

黄花鱼腌制加工过程的脂肪氧化分析

蔡秋杏^{1,2,3}, 吴燕燕¹, 李来好^{1*}, 杨贤庆¹, 赵永强¹, 王悦齐¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室, 国家水产品加工技术研发中心, 广州 510300;
2. 钦州学院海洋学院, 钦州 5350992; 3. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266000)

摘要: **目的** 阐明多脂黄花鱼(yellow croakers)腌制加工过程的理化变化对脂肪氧化的影响以及脂肪氧化的内在机制。 **方法** 通过测定大黄鱼腌制加工过程中鱼肉理化指标(水分、盐分、pH 值), 脂质氧化指标[硫代巴比妥酸值(TBARs 值)、过氧化值(POV 值)]及脂肪氧合酶(LOX)活力的变化, 研究加工过程中脂质分解氧化规律及其与水分、盐分、pH、LOX 活力的相关性。 **结果** 随着加工的进行, 水分出现 3 次显著性减少($P<0.05$), 分别在腌制 3 d、烘干 1 d 以及成品; 盐分在腌制 3 d 时达到最高值 6.38%; 氧化指标 POV 和 TBARs 都呈现先升后降的趋势, 分别在腌制 3 d 和烘干 1 d 达到最高值为 0.907 meq/kg 和 0.250 mg/kg; LOX 活性则呈现递减的趋势。 POV 值仅和盐分呈显著正相关($P<0.05$), TBARs 则分别和盐分、水分呈极显著正、负相关($P<0.01$), LOX 酶活与盐分、TBARs 呈极显著负相关($P<0.01$)。 **结论** 在多脂黄花鱼的腌制过程中, 适当的盐度和水分的减少可促进脂肪氧化, 而脂肪氧合酶的活性可被盐抑制, 酶促反应不是引起脂肪氧化的主要原因。

关键词: 腌制; 脂肪氧化; POV; TBARs; LOX 活性

Lipid oxidation during processing of traditional salting fish of yellow croakers

CAI Qiu-Xing^{1,2,3}, WU Yan-Yan¹, LI Lai-Hao^{1*}, YANG Xian-Qing¹,
ZHAO Yong-Qiang¹, WANG Yue-Qi¹

(1. National R&D Center for Aquatic Product Processing, Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. School of Oceanography, Qinzhou University, Qinzhou 535099, China; 3. College of Food Science and Engineering, China Ocean University, Qingdao 266000, China)

ABSTRACT: Objective To illustrate the physical and chemical changes on the influence of lipid oxidation and the inner mechanism of lipid oxidation during processing of salting fatty fish of yellow croaker. **Methods** Lipid oxidation during processing of salting fatty fish of yellow croakers were studied by evaluating the changes in physicochemical parameters(moisture content, salt content, pH), lipid oxidation index [peroxide value (POV), thiobarbituric acid reactive substances (TBARs)], and lipoxigenase (LOX) activities and their correlation. **Results** Along with the processing, moisture content significantly decreased ($P<0.05$) at salting for 3 d, drying for 1 d and final product; the salt content reached the peak of 6.38% at salting for 3 d; POV and

基金资助: 国家自然科学基金项目(31371800)、广东省海洋渔业科技推广专项(A201301C01)、中国水产科学研究院基本科研业务费资助(2014C05XK01)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31371800), the Special Promotion of Guangdong Marine Fishery Science and Technology (A201301C01) and the Basic Scientific Research Business Expenses Aid of Chinese Academy of Fishery Sciences (2014C05XK01)

*通讯作者: 李来好, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为水产品精深加工与质量安全控制。E-mail: laihao@163.com

*Corresponding author: LI Lai-Hao, Researcher, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, No. 231 Xingangwest Road, Haizhu District, Guangzhou 510300, China. E-mail: laihao@163.com

TBARs increased first and then decreased, and reached the peak at salting for 3 d and drying for 1 d, respectively. The peak value was 0.907 meq/kg and 0.250 mg/kg, respectively; the LOX activity was decreased during processing. The correlation result showed that POV was only positive related to moisture content ($P < 0.05$), and TBARs was significantly positive and negative related to salt content and moisture content ($P < 0.01$), respectively, and LOX activity was only significantly negative related to salt content ($P < 0.01$).

Conclusions Proper salinity and reduction of water can promote lipid oxidation, but activity of LOX is inhibited by salt, and enzymatic reaction may not be the main cause of lipid oxidation in salting fish of fatty yellow croaker.

KEY WORDS: salting; lipid oxidation; peroxide value; thiobarbituric acid reactive substances; lipoyxygenase activity

1 引言

腌制水产品是一种风味和口感独特,深受我国许多地区消费者欢迎的传统食品。在我国,著名的腌制水产品有咸带鱼、咸黄鱼、咸鲷鱼、咸鲱鱼等鱼类^[1]。随着人们食品安全意识的提高,传统腌制食品的安全问题日益受到关注,近年来腌制鱼的安全问题主要集中在亚硝酸盐及其致癌物亚硝基化合物^[2,3],而另一关键问题——脂肪氧化还很少有人研究。腌制鱼是一种比较容易受到氧化攻击的食品体系,海水鱼中不饱和脂肪酸占脂肪酸的比例高达 70%~80%,其中鱼类特有的 ω -3 系列脂肪酸,如 EPA 及 DHA 等,能降低脑部的患病风险,对冠心病和脑溢血具有防止作用,对婴儿的眼睛和脑部发育有很好的促进作用^[4]。正是由于多不饱和脂肪酸的存在,在氧、光、水分、微生物、酶等内外因素下,脂肪容易迅速氧化变质^[5],脂肪氧化生成的醛、醇、酮等化合物,往往会产生哈喇味等令人不愉快的气味,同时还会引起肉表面褐变,引起鱼体的组织、水合能力、颜色、风味等一系列品质恶化。食品中脂肪氧化的研究目前主要集中在肉制品^[6,7],乳制品^[8]等,对水产品尤其是腌制水产品的研究还比较少。黄花鱼(yellow croakers)在中国主要分布于南海、东海和黄海南部,为福建和浙江等沿海地区的主要经济鱼类之一^[9],野生黄花鱼的脂肪含量较高,约 12%~20%,而(EPA+DHA)占中脂肪酸含量的 30%左右^[9,10],根据^[11]对多脂鱼的定义,各部肌肉混合后脂肪含量为 5.0%以上的鱼类,黄花鱼属于多脂鱼类,在腌制加工中较易氧化变质。本文研究多脂黄花鱼腌制加工过程的脂肪氧化变化,通过测定生产过程中的理化指标(水分、盐分、pH 值)、脂肪氧化指标[硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid

reactive substances, TBARs)、过氧化值(peroxide value, POV)]以及脂肪氧合酶(lipoyxygenase, LOX)的变化,分析指标间的相关性,以阐明腌制加工条件导致的理化变化对脂肪氧化的影响及脂肪氧化的内在机制,从而指导腌制鱼的实际生产。

2 材料与amp;方法

2.1 主要试剂

三氯乙酸、氯仿、甲醇、乙二胺四乙酸二钠(分析纯,广州化学试剂厂);氢氧化钠、硫氰酸钾、氯化亚铁、还原铁粉、硝酸银(分析纯,天津富宇化学试剂有限公司);磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、柠檬酸和吐温-20(分析纯,天津大茂化学试剂厂);亚油酸、硫代巴比妥酸、1, 1,3,4-四乙氧基丙烷、 β -巯基乙醇、PMSF(优级纯,美国 Sigma 公司)。

2.2 仪器与设备

BS224S 分析天平(美国 Sartorius 公司);HG53 快速水分测定仪(瑞士梅特勒-托勒多公司);809 电位滴定仪(瑞士 Metrohm 公司);3k30 冷冻离心机(美国 Sigma 公司);UV-2550 紫外分光光度计(日本岛津公司);Five Easy Plus pH 计(瑞士梅特勒-托勒多公司);T25 均质机(德国 IKA 公司);HH-4 快速恒温数显水浴箱(常州澳华仪器公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 取样

新鲜黄花鱼购自广州大江冲菜市场,每尾鱼的质量在 400~600 g 之间,将鱼去鳞,去内脏后用冰水冲洗干净,按照传统咸鱼的制作方法腌制,具体操作参考陈胜军^[12],腌制流程为原料-腌制-漂洗-烘干-成品。在整个腌制加工过程中取样,分别是原料(A)、腌

制 1 d(B)、腌制 3 d(C)、漂洗后(D)、烘干 1 d(E)、成品(F), 每个点取 4 尾鱼, 每尾取约 200 g 鱼肉, 绞肉机绞碎后, 真空包装并置于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用。

2.3.2 理化指标分析

水分测定采用快速水分测定仪, 按照 GB/T 5009.3-2010 的直接干燥法^[13]进行测定, 盐分测定按照 SC/T 3011-2001 电位滴定法^[14]进行, pH 值测定按照 ISO 2917:1999(E), 使用 pH 计测定。

2.3.3 脂肪氧化指标分析

(1) 过氧化值(POV)的测定

采用 GB/T 5009.37^[15]的比色法进行测定。

(2) TBARS 值的测定

按照 Hasret^[16]的方法进行测定, 略做修改。称取 1 g 试样, 加入 25 mL 7.5% 的三氯乙酸溶液(含 0.1% EDTA- Na_2)溶液, 振摇 30 min 后中速滤纸过滤两次, 取 5 mL 滤液加入 5 mL 的 2'-硫代巴比妥酸溶液(TBA, 0.02 mol/L), 置于沸水浴中保温 40 min 后, 取出冷却至室温后加 5 mL 氯仿摇匀, 静置分层后, 上清液于 538 nm 处测吸光度。空白对照以 5 mL 蒸馏水代替 5 mL 过滤后的上清液。丙二醛含量以 1,1,3,4-四乙氧基丙烷标准曲线标定后计算。结果以 mg/kg 计。

2.3.4 脂肪氧化酶(LOX)相对活性分析

根据 Jin^[17]的方法提取粗酶液。底物采用亚油酸溶液, 称取 140 mg 溶于 5 mL 含有 180 μL 吐温 20 的脱氧双蒸水中, 用 2 mol/L 的 NaOH 调节 pH 至 9 后, 再定容至 50 mL。LOX 活性在 30 $^{\circ}\text{C}$ 下用 UV-2550 分光光度计测定。反应液含有 0.1 mL 的粗酶液, 0.2 mL 的亚油酸底物溶液, 以及 2.9 mL 的柠檬酸缓冲液(50 mmol/L, pH 5.5), 空白不加粗酶液, 于 234 nm 处稳定 1 min, 读取增加的吸光度值。LOX 的相对活性单位(U)表示为 1 min 内吸光度值增加 0.001 为 1 个酶活力单位。

2.3.5 数据处理

上述所有指标均测三次平行, 数据平均值及标准偏差采用 EXCEL 计算, 方差分析 ANOVA 和均值

比较用 JMP 7.0(Sas 公司)软件进行, 数据图表用 Origin 软件制作, 指标间的相关性分析采用 SPSS 软件进行。

3 结果与分析

3.1 黄花鱼腌制加工过程的理化指标变化分析

如表 1 所示, 按方差分析的结果, 加工过程对盐分和水分含量都有显著的影响。水分含量随着加工的进行逐渐下降, 出现 3 次显著性减少是在腌制 3 d、烘干 1 d 以及成品, 三个点的水分含量分别为 56.73%、50.12% 和 46.16%, 与原料的 68.28% 相比, 失水率分别为 16.92%、26.6% 和 32.4%, 水分含量下降是由于腌制阶段盐的脱水作用以及热泵干燥阶段的水分蒸发。与水分相反, 腌制鱼中盐分含量逐渐上升, 在腌制 3 d 时盐分含量达到最高水平 6.38%, 漂洗后盐分有所下降, 和盐腌 1 d 无显著性差异($P>0.05$), 到了烘干阶段又出现显著增加, 最后成品的盐分为 5.62%, 比原料提高了 5.41%。pH 值除了在腌制 3 d 时出现了显著性下降, 其他阶段基本上无显著性差异, 可能是腌制 3 d 时脂肪分解产生脂肪酸而造成 pH 下降。

3.2 黄花鱼腌制加工过程的脂肪氧化分析

如表 2 所示, 在整个腌制鱼加工过程中 TBARS 值和 POV 值的变化趋势基本一致, 都呈现先增加后减少的趋势。方差分析结果表明, 加工过程对腌制黄花鱼中的 TBARS 值和 POV 值都有显著影响。从加工过程中的变化情况看, 氧化是从腌制后开始。POV 最高值出现在腌制 3 d, 达到了 0.907 meq/kg, 随后却呈显著性下降, 最后成品的 POV 值和原料没有显著性差异($P>0.05$), POV 值的升高主要是脂肪初级氧化产物的出现, 但这种氢过氧化物的存在是短暂的, 很快就分解形成醛酮类和其他产物。TBARS 值在腌制 1 d 后也出现显著性增加($P<0.05$), 之后一直呈上升

表 1 黄花鱼腌制加工过程的理化指标变化
Table 1 Changes in physicochemical parameters during salting fish processing

	A	B	C	D	E	F
水分含量 (g/100 g)	68.28±0.49 ^a	65.25±0.32 ^a	56.73±0.96 ^b	58.74±1.36 ^b	50.12±2.11 ^c	46.16±0.13 ^d
pH 值	6.61±0.02 ^b	6.62±0.01 ^{a,b}	6.39±0.01 ^c	6.72±0.04 ^{a,b}	6.68±0.03 ^{a,b}	6.76±0.04 ^a
盐分含量 (g/100 g)	0.21±0.02 ^c	2.60±0.18 ^d	6.38±0.49 ^a	3.28±0.19 ^d	4.42±0.05 ^c	5.62±0.25 ^b

注: 结果表示为平均值±SE, 数据取 3 次平行测量值的均值; 同一行标注不同字母表示数值出现显著性差异($P<0.05$)。

表 2 黄花鱼腌制加工过程的脂肪氧化指标变化
Table 2 Changes in lipid oxidation parameters during salting fish processing

	A	B	C	D	E	F
POV 值 (meq/kg)	0.361±0.022 ^c	0.434±0.038 ^{b,c}	0.907±0.026 ^a	0.518±0.015 ^b	0.347±0.003 ^c	0.346±0.039 ^c
TBARs 值	0.005±0.002 ^d	0.051±0.003 ^c	0.186±0.002 ^b	0.183±0.003 ^b	0.250±0.005 ^a	0.201±0.001 ^a

注: ①结果表示为平均值±S, 数据取 3 次平行测量值的均值; ②同一行标注不同字母表示数值出现显著性差异($P < 0.05$)。

趋势, 最高值出现在烘干 1 d, 而显然比 POV 最高值的出现滞后, 这是因为 TBARs 值是由次级氧化产物 MDA(malodialdehyde)产生的, 之后也出现了分解, 所以 TBARs 值在最高峰后也出现了显著下降 ($P < 0.05$), 这可能是因为次级产物 MDA 与氨基相互作用生成 1-氨基-3-氨基丙烯^[18]。Nassu^[19]也发现发酵山羊肉香肠在贮存中 TBARs 值先上升后下降; Verma^[20]研究表明山羊肉在低温贮藏过程中 TBARs 值也是先上升后下降的趋势。

3.3 黄花鱼腌制加工过程的脂肪氧合酶相对活性变化

如图 1 所示, 腌制黄花鱼加工过程对脂肪氧合酶 (LOX) 的相对活力有显著影响, 脂肪氧合酶的相对活力从原料到腌制 3 d 就一直出现显著性下降 ($P < 0.05$), 而从腌制 3 d 开始一直到烘干 1 d, 这几个阶段的酶活虽然也在下降, 但差异并不显著, 最后成品才再次呈现显著性下降 ($P < 0.05$), 成品时酶相对活力为 61 U, 仅为原料 LOX 酶活的 23%。说明高盐是可以抑制 LOX 酶的活性, 而在烘干 1 d 时, TBARs 值达到了最高, 说明酶活不仅和加工条件盐分含量有关, 还和次级氢过氧化物的形成有关, 脂肪过氧化物也可导致酶失活。

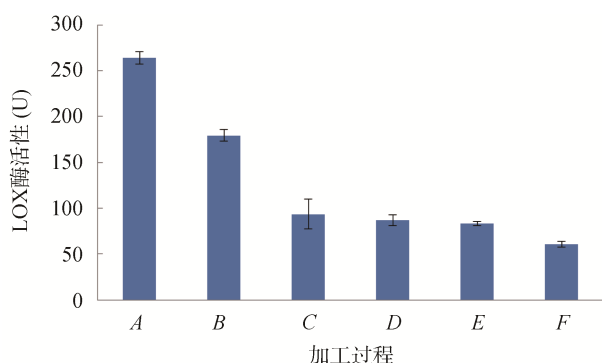


图 1 黄花鱼腌制加工过程中 LOX 活性的变化

Fig. 1 Changing of LOX activity during salting fish processing

3.4 黄花鱼腌制加工过程脂肪氧化的相关因素

由表 3 相关性分析可知: 腌制黄花鱼加工过程中水分与盐分以及 TBARs 值都呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 随着腌制加工的进行, 黄花鱼的水分含量的下降使盐分含量不断上升, 而 TBARs 值也随之上升, 说明水分的下降能促进脂肪次级氧化的发生。盐分和 POV 值呈显著正相关 ($P < 0.05$), 与 TBARs 值呈极显著的正相关 ($P < 0.01$), 这与 Andres^[21]的研究结果: 6%左右的盐分含量能使产品 TBARs 值显著增加 ($P < 0.05$), 而 1%左右的含盐量没有影响相一致, 同时 Coutron-Gambotti^[22]认为适当的含盐量可以促进脂质氧化。盐分含量上升的同时脂肪氧合酶活力降低, 两者呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 可能是因为随着加工的进行, 盐分含量的上升表现为对 LOX 的抑制作用, LOX 的活性还和 TBARs 呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 但和 POV 没有相关性。总之, 腌制鱼加工过程中, 脂肪氧合酶对脂肪氧化的影响是复杂的, 还会受到腌制鱼中水分和盐分含量的联合影响。而在整个加工过程中, pH 与任何指标都没有显著相关性。

4 讨论

4.1 黄花鱼腌制加工过程中脂肪氧化的规律

POV 主要测定脂肪氧化初级产物——氢过氧化物, 过氧化值高表明脂质氧化的中间产物积累多。在腌制黄花鱼的加工过程中, POV 最高值在腌制 3 d 时, 但之后显著下降, 变化范围从 0.361 meq/kg 到 0.907 meq/kg 再到 0.346 meq/kg。终产品中 POV 值最低, 这可能因为过氧化物作为脂肪氧化的初级产物, 很快就分解成为小分子碳水化合物及其他物质, 分解速度超过了其生成速度, 导致 POV 值降低^[23]。

TBARs 值是不饱和脂肪酸氧化分解所产生的衍生物如丙二醛(MDA)等与硫代巴比妥酸反应的结果, TBARs 值高低表示氧化最终生成物的多少。腌制黄花鱼原料中 TBARs 值最低, 仅有 0.005 mg/kg, 而在

表 3 腌制黄花鱼加工过程各指标之间的 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson's correlation coefficients among all parameters during salting fish of large yellow croaker processing

	水分	盐分	pH 值	POV 值	TBARs 值	LOX 活性
水分	1					
盐分	-0.791**	1				
pH 值	0.192	-0.253	1			
POV 值	0.064	0.505*	-0.218	1		
TBARs 值	-0.887**	0.810**	-0.197	0.172	1	
LOX 活性	0.834**	-0.873**	0.235	-0.295	-0.945**	1

显著性标记: $P>0.05$, 不作标记; $P<0.05$,*; $P<0.01$,**。

加工过程中, 从原料开始显著性增加, 到了烘干 1 d 时达到最高值为 0.250 mg/kg, 这比 POV 出现最高值的时间要晚, 说明 TBARs 值显示的是次级氧化产物, 而最高值出现以后也很快呈显著性下降, 说明氧化产物还要继续分解产生醛酮类等物质, 最终产品的值为 0.201 mg/kg。学者研究^[24]表明肌肉中 TBARs 在 0.5~1.0 mg/kg 之间不会有腐败气味的产生, TBARs< 1.0 mg/kg 是可以接受的而腌制黄花鱼加工过程中 TBARs 值<1.0 mg/kg, 不会出现腐败变质。

很多腌制肉类的研究表明^[24,25], 脂肪氧合酶活力在腌制后出现显著升高, 之后逐渐下降, 但本文研究的腌制黄花鱼有所不同, 脂肪氧合酶在整个腌制阶段都呈显著性下降, 而到了烘干阶段虽然也下降, 但趋势不明显, 可能是盐在黄花鱼肉中的渗透性太强, 也是一开始就呈显著性上升的, 而盐分可以大大地抑制脂肪氧合酶的活性。烘干阶段脂肪氧合酶活性下降不显著, 可能是因为温度的升高对酶有一定的激活作用, 从而使酶活力的下降得到缓冲。脂肪氧合酶是一种含非血红素铁的蛋白质, 大多数的脂肪氧合酶以花生四烯酸为主要底物。而酶活力的下降表明酶对脂肪的氧化作用有限, 仅与 TBARs 值即二次氧化产物的产生有极显著的影响, 对初级氧化产物形成 POV 值则没有相关性, 也表明花生四烯酸不是鱼肉里的主要脂肪酸。

4.2 黄花鱼腌制加工条件(水分、盐分)对脂肪氧化规律的影响

腌制黄花鱼的生产过程中, 水分和盐分对脂肪氧化的影响是极其显著的, 盐分的升高导致水分的下降, 而盐分的升高可以促进氧化指标的升高, 结果表明, 在腌制后的各氧化指标明显升高($P<0.05$), 因

此可以说, 腌制黄花鱼的氧化现象大量发生在腌制工艺开始。同时, 盐分的快速升高有效地抑制了脂肪氧合酶的活性, 导致氧化产物的含量并不是太高, 整个腌制黄花鱼的加工过程 POV 和 TBARs 值都在安全范围内, 不会使鱼肉发生腐败变质。

5 结 论

多脂黄花鱼的腌制加工过程中, 脂肪氧化指标 POV 和 TBARs 值分别在腌制和烘干阶段达到峰值, 脂肪氧化是渐进的过程, 受水分和盐分的影响极其显著, 而脂肪氧合酶只影响 TBARs 值, 对脂肪氧化的影响有限, 酶促反应并不是脂肪氧化的主要机制。

参考文献

- [1] 章银良, 夏文水. 腌鱼产品加工技术与理论研究进展[J]. 食品科学, 2007, 23(3): 116-120.
Zhang YL, Xia WS. Development of Processing Technique and Theoretical Research of Cured Fish Products[J]. Food Sci, 2007, 23(3): 116-120.
- [2] 吴燕燕, 刘法佳, 李来好, 等. 改良离子色谱法测定咸鱼中亚硝酸盐的研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(6): 1-6.
Wu YY, Liu FJ, Li LH, et al. Determination of nitrite in salted fish by improved ion chromatography[J]. South China Fish Sci, 2011, 7(6): 1-6.
- [3] 吴燕燕, 刘法佳, 李来好, 等. GC-MS 检测咸鱼中 N-亚硝胺的条件优化[J]. 南方水产科学, 2012, 8(4): 16-22.
Wu YY, Liu FJ, Li LH, et al. Determination and optimization of N-nitrosamines in salted fish by gas chromatography-mass spectrometry[J]. South China Fish Sci, 2012, 8(4): 16-22.
- [4] Krutulyte R, Grunert KG, Scholderer J, et al. Motivational factors for consuming omega-3 PUFAs: an exploratory study with Danish consumers[J]. Appetite, 2008, 51(1): 137-147.

- [5] Jacobsen C, Bruni LM, Nielsen NS, *et al.* Antioxidant strategies for preventing oxidative flavour deterioration of foods enriched with n-3polyunsaturated lipids: a comparative evaluation [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2008, 19: 76–93.
- [6] Sun WZ, Zhao MM, Yang B, *et al.* Oxidation of sarcoplasmic proteins during processing of Cantonese sausage in relation to their aggregation behaviour and in vitro digestibility [J]. *Meat Sci*, 2011, 88: 462–467.
- [7] 曹锦轩, 张玉林, 韩敏义, 等. 腊肉加工过程中肌原纤维蛋白结构的变化[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(18): 3871–3877.
Cao JX, Zhang YL, Han MY, *et al.* Changes of the construction of myofibrillar proteins in chinese traditional bacon during processing [J]. *Scientia Agric Sinica*, 2013, 46(18): 3871–3877.
- [8] Wiking L, Nielsen JH. The influence of oxidation on proteolysis in raw milk [J]. *J Dairy Res*, 2004, 71: 196–200.
- [9] 林利民, 王秋荣, 王志勇, 等. 不同家系黄花鱼肌肉营养成分的比较[J]. *中国水产科学*, 2003, 13(2): 286–291.
Lin LM, Wang QR, Wang ZY, *et al.* Comparing of muscle nutrients in different family of yellow croaker [J]. *J Fish Sci China*, 2003, 13(2): 286–291.
- [10] 刁全平, 侯冬岩, 回瑞华, 等. 不同方法提取黄花鱼中脂肪酸的研究[J]. *鞍山师范学院学报*, 2009, 11 (6): 32–34
Diao QP, Hou DY, Hui RH, *et al.* Different methods to extract the fatty acids in yellow croaker[J]. *J Anshan Normal Univ*, 2009, 11 (6): 32–34
- [11] 全国科学技术名词审定委员会. 全国科学技术名词审定委员会公布名词 2005(版本 1.0)[M]. 北京: 科学出版社, 2005
The national science and technology noun authorized committee. The announced noun of the national science and technology noun authorized committee 2005(edition 1.0) [M]. Beijing: Science Press, 2005
- [12] 陈胜军, 杨贤庆, 樊丽琴, 等. 蓝圆鲹在不同腌制条件下三甲胺和二胺含量变化规律[J]. *食品科学*, 2012, 33(13): 58–61.
Chen SJ, Yang XQ, Fan LQ, *et al.* Change regularity of trimethylamine and dimethylamine contents in *Decapterus maruadsi* during salting under varying condition[J]. *Food Sci*, 2012, 33(13): 58–61.
- [13] GB/T 5009.3-2010 食品中水分的测定[S].
GB/T 5009.3-2010 Determination of moisture in foods[S].
- [14] SC/T 3011-2001 水产品中盐分的测定[S].
SC/T 3011-2001 Determination of salt in aquatic products[S].
- [15] GB/T 5009.37-2003 食用植物油卫生标准的分析方法[S].
GB/T 5009.37-2003 Methods for analysis of hygienic standard of edible oils[S].
- [16] Hasret. Evaluation of three 2-thiobarbituric acid methods for the measurement of lipid oxidation in various meats and meat products [J]. *Meat Sci*, 2004, 67: 683–687.
- [17] Jin GF, Zhang JH, Yu X, *et al.* Crude lipoxygenase from pig muscle: Partial characterization and interactions of temperature, NaCl and pH on its activity [J]. *Meat Sci*, 2011, 87: 257–263.
- [18] T P. Díaz, M.B. Linares, M. Egea, *et al.* TBARs distillation method: Revision to minimize the interference from yellow pigments in meat products [J]. *Meat Sci*, 2014, 98: 569–573.
- [19] Nassu RT, Goncalves LAG, Pereira silva MAA, *et al.* Oxidative stability of fermented goat meat sausage with different levels of natural antioxidant [J]. *Meat Sci*, 2003, 63(1): 43–49.
- [20] Verma SP, Sahoo J. Improvement in the quality of ground chevon during refrigerated storage by tocopherol acetate preblending [J]. *Meat Sci*, 2000, 56: 403–413.
- [21] Andres AI, Cava R, Ventanas J, *et al.* Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured Iberian hams with different salt contents and processing conditions [J]. *Food Chem*, 2004, 84(3): 375–381.
- [22] Coutron-gambotti C, Gandemer G, Rousset S, *et al.* Reducing salt content of dry-cured ham: effect on lipid composition and sensory attributes [J]. *Food Chem*, 1999, 64(1): 13–19.
- [23] 阚健全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005: 112–122.
Kan JQ. *Food Chemistry*[M]. Beijing: China Agriculture University Press, 2005: 112–122.
- [24] 王永丽, 章建浩, 靳国锋, 等. 风干成熟工艺对风鸭脂质分解氧化影响的研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(14): 81–86.
Wang YL, Zhang JH, Jin GF, *et al.* Effects of air-drying ripening processing on lipolysis-oxidation of dry-cured duck [J]. *Food Sci*, 2009, 30(14): 81–86.
- [25] 郇延军. 金华火腿加工过程中脂类物质及风味成分变化的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
Huan YJ. Studying on the changes of lipid and flavor compounds during processing of Jinhua Ham[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2005

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



蔡秋杳, 博士研究生, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。
E-mail: cindyqqcai@163.com



李来好, 研究员, 主要研究方向为水产品精深加工与质量安全控制。
E-mail: laihaoli@163.com