

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.04.023

抗氧化剂处理对微冻贮藏泥鳅品质及脂肪氧化的影响

Effects of antioxidants on properties and lipid oxidation of partially frozen storage loach

鲁小川¹ 王晓君¹ 尚永彪^{1,2,3}

LU Xiao-chuan¹ WANG Xiao-jun¹ SHANG Yong-biao^{1,2,3}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2. 农业部农产品贮藏保鲜质量安全评估实验室(重庆), 重庆 400716; 3. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Quality and Safety Risk Assessment Laboratory of Products Preservation(Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

摘要: 研究丁香提取物、油菜粉提取物、植酸、 V_E 及 2,6-二叔丁基对甲苯酚(BHT)处理对微冻(-2.5 °C)贮藏泥鳅品质及脂肪氧化的影响。结果显示,不同处理组泥鳅的感官综合得分逐渐降低;pH 值先下降后上升;汁液流失率呈增加趋势;剪切力不断降低($P < 0.05$);挥发性盐基氮(TVB-N)值呈增加趋势,且所有处理组在 24 d 时均小于最大限量(20 mg/100 g),处于可接受范围;硫代巴比妥酸值(TBARS)、过氧化值(POV)均呈上升趋势($P < 0.05$);饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)含量整体升高,多不饱和脂肪酸(PUFA)含量相对下降。以上所有处理组的变化趋势均优于对照组。综合上述分析,对照组在微冻条件下的货架期为 8~12 d,而添加抗氧化剂组货架期均达到 20~24 d,其中植酸、BHT 以及 V_E 抗氧化能力更强,能够更有效地抑制不饱和脂肪酸氧化,维持样品的食用品质和加工性能。

关键词: 泥鳅;抗氧化剂;微冻;品质;脂肪氧化

Abstract: The effects of different treatments including clove extract, phytic acid, rapeseed, BHT and V_E on properties and lipid oxidation of partially frozen storage(-2.5 °C) loach were studied. The results showed that, with the prolongation of storage time, the sensory comprehensive score of different treatment groups

decreased gradually; the pH value first descended and rose; juice loss showed an increasing trend; the shear force value declined significantly ($P < 0.05$); TVB-N values increased, and TVB-N values of all treatment groups were less than the maximum 20 mg/100 g at 24 d, in the acceptable range; the values of thiobarbituric acid and peroxide of the loach increased significantly ($P < 0.05$); the saturated fatty acid (SFA) and monounsaturated fatty acid (MUFA) contents showed an increasing trend, and the relative content of polyunsaturated fatty acid (PUFA) decreased. The trend of all the above treatment groups was better than the control group. With the comprehensive analyses, the results showed that the shelf life of the control group was 8~12 days, and the antioxidant group could be 20~24 days, under the partially frozen condition. It was also found that the phytic acid, BHT and V_E showed stronger antioxidant capacity in the treated groups, with more effective inhibition of the oxidation of unsaturated fatty acids and better maintaining of the food quality and processing performance.

Keywords: loach; antioxidants; partially frozen storage; properties; lipid oxidation

泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)又称鱼鳅,体形细长,常出没于中国除高原地区外的湖泊、水库、水塘、水田等浅水水域,日本、朝鲜和东南亚等国家和地区也有广泛分布^[1]。泥鳅可食部分和蛋白质含量均比一般淡水鱼类高,还含有钙、磷、铁、维生素等多种营养素。因肉质鲜嫩,营养丰富而广受消费者青睐^[2]。目前,国内外泥鳅的食用方式主要有直接烹调 and 加工食品 2 种方式。中国主要是鲜销,多为直接烹调,以家庭消费和餐饮行业为

基金项目: 重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(编号:cstc2014pt-gc8001);重庆市特色效益水产业关键技术集成示范项目(编号:20150718)

作者简介: 鲁小川,男,西南大学在读硕士研究生。

通信作者: 尚永彪(1964—),男,西南大学教授,博士。

E-mail: shangyb@sina.com

收稿日期: 2019-01-04

主^[3]。对宰后精深加工和新产品开发探讨较少,进入市场的产品更是屈指可数,未能形成规模化生产,大大降低了泥鳅的综合利用价值。因此,泥鳅宰后加工产品的销售具有良好的发展前景和巨大的市场潜力。当前,对泥鳅宰后品质变化的研究还比较少。于建行^[4]研究表明低温(4℃)和气调(50% CO₂+50% N₂)对泥鳅保鲜的货架期为10 d左右。销售半径短,无法较好满足市场供销。石秋玲等^[5]研究表明4, -2.5, -18℃下泥鳅的货架期分别为6, 20, 25 d,冷藏货架期有限,而冻藏对其品质破坏较大,无法保障产品质量。

微冻保鲜是在细胞汁液冻结温度以下贮藏食品的一种轻度冷冻保鲜方法^[6]。其原理是通过低温来抑制微生物的生长繁殖及酶的活力^[7]。与冷藏相比,微冻能延长其保鲜期1.5~2.0倍,而与-18℃冻藏相比,微冻贮藏产生的冰晶小,对细胞损伤小,产品的感官品质以及营养价值都得到更好的保留。许艳顺等^[8]研究表明,与冻藏相比,微冻对鲥鱼生化品质的劣变起延缓作用。许立兴等^[9]证明了一3℃微冻气调包装能延长羊肉保鲜期至40 d。荣辉等^[10]证明了V_E、迷迭香酸、茶多酚均能提高裂壶藻油的氧化稳定性。李媛媛等^[11]研究表明天然复合抗氧化剂对亚麻籽油具有很好的抗氧化效果。然而,微冻和抗氧化剂相结合处理应用于泥鳅保鲜还未见报道。本试验拟以生鲜泥鳅为原料,研究比较天然氧化剂油菜粉提取物、丁香提取物、植酸、V_E及合成抗氧化剂BHT处理对微冻(-2.5℃)贮藏泥鳅理化品质及脂肪氧化的影响,为泥鳅产品的加工、贮藏提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

台湾泥鳅:体态完好,平均50 g左右,重庆水生农业开发有限公司;

丁香提取物:主要成分为酚类及其衍生物,苏州天灵中药饮片有限公司;

植酸、BHT、V_E:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

油菜粉提取物:主要成分为黄酮类提取物,山东梦之队生态农业有限公司。

1.2 仪器与设备

色差仪:UltraScan PRO型,美国HunterLab公司;

旋转蒸发仪:RE-52AA型,上海亚荣生化仪器厂;

气相质谱联用仪:GCMS-QP2010型,日本岛津公司;

质构仪:TA.XT2型,英国Stablemicrosystem公司;

贝克曼冷冻离心机:AvantiJ-30I型,美国贝克曼库尔特公司。

1.3 方 法

1.3.1 试样处理 新鲜泥鳅宰杀后去内脏和脊椎骨,清洗后剪成5 cm×3 cm×1 cm片状,随机分成6份,参照

贾娜等^[12]的方法及GB 2760—2011规定进行处理:对照组、0.4%丁香提取物、0.3%油菜粉提取物、0.02%植酸、0.02% V_E、0.02% BHT,混匀,自封袋包装后置于-2.5℃条件下贮藏。脂肪酸组成分别在0, 10, 20 d测定,其他指标24 d内每隔4 d取样测定。

1.3.2 感官评定 参照傅德成^[13]的方法修改如下:选10名专业评定员对泥鳅肉片的色泽、气味、组织状态以及黏液进行评分,综合得分为4个指标平均得分。评分标准见表1。

表1 感官评分表

Table 1 Table of sensory quality evaluation

指标	标准	分值
色泽	肉色呈半透明、断面较有光泽	9~10
	光泽有些消失	6~8
	光泽消失	3~5
	变成灰暗的颜色	0~2
气味	泥鳅固有的新鲜气味、无异味	9~10
	无明显气味	6~8
	轻微腥味	3~5
	腥味较重	0~2
组织形态	组织坚实、指压后迅速复原	9~10
	较坚实、指压后复原缓慢	6~8
	组织变软、压痕不易复原	3~5
	柔软、指压后散开	0~2
黏液	无色透明	9~10
	略带乳白色	6~8
	开始变黄,轻微浑浊	3~5
	棕黄色、有明显浑浊	0~2

1.3.3 pH的测定 参照Arashisar等^[14]的方法。

1.3.4 汁液流失的测定 取一定量样品擦干表面水分,称取样品和包装袋的总质量为W₁,倒出汁液,吸干表面水分,称取样品和包装袋的总质量为W₂,包装袋的质量为W₀。按式(1)计算汁液流失率。

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

P——汁液流失率, %

W₁——吸干表面水分前样品和包装袋总质量, g;

W₂——吸干表面水分后样品和包装袋总质量, g;

W₀——包装袋质量, g。

1.3.5 剪切力的测定 参照Luo等^[15]的方法修改,样品去除结缔组织和脂肪,80℃水浴20 min,取出冷却至室温。样品沿肌纤维方向切成2 cm×1 cm×1 cm小块,质构仪测剪切值,相关参数:探头类型为HDP-BSW,测前速

度 2.0 mm/s,测中速度 1.0 mm/s,测后速度 5.0 mm/s,下压距离 23 mm,触发力 40 g。

1.3.6 TVB-N 值的测定 按 GB 5009.228—2016 中的半微量定氮法执行。

1.3.7 TBARS 值的测定 参考 Lofiego 等^[16]的方法修改。称取 10 g 肉糜去除表皮和结缔组织后放在 200 mL 离心管中,向管中加 20% 三氯乙酸 25 mL,蒸馏水 20 mL,高速匀浆 54 s,4 °C 下 5 500 r/min 离心 15 min,吸取 2.00 mL 上清液于 25 mL 比色管中,加 0.02 mol/L TBA 溶液 2 mL,沸水浴 20 min,冷却至室温,TCA/H₂O (体积比为 1:1)+2 mL TBA 为空白对照,于 532 nm 下测定吸光值。

1.3.8 过氧化值(POV)的测定 按 GB 5009.227—2016 执行。

1.3.9 脂肪酸组成的测定

(1) 脂肪的提取:参照王毅等^[17]的方法。

(2) 脂肪酸甲酯化:参照 Indrasti 等^[18]和李朝阳等^[19]的方法修改,在上述脂肪旋蒸瓶中加入 2 mL 石油醚和苯的混合液(体积比 1:1),轻轻摇动溶解,加 2 mL 14%三氟化硼-甲醇溶液,混匀。45 °C 保温 1 h,冰箱(4 °C)过夜。上样前加 1 mL 正己烷使甲酯溶解,加 2 mL 饱和 NaCl 溶液使全部有机相上升至试管上部。澄清后取上清液装入进样小瓶,进行气相色谱-质谱分析。

(3) GC-MS 条件:参照汪蹕等^[20]的参数。

(4) 定性及定量分析:样品处理后,检索质谱数据,相似度不低于 80%的化合物定性鉴定,定量分析用峰面积归一化法。

1.3.10 数据处理 每个试验重复 3 次,每次 3 个平行样,结果用均值±标准差表示。用 Excel、Origin 8.5 和 SPSS Statistics 20.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅感官评定的影响

从图 1 可以看出,处理组泥鳅感官评定的综合得分随着贮藏时间的延长均不断下降。最初鲜泥鳅的感官评定综合得分为 10,初期变化缓慢,对照组经过 8,12,16,20,24 d 的贮藏后综合得分依次下降为 8.08,7.25,6.75,4.04,3.42,在贮藏 20 d 后综合得分小于泥鳅感官品质最低可接受分值 5,此时泥鳅品质劣变严重,不可接受。而丁香、油菜、植酸、BHT 及 V_E 组在贮藏 24 d 后综合得分依次降低至 5.29,5.33,5.58,6.13,5.13,均大于 5 分,感官品质在可接受范围内。综合各项指标,对照组泥鳅感官可接受货架期为 12~16 d,油菜粉提取物组为 20 d,而丁香提取物、植酸、BHT 及 V_E 组可达到 24 d。

2.2 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅 pH 值的影响

从图 2 可以看出,处理组泥鳅的 pH 值随着贮藏时间的延长呈先下降再上升的趋势。最初植酸处理组泥鳅的

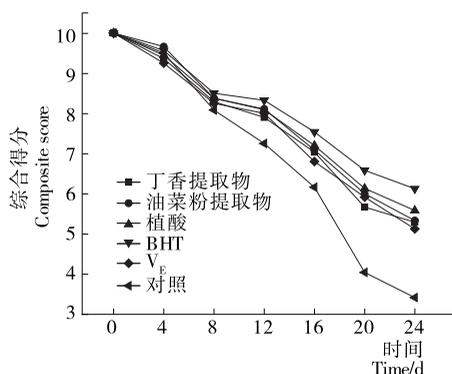


图 1 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅感官评定综合得分的影响
Figure 1 Effects of different antioxidants on sensory evaluation composite score of loach in micro-frozen storage

pH 值与对照组(空白对照)相差较大,pH 值降低为 5.87,原因是植酸呈酸性,添加后导致泥鳅 pH 值下降。但植酸等抗氧化剂的添加并未影响其整体变化趋势,丁香提取物、油菜粉提取物、植酸、BHT、V_E 及对照组样品 pH 值均在 4 d 达到最低值分别为 pH 6.42,6.47,5.58,6.49,6.40,6.41,之后缓慢上升,贮藏 24 d 后 pH 值分别上升至 7.31,7.05,6.00,7.13,7.09,7.21。pH 值的变化能影响样品的色泽、保水性及货架期等。随着贮藏时间的延长,蛋白质在蛋白酶作用下分解成氨基酸等碱性物质,同时蛋白质和氨基酸等物质在细菌作用下又可分解产生氨与胺类化合物,导致 pH 值上升并呈碱性^[21-22],从而加快鱼体腐败进程。这一结果与于建行^[4]的研究相一致。但是也有研究^[23]指出,pH 值的变化并不能准确地反映水产品贮藏过程中的品质变化,主要是由于水产品 pH 值受多种因素影响,变化极不稳定,在判断水产品新鲜度时很难找到具体的临界值。

2.3 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅汁液流失的影响

从图 3 可以看出,处理组样品的汁液流失率随贮藏

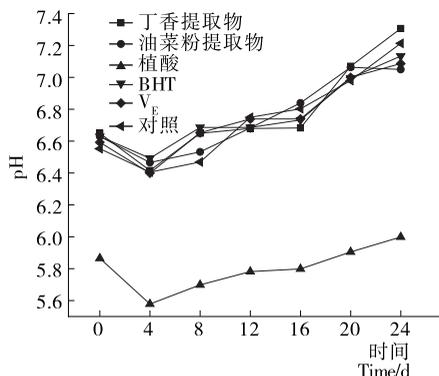


图 2 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅 pH 值的影响
Figure 2 Effects of different antioxidants on pH value of loach in micro-frozen storage

时间延长呈不断升高的趋势($P<0.05$)。对照组在 0 d 的汁液流失率为 1.36%，贮藏过程中，汁液流失率依次上升到 1.50%，3.01%，4.73%，5.94%，7.96%，11.35%。在 0~8 d 上升比较缓慢，之后汁液流失率增长幅度变大，原因可能是：① 随着微冻时间的延长，样品微冻程度增加，泥鳅肌肉组织的细胞结构被微冻形成的小冰晶部分破坏，水分流失，引起了肌肉持水力的下降^[24-25]；② 腐败微生物的繁殖，蛋白质在内源性蛋白酶作用下的分解作用，也造成了蛋白质持水力的下降^[26]。兰洋^[27]在研究中发现，茶多酚处理兔肉的滴水损失在贮藏前期上升较快，而后期上升缓慢。

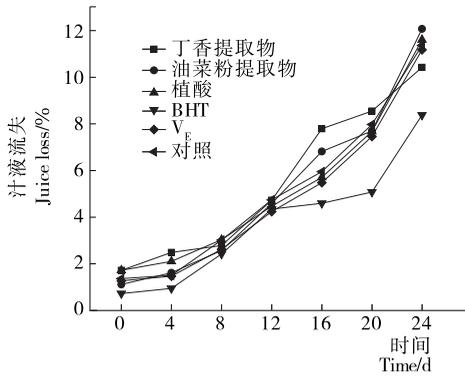


图 3 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅汁液流失的影响

Figure 3 Effects of different antioxidants on juice loss of loach in micro-frozen storage

2.4 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅剪切力的影响

剪切力是反映肉质品嫩度的重要指标，对消费者的购买意向起着决定性作用^[28]。从图 4 可以看出，处理组的剪切力随贮藏期限的延长都不断下降，且变化差异显著($P<0.05$)。对照组剪切力下降最为迅速，初期其剪切力值为 756.3 g，贮藏过程中，依次下降为 671.1, 596.4, 530.0, 430.5, 410.0, 357.2 g。而 BHT 与植酸、丁香提取物组在 24 d 的剪切力值与对照组 16 d 的值相当，表明抗

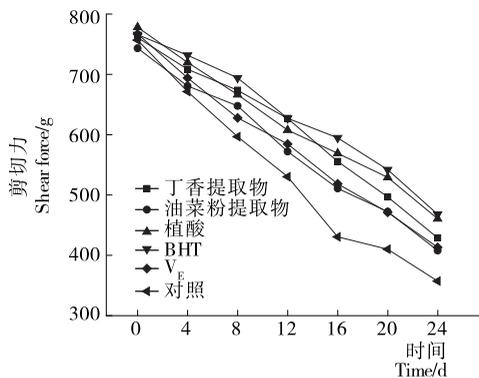


图 4 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅剪切力的影响

Figure 4 Effects of different antioxidants on shear force of loach in micro-frozen storage

氧化剂能够有效减缓泥鳅剪切力值下降；油菜粉提取物与 V_E 组的抗氧化效果稍差，在贮藏终点时剪切力为 407.8, 413.0 g，但仍显著高于对照组($P<0.05$)。

有研究^[29]指出，在贮藏过程中，肉制品中肌原纤维蛋白 Z 线在酶的作用下会断裂，导致其内部胶原物质分解，引起肌肉弹性下降，剪切值降低。刘燕等^[30]在研究中发现黄鳍金枪鱼肉的剪切值随着贮藏时间的延长而逐渐减小，与本试验结果相同。

2.5 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅 TVB-N 值的影响

TVB-N 值常用于评价水产品的腐败程度。GB 2733—2015 中规定，淡水鱼虾的 TVB-N 值最大限量为 20 mg/100 g，从图 5 可以看出，TVB-N 值随贮藏时间延长均不断上升。初始含量为 6.44 mg/100 g，对照组 16 d 后上升到 14.28 mg/100 g；而植酸和 BHT 处理组贮藏 24 d 后分别为 13.72, 13.44 mg/100 g；其他 3 个处理组 24 d 时 TVB-N 值介于植酸、BHT 与对照组之间，差异不显著($P>0.05$)，且所有处理组的 TVB-N 值在 24 d 时均小于最大限量(20 mg/100 g)，处于可接受范围。结合感官指标等数据综合分析，新鲜泥鳅的 TVB-N 值应小于 13 mg/100 g，由此判断对照组泥鳅的货架期为 12 d，丁香提取物、油菜粉提取物和 V_E 组泥鳅的货架期为 16~20 d，而添加植酸和 BHT 后可将泥鳅货架期延长至 20~24 d。泥鳅 TVB-N 值不断上升的原因主要是原料自身酶的消化作用和微生物的作用，前期微生物以个体繁殖为主，因此 TVB-N 值增长缓慢，到了中后期，微生物大量繁殖，加上蛋白酶的作用，肌肉蛋白质和非蛋白类物质分解，产生氨、胺类等碱性含氮物质，TVB-N 值持续升高^[31-32]。此结果与刘焱^[33]的研究结论一致。通过 TVB-N 值显示，5 种抗氧化剂在泥鳅中的抗氧化效果由强到弱依次为 BHT、植酸、丁香提取物、油菜粉提取物、 V_E ，且均高于对照组，表明 BHT、植酸、丁香提取物、油菜粉提取物、 V_E 能有效抑制蛋白质氧化分解，其抗氧化成分多酚类及其衍生物能有效螯合金属离子，猝灭单线态氧及切断

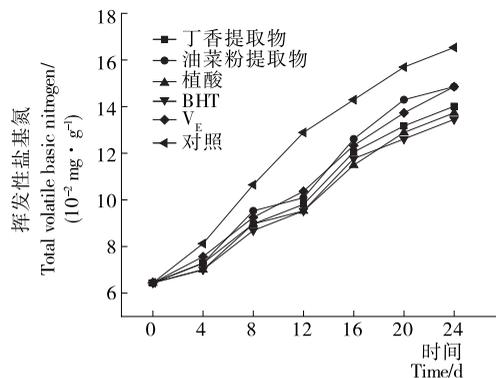


图 5 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅 TVB-N 的影响

Figure 5 Effects of different antioxidants on total volatile basic nitrogen of loach in micro-frozen storage

脂质自动氧化反应的进行;黄酮类物质可以清除自由基,终止自由基链式反应。具有显著的抗氧化和防腐保鲜功效。

2.6 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅 TBARS 值的影响

TBARS 能反映肉制品中脂肪的氧化程度,新鲜肉制品的最大 TBARS 值为 0.7~1.0 mg/kg。从图中 6 可以看出,TBARS 随着贮藏时间延长均呈持续上升的趋势($P<0.05$)。新鲜泥鳅的 TBARS 值为 0.127 mg/kg,对照组经过 12 d 上升到了 0.688 mg/kg;24 d 高达 1.046 mg/kg,此时肉质已经恶化,不可食用。而处理组贮藏 20 d 时,TBARS 值均小于 0.66 mg/kg,仍处于肉质良好的范围;到达 24 d 时丁香提取物组、油菜粉提取物组、植酸组、BHT 组和 V_E 组 TBARS 值分别上升至 0.696,0.795,0.675,0.629,0.734 mg/kg。由此表明,添加抗氧化剂能够有效延长泥鳅的货架期,对照组在微冻条件下的货架期为 8~12 d,而添加抗氧化剂组货架期均达到 20~24 d。Ganhao 等^[34]认为脂肪氧化会产生氢过氧化物,该物质可降解为醛类、酮类及羰基类化合物的次级产物,引起样品产生酸败,TBARS 值上升。另外,Xia 等^[35]和 Hansen 等^[36]有报道指出肌肉组织经过冻藏和解冻都会加速脂肪的氧化,导致 TBARS 值的升高。Benjakul 等^[37]和 Fernandez 等^[38]研究也有同样的发现,冻藏能够破坏细胞组织结构,导致非血红素铁等促氧化剂从细胞内释放出来,促进脂肪氧化,引起 TBARS 值的升高。

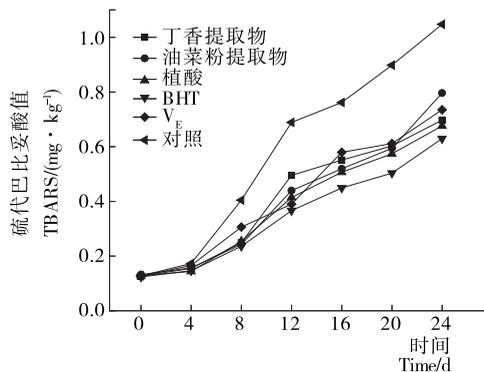


图 6 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅 TBARS 值的影响

Figure 6 Effects of different antioxidants on thiobarbituric acid-reactive substances value of loach in micro-frozen storage

2.7 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅 POV 的影响

由图 7 可以看出,处理组的 POV 随贮藏时间延长都不断上升($P<0.05$)。POV 最初为 1.539 meq/kg,8 d 后,对照组上升至 2.395 meq/kg,而添加了植酸和 BHT 组在 24 d 时才达到相近的数值,很好地控制了 POV 升高的速率。24 d 后,对照组 POV 高达 3.194 meq/kg,丁香提取物、油菜粉提取物以及 V_E 处理组分别是 2.752,2.957,

2.841 meq/kg,显著低于对照组($P<0.05$)。泥鳅中不饱和脂肪酸含量高,在氧、微生物以及酶的作用下很容易发生氧化反应,由试验数据可以看出,添加抗氧化剂在贮藏过程中能够有效控制脂肪初期的氧化,延缓泥鳅品质劣变。

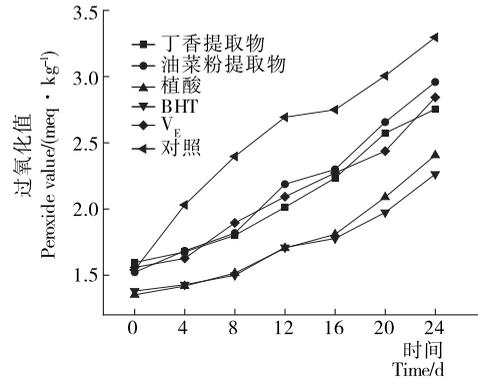


图 7 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅 POV 的影响

Figure 7 Effects of different antioxidants on POV of loach in micro-frozen storage

2.8 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅脂肪酸组成的影响

从表 2~4 中可以看出,泥鳅的 SFA 主要有月桂酸($C_{12:0}$)、肉豆蔻酸($C_{14:0}$)、十五烷酸($C_{15:0}$)、棕榈酸($C_{16:0}$)、十七烷酸($C_{17:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、十九烷酸($C_{19:0}$)和花生酸($C_{20:0}$)。MUFA 主要有棕榈油酸($C_{16:1}$)和油酸($C_{18:1}$)。PUFA 主要包括亚油酸($C_{18:2}$)、亚麻酸($C_{18:3}$)、花生四烯酸($C_{20:4}$)、EPA($C_{20:5}$)和 DHA($C_{22:6}$)。

饱和脂肪酸中相对含量最高的为棕榈酸,最初丁香提取物、油菜粉提取物、植酸、BHT、 V_E 和对照组含量分别为 19.90%,20.37%,20.87%,20.58%,21.85%,20.74%。经过 20 d 的微冻贮藏,棕榈酸含量分别上升为 23.58%,22.96%,23.89%,23.54%,23.25%,23.18%。其次,硬脂酸含量也相对较高,在鲜样中硬脂酸含量占总脂肪酸含量的 9.96%,而其他饱和脂肪酸含量相对较低。MUFA 包括棕榈油酸和油酸,油酸是泥鳅中含量最高的脂肪酸,最初丁香提取物、油菜粉提取物、植酸、BHT、 V_E 和对照组油酸相对含量分别为 31.49%,30.49%,31.49%,31.63%,32.33%,30.63%。在 PUFA 中相对含量最高的为亚油酸,最初含量分别为丁香提取物组 21.32%,油菜粉提取物组 20.88%,植酸组 21.18%,BHT 组 19.31%, V_E 组 16.17%以及对照组 21.37%,且在整个贮藏过程中含量始终保持较高水平,而其他 PUFA 含量较低。SFA 和 MUFA 含量逐渐增加,PUFA 含量下降,与付湘晋^[39]的研究结论相一致。初期,处理组 SFA、MUFA、PUFA 相对含量无明显差异,10 d 后,处理组 SFA 和 MUFA 相对含量略有上升的趋势,但差异不显著($P>0.05$),20 d 时,对照组 SFA 和 MUFA 相对含量分别

表 2 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅在 0 d 脂肪酸组成的影响

Table 2 Effects of different antioxidants on fatty acid composition of loach in micro-storage at 0 d %

名称	月桂酸	肉豆蔻酸	十五烷酸	棕榈酸	棕榈油酸	十七烷酸	硬酯酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	十九烷酸	花生酸	花生四烯酸	EPA	DHA	SFA	MUFA	PUFA
丁香	0.05	1.31	0.53	19.90	0.83	1.69	8.67	31.07	22.86	3.17	0.31	0.48	3.59	3.52	2.01	32.94	31.90	35.15
油菜	0.05	1.24	0.51	20.37	0.88	1.82	8.84	30.49	22.59	3.24	0.31	0.46	3.65	3.57	1.97	33.60	31.37	35.02
植酸	0.05	1.33	0.58	20.87	0.81	1.90	8.65	31.26	22.03	3.25	0.30	0.47	3.28	3.24	1.97	34.15	32.07	33.77
BHT	0.06	1.35	0.51	20.58	0.78	1.63	8.77	31.63	22.01	3.20	0.27	0.47	3.26	3.47	2.00	33.64	32.41	33.94
V _E	0.04	1.26	0.56	20.85	0.80	1.67	8.30	31.33	22.46	3.08	0.32	0.46	3.57	3.38	1.92	33.46	32.13	34.41
对照	0.05	1.27	0.57	20.74	0.81	1.77	8.96	31.11	22.54	3.06	0.34	0.49	3.03	3.28	1.98	34.19	31.92	33.89

表 3 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅在 10 d 脂肪酸组成的影响

Table 3 Effects of different antioxidants on fatty acid composition of loach in micro-storage at 10 d %

名称	月桂酸	肉豆蔻酸	十五烷酸	棕榈酸	棕榈油酸	十七烷酸	硬酯酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	十九烷酸	花生酸	花生四烯酸	EPA	DHA	SFA	MUFA	PUFA
丁香	0.03	2.16	0.08	20.02	5.75	2.18	9.14	24.89	21.32	3.15	0.44	0.52	3.96	4.08	2.28	34.57	30.64	34.79
油菜	—	1.23	0.08	20.30	6.41	2.05	9.05	25.73	20.88	3.19	0.41	0.58	4.08	3.72	2.30	33.70	32.14	34.17
植酸	—	2.24	0.10	19.85	5.94	2.62	9.29	24.02	21.18	2.70	0.48	0.64	4.55	4.06	2.32	35.22	29.96	34.81
BHT	—	1.20	0.08	21.99	7.74	1.81	8.87	24.45	19.31	4.02	0.36	0.57	3.52	3.89	2.19	34.88	32.19	32.93
V _E	0.04	1.98	0.08	21.02	7.18	1.86	10.13	25.66	16.17	4.50	0.43	0.68	4.18	3.70	2.40	36.22	32.84	30.95
对照	—	1.04	0.05	20.61	5.48	1.86	8.98	27.64	21.37	3.87	0.37	0.62	2.88	3.22	2.01	33.53	33.12	33.35

表 4 抗氧化剂对微冻贮藏泥鳅在 20 d 脂肪酸组成的影响

Table 4 Effects of different antioxidants on fatty acid composition of loach in micro-storage at 20 d %

名称	肉豆蔻酸	十五烷酸	棕榈酸	棕榈油酸	十七烷酸	硬酯酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	十九烷酸	花生酸	花生四烯酸	EPA	DHA	SFA	MUFA	PUFA
丁香	1.32	1.53	23.58	6.82	1.08	7.23	27.50	21.21	2.00	0.17	0.49	2.56	2.68	1.84	35.40	34.32	30.29
油菜	1.42	1.34	22.96	8.17	1.76	6.11	27.49	21.00	1.82	0.21	0.45	2.32	2.80	2.14	34.25	35.66	30.08
植酸	1.41	1.34	23.89	7.19	1.12	6.15	28.32	21.47	1.97	0.18	0.55	2.12	2.52	1.77	34.64	35.51	29.85
BHT	1.12	1.45	23.54	6.39	0.92	7.45	27.98	20.05	2.47	0.16	0.43	2.57	2.72	2.75	35.07	34.37	30.56
V _E	1.12	1.52	23.25	6.66	1.39	7.15	27.74	21.29	2.20	0.19	0.48	2.47	2.81	1.73	35.10	34.40	30.50
对照	1.13	1.24	23.18	7.24	1.42	7.53	29.32	20.06	2.24	0.22	0.51	2.13	2.15	1.64	35.23	36.56	28.22

上升到 35.23% 和 36.56%，而 PUFA 相对含量下降为 28.22%。经过 20 d 的贮藏，丁香提取物、油菜粉提取物、植酸、BHT、V_E 和对照组 PUFA 相对含量分别下降了 11.30%，15.08%，9.74%，9.96%，8.44%，16.24%，由此看出，对照组脂肪氧化最为严重，其次是油菜处理组，植酸、BHT 和 V_E 组脂肪氧化程度最轻。

3 结论

本试验探究了不同抗氧化剂处理对微冻贮藏泥鳅理化品质及脂肪氧化的影响，结果表明，不同处理组泥鳅综合得分不断降低；pH 值呈先下降后上升的趋势；汁液流失率呈不断增加的趋势；剪切力值呈不断下降的趋势，且变化差异显著 (P<0.05)；TVB-N 值均呈不断增加的趋

势，且所有处理组的 TVB-N 值在 24 d 时均小于最大限量 (20 mg/100 g)，处于可接受范围。TBARS 值和 POV 均呈不断上升的趋势 (P<0.05)，且对照组高于抗氧化剂处理组。通过 GC-MS 检测结果得出泥鳅的脂肪酸构成包括：SFA、MUFA 和 PUFA，其中 SFA 和 MUFA 含量呈持续上升趋势，PUFA 含量逐渐降低。综合各项指标判断，对照组泥鳅的货架期为 12 d，丁香提取物、油菜粉提取物和 V_E 处理能够延长泥鳅的货架期 8 d，而添加植酸和 BHT 后可将泥鳅货架期延长 12 d 以上，其中植酸、BHT 以及 V_E 抗氧化能力最强，相较之下能够更有效地抑制不饱和脂肪酸氧化，维持泥鳅的食用品质和加工性能。本试验缺少对泥鳅产品蛋白质性质的研究，后续可对泥鳅产品肌原纤维蛋白的功能特性和结构性质等方向进行研究。

参考文献

[1] 郑伟力, 鹿杨, 刘德建, 等. 南四湖大鳞副泥鳅生物学特性及人工繁育技术试验[J]. 中国水产, 2015(7): 64-66.

[2] 李松青, 柳钧, 蒋迎风, 等. 泥鳅和黄鳝[M]. 北京: 经济管理出版社, 1998: 1-2.

[3] 李燕, 印杰. 泥鳅的几种加工方法[J]. 渔业致富指南, 2007(20): 42-43.

[4] 于建行. 泥鳅贮藏保鲜及鱼糜凝胶制备工艺研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 13-60.

[5] 石秋玲, 尚永彪, 林静, 等. 低温保鲜方法对泥鳅品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 145-149.

[6] 马海霞, 李来好, 杨贤庆, 等. 水产品微冻保鲜技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2009(4): 340-344.

[7] 胡玥, 吴春华, 姜晴晴, 等. 微冻技术在水产品保鲜中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(9): 384-390.

[8] 许艳顺, 曹雪, 蒋晓庆, 等. 鲟鱼微冻和冰藏过程中品质的变化[J]. 食品与生物技术学报, 2017(2): 143-148.

[9] 许立兴, 薛晓东, 仵轩轩, 等. 微冻及冰温结合气调包装对羊肉的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017(3): 232-238.

[10] 荣辉, 吴兵兵, 杨贤庆, 等. 天然抗氧化剂对裂壶藻油氧化稳定性影响的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(7): 23-26, 31.

[11] 李媛媛, 潘玲, 张燕. 天然抗氧化剂的联合增效作用对亚麻籽油氧化稳定性和感官特性的影响[J]. 中国油脂, 2018, 43(3): 118-123.

[12] 贾娜, 王乐田, 马露, 等. 香辛料提取物对猪肉肌原纤维蛋白功能性质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(2): 82-88.

[13] 傅德成. 食品质量感官鉴别指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 192-194.

[14] ARASHISAR S, HISAR O, KAYA M, et al. Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 97(2): 209-214.

[15] LUO Xin, ZHOU Guang-hong. Effect of electrical stimulation and delay chilling on eating quality of beef[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(1): 188-194.

[16] FIEGO D P L, SANTORO P, MACCHIONI P, et al. The effect of dietary supplementation of vitamins C and E on the α -tocopherol content of muscles, liver and kidney, on the stability of lipids, and on certain meat quality parameters of the longissimus dorsi of rabbits[J]. Meat Science, 2004, 67(2): 319-327.

[17] 王毅, 贺稚非, 陈红霞, 等. 伊拉兔肉脂肪酸组成的 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 154-157.

[18] INDRASTI D, MAN Y B C, MUSTAFA S, et al. Lard detection based on fatty acids profile using comprehensive gas chromatography hyphenated with time-of-flight mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2010, 122(4): 1 273-1 277.

[19] 李朝阳, 李良玉, 贾鹏禹, 等. 狮白鹅不同部位脂肪的脂肪酸组成分析[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 261-265.

[20] 汪蹕, 贺稚非, 杨锐, 等. 气相色谱-质谱联用分析四川白兔肌内脂肪酸的组成[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(9): 197-203.

[21] MUELA E, SANUDO C, CAMPO M M, et al. Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display[J]. Meat science, 2010, 84(4): 662-669.

[22] RODRIGUEZ-CALLEJA J M, GARCIA-LOPEZ M L, SANTOS J A, et al. Development of the aerobic spoilage flora of chilled rabbit meat[J]. Meat Science, 2005, 70(2): 389-394.

[23] 刘璘, 胡卓瑾, 吕飞, 等. 臭氧冷海水对竹筴鱼冷藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2): 211-217.

[24] ANESE M, MANZOCCO L, PANOZZO A, et al. Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality[J]. Food Research International, 2012, 46(1): 50-54.

[25] SRINIVASAN S, XIONG Y L, BLANCHARD S P, et al. Physicochemical changes in prawns (*Machrobrachium rosenbergii*) subjected to multiple freeze-thaw cycles[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(1): 123-127.

[26] OLSSON G B, SEPPOLA M A, OLSEN R L. Water-holding capacity of wild and farmed cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) muscle during ice storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(5): 793-799.

[27] 兰洋. 兔肉微冻保鲜技术研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016: 16-18.

[28] 陈茜茜, 黄明, 邹玉峰, 等. 辐照和反复冻融对牛肉蛋白质氧化及食用品质的影响[J]. 食品科学, 2014(19): 1-5.

[29] TAYLOR R G, FJAERA S O, SKJERVOLD P O. Salmon fillet texture is determined by myofiber-myofiber and myofiber-myocommata attachment[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(6): 2 067-2 071.

[30] 刘燕. 金枪鱼块解冻工艺优化的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011: 12-19.

[31] 杨佳艺. 冷鲜兔肉贮藏中微生物与理化性质的变化及其相关性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012: 12-18.

[32] LU Fei, LIU Dong-hong, YE Xing-qian, et al. Alginate-calcium coating incorporating nisin and EDTA maintains the quality of fresh northern snakehead[J]. Channa Argus, 2009, 89(5): 848-854.

[33] 刘焱. 茶多酚对草鱼肉保鲜作用及机理研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009: 47-55.

[34] GANHAO R, ESTEVEZ M, MORCUENDE D. Suitability of the TBA method for assessing lipid oxidation in a meat system with added phenolic-rich materials[J]. Food Chemistry, 2011, 126(2): 772-778.

(下转第 178 页)

- 特征及其营养成分比较[J]. 中国野生植物资源, 2018, 37(1): 31-36.
- [11] CUI Li-wei, ZHAO Jia-ting, CHEN Jiu-yu, et al. Translocation and transformation of selenium in hyperaccumulator plant *Cardamine ensiensis* from Enshi, Hubei, China[J]. *Plant and Soil*, 2018, 425(1): 577-588.
- [12] 曹斌. 恩施碎米荃含硒蛋白分离提取、初步纯化、体外抗氧化活性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016: 35-51.
- [13] YUAN Lin-xi, ZHU Yuan-yuan, LIN Zhi-qing, et al. A novel selenocystine-accumulating plant in selenium-mine drainage area in enshi, china [J]. *Plos One*, 2013, 8(6): e65615.
- [14] 吕昊. 含硒蛋白运动补剂缓解运动性疲劳作用研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(21): 172-175.
- [15] 刘坤媛, 田秀丽, 秦治国. 壶瓶碎米荃中含硒蛋白结构特性及其缓解运动性疲劳的作用[J]. 食品科学, 2015, 36(9): 160-165.
- [16] 包怡红, 王芳, 王文琼. 大豆多肽硒螯合物的制备及抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 27-32.
- [17] 圣志存, 吴双, 王安平, 等. 珊瑚菌子实体和菌丝体营养成分与抗氧化活性的比较[J]. 现代食品科技, 2018, 34(5): 62-67, 40.
- [18] 董竹平, 李超, 扶雄. 不同品种辣木叶多糖的理化性质和抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2018, 34(1): 38-44.
- [19] 孙雪萍, 徐艳, 刘布鸣, 等. 沙虫蛋白酶解产物抗氧化与免疫调节活性的研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(4): 67-72.
- [20] 孙亚男, 李文香, 胡欣蕾, 等. 杏鲍菇多肽提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 144-149.
- [21] 王梅, 张红香, 邹志辉, 等. 原子荧光光谱法测定富硒螺旋藻片中不同形态、价态的硒[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 179-182.
- [22] 姚昭, 李红艳, 张云龙, 等. 有机硒、无机硒、V_E单独使用及有机硒与 V_E联用对大鼠体内抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 272-276.
- [23] 郑时莲, 潘瑶, 张云龙, 等. 不同形态硒、维生素 E、紫萝卜提取物体外抗氧化协同作用研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 86-90.
- [24] 李改平, 刘子川, 王梦亮. 有机硒和无机硒对小鼠抗氧化作用比较研究[J]. 山西中医学院学报, 2001, 2(3): 19-21.
- [25] ZHANG Zhong-hao, WU Qiu-yan, CHEN Chen, et al. Comparison of the effects of selenomethionine and selenium-enriched yeast in the triple-transgenic mouse model of Alzheimer's disease[J]. *Food and Function*, 2018, 9(7): 3 965-3 973.
- [26] 黄延盛, 吴小勇, 宁初光, 等. 富硒大豆蛋白的酶解及抗氧化性能研究[J]. 中国食品工业, 2013(8): 63-66.

(上接第 126 页)

- [35] XIA Xiu-fang, KONG Bao-hua, LIU Qian, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. *Meat Science*, 2009, 83(2): 239-245.
- [36] HANSEN E, JUNCKER D, HENCKEL P, et al. Oxidative stability of chilled pork chops following long term freeze storage[J]. *Meat Science*, 2004, 68(3): 479-484.
- [37] BENJAKUL S, BAUER F. Biochemical and physicochemical changes in catfish (*Silurus glanis* Linne) muscle as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. *Food Chemistry*, 2001, 72(2): 207-217.
- [38] FERNANDEZ-SEGOVIA I, ESCRICHE I, FUENTES A, et al. Microbial and sensory changes during refrigerated storage of desalted cod (*Gadus morhua*) preserved by combined methods[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2007, 116(1): 64-72.
- [39] 付湘晋. 白鲢鱼脱腥及其低盐鱼糜制备的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 38-51.

(上接第 151 页)

- [8] 赫君菲. 建立凝固型酸奶质构参数对感官性质的预测模型[D]. 扬州: 扬州大学, 2013: 19-20.
- [9] 雷勇刚. 大豆酸奶流变学特性及微观结构的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013: 3-4.
- [10] 白卫东, 沈颖, 刘晓艳, 等. 响应面优化荔枝酒混菌发酵工艺的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2013, 12(1): 58-59.
- [11] 陈龙飞, 王敏, 范柳萍, 等. 响应面法优化玛咖全粉直接压片法研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 173-174.
- [12] 黄达明, 张雪, 管国强, 等. 响应面法优化混菌发酵豆粕的条件研究[J]. 食品工业科技, 2014, 15(13): 226-227.
- [13] 陈杰华, 蒋益虹, 王颖滢, 等. 酶法生产紫马铃薯饮料的工艺研究[J]. 中国食品学报, 2012, 31(4): 1-62.
- [14] 杨莹莹. 凝固型紫甘薯酸奶发酵工艺优化及质构特性和风味的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2013: 20-21.
- [15] 王微. 凝固型原味酸奶质地及微观结构的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007: 17-18.
- [16] 林海知. 凝固型酸豆乳品质改良及冷藏稳定性研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011: 58-61.
- [17] 范瑞, 许静, 顾宗珠, 等. 酸乳货架期内理化特性的研究[J]. 中国乳品工业, 2008, 36(8): 26-29.
- [18] 李全阳, 夏文水. 酸乳流变学特性的初步研究[J]. 食品与发酵工业, 2003, 27(12): 35-39.