera by a combination of Sephadex G-15 and toyopearl HW-40F chromatography [J]. Int J Food Sci Technol, 2022, 57(2): 1218-1225.
- FIMBRES-ROMERO MDJ, CABRERA-CHAVEZ F, EZQUERRA-BRAUER JM, *et al.* Utilisation of collagenolytic enzymes from sierra fish (*Scomberomorus sierra*) and jumbo squid (*Dosidicus gigas*) viscera to generate bioactive collagen hydrolysates from jumbo squid muscle [J]. J Food Sci Technol-Mys, 2021, 58(7): 2725-2733.
- MOHANTY U, MAJUMDAR RK, MOHANTY B, *et al.* Influence of the extent of enzymatic hydrolysis on the functional properties of protein hydrolysates from visceral waste of *Labeo rohita* [J]. J Food Sci Technol-Mys, 2021, 58(11): 4349-4358.
- GUO S, WANG J, HE C, *et al.* Preparation and antioxidant activities of polysaccharides obtained from abalone viscera by combination of enzymolysis and multiple separation methods [J]. J Food Sci, 2020, 85(12): 4260-4270.
- 王耀冉, 陈明杰, 李治平, 等. 生物活性肽制备、鉴定及其生物活性研究进展[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 349-354.
- WANG YR, CHEN MJ, LI ZP, *et al.* Research progress on preparation, identification and biological activity of bioactive peptides [J]. Food Ind, 2021, 42(12): 349-354.
- 张耀. 青鱼肉抗肿瘤肽的分离纯化及其抗肿瘤活性研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2021.
- ZHANG Y. Study on the preparation and antitumor activity of peptides from *Mylopharyngodon piceus* muscle [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2021.
- LING L, SLA B, JZA B, *et al.* Safety considerations on food protein-derived bioactive peptides-Science direct [J]. Trends Food Sci Technol, 2020, 96: 199-207.
- 赵婕媛, 李晓云, 黄茜. 亚硫酸钠辅助酶解蛋壳膜制备抗氧化多肽的工艺[J]. 现代食品科技, 2018, 34(9): 143-149.
- ZHAO JY, LI XY, HUANG Q. Preparation of antioxidant peptides from eggshell membrane by sodium sulfite-assisted enzymatic hydrolysis [J]. Mod Food Sci Technol, 2018, 34(9): 143-149.
- SHAFIEE S, GOLI M, KHOSHKOO Z, *et al.* Optimization of hydrolysis conditions (temperature, time, and concentration of alkalase) of rainbow trout viscera using the response surface methodology [J]. J Food Process Preserv, 2021, 45(5): 15456.
- BOUGATEF A, NEDJAR-ARROUME N, RAVALLEC-PLÉ R, *et al.* Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activities of sardinelle (*Sardinella aurita*) by-products protein hydrolysates obtained by treatment with microbial and visceral fish serine proteases [J]. Food Chem, 2008, 111(2): 350-356.
- 赵金, 潘道东, 孙杨赢, 等. 鹅肝酶解物对酒精性脂肪肝的改善作用[J]. 核农学报, 2019, 33(7): 1393-1398.
- ZHAO J, PAN DD, SUN YY, *et al.* Effect of goose liver enzymatic hydrolysate on alcoholic fatty liver in rats [J]. J Nucl Agric Sci, 2019, 33(7): 1393-1398.
- 唐素婷, 母应春, 赵泽伟, 等. 鸭心蛋白酶解条件优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2015, 40(12): 100-106.
- TANG ST, MU YC, ZHAO ZW, *et al.* Optimization of enzymatic hydrolysis of duck heart protein and antioxidant activity of its hydrolysate [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(12): 100-106.
- 朱敏方. 草鱼鱼肉抗氧化肽的制备、分离鉴定及其活性研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2020.
- ZHU MF. Preparation, isolation, identification and activity of antioxidant peptides from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) muscle [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2020.
- XIE X, ZONG CT, ZHAN L, *et al.* Antioxidant activity, α -glucosidase inhibition, and phytochemical fingerprints of *Anoectochilus roxburghii* formula tea residues with HPLC-QTOF-MS/MS [J]. J Food Biochem, 2017.
- 张美玲, 赵新淮. 大豆蛋白水解物的酶法修饰及其亚铁和钙离子的螯合能力[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(12): 26-30.
- ZHANG ML, ZHAO XH. Enzymatic modification of soybean protein

- hydrolysates by plastein reaction and its influence on chelating activities for ferrous and calcium ions [J]. Food Ferment Ind, 2012, 38(12): 26–30.
- [20] 廖子蔚. 胶原多肽的磷酸化改性及其钙螯合物对人成骨细胞增殖、分化的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- LIAO ZW. Phosphorylation modification of collagen peptide and effect of its calcium chelate on proliferation and differentiation of human osteoblasts [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- [21] 缪佳瑜, 林慧敏, 李颖杰, 等. 复合酶解结合膜分离技术制备秘鲁鲑鱼抗氧化肽的研究[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 131–139.
- MIU JY, LIN HM, LI YJ, *et al.* Preparation of antioxidant peptides from *Dosidicus gigas* by combined enzymatic decomposition and membrane separation technique [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(12): 131–139.
- [22] 赵玉红, 孔保华, 张立钢. 脂肪抽提对蛋白水解的影响[J]. 食品工业科技, 2003, (1): 40–42.
- ZHAO YH, KONG BH, ZHANG LG. Effect of extraction on protein hydrolysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2003, (1): 40–42.
- [23] 范蕴莹. 不同种类低值鱼酶解效果的比较及优化[J]. 现代食品科技, 2012, 28(7): 814–818.
- FAN YY. Comparison of enzymatic hydrolysis effect on different kinds of trash fish and the optimization of hydrolysis conditions [J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(7): 814–818.
- [24] 徐文思, 杨祺福, 张梦媛, 等. 两步酶解法制备小龙虾副产物多肽及其抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(24): 147–154.
- XU WS, YANG QF, ZHANG MY, *et al.* Extraction and antioxidant capacity of polypeptides from cray fish by-products by two-step enzymatic hydrolysis [J]. Food Res Dev, 2021, 42(24): 147–154.
- [25] 李军, 罗娟, 涂宗财, 等. 鲢鱼骨胶原多肽的制备及其抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(2): 222–230.
- LI J, LUO J, TU ZC, *et al.* Study on the preparation and antioxidant activity of collagen polypeptide from silver carp bone [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(2): 222–230.
- [26] 盛周煌, 贾盟盟, 朱良. 罗非鱼皮胶原蛋白多肽的体外抗氧化活性[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 274–278.
- SHENG ZH, JIA MM, ZHU L. *In vitro* antioxidant activity of collagen peptides from tilapia skin [J]. Food Sci Technol, 2018, 43(11): 274–278.
- [27] 孙敏, 李诚, 刘爱平, 等. 乳清蛋白抗氧化肽的制备及体外抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(8): 22–27.
- SUN M, LI C, LIU AIP, *et al.* Preparation of antioxidant peptides from whey protein and its *in vitro* antioxidant activity [J]. China Oils Fats, 2019, 44(8): 22–27.
- [28] 胡晓赞, 曾茂茂, 陈洁. 还原型谷胱甘肽和几种常见二肽抗氧化性的比较研究[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 6–10.
- HU XB, ZENG MM, CHEN J. Comparison of antioxidant activities of reduced glutathione and several common dipeptides [J]. Food Sci, 2012, 33(7): 6–10.
- [29] 肖玉娟, 傅奇, 何少贵, 等. 蓝圆鲹多肽亚铁螯合物制备及其抗氧化性[J]. 食品工业, 2020, 41(2): 126–129.
- XIAO YJ, FU Q, HE SG, *et al.* The preparation and antioxidant activity of iron chelating peptides from *Decaperus maruadsi* [J]. Food Ind, 2020, 41(2): 126–129.
- [30] 刘晶, 苗颖, 赵征. 乳清蛋白肽抗氧化活性的研究进展[J]. 中国乳品工业, 2011, 39(4): 31–35.
- LIU J, MIAO Y, ZHAO Z. Research on ant-oxidative capacity of whey protein-derived peptides [J]. China Dairy Ind, 2011, 39(4): 31–35.
- [31] 刘小芳, 颜征, 冷凯良, 等. 南极磷虾多肽的组成及其抗氧化与 ACE 抑制活性[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(23): 7–13.
- LIU XF, YAN Z, LENG KL, *et al.* Composition analysis and evaluation of the antioxidative and ACE inhibitory activities of polypeptides from antarctic krill [J]. Food Res Dev, 2020, 41(23): 7–13.
- [32] MENDIS E, RAJAPAKSE N, BYUN HG, *et al.* Investigation of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) skin gelatin peptides for their *in vitro* antioxidant effects [J]. Life Sci, 2005, 77(17): 2166–2178.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介



郭德斌, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品工程技术研发和生产。
E-mail: 270832599@qq.com



李金林, 博士, 副教授/高级工程师, 硕士生导师, 主要研究方向为水产加工、副产品高值化利用、风味化学研究。
E-mail: lijnlin405@126.com