

网络出版时间:2012-03-21 17:23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120321.1723.013.html>

抗氧化剂 TBHQ、 V_E 和 TP 对罗非鱼非漂洗鱼糜的抗氧化作用

吴琳琳¹, 常忠义¹, 高红亮¹, 田沛霖¹, 韦 妮², 步国建²

(1 华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062; 2 上海东圣食品有限公司, 上海 200333)

[摘 要] 【目的】研究抗氧化剂特丁基对苯二酚(TBHQ)、维生素 E (V_E) 和茶多酚(TP)对罗非鱼非漂洗鱼糜的抗氧化作用, 为其在非漂洗鱼糜生产中的应用奠定基础。【方法】选取 3 种抗氧化效果较好的抗氧化剂 TBHQ、 V_E 和 TP, 以不同量(TBHQ 为 0.2, 0.4 和 0.6 g/kg; V_E 为 0.2, 0.4, 0.6 和 0.8 g/kg; TP 为 0.4, 0.8, 1.2 和 1.6 g/kg)添加至罗非鱼非漂洗鱼糜中, 于 -20 °C 冰箱中冷冻保藏, 定期取样测定样品的 2-硫代巴比妥酸值(TBA 值)作为判定鱼糜氧化程度的指标, 筛选出 TBHQ、 V_E 和 TP 的最适添加量; 通过对比试验, 筛选出抗氧化效果最好的抗氧化剂; 通过协同试验探究抗氧化剂之间的协同作用。【结果】TBHQ、 V_E 和 TP 的最适添加量分别为 0.2, 0.6 和 0.8 g/kg; 3 种抗氧化剂的抗氧化效果大小为 0.8 g/kg TP > 0.2 g/kg TBHQ = 0.6 g/kg V_E 。协同试验结果显示, 0.6 g/kg V_E + 0.8 g/kg TP 的抗氧化效果最好, 表明天然抗氧化剂 V_E 与 TP 之间存在很强的协同作用。【结论】在制作罗非鱼非漂洗鱼糜过程中, 添加 0.6 g/kg V_E + 0.8 g/kg TP 组合抗氧化剂, 可显著提高其抗氧化能力。

[关键词] 罗非鱼非漂洗鱼糜; 抗氧化剂; 2-硫代巴比妥酸值(TBA 值); 协同作用

[中图分类号] TS254.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)04-0185-06

Antioxidation of antioxidants TBHQ, V_E and TP to Tilapia non-rinsing surimi

WU Lin-lin¹, CHANG Zhong-yi¹, GAO Hong-liang¹,
TIAN Pei-lin¹, WEI Ni², BU Guo-jian²

(1 School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2 Shanghai Dongsheng Food Co. Ltd., Shanghai 200333, China)

Abstract: 【Objective】Study was done on the antioxidant effects of tert-butyl hydroquinone (TBHQ), vitamin E (V_E) and tea polyphenols (TP) to Tilapia non-rinsing surimi and lay a foundation for their application in preparation of Tilapia non-rinsing surimi. 【Method】Three antioxidants were selected in this study, TBHQ, V_E and TP. TBHQ (0.2, 0.4, 0.6 g/kg), V_E (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 g/kg) and TP (0.4, 0.8, 1.2, 1.6 g/kg) were added to Tilapia non-rinsing surimi samples, and samples were stored in -20 °C refrigerator. As the indicator of lipid oxidation level, thiobarbituric acid value (TBA value) of samples were measured periodically for the purpose of finding out the optimal adding amounts of TBHQ, V_E and TP. The antioxidants of best effect and synergy among those antioxidants were found by comparative experiment and combinational experiment. 【Result】The optimum adding amounts of TBHQ, V_E and TP were 0.2, 0.6 and 0.8

* [收稿日期] 2011-10-12

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30700064)

[作者简介] 吴琳琳(1987—), 女, 浙江温岭人, 在读硕士, 主要从事食品生物技术研究。E-mail: vivi63@126.com

[通信作者] 高红亮(1973—), 男, 河南安阳人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事食品生物技术和微生物发酵研究。
E-mail: hlgao@bio.ecnu.edu.cn

g/kg respectively. In the comparative experiment, TP performed best, followed by TBHQ or V_E . The result of combinational experiment showed 0.6 g/kg V_E + 0.8 g/kg TP performed best, which proved that there is strong synergy between natural antioxidants TP and V_E . 【Conclusion】 In the process of producing tilapia non-rinsing surimi, adding 0.6 g/kg V_E + 0.8 g/kg TP, and the synergy between V_E and TP can promote the antioxidant effect and prevent lipid oxidation remarkably.

Key words: Tilapia non-rinsing surimi; antioxidant; thiobarbituric acid value (TBA value); synergy

食品级抗氧化剂是一类以低浓度形式加至食物中可有效防止食物被氧化的物质^[1], 常见的食品级抗氧化剂可分为 2 类: 合成抗氧化剂和天然抗氧化剂。合成抗氧化剂主要有丁基甲氧基苯酚(Butylated hydroxyanisole, BHA)、特丁基对苯二酚(Tert-butyl hydroquinone, TBHQ)、丁基甲基苯酚(Butylated hydroxytoluene, BHT)和没食子酸丙酯(Propyl gallate, PG); 天然抗氧化剂按活性成分主要有黄酮类、多酚类、皂甙类、鞣质类、维生素类、褪黑素类等^[2], 食品行业研究较多的是维生素 C(V_C)、维生素 E(V_E)、茶多酚(Tea polyphenols, TP)、迷迭香提取物(Rosemary extract)等。

罗非鱼因具有繁殖力强、生长速度快、抗病力强、肉质鲜美且无细刺等优点而深受消费者的喜爱, 并已形成了初具规模的罗非鱼繁育、养殖、加工等产业基地。已有的研究资料显示, 罗非鱼是最适合产业化加工的淡水鱼品种之一^[3]。罗非鱼具有很高的营养价值, 奥利亚罗非鱼、红罗非鱼、吉富罗非鱼、尼罗罗非鱼、奥尼罗非鱼鲜肌肉蛋白质含量平均为 16.85%^[4]。有研究表明, 尼罗罗非鱼的粗蛋白含量达 19.55%, 高于黄鳝(19.10%)、鲈鱼(18.59%)、鲫鱼(18.15%)、草鱼(15.14%)、鲢鱼(11.33%)^[5]。罗非鱼在我国的养殖面积较大, 资源相当丰富, 且价格较低, 是一种很好的鱼糜加工原料鱼。

罗非鱼鱼糜的常规加工工艺流程为: 原料鱼处理→采肉→漂洗→脱水→精滤→斩拌→包装→冻结→成品。鱼肉漂洗环节主要会带来 2 个问题: 第 1, 漂洗需要大量的水, 如果漂洗废水不能及时处理, 会造成严重的水质污染问题, 同时, 大规模的废水处理需要大量的设备和人力; 第 2, 漂洗会造成大量水溶性蛋白、脂肪、维生素和无机盐流失, 导致营养成分含量下降, 同时降低鱼糜的得率。因此, 去除漂洗工艺不仅能保存鱼肉本身的营养成分, 更能减少水质污染, 为人类带来福祉。罗非鱼非漂洗鱼糜就是对罗非鱼进行采肉后, 不经过漂洗工序而制作加工所得的鱼糜。然而, 罗非鱼富含多种不饱和脂肪酸, 其占脂肪酸的比例高达 65%^[6], 众所周知, 不饱和

脂肪酸是极易被氧化的, 如不添加抗氧化剂, 罗非鱼非漂洗鱼糜在冷藏过程中, 极易发生脂质氧化, 从而引起蛋白质氧化, 使鱼糜的结构品质和风味品质大大降低。因此, 抗氧化剂应用于罗非鱼非漂洗鱼糜的研究有着重要的现实意义。

本研究选取 3 种抗氧化效果较好的抗氧化剂 TBHQ、 V_E 和 TP, 将其添加至罗非鱼非漂洗鱼糜中, 定期取样测定样品的 2-硫代巴比妥酸(TBA)值作为判定鱼糜氧化程度的指标, 用以筛选 TBHQ、 V_E 和 TP 的最适添加量, 为抗氧化剂在鱼糜加工中的应用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 非漂洗鱼糜 罗非鱼非漂洗鱼糜由广西北海明达鱼糜制品有限公司提供, 等级为 A 级。

1.1.2 主要试剂 天然 V_E , 江苏春之谷公司产品, 纯度 50.0%; TP, 贵州红星发展都匀绿友公司产品, 纯度 55.0%; TBHQ, 东莞市广益公司产品, 纯度 99.0%; 海藻糖, 日本林原公司产品, 纯度 98.0%; 三氯乙酸(TCA, 分析纯)、TBA(生化试剂), 国药集团产品。

1.1.3 主要仪器 食物调理机 CombiMax 600, 德国博朗公司生产; G&G 电子天平 JJ200, 美国双杰公司生产; 722N 可见分光光度计, 上海棱光公司生产; A300-28G-S 高速匀浆机, 上海昂尼仪器仪表公司生产。

1.2 方法

1.2.1 抗氧化剂 TBHQ、 V_E 和 TP 最适添加量的筛选 取等量的罗非鱼非漂洗鱼糜样品若干份, 分别添加 0.2, 0.4 和 0.6 g/kg 的 TBHQ、0.2, 0.4, 0.6 和 0.8 g/kg 的 V_E 及 0.4, 0.8, 1.2 和 1.6 g/kg TP, 每个处理设 3 个重复, 装入食品袋中, 置于一 20℃ 冰箱中冷冻保藏, 定期(0(添加抗氧化剂当天), 20, 40, 60 d)取样, 测定 TBA 值, 以不添加抗氧化剂的非漂洗鱼糜为对照(CK)。

1.2.2 3 种抗氧化剂效果的比较 取等量的罗非

鱼非漂洗鱼糜样品若干份,分别以确定的最适量添加 3 种抗氧化剂,在同等试验条件和环境下进行抗氧化试验,于冷藏第 0,20,40,60 天取样,测定 TBA 值,比较 3 种抗氧化剂的作用效果。每个试验设 3 个重复,以不添加抗氧化剂的非漂洗鱼糜为对照。

1.2.3 抗氧化剂协同作用效果的检测 取等量的罗非鱼非漂洗鱼糜样品若干份,分为 A (CK)、B、C、D、E、F、G 和 H 组,每组 3 个重复,B~H 组分别添加 0.2 g/kg TBHQ、0.6 g/kg V_E、0.8 g/kg TP、0.2 g/kg TBHQ + 0.6 g/kg V_E、0.2 g/kg TBHQ+0.8 g/kg TP、0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP 和 0.2 g/kg TBHQ+0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP,装入食品袋中,置于-20℃冰箱中冷冻保藏,60 d 时取样测定其 TBA 值,研究不同抗氧化剂的协同作用效果。

1.2.4 TBA 值的测定 采用 Mendes 等^[7]的方法测定 TBA 值。称取样品 5.00 g 放入离心管中,加入 0.2 g/mL TCA 25 mL,高速匀浆机 7 000 r/min 均质 60 s;将均质好的样品于冰浴暗室静置 1 h,4℃、5 000 r/min 离心 20 min,用 2 层滤纸过滤,收集

滤液,用蒸馏水定容至 50 mL;取上述定容样品液 2 mL,加入 TBA 2 mL,沸水浴 30 min,流水冷却,于 532 nm 处测定吸光值(A₅₃₂)。比色空白组为:2 mL TBA、1 mL TCA、1 mL 蒸馏水。计算 TBA 值:TBA 值=(A₅₃₂-0.009 044)/0.091 189 7。

1.3 数据处理 用 Excel,SPSS 16.0 等软件对数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 TBHQ、V_E 和 TP 最适添加量的确定 从表 1 可知,在冷藏 20~60 d 内,添加 0.2,0.4,0.6 g/kg TBHQ 组的 TBA 值均极显著低于 CK 组(P<0.01),而添加 TBHQ 的 3 组之间并无显著差异(P>0.05),所以 TBHQ 的添加量以 0.2 g/kg 为宜。在冷藏 60 d 内,添加 0.2 g/kg TBHQ 组的 TBA 值较 CK 平均下降了 63.0%;40 d 时,TBA 值达到最低,为 0.332,较 CK(1.272)下降了 73.9%。谢荣辉^[8]研究发现,TBHQ 对鲨鱼肉有很好的抗氧化效果,在添加量为 0.2 g/kg 时抗氧化性能稳定,与本试验结果相符。

表 1 添加不同量 TBHQ 对罗非鱼非漂洗鱼糜 TBA 值的影响				
Table 1 Effects of different adding amounts of TBHQ on TBA value of Tilapia non-rinsing surimi				
TBHQ 添加量/(g·kg ⁻¹) Adding amount of TBHQ	冷藏时间/d Cold storage time			
	0	20	40	60
0(CK)	0.226±0.039 aA	0.869±0.028 aA	1.272±0.011 aA	1.593±0.013 aA
0.2	0.197±0.019 aA	0.354±0.056 bB	0.332±0.052 bB	0.489±0.056 bB
0.4	0.095±0.035 bB	0.307±0.061 bB	0.321±0.042 bB	0.464±0.044 bB
0.6	0.120±0.016 bB	0.307±0.000 bB	0.299±0.089 bB	0.482±0.040 bB

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著(P<0.05),标不同大写字母者表示差异极显著(P<0.01)。下表同。
Note:Different small letters in the same row indicate significant difference (P<0.05),different capital letters indicate extremely significant difference (P<0.01). The following table is the same.

从表 2 可知,添加 V_E 的 4 组 TBA 值均极显著低于 CK 组(P<0.01);随着冷藏时间的延长,添加 0.8 g/kg V_E 组的 TBA 值反而高于添加 0.6 g/kg V_E 组,表明 V_E 的最适添加量为 0.6 g/kg。在冷藏 60 d 内,添加 0.6 g/kg V_E 组的 TBA 值较 CK 组平均下降了 62.1%,在 60 d 时降幅达到最大,为

76.9%。与添加 TBHQ 试验结果相比,在冷藏期 60 d 内,添加 0.6 g/kg V_E 对罗非鱼非漂洗鱼糜的抗氧化效果与添加 0.2 g/kg TBHQ 的抗氧化效果相当。考虑到合成抗氧化剂潜在的致癌性,V_E 不失为一种很好的具有广泛推广价值的抗氧化剂。

表 2 添加不同量 V _E 对罗非鱼非漂洗鱼糜 TBA 值的影响				
Table 2 Effects of different adding amounts of V _E on TBA value of Tilapia non-rinsing surimi				
V _E 添加量/(g·kg ⁻¹) Adding amount of V _E	冷藏时间/d Cold storage time			
	0	20	40	60
0(CK)	0.424±0.046 aA	0.424±0.035 aA	1.429±0.023 aA	2.811±0.046 aA
0.2	0.120±0.022 bB	0.259±0.028 bB	0.687±0.028 bB	1.465±0.028 bB
0.4	0.146±0.028 bB	0.164±0.022 cC	0.497±0.017 cC	1.023±0.028 cC
0.6	0.102±0.046 bB	0.252±0.033 bB	0.445±0.028 dC	0.650±0.017 dD
0.8	0.087±0.061 bB	0.212±0.023 bcBC	0.442±0.006 dC	0.727±0.028 eD

从表 3 可知,添加 TP 的 4 组 TBA 值均极显著低于 CK(P<0.01);在冷藏 20~60 d 内,添加 0.8,1.2,1.6 g/kg TP 组的 TBA 值均极显著低于添加 0.4 g/kg TP 组(P<0.01),所以 TP 的最适添加量

为 0.8 g/kg。在冷藏 60 d 内,添加 0.8 g/kg TP 组的 TBA 值较 CK 组平均下降了 75.6%,40 d 时, TBA 值达到最低,为 0.301,较 CK 组(1.685)下降了 82.1%。

表 3 添加不同量 TP 对罗非鱼非漂洗鱼糜 TBA 值的影响

Table 3 Effects of different adding amounts of TP on TBA value of Tilapia non-rinsing surimi

TP 添加量/(g·kg ⁻¹) Adding amount of TP	冷藏时间/d Cold storage time			
	0	20	40	60
0(CK)	0.467±0.062 aA	1.319±0.017 aA	1.685±0.032 aA	2.142±0.046 aA
0.4	0.164±0.040 bB	0.628±0.039 bB	0.595±0.042 bB	0.647±0.137 bB
0.8	0.142±0.022 bB	0.438±0.029 cC	0.301±0.039 cC	0.471±0.090 cC
1.2	0.120±0.048 bB	0.332±0.017 dD	0.230±0.019 dD	0.383±0.031 cC
1.6	0.091±0.017 bB	0.369±0.017 dD	0.146±0.023 eE	0.186±0.000 dD

2.2 不同抗氧化剂作用效果的比较

从表 4 可知,在冷藏 20~60 d 内,添加 TBHQ、V_E 和 TP 组的 TBA 值均极显著低于 CK 组($P<0.01$),表明所选抗氧化剂均具有良好且稳定的抗氧化效果;添加 0.2 g/kg TBHQ 与添加 0.6 g/kg V_E 的抗氧化效果相当,其 TBA 值没有显著差异($P>0.05$),而添加 0.8 g/kg TP 组的抗氧化效果与上述

2 种抗氧化剂有极显著差异($P<0.01$),表明 3 种抗氧化剂的抗氧化效果从大到小依次为:0.8 g/kg TP>0.2 g/kg TBHQ=0.6 g/kg V_E。吴燕燕等^[9]在罗非鱼鱼油中添加 3 种抗氧化剂 TBHQ、V_E 和 TP,研究其抗氧化效果,结果表明,TBHQ 和 TP 的抗氧化效果较好,与本试验结果相符。

表 4 TBHQ、V_E 和 TP 对罗非鱼非漂洗鱼糜 TBA 值的影响

Table 4 Effects of TBHQ、V_E and TP on TBA value of Tilapia non-rinsing surimi

抗氧化剂 Antioxidants	冷藏时间/d Cold storage time			
	0	20	40	60
0(CK)	0.471±0.058 aA	1.078±0.017 aA	1.242±0.017 aA	1.202±0.062 aA
0.2 g/kg TBHQ	0.376±0.039 aAB	0.595±0.063 bB	0.625±0.061 bB	0.493±0.040 bB
0.6 g/kg V _E	0.391±0.060 aAB	0.537±0.086 bB	0.657±0.072 bB	0.555±0.060 bB
0.8 g/kg TP	0.237±0.081 bB	0.350±0.038 cC	0.420±0.062 cC	0.307±0.078 cC

2.3 抗氧化剂协同作用效果的检测

3 种抗氧化剂的协同作用效果如图 1 所示。

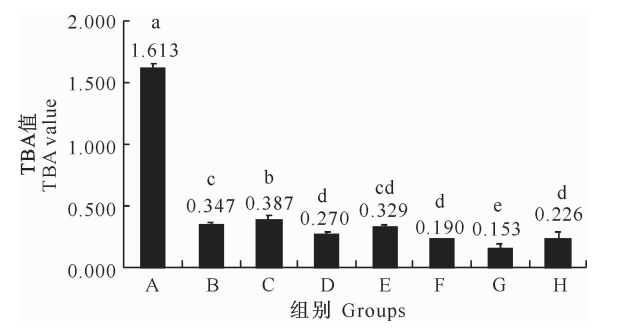


图 1 不同抗氧化剂组合对罗非鱼非漂洗鱼糜 TBA 值的影响
A. CK; B. 0.2 g/kg TBHQ; C. 0.6 g/kg V_E; D. 0.8 g/kg TP;
E. 0.2 g/kg TBHQ+0.6 g/kg V_E; F. 0.2 g/kg TBHQ+0.8 g/kg TP; G. 0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP; H. 0.2 g/kg TBHQ+0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP;不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)

g/kg TP 组)的抗氧化效果最好,第 60 天时,TBA 值最低,为 0.153,较 CK 组(1.613)下降了 90.5%,与其他组的抗氧化效果有显著差异($P<0.05$),说明 V_E 和 TP 之间存在很强的协同作用;E 组(添加 0.2 g/kg TBHQ+0.6 g/kg V_E 组)的抗氧化效果与 B 组(添加 0.2 g/kg TBHQ 组)没有显著差异($P>0.05$),F 组(添加 0.2 g/kg TBHQ+0.8 g/kg TP 组)的抗氧化效果与 D 组(添加 0.8 g/kg TP 组)没有显著差异($P>0.05$),说明 TBHQ 与 V_E、TP 的协同作用不明显。

3 讨论

TBHQ 作为自由基吸收剂,能吸收氧化产生的自由基,阻断自由基连锁反应。有研究表明,合成抗氧化剂对植物油的抗氧化能力大小顺序为:TBHQ>PG>BHT>BHA,对动物性油脂的抗氧化能力大小顺序为:TBHQ>PG>BHA>BHT^[10],可见 TBHQ 的抗氧化能力明显优于其他同类合成抗氧化剂。本研究中,添加 0.2 g/kg TBHQ 处理罗非鱼非漂洗鱼糜的 TBA 值较 CK 平均下降了 63.0%,表明 TBHQ 对罗非鱼非漂洗鱼糜脂质有十

Fig. 1 Effects of different kinds of antioxidants to TBA value of Tilapia non-rinsing surimi
A. CK; B. 0.2 g/kg TBHQ; C. 0.6 g/kg V_E; D. 0.8 g/kg TP;
E. 0.2 g/kg TBHQ+0.6 g/kg V_E; F. 0.2 g/kg TBHQ+0.8 g/kg TP; G. 0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP; H. 0.2 g/kg TBHQ+0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP; Different small letters indicate significant difference ($P<0.05$)
从图 1 可知,G 组(添加 0.6 g/kg V_E+0.8

分明显的抗氧化作用。

V_E 的抗氧化作用是和脂氧自由基或脂过氧自由基反应,向它们提供氢离子,使脂质过氧化链式反应中断^[11]。有研究表明,脂质氧化会催化氧合肌红蛋白氧化为高铁肌红蛋白,而 V_E 对膜脂的抗氧化反应速度大约是脂质过氧化传播速度的 10⁴ 倍,因此 V_E 可延缓氧合肌红蛋白的氧化以及肉质掉色现象^[12]。

TP 的主要成分为儿茶素类化合物,其基本结构均为 2-邻苯酚基苯并吡喃衍生物,正是由于具有邻苯酚基,其抗氧化性高于一般的非酚类或单酚羟基类抗氧化剂^[13]。同时,各 TP 分子抗氧化后产生的游离基也会相互作用,生成新的具有抗氧化功能的酚类化合物。本研究中,添加 0.8 g/kg TP 组的抗氧化效果显著优于 TBHQ 和 V_E。范文教等^[14]发现,经 TP 处理的鲢鱼再进行微冻冷藏,TBA 值明显低于对照,认为 TP 可有效减缓脂质氧化,从而延长鲢鱼的保鲜期。刘焱等^[15]研究表明,在鱼糜中添加 TP 可以明显降低冷藏鱼糜的酸价、过氧化值、挥发性盐基总氮值,能显著延缓冷藏鱼糜凝胶强度的降低,与本研究结果相符。

对于 V_E 和 TP 之间的协同作用,罗红宇等^[16]研究发现,V_E 对 TP 的抗氧化性能协同作用明显,与本试验结果相符。不同抗氧化剂组合使用的抗氧化效果之所以会优于单一抗氧化剂,其原因可能在于不同抗氧化剂在发挥抗氧化作用时产生的游离基生成了新的具有抗氧化作用的酚类化合物^[17-18]。而值得注意的是,抗氧化剂的抗氧化效果并非用量越多越好,如 0.8 g/kg V_E 的抗氧化效果不如 0.6 g/kg V_E,也并非添加种类越多效果越好,如 0.2 g/kg TBHQ+0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP 的抗氧化效果不如 0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP。抗氧化剂种类很多,本研究选取的这 3 种抗氧化剂作用机制清楚了,在食品行业有着广泛的应用,因此将其用于罗非鱼非漂洗鱼糜具有很强的实用性和可操作性。

4 结 论

TBHQ、V_E 和 TP 对罗非鱼非漂洗鱼糜脂质的抗氧化作用十分明显,其最适添加量分别为 0.2、0.6 和 0.8 g/kg;在冷藏 60 d 内,0.2 g/kg TBHQ、0.6 g/kg V_E 和 0.8 g/kg TP 分别使罗非鱼非漂洗鱼糜的 TBA 值较对照平均下降了 63.0%,62.1% 和 75.6%。对比试验结果表明,3 种抗氧化剂的抗

氧化效果表现为 0.8 g/kg TP>0.2 g/kg TBHQ=0.6 g/kg V_E;协同作用试验中,0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP 组与 CK 组相比,TBA 值下降了 90.5%,表明天然抗氧化剂 V_E 和 TP 之间存在很强的协同作用。添加 0.6 g/kg V_E+0.8 g/kg TP 可有效防止罗非鱼非漂洗鱼糜的脂质氧化,从而延长其冷藏期。

[参考文献]

- [1] Halliwell B, Aeschbach R, Löliger J, et al. The characterization of antioxidants [J]. Food Chem Toxicol, 1995, 33(7): 601-617.
- [2] 王维民. 浅谈天然抗氧化剂 [J]. 医药化工, 2008(10): 38-40.
Wang W M. About natural antioxidants [J]. Medicinal Chemical Industry, 2008(10): 38-40. (in Chinese)
- [3] 汪之和, 施文正. 罗非鱼鱼糜的加工特性 [J]. 科学养鱼, 2003(3): 56-56.
Wang Z H, Shi W Z. Processing characteristics of Tilapia surimi [J]. Scientific Fish Farming, 2003(3): 56-56. (in Chinese)
- [4] 郝淑贤, 李来好, 杨贤庆, 等. 5 种罗非鱼营养成分分析及评价 [J]. 营养学报, 2007, 29(6): 614-616.
Hao S X, Li L H, Yang X Q, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition of Tilapia [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2007, 29(6): 614-616. (in Chinese)
- [5] 王 任, 孙伟伟, 李 萍, 等. 新乡市 10 种常见食用鱼类营养成分比较分析 [J]. 新乡医学院学报, 2007, 24(6): 596-598.
Wang R, Sun W W, Li P, et al. Analysis and comparison on nutritional compositions of ten species edible fishes in Xinxiang city [J]. Journal of Xinxiang Medical College, 2007, 24(6): 596-598. (in Chinese)
- [6] 刘宏超, 李瑞伟, 纪丽丽, 等. 罗非鱼的脂肪酸组成分析 [J]. 福建水产, 2008(3): 54-56.
Liu H C, Li R W, Ji L L, et al. Fatty acid composition analysis of Tilapia [J]. Journal of Fujian Fisheries, 2008(3): 54-56. (in Chinese)
- [7] Mendes R, Cardoso C, Pestana C. Measurement of malondialdehyde in fish: A comparison study between HPLC methods and the traditional spectrophotometric test [J]. Food Chem, 2009, 112(4): 1038-1045.
- [8] 谢荣辉. 抗氧化剂在鲨鱼肉中的应用研究 [J]. 现代食品科技, 2007, 23(8): 49-50.
Xie R H. Research on the application of antioxidant in the shark meat [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 23(8): 49-50. (in Chinese)
- [9] 吴燕燕, 李来好, 李刘冬, 等. 罗非鱼油的制取工艺及其氧化防止方法 [J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(1): 86-89.
Wu Y Y, Li L H, Li L D, et al. Studies on extracting technology and preventing oxidization of fish oil from Tilapia viscera [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2003, 22(1): 86-89. (in Chinese)
- [10] 陈永泉, 彭 辉, 赵力超. TBHQ 对油脂抗氧化的优越性及其在食品中的应用 [J]. 中国食品添加剂, 2006(增刊): 214-218.

Chen Y Q,Peng H,Zhao L C. Application of TBHQ in food and its oxidation resistance for oil [J]. China Food Additives, 2006(Suppl.):214-218. (in Chinese)

[11] 黄 进,杨国宇,李宏基,等. 抗氧化剂作用机制研究进展 [J]. 自然杂志,2004,26(2):74-78.
Huang J, Yang G Y, Li H J, et al. Progress in mechanism studies of antioxidants [J]. Ziran Zazhi, 2004, 26(2):74-78. (in Chinese)

[12] Buckley D J, Morrissey P A, Gray J I. Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat [J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(10):3122-3130.

[13] 黎 伟,边连全,王 昊,等. 茶多酚的抗氧化机理及其在畜牧业中应用的前景 [J]. 饲料工业, 2007, 28(1):57-59.
Li W, Bian L Q, Wang H, et al. Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its prospects for application in animal husbandry [J]. Feed Industry, 2007, 28(1):57-59. (in Chinese)

[14] 范文教,孙俊秀,陈云川,等. 茶多酚对鲢鱼微冻冷藏保鲜的影响 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(2):294-297.
Fan W J, Sun J X, Chen Y C, et al. Effects of tea polyphenols on freshness-keeping of partial-frozen silver carp in cold storage [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2):294-297. (in Chinese)

[15] 刘 焱,丁玉珍,娄爱华,等. 茶多酚在鱼糜贮藏中的应用 [J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2008, 34(6):724-727.
Liu Y, Ding Y Z, Lou A H, et al. Applications of tea polyphenols in preservation of surimi [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2008, 34(6):724-727. (in Chinese)

[16] 罗红宇,夏松养,谢 超,等. 海水养殖鱼肉制品抗氧化防腐技术研究 [J]. 食品工业科技, 2006, 27(11):61-62.
Luo H Y, Xia S Y, Xie C, et al. Research on antioxidant and anti-corrosion technology of sea fish products [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(11):61-62. (in Chinese)

[17] 凌美庭,唐述潮,陶民强. 食品添加剂手册 [M]. 北京:化学工业出版社, 2003:681-712.
Ling G T, Tang S C, Tao M Q. Handbook of food additives [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003:681-712. (in Chinese)

[18] 郝利平,夏延斌,陈永泉,等. 食品添加剂 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2002:63-81.
Hao L P, Xia Y B, Chen Y Q, et al. Food additives [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2002:63-81. (in Chinese)

(上接第 184 页)

[3] 孙培龙,魏红福,杨 开,等. 真姬菇研究进展 [J]. 食品科技, 2005(9):55.
Sun P L, Wei H F, Yang K, et al. Study on *Hypsizygu s marmorens* [J]. Food Science and Technology, 2005(9):55. (in Chinese)

[4] 吴韶菊,梁红星,邱奉同. 几种元素对真姬菇菌丝生长的影响 [J]. 食用菌, 2009(1):11-12.
Wu S J, Liang H X, Qiu F T. Effect of several factors on mycelial growth of *Hypsizygu s marmoreus* [J]. Edible Fungi, 2009(1):11-12. (in Chinese)

[5] 韩春华,李 明,田景花. 杏鲍菇菌丝对不同碳氮源利用的研究 [J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(2):40-42.
Han C H, Li M, Tian J H. A study on *Pleurotu s ergngii* zing different carbon and nitrogen sources [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, 26(2):40-42. (in Chinese)

[6] 郭向华,王海旺. 杏鲍菇对不同碳氮营养源的利用 [J]. 天津农业科学, 2002, 8(3):4-6.
Guo X H, Wang H W. Study on utilization of carbon source-sand nitrogen sources of *Pleurotu s ergngii* [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2002, 8(3):4-6. (in Chinese)

[7] 马 璐,杜双田,金凌云,等. 杏鲍菇营养生理研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010, 38(9):129-134.
Ma L, Du S T, Jin L Y, et al. Studies on the nutritional physiology of *Pleurotu s ergngii* [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2010, 38(9):129-134. (in Chinese)

[8] 南崇斌. 几种水溶性维生素对平菇生长发育的影响 [J]. 商洛师范专科学校学报, 2005, 19(3):111-112.
Nan C B. Influence of several aqueous vitamins on the growth of *Pleurotu s ostreats* [J]. Journal of Shangluo Teachers College, 2005, 19(3):111-112. (in Chinese)