

2 种鸡肉蛋白源酶解产物抗氧化活性研究

林捷^{1,2}, 郑华¹, 田秀秀¹, 戴妍¹, 郑夏彤¹, 贾爱娟³, 石庆安³

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642) (2. 畜禽产品精准加工和安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 广东广州 510642) (3. 广东厨邦食品有限公司, 广东阳江 529800)

摘要: 以鸡肉盐溶蛋白和肌纤蛋白为原料分别制备的酶解物 EP1 和 EP2, 对其分子量分布、游离氨基酸, 以及还原力、·OH 自由基、O₂⁻ 自由基和 DPPH· 自由基清除力等抗氧化活性进行分析。研究结果显示 EP1 和 EP2 分子量均在 5000 以下, 其分子量介于 180~1000 u 的组分分别为 66.32% 和 54.74%, 寡肽含量达 57.79% 和 47.70%。游离氨基酸分析结果显示除 20 种常规氨基酸, EP1 和 EP2 还含有多种非常规氨基酸, 如 γ -氨基丁酸、牛磺酸、肌肽、磷酸丝氨酸等; 另外, 碱性氨基酸 (26.01% 和 29.43%) 和疏水氨基酸 (38.00% 和 32.88%) 含量均较高。EP1 和 EP2 均具有较强的总还原力、·OH 自由基清除能力、O₂⁻ 自由基清除力和 DPPH· 自由基清除能力, 也就是同时具有供电子体和供氢体清除自由基的能力。EP1 和 EP2 的高抗氧化活性是由寡肽及氨基酸共同作用的结果。

关键词: 盐溶蛋白; 肌纤蛋白; 酶解物; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2019)03-111-117

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.3.018

Antioxidant Activities of Two Types of Enzymatic Hydrolysates Sourced from Chicken Meat

LIN Jie^{1,2}, ZHENG Hua¹, TIAN Xiu-xiu¹, DAI Yan¹, ZHENG Xia-tong¹, JIA Ai-juan³, SHI Qing-an³

(1. College of Food Science South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China) (2. Precision Processing and Safety Control Technology of Livestock and Poultry Products National Local Joint Engineering Research Center, Guangzhou 510642, China) (3. Guangdong Chubang Food Co. Ltd., Yangjiang 529800, China)

Abstract: Enzymatic hydrolysates EP1 and EP2 were prepared from chicken salt-soluble protein and myofibrillar protein, respectively. Their molecular weight distribution, free amino acids, and reducing power, as well as ·OH free radical, O₂⁻ free radical and DPPH· free radical scavenging powers were analyzed. The results showed that the molecular weights of EP1 and EP2 were below 5000 u, and their constituents with a molecular weight range of 180~1000 u accounted for 66.32% and 54.74%, while oligopeptides accounted for 57.79% and 47.70%, respectively. The analysis of free amino acids revealed that EP1 and EP2 contained many unconventional amino acids such as gamma-aminobutyric acid, taurine, carnosine and phosphoserine, besides 20 kinds of conventional amino acids. In addition, the contents of basic amino acids (26.01% and 29.43%) and hydrophobic amino acids (38.00% and 32.88%) were relatively high. EP1 and EP2 both had strong total reducing power, and ·OH radical, O₂⁻ radical and DPPH· radical scavenging powers, that is, the ability of acting as both electron donor and hydrogen donor to scavenge free radicals. The high antioxidant activity of EP1 and EP2 resulted from the interaction of oligopeptides and amino acids.

Key words: salt-soluble protein; myofibrillar proteins; enzymatic hydrolysate; antioxidant activity

我国是肉鸡生产和消费大国, 但精深加工技术相对落后, 进一步研究鸡肉蛋白的精深加工技术, 开展营养补充、功能性肽的开发, 是肉鸡产业链的必要补充, 肌肉的固体组分约有 80% 是蛋白质, 约占肌肉的 20%^[1], 近年来, 国内对鸡肉蛋白质的精深加工开展

收稿日期: 2018-10-09

基金项目: 广东省农业厅项目 (粤财农 (2017) 100 号)

作者简介: 林捷 (1966-), 女, 副教授, 硕士, 研究方向: 食品加工与质量控制

通讯作者: 郑华 (1966-), 男, 副教授, 硕士, 研究方向: 畜禽产品加工

了系列的研究^[1-5]。盐溶蛋白和肌纤蛋白是肌肉中的主要蛋白质, 目前对鸡肉盐溶蛋白的研究更多集中在盐溶蛋白对肉的凝胶性能和鸡肉保水性方面, 而对鸡肉盐溶蛋白的酶解处理及酶解产物分析、功能特性研究鲜见报道。李莹^[6]通过鸡胸肉的超高压处理提高鸡胸肉盐溶蛋白的凝胶性, 能够在减少复合磷酸盐添加量的前提下显著提高鸡胸肉的保水性; 吴振^[7]认为添加卡拉胶能够改善鸡胸肉和鸡腿肉盐溶蛋白的热诱导凝胶特性, 大豆分离蛋白可增强鸡肉肉盐溶蛋白的变性温度和变性热; 彭增起^[8]、赵青春^[9]研究了不同添加剂

条件下肉的盐溶蛋白的溶解性、凝胶保水性和流变特性之间的差异;李令平^[10]研究了鸡胸肉肌纤蛋白的提取及其凝胶特性。刘娜研究了鸡肉肌原纤维蛋白酶解产物的 DHPP·清除率,为 84.70%^[11]。蛋白质酶解是有效的生物活性肽和氨基酸制备方法,现代营养学证实寡肽的吸收效率远高于氨基酸^[12]。实验在鸡肉盐溶蛋白和肌纤蛋白的提取和酶解技术基础上,以两种不同鸡肉蛋白进一步酶解和提取获得的酶解产物(EP1 和 EP2),对其进行分子量分布、游离氨基酸的分析,以及总还原了和各种自由基清除能力的抗氧化活性测定,探讨了其抗氧化作用的机理,为精深加工制备鸡肉抗氧化肽,开发功能性食品基料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

以三黄鸡鸡胸肉为原料进行提取获得的鸡肉盐溶蛋白酶解物 EP1 和鸡肉肌纤蛋白酶解物 EP2,由华南农业大学食品学院实验室提供;铁氰化钾、磷酸二氢钾、硫酸亚铁、三氯乙酸、过氧化氢、水杨酸、葡萄糖等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

Waters 1525 高效液相色谱仪(配 2487 紫外检测器和 Empower 工作站 GPC 软件),美国 Waters 公司;S-433D 全自动氨基酸分析仪,德国 Sykam;分光光度计 UV1240,岛津仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 鸡肉酶解产物的分子量分布测定

分别取 EP1 和 EP2 样品 100 mg 左右于 10 mL 容量瓶中,用流动相稀释至刻度,超声 5 min,离心后微孔过滤膜过滤,用于高效凝胶色谱分析。

采用高效凝胶色谱法。仪器:Waters 1525 高效液相色谱仪(配 2487 紫外检测器和 Empower 工作站 GPC 软件);色谱条件:色谱柱:TSKgel 2000 SWXL 300 mm×7.8 mm,流动相:乙腈/水/三氟乙酸,10/90/0.1(V/V);检测:UV220 nm,流速:0.5 mL/min,柱温:30 ℃;样品制备:取样品 100 mg 左右于 10 mL 容量瓶中,用流动相稀释至刻度,超声 5 min,离心后微孔过滤膜过滤后供进样。

分子量校正曲线所用标准品(SIGMA):细胞色素 C(MW12384),杆菌酶(MW1422),乙氨酸-乙氨酸-酪氨酸-精氨酸(MW451),乙氨酸-乙氨酸-乙氨酸(MW189)。

1.3.2 鸡肉酶解产物的游离氨基酸组成测定

采用氨基酸自动分析仪方法。

实验条件:色谱柱:LCA K07/Li;流动相:柠檬酸锂 A=pH 2.90; B=pH 4.20; C=pH 8.00;流速:洗脱泵 0.45 mL/min+衍生泵 0.25 mL/min;检测:570 nm+440 nm;温度:38 ℃~74 ℃梯度升温。

1.3.3 鸡肉酶解产物的总还原力测定

参考 Saito K.等人的论文^[13],采用铁氰化钾($K_3Fe(CN)_6$)比色法测定,以维生素 C 为对照。分别将 EP1 和 EP2 稀释至 2~14 mg/mL,以铁氰化钾比色法测定总还原力。

1.3.4 鸡肉酶解产物羟自由基($\cdot OH$)清除能力的测定

参考林霖等论文^[14]中采用的 Fenton 反应水杨酸法测定,以维生素 C 为对照。分别将 EP1 和 EP2 稀释至 2~14 mg/mL,以 Fenton 反应水杨酸法测·OH 清除力。

1.3.5 鸡肉酶解产物超氧阴离子($O_2^{\cdot -}$)自由基清除能力的测定

参考 Alashi A M 等人的邻苯三酚自氧化方法^[15]测定,以维生素 C 为对照。分别将 EP1 和 EP2 稀释至 2~14 mg/mL,以邻苯三酚自氧化测定 $O_2^{\cdot -}$ 超氧阴离子自由基清除能力。

1.3.6 鸡肉酶解产物 DPPH·清除能力的测定

参考 Jiang H.等人的方法^[16]测定,以维生素 C 为对照。分别将 EP1 和 EP2 稀释至 2~14 mg/mL,根据 DPPH·清除能力的具体测定进行测定。

1.3.7 数据分析

采用 SPSS 软件进行数据分析,Excel 进行实验数据做图。

2 结果与讨论

2.1 鸡肉酶解产物 EP1 和 EP2 分子量的分布

分析

鸡肉酶解产物分子量分布结果如图 1 和表 1。

表 1 结果显示,EP1 中未检测出分子量>5000 u 的组分,且分子量>1000 u 的组分仅为 3.01%,而分子量 180~500 u 的组分占 57.79%,分子量<180 u 的成分占 30.66%;EP2 中分子量>5000 u 的组分仅为 0.07%,分子量>1000 u 的组分合计仅为 1.82%,分子量 500~180 的组分占 47.70%,分子量<180 u 的成分占 43.45%。蛋白质中 20 中氨基酸的平均分子质量约为 138 u;寡肽是一类由 2~6 个氨基酸残基组成,分子质

量小于 1000, 介于蛋白质和氨基酸之间的最具活性的肽类物质。表 1 中 EP1 和 EP2 分子量介于 500~180 u 组分的数均分子量 (Mn) 为 268 和 258, 表明在这些组分中多数的成分为 2~3 氨基酸残基组成的寡肽 (即

寡肽含量达 57.79%和 47.70%) ; 两种酶解产物中分子量小于 500 u 的组分占比分别为 91.15%和 88.45%, 属于深度酶解, 适和应用于调味品和营养液制备^[17]。

表 1 鸡肉酶解物 EP1 与 EP2 分子量分布结果图

Table 1 Molecular Weight Distribution of EP1 and EP2

分子量范围	EP1			EP2		
	数均分子量 /Mn	重均分子量 /Mw	峰面积百分比 /(% λ _{220nm})	数均分子量 /Mn	重均分子量 /Mw	峰面积百分比 /(% λ _{220nm})
>5000	/	/	/	6266	6463	0.07
>3000	3943	4153	0.46	3653	3707	0.26
3000~2000	2396	2427	0.75	2420	2454	0.38
2000~1000	1320	1377	1.80	1303	1356	1.11
1000~500	602	623	8.53	612	635	7.04
500~180	268	294	57.79	258	286	47.70
<180	92	119	30.66	111	130	43.45

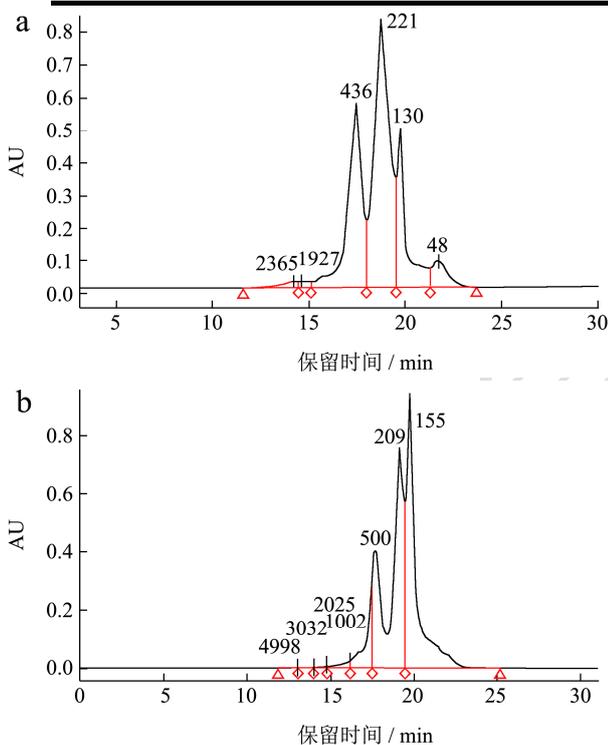


图 1 鸡肉酶解物 EP1 和 EP2 分子量分布凝胶色谱图

Fig.1 Molecular Weight Distribution Gel Chromatogram of EP1 and EP2

注: a: EP1; b: EP2。

2.2 鸡肉深度酶解物的游离氨基酸组成分析

鸡肉深度酶解物的游离氨基酸组成分析结果如图 2 和表 2。

图 2 结果显示, 2 种鸡肉酶解产物中除含有 20 种常规氨基酸外, 均含有一定数量的 γ -氨基丁酸、 α -氨基丁酸、牛磺酸、 α -氨基己二酸、肌肽、 β -氨基异丁

酸、磷酸丝氨酸等非常规氨基酸, 其中肌肽 (分别占游离氨基酸总量的 0.55%和 11.66%) 含量最为丰富, 磷酸丝氨酸 (0.76%和 2.42%) 含量也较高。肌肽是一种被研究证实具有很强抗氧化活性的由 β -丙氨酰-L-组氨酸组成的天然二肽^[18]; γ -氨基丁酸具有调节血压, 改善脑机、营养神经细胞等生理功能; α -氨基丁酸通过加强葡萄糖磷酸酯酶活性, 促进脑细胞代谢^[19]; 而磷酸丝氨酸有助于动物机体对钙的有效吸收。

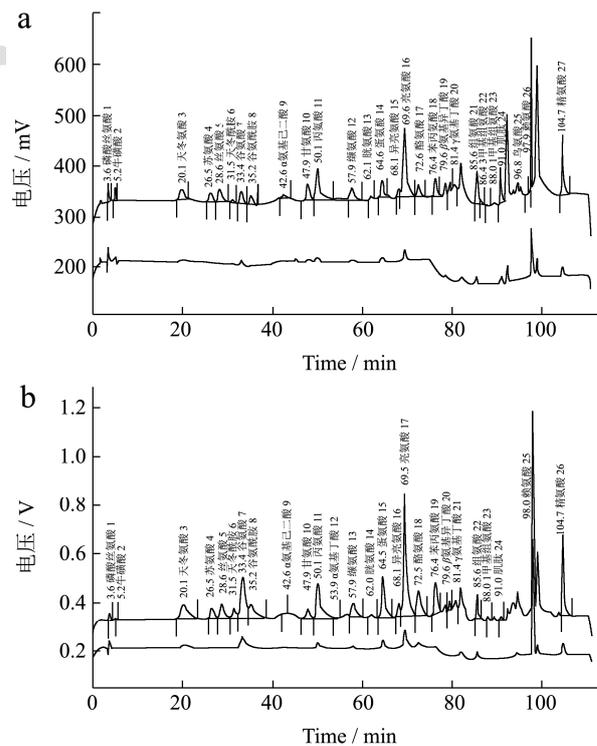


图 2 EP1 和 EP2 的游离氨基酸分离图谱

Fig.2 Free Amino Acid Profiles of EP1 and EP2

注: a: EP1; b: EP2。

表 2 EP1 和 EP2 游离氨基酸中必需氨基酸、支链氨基酸和碱性氨基酸的比例分析*

Table 2 The Ratio Analysis of Essential Amino Acids, Branched Amino Acids and Basic Amino Acids in EP1 and EP2 Free Amino Acids

酶解物	必需氨基酸/%	支链氨基酸/%	碱性氨基酸/%	疏水氨基酸/%
EP1	48.80	19.59	26.01	38.00
EP2	43.70	16.29	29.43	32.88

注：必需氨基酸：赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸；支链氨基酸：亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸；碱性氨基酸：精氨酸、赖氨酸、组氨酸；疏水氨基酸：酪氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、脯氨酸和丙氨酸。

表 2 显示，EP1 和 EP2 中除必需氨基酸所占比例（48.80%和 43.70%）较高外，疏水氨基酸（38.00%和 32.88%）、支链氨基酸（19.59%和 16.29%）和碱性氨基酸（26.01%和 29.43%）比例较高，其中 EP1 和 EP2 中的精氨酸为 11.55%和 12.10%。研究表明服用以 L-精氨酸为主要成分的复合氨基酸制剂，以及支链氨基酸和精氨酸复合制剂对提高运动员运动能力有显著提高，体现在对减少训练后的疲劳程度，甚至对神经外科颅脑术后患者疲劳、氮平衡和血清蛋白水平改善具有良好效果^[20-22]。含疏水性分子结构的氨基酸和短肽，具有较高的抗氧化活性^[23]。

2.3 鸡肉酶解产物的总还原力分析

鸡肉酶解产物 EP1 和 EP2 总还原力结果如图 3。

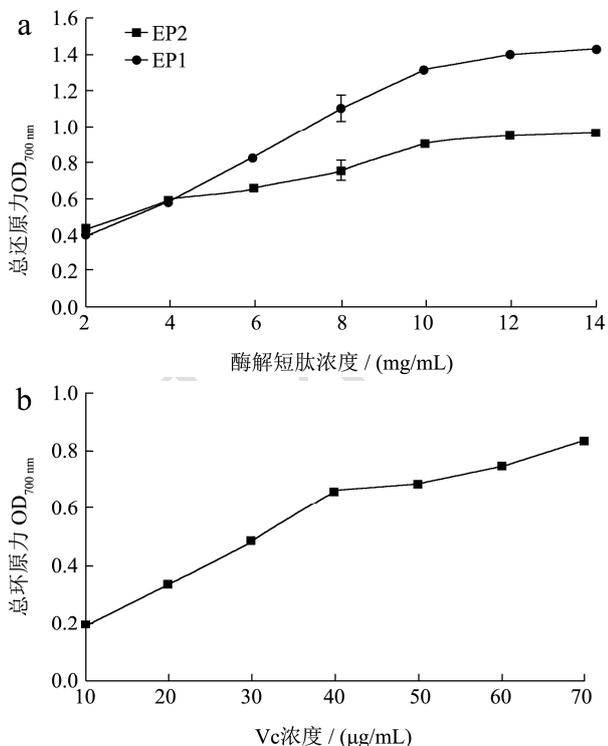


图 3 EP 和 Vc 的总还原力的测定

Fig.3 Total Reduction Force of EP and Vc

铁氰化钾法测定总还原力的原理是抗氧化剂所提供的电子可以使 Fe³⁺还原为 Fe²⁺，体系溶液吸光度值越大，则表示被测物还原力越强，抗氧化效果越佳。

图 3 结果显示，EP1 和 EP2 的吸光值均随着样品浓度的增大而增大，有较强的给电子能力；EP1 含有较多的疏水性短肽或氨基酸，其总还原力接近 EP2 的一倍。

2.4 鸡肉酶解产物的羟基自由基清除能力分析

鸡肉酶解产物 EP1 和 EP2 对·OH 清除能力的结果如图 4。

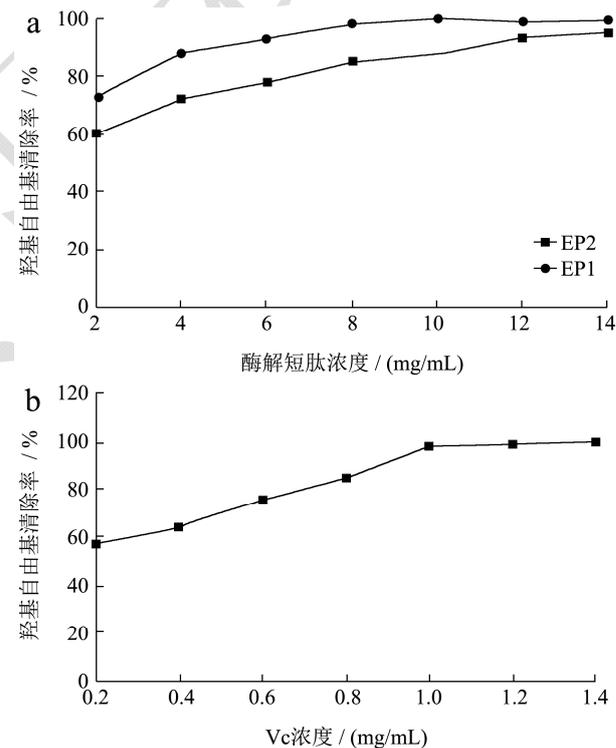


图 4 EP 和 Vc 对羟基自由基的清除作用

Fig.4 Scavenging Effect of EP and Vc on Hydroxyl Radicals

·OH 是机体新陈代谢过程中产生的具有强氧化性的自由基，未成对的处于激发状态的电子，能氧化体内的糖类、氨基酸和核酸等物质，导致细胞坏死或突变。图 4 结果显示，EP1 清除·OH 能力整体较 EP2 强，在短肽浓度 6 mg/mL 时，EP1 和 EP2 对羟基自由基的清除率分别达到 92.90%和 78.20%。

2.5 鸡肉酶解产物的 O₂⁻超氧阴离子自由基清

除能力分析

鸡肉酶解产物 EP1 和 EP2 的 O₂⁻·超氧阴离子自由基清除能力结果如图 5。

超氧阴离子自由基属于单线氧自由基，具有很强的氧化性和还原性，与羟基(-OH)结合后的产物会导致细胞 DNA 损坏，破坏人类机体功能，在体内主要通过超氧歧化酶清除。图 5 结果显示，EP 对 O₂⁻·自由基清除能力均随浓度增大而增大，EP2 较与 EP1 具有更强的 O₂⁻·自由基清除能力，即抑制活性氧。

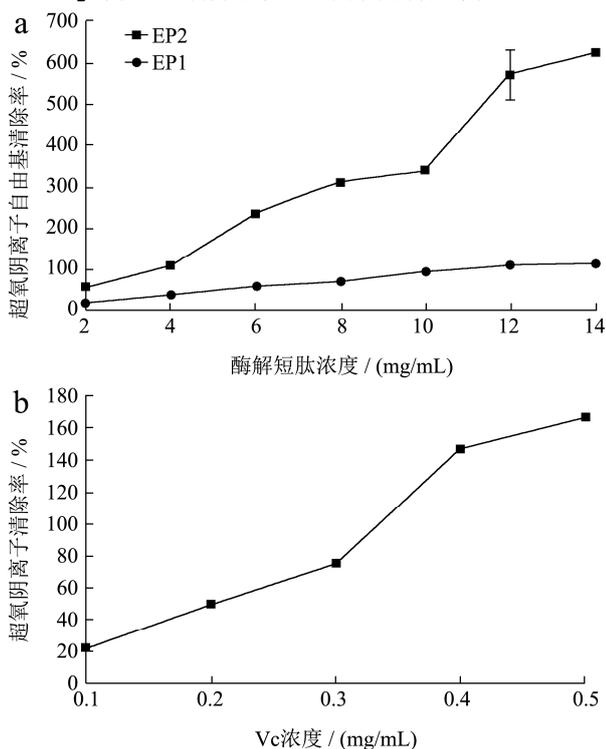


图 5 EP 和 Vc 对超氧阴离子自由基的清除作用

Fig.5 The Scavenging Effect of EP and Vc on Superoxide Anion Radicals

2.6 鸡肉酶解产物的 DPPH·清除能力分析

鸡肉酶解产物 EP1 和 EP2 的 DPPH·清除能力结果如图 6。

图 6 结果显示，两种酶解物清除 DPPH·能力在 2~14 mg/mL 之间变化不大，清除率均较高；浓度 12 mg/mL 时，两者的清除率分别为 96.55% 和 101.44% (图 6)。DPPH·是一种很稳定的氮中心的自由基，向其中加入自由基清除剂时，可以结合或者替代 DPPH·使自由基数量减少。根据反应机制可将评价抗氧化能力的方法基本分为两种：基于 H 原子转移 (H-atom transfer, HAT) 的反应和基于电子转移 (electron transfer, ET) 的反应^[24]。本实验在中性非极性环境下进行，酶解物清除 DPPH·应是给出氢离

子，形成了稳定的 DPPH·H。

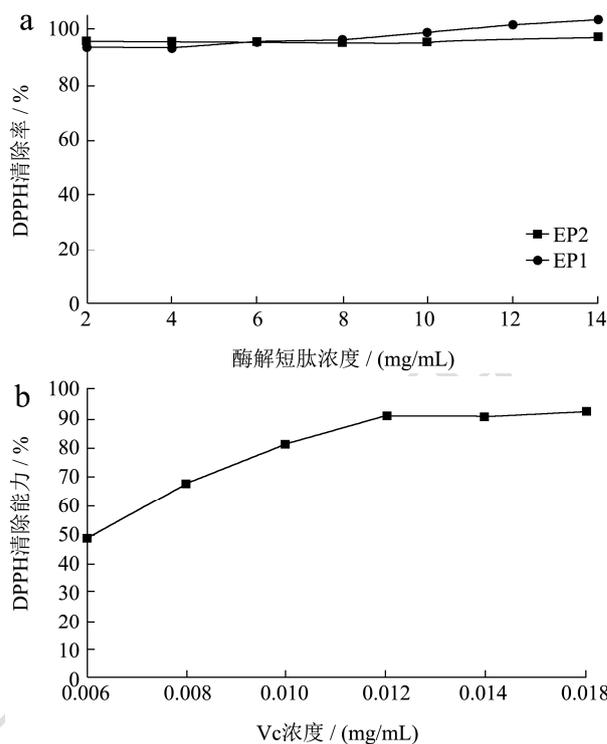


图 6 EP 和 Vc 对 DPPH 自由基的清除作用

Fig.6 Scavenging Effects of EP and Vc on DPPH free radicals

3 结论

3.1 鸡肉盐溶蛋白和肌纤维蛋白酶解产物 EP1 和 EP2 分子量均在 5000 以下，分子量介于 180~1000 的组分分别为 66.32% 和 54.74%；其中分子量介于 180~500 的寡肽含量达 57.79% 和 47.70%。EP1 和 EP2 的游离氨基酸中含有除 20 种常规氨基酸外的多种非常规氨基酸，如 γ -氨基丁酸、牛磺酸、肌肽和磷酸丝氨酸等；游离氨基酸中的精氨酸 (11.55% / 12.10%)、赖氨酸 (12.55% / 13.61%) 和亮氨酸 (15.93% / 19.93%) 均为含量很高的氨基酸；肌肽和磷酸丝氨酸含量也较丰富。不同的鸡肉蛋白，产生的氨基酸和寡肽有较大的差异，其中肌纤维蛋白酶解物 EP2 具有较高的肌肽含量 (11.66%)。

3.2 酶解产物的抗氧化能力主要来源于具有抗氧化性的氨基酸和短肽，如组氨酸、酪氨酸、亮氨酸等氨基酸具有强抗氧化性，肌肽和含组氨酸的二肽、由组氨酸和酪氨酸组成的三肽等具有较强的清除自由基活性^[25,26]。在总还原力方面，EP1 在 4 mg/mL 浓度下，给出电子的能力就已经超过 EP2，并且随着浓度增加而增强；在清除·OH 能力方面，EP1 对·OH 清除能力比 EP2 略强，二者浓度达到 12 mg/mL 时，差异不显著；EP2 的 O₂⁻·清除能力显著优于 EP1；DPPH·清除能力，EP1 与 EP2 差异不显著。虽然不同鸡肉蛋白来

源的 EP1 和 EP2, 对于不同自由基的清除能力不同, 但综合四个抗氧化指标, EP1 和 EP2 均具有供氢体和供电子体的能力; EP1 和 EP2 寡肽含量为 57.79%和 47.70%, 其余为富含碱性氨基酸和支链氨基酸的游离氨基酸, 其抗氧化活性是由寡肽及氨基酸共同作用的结果。

参考文献

- [1] 张永明,孙晓雷.鸡肉的营养价值与功能[J].肉类工业,2008,328(8):32-57
ZHANG Yong-ming, SUN Xiao-lei. The nutritional value and function of chicken [J]. Meat Industry, 2008, 328(8): 32-57
- [2] 潘兆广,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,2009,5:494-497
PAN Zhao-guang, CHEN Zhong, LIN Wei-feng, et al. Preparation of anti-fatigue peptides powder by enzymatic hydrolysis of chicken protein [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 5: 494-497
- [3] 邱燕翔,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,2017,3:284-287
QIU Yan-xiang, LU Zhi-hong, XU Shou-qing, et al. Optimum technical conditions of chicken hydrolysis and composition of hydrolysate [J]. Food Science and Technology, 2017, 3: 284-287
- [4] 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):56-61
SUN Yang-ying, PAN Dao-dong, GUO Yu-xing. Enzymatic hydrolysis of chicken protein and antioxidant activity of antioxidant peptide [J]. Food Science, 2010, 31(24): 56-61
- [5] 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
ZHONG Qun. Research of bioactive peptide preparation by enzymatic methods and its antioxidant activity of xuefeng black chicken [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016
- [6] 李莹,王鹏,徐幸莲.超高压处理对低磷酸盐鸡胸肉盐溶蛋白凝胶的影响[J].食品科学,2013,34(5):60-66
LI Ying, WANG Peng, XU Xing-lian. Effect of high pressure processing (HPP) on gel properties of salt-soluble proteins from low polyphosphate chicken breast [J]. Food Science, 2013, 34(5): 60-66
- [7] 吴振,杨传玉,孙京新,等.不同添加剂对鸡肉盐溶蛋白质热诱导凝胶性质的影响[J].中国食品学报,2012,12(8):60-66
WU Zhen, YANG Chuan-yu, SUN Jing-xin, et al. Effects of different additives on the properties of heat-induced gelation of chicken salt-soluble protein [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12 (8): 60-66
- [8] 彭增起.肌肉盐溶蛋白质溶解性和凝胶特性研究[D].南京:南京农业大学,2005
PENG Zeng-qi. Study on solubility and gel functionalities of salt-soluble proteins from muscles [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005
- [9] 赵春青.鸡肉盐溶蛋白质凝胶特性及其影响因素的研究[D].保定:河北农业大学,2002
ZHAO Chun-qing. Studies on gelation properties of salt-soluble protein of chicken and the factors affecting functional characteristics of gelation [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2002
- [10] 李令平.鸡胸肉中肌纤蛋白的提取及其凝胶特性的研究[D].天津:天津商业大学,2008
LI Ling-ping. The Researches of the extraction of myofibrillar proteins of the chicken chest meat and the gelation properties [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2008
- [11] 刘娜,张坤生,任云霞.鸡肉肌原纤维蛋白酶解产物的抗氧化活性研究[J].食品研究与开发,2011,32(7):53-57
LIU Na, ZHANG Kun-sheng, REN Yun-xia. Study on antioxidant activities of enzymatic hydrolysis of chicken myofibrillar proteins [J]. Food Research and Development, 2011, 32(7): 53-57
- [12] 王进波,刘建新.寡肽的吸收机制及其生理作用[J].饲料研究,2000,6:1-4
WANG Jin-bo, LIU Jian-xin. Absorption mechanism of oligopeptides and its physiological effects [J]. Feed Research, 2000, 6: 1-4
- [13] Saito K, Jin D H, Ogawa T, et al. Antioxidative properties of tripeptide libraries prepared by the combinatorial chemistry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(12): 3668-3674
- [14] 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
LIN Lin, TIAN Ying-gang, XIE Ming-yong, et al. Research on antioxidant activity *in vitro* and molecular weight distribution of black-bone silky fowl bioactive peptides [J]. Food Science, 2007, 28(10): 41-45
- [15] Alashi A M, Blanchard C L, Mailer R J, et al. Antioxidant properties of australian canola meal protein hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2014, 6(3): 500-506

- [16] Jiang H, Tong T, Sun J, et al. Purification and characterization of antioxidative peptides from round scad (*Decapterus maruadsi*) muscle protein hydrolysate [J]. Food Chemistry, 2014, 154: 158-163
- [17] 赵谋明,赵强忠,等.食物蛋白酶解理论与技术[M].北京:化学工业出版社,2017
ZHAO Mou-ming, ZHAO Qiang-zhong, et al. Food Proteolysis Theory and Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2017
- [18] 邢子鑫,朱秋劲.肌肽的研究进展[J].肉类工业,2010,1:52-55
XING Zi-xin, ZHU Qiu-jin. Research progress of carnosine [J]. Meat Industry, 2010, 1: 52-55
- [19] 林伟,余吉.高支链氨基酸对颅脑神经外科术后患者疲劳和氮平衡的影响[J].中国现代药物应用,2018,12(6):78-80
LIN Wei, YU Ji. Effects of high branched chain amino acids on fatigue and nitrogen balance in patients after craniocerebral neurosurgery [J]. Chinese Journal of Modern Drug Application, 2018, 12(6): 78-80
- [20] 王辉,项丽丽,张锋华. γ -氨基丁酸的功能性及在食品中的应用[J].食品工业,2013,34(6):186-189
WANG Hui, XIANG Li-li, ZHANG Feng-hua. Function and application in food industry of γ -aminobutyric acid [J]. The Food Industry, 2013, 34(6): 186-189
- [21] 吴宏江,张冬梅.支链氨基酸、精氨酸复合制剂对男子篮球运动员运动能力的影响[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2017,45(4):120-124
WU Hong-jiang, ZHANG Dong-mei. Effect of combined supplementation of branched-chain amino acids and arginine on the male basketball performance [J]. Journal of Shannxi Normal University (Natural Science Edition), 2017, 45(4): 120-124
- [22] 王琳,曹建民.复合氨基酸制剂对女子举重运动员运动能力的影响[J].北京体育大学学报,2004,27(9):1209-1211
WANG Lin, CAO Jian-min. Effect of amino acid combination on the female weightlifters performance [J]. Journal of Beijing Sport University, 2004, 27(9): 1209-1211
- [23] 韦献雅,殷丽琴,钟成,等.DPPH 法评价抗氧化活性研究进展[J].食品科学,2014,35(9):317-322
WEI Xian-ya, YIN Li-qin, ZHONG Cheng, et al. Advances in the DPPH radical scavenging assay for antioxidant activity evaluation [J]. Food Science, 2014, 35(9): 317-322
- [24] HUANG G J, DENG J S, CHEN H J, et al. Defensin protein from sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam Tainong) storage roots exhibits antioxidant activities *in vitro* and *ex vivo* [J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 861
- [25] Wiriaphan C, Chisomboon B, Roytrakul S, et al. Isolation and identification of antioxidative peptides from hydrolysate of threadfin bream surimi processing by product [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1654-1664
- [26] CHI C F, WANG B, LI Z R, et al. Characterization of acid-soluble collagen from the skin of hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) [J]. Journal of Food Biochemistry, 2014, 38(2): 236-247

(上接第 185 页)

- [20] Nguyen M, Francis D, Schwartz S. Thermal isomerisation susceptibility of carotenoids in different tomato varieties [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2001, 81(9): 910-917
- [21] 丁媛媛,毕金峰,木泰华,等.不同干燥方式对甘薯产品品质的影响[J].食品科学,2011,32(16):108-112
DING Yuan-yuan, BI Jin-feng, MU Tai-hua, et al. Effect of different drying methods on quality of sweet potato products [J]. Food Science, 2011, 32(16): 108-112
- [22] 张学杰,赵永彬,尹明安.胡萝卜渣干燥过程中水分、类胡萝卜素的规律及工艺比较[J].中国农业科学,2007,40(5): 995-1001
ZHANG Xue-jie, ZHAO Yong-bin, YIN Ming-an. Effect of drying technologies on moisture and carotenoids content of carrot pomace [J]. Chinese Agricultural Science, 2007, 40(5): 995-1001
- [23] Tevini M, Steinmüller D. Composition and function of plastoglobuli: II. lipid composition of leaves and plastoglobuli during beech leaf senescence [J]. Planta, 1985, 163(1): 91-96
- [24] Giri S K, Prasad S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2): 512-521