

## 冻藏温度对鳙鱼片脂质特性变化的影响

武华<sup>1</sup> 洪惠<sup>1</sup> 罗永康<sup>1\*</sup> 沈慧星<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083;

2. 中国农业大学 理学院,北京 100083)

**摘要** 研究不同冻藏温度对鳙鱼片脂质特性变化的影响。将处理好的鳙鱼片分别置于-10、-20和-30℃冰箱中贮藏16周,测定其脂肪含量、游离脂肪酸(FFA)含量、过氧化值(PV)、硫代巴比妥酸反应产物(TBARS)含量、共轭二烯(CD)值和荧光化合物含量等指标,分析其变化规律。结果表明:3组鱼片的FFA含量都随着贮藏时间的延长而增大,冻藏期结束时,-10和-20℃组鱼片的 $w$ (FFA)分别为39.43和34.96 g/100 g,显著( $P<0.05$ )高于-30℃组的20.96 g/100 g;PV、 $w$ (TBARS)和CD值都呈先上升后下降的趋势,-30℃组的PV与 $w$ (TBARS)显著( $P<0.05$ )低于-10℃组;各组之间CD值无显著性( $P>0.05$ )差异;3组样品间荧光化合物含量差异较显著。综合各指标变化,-30℃冻藏较-10和-20℃能够有效抑制鳙脂质的水解和氧化。

**关键词** 鳙;冻藏;脂质;水解;氧化

中图分类号 TS 254.4

文章编号 1007-4333(2014)06-0173-06

文献标志码 A

## Effect of frozen storage temperatures on lipids changes of bighead carp fillets

WU Hua<sup>1</sup>, HONG Hui<sup>1</sup>, LUO Yong-kang<sup>1\*</sup>, SHEN Hui-xing<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** The effect of frozen storage temperatures (-10, -20 and -30℃) on lipids changes of bighead carp fillets during a 16 week storage were investigated in this paper. During the whole storage, the changes in lipid content, free fatty acids (FFA) content, peroxide value (PV), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) content, conjugated dienes (CD) and fluorescence compounds content were measured every two weeks. Results showed that FFA content in all samples increased with the extension of storage time. After 16 weeks of storage,  $w$ (FFA) in samples stored at -10 and -20℃ were 39.43 and 34.96 g/100 g, respectively, which were significantly ( $P<0.05$ ) higher than 20.96 g/100 g in samples stored at -30℃. Peroxide value,  $w$ (TBARS) and conjugated dienes all increased with time and then decreased, peroxide value and  $w$ (TBARS) in samples stored at -30℃ were marked ( $P<0.05$ ) lower than that at -10℃, while there were no significant difference ( $P>0.05$ ) in conjugated dienes. The content of fluorescence compounds had a significant difference in samples stored at the three temperatures. Thus, frozen storage at -30℃ could inhibit hydrolysis and oxidation of lipids in bighead carp fillets effectively, compared to that at -10 and -20℃.

**Key words** bighead carp; frozen storage; lipids; hydrolysis; oxidation

鳙(*Aristichthys nobilis*)又名花鲢,是国内水产品市场上非常重要的淡水鱼种,生长迅速且疾病少。鳙的年产量和经济价值在不断增长,2012年年产量

达 $285.1 \times 10^4$  t<sup>[1]</sup>。然而,淡水鱼含水量较高,为微生物的活动和内源酶活性的发挥提供了良好条件,是一类极易腐败的食品。

收稿日期:2014-01-20

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-46)

第一作者:武华,硕士研究生,E-mail:wuhua1013@126.com

通讯作者:罗永康,教授,博士生导师,主要从事水产品贮藏与加工研究,E-mail:luoyongkang@263.net

冷冻保藏能够抑制微生物和酶的活性,防止腐败,进而较好的保持鱼产品的感官和营养特性,是一种较好的保藏方式,但鱼肉中的脂质在冻藏过程中仍会发生水解及氧化,进而会破坏鱼的整体品质<sup>[2]</sup>。对同一种鱼而言,在冻藏过程中影响鱼体品质下降的主要因素是冻藏温度,而冷冻水产品零售储藏时,冻藏温度在 $-18\sim-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰柜占20%左右,温度在 $-10\sim-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰柜也占到了20%左右<sup>[3]</sup>。因此,选择 $-10$ 、 $-20$ 和 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3个温度作为试验条件能够模拟冷冻水产品在实际冷链中的条件,探究这3个温度下鱼体的脂质特性变化对鳙资源的利用更具实际意义。另外,我国淡水鱼资源丰富,居民获取方便,即使需要冷冻储藏,储藏期也较短,通常在4~5个月。

目前,国外对蓝鳕鱼(*Micromesistius poutassou*)、无须鳕鱼(*Merluccius*)、马鲛鱼(*Scomber scombrus*)等海水鱼类在冻藏过程中脂质腐败情况进行的研究发现,冻藏温度对海水鱼脂质品质下降的影响比较显著<sup>[4-5]</sup>;而国内对淡水鱼品质的研究主要集中在整体品质的变化和货架期的延长上,如包玉龙等<sup>[6]</sup>报道了鲫鱼(*Carassius cuvieri*)在冷藏( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ )和冰藏( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )条件下的品质变化规律,指出鲫鱼冷藏时感官接受极限为8 d,冰藏为10 d,冰藏较冷藏能够有效延长鲫鱼的贮藏期。洪惠等<sup>[7]</sup>研究了鳙在冷藏( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ )和微冻( $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ )条件下品质的变化得出,鳙在冷藏和微冻时的货架期分别为6和20 d, $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏能明显延长鳙的货架期。很少有对淡水鱼脂质特性变化进行单独研究,关于冻藏温度对鳙脂质特性变化影响的研究未见报道。本研究选择鳙为试验用鱼,通过测定其脂肪含量、游离脂肪酸(FFA)含量、过氧化值(PV)、硫代巴比妥酸反应产物(TBARS)含量、共轭二烯(CD)值和荧光化合物含量等理化指标,研究不同冻藏温度对鳙鱼片脂质特性变化的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

鲜活鳙购于北京小月河水产品批发市场(购买时间:4月份;平均体长: $50.5\pm 1.3\text{ cm}$ ;平均体重: $1\ 663.4\pm 112.6\text{ g}$ ),活体运至实验室后击毙,去鳞、去内脏、去头、取鱼片,将洗净沥干的鱼片随机均分为3组,用聚乙烯保鲜袋包装后置于 $-10$ 、 $-20$ 和 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰箱内冻藏16周(温度变化范围控制在

$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内)。每2周各从3组鱼片中随机选取3块进行各项指标的测定,每个指标均重复测定3次(为保证鳙鱼片处于冰冻状态,新鲜鱼片指标的测定分别在 $-10$ 、 $-20$ 和 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏6、5和3 h后进行)。

### 1.2 测定方法

#### 1.2.1 总脂肪的提取与定量

参照 Bligh 等<sup>[8]</sup>的方法并稍作修改。取50 g 绞碎的肉样品于三角瓶中,加入50 mL 的氯仿和100 mL 的甲醇,均质2 min,再依次加入50 mL 氯仿和50 mL 蒸馏水(加入每一种试剂后都需均质30 s),混合物过滤备用,滤渣和三角瓶用50 mL 氯仿清洗,混合物再次过滤,滤液与第1次的滤液混合后转移至分液漏斗,静置3 h至滤液完全澄清分层,将有机相转移到已恒重的三角瓶中用氮气吹干,最后置于干燥器中放置24 h,称重。结果用每100 g 鱼肉中脂肪的含量表示,g/100 g。

#### 1.2.2 游离脂肪酸(FFA)含量的测定

参照 Lowry 等<sup>[9]</sup>的方法,并做部分修改。称取0.05~0.10 g 脂肪样品溶于5 mL 甲苯中,然后加入1 mL 5 mg/mL 的吡啶乙酸铜溶液,将混合物振荡2 min,室温3 000 r/min 离心5 min,取上层溶液于715 nm 下测定吸光值。结果用每100 g 脂肪中含游离脂肪酸的质量表示,g/100 g。

#### 1.2.3 过氧化值(PV)的测定

参照 Shantha 等<sup>[10]</sup>的方法。称取20 g 绞碎的肉样品加入50 mL 蒸馏水均质2 min,取2 mL 匀浆液加入3 mL 异辛烷和异丙醇的混合液( $V$ (异辛烷): $V$ (异丙醇)=3:1),3 500 r/min 下离心5 min,取下层有机相溶液4 mL,分别加入3 mL 甲醇和正丁醇的混合液( $V$ (甲醇): $V$ (正丁醇)=2:1)、30  $\mu\text{L}$  30% 硫氰酸氨和30  $\mu\text{L}$  氯化亚铁溶液,混合均匀,室温下静置20 min,于500 nm 下测定吸光值。空白用蒸馏水代替氯化亚铁溶液。

#### 1.2.4 硫代巴比妥酸反应产物(TBARS)含量的测定

参照 Hong Hui 等<sup>[11]</sup>的方法。

#### 1.2.5 共轭二烯值(CD)的测定

参照 Kim 等<sup>[12]</sup>的方法。称取100 mg 脂肪样品溶于正己烷,于233 nm 下测定吸光值。CD 值用吸收系数(AC)表示: $AC=B\times V/m$ 。式中: $B$ 为混合液在233 nm 下的吸光值; $V$ 为混合液体积,mL; $m$ 为脂肪样品的质量,mg。

### 1.2.6 荧光化合物含量的测定

参照 Aubourg 等<sup>[13]</sup>的方法。取脂肪提取分离时的水相溶液,通过测定其在 393、463 和 327、415 nm 下的荧光吸收强度,确定荧光化合物的形成。相对荧光强度(RF)的计算公式为: $RF = F/F_{st}$ , $F$ 为各激发波长和发射波长下所测荧光的最大值, $F_{st}$ 为奎宁硫酸溶液在相同波长条件下的荧光强度。结果用荧光比率(FR)表示: $FR = RF_{393,463\text{ nm}}/RF_{327,415\text{ nm}}$ 。

### 1.3 数据统计分析

利用 Excel 2010 进行数据处理与作图,用 SAS 9.0 统计软件进行差异显著性分析,用最小显著差异法(LSD)进行差异显著性检验(差异显著性水平为  $P < 0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 脂肪质量分数的变化

鳙鱼片在不同温度冻藏过程中脂肪质量分数的变化见图 1。3 组新鲜鱼片中的脂肪质量分数分别为 0.59、0.60 和 0.59 g/100 g,在冻藏初期迅速下降,之后保持平稳直到贮藏末期又呈现下降趋势。16 周的贮藏期结束时,3 组样品的脂肪质量分数分别为 0.41、0.50 和 0.45 g/100 g,显著( $P < 0.05$ )低于新鲜鱼片的脂肪质量分数。另外,在整个冻藏过程中-30 °C 组鱼片样品的脂肪质量分数都高于-10 °C 组样品,说明较低的冻藏温度能够较好地抑制鳙鱼片脂肪含量的下降。

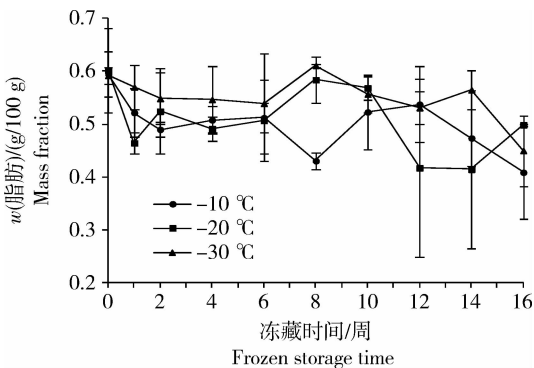


图 1 鳙鱼片不同温度冻藏过程中脂肪质量分数  $w$ (脂肪)的变化

Fig. 1 Changes in lipids mass fraction of bighead carp fillets during frozen storage at different temperatures

### 2.2 游离脂肪酸(FFA)质量分数的变化

脂肪的水解程度是评估鱼、虾等水产品的腐败

程度的常用指标,可用游离脂肪酸(FFA)的含量判断<sup>[14]</sup>。鳙鱼片在不同温度冻藏过程中 FFA 质量分数( $w$ (FFA))的变化见图 2。3 组样品在整个贮藏过程中脂肪水解程度不断增大。-10 和-20 °C 组的  $w$ (FFA)在冻藏期的前 4 周快速升高,随后保持缓慢增加的趋势直到贮藏结束,然而,-30 °C 组样品的  $w$ (FFA)在整个冻藏期间仅保持缓慢的上升趋势。16 周的贮藏期结束时,-10 和-20 °C 组鱼片的  $w$ (FFA)分别为 39.43 和 34.96 g/100 g,显著( $P < 0.05$ )高于-30 °C 组的 20.96 g/100 g,表明冻藏温度对鳙鱼片的脂肪水解和游离脂肪酸形成有显著的影响。游离脂肪酸是由三酰甘油经化学水解或酶促水解产生<sup>[15]</sup>,可见,鳙鱼片脂肪的酶促水解在冻藏过程中也会发生。因此,-30 °C 组鱼片的游离脂肪酸含量相对较低可能是由于较低的冻藏温度更好的抑制了酶(如脂肪酶和磷脂酶)的活性。

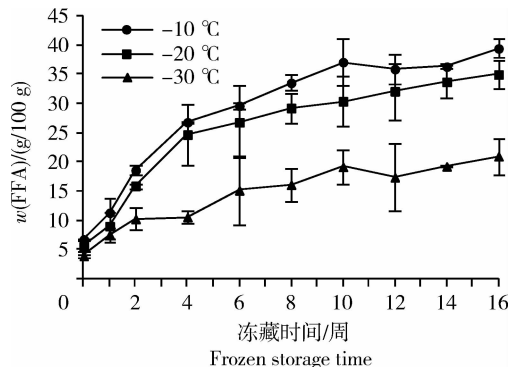


图 2 鳙鱼片不同温度冻藏过程中游离脂肪酸质量分数  $w$ (FFA)的变化

Fig. 2 Changes in  $w$ (FFA) content of bighead carp fillets during frozen storage at different temperatures

### 2.3 过氧化值(PV)的变化

鳙鱼片在不同温度冻藏过程中过氧化值(PV)的变化见图 3。总体来说,在整个贮藏过程中,3 组鱼片的 PV 先迅速上升,第 4 周达到最大值,此后,除-30 °C 组在贮藏后期略有上升外,都随着冻藏时间的延长而下降,这是由于作为初级脂肪氧化产物的过氧化物在贮藏初期形成积累而后降解的结果<sup>[16]</sup>。同时,3 组样品的 PV 随着冻藏温度的降低而减小,尤其是一-30 °C 组的过氧化值在整个贮藏过程中都显著( $P < 0.05$ )低于-10 °C 组。-10 °C 组的 PV 到第 4 周时达到最大值 25.48  $\mu\text{mol/kg}$ ,而此时-30 °C 组只有 10.01  $\mu\text{mol/kg}$ ,说明较低的冻藏

温度对脂肪氧化的抑制效果更好,更有利于鳙鱼片的保藏。Aubourg 等<sup>[17]</sup>在研究蓝鳃鱼在冻藏过程中的脂肪腐败规律时也得出相类似的结论,不过稍有不同的是,海水鱼的 PV 通常在冻藏 4 个月左右达到最大值,明显晚于鳙的 1 个月,这可能是由于海水鱼和淡水鱼肌肉中不饱和脂肪酸含量不同以及它们的生长环境、种类差异所致。

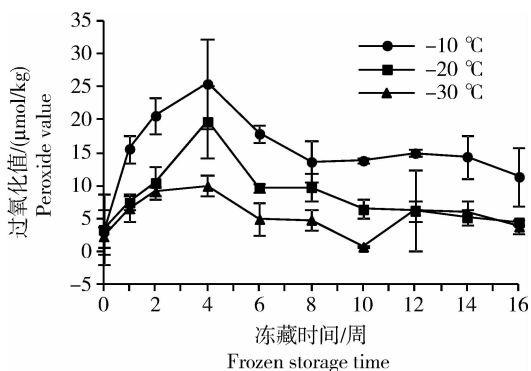


图3 鳙鱼片不同温度冻藏过程中过氧化值的变化

Fig. 3 Changes in peroxide value of bighead carp fillets during frozen storage at different temperatures

## 2.4 TBARS 质量分数的变化

鳙鱼片在不同温度冻藏过程中 TBARS 质量分数( $w$  (TBARS))的变化见图 4。虽然 3 组样品的  $w$  (TBARS)都随着贮藏时间的延长呈先上升后下降的趋势,但是在整个冻藏过程中的变化幅度较小,表明鳙鱼片在冻藏过程中脂肪的氧化一直处于较低水平,这与鳙冷藏过程中的脂肪氧化程度不同<sup>[18]</sup>。

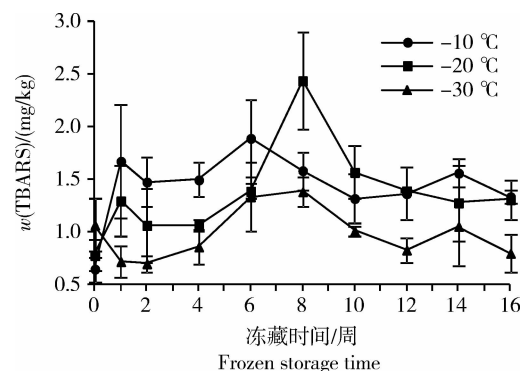


图4 鳙鱼片不同温度冻藏过程中 TBARS 质量分数  $w$  (TBARS)的变化

Fig. 4 Changes in  $w$  (TBARS) of bighead carp fillets during frozen storage at different temperatures

与-10 和-20 °C 2 组鱼片相比,-30 °C 组的  $w$  (TBARS)明显较低,贮藏结束时,-30 °C 组鱼片的  $w$  (TBARS)为 0.80 mg/kg 显著低于-10 和-20 °C 这 2 组鱼片的  $w$  (TBARS) (1.33 和 1.31 mg/kg)。说明较低的冻藏温度对于脂肪腐败的抑制效果更好,更有利于货架期的延长。de Abreu 等<sup>[14]</sup>在研究大西洋比目鱼冻藏过程中脂肪的腐败规律时也得出类似结论。不过还有研究发现,冰藏过程中的沙丁鱼,其 TBARS 含量在贮藏初期就迅速上升,可能是沙丁鱼脂肪含量较多的原因<sup>[19]</sup>。

## 2.5 共轭二烯值(CD)的变化

共轭二烯是产生于脂肪氧化初级阶段,是一种初级脂肪氧化产物,常用来衡量脂肪的初级氧化程度<sup>[20]</sup>。鳙鱼片不同温度冻藏过程中的共轭二烯(CD)值用吸收系数(AC)表示,具体变化情况见表 1。在冻藏期的前 12 周,随着时间的延长,3 组样品的吸收系数(AC)都呈先上升后下降的趋势,说明共轭二烯(CD)值与过氧化值(PV)的变化趋势一致。-10 °C 组与-20 和-30 °C 组鱼片的吸收系数(AC)分别在第 8 周和第 6 周达到最大值(0.140 与 0.137)。不过,不同冻藏温度相同冻藏时间下鱼片的吸收系数(AC)大多数没有显著性差异( $P > 0.05$ ),表明不同冻藏温度对共轭二烯(CD)值影响不显著,这与 Aubourg 等<sup>[17]</sup>的研究结果不同。关于不同冻藏温度对共轭二烯的产生无显著影响的原因有待进一步研究。

## 2.6 荧光化合物含量的变化

荧光化合物是由脂肪的初级、二级氧化产物以及亲核分子(胺化物)之间相互作用形成的一类具有荧光特性的物质,可以通过测定相对荧光强度来反应脂肪氧化的情况<sup>[21]</sup>。鳙鱼片在不同温度冻藏过程中荧光化合物的含量用荧光比率表示(表 2),3 组鱼片的荧光化合物含量在整个贮藏过程中呈不规则的波动趋势。-10、-20 °C 组样品的荧光比率都在第 2 周达到最大值 2.89、2.72,-30 °C 组鱼片则是在第 6 周达到最大值 1.87。然而,3 组鱼片的荧光比率随着冻藏温度的降低而显著减少,-30 °C 组的最小值为 0.74 明显低于( $P < 0.05$ )-10 °C 组的 1.29。因此,不同冻藏温度对荧光化合物变化的影响较显著,即较低的冻藏温度能更好的抑制荧光化合物的产生。

表 1 鳙鱼片不同温度冻藏过程中吸收系数(AC)的变化

Table 1 Changes in Absorption Coefficients of bighead carp fillets during frozen storage at different temperatures

冻藏时间/周 Storage time	温度/℃		
	-10	-20	-30
0	0.122±0.000 6 A	0.121±0.000 9 A	0.122±0.000 9 A
1	0.129±0.002 1 A	0.131±0.002 7 A	0.123±0.000 7 B
2	0.126±0.002 0 A	0.127±0.001 0 A	0.126±0.001 0 A
4	0.135±0.003 3 A	0.130±0.004 0 A	0.132±0.000 3 A
6	0.137±0.002 9 A	0.137±0.002 9 A	0.137±0.001 2 A
8	0.140±0.003 2 A	0.135±0.000 8 A	0.136±0.005 0 A
10	0.114±0.001 3 A	0.111±0.000 3 B	0.112±0.001 7 AB
12	0.104±0.001 9 A	0.103±0.001 1 AB	0.101±0.000 9 B
14	0.123±0.003 9 A	0.121±0.002 2 A	0.123±0.004 4 A
16	0.118±0.006 1 A	0.117±0.001 2 A	0.115±0.000 7 A

注:表中各数值表示为平均值±标准差( $n=3$ );同一冻藏时间下相同字母表示无显著性差异( $P > 0.05$ )。下表同。

Note: Data are mean  $\pm$  SD ( $n = 3$ ); Values with same letter in the same row have no significant of difference under the same frozen storage time ( $P > 0.05$ ). The same as in the following table.

表 2 鳙鱼片不同温度冻藏过程中荧光比率的变化

Table 2 Changes in fluorescence ratio of bighead carp fillets during frozen storage at different temperatures

冻藏时间/周 Storage time	温度/℃		
	-10	-20	-30
0	2.13±0.51 A	1.85±1.85 AB	1.11±0.24 B
1	2.89±1.20 A	2.72±1.01 A	0.83±0.06 B
2	1.74±1.62 A	0.95±0.25 A	0.87±0.26 A
4	1.29±0.39 A	0.86±0.15 A	0.87±0.32 A
6	2.06±0.38 A	1.21±0.22 A	1.87±1.22 A
8	1.68±0.44 A	1.18±0.28 AB	0.97±0.13 B
10	1.30±0.12 AB	1.37±0.47 A	0.78±0.07 B
12	1.37±0.25 A	1.08±0.15 A	1.21±0.42 A
14	1.49±0.28 A	1.16±0.29 AB	0.74±0.07 B
16	1.58±0.11 A	1.38±0.45 A	1.49±0.13 A

### 3 结 论

-10、-20、-30℃冰箱中贮藏的3组鱼片样品,游离脂肪酸含量都随冻藏时间的延长而增大,但-30℃组鱼片在整个贮藏期间上升缓慢。与-10

和-20℃组鱼片相比,-30℃组鱼片过氧化值、TBARS含量和荧光化合物含量一直处于较低水平,以致冻藏结束时脂肪含量相对较高。因此,鳙鱼片的脂质虽然在冻藏过程中仍会发生分解和氧化等反应,但较低的冻藏温度对脂质特性变化的抑制效

果非常显著。所以,从抑制脂质腐败的角度,−30℃冻藏优于−10和−20℃,是鳙保藏的较好方法。

### 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 31
- [2] Benjakul S, Suttthipan N. Muscle changes in hard and soft shell crabs during frozen storage[J]. LWT-Food Sci and Technol, 2009, 42(3): 723-729
- [3] Tsironi T, Dermesonlouoglou E, Giannakourou M, et al. Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions[J]. LWT-Food Sci and Technol, 2009, 42(2), 664-671
- [4] Aubourg S P, Lago H, Sayar N, et al. Lipid damage during frozen storage of Gadiform species captured in different seasons [J]. Eur J lipid Sci Tech, 2007, 109(6): 608-616
- [5] Vázquez M, Torres J A, Gallardo J M, et al. Lipid hydrolysis and oxidation development in frozen mackerel (*Scomber scombrus*): Effect of a high hydrostatic pressure pre-treatment [J]. Innov Food Sci Emerg, 2013, 18: 24-30
- [6] 包玉龙, 汪之颖, 李凯风, 等. 冷藏和冰藏条件下鲫鱼生物胺及相关品质变化的研究[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(3): 157-162
- [7] 洪惠, 朱思潮, 罗永康, 等. 鳙在冷藏和微冻贮藏下品质变化规律的研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(6): 7-12
- [8] Bligh E, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification[J]. Can J biochem phys, 1959, 37(8): 911-917
- [9] Lowry R R, Tinsley I J. Rapid colorimetric determination of free fatty acids[J]. J Am Oil Chem So, 1976, 53(7): 470-472
- [10] Shantha N C, Decker E A. Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids[J]. J AOAC Int, 1994, 77(2): 421
- [11] Hong Hui, Luo Yongkang, Zhou Zhongyun, et al. Effects of different freezing treatments on the biogenic amine and quality changes of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) heads during ice storage[J]. Food Chem, 2013, 138: 1476-1482
- [12] Kim R S, LaBella F. Comparison of analytical methods for monitoring autoxidation profiles of authentic lipids[J]. J Lipid Res, 1987, 28(9): 1110-1117
- [13] Aubourg S P, Sotelo C G, Pérez-Martín R. Assessment of quality changes in frozen sardine (*Sardina pilchardus*) by fluorescence detection[J]. J Am Oil Chem So, 1998, 75(5): 575-580
- [14] de Abreu D, Losada P P, Maroto J, et al. Lipid damage during frozen storage of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in active packaging film containing antioxidants[J]. Food Chem, 2011, 126(1): 315-320
- [15] Barthet V J, Gordon V, Daun J K. Evaluation of a colorimetric method for measuring the content of FFA in marine and vegetable oils[J]. Food Chem, 2008, 111(4): 1064-1068
- [16] Aubourg S P, Rodriguez A, Gallardo J M. Rancidity development during frozen storage of mackerel (*Scomber scombrus*): effect of catching season and commercial presentation[J]. Eur J lipid Sci Tech, 2005, 107(5): 316-323
- [17] Aubourg S P. Lipid damage detection during the frozen storage of an underutilized fish species [J]. Food Res Int, 1999, 32(7): 497-502
- [18] 武华, 阴晓菲, 罗永康, 等. 腌制鳙鱼片在冷藏过程中品质变化规律的研究[J]. 南方水产科学, 2013, 9(4): 70-75
- [19] Chaijan M, Benjakul S, Visessanguan W, et al. Changes of lipids in sardine (*Sardinella gibbosa*) muscle during iced storage[J]. Food Chem, 2006, 99(1): 83-91
- [20] Ortiz J, Larraín M A, Vivanco J P, et al. Rancidity development during the frozen storage of farmed coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): Effect of antioxidant composition supplied in the diet[J]. Food Chem, 2009, 115(1): 143-148
- [21] Rodriguez A, Cruz J M, Paseiro-Losada P, et al. Effect of a polyphenol-vacuum packaging on lipid deterioration during an 18-month frozen storage of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) [J]. Food Bioprocess Tech, 2012, 5(6): 2602-2611

责任编辑: 刘迎春