

贾洋洋, 刘小莉, 胡彦新, 等. 茶多酚对白鱼脂肪分解氧化的抑制作用[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 216-221.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.01.034

茶多酚对白鱼脂肪分解氧化的抑制作用

贾洋洋¹, 刘小莉², 胡彦新², 周剑忠², 刘源¹

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 以鱼体脂肪酶活性、脂肪氧化酶活性、丙二醛含量、过氧化值为评价指标, 对鱼体脂质的脂肪酸组成进行分析, 考察茶多酚及增效剂对白鱼中脂肪分解和氧化的抑制作用。结果显示, 40 ℃、光照条件下 24 h 后, 浓度为 0.15% 茶多酚+0.05% 柠檬酸处理对脂肪酶、脂肪氧化酶活力的抑制效率分别为 46.00%、85.90%, 对丙二醛和过氧化值的抑制率分别为 59.03%、32.78%, 显著高于阳性对照组(0.15% 二丁基羟基甲苯处理)。GC-MS 分析显示, 抗氧化剂处理的白鱼肉中不饱和脂肪酸的含量显著高于对照, 其中抗氧化效果最优的是 0.15% 茶多酚+0.05% 柠檬酸处理。

关键词: 茶多酚; 白鱼; 脂肪分解; 脂肪氧化; 脂肪酸

中图分类号: TS254.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)01-0216-06

Inhibitory activity of tea polyphenols against lipolysis and lipid oxidation in white fish

JIA Yang-yang¹, LIU Xiao-li², HU Yan-xin², ZHOU Jian-zhong², LIU-Yuan¹

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: In this paper, inhibitory activity of tea polyphenols and synergistic agent against the lipolysis and lipid oxidation in white fish were evaluated on the basis of lipase activity, lipoxidase activity, malonaldehyde content and peroxide value, as well as the composition of fatty acids in fish. With the existence of 0.15% tea polyphenols and 0.05% synergistic agent (citric acid) at 40℃ in the light for 24 h, lipase activity and lipoxidase activity were decreased by 46.00% and 85.90%, respectively. Meanwhile, MDA content and *POV* value dropped by 59.03% and 32.78%, significantly higher than those in positive control (0.15% BHT). GC-MS analysis showed that the contents of unsaturated fatty acid in the antioxidants-treated samples were significantly higher than those in negative control. The optimized antioxidant formula was 0.15% tea polyphenols combined with 0.05% citric acid.

Key words: tea polyphenol; white fish; lipolysis; lipid oxidation; fatty acid

收稿日期: 2015-06-15

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)2118]

作者简介: 贾洋洋(1989-), 女, 山东烟台人, 硕士研究生, 从事食品生物技术研究。(Tel) 18551626546; (E-mail) 455325519@qq.com

qq.com

通讯作者: 刘源, (E-mail) yliu@shou.edu.cn

太湖白鱼属鲤科鱼类^[1], 又称翘白、白条等, 白鱼肉质鲜美, 营养价值高, 与白虾、银鱼并称太湖三宝。由于白鱼具有生长快、肉质优良、经济价值高等优点, 近年来深受养殖者和消费者的青睐^[2], 因此白鱼的加工对扩大其消费市场显得特别重要。但是目前国内关于白鱼加工的系统研究很少, 大多数研

究仅限于养殖技术和传统烹饪方法。

白鱼肉质细嫩,特别是鳞下脂肪含量多^[3],保鲜储运比较困难。白鱼在加工贮藏过程中,由于受到内源酶、温度、光照等因素影响,极易腐败变质,特别是脂肪氧化生成的醛、醇、酮等化合物,会产生令人不愉快的气味,营养价值下降,可接受性也大大降低^[4-5],氧化严重时会产生一些有毒化合物,危及人体健康。目前国内外对不少传统畜产品和大众水产品脂质氧化分解进行了比较详细的研究^[6-7],但有关白鱼加工过程中的脂质变化及相关酶活性的研究还未见报道。

为了防止白鱼加工、储藏过程中脂质发生氧化酸败,最经济有效的方法是添加抗氧化剂。人工合成的抗氧化剂,如特丁基对苯二酚(TBHQ)、丁基羟基甲苯(BHT),是食品工业中常用的抗氧化剂,但是近年来很多研究结果表明如果人类长期大量食用该类抗氧化剂,有导致畸形、癌症等危险^[8]。因此茶多酚、维生素E、迷迭香提取物等天然抗氧化剂由于具有高效、低毒的优点而备受关注^[9-10]。另外,多元羧酸,如柠檬酸、苹果酸、酒石酸、琥珀酸等,与抗氧化剂共同作用能增强抗氧化效果,是常用的抗氧化增效剂,与抗氧剂协同作用延缓油脂的氧化^[11]。

本试验系统研究添加天然抗氧剂茶多酚及增效剂柠檬酸对白鱼脂质分解的影响,以鱼体脂肪酶活性、脂肪氧化酶活性、丙二醛含量、过氧化值为评价指标,并对鱼体脂质的脂肪酸组成进行分析,为白鱼加工过程中品质控制提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

鲜活白鱼,购于南京市玄武区集贸市场,大小规格一致,约(500±50)g。

甲醇、氯仿、氢氧化钾、三氟化硼乙醚、氯化钠、正己烷、醋酸钠、硼酸、Tween-20均为分析纯(上海化学试剂有限公司生产);柠檬酸、二丁基羟基甲苯(BHT)、茶多酚等均为食品级添加剂(郑州思源食品添加剂有限公司生产);亚油酸(Sigma-Aldrich公司生产);亚油酸60%~74%(国药集团化学试剂有限公司生产)。

1.2 主要仪器和设备

气质联用仪(Thermo Scientific, Trace 1300气相色谱仪,TSQ 800 Evo三重四极杆质谱),PHS-2F型

紫外-可见分光光度计,T25高速匀浆机。

1.3 试验方法

1.3.1 白鱼样品的制备 新鲜白鱼经冰水预冷后去鳞、内脏及头、尾和皮,沥干鱼体,剔除脊骨,将鱼肉分割成约3 cm²×3 cm²的小块,混匀后随机分组。参照抗氧化剂国家标准限量使用范围和生产实际,配制不同浓度的抗氧化剂溶液,包括0.15% BHT、0.20%茶多酚、0.10%茶多酚+0.05%柠檬酸以及0.15%茶多酚+0.05%柠檬酸,将鱼肉块放入抗氧化剂溶液中分别浸没1 h后取出沥干。于40℃、光照条件下储藏24 h后取出,4℃保存备用。

1.3.2 白鱼油脂的提取及甲酯化 称取经抗氧化剂处理后的鱼肉样,绞碎,采用Folch法进行白鱼油脂的提取^[12]。参照Liu等^[13]的方法对白鱼油脂进行甲酯化处理。白鱼油0.2 ml,加入2.0 ml体积分数为5%的氢氧化钾-甲醇溶液,75℃水浴15 min,冷却后加入2.0 ml体积分数为14%三氟化硼乙醚-甲醇溶液,75℃水浴2 min,加入饱和氯化钠溶液2.0 ml和正己烷1.0 ml,混匀后静置,取上清液备用。

1.3.3 GC-MS检测脂肪酸组成 气相色谱检测条件:进样量1.0 μl,分流进样,分流比30:1;加热器温度250℃,SLB-5MS毛细管色谱柱(30.0 m×250.00 μm×0.25 μm),柱箱升温程序为:120℃,保持6 min后,以1 min 3℃升温到250℃,保持25 min。

质谱条件:电子轰击(EI)离子源,电子能量70 eV,灯丝发射电流为200 μA,离子源温度为200℃,接口温度250℃,检测器电压350 V,扫描范围33~800 amu。

1.3.4 脂肪氧化指标测定

1.3.4.1 丙二醛含量测定 丙二醛是常用的脂质过氧化指标,可与硫代巴比妥酸(TBA)缩合,形成红色产物,在532 nm处有最大吸收峰。称取2 g白鱼鱼肉,加入5倍体积去离子水,10 000 r/min匀浆1 min,用于丙二醛含量的检测。依据TBA法原理采用试剂盒(南京建成生物工程研究所产品,货号A003-1)检测,结果以1 mg样品蛋白质中MDA含量表示。

1.3.4.2 过氧化值(POV)测定 油脂初始氧化的产物是过氧化物,过氧化物很不稳定,氧化能力较强,能氧化碘化钾生成游离碘,根据析出碘量计算过氧

化值(POV)。过氧化值(POV)的测定参照国家标准 GB/T5538-2005,单位为 meq/kg。

1.3.5 脂肪酶活性测定 采用试剂盒(南京建成生物工程研究所产品,货号 A054)进行脂肪酶活性测定。在 37 ℃ 条件下,1 g 组织蛋白质在该试剂盒反应体系中与底物反应 1 min,每消耗 1 μmol 底物为 1 个酶活力单位。

1.3.6 脂肪氧化酶活性测定 参考 Guo 等^[14]的方法进行测定。称取 5 g 鱼肉,加入 4 倍体积的 pH 7.5 磷酸钠缓冲液,10 000 r/min 匀浆 1 min,8 000 r/min、4 ℃ 下离心 10 min,取上清液得到粗酶液。取 0.5 ml Tween 溶解于 10 ml 硼酸缓冲液(0.05 mol/L,pH 9.0)中,再逐滴加入 0.5 ml 亚油酸,混匀成乳浊液后加入 1.3 ml 1 mol/L 的 NaOH 至溶液澄清,然后加入 90 ml 硼酸缓冲液(0.05 mol/L,pH 9.0),用 HCl 调节 pH 至 7.0 后定容到 200 ml,作为亚油酸底物溶液。9.5 ml 醋酸钠缓冲液(0.05 mol/L,pH 5.6)中加入 0.3 ml 亚油酸底物和 60 μl 酶提取液,25 ℃ 反应 30 min 终止反应,取上清液于 234 nm 处测定吸光度值。1 个酶活力单位定义为:在 234 nm 下测定的反应液的吸光度 ΔA 。

2 结果与分析

2.1 抗氧化剂对脂肪酶和脂肪氧化酶活性的影响

采用不同浓度的茶多酚及柠檬酸增效剂处理白鱼块,在 40 ℃、光照条件下加速脂肪氧化,在 24 h 内定期取样,测定白鱼中脂肪酶和脂肪氧化酶的活性变化,结果(图 1 和图 2)显示,对照白鱼中脂肪酶和脂肪氧化酶的活性随着处理时间延长呈上升趋势,且脂肪氧化酶活力在 16 h 后增加剧烈,说明在加工后期脂肪氧化作用高于脂肪分解。抗氧化剂的添加可以显著抑制酶活性,且天然抗氧化剂茶多酚对脂肪酶和脂肪氧化酶的抑制作用显著高于 BHT,柠檬酸的使用对茶多酚有显著的协同增效作用。与对照相比,40 ℃、光照条件下 24 h 后,浓度为 0.15% 的茶多酚+0.05% 柠檬酸和 0.15% BHT 对脂肪酶活力的抑制效率分别为 46.00%、9.29%,对脂肪氧化酶活力的抑制效率分别为 85.90%、43.04%。

2.2 抗氧化剂对脂肪氧化理化指标的影响

过氧化物是油脂氧化酸败的初始产物,因此,常以过氧化物的产生作为油脂氧化酸败的开始。丙二

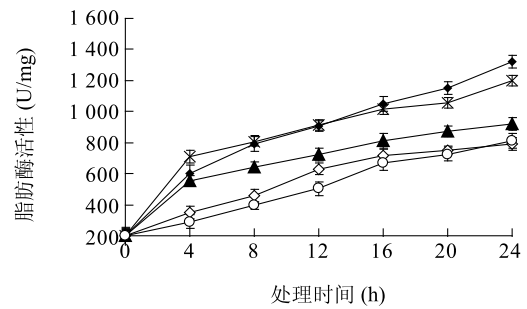


图 1 抗氧化剂对脂肪酶活性的影响
Fig.1 Effect of antioxidants on the lipase activity

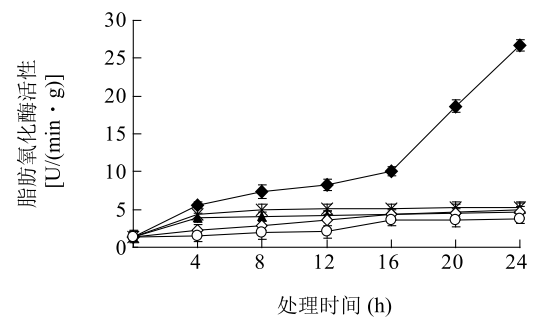


图 2 抗氧化剂对脂肪氧化酶活性的影响
Fig.2 Effect of antioxidants on the lipoxidase activity

醛(MDA)是脂质过氧化作用的产物之一,间接反映机体的活性氧自由基和脂质的过氧化水平。过氧化值(POV)和 MDA 含量越大,说明脂肪的氧化程度越高,酸败就越严重,产生的小分子物质越多^[15]。由图 3、图 4 可以看出,0.15% BHT 对抑制 MDA 含量、POV 上升的作用优于 0.20% 茶多酚,抑制 POV 的效果与 0.10% 茶多酚和柠檬酸协同作用的效果相当,使用 0.15% BHT 和 0.20% 茶多酚,MDA 含量在 12~16 h 达到峰值,后期又趋于平缓并降低,此阶段二级氧化产物醛类物质可能进一步降解,更多地参与特征性风味物质的合成和积累。Aubourg 等研究也发现次级产物 MDA 可与鱼肉中的氨基相互作用生成 1-氨基-3-氨基丙烯,从而导致 MDA 含量的下降^[16]。0.15% 茶多酚+增效剂的抗脂肪氧化效果最好,与对照相比,对 MDA 和 POV 的抑制率分别

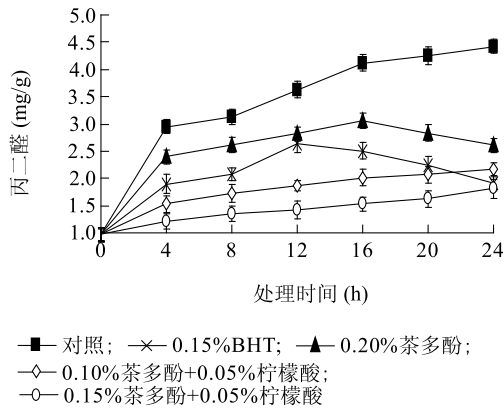


图3 抗氧化剂对丙二醛含量的影响

Fig.3 Effect of antioxidants on the MDA content

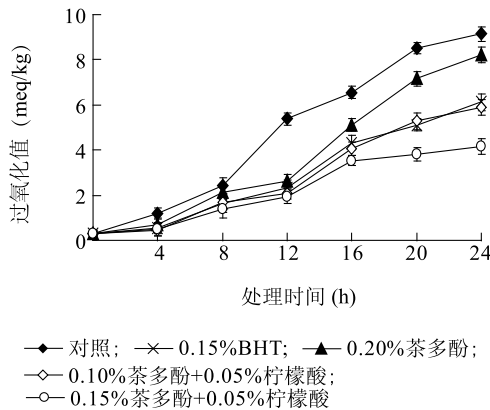


图4 抗氧化剂对过氧化值的影响

Fig.4 Effect of antioxidants on the POV value

为 59.03%、32.78%。

2.3 白鱼脂肪酸组成

采用 GC-MS 对不同抗氧化剂处理的白鱼中脂肪酸组成进行分析,通过标准质谱数据库检索,同时结合特征离子和出峰时间、顺序进行定性分析,按峰面积归一法进行定量,结果见表 1,各种处理的白鱼油脂中共有的主要脂肪酸种类为 C14:0(豆蔻酸)、C16:0(棕榈酸)、C16:1(棕榈油酸)、C18:0(硬脂酸)、C18:1(油酸)、C20:1(花生油酸)、C20:5(EPA)、C22:6(DHA),其中 C18:1(油酸)是白鱼中含量最高的脂肪酸。不同抗氧化剂处理的白鱼油脂中脂肪酸含量差异显著。未经抗氧化剂处理的对照样品中不饱和脂肪酸,包括 C14:1(肉豆蔻烯酸)、C16:1(棕榈油酸)、C16:3(6,9,12-十六碳三

烯酸)、C16:4[(Z)5,11,14,17-二十碳四烯酸]、C17:1(9-十七碳烯酸甲酯)、C18:1(油酸)、C20:1(花生油酸)、C20:4(5,11,14,17-二十碳四烯酸)、C20:5(5,8,11,14,17-二十碳五烯酸,EPA)、C21:5(6,9,12,15,18-二十碳四烯酸)、C22:1(二十二碳烯酸)、C22:6(4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸,DHA),占总脂的 73.37%,而添加 0.15% BHT、0.20% 茶多酚、0.10% 茶多酚+0.05% 柠檬酸以及 0.15% 茶多酚+0.05% 柠檬酸的样品中不饱和脂肪酸含量比例分别为 74.88%、79.64%、77.20%、78.49%,且其中多不饱和脂肪酸,包括 C22:6(DHA)、C20:4(5,11,14,17-二十碳四烯酸)、C20:5(EPA)、C21:5(6,9,12,15,18-二十碳四烯酸),其比例与对照相比也显著增加。抗氧化剂处理对不饱和脂肪酸的氧化或分解保护作用显著,抗氧化效果最优的 0.15% 茶多酚+0.05% 柠檬酸处理样品的油脂总离子图谱见图 5。

3 讨论

茶多酚是茶叶的主要化学成分,基本结构为 2-连苯酚基苯并吡喃,其酚羟基多为邻位或连位,易在分子内产生氢键,具有很强的供氢能力,所提供的氢质子能与脂肪酸自由基结合,使自由基转化为惰性化合物,中止自由基的连锁反应,从而起到防止油脂的自动氧化^[17]。现代食品、医学和化学等试验结果表明,茶多酚具有很好的消除自由基、防止脂类氧化的作用。目前在相关行业茶多酚被认为是优良的天然抗脂质过氧化的保鲜剂,在油脂、火腿、水产等食品工业上广泛应用^[18-19]。

水产品是一种营养成分丰富的食品,是众多消费者重要的蛋白质来源,但鱼肉中油脂的含量较高,特别是不饱和脂肪酸含量很高,在贮藏过程中很容易氧化变质,这不仅影响鱼产品的营养价值,甚至还产生食品安全问题。

目前有不少关于烹饪方法、冷藏条件、加工条件等因素对水产品中脂质分解氧化的报道^[20-21],但白鱼脂质变化,特别是加工过程中抗氧化剂的添加对脂质变化及相关酶活性的影响还未见报道。本研究通过对白鱼中脂肪酶、脂肪氧化酶活力测定及丙二醛、过氧化值检测,并对具体脂肪酸组成进行分析,结果表明茶多酚及其增效剂的使用能有效抑制白鱼脂肪的氧化和分解,脂肪酶、脂肪氧化酶活力抑制效

表1 抗氧化剂处理的白鱼中脂肪酸相对含量

Table 1 Contents of fatty acids in antioxidant-treated white fish

脂肪酸	对照	0.15% BHT	0.20% 茶多酚	0.10% 茶多酚+ 0.05% 柠檬酸	0.15% 茶多酚+ 0.05% 柠檬酸
C12:0(十二酸)(%)	0.13	0.13	0.21	0.32	0.47
C14:0(豆蔻酸)(%)	5.28	5.14	3.26	3.41	4.15
C14:1(肉豆蔻烯酸)(%)	0.15	0.15	0.16	0.16	0.20
C15:0(十五烷酸)(%)	4.90	0.06	0.05	-	-
C16:0(棕榈酸)(%)	14.88	16.08	15.06	16.22	12.90
C16:1(棕榈油酸)(%)	8.38	8.61	7.35	6.33	8.21
C16:3(6,9,12-十六碳三烯酸)(%)	2.58	2.42	1.08	1.40	-
C16:4(5,11,14,17-二十碳四烯酸)(%)	-	-	0.12	0.16	-
C17:1(9-十七碳烯酸)(%)	-	-	1.34	-	3.53
C18:0(硬脂酸)(%)	1.05	3.29	2.87	2.58	3.59
C18:1(油酸)(%)	51.81	48.82	53.16	54.98	47.81
C20:0(二十酸)(%)	0.33	0.36	0.37	0.28	0.40
C20:1(花生油酸)(%)	2.83	4.03	3.04	2.85	3.31
C20:4(5,11,14,17-二十碳四烯酸)(%)	-	-	1.57	0.74	2.25
C20:5(5,8,11,14,17-二十碳五烯酸)(%)	2.51	3.51	2.61	2.78	3.83
C21:0(二十碳酸)(%)	0.07	0.07	0.06	-	-
C21:5(6,9,12,15,18-二十碳四烯酸)(%)	-	0.21	0.18	-	0.23
C22:1(二十二碳烯酸甲酯)(%)	-	-	-	-	0.98
C22:5(7,10,13,16,19-二十二碳五烯酸)(%)	-	-	0.25	0.20	0.12
C22:6(4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸)(%)	5.11	7.14	7.26	7.59	8.02

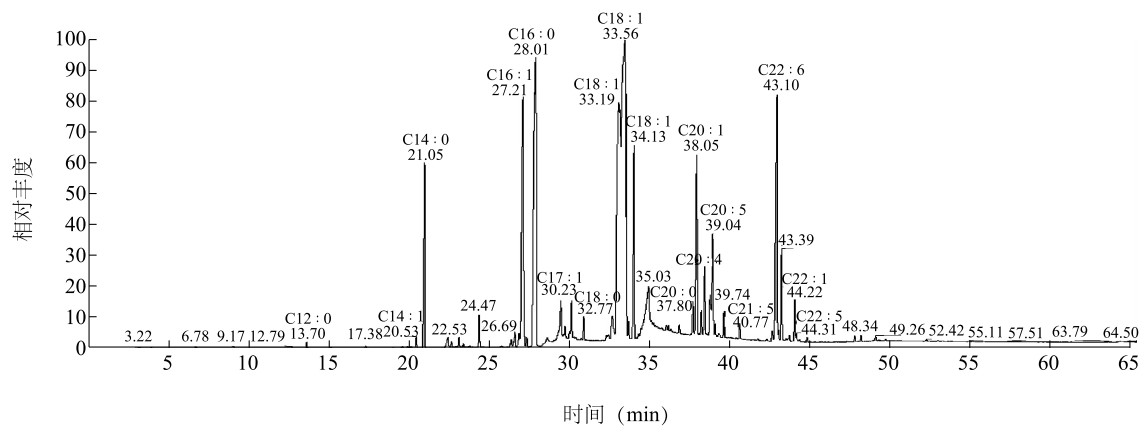


图5 0.15%茶多酚+0.05%柠檬酸处理样品的总离子图谱

Fig.5 Total ion flux chromatograms of white fish treated with 0.15% tea polyphenols and 0.05% citric acid

率分别为46.00%、85.90%。刘昌华等^[6]在未添加抗氧化剂条件下研究鲈鱼风干过程中的脂质氧化分解规律,结果表明加工过程后期酸性脂肪酶、中性脂肪酶活力相比于原料分别下降了69%、39%。

另外,本研究中在高浓度(0.20%)的茶多酚作

用下样品POV值显著高于BHT和低浓度茶多酚,可见茶多酚用量并不是越多越好,而是要适度。这是因为抗氧化成分本身被氧化后产生过氧化自由基副反应,产生的自由基同样可以诱发自由基的连锁反应,茶多酚在提取和应用过程中被氧化的产物

(邻醌、邻苯醌)是一类强氧化剂,会促使油脂氧化,使油脂 POV 值急剧上升^[22]。

在本研究所确定的最佳抗氧化剂(0.15%的茶多酚+0.05%柠檬酸)条件下,白鱼样品中不饱和脂肪酸含量为 78.49%,其中多不饱和脂肪酸的比例达 14.45%,显著高于未添加抗氧化剂的对照组,且显著高于报道的其他品种的淡水鱼,如鲢鱼不饱和脂肪酸含量 70.20%,鳙鱼 69.25%~70.94%,鲤鱼 44.30%,但多不饱和脂肪酸含量稍低于鳙鱼(20.84%~29.37%)^[23]。脂肪酸组成分析显示白鱼中含有丰富的 EPA、DHA,含量分别为 3.83%、8.02%,其含量甚至超过海鳗鱼^[24]。

综上所述,茶多酚对白鱼中不饱和脂肪酸的氧化或分解具有显著的保护作用,本研究结果对于白鱼加工生产过程中的脂质保护具有实际指导意义。

参考文献:

- [1] 陈银瑞. 白鱼属鱼类的分类整理(鲤形目:鲤科)[J]. 动物分类学报,1986,11(4):429-438.
- [2] 陈曦飞,王晓娟,艾春香.翘嘴红鲌的营养需求研究与配合饲料研发[J].饲料工业,2010,31(4):32-36.
- [3] 邓君明,康 斌,张 曦,等.滇池金线鲃和鳊鱼白鱼体营养成分分析与评价[J].营养学报,2013,35(6):607-609.
- [4] MARIT E, RAGNAR N, QYVID L, et al. Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) as raw material for the smoking industry. I: Effect of different salting methods on the oxidation of lipids[J]. Food Chemistry, 2001, 75: 411-416.
- [5] KOLAKOWSK A, DOMISZEWSKI Z, BIENKIEWICZ G, et al. Effects of thermal treatment of Baltic herring and sprat on n-3 PUFA and lipid oxidation[J]. Presented at Lipidforum: 21st Nordic lipid Symposium, Bergen, 2001, 6: 5-8.
- [6] 刘昌华,章建浩,王 艳.风干成熟过程中脂质分解氧化规律[J].食品科学,2012,33(5):13-18.
- [7] 高瑞昌,袁 丽,刘为民,等.热泵冷风干燥鲢鱼的挥发性盐基氮和脂质氧化品质模型[J].农业工程学报,2013,29(23):227-232.
- [8] 李银聪,阚建全,柳 中.食品抗氧化剂作用机理及天然抗氧化剂[J].中国食物与营养,2011,17(2):24-26.
- [9] 刘建君,冯迪娜,苏学锋,等.天然抗氧化剂对南极磷虾油抗氧化效果的研究[J].食品研究与开发,2014,35(15):22-23.
- [10] 黄 克,崔 春,赵谋明,等.天然抗氧化剂的增效作用及其对花生油抗氧化效果研究[J].现代食品科技,2012,28(9):1139-1142.
- [11] 李赤翎,俞 建,刘仲华.抗氧化剂对瓜蒌子油抗氧化性能的影响研究[J].中国粮油报,2009,24(7):98-100.
- [12] FOLCH J, LESS M, SLOANE S G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Journal of Biological Chemistry, 1956, 218(1):497-509.
- [13] LIU W, FU Y, ZU G, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from *Opuntia dillenii* Haw and its antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2009, 114(1):334-339.
- [14] GUO F J, ZHANG J H, YU X, et al. Lipolysis and lipid oxidation in bacon during curing and drying-ripening[J]. Food Chemistry, 2010, 123(2):465-471.
- [15] 李婷婷,励建荣,赵 崑.壳聚糖涂膜对冷藏美国红鱼品质的影响[J].食品科学,2013,34(10):299-303.
- [16] AUBOURG S P. Interaction of malondialdehyde with biological molecules-new trends about reactivity and significance [J]. International Journal of Food Science & Technology, 1993, 28(4):323-335.
- [17] NAMAL SENANAYAKE S P J. Green tea extract: Chemistry, antioxidant properties and food applications-a review[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5:1529-1541.
- [18] FU X J, LIN Q L, XU S Y, et al. Effect of drying methods and antioxidants on the flavor and lipid oxidation of silver carp slices [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61:251-257.
- [19] FAN W J, Chi Y L, ZHANG S. The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice [J]. Food Chemistry, 2008, 108: 148-153.
- [20] GLADYSHEV M I, SUSHCHIK N N, GUBANENKO G A, et al. Effect of way of cooking on content of essential polyunsaturated fatty acids in muscle tissue of humpback salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) [J]. Food Chemistry, 2006, 96(3):446-451.
- [21] 王建辉,刘冬敏,刘永乐,等.冷藏期间草鱼肌肉脂质降解的影响因素分析[J].食品科学,2013,34(18):276-279.
- [22] DONG L L, ZHU J L, LI X P, et al. Effect of tea polyphenols on the physical and chemical characteristics of dried- seasoned squid (*Dosidicus gigas*) during storage [J]. Food Control, 2013, 31: 586-592.
- [23] 易翠平,钟春梅.鳙鱼的脂肪含量测定及脂肪酸成分分析[J].食品科学,2013,34(14):255-258.
- [24] 章银良,夏文水.海鳗肌肉脂肪酸组成及干燥对其影响[J].中国粮油学报,2008,23(2):111-113.

(责任编辑:袁 伟)