

添加不同抗氧化剂的巴沙鱼饼贮藏稳定性比较

刘永旭¹, 刘荣^{1,2*}, 姜荣华¹, 于承媛¹, 季子琦¹

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

(2. 黑龙江省森林食品资源利用重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要: 该研究为延长巴沙鱼饼货架期, 选取茶黄素、迷迭香提取物、甘草提取物和植酸钠添加到巴沙鱼饼中, 进行 37 °C 加速破坏实验, 以水分含量、酸碱度 (Potential of Hydrogen, pH)、酸价、过氧化值、丙二醛、羰基以及菌落总数为评价指标, 探讨在贮藏 14 d 时所选取的 4 种抗氧化剂对巴沙鱼饼保鲜效果。结果表明: 贮藏期间添加抗氧化剂组巴沙鱼饼水分含量、酸价、过氧化值、丙二醛、羰基及菌落总数均有不同程度的上升, 但较未添加抗氧化剂组低。在贮藏 14 d 时, 添加植酸钠的巴沙鱼饼的丙二醛含量增加最少为 0.73 mg/kg; 添加迷迭香提取物的巴沙鱼饼的水分含量和羰基值增长的最少分别为 6.64%、8.32 nmol/mg; 添加茶黄素的巴沙鱼饼的 pH 变化最小, 酸价值、过氧化值以及菌落总数增加的最少, 分别为 1.50、1.75 mg/g、0.20 g/100 g、4.64 lg CFU/g。运用熵权法综合评价可得, 茶黄素作为抗氧化剂效果最好。综上, 选取茶黄素对于延缓脂质氧化, 蛋白分解, 抑制微生物的生长繁殖, 延长巴沙鱼饼的货架期的效果最佳。

关键词: 巴沙鱼饼; 抗氧化剂; 贮藏; 熵权法

文章编号: 1673-9078(2023)07-102-109

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.7.0979

Comparison of Storage Stability of *Pangasius bocourti* (Basa) Fish Cakes with Different Antioxidants

LIU Yongxu¹, LIU Rong^{1,2*}, XIAN Ronghua¹, YU Chengyuan¹, JI Ziqi¹

(1.College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

(2.Key Laboratory of Forest Food Resource Utilization of Heilongjiang Provincial, Harbin 150040, China)

Abstract: The effects of adding antioxidants (theaflavins, rosemary extract, licorice extract, or sodium phytate) on the storage stability of Basa fish cakes was studied with the aim of prolonging the shelf life of *Pangasius bocourti* (Basa) fish cakes. Accelerated degradation tests were performed over 14 days at 37 °C and freshness assessed via the moisture content, pH, acid value, peroxide value (POV), malondialdehyde content, carbonyl content, and colony-forming units (CFUs) of the fish cakes. The moisture content, acid value, POV, malondialdehyde content, carbonyl content, and CFU of the fish cakes generally increased by varying degrees during the 14-day storage period; however, the increase was markedly lower in the antioxidant groups than the control. After 14 days of storage, Basa fish cakes with sodium phytate had the lowest increase of 0.73 mg/kg in terms of malondialdehyde content. Fish cakes with rosemary extract showed the smallest increases in moisture content and carbonyl content, at 6.64% and 8.32 nmol/mg, while those treated with theaflavin showed the smallest changes in terms of pH, acid value, POV, and CFU, at 1.50, 1.75 mg/g, 0.20 g/100 g, and 4.64 lg CFU/g, respectively. According to the entropy weight method, theaflavins are considered the most effective antioxidant for prolonging the shelf life of Basa fish cakes, by slowing the rate of lipid oxidation and proteolysis and suppressing microbial growth.

Key words: Basa fish cakes; antioxidant; storage; entropy weight method

引文格式:

刘永旭,刘荣,姜荣华,等.添加不同抗氧化剂的巴沙鱼饼贮藏稳定性比较[J].现代食品科技,2023,39(7):102-109.

LIU Yongxu, LIU Rong, XIAN Ronghua, et al. Comparison of Storage Stability of *Pangasius bocourti* (Basa) Fish Cakes with Different Antioxidants [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(7): 102-109.

收稿日期: 2022-08-04

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0500307-07)

作者简介: 刘永旭 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1373144768@qq.com

通讯作者: 刘荣 (1971-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品营养与功能性食品, E-mail: lrwxh123@163.com

巴沙鱼 (*Pangasius bocourti*) 属鲶形目 (Siluriformes), 是一种淡水养殖鱼类, 主要分布于湄公河流域的东南亚国家, 在国际市场上占有重要地位^[1,2]。巴沙鱼营养丰富、肉质鲜嫩光滑, 没有小刺, 出肉率高, 一般被加工成冷冻鱼片, 且价格便宜, 深受消费者的欢迎^[3,4]。巴沙鱼深加工产品种类较少, 因此生产巴沙鱼即食产品有助于提高巴沙鱼的利用, 并且可以给生产者带来一定的经济效益。但是鱼糜制品在加工和储存过程中极易受到微生物污染, 导致腐败变质^[5]。在贮藏期间, 脂类在氧化过程中, 会分解一些挥发性氧化产物如醛酮类和有毒化合物, 导致鱼糜制品质量变差, 甚至危害消费者的身体健康^[6,7]; 而蛋白质降解破坏其功能特性并降低其营养价值^[8,9]。微生物污染、脂质氧化和蛋白分解是导致鱼糜制品品质劣化, 货架期降低的主要原因。

目前主要的解决方法是添加抗氧化剂来抑制脂质氧化、蛋白分解以及抑制微生物生长繁殖, 进而改善鱼糜制品品质, 延长保质期。因其抑菌谱广、安全性高、热稳定性好等优点, 天然抗氧化剂现在深受人们的喜爱, 近年来被广泛应用到食品中^[10]。陈媚依等^[11]研究将鸚喙茶提取物添加到鲑鱼鱼糜中, 有效抑制微生物生长繁殖, 减缓蛋白质和脂肪的氧化分解, 稳定色泽。Caroline 等^[12]研究了柠檬草提取物添加到鸡肉香肠中能够抑制了金黄色葡萄球菌、沙门氏菌和大肠杆菌的生长。Chen 等^[13]研究桑椹多酚添加到猪肉干能够延缓了蛋白质氧化, 改善了储存期间猪肉干的品质。

本研究根据 GB 2760-2014《食品安全国家标准食品添加剂使用标准》允许添加至烧烤和油炸肉制品的抗氧化剂进行筛选, 在高效、廉价、低毒并且对巴沙鱼饼的口感风味不造成任何影响的前提下, 选取茶黄素、迷迭香提取物、甘草提取物和植酸钠 4 种抗氧化剂为研究对象, 将其添加到巴沙鱼饼中, 将鱼饼放在 37 °C 下进行贮藏, 加快其变质速度, 通过考察酸价、水分含量、pH、丙二醛、羰基、菌落总数以及过氧化值的变化情况, 并应用熵权法进行综合评价, 选取对巴沙鱼饼防腐保鲜效果最佳的抗氧化剂, 为延长巴沙鱼饼货架期提供理论依据, 为工业化应用提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

巴沙鱼 (长度: 25~30 cm, 质量: 300~450 g), 冷冻品, 购自哈尔滨市家乐福超市, -18 °C 贮藏待用; 青虾仁 (重量: 10~15 g), 冷冻品, 购自哈尔滨市家乐福超市, -18 °C 贮藏待用; 猪五花肉, 鲜品, 购自

哈尔滨市家乐福超市; 茶黄素、迷迭香提取物、植酸钠、甘草提取物, 均购自东域达食品专营店。

试剂: 碘化钾、石油醚 (30~60 °C)、乙醚、氯化钠、可溶性淀粉、盐酸胍、氢氧化钠、异丙醇、冰乙酸, 均为分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司; 2,4-二硝基苯肼、牛肉膏、琼脂, 上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

PHS-3E 型 pH 计, 上海佑科仪器仪表有限公司; DHG-9240 型电热鼓风干燥箱, 上海一恒仪器有限责任公司; SW-CJ-1F 型超净工作台, 苏净集团安泰公司; RT-6000 型酶标仪, 深圳雷杜生命科学有限公司; FKB 型电烤箱, 广东顺德华兴电器厂; H-340 型真空包装机, 东莞市博泰电子商务有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 巴沙鱼饼的制作

1.3.1.1 巴沙鱼饼配方

猪五花:虾仁:巴沙鱼质量比为 1:1:2、甘蓝粉 1.7% (m/m, 下同)、食盐 0.2%、白糖 1.4%、谷氨酸钠 0.4%、葱粉 0.4%、姜粉 0.4%、料酒 2%、虾味香精 2%、香油 0.8%、焦磷酸钠 3.5%、大豆卵磷脂 2.0%、明胶 1.0%、卡拉胶 1.0%、谷朊粉 2.0%、马铃薯淀粉 3.0%

1.3.1.2 巴沙鱼饼工艺

以巴沙鱼、虾仁和猪五花肉为原料肉, 采用先水煮定型, 后烧烤熟制进行加工处理, 具体工艺为: 巴沙鱼、虾仁和猪五花肉的比例为 2:1:1, 将所需原料肉进行清洗, 去除表面的血丝和筋膜, 滤干水分, 用小型绞肉机绞碎后进行分组, 参照 GB 2760-2014 允许使用的最大添加量分别添加所选取的 4 种抗氧化剂, 具体添加量如表 1 所示, 对照组不添加任何抗氧化剂, 将辅料和抗氧化剂放入混合肉馅中进行 1 min 斩拌, 充分混合均匀后, 称取 15 g 肉料, 用锡纸杯 (直径 5.5 cm, 厚度 1.5 cm) 定型后进行先水煮后烧烤的处理方式, 水煮条件 100 °C 水煮 4 min, 烤制条件 150 °C 烤制 25 min (15 min 后翻面); 冷却至室温后用铝箔袋进行真空包装, 再进行 121 °C 高温杀菌 20 min。放入 37 °C 培养箱进行加速破坏实验, 贮藏 14 d, 每两天取样测定各项指标, 同时进行空白实验。

1.3.2 水分的测定

水分的测定参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》, 每个样品平行测定 3 次。

1.3.3 pH 值的测定

pH 值的测定参照 GB 5009.237-2016《食品安全国

家标准食品 pH 值的测定》，每个样品平行测定 3 次。

表 1 不同抗氧化剂的添加量

Table 1 Addition of different antioxidants	
抗氧化剂名称	添加量/(g/kg)
植酸钠	0.2
甘草提取物	0.2 (以甘草酸计)
迷迭香提取物	0.3
茶黄素	0.3

1.3.4 酸价的测定

参考标准 GB 5009.229-2016《食品安全国家标准食品中酸价的测定》，每个样品平行测定 3 次。

1.3.5 过氧化值的测定

参考标准 GB 5009.227-2016《食品安全国家标准食品中过氧化值的测定》，每个样品平行测定 3 次。

1.3.6 丙二醛的测定

参考标准 GB 5009.227-2016《食品安全国家标准食品中丙二醛的测定》，每个样品平行测定 3 次。

1.3.7 羰基的测定

参考 Levin 等^[14]的方法并做适当修改，采用 2,4-二硝基苯肼法测定蛋白羰基的含量，其羰基含量按式

(1) 计算，每个样品平行测定 3 次。

$$C = \frac{A_{370nm} \times 10^7}{0.625 \times 22000 \times \rho} \quad (1)$$

式中：

C——羰基含量，nmol/mg；

A_{370nm} ——370 nm 处的吸光度值；

ρ ——蛋白质质量浓度，mg/mL。

1.3.8 菌落总数的测定

参考国标 GB 4789.2-2016 菌落总数《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定》，每个样品平行测定 3 次。

1.3.9 熵权法

采用熵权法进行各指标的综合分析，选取最佳的抗氧化剂。以酸价、水分含量、pH、丙二醛、羰基、菌落总数以及过氧化值为评价指标，建立原始数列矩阵。首先对原始数据根据式 (2) 进行归一化处理，得到归一化数据 x'_{ij} ，再根据式 (3) 得到标准化数据 P_{ij} ，再根据式 (4) 计算第 j 个指标的信息熵 e_j ，得到的各指标信息熵根据式 (5) 转化为熵权 W_j ，最后根据式 (6) 计算第 i 个评价对象的综合得分 S_i 。

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_i) - x_{ij}}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (2)$$

$$P_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$e_j = -k \sum_{k=0}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad k = \frac{1}{\ln(n)} \quad (4)$$

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m e_j} \quad (5)$$

$$S_i = \sum_{j=0}^m W_j x_{ij} \quad (6)$$

1.4 数据分析

每个样品至少重复 3 次，结果取平均值，以 (平均值±标准差) 表示。数据处理采用 Excel 2019，选用 SPSS 23.0 进行显著性分析，当 $P < 0.05$ 视为差异显著，采用 Origin Pro 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 不同抗氧化剂对巴沙鱼饼贮藏期间 pH 值

的影响

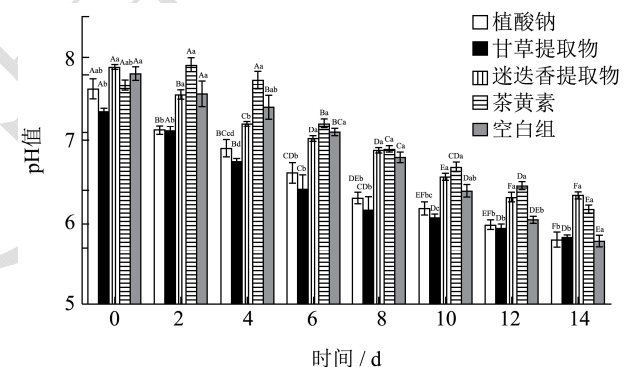


图 1 不同抗氧化剂处理的巴沙鱼饼在贮藏 14 d 内 pH 值的变化

Fig.1 Changes in pH value of *Pangasius bocourti* cakes treated with different antioxidants within 14 days of storage

注：A~F 表示某一组不同天数组间的显著性差异 ($P < 0.05$)；a~d 表示同一天数不同抗氧化剂组间的显著性差异 ($P < 0.05$)。

肉及肉制品的 pH 值是反映新鲜度的一个重要指标^[15]。由图 1 可知，添加茶黄素的巴沙鱼饼的 pH 随着贮藏时间的增加呈现先上升后下降的趋势；而添加迷迭香提取物的巴沙鱼饼的 pH 值随着贮藏时间的增加呈现先下降后上升的趋势；其他组的 pH 值呈现显著下降的趋势 ($p < 0.05$)。刘洋等^[16]在鱼肉肠中添加茶多酚、植酸钠和植酸，添加抗氧化剂的鱼肉肠在贮藏期间的 pH 值呈现下降的趋势，与本研究结果相似。pH 值下降，有可能是因为在真空包装中巴沙鱼饼被微生物分解，产生 CO_2 和水等代谢物质， CO_2 和有机小分子同时发酵产生的酸性物质共同作用，使鱼饼的 pH 值降低^[17]。pH 值升高可能是由于这一时期微生物的

生长和繁殖, 鱼饼中的蛋白质形成碱性含氮化合物如胺、三甲胺等有害产物, 导致 pH 值升高^[18]。第 0 d 时, 空白组的 pH 值(7.81)与甘草提取物处理组(7.35)存在显著性差异 ($P < 0.05$), 但与其他组不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。Arun 等^[19]的研究结果表明, 天然抗氧化剂对熟羊肉块的初始 pH 值没有显著性影响 ($P > 0.05$), 与本实验存在部分差异, 可能由于抗氧化剂的种类、添加量以及肉制品的种类等因素有关。在贮藏 14 d 时, 按照 pH 值变化差值由高到低排序为空白组(2.03)、植酸钠(1.83)、迷迭香提取物(1.55)、甘草提取物(1.52)、茶黄素(1.50)。对比可知, 添加茶黄素的巴沙鱼饼在贮藏过程中 pH 值变化最小, 添加植酸钠 pH 值变化最大。

2.2 不同抗氧化剂对巴沙鱼饼贮藏期间水分含量的影响

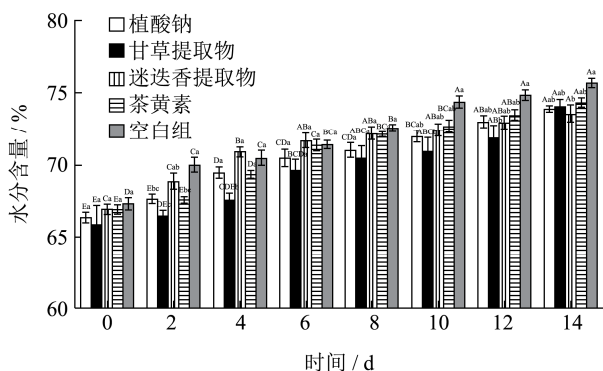


图2 不同抗氧化剂处理的巴沙鱼饼在贮藏 14 d 内水分含量的变化

Fig.2 Changes in moisture content of *Pangasius bocourti* cakes treated with different antioxidants within 14 days of storage

注: A~F 表示某一组不同天数组间的显著性差异 ($P < 0.05$); a~c 表示同一天数不同抗氧化剂组间的显著性差异 ($P < 0.05$)。

一些生化和微生物代谢活动需要水分的参加^[20]。图2反应的是不同抗氧化剂对巴沙鱼饼在贮藏 14 d 水分含量的影响。由图2可知, 巴沙鱼饼的水分含量在整个贮藏期间均呈现显著上升的趋势 ($P < 0.05$), 与沈艳奇等^[21]研究的结果相似。添加不同抗氧化剂的巴沙鱼饼的水分含量在整个贮藏期间均显著低于空白组 ($P < 0.05$), 说明这几种抗氧化剂具有一定的抑菌效果延缓微生物的增殖。黄利华等^[22]研究将二氧化氯、乳酸链球菌素和二甲基二碳酸盐制备的流化冰覆盖于白鲳鱼外表, 均能抑制白鲳鱼内水分含量的增加, 与本实验结果相似。在 0 d 时, 各处理组之间的水分含量没有显著性差异, 因此抗氧化剂的加入对水分含量

没有影响 ($P > 0.05$)。在贮藏 14 d 时, 按照水分含量变化差值由高到低排序为空白组(8.45%)、甘草提取物(8.22%)、植酸钠(7.53%)、茶黄素(7.43%)、迷迭香提取物(6.64%)。由此可知, 与其他组相比, 迷迭香提取物能够更好的延缓巴沙鱼饼水分含量的增加, 甘草提取物效果最差。

2.3 不同抗氧化剂对巴沙鱼饼贮藏期间酸价的影响

酸价表示脂质分解腐败的程度, 酸价越高, 脂质水解产生的脂肪酸越高^[23]。由图3所示, 不同处理的巴沙鱼饼的酸价值随着贮藏时间的增加而显著增加 ($P < 0.05$)。4 种抗氧化剂处理组的巴沙鱼饼的酸价值在整个贮藏期间均显著低于空白组, 由此可知 4 种抗氧化剂能够有效的延缓脂质氧化。赵腾飞等^[24]研究添加 0.6% 复配抗氧化剂能够延缓大黄鱼油的酸价的增加, 与本研究结果相似。在贮藏 14 d 时, 空白组的酸价值与甘草提取物处理组(7.35)不存在显著性差异 ($P > 0.05$), 但与其他组均存在显著性差异 ($P < 0.05$), 按照酸价差值由高到低排序为空白组(3.03 mg/g)、甘草提取物(2.91 mg/g)、植酸钠(2.77 mg/g)、迷迭香提取物(2.41 mg/g)、茶黄素(1.75 mg/g)。由此可知, 茶黄素对延缓巴沙鱼饼中酸价值的增加效果最佳, 甘草提取物效果最差。

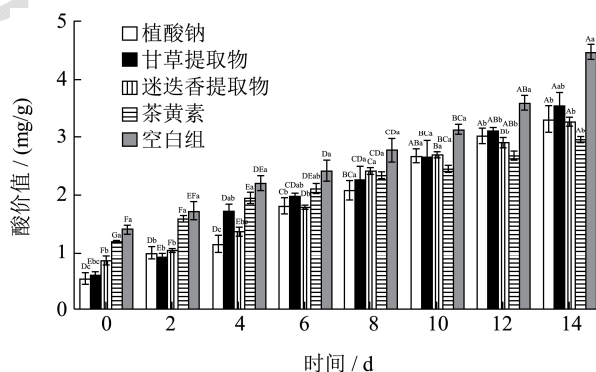


图3 不同抗氧化剂处理的巴沙鱼饼在贮藏 14 d 内酸价的变化

Fig.3 Changes in acid value of *Pangasius bocourti* cakes treated with different antioxidants within 14 days of storage

注: A~G 表示某一组不同天数组间的显著性差异 ($P < 0.05$); a~c 表示同一天数不同抗氧化剂组间的显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.4 不同抗氧化剂对巴沙鱼饼贮藏期间过氧化值的影响

通过测定脂肪过氧化值, 可以判定其氧化变质的程度^[25]。由图4所示, 巴沙鱼饼的过氧化值随着贮藏

天数的增加呈现显著上升的趋势 ($P<0.05$), 过氧化值越大, 说明巴沙鱼饼的脂质氧化程度越高。在贮藏结束时, 添加不同抗氧化剂的巴沙鱼饼的过氧化值显著低于空白组 ($P<0.05$)。这可能是因为抗氧化剂主要通过消耗脂肪中的活性氧自由基、螯合金属离子催化剂、降低氧浓度等, 从而降低过氧化值, 减缓鱼糜制品中脂肪的氧化^[26]。况伟等^[27]研究铁甲草醇提取物能在一定程度抑制客家传统腊肉过氧化值的增长, 与本实验结果趋势相似。在贮藏 14 d 时, 按照过氧化值由高到低排序为空白组 (0.52 g/100 g)、甘草提取物 (0.40 g/100 g)、植酸钠 (0.32 g/100 g)、迷迭香提取物 (0.25 g/100 g)、茶黄素 (0.20 g/100 g)。通过对比可得, 茶黄素延缓巴沙鱼饼中过氧化值的产生效果最佳, 甘草提取物效果最差。

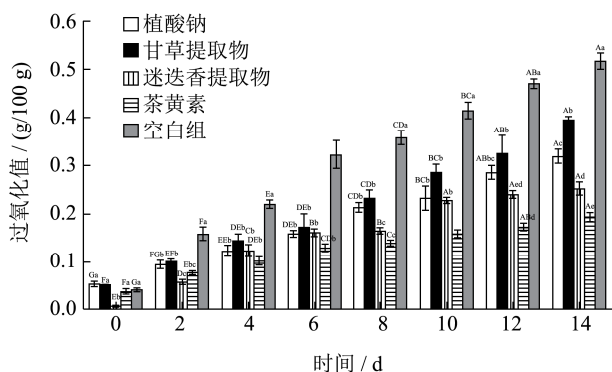


图 4 不同抗氧化剂处理的巴沙鱼饼在贮藏 14 d 内过氧化值的变化

Fig.4 Changes in peroxide value of *Pangasius bocourti* cakes treated with different antioxidants within 14 days of storage

注: A~G 表示某一组不同天数组间的显著性差异 ($P<0.05$); a~e 表示同一天数不同抗氧化剂组间的显著性差异 ($P<0.05$)。

2.5 不同抗氧化剂对巴沙鱼饼贮藏期间丙二醛含量的影响

通常情况下, 当暴露于光、热和氧气时, 油脂会酸败, 分解的醛和酮与硫代巴比妥酸反应形成粉红色物质。因此, 可以使用该特性检测丙二醛含量, 进而推算出脂肪的腐败程度^[28]。丙二醛含量是评价脂肪氧化程度的重要指标, 脂肪氧化程度是影响肉制品品质的重要因素^[29]。由图 5 所示, 所有组的巴沙鱼饼的丙二醛含量随着贮藏时间的增加均呈现显著上升的趋势 ($P<0.05$); 添加不同抗氧化剂的巴沙鱼饼丙二醛含量在整个贮藏过程中均显著低于空白组 ($P<0.05$)。由此可知, 所选取的抗氧化剂均能够延缓巴沙鱼饼脂质氧化, 改善鱼饼品质。本实验结果与李琼帅等^[30]研究的石榴皮提取物对耗牛肉保鲜效果中丙二醛含量的

变化趋势一致。在贮藏 14 d 时, 按照丙二醛含量由高到低排序为空白组 (1.32 mg/kg)、迷迭香提取物 (0.97 mg/kg)、茶黄素 (0.88 mg/kg)、甘草提取物 (0.77 mg/kg)、植酸钠 (0.73 mg/kg)。由此可知, 植酸钠抑制巴沙鱼饼中丙二醛的产生效果最佳, 迷迭香提取物效果最差。

不同抗氧化剂对抑制巴沙鱼饼的脂质氧化各指标效果具有明显差异。可能由于以下原因所致, 首先天然抗氧化剂延缓肉制品脂质氧化的物质为多酚类化合物, 不同种类的多酚发挥作用的机制不同, 因此对巴沙鱼饼脂质氧化各指标具有明显差异^[31]。其次不同种类多酚的抗氧化性与其结构特征密切相关, 多酚化合物结构中 B 环的邻二羟基结构、与 4-氧代官能团连接的 2,3-双键、3-羟基和 5-羟基官能团、糖苷键以及羟基和甲氧基的数量和位置等, 均对化合物的抗氧化活性有较大影响, 所以不同抗氧化剂对巴沙鱼饼脂质氧化各指标具有明显差异^[32]。与本实验结果相似的研究为李婉蓉等^[33]研究发现 TBHQ 对芝麻饅酸价的抑制效果最佳, BHT 对芝麻饅过氧化值的抑制效果最佳; 李晓波等^[34]研究发现维生素 E-茶多酚复配对灌肠制品过氧化值抑制效果最好, BHT 对灌肠制品酸价的抑制效果最好。

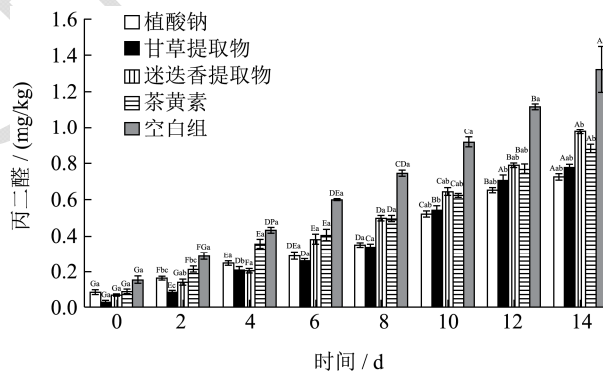


图 5 不同抗氧化剂处理的巴沙鱼饼在贮藏 14 d 内丙二醛含量的变化

Fig.5 Changes of malondialdehyde content in *Pangasius bocourti* cakes treated with different antioxidants within 14 days of storage

注: A~G 表示某一组不同天数组间的显著性差异 ($P<0.05$); a~b 表示同一天数不同抗氧化剂组间的显著性差异 ($P<0.05$)。

2.6 不同抗氧化剂对巴沙鱼饼贮藏期间羰基的影响

羰基的形成是因为蛋白质发生氧化分解, 羰基含量是衡量蛋白质氧化分解水平的重要指标, 羰基含量

越高,说明蛋白质氧化程度越大^[35]。图6反映的是不同抗氧化剂对巴沙鱼饼在贮藏14 d羰基含量的影响。由图6可知,添加抗氧化剂的巴沙鱼饼的羰基含量在贮藏期间均显著低于对照组 ($P<0.05$),巴沙鱼饼的羰基含量随着贮藏时间的增加呈现显著增加 ($P<0.05$),可能由于随着贮藏时间的增加,巴沙鱼饼中的微生物迅速增殖,使其蛋白质迅速分解;然而所添加的抗氧化剂具有一定的抗氧化及抑菌效果,能够更好的抑制蛋白质氧化分解,因此添加抗氧化剂的巴沙鱼饼的羰基含量增长较为缓慢。李明杨等^[36]研究的8种抗氧化剂均能够显著延缓烤肉制品中羰基的形成与本实验结果一致。在贮藏14 d时,按照羰基含量由高到低排序为空白组(13.85 nmol/mg)、茶黄素(9.22 nmol/mg)、甘草提取物(8.63 nmol/mg)、植酸钠(8.38 nmol/mg)、迷迭香提取物(8.32 nmol/mg)。由此可知,抑制蛋白质氧化效果最佳的是迷迭香提取物,茶黄素效果最差。

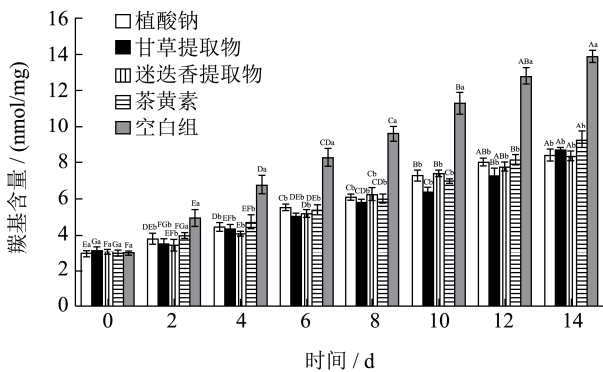


图6 不同抗氧化剂处理的巴沙鱼饼在贮藏14 d内羰基含量的变化

Fig.6 Changes in carbonyl content of *Pangasius bocourti* cakes treated with different antioxidants within 14 days of storage

注: A-G 表示某一组不同天数组间的显著性差异 ($P<0.05$); a-b 表示同一天数不同抗氧化剂组间的显著性差异 ($P<0.05$)。

2.7 不同抗氧化剂对巴沙鱼饼贮藏期间菌落总数的影响

由图7可知,巴沙鱼饼的菌落总数呈现对数增长的趋势,并且各处理组的菌落总数均显著低于空白组 ($P<0.05$)。此结果与傅宝尚等^[37]研究的添加3种抗氧化剂对烤鲑鱼保鲜效果中菌落总数的趋势一致。在整个贮藏过程中,空白组的菌落总数均显著高于抗氧化剂处理组 ($P<0.05$),可能由于4种抗氧化剂均能有效的抑制微生物的生长繁殖。在贮藏的第2~8 d时,各处理组的菌落总数也存在显著性差异 ($P<0.05$),由此可知,此阶段不同抗氧化剂对微生物的增长繁殖

有不同程度的抑制作用。在贮藏14 d时,按照菌落总数由高到低排序为空白组(4.84 lg CFU/g)、迷迭香提取物(4.71 lg CFU/g)、甘草提取物(4.70 lg CFU/g)、植酸钠(4.69 lg CFU/g)、茶黄素(4.64 lg CFU/g)。由此可知,茶黄素对巴沙鱼饼的抑菌效果最佳,能够有效抑制巴沙鱼饼中微生物的增长,延长巴沙鱼饼的货架期。

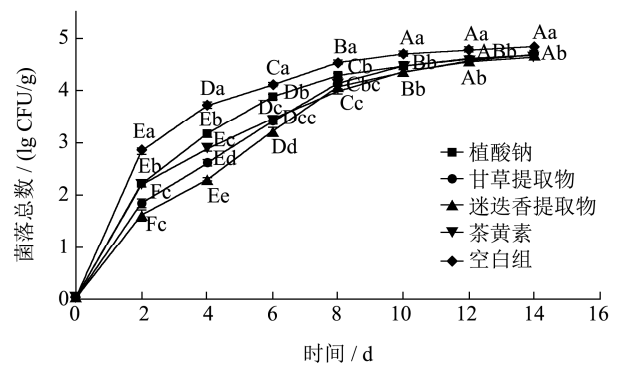


图7 不同抗氧化剂处理的巴沙鱼饼在贮藏14 d内菌落总数的变化

Fig.7 Changes in total bacterial counts of *Pangasius bocourti* cakes treated with different antioxidants within 14 days of storage

注: A-F 表示某一组不同天数组间的显著性差异 ($P<0.05$); a-e 表示同一天数不同抗氧化剂组间的显著性差异 ($P<0.05$)。

2.8 熵权法选取最佳抗氧化剂

本实验选用熵权法对贮藏14 d时的7个指标进行客观赋值,并利用信息熵 e_j 这个工具,计算各项指标的权重 W_j ,结果如表2所示。各项指标权重 $W_j=\{10.81\%, 13.39\%, 13.92\%, 13.17\%, 13.34\%, 11.31\%, 24.06\%\}$ 。

根据权重系数计算出各抗氧化剂的综合得分 S_i ,结果如表3所示。植酸钠、甘草提取物、迷迭香提取物、茶黄素的综合得分分别为0.47、0.31、0.50、0.74。则综合排名为茶黄素>迷迭香提取物>植酸钠>甘草提取物,故选取茶黄素为巴沙鱼饼最佳抗氧化剂。

表2 权重系数计算结果

Table 2 Calculation results of weight coefficient

评价指标	信息熵 e_j	权重系数 w_j
pH	0.79	10.81
水分含量/%	0.74	13.39
酸价/(mg/g)	0.73	13.92
过氧化值/(g/100 g)	0.74	13.17
丙二醛/(mg/kg)	0.74	13.34
羰基/(nmol/mg)	0.78	11.31
菌落总数/(CFU/g)	0.54	24.06

表3 不同抗氧化剂的综合得分

Table 3 Composite scores of different antioxidants

样本	综合得分 S_i	综合排序
植酸钠	0.47	3
甘草提取物	0.31	4
迷迭香提取物	0.50	2
茶黄素	0.74	1

3 结论

本研究运用 37 °C 加速破坏性实验, 考察 4 种抗氧化剂对巴沙鱼饼贮藏 14 d 的防腐保鲜效果。结果表明, 植酸钠能够有效的减缓丙二醛含量的增加; 迷迭香提取物则对延缓水分含量和羰基的产生效果最好; 而茶黄素则能够有效的减缓酸价和过氧化值的增加, 延缓 pH 的变化, 抑制微生物菌落总数增加。根据熵权法综合排名可得, 茶黄素作为最佳抗氧化剂, 能够抑制脂质氧化, 延缓微生物的生长繁殖, 起到更好的防腐保鲜效果, 有助于巴沙鱼深加工产品的开发, 给生产者带来更好的经济效益。

参考文献

- [1] Sen Y, Wenhua H, Huichong C, et al. Effect of chilled storage on sperm quality of basa catfish (*Pangasius bocourti*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2020, 46: 1-9.
- [2] 薛山, 杜楚玲. 基于模糊数学法优化巴沙鱼糜脆片微波膨化工艺研究[J]. *保鲜与加工*, 2022, 22(2): 58-66.
- [3] Phing K Y, Ying W S, Ping T C, et al. Potential of using basa catfish oil as a promising alternative deep-frying medium: A thermo-oxidative stability study [J]. *Food Research International*, 2020, 141: 109897.
- [4] Sriket P, La Ongnual T. Quality changes and discoloration of basa (*Pangasius bocourti*) fillet during frozen storage [J]. *Journal of Chemistry*, 2018, 2018: 1-7.
- [5] 周亚军, 方辉, 李圣桡, 等. 肉制品保鲜技术研究进展[J]. *农产品加工*, 2019, 20: 67-71, 76.
- [6] García Lomillo J, Gonzalez Sanjose M L, Pino García R D, et al. Antioxidant effect of seasonings derived from wine pomace on lipid oxidation in refrigerated and frozen beef patties [J]. *LWT*, 2017, 77: 85-91.
- [7] Bosco A D, Mattioli S, Cullere M, et al. Effect of diet and packaging system on the oxidative status and polyunsaturated fatty acid content of rabbit meat during retail display [J]. *Meat Science*, 2018, 143: 46-51.
- [8] Guyon C, Meynier A, Lamballerie M D. Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 50: 131-143.
- [9] Ren S, Li P, Geng Z, et al. Lipolysis and lipid oxidation during processing of Chinese traditional dry-cured white amur bream (*Parabramis pekinensis*) [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2017, 26(6): 719-730.
- [10] 罗丹, 黄静, 邓楷, 等. 天然防腐剂在方便型川菜产品中的应用[J]. *食品与发酵科技*, 2019, 55(3): 43-49.
- [11] 陈媚依, 杨宏. 鹧鸪茶提取物对鲢鱼鱼糜制品保鲜作用的研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(11): 131-137.
- [12] Boeira C P, Piovesan N, Flores D C B, et al. Phytochemical characterization and antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* extract for application as natural antioxidant in fresh sausage [J]. *Food Chemistry*, 2020, 319: 126553.
- [13] Jingrong C, Liang X, Rong X, et al. Effects of mulberry polyphenols on oxidation stability of sarcoplasmic and myofibrillar proteins in dried minced pork slices during processing and storage [J]. *Meat Science*, 2020, 160(C): 107973.
- [14] L L R, A W J, R S E, et al. Carbonyl assays for determination of oxidatively modified proteins [J]. *Methods in Enzymology*, 1994, 233: 346-357.
- [15] Qu D, Zhou X, Yang F, et al. Development of class model based on blood biochemical parameters as a diagnostic tool of PSE meat [J]. *Meat Science*, 2017, 128: 24-29.
- [16] 刘洋, 李飞, 陈龙, 等. 天然防腐剂对鱼肉肉贮藏特性的影响[J]. *南阳师范学院学报*, 2019, 18(6): 41-50.
- [17] Lorenzo J M, Gómez M. Shelf life of fresh foal meat under MAP, overwrap and vacuum packaging conditions [J]. *Meat Science*, 2012, 92(4): 610-618.
- [18] 潘承慧, 姚智颖, 朱雯雯, 等. 保鲜剂对冰鲜南美白对虾品质变化的影响研究[J]. *食品工业*, 2018, 39(4): 12-16.
- [19] Arun K Das, Vincent Rajkumar, Pramod K. Nanda, et al. Antioxidant efficacy of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp extract in sheep meat nuggets [J]. *Antioxidants*, 2016, 5(2): 16.
- [20] 刘光宪, 王丽, 李雪, 等. 3 种天然抗氧化剂对腊肉理化性质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(15): 6177-6184.
- [21] 沈艳奇, 李学鹏, 王金厢, 等. 低温真空油炸小黄鱼加工工艺优化及包装方式对其贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(24): 110-119.
- [22] 黄利华, 张业辉, 张友胜, 等. 抑菌流化冰提高白鲢鱼的贮藏品质[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(3): 99-105.
- [23] 刘冬青, 陈朴, 臧鹏, 等. 月饼品质指标变化规律研究和保质期预测模型的建立[J]. *食品科学*, 2022, 43(17): 221-230.

- [24] 赵腾飞,应晓国,邓尚贵,等.抗氧化剂浸泡前处理对冻藏期大黄色脂质氧化的影响[J].食品安全质量检测学报,2022,13(6):1910-1918.
- [25] 曹勇,张隋鑫,许秀颖,等.玉米薄饼贮藏品质分析及货架期预测模型建立[J].食品科学,2021,42(1):235-242.
- [26] 王丽,李雪,李亮,等.天然提取物在传统肉制品加工中的应用研究进展[J].食品安全质量检测学报,2020,11(8):2558-2563.
- [27] 况伟,刘志伟,廖燕灵.铁甲草醇提取物对客家腊肉的保藏效果[J].农产品加工,2021,18:11-14.
- [28] Jo C, Ahn D U. Volatiles and oxidative changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content [J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(2): 270-275.
- [29] 吕雯雯,王文庆,吴华,等.脂溶性迷迭香抗氧化剂对油脂的抗氧化作用和生鲜猪肉的保鲜效果[J].中国油脂,2021,46(3):142-148.
- [30] 李琼帅,唐善虎,李思宁,等.石榴皮提取物对牦牛肉糜制品贮藏期间理化特性及流变特性的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(6):90-97.
- [31] H J D Dorman, A Peltoketo, R Hiltunen, et al. Characterisation of the antioxidant properties of de-odourised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs [J]. *Food Chemistry*, 2003, 83(2): 255-262.
- [32] Maria Hidalgo, Concepción Sánchez Moreno, Sonia de Pascual-Teresa. Flavonoid-flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity [J]. *Food Chemistry*, 2009, 121(3): 691-696.
- [33] 李婉蓉,古丽乃再尔·斯热依力,张文昊,等.不同油脂及复配抗氧化剂对芝麻饅抗氧化作用的研究[J].食品工业科技,2022,43(6):186-195.
- [34] 李晓波,寇晓景.天然抗氧化剂对灌肠品质的影响研究[J].安徽农学通报,2020,26(23):120-122.
- [35] 陈颢予,林娟,余群力,等.高粱茎秆提取物对冷鲜牛肉保鲜效果的影响[J].甘肃农业大学学报,2022,57(1):178-187.
- [36] 李明杨,刘帅光,卢梦娇,等.不同抗氧化剂体外抗氧化活性及其对肉品氧化稳定性的影响[J].食品科学,2022,43(1):67-75.
- [37] 傅宝尚,丁若松,尚珊,等.不同防腐剂对烤制鱿鱼片贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2021,42(20):301-308.