

蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段对熟肉糜脂肪和蛋白氧化抑制作用的研究

彭新颜^{1*}, 孟婉静², 周夕冉¹, 张梦洁¹

(1. 鲁东大学食品工程学院, 山东 烟台 264025;

2. 鲁东大学大学外语教学部, 山东 烟台 264025)

摘要:为研究蓝点马鲛鱼皮多肽在肉体系中的抗氧化作用,以猪肉糜为材料,探讨了蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段对冷藏过程中熟肉糜脂肪和蛋白氧化的抑制效果。将实验肉糜分为 6 组,第 1 组为空白对照组,第 2 组加入 2.0% 的 6 h 蓝点马鲛鱼皮冻干水解物,第 3~5 组中分别加入 1.0%、1.5% 和 2.0% 的超滤肽段 Fraction II (分子量 1~4 ku; 羟基清除率达 55.1%) 冻干粉,第 6 组中加 0.02% 的 BHA。在 4℃ 冷藏过程中测定熟肉糜的硫代巴比妥酸值(TBARS)、过氧化值(PV)、羰基含量、总巯基含量和 pH 值,并对感官指标进行了评定。结果表明,与空白对照相比,添加蓝点马鲛鱼皮 6 h 水解物和抗氧化肽段(Fraction II)的熟肉糜处理组能够通过降低肉糜的 TBARS 值和 PV 值及降低羰基含量和减少巯基的损失,在一定程度上抑制脂肪和蛋白氧化的发生,其中超滤后的 Fraction II 效果要比 6 h 水解物好。同时,添加 Fraction II 能够保持熟肉糜鲜红的色泽,抑制变味、酸败味的发生、提高了整体感官评价价值,且在一定范围内,添加量越大效果越好。在整个贮藏过程中,分子量在 1~4 ku 的蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段 Fraction II 处理组表现出更好的抑制熟肉糜氧化效果;其中 2.0% 处理组在冷藏第 8 天的 TBARS 值、PV 值、羰基含量、总巯基含量和 pH 值分别为 1.39 mg/kg、1.57 meq/kg、8.27 nmol/kg、49.6 nmol/kg 蛋白和 6.35,有效保持了熟肉糜的品质。可见,蓝点马鲛鱼皮多肽添加到肉糜中能够有效抑制脂肪和蛋白氧化的发生,是潜在的食源性抗氧化剂。

关键词:蓝点马鲛; 鱼皮抗氧化肽; 熟肉糜; 蛋白氧化; 脂肪氧化

中图分类号: TS 251

文献标志码: A

肉制品在加工、贮藏和运输过程中,会不可避免地受光、氧、温度和催化剂等外界环境的影响,产生多种自由基作用于肉中的不饱和脂肪酸和铁离子等活性成分,使产品极易发生脂肪氧化^[1]。同时,脂肪氧化会促进肉体系主要蛋白质肌原纤维蛋白的氧化与重聚合,进而导致肉制品风味、颜色、功能性质以及质构的缺陷,降低了营养价值,造成肉制品品质变劣,尤其是肉糜和碎肉类产品受影响更为明显^[2],因此,寻找切实有效的解决办法具有重要的现实意义。

为了降低氧化产生的危害,最有效的方法是

添加抗氧化剂,提高肉体系的抗氧化性能。随着人们对化学合成抗氧化剂潜在危害的认识,高效、无毒的天然抗氧化剂的开发显得尤为重要^[3]。研究表明,很多蛋白水解物具有良好的抗氧化功效^[4],因此,无论从食品安全还是营养价值方面考虑,将蛋白水解多肽开发成天然抗氧化剂是防止食品氧化变质的一个有效的方法。以鱼类作为材料制备抗氧化肽也已成为国内外研究的热点,包括鱼肉、鱼皮、鱼内脏、鱼骨、鱼头和鱼卵的水解物^[5-6]。其中,作为鱼类加工业副产物的鱼皮,是胶原蛋白和明胶的良好来源,研究表明,鱼皮水解

收稿日期:2015-04-14 修回日期:2015-06-15

资助项目:国家自然科学基金(31401491)

通信作者:彭新颜,E-mail:pengxinyan2006@163.com

物具有较好的抗氧化潜力。如利用碱性蛋白酶或复合风味蛋白酶水解施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*) 皮, 结果发现, 鱼皮明胶水解物可以抑制碎鱼肉中硫代巴比妥酸 (TBARS) 的形成, 并能通过抑制蛋白羰基形成和降低巯基含量来阻止蛋白氧化的发生^[7]。Weng 等^[4] 发现, 大青鲨 (*Prionace glauca*) 皮明胶水解物经 Sephadex G-15 分离纯化后, 第三部分具有较好的自由基清除能力, 其中甘氨酸-酪氨酸二肽和酪氨酸对其良好的抗氧化活性起了主要贡献作用。Senphan 等^[8] 也报道, 尖吻鲈 (*Lates calcarifer*) 皮水解物经 SephadexTM G-15 凝胶过滤柱分离后, 分子量为 364 u 的多肽具有最强的 2,2'-氨基-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6 磺酸) 铵盐 (ABTS) 自由基清除能力。团扇鳐 (*Raja clavata*) 皮明胶蛋白经水解后也具有较好的抗氧化能力, 其抗氧化活性与所用的水解酶种类有关^[9]。研究证实, 黑边鳍真鲨 (*Carcharhinus limbatus*) 鱼皮、金枪鱼 (*Thunnus* sp.) 和茎柔鱼 (*Dosidicus gigas*) 皮等^[10-11] 水解产物也具有良好的抗氧化潜力。

蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 又名鲛鱼, 是渤海地区主要的经济鱼类资源之一, 常做成蓝点马鲛鱼馅饺子、包子、熏蓝点马鲛鱼等特色食品, 但由于蓝点马鲛鱼皮腥味重、色泽银灰, 未能被充分利用, 造成了一定的资源浪费^[12]。目前, 利用酶解及超滤来获得蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段, 并用于抑制熟肉糜氧化的研究鲜有报道。本实验将获得的高抗氧化活性蓝点马鲛鱼皮肤段冻干后, 按一定比例加入到熟肉糜中, 通过研究冷藏过程中肉糜的 TBARS 值、过氧化值 (PV)、羰基含量、总巯基含量、pH 值和感官评定指标的变化, 来确定蓝点马鲛鱼皮抗氧化活性肽对熟肉糜脂肪和蛋白氧化的实际抑制效果, 为提高蓝点马鲛鱼皮的经济利用价值提供思路。

1 材料与方法

1.1 实验材料与仪器

蓝点马鲛鱼皮 (蓝点马鲛鱼馅副产物) 由烟台惠安海鲜市场提供; 猪肉购于烟台振华超市, 为屠宰后 24 h 的冷却排酸肉; 大豆卵磷脂、5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸) (DTNB)、2,4-二硝基苯肼 (DNPH)、丁基羟基茴香醚 (BHA)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 购于 Sigma 公司; 碱性

蛋白酶 (6×10^4 U/g) 购自 Novo 公司, 其他试剂均为国产分析纯。ER 200D-SRC 电子自旋共振仪 (ESR 仪), 德国 Bruker 公司; AL-104 型精密电子天平, 上海梅特勒-托利多仪器有限公司; pH S-25 型酸度计, 上海精科雷磁仪器厂; 电动搅拌机, 江苏省金坛市金城国胜实验仪器厂; 752 型紫外可见分光光度计, 上海恒平科学仪器有限公司; XHF-I 高速分散器, 宁波新芝生物科技股份有限公司; LG10-24A 高速离心机, 北京医用离心机厂。

1.2 蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段的制备

蓝点马鲛鱼皮胶原蛋白的提取 参考辛菲^[12]的方法, 胶原蛋白得率为 78.15%, 具体过程: 鱼皮→清洗干净, 剪成约 1 cm × 0.5 cm 的碎片→加 6 倍体积的 0.2% NaOH 浸泡 50 min (不断搅拌)→用水冲洗至中性→加 6 倍体积的 0.2% H₂SO₄ 浸泡 50 min (不断搅拌)→用水冲洗至中性→加 10 倍体积的蒸馏水匀浆→50 °C 热水提取 12 h→离心 (6 000 r/min, 20 min)→取上清液→冷冻干燥→鱼皮胶原蛋白。

蓝点马鲛鱼皮水解物的制备 蓝点马鲛鱼皮胶原蛋白→加水 (5%, W/W)→均质 (8 000 r/min, 10 min)→碱性蛋白酶水解 (pH 为 8.0, 温度为 50 °C, 加酶量 3%)→灭酶 (沸水浴, 5 min)→离心 (5 000 r/min, 15 min)→取上清液→冻干→蓝点马鲛鱼皮胶原蛋白水解物。

蓝点马鲛鱼皮多肽水解度及抗氧化活性研究 参考彭新颜等^[13]的方法, 水解过程中在不同时间取样, 以 DPPH 自由基 (DPPH·) 清除能力和 TBARS 值为抗氧化指标, 并测定相应的水解度。

超滤及肽段羟基自由基 (·OH) 清除能力

将抗氧化活性强的蓝点马鲛鱼皮多肽经 1 和 4 ku 超滤膜, 分别收集透过 1 ku 的组分 I (Fraction I, <1 ku)、透过 4 ku 超滤膜而未通过 1 ku 膜的组分 II (Fraction II, 1~4 ku) 以及未透过 4 ku 超滤膜的组分 III (Fraction III, >4 ku)。

电子自旋共振 (ESR) 法是目前检测自由基最有效、最灵敏的方法, 实验利用 ESR 法确定超滤后各抗氧化肽段的 ·OH 清除能力。实验参照 Peng 等^[14]的方法, 以波谱信号第 2 个峰高度值表示信号的相对强度。

自由基的清除率 (%) = $(H_0 - H) / H_0 \times 100\%$

式中 H 和 H_0 分别为样品与空白波谱信号强度。

1.3 熟肉糜饼的制作

将新鲜猪肉洗净后去除多余筋膜及脂肪,使瘦肉与肥肉的比例(W/W)为4:1,然后用绞肉机绞成肉糜,加入1.5%的食盐,肥肉与瘦肉混合均匀后,随机分成6组,第1组为空白对照组,第2组加入2.0%的6h蓝点马鲛鱼皮水解物,第3~5组中分别添加1.0%、1.5%和2.0%的冻干抗氧化肽段(Fraction II, 1~4 ku),向第6组中加入0.02%的BHA作为阳性对照。将每组分成10份,每份肉糜重25g,制成大约2.5cm(直径)×1.5cm(厚度)的肉饼,用油炸熟后,每3个肉饼放入一个CT包装盒中,用保鲜膜封好,4℃保存,在第0、2、4、6和8天测定相关指标。

1.4 肉糜脂肪氧化的测定

硫代巴比妥酸反应物值(TBARS)检测
称取肉糜样品0.3g,然后加入1%的TBA溶液3mL,混匀,加入17mL的TCA-HCl溶液,沸水浴中保持30min,取出自然冷却,再取4mL上述溶液,加入4mL氯仿,3000r/min下离心10min,532nm下测吸光值。

$$TBARS(\text{mg/kg}) = (A_{532}/w) \times 9.48$$

式中, A_{532} 代表溶液的吸光值; w 代表样品的质量(kg); 9.48 为常数。

过氧化值的测定 过氧化值(peroxide-value, PV)按照 GB/T5009.37-2003 的方法^[15]进行测定, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准滴定溶液浓度为0.002 mol/L(需标定),平行测定3次,同时做空白对照,结果单位用 meq/kg 表示。

1.5 肉糜蛋白氧化的测定

肌原纤维蛋白的提取 参考 Park 等^[16]的方法,提取过程在4℃条件下完成,取肉样品用5倍提取缓冲液(0.1 mol/L的NaCl, 2 mmol/L的 MgCl_2 , 1 mmol/L的EDTA, 10 mmol/L的 K_2HPO_4 , pH 7.0)匀浆后离心(3500 r/min, 10 min),重复4次并在第4次离心前用4层纱布过滤,将pH调至6.0,最后得到的蛋白膏保存于冰盒中备用;蛋白浓度用双缩脲法测定,采用牛血清蛋白作为标准蛋白。

总巯基含量的测定 参照 Ellman^[17]的方法测定,使用5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)(DTNB)进行测定并略有改动。操作方法:取1mL浓度为2%的蛋白溶液,加入8mL的Tris-

甘氨酸溶液处理后均质,在10000 r/min离心15min,除去未溶解蛋白。将4.5mL样品溶液中加入10mM的Ellman试剂0.5mL(10mM的DTNB),室温下保温30min后使用UV分光光度计在412nm下测定吸光值,巯基浓度计算使用摩尔吸光系数13600 L/(mol·cm),结果使用nmol/mg蛋白表示。空白对照不加蛋白溶液,蛋白含量使用双缩脲法测定。

羰基含量的测定 参考 Levine 等^[18]的方法,在离心管中加入1mL浓度为2mg/mL的蛋白溶液,再于每管中加入1mL浓度为10mmol/L的2,4-二硝基苯肼(DNPH),20℃下静止1h(每20min旋涡振荡1次),添加1mL质量分数为20%的三氯乙酸,振荡后离心(11000 r/min, 5min),弃上清液,用1mL乙酸乙酯-乙醇(体积比1:1)洗涤沉淀3次,挥发完溶剂后,加6mol/L的盐酸胍溶液将蛋白质悬浮,37℃保温20min溶解沉淀,再次振荡后离心(11000 r/min, 5min),最后上清液在370nm测吸光值,空白样品为不含DNPH的2mol/L HCl。蛋白含量用紫外吸收法进行测定,用BSA做标准曲线(上述盐酸胍溶液溶解BSA);使用摩尔吸光系数为2000 L/(mol·cm)蛋白羰基按照nmol/mg蛋白计算。

1.6 pH值的测定

采用pH计,参照 GB/T 9695.5-2008 的方法^[19]。取10g肉糜样品研磨后加入90mL蒸馏水,混匀振荡30min,漏斗过滤后的滤液用pH计测定pH值。

1.7 感官评定

由8位经过训练的老师和学生组成感官评定小组,参照 Pohlman 等^[20]的方法,分别对色泽、酸败味、异味和总体可接受性进行打分,分值范围是1~7分,分值越高,品质越好,评定标准如下:

变味 off flavour	1	2	3	4	5	6	7
	强烈 strong		中等 moderate			无异昧 no off-smell	
酸败味 rancidity odor	1	2	3	4	5	6	7
	强烈 strong		中等 moderate			无酸味 no rancidity odor	
色泽 color	1	2	3	4	5	6	7
	红色 red		棕色 brown			红褐色 red brown	
总体可接受性 overall acceptability	1	2	3	4	5	6	7
	低 low		适中 medium			高 high	

1.8 数据统计分析

采用 Sigmaplot 12.0 软件作图,数据统计分析采用 Statistix 8.1(分析软件,St Paul,MN)软件包中 Linear Models 程序进行,差异显著性($P < 0.05$)分析使用 Tukey HSD 程序。

2 结果与分析

2.1 不同水解时间蓝点马鲛鱼皮多肽的抗氧化活性

随着水解时间的增加,水解度及 DPPH·清除能力整体呈上升趋势,8 h 时蓝点马鲛鱼皮蛋白水解物的 DPPH·清除能力稍有下降,10 h 时 DPPH·清除能力又略有上升;但仍比 6 h 时的水平低。同时随着水解时间的延长,TBARS 值逐渐降低(图 1-a),6 h 多肽的水解度为 31.70%,DPPH·清除率为 53.50%,效果最好(图 1-b)。6 h 时 TBARS 值为 2.33 mg/L,虽然其效果比 8 和 10 h 稍差,但不存在显著性差异($P > 0.05$)。可见,6 h 时水解物对脂质氧化的抑制作用和对自由基清除作用效果都比较好。

2.2 6 h 蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽超滤后的·OH 清除能力

Fenton 反应体系用于产生·OH,ESR 信号降低表明样品具有·OH 清除能力。实验通过 ESR 法测定了超滤后得到 3 部分(Fraction I, < 1 ku; Fraction II, 1 ~ 4 ku; Fraction III, > 4 ku)的·OH 清除能力。·OH 的清除活力从强到弱的顺序为 II > I > III > 6 h,其清除率分别是 55.1%、47.9%、45.1% 和 34.2%(表 1,图 2)。Fraction II 对·OH 的清除能力最高($P < 0.05$)。因此,将超滤后的 Fraction II(1 ~ 4 ku)冻干后用于肉糜实验。

表 1 不同样品的羟基自由基清除能力
Tab.1 Percentage free scavenging effects of various samples %

样品 samples	6 h 水解物 6 h hydrolysats	抗氧化肽段 I Fraction I	抗氧化肽段 II Fraction II	抗氧化肽段 III Fraction III
清除率 scavenging effects	34.2 ± 0.02 ^a	47.9 ± 0.01 ^b	55.1 ± 0.03 ^c	45.1 ± 0.02 ^b

注:字母 a~c 相同表示差异不显著($P > 0.05$),不同表示差异显著($P < 0.05$)

Notes: means with same superscripts letter do not differ($P > 0.05$), with different superscripts letter differ($P < 0.05$)

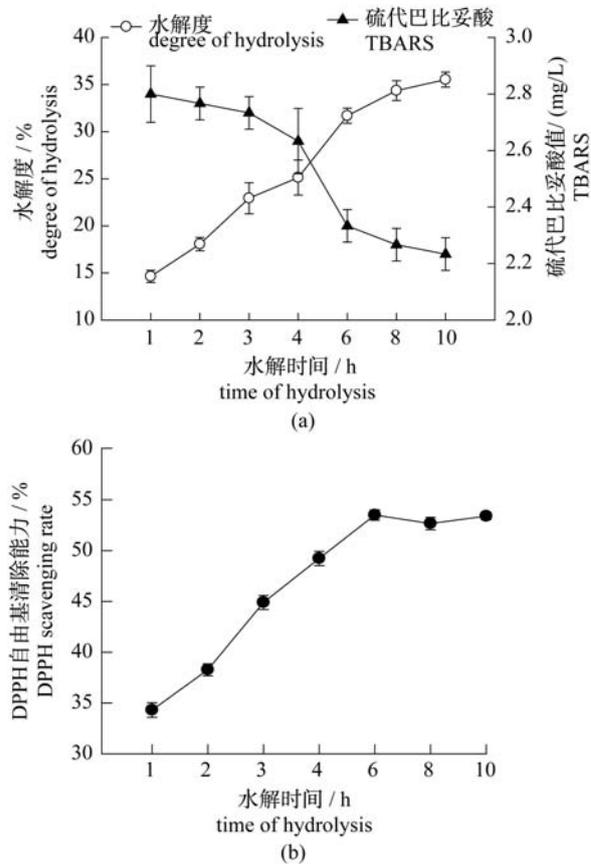


图 1 不同水解时间蓝点马鲛鱼皮多肽的水解度、硫代巴比妥酸值(a)和 DPPH 清除能力(b)

Fig.1 The degree of hydrolysis, TBARS (a) and DPPH scavenging rate (b) of *S. niphonius* skin peptides at different hydrolysis time

2.3 蓝点马鲛鱼抗氧化肽段对 TBARS 和 PV 值的影响

随着贮藏时间的延长,熟肉糜各处理组的 TBARS 和 PV 值整体呈上升趋势(图 3)。空白对照组在第 8 天时分别达到 2.85 mg/kg 和 2.37 meq/kg,这说明肉糜在贮藏期间发生了明显的脂肪氧化。在第 0 天时,处理组之间以及处理组和对对照组之间无显著差异($P > 0.05$)。到了第 2 和第 4 天,添加 6 h 蓝点马鲛鱼皮水解物组,其 TBARS 值也低于对照组,说明 6 h 水解物组对脂肪氧化也有一定的抑制作用,但效果不如 1.5% 和 2% 的 Fraction II 处理组($P < 0.05$)。在贮藏过程中,添加 Fraction II(1 ~ 4 ku)组的 TBARS 和 PV 值比对照组低,存在显著性差异($P < 0.05$),而且随着添加量的增加,对脂肪氧化的抑制作用增强。其中添加 2% 的 Fraction II 处

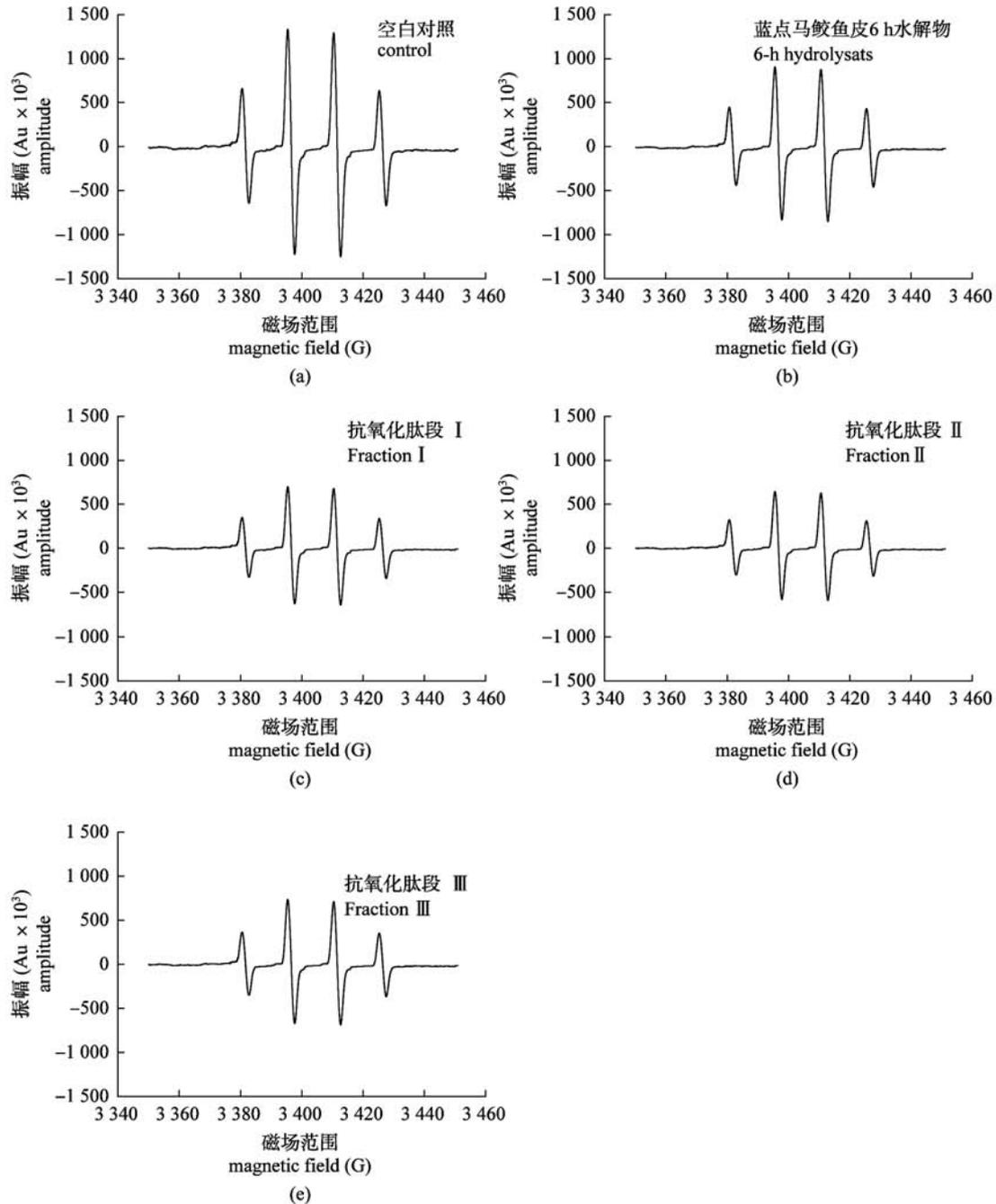


图2 不同样品清除羟基自由基的 ESR 图

(a) 空白对照; (b) 蓝点马鲛鱼皮 6 h 水解物; (c) 抗氧化肽段 I; (d) 抗氧化肽段 II; (e) 抗氧化肽段 III

Fig. 2 ESR spectrum of hydroxyl radical

(a) control; (b) 6-h hydrolysats; (c) Fraction I; (d) Fraction II; (e) Fraction III

理组在第 8 天的 TBARS 值和 PV 值分别达到 1.39 mg/kg 和 1.57 meq/kg, 一直保持最低, 这说明抗氧化肽段添加量越大, 效果越好。并与 BHA 组之间无显著差异 ($P > 0.05$), 说明 2% 蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段对脂肪氧化的抑制效果与 BHA 相当。

2.4 蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段对熟肉羰基和总巯基含量的影响

各处理组的羰基含量在整个贮藏过程中变化幅度很大, 呈现递增状态, 说明在贮藏过程中, 蛋白质发生了氧化 (图 4-a)。在贮藏初期, 各处理组与对照组之间没有显著差异, 到 6 d 时, 各抗氧

化肽段处理组较空白对照组低,且差异显著($P < 0.05$)。其中2%抗氧化肽段组的羰基含量在第6天和第8天都要比其他抗氧化肽段及6 h水解物效果好($P < 0.05$),但要比BHA效果差,且差异显著($P < 0.05$)。

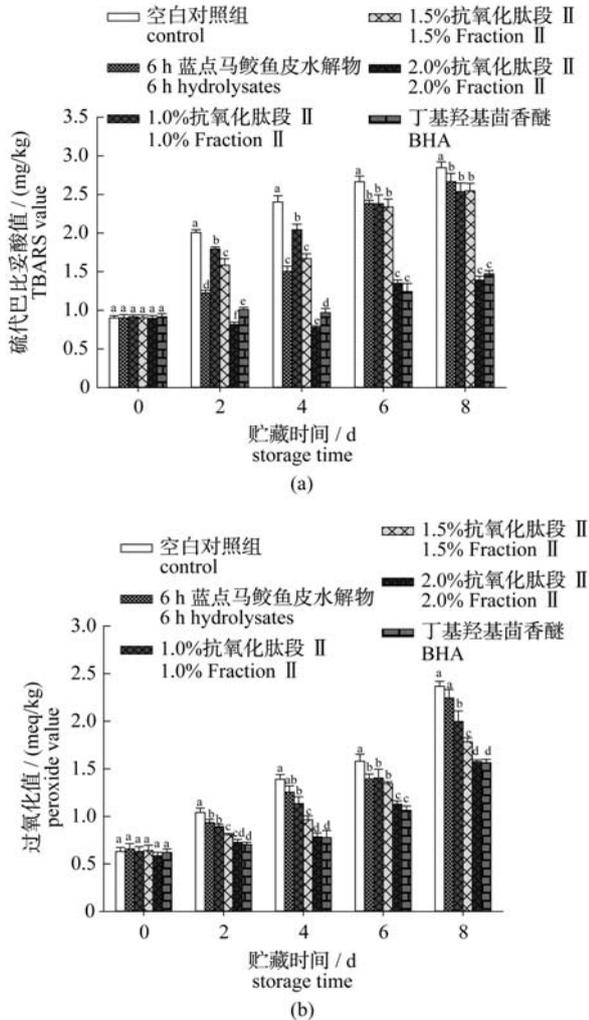


图3 蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段对熟肉糜在冷藏过程中TBARS(a)和PV(b)值的影响

同一贮藏时间下,柱状图上字母相同表示差异不显著($P > 0.05$),不同则表示差异显著($P < 0.05$),下同

Fig. 3 Influences of Fraction II of *S. niphonius* skin antioxidant peptides on TBARS(a) and PV(b) values of cooked patties during chilled storage

Means with same superscripts letter do not differ ($P > 0.05$), with different superscripts letter differ ($P < 0.05$), the same as below

各处理组的熟猪肉糜巯基含量随贮藏时间的增加而逐渐减少(图4-b)。从整体来看,在贮藏的开始阶段,各处理组之间巯基含量无显著性差

异,但贮藏到6 d时,各处理组之间巯基含量存在显著性差异($P < 0.05$)。其中添加2% Fraction II(1~4 ku)组从第4天开始,其巯基含量就比空白组、6 h水解组和其他抗氧化肽段组效果好($P < 0.05$),但要比BHA效果差,且差异显著($P < 0.05$)。这说明抗氧化肽段组具有一定的抑制巯基含量降低、防止蛋白发生交联形成二硫键的作用,而且存在一定的量效关系。

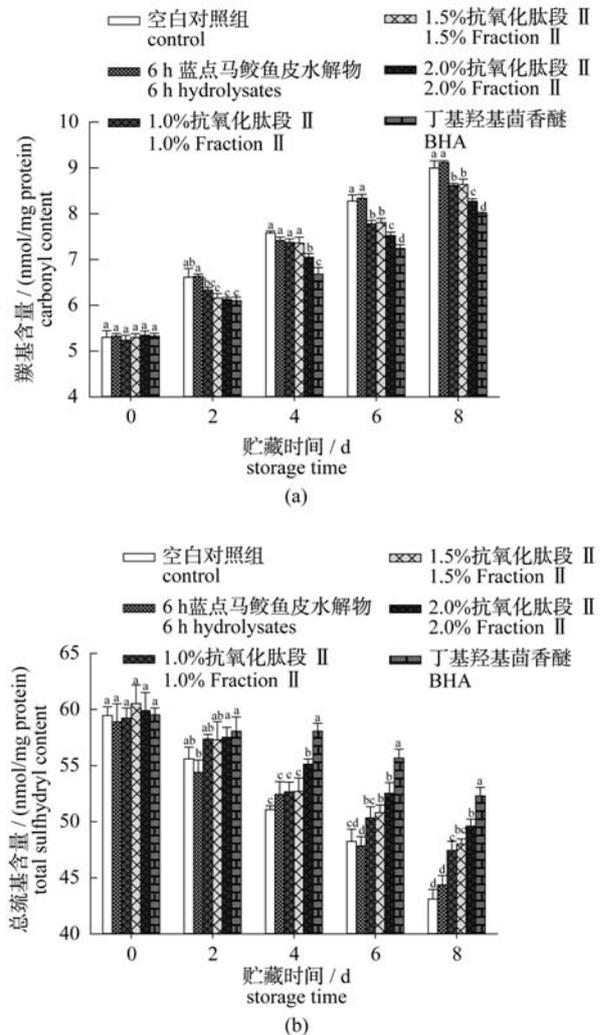


图4 蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段对熟肉糜在贮藏过程中羰基(a)和总巯基(b)含量的影响

Fig. 4 Influences of Fraction II of *S. niphonius* peptides on carbonyl content(a) and sulfhydryl content(b) of pork patties during chilled storage

2.5 蓝点马鲛鱼抗氧化肽段对熟肉糜 pH 值的影响

在贮藏初期,添加水解物的处理组 pH 值较对照组和 BHA 处理组略高,但不存在显著差异

($P > 0.05$, 图 5)。在存放 8 d 的过程中, 对照组和各处理组的 pH 值随时间的延长均呈上升趋势, 但变化幅度不大。在贮藏 8 d 时, 对照组肉糜的 pH 值较其他组高, 且存在差异显著性 ($P < 0.05$), 2% 抗氧化肽段组和 BHA 处理组分别为 6.38 和 6.37, 较其他组低 ($P < 0.05$), 说明 2% 的 Fraction II (1~4 ku) 在抑制肉糜酸败上效果最好。

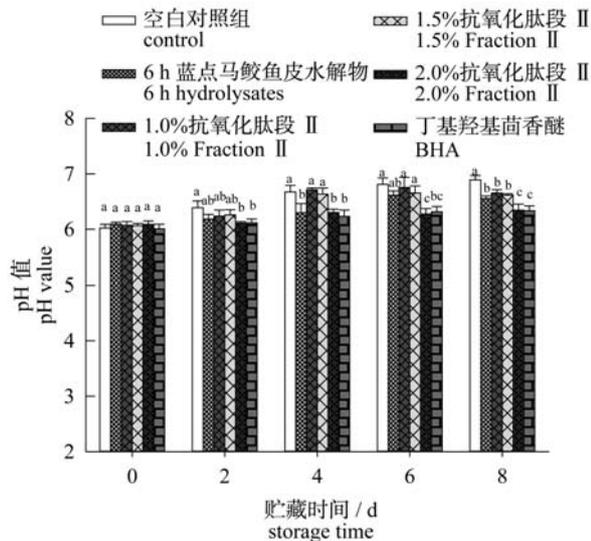


图 5 蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段对熟肉糜贮藏过程中 pH 值的影响

Fig. 5 Influences of Fraction II of *S. niphonius* antioxidant peptides on pH value of cooked patties during chilled storage

2.6 不同处理组抗氧化肽段对熟肉糜感官指标的影响

随着贮藏时间的延长, 肉饼的各项感官评定值逐渐降低(表 2)。在肉糜色泽上, 随着贮藏时间的延长肉饼颜色变暗, 但是添加分子量为 1~4 ku 抗氧化肽段的肉饼在不同储存时期内的色泽明显优于对照组(图 6, 但炸制过程中火候稍有差别), 说明 Fraction II 具有一定的护色效果。而且从第 4 到第 8 天, 2% 的 Fraction II 处理组的效果达到了 BHA 组水平 ($P > 0.05$)。在第 0 天时, 各个处理组间在变味和酸败味指标上没有明显的差异, 且与对照组不存在显著差异 ($P > 0.05$)。随着储存时间的延长, 各抗氧化肽段处理组效果都要优于对照组 ($P < 0.05$), 第 8 天时, 2% Fraction II 处理组的效果与 BHA 组水平相当 ($P > 0.05$)。在总体可接受性水平上, 贮藏过程中添加量为 2% Fraction II 的熟肉饼的效果最好, 且与 BHA 的效果差异不显著 ($P > 0.05$)。可以看出, 6 h 水解物对感官品质也存在一定的保护作用, 特别是在色泽、酸败味和总体可接受性方面都比空白对照组好 ($P > 0.05$)。在整个保存过程中, 各 Fraction II 组效果都要优于空白对照组, 并成一定的量效关系, 添加 2.0% Fraction II 组和添加 BHA 的处理组的感官值始终比较高, 这说明添加 2.0% 的 Fraction II 组和添加 BHA 的处理组都可以延长熟肉糜的保质期, 对感官无不良影响。



图 6 不同处理组熟肉糜冷藏期间的图片

Fig. 6 Photographs of different treated cooked patties during chilled storage

表 2 蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段 (Fraction II) 对贮藏期间熟肉糜各感官评定的影响
 Tab. 2 The effects antioxidant peptides of Fraction II from *S. niphonius* on sensory evaluation in cooked meat patties during storage

指标 parameters	实验组别 groups	储藏时间/d storage time				
		0	2	4	6	8
色泽 color	空白对照 control	6.81 ± 0.09 ^a	5.61 ± 0.08 ^b	4.69 ± 0.13 ^c	3.53 ± 0.14 ^c	2.63 ± 0.16 ^c
	6 h hydrolysates	6.72 ± 0.07 ^a	5.53 ± 0.05 ^b	4.69 ± 0.14 ^c	3.55 ± 0.12 ^c	2.75 ± 0.14 ^c
	1.0% Fraction II	6.68 ± 0.02 ^a	6.08 ± 0.21 ^a	5.34 ± 0.12 ^b	3.81 ± 0.1 ^{bc}	3.49 ± 0.17 ^b
	1.5% Fraction II	6.64 ± 0.05 ^a	5.97 ± 0.17 ^a	5.38 ± 0.09 ^b	4.23 ± 0.11 ^a	3.73 ± 0.14 ^b
	2.0% Fraction II	6.65 ± 0.04 ^a	6.17 ± 0.07 ^a	5.69 ± 0.07 ^a	4.48 ± 0.12 ^a	4.15 ± 0.14 ^a
	BHA	6.79 ± 0.11 ^a	6.27 ± 0.05 ^a	5.84 ± 0.08 ^a	4.62 ± 0.20 ^a	4.21 ± 0.21 ^a
变味 off flavour	空白对照 control	6.60 ± 0.02 ^a	5.84 ± 0.13 ^b	4.23 ± 0.07 ^c	3.41 ± 0.09 ^c	2.31 ± 0.17 ^c
	6 h hydrolysates	6.52 ± 0.12 ^a	6.01 ± 0.07 ^{ab}	4.33 ± 0.11 ^c	3.39 ± 0.07 ^c	3.14 ± 0.09 ^b
	1.0% Fraction II	6.59 ± 0.05 ^a	6.09 ± 0.04 ^{ab}	4.45 ± 0.1 ^{bc}	3.77 ± 0.12 ^b	3.26 ± 0.12 ^b
	1.5% Fraction II	6.53 ± 0.12 ^a	6.14 ± 0.02 ^{ab}	4.75 ± 0.08 ^b	3.67 ± 0.08 ^b	3.35 ± 0.20 ^b
	2.0% Fraction II	6.56 ± 0.20 ^a	6.21 ± 0.13 ^a	5.32 ± 0.17 ^a	4.33 ± 0.07 ^a	3.77 ± 0.07 ^a
	BHA	6.56 ± 0.01 ^a	6.22 ± 0.05 ^a	5.43 ± 0.08 ^a	4.52 ± 0.13 ^a	3.79 ± 0.21 ^a
酸败味 rancidity odor	空白对照 control	6.67 ± 0.04 ^a	6.25 ± 0.18 ^c	4.61 ± 0.18 ^c	3.64 ± 0.20 ^d	2.55 ± 0.21 ^d
	6 h hydrolysates	6.71 ± 0.14 ^a	6.28 ± 0.11 ^{bc}	4.85 ± 0.1 ^{bc}	4.01 ± 0.2 ^{cd}	3.24 ± 0.07 ^c
	1.0% Fraction II	6.78 ± 0.15 ^a	6.45 ± 0.1 ^{abc}	5.06 ± 0.07 ^b	4.38 ± 0.20 ^c	3.33 ± 0.08 ^c
	1.5% Fraction II	6.76 ± 0.10 ^a	6.55 ± 0.01 ^{ab}	5.11 ± 0.04 ^b	4.81 ± 0.12 ^b	4.17 ± 0.12 ^b
	2.0% Fraction II	6.76 ± 0.04 ^a	6.65 ± 0.14 ^a	5.66 ± 0.05 ^a	5.14 ± 0.1 ^{ab}	4.51 ± 0.07 ^a
	BHA	6.78 ± 0.11 ^a	6.68 ± 0.08 ^a	5.77 ± 0.01 ^a	5.24 ± 0.17 ^a	4.56 ± 0.14 ^a
总体可 接受性 overall acceptability	空白对照 control	6.53 ± 0.07 ^a	5.79 ± 0.09 ^b	4.46 ± 0.02 ^d	3.53 ± 0.07 ^c	3.09 ± 0.13 ^d
	6 h hydrolysates	6.63 ± 0.11 ^a	5.78 ± 0.10 ^b	4.74 ± 0.03 ^c	3.63 ± 0.08 ^c	3.15 ± 0.06 ^d
	1.0% Fraction II	6.66 ± 0.07 ^a	5.82 ± 0.13 ^a	4.94 ± 0.1 ^{bc}	4.25 ± 0.17 ^b	3.42 ± 0.1 ^{bc}
	1.5% Fraction II	6.50 ± 0.13 ^a	5.94 ± 0.11 ^a	5.03 ± 0.04 ^b	4.25 ± 0.07 ^b	3.56 ± 0.19 ^b
	2.0% Fraction II	6.63 ± 0.17 ^a	5.99 ± 0.13 ^a	5.14 ± 0.07 ^b	4.66 ± 0.13 ^a	4.15 ± 0.17 ^a
	BHA	6.45 ± 0.08 ^a	5.94 ± 0.05 ^a	5.49 ± 0.07 ^a	4.73 ± 0.14 ^a	4.26 ± 0.21 ^a

注:同一冷藏时间下,字母相同表示差异不显著($P > 0.05$),不同则表示差异显著($P < 0.05$)

Notes:(a-d) means in the same list with same superscripts letter do not differ($P > 0.05$),with different superscripts letter differ($P < 0.05$)

3 讨论

肉制品在加工贮藏过程中普遍存在着羟基($\cdot\text{OH}$)和过氧化氢(H_2O_2)的生成,引发肉体系脂肪和蛋白质自由基链式反应。一般脂肪氧化与蛋白氧化是相伴发生的,而且二者中的任何一种物质氧化产生的化合物都会促进另一种物质的氧化^[2]。氧化会促使肉制品变色、变味、营养物质损失、甚至产生有毒物质,直接影响产品品质并缩短货架期。

近年来,作为天然抗氧化剂的蛋白水解物逐渐成为专家关注的热点。很多研究表明,蛋白水解多肽具有抑制肉体系脂肪、蛋白氧化及改善产品品质的作用^[21-22]。TBARS值和PV值是用来衡量肉制品脂肪氧化初期产物和后期终产物的

2个主要指标。由图3可知,分子量为1~4ku的蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段Fraction II能够有效抑制冷藏熟肉糜脂质初级和终级氧化产物的生成,其抗氧化效果与BHA相当,这与张慧芸等^[21]和刁静静等^[23]报道的多肽能够抑制肉体系脂肪氧化作用的结果一致。Zhou等^[1]也发现,大米抗氧化多肽经超滤分离后,得到的1~3ku的肽段具有抑制肉制品脂肪氧化的作用。Phanat等^[24]将具有DPPH自由基清除能力、还原能力及ABTS自由基清除能力的鲨鱼皮水解物应用于熟肉糜中,结果发现,鱼皮抗氧化肽能通过降低TBARS含量来抑制肉糜脂肪氧化的发生,并认为这可能与具有自由基清除能力及铁离子螯合能力有关。

氧化可导致肉制品肌原纤维蛋白分子间交

联,羰基含量也会随着蛋白氧化程度的升高而增加;巯基氧化形成二硫键能够引起蛋白质分子间聚合,进而导致肌原纤维蛋白空间结构发生变化。因此,羰基和巯基含量的变化是反映蛋白氧化程度的重要指标^[2]。与空白对照比,添加蓝点马鲛鱼皮抗氧化肽段 Fraction II 的熟肉糜处理组能够通过降低肉糜的羰基含量和减少巯基损失,在一定程度上抑制肉糜蛋白氧化的发生。可见, Fraction II 有抑制脂肪和蛋白氧化的潜力。Wang 等^[25]也证实,利用铁催化氧化体系处理猪肉肌原纤维蛋白后,土豆 (*Solanum tuberosum*) 水解多肽能降低氧化体系中猪肉肌原纤维蛋白的羰基含量和硫代巴比妥酸值,对肌原纤维蛋白和脂肪的氧化具有明显的抑制作用^[26];Li 等^[3]也报道,添加乳清蛋白多肽可以有效抑制冻藏过程中肌原纤维蛋白氧化的发生。

感官评定和 pH 值是样品品质变化的直接表现,实验从色泽、变味、酸败味以及总体可接受性 4 个指标上对熟肉饼进行了感官评价。结果表明,随着贮藏时间的延长,抗氧化肽段 Fraction II 组样品优于空白对照组,原因可能是抗氧化肽具有护色作用,防止 pH 降低、变味、酸败味产生,从而保持肉糜的品质,这也是抗氧化肽能抑制脂肪和蛋白氧化的外在表现。刘骞等^[22]将水解得到的鲤 (*Cyprinus carpio*) 肉蛋白水解物应用到生猪肉糜中,结果也发现,与对照组相比,添加鲤鱼肉蛋白水解物的处理组在贮藏期间能较好地保持肉糜本身的色泽,水解物能够抑制脂肪氧化,而且水解物在肉糜颜色、降低脂肪氧化变味等方面都具有较好的效果。

蛋白水解多肽之所以具有抑制肉体系脂肪或蛋白氧化的作用,与其水解物所形成肽段的氨基酸组成、序列、分子量、氨基酸的性质(疏水性、亲水性及芳香族氨基酸含量及种类)等因素有关^[13]。其中,水产品多肽抗氧化活性受分子量影响这一规律也已得到广泛证实^[27-30]。如发现 861.6 u 的红牙鱼 (*Otolithes ruber*) 肉水解短肽不仅具有较好的体外 DPPH·清除能力,而且能提高大鼠 (*Rattus norvegicus*) 内皮细胞的抗氧化酶活力^[31]。北太平洋梭鲈 (*Merluccius productus*) 水解物中低于 1.4 ku 的肽段 ABTS 自由基清除活性最强,而且研究发现,不同酶产生特定的肽成分抑制脂质过氧化程度的主要因素^[32]。Luo

等^[33]发现,路氏双髻鲨 (*Sphyrna lewini*) 用木瓜蛋白酶水解,再经超滤、阳离子交换、凝胶层析和 RP-HPLC 分离纯化后,得到分子量为 374.44 u 的肽段 Leu-Asp-Lys,此肽段具有较好的清除羟基自由基、ABTS 自由基和超氧化物能力。尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 皮经水解并纯化后^[34],得到了序列为 Glu-Gly-Leu (317.33 u) 和 Tyr-Gly-Asp-Glu-Tyr (645.21 u) 2 种具有较高自由基清除能力的肽段。Chi 等^[35]也报道,大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 经胃蛋白酶和碱性蛋白酶水解后,得到的分子量为 651.77 u 的肽段具有最强的 DPPH·超氧和 ABTS 自由基清除能力,而分子量为 668.82 u 肽段的羟基自由基清除能力最强,Wang 等^[36]也得到类似的结果。与以往学者的报道相似,本实验 6 h 水解物经超滤后,分子量在 1~4 ku 范围的 Fraction II 具有较好的自由基清除作用,且 Fraction II 对熟肉糜氧化的抑制效果明显,说明蓝点马鲛鱼皮水解物中 1~4 ku 肽链的长度大小、氨基酸组成、含量、排列顺序恰具有抑制肉体系脂肪或蛋白氧化的分子特征。

蓝点马鲛鱼皮 6 h 水解物具有降低 TBARS 值和 DPPH 自由基清除的能力,6 h 水解物超滤后分子量为 1~4 ku 的第二部分 (Fraction II) 的·OH 清除率高达 55.1%。将 6 h 水解物和 Fraction II 添加到熟肉糜中,发现 6 h 水解物和 Fraction II 处理组对肉糜脂肪和蛋白氧化都具有一定的抑制作用,而且 Fraction II 抗氧化肽段的效果明显优于 6 h 水解物组,并存在一定的量效关系,以添加量为 2% 时效果最佳。

参考文献:

- [1] Zhou K Q, Canning C, Sun S. Effects of rice protein hydrolysates prepared by microbial proteases and ultrafiltration on free radicals and meat lipid oxidation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(1):331-335.
- [2] Jia N, Kong B H, Liu Q, et al. Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) extract and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of pork patties during chilled storage[J]. Meat Science, 2012, 91(4):533-539.
- [3] Li Y Q, Kong B H, Xia X F, et al. Structural changes of the myofibrillar proteins in common carp (*Cyprinus carpio*) muscle exposed to a hydroxyl radical-generating system[J]. Process Biochemistry,

- 2013,48(5-6):863-870.
- [4] Weng W Y, Tang L L, Wang B Z, *et al.* Antioxidant properties of fractions isolated from blue shark (*Prionace glauca*) skin gelatin hydrolysates [J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 11: 342-351.
- [5] Chalamaiah M, Dinesh kumar B, Hemalatha R, *et al.* Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications; A review [J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(4):3020-3038.
- [6] Jridi M, Souissi N, Mbarek A, *et al.* Comparative study of physico-mechanical and antioxidant properties of edible gelatin films from the skin of cuttlefish [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 61: 17-25.
- [7] Nikoo M, Benjakul S, Xu X M. Antioxidant and cryoprotective effects of Amur sturgeon skin gelatin hydrolysate in unwashed fish mince [J]. *Food Chemistry*, 2015, 181: 295-303.
- [8] Senphan T, Benjakul S. Antioxidative activities of hydrolysates from seabass skin prepared using protease from hepatopancreas of Pacific white shrimp [J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 6: 147-156.
- [9] Lassoueda I, Morab L, Nasri R, *et al.* Characterization and comparative assessment of antioxidant and ACE inhibitory activities of thornback ray gelatin hydrolysates [J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 13: 225-238.
- [10] Kittiphattanabawon P, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Gelatin hydrolysate from blacktip shark skin prepared using papaya latex enzyme: antioxidant activity and its potential in model systems [J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(3): 1118-1126.
- [11] Aleman A, Gimenez B, Montero P, *et al.* Antioxidant activity of several marine skin gelatins [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(2): 407-413.
- [12] Xin F. The primary study on extraction and molecular characteristics of collagen from skin of *Scomberomorus niphonius* [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2012, 49(1): 121-126. [辛菲. 蓝点马鲛鱼皮胶原蛋白的提取及分子特性的初步研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012, 49(1): 121-126.]
- [13] Peng X Y, Kong B H, Xiong Y L. Study on antioxidant activity of whey protein hydrolysates [J]. *Food Science*, 2009, 30(3): 167-172. [彭新颜, 孔保华, 熊幼翎. 乳清蛋白水解物抗氧化活性的研究. 食品科学, 2009, 30(3): 167-172.]
- [14] Peng X Y, Xiong Y L, Kong B H. Antioxidant activity of peptide fractions from whey protein hydrolysates as measured by electron spin resonance [J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(1): 196-201.
- [15] GB/T 5009.37-2003. Method for analysis of hygienic standard of edible oils [S]. Beijing: China Standard Press, 2003. [GB/T 5009.37-2003. 食用植物油卫生标准的分析方法. 北京: 中国标准出版社, 2003.]
- [16] Park D, Xiong Y L, Alderton A L, *et al.* Biochemical changes in myofibrillar protein isolates exposed to three oxidizing systems [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(12): 4445-4451.
- [17] Ellman G L. Tissue sulfhydryl groups [J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1959, 82(1): 70-77.
- [18] Levine R L, Garland D, Oliver C N, *et al.* Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins [J]. *Methods in Enzymology*, 1990, 186: 464-478.
- [19] GB/T 9695.5-2008. Meat and meat products-method for measurement of pH [S]. Beijing: China Standard Press, 2009. [GB/T 9695.5-2008. 肉与肉制品 pH 测定. 北京: 中国标准出版社, 2009.]
- [20] Pohlman F W, Stivarius M R, McElyea K S, *et al.* The effects of ozone, chlorine dioxide, cetylpyridinium chloride and trisodium phosphate as multiple antimicrobial interventions on microbiological, instrumental color, and sensory color and odor characteristics of ground beef [J]. *Meat Science*, 2002, 61(3): 307-313.
- [21] Zhang H Y, Kang H B, Yang F N. Antioxidant effect of pigskin collagen peptide in cooked pork patties [J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(11): 120-123. [张慧芸, 康怀彬, 杨芳宁. 猪皮胶原蛋白肽在熟肉糜中抗氧化效果研究. 食品科技, 2012, 37(11): 120-123.]
- [22] Liu Q, Shi X, Kong B H, *et al.* Antioxidant activity of carp meat protein hydrolysates on raw pork patties [J]. *Packaging and Food Machinery*, 2011, 29(3): 1-5. [刘骞, 施雪, 孔保华, 等. 鲤鱼肉蛋白水解物对生猪肉糜抗氧化作用的研究. 包装与食品机械, 2011, 29(3): 1-5.]
- [23] Diao J J, Zhang L P. Antioxidant effect of peptides of different origins on sausages [J]. *Meat Research*, 2012, 26(7): 5-9. [刁静萍, 张丽萍. 不同种类的

- 蛋白肽对香肠抗氧化能力的影响. 肉类研究, 2012, 26(7): 5 - 9.]
- [24] Phanat K, Soottawat B, Wonnop V, *et al.* Gelatin hydrolysate from blacktip shark skin prepared using papaya latex enzyme; antioxidant activity and its potential in model systems [J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 1118 - 1126.
- [25] Wang L L, Xiong Y L. Inhibition of oxidant-induced biochemical changes of pork myofibrillar protein by hydrolyzed potato protein [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(6): 482 - 487.
- [26] Cheng Y, Xiong Y L, Chen J. Antioxidant and emulsifying properties of potato protein hydrolysate in soybean oil-in-water emulsions [J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 101 - 108.
- [27] Saidi S, Deratani A, Belleville M P, *et al.* Antioxidant properties of peptide fractions from tuna dark muscle protein by-product hydrolysate produced by membrane fractionation process [J]. Food Research International, 2014, 65(3): 329 - 336.
- [28] Wang B, Gong Y D, Li Z R, *et al.* Isolation and characterisation of five novel antioxidant peptides from ethanol-soluble proteins hydrolysate of spotless smoothhound (*Mustelus griseus*) muscle [J]. Journal of functional foods, 2014, 6(1): 176 - 185.
- [29] Song R, Wei R B, Ruan G Q, *et al.* Isolation and identification of antioxidative peptides from peptic hydrolysates of half-fin anchovy (*Setipinna taty*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 221 - 229.
- [30] Leila N, Abdul S B. Isolation, purification and identification of three novel antioxidative peptides from patin (*Pangasius sutchi*) myofibrillar protein hydrolysates [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 452 - 461.
- [31] Nazeer R A, Sampath K N S, Jai G R. In vitro and in vivo studies on the antioxidant activity of fish peptide isolated from the croaker (*Otolithes ruber*) muscle protein hydrolysate [J]. Peptides, 2012, 35(2): 261 - 268.
- [32] Imelda W Y, Cheung L K Y, Cheung N Y. *et al.* The role of molecular size in antioxidant activity of peptide fractions from Pacific hake (*Merluccius productus*) hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2012, 134(3): 1297 - 1306.
- [33] Luo H Y, Wang B, Li Z R, *et al.* Preparation and evaluation of antioxidant peptide from papain hydrolysate of *Sphyrna lewini* muscle protein [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(1): 281 - 288.
- [34] Zhang Y F, Duan X, Zhuang Y L. Purification and characterization of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysates of tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin [J]. Peptides, 2012, 38(1): 13 - 21.
- [35] Chi C F, Hu F Y, Wang B, *et al.* Purification and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolyzate of croceine croaker (*Pseudosciaena crocea*) muscle [J]. Food Chemistry, 2015, 168(1): 662 - 667.
- [36] Wang Q K, Li W, He Y H, *et al.* Novel antioxidative peptides from the protein hydrolysate of oysters (*Crassostrea talienwhanensis*) [J]. Food Chemistry, 2014, 145(1): 991 - 996.

Antioxidant peptides of *Scomberomorus niphonius* skin and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of cooked patties

PENG Xinyan^{1*}, MENG Wanjing², ZHOU Xiran¹, ZHANG Mengjie¹

(1. College of Food Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China;

2. College Foreign Languages Teaching DEPT, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract: Lipid and protein oxidation can lead to the quality decline, off flavours, texture deterioration, loss of nutritional value and functional properties decrease in meat and meat products, which is an important reason for its quality deterioration. Recently, the use of synthetic antioxidants is under increasing scrutiny due to the health risks associated with such compounds. So, search for natural antioxidants as alternatives to synthetic ones is of great concern among researchers. Protein hydrolysates, a potent alternative, have been shown to inhibit lipid oxidation in pork meat system. However, few studies have attempted to link the hydrolysates of by-product of aquatic products and their antioxidant effects to the inhibition of oxidation of lipid and protein in cooked pork products. The objective of this study was to evaluate the inhibitory effect of the 6h hydrolysates and Fraction II (1 – 4 ku) of *Scomberomorus niphonius* skin on lipid and protein oxidation and colour deterioration in cooked pork patties during chilled storage. Six cooked pork patties samples including control, 2.0% 6 h hydrolysates, 1.0% Fraction II, 1.5% Fraction II, 2.0% Fraction II and 0.02% BHA (positive control) were stored at 4 °C for 8 d. During the chilled storage period, thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS), peroxide value (PV), carbonyl content, sulfhydryl content, pH value were measured and sensory evaluation was performed. The results showed that the *S. niphonius* 6 h hydrolysates and Fraction II could lower TBARS and PV value and decrease the carbonyls formation and reduce the sulfhydryl loss of cooked patties compared with control, of which the Fraction II was more effective than 6 h hydrolysates during storage time. Furthermore, the study demonstrated that enzyme-hydrolyzed *S. niphonius* skin protein and Fraction II could retard the peroxidation of lipids and protein oxidation, and maintain the mince bright red color, and inhibit sour and rancid flavor, improving overall sensory evaluation value. During the whole storage time, molecular weight in 1 – 4 ku can be more effective in the inhibition of cooked meat fat and protein oxidation that occurred and had a better capability of maintaining the quality and extending shelf life. The TBARS value, PV value, carbonyl content, total sulphur content and pH value were 1.39 mg/kg, 1.57 meq/kg, 8.27 nmol/kg, 49.6 nmol/kg protein and 6.35 in 2.0% treatment groups at refrigerating for 8 days; the effect is better than any other groups in keeping the quality of the cooked meat, and the same results were got by sensory evaluation. So, antioxidative capability present in Alcalase-hydrolysed *S. niphonius* skin protein can be attributed, at least in part, to its radical scavenging capability. Short peptides in the 1 – 4 ku range of *S. niphonius* skin hydrolysates possessed the strongest hydroxyl radical quenching effect and therefore, seemed to play a major role in keeping the balance of oxidative and antioxidative in meat systems. Further research is needed to purify the specific peptides responsible for the antioxidant activity of the hydrolysates, and to explore their amino acid sequences which will allow a better understanding of the peptide structure and mechanism relationship in muscle foods.

Key words: *Scomberomorus niphonius*; antioxidant peptides of skin; cooked patties; protein oxidation; lipid oxidation

Corresponding author: PENG Xinyan. E-mail: pengxinyan2006@163.com

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31401491)