

乳清分离蛋白水解物对冷藏鱼糜的保鲜作用

崔旭海, 毕海丹, 卞雪莲, 李卓瓦, 王占一

(枣庄学院生命科学学院, 山东枣庄 277160)

摘要: 通过测定不同贮藏时间内(0 d、1 d、3 d、5 d、7 d、9 d)草鱼鱼糜的羰基含量、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid-reactive substances, TBARS)、细菌总数、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值、三甲胺(trimethylamine, TMA)值、K值等指标的变化,并分析各指标之间的相关性,研究冷藏(4℃)条件下乳清分离蛋白(WPI)水解物对草鱼鱼糜的抗氧化及保鲜效果。实验分为5组,第1组为对照组,第2~4组中分别加入2%、4%和6%的水解物,第5组中加入0.02%的BHA。结果表明:随着WPI水解物添加量的增加,鱼糜的蛋白和脂肪氧化抑制显著($p<0.05$),保鲜效果明显改善,其中6%WPI水解物处理组效果最明显,在贮藏9d内,与对照组相比,羰基含量、TBARS值、TVB-N值和K值分别降低了1.54 nmol/mg蛋白、0.21 mg/kg、 5.84×10^{-2} mg/g和11.7%,此时鱼糜仍处于二级鲜度。各指标间存在显著正相关($p<0.05$)。因此,WPI水解物可以起到很好的抗氧化和保鲜作用,未来可以考虑把乳清蛋白水解物作为天然保鲜剂用于鱼糜制品生产中。

关键词: 鱼糜; 乳清分离蛋白水解物; 抗氧化; 冷藏; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2017)4-195-200

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.4.030

Effects of a Hydrolysate of Whey Protein Isolate on the Preservation of Surimi during Cold Storage

CUI Xu-hai, BI Hai-dan, BIAN Xue-lian, LI Zhuo-wa, WANG Zhan-yi

(College of Life Science, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, China)

Abstract: The effects of a hydrolysate of whey protein isolate (WPI) on the antioxidant capacity and preservation of grass carp surimi stored at 4°C were investigated. Changes in the carbonyl content, thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS) value, the total number of bacterial colonies, total volatile basic nitrogen (TVB-N) value, trimethylamine (TMA) value, and K value of grass carp surimi were measured at different storage times (days 0, 1, 3, 5, 7, and 9), and the correlation between the indices was studied. Experimental samples were divided into five groups: group 1: control group; groups 2 to 4: addition of 2%, 4%, and 6% WPI hydrolysate, respectively; group 5: addition of 0.02% butylated hydroxyanisole (BHA). The results showed that protein and lipid oxidation in surimi were significantly inhibited with increasing amounts of added WPI hydrolysate ($p<0.05$), and the preservation effect was markedly improved. The most significant effect was observed in surimi with the addition of 6.0% WPI hydrolysate; during the nine-day storage period, the carbonyl content, TBARS value, TVB-N value, and K value were decreased by 1.54 nmol/mg protein, 0.21 mg/kg, 5.84×10^{-2} mg/g and 11.7%, respectively, compared with those of control; the grass carp surimi was still in the second grade of freshness after nine days of storage. Additionally, all indices had a significant positive correlation ($p<0.05$). Therefore, WPI hydrolysate has a strong effect on antioxidant capacity and preservation, and can be considered for use as a natural preservative for surimi products.

Key words: surimi; hydrolysate of whey protein isolate; antioxidant activity; cold storage; preservation

鱼糜营养丰富,虽然在冷藏条件下能够较大幅度地保持鱼肉的鲜度,但是保存时间较短,易发生蛋白质变性和脂肪氧化,可导致其功能特性和营养价值流

收稿日期: 2016-03-08

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201610904057); 国家级基金预研究项目(2014YY14)

作者简介: 崔旭海(1979-),男,博士,副教授,研究方向: 畜产品加工与保藏

通讯作者: 毕海丹(1979-),女,讲师,研究方向: 食品营养与安全

失,因此其抗氧化和保鲜研究已经成为水产品贮藏加工中的热点问题。发现一些动植物蛋白在水解后具有一定的抗氧化功效,最具有代表性的有:乳清蛋白、豆类蛋白、鱼肉蛋白和骨蛋白等的水解物^[1-4]。彭新颜等^[1]和Peña-Ramos^[5]等将乳清蛋白水解物添加到猪肉糜中,二者实验均证明水解物可以有效抑制脂肪氧化并具有很好的保鲜效果。Sun^[2]等将豌豆蛋白水解物添加于牛肉中进行冷藏实验,结果表明,水解蛋白的添加提高了肌浆蛋白和脂质的氧化稳定性,可以很好地

保护腌制牛肉的色泽。García-Moreno^[3]等利用鱼肉蛋白水解物制备乳浊液并研究了乳化能力和氧化稳定性,结果表明,该水解蛋白具有较高的乳化能力和抗氧化能力。丁一等^[4]对骨蛋白水解物的研究表明,骨蛋白水解物能够抑制鱼糜的蛋白和脂肪氧化变性,且浓度越高效果越明显。

虽然关于蛋白水解物应用于肉制品冷藏有一定研究进展,但是将乳清分离蛋白水解物应用于抑制鱼糜的脂肪氧化及蛋白质变性未见报道。乳清是生产干酪、干酪素的副产物,其中乳清分离蛋白除了营养丰富外,还具有许多独特的功能特性,在食品工业中应用广泛。因此,本实验通过在冷藏过程中向草鱼鱼糜中加入不同浓度的乳清分离蛋白水解物来研究其对鱼糜氧化变性的抑制效果及保鲜作用。以期天然抗氧化肽在鱼产品保鲜上的应用提供更多支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

市售鲜活草鱼,每尾质量800~1200 g;乳清分离蛋白(Whey Protein Isolate, WPI),安徽中旭生物科技有限公司,纯度99%;碱性蛋白酶(活性200000 u/g)和丁基羟基茴香醚(butylated hydroxyanisole, BHA),购自北京索莱宝科技有限公司;硫代巴比妥酸、三氯乙酸、2,4-二硝基苯肼(DNPH)、盐酸胍、氯仿、Folin-酚试剂和血清白蛋白等其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

Agilent-1290 Infinity高效液相色谱:美国安捷伦科技公司;TU-1900紫外可见分光光度计:北京普析通用仪器有限公司;BCD-251WBSV海尔冰箱:青岛海尔股份有限公司;FA1004B电子天平:上海越平科学仪器有限公司;FW100高速匀浆组织捣碎机:天津市泰斯特仪器有限公司;Sigma 3-30K高速冷冻离心机:德国Sigma公司;TGL-20B高速台式离心机:上海安亭科学仪器厂;GF-1高速分散器:海门市其林贝尔仪器制造有限公司;LRH系列生化培养箱:上海一恒科技有限公司;LS-50LJ立式压力蒸汽灭菌锅:广州江滨贸易有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 乳清分离蛋白水解物的制备

$$K = \frac{HxR + Hx}{ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx} \times 100\% \quad (2)$$

式中, HxR表示次黄嘌呤核苷; Hx表示次黄嘌呤; ATP表示三磷酸腺苷; ADP表示二磷酸腺苷; AMP表示腺苷酸; IMP表示肌

参照彭新颜^[1]等人的方法。具体如下:称取乳清蛋白配成浓度为5%的溶液,经95 °C预热5 min,再用碱性蛋白酶进行水解,加酶量(E/S)2%,同时调节溶液pH 8.5、温度65 °C即酶最适条件,反应过程中不断加入1 mol/L的NaOH,使pH保持恒定,待水解结束后沸水浴5 min使酶灭活。根据前期实验结果,选择水解5 h的水解液冻干,再将水解物干粉配制成质量比分别为2%、4%和6%的不同浓度水解物。

1.3.2 鱼糜样品的制备

鲜活草鱼→预处理→冰水冲洗→采肉→漂洗、去腥(3次漂洗,盐水质量浓度为2.5 g/L,整个过程加冰使鱼肉温度保持在10 °C左右)→脱水→加入3%的食盐搅匀→然后分成5组(第1组为对照组,第2~4组中添加上述浓度为2%、4%和6%的乳清分离蛋白水解物,按鱼糜质量10%添加,第5组中加入0.02%的BHA,利用少量乙醇溶解BHA后加入鱼糜中)→斩拌搅匀(调整各组鱼糜水分含量,与对照组一致均为81.5%左右)→灌肠封装→4 °C冷藏,分别在0、1、3、5、7、9 d对样品各项指标进行测定。

1.3.3 羰基含量的测定

参照Liu等人^[6]的方法。

1.3.4 硫代巴比妥酸反应物(TBARS值)的测定

参照 Sinnhuber^[7]的方法,稍作修改。取不同的鱼糜样品0.30 g,加入3滴抗氧化剂,然后加入3 mL、1% TBA溶液、17 mL TCA-HCl溶液,混匀后,沸水浴中反应30 min,冷却,取4 mL样品加入等体积的氯仿,3000 r/min下离心10 min,532 nm下读取吸光值。TBARS值以每千克氧化样品中丙二醛的毫克数表示。计算公式如(1)所示:

$$TBARS (mg/kg) = \frac{A_{532}}{W} \times 9.48 \quad (1)$$

式中, A₅₃₂为溶液的吸光值; W为样品的重量(g); 9.48为常数。

1.3.5 菌落总数的测定

参照Liu等人^[8]方法,进行稀释平板计数法测定。

1.3.6 挥发性盐基氮(TVB-N)值的测定

TVB-N值的测定参照Orban等人^[9]的方法。

1.3.7 三甲胺(TMA)值的测定

参照Orban等人^[9]的方法进行测定。

1.3.8 K值的测定

苷酸; 浓度采用 ($\mu\text{mol/g}$, 湿基) 表示。

实验参考Özogul^[10]与陈思^[11]的方法, 具体为: 用烧杯准确称取5 g鱼糜样品, 加入0.6 mol/L、25 mL高氯酸, 充分匀浆后, 1940 g离心10 min, 取出上清液, 再用1 mol/L NaOH将pH调节至6.5~6.8范围内。然后在1940 g下再次离心10 min后, 取上清液。使用前用0.45 μm 无机滤膜过滤。若长期不用, 于-80 °C冻藏备用。

色谱条件: 色谱柱 BDS C18(250 mm×4.6 mm), 以0.04 mol/L KH_2PO_4 和0.06 mol/L K_2HPO_4 混和溶液作为流动相。进样量为20 μL , 液相流速为1 mL/min, 柱温为37 °C, 紫外检测器波长为254 nm。

1.4 数据统计分析方法

本试验独立重复两次, 每次3个平行实验。数据分析使用 Statistix 8.1 软件包中 General Linear Models 程序进行, 差异显著性 ($p < 0.05$) 分析采用最小显著差数法 (LSD 法), 采用 Sigmaplot 10.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 WPI 水解物对冷藏鱼糜羰基含量的影响

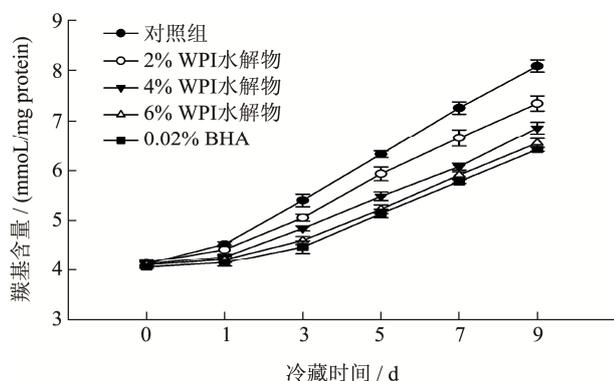


图1 WPI 水解物对草鱼鱼糜冷藏过程中羰基含量的影响

Fig.1 Effects of WPI hydrolysate on the carbonyl content of grass carp surimi during cold storage

羰基的形成(醛基和酮基)是蛋白质氧化后的一个显著变化, 是蛋白质氧化变质的重要评价指标。由图1可知, 随着鱼糜冷藏时间的延长, 各处理组的羰基含量呈上升趋势, 表明蛋白质发生了不同程度的氧化。冷藏初期羰基含量变化平缓, 各实验组差异不显著 ($p > 0.05$), 从冷藏第3 d开始羰基增加较快, 对照组在第9 d时已达到8.09 nmol/mg 蛋白, 与第0 d比较, 增加了96.4%, 添加6% WPI 水解物组同比增加59.9%, 添加BHA组同比增加58.4%, 各处理组的羰基含量明显低于对照组 ($p < 0.05$)。这表明: 蛋白水解物的添加一定程度抑制了冷藏鱼糜的蛋白氧化作用, 添加量越大抑制效果越好, 即以6% WPI 水解物的处

理组最好, 但在整个贮藏过程6% WPI 水解物组的羰基含量均大于BHA组, 但是二者无显著性差异 ($p > 0.05$)。推测WPI 水解物抗氧化的原因可能是, 水解物中的抗氧化肽对自由基的清除作用, 一定程度保护了蛋白质的氨基酸侧链免受自由基的攻击, 进而减少了氧化的发生, 这与彭新颜等人^[1]对乳清蛋白的研究是一致的。

2.2 WPI 水解物对冷藏鱼糜TBARS值的影响

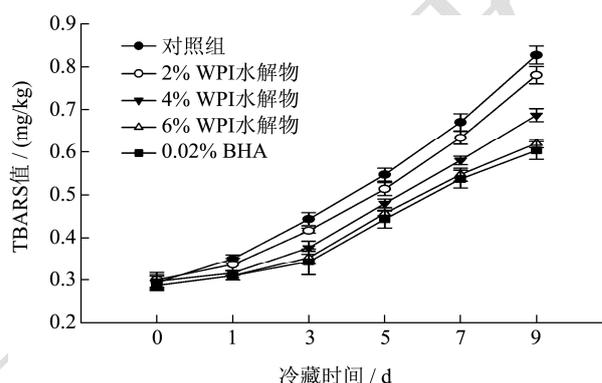


图2 WPI 水解物对草鱼鱼糜冷藏过程中TBARS值的影响

Fig.2 Effects of WPI hydrolysate on the TBARS value of grass carp surimi during cold storage

TBARS 值广泛应用于测定肉类和水产品脂肪的氧化酸败程度, 是较好的脂肪氧化评价指标^[4]。由图2可知, 在贮藏期的第0 d及第1 d, 所有鱼糜样品的TBARS 值并没有明显差异 ($p > 0.05$), 这说明在开始阶段, 鱼肉还比较新鲜, 脂肪氧化程度不高。然而随着冷藏时间的延长, 从第3 d起TBARS 值在所有实验组中都显著升高 ($p < 0.05$), 且处理组的数值均显著低于对照组 ($p < 0.05$), 而添加6% WPI 水解物组与添加0.02% BHA 的实验组TBARS 值又明显比其他组低 ($p < 0.05$)。在冷藏第9 d时, 对照组TBARS 值达到0.83 mg/kg, 是添加6% WPI 水解物组的1.33倍, 是添加BHA实验组的1.37倍。这说明, 水解物的添加起到了较好的抑制脂质氧化的作用, 但其作用效果不如BHA, 然而6% WPI 水解物组与添加BHA组在整个冷藏过程中TBARS 值差异均不显著 ($p > 0.05$)。本结果与彭新颜^[1]和Peña-Ramos^[5]等人研究乳清分离蛋白水解物对猪肉糜抗氧化作用的结论是相似的。这说明蛋白水解物对脂肪氧化同样具有较好的抑制效果, 起到了一定保鲜作用。

2.3 WPI 水解物对冷藏鱼糜菌落总数的影响

鱼体死后, 随着贮藏时间的延长, 其体内微生物的增长和繁殖是导致鱼肉腐败变质的主要原因^[8,11]。

由图3可知,菌落总数初始值为3.17 logCFU/g,随着贮藏时间的延长,菌落总数均呈上升趋势,对照组变化迅速,增加显著 ($p < 0.05$) 且均高于WPI水解物处理组,6% WPI水解物组与添加BHA组增加平缓,且菌落增加最少。冷藏第7 d时,对照组的草鱼鱼糜菌落总数达到6.55 logCFU/g,已经出现较明显的感官劣化现象,不可食用。然而,6% WPI水解物组与添加BHA组在冷藏第9 d时,菌落总数分别达到5.27和5.38 logCFU/g,仍处于较新鲜可食用状态。这说明,蛋白水解物的添加起到了较好的抑菌效果,且随着添加物的增加抑菌能力加强。推测可能是因为,蛋白水解物中存在一定的抗菌肽。柯德森^[12]等人研究了乳清蛋白水解程度与抗菌能力,指出采用酶法适当水解能够显著提高乳清蛋白的抗菌能力。这与本实验的结果具有很好的 consistency。因此,可以认为乳清蛋白水解物起到了一定的保鲜作用。

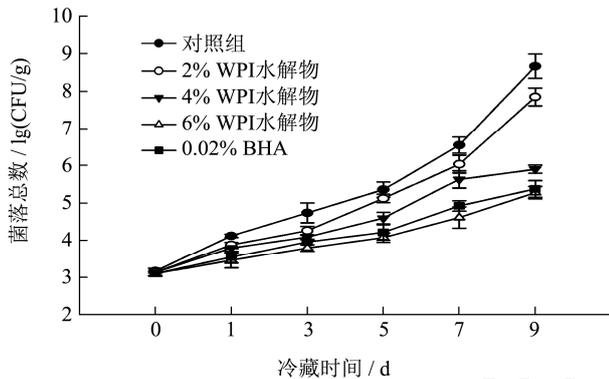


图3 WPI 水解物对草鱼鱼糜冷藏过程中菌落总数值的影响

Fig.3 Effects of WPI hydrolysate on the total number of bacterial colonies in grass carp surimi during cold storage

2.4 WPI 水解物对冷藏鱼糜 TVB-N 值的影响

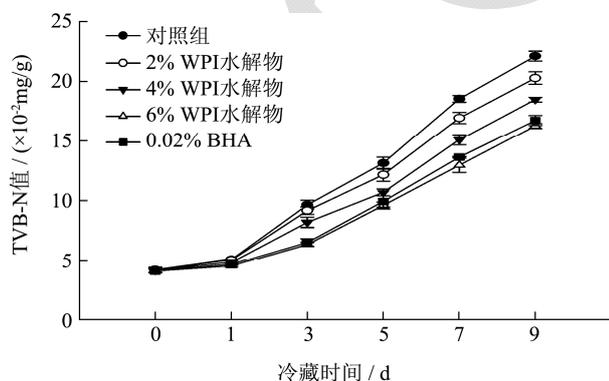


图4 WPI 水解物对草鱼鱼糜冷藏过程中 TVB-N 值的影响

Fig.4 Effects of WPI hydrolysate on the TVB-N value of grass carp surimi during cold storage

挥发性盐基氮是指动物性食品由于酶和细菌的作用,在腐败过程中使蛋白质分解,产生氨以及胺类等碱性含氮物质,是评价水产品新鲜度的常用指标^[6]。

由图4可以看出,在贮藏初期,无论是在同一添加量的鱼糜样品中,还是在相同贮藏时间不同处理组的样品,草鱼鱼糜的TVB-N值均没有明显变化 ($p > 0.05$)。这说明,初始阶段鱼糜很新鲜,TVB-N值在淡水鱼的一级鲜度范围^[9,11],WPI水解物和BHA的添加对其影响不明显 ($p > 0.05$)。随后随着冷藏时间的延长,所有样品的TVB-N值均发生显著增加 ($p < 0.05$)。而在贮藏相同时间,TVB-N值随着WPI水解物添加量的增加而逐渐降低,且6% WPI水解物组TVB-N值略低于添加BHA组,其变化趋势与菌落总数的相似。在4 °C条件下贮藏9 d后,添加6% WPI水解物组的鱼糜TVB-N值与对照组贮藏9 d相比减少了 5.84×10^{-2} mg/g,对照组第9 d达到0.2208 mg/g,2% WPI水解物组达到0.2025 mg/g,这2组的数值已超过二级鲜度限值(0.2 mg/g)已显示腐败迹象,然而其他组均处于二级鲜度以内^[9,12]。这是因为随着贮藏时间的延长,鱼肉在细菌作用下生成挥发性氮等低级胺类化合物,导致鱼糜新鲜程度降低,而WPI水解物可防止肌肉蛋白和脂肪氧化的发生,抑制细菌的作用,从而减少TVB-N的生成,提高鱼糜的品质^[4,12]。

2.5 WPI 水解物对冷藏鱼糜 TMA 值的影响

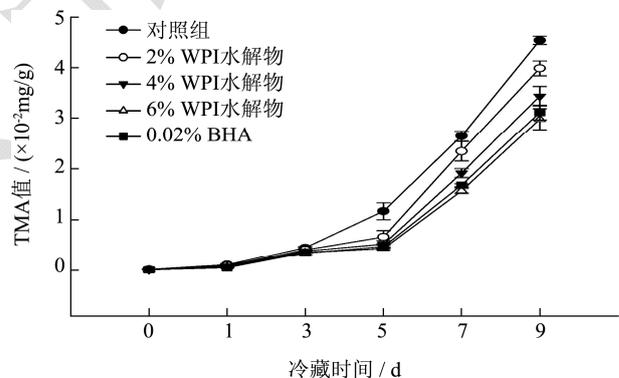


图5 WPI 水解物对草鱼鱼糜冷藏过程中 TMA 值的影响

Fig.5 Effects of WPI hydrolysate on the TMA value of grass carp surimi during cold storage

氧化三甲胺广泛分布于猪肉、鱼和虾中,氧化三甲胺会在微生物和酶的作用下降解生成三甲胺和二胺,随着鲜度下降,三甲胺的体积分数会越来越高^[11,13]。Heising^[13]等认为,尽管新鲜淡水鱼体内氧化三甲胺含量很少,但在鲜度发生变化的过程中,TMA含量亦有一个由零至迅速增加的过程,可以作为淡水鱼的指标。由图5可知,在贮藏初期,由于鱼糜很新鲜三甲胺含量很低,所有处理组没有显著变化 ($p > 0.05$),对照组第5 d时TMA值达 1.173×10^{-2} mg/g,发生了显著增加 ($p < 0.05$)。所有处理组从第5 d开始迅速增加,第9天时添加2% WPI水解物、4% WPI水解物、6% WPI

水解物、0.02% BHA实验组分别达到3.98、3.43、2.98、 3.11×10^{-2} mg/g, 均显著低于对照组 ($p < 0.05$)。而在贮藏相同时间, TMA值随着WPI水解物添加量的增加而逐渐降低, 且在6%水解物时的效果要优于使用BHA, 变化趋势与细菌总数和TVB-N值的变化趋势基本一致。该结果表明: WPI水解物一定程度延缓了鱼糜的氧化三甲胺降解, 抑制了微生物和酶的活性, 该结果也与陈思^[1]和姚燕佳等^[14]的研究结果相似, 说明TMA值适合作为评价草鱼鱼糜新鲜度的指标。

2.6 WPI 水解物对冷藏鱼糜 K 值的影响

K值是一种广泛用于评价鱼类新鲜度的指标, 被定义为HxR和Hx所占ATP降解物的比重, 一般认为即杀鱼的K值是低于10%的, 为一级鲜度, K值在20%~40%的鱼属于二级鲜度, K值在60%~80%的鱼已经初期腐败, 不可接受^[11,15]。如图6可知, 在贮藏初期, 所有鱼糜样品的K值均小于10%, 为一级鲜度, 随后从第1 d开始随着贮藏时间的延长, 对照组和2%WPI水解物添加组K值迅速增加($p < 0.05$), 4% WPI水解物、6% WPI水解物、0.02% BHA实验组的增加相对平缓且

变化趋势相似。第9 d时, 对照组和2% WPI水解物添加组K值已达到49.4%和41.17%, 已超出二级鲜度, 有腐败迹象; 而4% WPI水解物、6% WPI水解物和0.02% BHA实验组的K值分别达到33.66%、27.70%和30.88%, 仍处于二级鲜度范围内。在贮藏相同时间, 变化趋势与TVB-N值的变化趋势基本一致。这同样表明, WPI水解物对鱼糜的鲜度起到了很好的保护作用, 通过抑菌作用可延缓K值的增长。

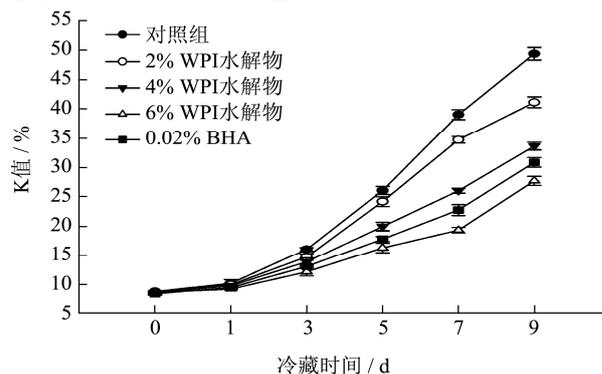


图6 WPI 水解物对草鱼鱼糜冷藏过程中 K 值的影响

Fig.6 Effects of WPI hydrolysate on the K value of grass carp surimi during cold storage

2.7 各指标相关性分析

表1 草鱼鱼糜冷藏期间各指标相关性的分析

Table 1 Correlation analysis between each grass carp surimi index during cold storage

样品	指标	羰基	TBARS值	细菌总数	TVB-N值	TMA值	K值
对照组	羰基	1					
	TBARS值	0.9833	1				
	细菌总数	0.9407	0.9641	1			
	TVB-N值	0.9926	0.9809	0.9480	1		
	TMA值	0.9620	0.9841	0.9887	0.9666	1	
	K值	0.9876	0.9849	0.9612	0.9932	0.9785	1
6% WPI水解物	羰基	1					
	TBARS值	0.9869	1				
	细菌总数	0.9547	0.9150	1			
	TVB-N值	0.9954	0.9854	0.9614	1		
	TMA值	0.9449	0.9223	0.9457	0.9461	1	
	K值	0.9707	0.9472	0.9498	0.9654	0.9658	1

注: 所有指标的相关性都是差异显著的 ($p < 0.05$)。

由表1可知, 对照组和6% WPI水解物实验组各指标对应比较, 其整体相关性变化是一致的。随着冷藏时间的延长, 羰基、TBARS值、细菌总数、TVB-N值、TMA值和K值等6个指标呈现增加趋势, 且是差异显著的正相关 ($p < 0.05$)。蛋白氧化指标(羰基)与脂肪氧化指标(TBARS值), 与鱼糜新鲜度指标(细菌总数、TVB-N值、TMA值和K值)的相关度均在0.9150以上

(6% WPI水解物条件), 差异显著 ($p < 0.05$)。这与彭新颜^[1]和Peña-Ramos^[5]等人对乳清蛋白水解物在猪肉糜中的抗氧化研究结果是一致的, 尤其是彭新颜实验中WPI水解物对TBARS值的抑制作用与本实验结果是高度一致的。结果说明, 乳清蛋白水解物可以很好抑制蛋白变性和脂质氧化, 同时水解物也具有一定的抑菌作用, 可以减弱鱼糜冷藏中微生物的增值。此结

果与柯德森^[12]等人对乳清蛋白水解程度与抗菌能力的相关性的研究结果和结论也是一致的。相关性的结果表明,鱼糜的蛋白氧化和脂肪氧化与鱼糜的新鲜程度密切相关,细菌总数、TVB-N值、TMA值和K值可以很好地作为评价鱼糜鲜度的指标,且随着氧化程度的增加鱼糜鲜度下降,最终会失去食用价值,但随着WPI水解物的添加会减弱氧化程度,减少鱼糜鲜度的降低。此外,本实验中蛋白氧化指标(羰基)与脂肪氧化指标(TBARS值)的高度相关也表明,二者相互影响,且鱼糜的脂肪氧化会明显促进蛋白氧化,这与Utrera等^[16]的研究结果也是一致的。

3 结论

将乳清分离蛋白水解物添加到草鱼鱼糜中,发现处理组在短期冷藏过程中能显著抑制蛋白和脂肪的氧化,并具有一定的抑菌效果,进而起到对鱼糜的保鲜作用,其中以添加浓度为6.0% WPI水解物的效果最佳。WPI水解物对鱼糜蛋白和脂肪的抗氧化能力与BHA相比,效果要稍差些,但抑菌能力方面要比BHA稍强,整体保鲜效果较好。因此,可以考虑把乳清蛋白水解物作为保鲜剂用于鱼糜制品生产中,这也为开发新型食品天然保鲜剂提供了依据。

参考文献

- [1] 彭新颜,孔保华.乳清分离蛋白水解物对猪肉糜抗氧化作用的研究[J].食品科学,2010,31(7):14-18
PENG Xin-yan, KONG Bao-hua. Antioxidant activity of whey protein hydrolysates on raw pork patties [J]. Food Science, 2010, 31(7): 14-18
- [2] Sun W Q, Xiong Y L. Stabilization of cooked cured beef color by radical-scavenging pea protein and its hydrolysate [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(2): 352-358
- [3] García-Moreno P J, Guadix A, Guadix E M, et al. Physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions stabilized with fish protein hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2016, 203: 124-135
- [4] 丁一,杨明,王松,等.骨蛋白水解物对冷藏鱼糜品质和蛋白结构特性的影响[J].食品工业科技,2013,34(12):145-148, 152
DING Yi, YANG Ming, WANG Song, et al. Effect of boneprotein hydrolyzates on the quality and structure of surimi protein during cold storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(12): 145-148, 152
- [5] Peña-Ramos EA, Xiong Y L. Whey and soy protein hydrolysates inhibit lipid oxidation in cooked pork patties [J]. Meat Science, 2003, 64(3): 259-263
- [6] Liu Q, Chen Q, Kong B H, et al. The influence of superchilling and cryoprotectants on protein oxidation and structural changes in the myofibrillar proteins of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(2): 603-611
- [7] Sinnhuber R O, Yu T C. 2-Thiobarbituric acid method for the measurement of rancidity in fishery products II The quantitative determination of malonaldehyde [J]. Food Technology, 1958, 12: 9-12
- [8] Liu Q, Kong B H, Han J C, et al. Effects of superchilling and cryoprotectants on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi: Microbial growth, oxidation, and physiochemical properties [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(1): 165-171
- [9] Orban E, Nevigato T, Lena G D, et al. Total volatile basic nitrogen and trimethylamine nitrogen levels during ice storage of European hake (*Merluccius merluccius*): a seasonal and size differentiation [J]. Food Chemistry, 2011, 128(3): 679-682
- [10] Özogul F, Özden Ö, Özogul Y, et al. The effects of gamma-irradiation on the nucleotide degradation compounds in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in ice [J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 789-794
- [11] 陈思,李婷婷,李欢,等.白鲢鱼片在冷藏和微冻条件下的鲜度和品质变化[J].食品科学,2015,36(24):297-301
CHEN Si, LI Ting-ting, LI Huan, et al. Changes in freshness and quality of silver carp fillets during chilled and partial freezing storage [J]. Food Science, 2015, 36(24): 297-301
- [12] 柯德森,王红星,巫锦雄,等.乳清蛋白水解程度与抗菌能力的相关性[J].食品科学,2013,34(9):61-65
KE De-sen, WANG Hong-xing, WU Jin-xiong, et al. Relationship between hydrolysis degree and antibacterial capability for whey protein [J]. Food Science, 2013, 34(9): 61-65
- [13] Heising J K, Boeckel van M A J S, Dekker M. Mathematical models for the trimethylamine (TMA) formation on packed cod fish fillets at different temperatures [J]. Food Research International, 2014, 56(4): 272-278
- [14] 姚燕佳,张进杰,顾伟钢,等.不同储藏温度对鲢鱼鲜度品质的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2011,37(2): 212-218
YAO Yan-jia, ZHANG Jin-jie, GU Wei-gang, et al. Effect of storage temperature on freshness of silver carp

- (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2011, 37(2): 212-218
- [15] 高志立,谢晶,施建兵,等.不同贮藏条件下带鱼品质的变化[J].食品科学,2013,34(16):311-315
- GAO Zhi-li, XIE Jing, SHI Jian-bing, et al. Quality changes of *trichiurus haumela* under different storage conditions [J]. Food Science, 2013, 34(16): 311-315
- [16] Utrera M, Morcuende D, Estévez M. Fat content has a significant impact on protein oxidation occurred during frozen storage of beef patties [J]. LWT- Food Science and Technology, 2014, 56(1): 62-68

现代食品科技