

冻藏条件对草鱼鱼糜氧化劣变及其品质的影响

崔旭海, 毕海丹*

(枣庄学院生命科学学院, 山东枣庄 277160)

摘要:为了解冻藏条件对淡水冷冻鱼糜氧化劣变和品质的影响。本实验以草鱼鱼糜为研究对象, 分别在 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行90 d冻藏实验, 通过测定羰基含量、TBARS值、TVB-N值、盐溶性蛋白、持水性、凝胶强度、凝胶弹性, 分析冻藏条件对品质的影响, 并进行各指标之间的相关性研究。结果表明: 随着冻藏时间的延长, 两种温度下羰基含量、TBARS值和TVB-N值显著增加($p<0.05$), $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏15 d, 羰基含量增加6.91%, TBARS值增加18.56%, $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏75 d, TVB-N值可达到21.62 mg/100g, 盐溶蛋白含量、持水性、凝胶强度、凝胶弹性显著降低($p<0.05$), 且各指标间存在显著相关($p<0.05$), 羰基与TBARS值在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下相关度达0.9523。氧化引起的这些变化说明, 冻藏温度和冻藏时间对鱼糜的品质和贮藏稳定性影响较大, 蛋白氧化和脂肪氧化对凝胶性能和贮藏稳定性有较大破坏作用, 但低温短期冻藏有利于鱼糜品质。

关键词:冻藏条件, 草鱼, 鱼糜, 氧化劣变, 品质

Effect of frozen storage conditions on oxidation deterioration and quality properties of grass carp surimi

CUI Xu-hai, BI Hai-dan*

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

Abstract: In order to explore the effect of frozen storage conditions on oxidation deterioration and quality properties of freshwater frozen surimi. In this experiment, grass carp surimi as the research object, respectively, for 90 days of frozen experiment at $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, carbonyl content, TBARS value, TVB-N value, salt soluble protein, water holding capacity, gel strength, gel elasticity of grass carp were determined, the effects of frozen storage conditions on quality properties were analyzed, correlation analysis between each index of grass carp surimi were studied. The results showed that: with increasing the frozen storage time at two kinds of temperature, carbonyl content, TBARS value and TVB-N value were increased significantly ($p<0.05$), Carbonyl content increased by 6.91% and TBARS value increased by 18.56% at $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 15 d storage, and TVB-N value reached 21.62 mg/100g at $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 75 d storage, and salt soluble protein content, water holding capacity, gel strength, gel elasticity occurred significantly decreased ($p<0.05$), and each index had significant correlation ($p<0.05$), carbonyl and TBARS value at $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ correlation degree of 0.9523. These oxidation-induced changes revealed that frozen storage temperature and time had a greater influence on the quality and storage stability, and the gel properties and storage stability would be greatly damaged due to protein oxidation and fat oxidation, but short-term freezing storage at low temperature was advantageous to keep surimi quality.

Key words: frozen storage conditions; grass carp; surimi; oxidation deterioration; quality

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)16-0333-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.16.059

鱼糜及其制品是一种高蛋白、低脂肪的营养食品, 因其营养丰富、价格适宜、食用方便, 深受国外市场和国内广大消费者的欢迎。但是因原料鱼糜冻藏

变性等原因导致凝胶能力下降, 以及鱼糜制品中的水分含量高, 易受微生物污染而难以贮存。因此, 鱼糜及制品保鲜技术的研究与开发已成为目前备受关

收稿日期: 2014-11-18

作者简介: 崔旭海(1979-), 男, 博士, 副教授, 主要从事畜产品加工与保藏方面的研究, E-mail: cuixuhai2003@163.com。

* 通讯作者: 毕海丹(1979-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事食品化学方面的研究, E-mail: bhd20032003@163.com。

基金项目: 2014年枣庄学院国家级基金预研究项目(2014YY14); 枣庄学院博士科研基金(307070902)。

注的研究课题。近年,关于改进鱼糜及制品凝胶特性的研究报道较多^[1-4],对肌肉蛋白(包括猪肉、鸡肉、牛肉、羊肉和鱼肉)的研究表明^[5-11],氧化可以引起肌原纤维蛋白质物理化学性质的变化,可以改变肌肉蛋白的凝胶性和乳化性,并且冻藏会引起鸡肉脂肪和蛋白氧化明显增加。国内对鲤鱼的研究表明:自由基引起的蛋白氧化会导致蛋白结构破坏,凝胶弹性降低和功能性的下降^[8]。然而,冻藏条件对草鱼鱼糜蛋白氧化、脂肪氧化、凝胶特性、蛋白质盐溶性的影响研究尚未见相关报道。

本实验以草鱼为对象,研究不同的冻藏温度和冻藏时间,对鱼糜主要氧化和劣变指标:羰基含量、硫代巴比妥酸反应物(TBARS值)、挥发性盐基氮(TVB-N)、盐溶性蛋白、持水性、凝胶强度、凝胶弹性的影响,以此探索冻藏条件对鱼糜氧化劣变的影响规律,为草鱼冷冻鱼糜制品减少劣变、稳定品质,提高产品质量提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鲜活草鱼(每尾质量800~1200 g)、食盐(食品级) 市售;氯化钙、盐酸、氢氧化钠、乙酸乙酯、乙醇、硫代巴比妥酸、三氯乙酸、2,4-二硝基苯肼(DNPH)、盐酸胍、氯仿、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、氯化钾 均为分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;Folin-酚试剂、血清白蛋白 均为生化试剂,国药集团化学试剂有限公司。

LFRA质构仪 美国Brookfield公司;UV-2000型紫外可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;BCD-251WBSV型海尔冰箱 青岛海尔股份有限公司;TD5GL台式过滤离心机 上海卢湘仪离心机仪器有限公司;HH-S4型数显恒温水浴锅 常州普天仪器制造有限公司;FA1004B型电子天平 上海越平科学仪器有限公司;ZB-20型斩拌机 诸城市瑞恒食品机械厂;FW100型高速匀浆组织捣碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;TDL-40B型低速台式大容量离心机 上海安亭科学仪器厂;GF-1型高速分散器 海门市其林贝尔仪器制造有限公司;SHZ-D(Ⅲ)型循环水式真空泵 巩义市予华仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 草鱼鱼糜制备及解冻 鱼糜的制备参照孙卫清^[12]和吴润锋等^[13]的方法,并稍作修改。制备与解冻过程如下:

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℃左右)→脱水→斩拌(添加鱼糜质量3%的食盐、4%的复合磷酸盐、3%的蔗糖,同时加冰使鱼肉温度保持在15℃左右)→脱气→灌肠→快速冻结(-35℃)→分别在-12℃、-18℃,进行不同时间冻藏保存,冻藏时间分别设定为:0(作为对照组未冻藏)、15、30、45、60、75、90 d→解冻时将从冷藏库取出的草鱼鱼糜置于4℃冰箱中解冻12 h,解冻后样品用于实验检测。

1.2.2 羰基含量的测定 羰基含量作为蛋白氧化的重要参数,参照Oliver等^[14]的方法,并略加改动。具体

如下:取3 mL质量浓度为20 g/L的鱼糜蛋白溶液放入塑料离心管,每管中加入1 mL的DNPH(浓度10 mmol/L),室温下静止1 h(每15 min旋涡振荡1次),添加1 mL质量分数为20%三氯乙酸,然后10000 r/min离心5 min,弃清液,用1 mL乙酸乙酯:乙醇(1:1)洗沉淀3次以除去未反应的试剂,加3 mL盐酸胍溶液(6 mol/L)37℃条件下保温15 min溶解沉淀,10000 r/min下离心3 min除去不溶物,最后获得物在370 nm处测吸光值。使用分子吸光系数22000 M⁻¹·cm⁻¹计算羰基含量,羰基含量表示为nmol/mg蛋白;蛋白含量采用Lowry法测定,用血清白蛋白做标准曲线。

1.2.3 硫代巴比妥酸反应物(TBARS值)的测定 参照Sinnhuber的方法^[15],并作适当的修改。分别于各实验时间点选取鱼糜样品0.3 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。计算公式如下:

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

式中: A₅₃₂为溶液的吸光值; W为样品的重量(g); 9.48为常数。

1.2.4 挥发性盐基氮(TVB-N值)的测定 TVB-N值的测定参照SC/T 3032-2007测定^[16]。

1.2.5 盐溶性蛋白的测定 称取解冻后鱼糜样品两份,每份1 g,分别加入30 mL高离子磷酸盐缓冲液(0.5 mol/L KCl-0.01 mol/L NaH₂PO₄-0.03 mol/L Na₂HPO₄)和低离子磷酸盐缓冲液(0.025 mol/L NaH₂PO₄-0.025 mol/L Na₂HPO₄),用分散均质机均质。前者抽提3 h,后者抽提1 h,然后在8000 r/min离心10 min,取上清液,加入10 mL 15%三氯乙酸使蛋白质沉淀,静置2 h,再以8000 r/min离心5 min;除去上清液取沉淀,用5 mL 1 mol/L NaOH溶解沉淀,再分别以高低磷酸盐缓冲液定容至25 mL,然后测定蛋白质的含量。高盐溶液中蛋白质含量减去低盐溶液的蛋白质含量即为盐溶性蛋白质含量。

1.2.6 持水性的测定 参照孙卫青等^[12]的研究方法,称3.00 g样品用滤纸包好,用2000 r/min离心15 min后取出称重。

$$\text{持水性}(\%) = \frac{\text{样品的含水率} - \text{失水率}}{\text{样品的含水率}} \times 100$$

1.2.7 鱼糜凝胶强度和弹性的测定 鱼糜解冻后,制成直径30 mm的圆柱体,分别于40℃加热60 min,90℃加热20 min,使其凝胶化,用冰水冷却后,将其切成2.5 cm长的片段,凝胶强度通过以下公式进行计算。其中破断强度、凹陷深度和凝胶弹性直接采用质构仪测定。

$$\text{凝胶强度}(\text{g} \cdot \text{mm}) = \text{破断强度}(\text{g}) \times \text{凹陷深度}(\text{mm})$$

参数设定:用LFRA型质构仪测定凝胶质地。探头型号选择直径12.7 mm球型探头;测定模式选择压缩力;测前速率:2.00 mm/s;测试速率:1.00 mm/s;测后速率:2.00 mm/s;压缩比:40%;数据采集速率:400.00 pps;触发类型:自动;触发力:5.0 g。

1.3 数据统计分析方法

本实验独立重复两次,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 羰基含量的变化

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,随着鱼糜冻藏时间的延长,羰基含量在 -12°C 与 -18°C 都表现出明显增加的趋势,且每隔15 d差异均显著($p < 0.05$),这表明蛋白质发生了不同程度的氧化。与对照组相比,即使 -18°C 贮藏15 d,羰基含量也增加了6.91%,达到4.44 nmol/mg蛋白。不同冻藏温度下相同冻藏时间点, -12°C 羰基含量明显较高,且差异显著($p < 0.05$)。这表明:冻藏温度对鱼糜蛋白氧化的影响较大,但在传统的冻藏温度(-18°C)下,蛋白氧化程度明显减弱。究其原因,可能是因相对较高的冻藏温度下加快了鱼糜蛋白变性的进程,加速了羰基化合物的产生。羰基含量的变化与李艳青^[7]的研究结果一致,该研究在实验结果中指出经过不同漂洗处理的鲤鱼肌原纤维蛋白的羰基含量在冻藏时随着冻藏时间的延长而增加。

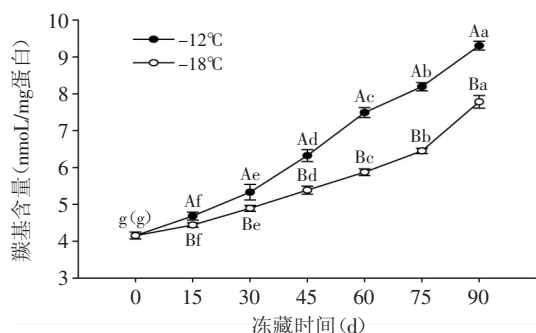


图1 草鱼鱼糜冻藏期间羰基含量的变化

Fig.1 Change in carbonyl content of grass carp surimi during frozen storage

注:同一曲线上小写字母不同表示各时间点差异显著($p < 0.05$),两曲线间大写字母不同表示相对性的时间点不同贮藏温度下差异显著($p < 0.05$);图2~图7同。

2.2 TBARS值的变化

TBARS值反映出其脂肪氧化酸败程度,是脂肪氧化的评判指标。鱼糜在冻藏过程中TBARS的变化情况见图2。实验表明,不同温度下冻藏的鱼糜,脂肪氧化形成的TBARS值明显高于对照组($p < 0.05$),在贮藏15 d时, -12°C 和 -18°C 下分别增加了21.65%和18.56%。随着冻藏时间的延长,在两种温度下TBARS值都表现出明显增加的趋势,且随着储藏时间的变化,整体差异显著($p < 0.05$)。相同冻藏时间条件下,在75 d内,TBARS值因温度带来的影响差异不显著,只有当贮藏90 d时, -12°C 条件的脂肪氧化值明显较高,已经有较明显酸败味道。此外, -18°C 条件,在前30 d冻藏内,脂肪氧化差异不显著,但冻藏

时间对其影响较大。分析TBARS值增加的原因,可能是因为草鱼以草为食,其中含有较丰富的不饱和脂肪酸,脂肪很容易被氧化。同时也表明:较低温度冻藏可以一定程度减缓脂质氧化进程,从而更利于鱼糜保藏。这与孙卫清等^[12,18]的研究结论是一致的,该研究指出在低温环境下,贮藏温度对鲢鱼鱼糜的脂肪氧化影响显著,较低温度有利于抑制氧化发生。

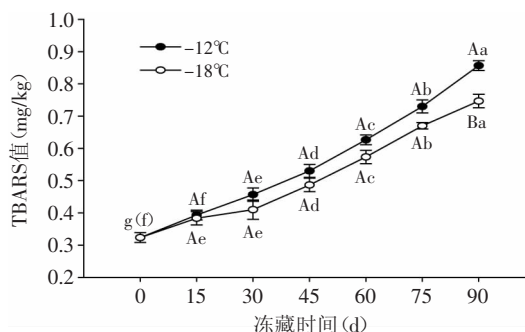


图2 草鱼鱼糜冻藏期间TBARS值的变化

Fig.2 Change in TBARS of grass carp surimi during frozen storage

2.3 TVB-N值的变化

挥发性盐基氮是指动物性食品在酶和细菌作用下,在腐败过程中蛋白质分解,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。挥发性盐基氮的测定结果见图3,由图3可知,随着冻藏时间的延长,两组鱼糜的TVB-N含量在90 d内都有较明显增加($p < 0.05$),远远高于对照组。在 -12°C 条件其数值更高,当贮藏75 d时,挥发性盐基氮已达到21.62 mg/100g,已超过淡水鱼食品卫生标准允许的最高值20 mg/100g,已显示腐败迹象。而 -18°C 贮藏90 d时,达20.11 mg/100g,刚刚超过标准允许的最高值,且在贮藏30 d后其数值明显比 -12°C 条件低,且差异显著($p < 0.05$)。这说明 -18°C 条件由于微生物生长使蛋白质分解产生的含氮碱性物质较少,较低温度可更好的抑制微生物生长,更有利于鱼糜保鲜。本实验TVB-N值的变化趋势与倪晓锋等^[19]对竹筴鱼冻藏实验的研究结果具有很好一致性。

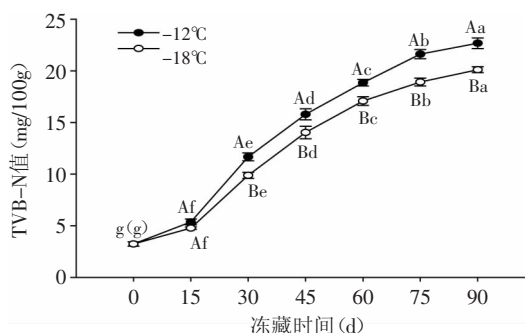


图3 草鱼鱼糜冻藏期间TVB-N值的变化

Fig.3 Change in TVB-N content of grass carp surimi during frozen storage

2.4 盐溶性蛋白含量的变化

盐溶性蛋白的含量直接影响着鱼糜制品的功能

性质和品质,且与保藏条件密切相关。其变化趋势如图4所示,实验表明:不同冻藏温度下,整体变化趋势相似,鱼糜的盐溶蛋白含量随着冻藏时间的增加而降低,与对照组相比,−18℃贮藏15 d差异不显著,其余差异显著($p<0.05$)。尤其是−12℃条件,盐溶蛋白降低更明显,90 d下降到54.79 mg/g。−18℃条件,贮藏前30 d内,盐溶蛋白变化较缓慢,仅下降1.87%,随后降低较快,在继续冻藏的60 d内变化差异显著($p<0.05$)。分析原因可能是,盐溶蛋白的降低与低温下蛋白质变性程度密切相关。本实验结果与从浩等^[20]对罗非鱼冻藏后引起盐溶性蛋白降低的研究结论是一致的。不同冻藏温度下盐溶性蛋白的下降规律与李汴生等^[21]对脆肉鲩鱼片的研究结果也是一致的。

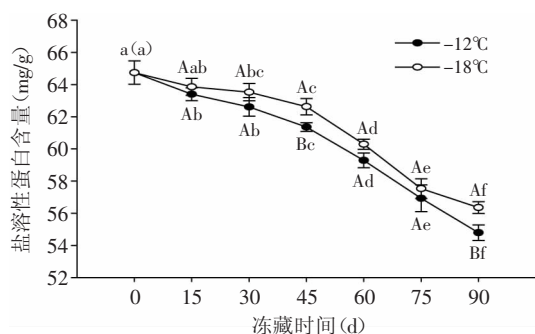


图4 草鱼鱼糜冻藏期间盐溶性蛋白含量的变化

Fig.4 Change in salt soluble protein content of grass carp surimi during frozen storage

2.5 持水性的变化

鱼糜的持水性直接影响着其制品的品质,且与保藏条件密切相关。由图5可知,鱼糜的持水性随着冻藏时间的增加而较明显降低,当−18℃贮藏90 d时持水性降低到78.90%,降低了15.61%。当超过45 d时,持水性降低,组间组内差异均显著($p<0.05$)。在45 d内,−18℃条件变化幅度不大,持水性在90.90%左右;但对于−12℃条件变化差异显著,与对照组相比在45 d时持水性下降8.10%。同比两组结果,在30 d后,低温冻藏持水性显著高于较高温度冻藏,这也表明,较低温度冻藏利于鱼糜保鲜。同时也发现,持水性的降低趋势和盐溶蛋白的下降是一致的,事实上鱼糜持水性的降低直接与鱼糜中盐溶蛋白的含量以

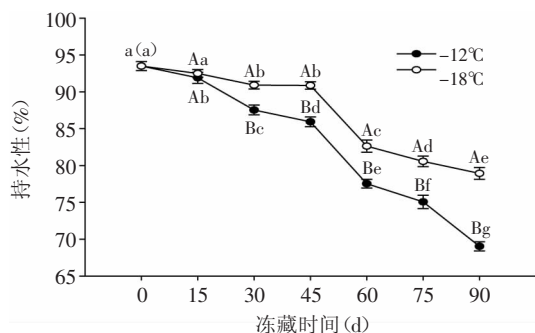


图5 草鱼鱼糜冻藏期间持水性的变化

Fig.5 Change in water-holding capacity of grass carp surimi during frozen storage

及肌原纤维蛋白的变性程度密切相关。该结论与UTRERA等^[22]对牛肉肉糜冻藏过程中因蛋白氧化引起持水性降低的研究结论是一致的。

2.6 凝胶质地的变化

凝胶质地的好坏是评价鱼糜及其制品品质的重要指标。本实验选取凝胶强度和凝胶弹性两个代表性指标进行研究。

2.6.1 凝胶强度的变化 由图6可知,鱼糜的凝胶强度随着冻藏时间的增加而较明显降低,−12℃条件下下降更为显著($p<0.05$),−18℃条件下,贮藏75 d和90 d凝胶强度比较差异不显著。对于两种冻藏温度比较,相同的90 d贮藏时间内,凝胶强度变化差异显著($p<0.05$),较低温度贮藏明显有利于保持鱼糜的凝胶强度。凝胶强度的变化与肌原纤维蛋白的含量和结构密切相关,根据前面的实验结果盐溶蛋白含量的降低也会直接减弱凝胶强度。这与李艳青^[17]对鲤鱼肌原纤维蛋白在冻藏过程中的研究结果是一致的。

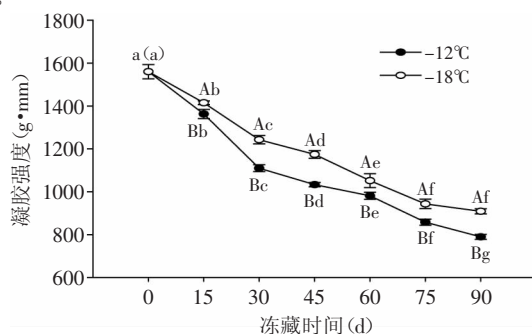


图6 草鱼鱼糜冻藏期间凝胶强度的变化

Fig.6 Change in gel strength of grass carp surimi during frozen storage

2.6.2 凝胶弹性变化 由图7可知,鱼糜的凝胶弹性随着冻藏时间的增加而降低,且与对照组相比差异显著($p<0.05$)。−12℃条件下贮藏30 d后,下降更为显著($p<0.05$),−18℃条件下,30 d内凝胶弹性差异不显著。对于两种冻藏温度比较,相同的贮藏时间内,凝胶弹性在30 d内变化不显著,超过45 d后,变化显著($p<0.05$),较低温度贮藏明显有利于保持鱼糜的凝胶弹性。这与凝胶强度的变化是一致的,同时与

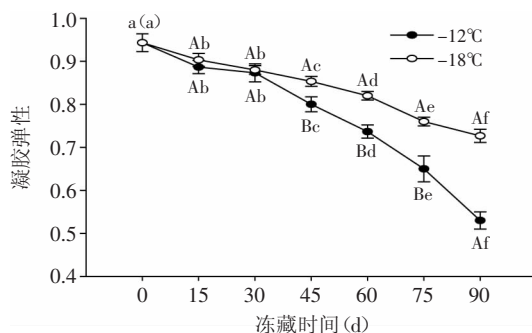


图7 草鱼鱼糜冻藏期间凝胶弹性的变化

Fig.7 Change in gel springness of grass carp surimi during frozen storage

表1 草鱼鱼糜冻藏期间各指标相关性的分析

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

样品	指标	羰基	TBARS值	TVB-N值	盐溶性蛋白	持水性	凝胶硬度	凝胶弹性
-12 ℃冻藏	羰基	1						
	TBARS值	0.9877	1					
	TVB-N值	0.9475	0.9202	1				
	盐溶性蛋白	-0.9750	-0.9857	-0.9036	1			
	持水性	-0.9878	-0.9825	-0.9264	0.9732	1		
	凝胶硬度	-0.9554	-0.9466	-0.9737	0.9290	0.9345	1	
	凝胶弹性	-0.9730	-0.9831	-0.8813	0.9840	0.9618	0.9160	1
-18 ℃冻藏	羰基	1						
	TBARS值	0.9523	1					
	TVB-N值	0.8650	0.9241	1				
	盐溶性蛋白	-0.9351	-0.9764	-0.8937	1			
	持水性	-0.8779	-0.9395	-0.9075	0.9463	1		
	凝胶硬度	-0.8915	-0.9630	-0.9706	0.9433	0.9508	1	
	凝胶弹性	-0.9615	-0.9709	-0.9019	0.9791	0.9295	0.9422	1

注:所有指标的相关性都是差异显著的($p < 0.05$)。

李艳青^[17]对鲤鱼的冻藏实验结果也是一致的。

2.7 各指标相关性分析

由表1可知,两种冻藏温度下各指标对应比较,其整体相关性变化是一致的。随着蛋白氧化指标羰基含量的增加,脂肪氧化指标TBARS值增加,盐溶性蛋白、持水性、凝胶硬度、凝胶弹性等四个指标呈现下降趋势,且是差异显著的负相关($p < 0.05$)。同时还发现,蛋白氧化与脂肪氧化呈明显正相关,羰基与TBARS值相关度达0.9523(-18 ℃条件)。这与李艳青^[17]对鲤鱼氧化的相关性研究是一致的,尤其是李艳青实验中羰基含量、凝胶弹性、凝胶硬度、凝胶保水性的相关性研究结果与本实验结果是高度一致的。结果说明氧化导致了蛋白变性和脂肪氧化,而蛋白变性导致了蛋白许多功能性的降低,破坏了蛋白本身的应用价值,脂肪氧化加速了鱼糜劣变的发生。此结果与UTRERA等^[22]对牛肉糜冻藏过程中脂肪氧化和蛋白氧化的研究结果和结论也是一致的。

根据本实验相关性结论,推测淡水鱼在冻藏条件下鱼糜氧化及品质变化的普遍规律可能如下:氧化改变了蛋白质的特定氨基酸或肽键的组成;氧化后的蛋白发生了分子间或分子内的交联导致蛋白质功能性下降;氧化酸败和蛋白氧化是相互促进的,而且是相互作用的,尤其是脂肪氧化的产物,产生的自由基会破坏蛋白结构,促进蛋白氧化发生并表现为羰基含量的增加,进而导致盐溶性蛋白下降,蛋白持水性降低,凝胶强度降低,凝胶弹性降低。因此在对草鱼等淡水鱼进行贮藏和加工过程中,要尽量避免和减少蛋白和脂肪发生氧化反应,从而保证其功能性不受损失同时提高贮藏稳定性。

3 结论

草鱼鱼糜随着冻藏时间的延长,鱼糜肌肉蛋白质氧化增加和脂肪氧化加速,整体新鲜度会下降。同时盐溶蛋白含量,持水性降低,凝胶强度和凝胶弹性均降低,组织坍塌软烂。-12 ℃与-18 ℃两种冻藏温

度之间,各指标整体变化趋势相似,羰基、TVB-N值、持水性、凝胶强度等指标差异较显著,TBARS值与盐溶蛋白含量差异不大,较低冻藏温度有利于品质的保持。在相对较高温度下较长时间冻藏,会加速氧化劣变的发生,进而降低了草鱼鱼糜的食用品质(蛋白氧化、脂肪氧化、持水性)和商品品质(新鲜度、凝胶质地),因此在鱼糜贮藏和加工过程中应严格控制冻藏温度,减少长时间较高温度冻藏,减少温度波动。

参考文献

- [1] 李俊杰,熊善柏,曾俊,等. 鲢鱼鱼浆对鱼糜凝胶品质的影响[J]. 食品科学,2013,34(1):53-56.
- [2] 杨贤庆,丁利,马海霞,等. 几种添加剂对草鱼鱼糜制品凝胶品质改良的影响[J]. 食品与发酵工业,2013,39(3):67-72.
- [3] Bharti, Karim A A. Ultraviolet irradiation improves gel strength of fish gelatin[J]. Food Chemistry, 2009, 113(4):1160-1164.
- [4] Balange A K, Benjakul S. Effect of oxidised phenolic compounds on the gel property of mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) surimi[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(6):1059-1064.
- [5] Soyer A, Özalp B, Dalmis Ü, et al. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat[J]. Food Chemistry, 2010, 120(4):1025-1030.
- [6] Utrera M, Morcuende D, Estévez M. Temperature of frozen storage affects the nature and consequences of protein oxidation in beef patties[J]. Meat Science, 2013, 96(3):1250-1257.
- [7] Delles R M, Xiong YL. The effect of protein oxidation on hydration and water-binding in pork packaged in an oxygen-enriched atmosphere[J]. Meat Science, 2014, 97(2):181-188.
- [8] Li YQ, Kong BH, Xia XF, 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, 48:863-870.

(下转第342页)

the exogenous plant hormones at prebloom stage improves flowering and fruiting in cashew(*Anacardium occidentale* L.)[J]. Journal of Crop Science and Biotechnology, 2011, 14(2): 143-150.

[3] Kępczyński J, SZNIGIR P. Participation of GA₃, ethylene, NO and HCN in germination of *Amaranthus retroflexus* L. seeds with various dormancy levels[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2014, 36(6): 1463-1472.

[4] ZHU Y M, ZHENG P, VARANASI V, et al. Multiple plant hormones and cell wall metabolism regulate Apple fruit maturation patterns and texture attributes[J]. Tree Genetics&Genomes, 2012 (8): 1389-1406.

[5] Aliyu O M, Adeigbe O O, Awopetu J A. Foliar application of the exogenous plant hormones at prebloom stage improves flowering and fruiting in cashew(*Anacardium occidentale* L.)[J]. Journal of Crop Science and Biotechnology, 2011, 14(2): 143-150.

[6] 石海燕, 郭靖, 周颖. 赤霉素和脱落酸在植物生长发育中的相互关系的研究进展[J]. 华中师范大学研究生学报, 2007(3): 138-140.

[7] CAO J K, LI Q P, JIANG W B, et al. Effect of Gibberellin treatment on storage quality and Ethylene Metabolism of pear fruit[J]. China Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(1): 81-84.

[8] Bangerth F. Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators[J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2000, 31: 43-59.

[9] 曹健康, 姜微波, 赵淑梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 152-154.

[10] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 172-173.

[11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 267-268.

[12] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 183-185.

[13] 刘淑娟, 将跃明. GA₃对三华李采后色泽的影响[J]. 园艺学报, 1994, 21(4): 320-322.

[14] Mitcham E J, MC Donald R E. Changes in grapefruit flavedo cellwall Noncellulosic neutral sugar composition [J]. Photochemistry, 1993(34): 1235-1239.

[15] 杨晓棠, 张昭其, 庞学群, 等. 果蔬采后叶绿素降解与品质变化的关系[J]. 果树学报, 2005, 22(6): 691-696.

[16] 莫永坤, 曹怀亮, 何春蒙, 等. 赤霉素对官溪蜜柚产量及经济效益的影响[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(12): 189-191.

[17] 马培恰, 吴文. 采前喷水水杨酸(SA)和赤霉素(GA₃)对采后贡柑果实生理及贮藏效果的影响[J]. 果树学报, 2009, 26(6): 891-894.

[18] 王雄, 曾荣, 陈金印. GA₃处理对纽荷尔脐橙留树保鲜果实内源激素变化的影响[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(1): 57-60.

[19] CHEN Y X, LIU X H, CHEN L S. Progress in research on organic acid metabolism in fruits[J]. Journal of Fruits, 2005, 22(5): 526-531.

[20] 任邦来, 张灵. 不同浓度赤霉素处理对油桃保鲜效果的影响[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(4): 29-32.

[21] 曹建康, 李庆鹏, 姜微波, 等. 赤霉素处理对鸭梨果实乙烯代谢和贮藏品质的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 81-84.

[22] 黄森, 张继澍, 张院民, 等. 赤霉素处理对采后柿果实乙烯生物合成的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(3): 88-90.

(上接第337页)

[9] Roldan M, Antequera T, Armenteros M, et al. Effect of different temperature-time combinations on lipid and protein oxidation of sous-vide cooked lamb loins[J]. Food Chemistry, 2014, 149(4): 129-136.

[10] Nieto G, Jongberg S, Andersen M L, et al. Thiol oxidation and protein cross-link formation during chill storage of pork patties added essential oil of oregano, rosemary, or garlic[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 177-184.

[11] Utrera M, Morcuende D, Estévez M. Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles [J]. Meat Science, 2014, 96(2): 812-820.

[12] 孙卫青, 吴晓, 杨华, 等. 冰温贮藏对草鱼鱼糜脂肪氧化和质构变化的效应[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(4): 913-916, 922.

[13] 吴润锋, 袁美兰, 赵利, 等. 不同辅料对草鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 53-57.

[14] Oliver C N, Alln B W, Moerman E J. Age-related changes in oxidized proteins[J]. Journal of Biological Chemistry, 1987, 262(12): 5488-5491.

[15] 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.

[16] 中国水产科学研究院南海水产研究所. SC/T 3032-2007 水产品中挥发性盐基氮的测定[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.

[17] 李艳青. 蛋白氧化对鲤鱼蛋白结构和功能性的影响及其控制技术[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.

[18] 孙卫青, 吴晓, 杨华, 等. 不同低温贮藏条件下鲢鱼鱼糜品质的变化[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(16): 3959-3962, 3965.

[19] 倪晓锋, 刘璘, 丁玉庭, 等. 不同解冻方式对智利竹鱼船上冻品贮藏品质的影响[J]. 食品工业, 2013, 34(19): 313-315, 319.

[20] 从浩, 王海滨. 冷冻贮藏的罗非鱼片及其鱼糜凝胶品质的测定[J]. 肉类研究, 2011, 25(12): 6-10.

[21] 李汴生, 朱志伟, 阮征, 等. 不同温度冻藏对脆肉鲩鱼片品质的影响[J]. 华南理工大学学报, 2008, 36(7): 134-139.

[22] 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.