

儿茶素对不同加热方式大马哈鱼鱼肉糜贮藏品质的影响

袁惠萍, 赵钜阳, 孙昕萌, 王新语

(哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 哈尔滨 150030)

摘要: **目的** 通过添加具有抗氧化活性的儿茶素, 解决大马哈鱼调理食品在贮藏过程中的腐败变质等问题。**方法** 以大马哈鱼为原料, 通过测定其质构、感官、出品率、色泽、过氧化值和硫代巴比妥酸值等指标, 研究儿茶素浓度(质量分数分别为0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%)对不同加热方式(炉烤、煎烤、油炸)下大马哈鱼品质的影响, 以及在4℃条件下3种不同加热方式对鱼肉糜在贮藏0、1、3、5、7 d时过氧化值和硫代巴比妥酸值的影响。**结果** 研究表明, 添加了儿茶素的实验组与对照组相比, 硬度、弹性得到提高($P<0.05$), 加热损失减少($P<0.05$), L^* 值上升, a^* 值下降($P<0.05$)。在贮藏期间, 采用儿茶素可延缓炉烤、煎烤、油炸加热后鱼肉糜蛋白质和脂肪的氧化, 显著降低过氧化值和硫代巴比妥酸值($P<0.05$)。儿茶素浓度为0.3%时处理组的过氧化值和硫代巴比妥酸值显著低于其他处理组($P<0.05$)。**结论** 采用儿茶素可缓解大马哈鱼的脂质氧化, 改善其色泽、质构、加热损失, 为提高大马哈鱼调理食品的品质提供了理论依据。

关键词: 大马哈鱼; 儿茶素; 加热方式; 抗氧化能力

中图分类号: TS254.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2022)07-0026-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.07.004

Effect of Catechin on Quality of Salmon Surimi Processed by Different Cooking Methods during Storage

YUAN Hui-ping, ZHAO Ju-yang, SUN Xin-meng, WANG Xin-yu

(College of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin 150030, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problems of spoilage and deterioration of salmon prepared food during storage by adding catechins of antioxidant activity. With salmon as the raw material, the effects of catechin concentration (mass fraction of 0, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% and 0.5%) on quality of salmon quality under different heating methods (roasting, pan-frying and deep-fat) were studied by measuring texture, sensory, yield, color, peroxide value and thiobarbituric acid value. The effects of three different heating methods on the peroxide value and thiobarbituric acid value of surimi stored for 0, 1, 3, 5 and 7 days at 4 °C were also explored. Compared with the control group, the hardness and elasticity of the experimental group with catechin were improved ($P<0.05$), the heating loss was reduced ($P<0.05$), the L^* value increased and the a^* value decreased ($P<0.05$). During storage, catechin could delay the oxidation of protein and fat of fish surimi heated in roasting, pan-frying and deep-fat, which significantly reduce the peroxide value and thiobarbituric

收稿日期: 2021-07-29

基金项目: 黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划 (UNPYSCT-2020213); 哈尔滨商业大学“青年创新人才”支持计划 (2019CX23); 哈尔滨商业大学博士科研启动项目 (2019DS60); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目 (PRKX201901)

作者简介: 袁惠萍 (1999—), 女, 哈尔滨商业大学硕士生, 主攻烹饪科学。

通信作者: 赵钜阳 (1987—), 女, 博士, 哈尔滨商业大学讲师, 主要研究方向为大豆蛋白加工。

acid value ($P<0.05$). When catechin concentration was 0.3%, the peroxide value and thiobarbituric acid value of treatment group were significantly lower than those of other treatment groups ($P<0.05$). Catechin can alleviate the lipid oxidation of salmon and improve its color, structure and heating loss, which provides a theoretical basis for improving the quality of salmon prepared food.

KEY WORDS: salmon; catechin; heating method; antioxidant capacity

大马哈鱼 (*Oncorhynchus keta*) 一直以肉质鲜美、营养丰富而闻名, 是黑龙江特产的珍贵淡水鱼, 其不仅含有多种矿物质和维生素, 还含有氨基酸和不饱和脂肪酸, 食用后可预防心血管疾病的发生, 深受广大消费者的喜爱^[1-2]。目前, 市面上的大马哈鱼大多为冷冻食品, 相关大马哈鱼调理制品不多, 这是因为调理制品在贮藏过程中易腐败变质, 保质期较短。大马哈鱼经炉烤、煎烤和油炸等多种热加工方式后均可加速其腐败变质^[3], 导致其感官品质下降, 进而使其的经济效益较低, 因此选用外源成分以延长大马哈鱼调理制品的保质期。目前, 合成抗氧化剂 (如丁基羟基苯甲醚、丁基羟基甲苯和叔丁基对苯二酚) 已广泛应用于鱼肉制品中^[4]。过度使用合成抗氧化剂对人体健康有害, 其会导致人体的 DNA 受到损伤。

与化学防腐剂相比, 天然保鲜剂不仅可以延长产品的货架期, 还能保证肉制品的质量, 并且改善产品的功能特性。植物提取物是天然抗氧化剂的良好来源, 已有学者研究发现, 添加由迷迭香提取物和茶叶提取物复合而成的抗氧化剂可提高猪肉香肠的货架期, 迷迭香提取物、葡萄籽提取物和绿茶多酚等 3 种抗氧化剂均具有良好的抗氧化性能, 可延长西式熏香肠的保质期^[5-6]。植物提取物中具有抗氧化功能的主要成分是酚类化合物, 这是因为多酚物质可通过释放氢离子或将自由离子与酚环结构结合, 从而表现出还原能力和自由基清除能力^[7], 在蛋白质氧化过程中能够抑制或延缓氧化。儿茶素是一种具有协同抗菌和抗氧化性能的多酚, 也可用于防止肉制品的氧化变质^[8]。目前, 刘光宪等^[9]研究了儿茶素、迷迭香酸、茶多酚等 3 种多酚对腊肉品质的影响, 结果表明儿茶素能有效减缓腊肉的脂肪氧化。在肉品加工过程中会涉及如美拉德、焦糖化等反应, 不同的加工过程其加热温度、加热时间和受热是否均匀等因素均会导致加工后生成不同的反应产物, 并最终影响产品的感官品质 (如风味、颜色、口感等), 而添加儿茶素是否会影响不同加热方式下的鱼肉制品品质, 产品经贮藏后易氧化问题是否会被有效控制, 这些问题目前还尚未可知, 且其中涉及的科学内涵也尚不明晰。文中拟通过将不同浓度的儿茶素分别添加到炉烤、煎烤和油炸等 3 种高温加热方式的大马哈鱼肉糜中, 研究儿茶素对不同加热方式处理后的大马哈鱼品质的影响, 以期为大马哈鱼的存储、提高鱼肉产品安全品质等方面提供重要的理论依据。

1 实验

1.1 材料

主要材料: 大马哈鱼, 新鲜鱼中段, 哈尔滨龙德食品有限公司; 儿茶素 (纯度 98%, 食品级), 合肥博美生物公司科技公司; 食用盐, 中盐黑龙江盐业集团有限公司; 色拉油, 九三粮油工业集团有限公司; 氯仿、盐酸、三氯乙酸, 均为分析纯。

1.2 仪器和设备

主要仪器和设备: TMS-Touch250 质构仪, 美国 FoodTechnology Corporation; CM-600d 分光测色计, 日本柯尼卡美能达公司; L535-1 立式低速离心机, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; UV-800 紫外可见分光光度计, 上海元析仪器有限公司; DK-9S-II 电热恒温水浴锅, 天津市泰斯仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制作

首先清洗大马哈鱼的血水, 将鱼去头、去尾、去骨、剔除内脏后称量, 剁碎鱼肉。每份鱼肉的质量为 25 g, 添加质量分数为 4% 的盐、15% 的水, 分别向鱼肉糜中加入质量分数为 0%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 的儿茶素, 并通过模具制成长度为 5 cm、宽度 4 cm 的鱼肉糜, 通过炉烤、煎烤、油炸等 3 种方式加热。参考 Khan 等^[10]的方法, 3 种加工方式分别为: 炉烤, 烤箱上火温度为 140 °C, 下火温度为 140 °C, 预热 3 min, 将样品烤制 12 min; 煎烤, 将平底锅表面预热至 180 °C, 油以鱼肉糜不粘锅为宜, 每 1 min 翻 1 次面, 煎烤 4 min; 油炸, 在锅中倒入油, 鱼肉糜与油的质量比为 1:10, 调至 190 °C 预热 3 min, 将鱼肉糜放入锅中炸 1 min 后翻面, 再炸至 6 min 后取出。在整个过程中, 不添加其他食品添加剂, 每个实验重复 3 次, 将鱼肉糜在室温下冷却, 然后置于 4 °C 冰箱中保存备用。

1.3.2 质构的测定

参照马菲等^[11]的测试方法并稍作调整, 选取 4 cm×5 cm×1 cm 的鱼肉糜, 均匀切成 3 份, 分别测定其质构。使用 P50 探头, 采用“二次压缩”模式, 参数设置: 感应元量程为 250 N, 测试速度为 50 mm/min, 形变量为 50%, 起始力为 0.06 N, 探头回升到样品表

面上的高度为 30 mm, 清理样品台, 安装探头暂停时间为 1 s。测定鱼肉糜的硬度、咀嚼性、胶黏性、内聚性和弹性等 5 个指标, 平行测定 3 次。

1.3.3 感官评价

参照张诗雯等^[12]的感官评价细则, 并稍作调整。文中方法选择了 18 个无特殊口味嗜好的烹饪专业人士进行 2 周感官评价培训, 之后对不同加热方式的各组鱼肉样品进行感官评价 (评测时样品随机编号), 根据鱼肉糜表面颜色是否均匀、表面是否有裂痕、切面是否均一、有无气孔、是否有异味、口感是否咸鲜适中等方面分别进行打分, 各组样品得分表示为平均值 $\pm$ 标准差的形式, 并采用 Statistix 8.0 软件分析数据的显著性。感官评价标准见表 1。

表 1 感官评价细则
Tab.1 Sensory evaluation rules

指标	评分标准	分值
色泽	外表色泽均匀、有光亮	7~9
	外表颜色较均匀	4~6
	表面色灰暗、无光泽、颜色不均匀	0~3
形状	呈长方体、表面均匀	7~9
	呈长方体、表面有毛刺塌陷	4~6
	呈长方体、表面有裂痕	0~3
结构	切面表面均一、布满均匀细小气孔	7~9
	切面表面较均一、无大气孔	4~6
	切面表面不均匀、有大气孔	0~3
气味	香气浓郁、无异味	7~9
	香气较淡、无异味	4~6
	有特殊异味	0~3
口感	咸鲜味适中	7~9
	咸味适中、鲜味不足	4~6
	偏咸或偏淡	0~3

1.3.4 出品率测定

使用电子天平分别称量鱼肉糜熟制前和熟制后的质量^[13]。每个浓度的鱼肉糜做 3 个平行样, 取其平均值。出品率的计算见式 (1)。

$$\text{出品率} = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为熟制前质量, g; m_2 为熟制后的质量, g。

1.3.5 色差测定

使用分光测色计测定鱼肉糜表面的亮度值 (L^*)、红度值 (a^*)、黄度值 (b^*), 测定前对色差仪进行校准^[14], 在样品表面随机取 3 个点, 取其平均值。

1.3.6 过氧化值的测定

称取 2 g 样品, 加入 15 mL 氯仿-甲醇溶液, 在 11 000 r/min 下高速匀质 30 s。然后加入 3 mL 质量分数为 0.5% 的氯化钠溶液, 在 4 °C、4 000g 的条件下离心 5 min, 离心后样品分为两相, 取下层清液 5 mL。再加入 5 mL 氯仿-甲醇溶液, 混合后剧烈摇晃 30 s, 再加入 25 μ L Fe^{2+} 溶液和 25 μ L 硫氰酸铵溶液, 混合后剧烈摇晃 30 s, 静置 5 min 后取清液, 在 500 nm 处测其吸光值。用等量蒸馏水代替样品进行标准样比对, 分别测其贮藏 0、1、3、5、7 d 时的吸光值^[15]。使用还原铁粉制作标准曲线, 将测得的吸光值代入标准曲线, 得到吸光值对应铁的质量, 根据式 (2) 计算其过氧化值, 每个样品测 3 次, 取其平均值。

$$X = \frac{m_1 - m_0}{m \times 55.84 \times 4 \times \frac{V_2}{V_1}} \quad (2)$$

式中: X 为过氧化值含量, mmol/kg; m_1 为标准曲线查得的铁质量; m_0 为标准曲线查得零管中铁的质量; V_1 为样品稀释总体积, mL; V_2 为取样体积, mL; m 为样品的质量, g; 55.84 为 Fe 的相对原子质量; 4 为换算因子。

1.3.7 硫代巴比妥酸值的测定

称取 0.5 g 样品, 加入 3 mL 硫代巴比妥酸溶液和 17 mL 三氯乙酸-盐酸溶液, 混合后于恒温混合水浴锅中沸水浴 30 min, 取出冷却后取 5 mL 样品, 再加入等体积的氯仿, 混匀后在 4 °C、3 000 r/min 的条件下离心 10 min。离心后取其上层清液, 测其在 532 nm 处的吸光值, 在测定每组的吸光值前用等量蒸馏水代替样品进行标准样比对, 分别测其贮藏 0、1、3、5、7 d 时的吸光值^[16], 根据式 (3) 计算其硫代巴比妥酸值 (TBARS, mg/kg), 每个样品测 3 次, 取其平均值。

$$\text{TBARS值} = \frac{A_{532}}{m \times 9.48} \quad (3)$$

式中: A_{532} 为溶液的吸光值; m 为样品的质量, g; 9.48 为常数。

1.3.8 数据处理

使用 Statistix 8.0 软件分析数据的显著性, 使用 Excel 和 Sigmaplot 11.0 软件进行图表绘制, 数据用平均数 $\pm$ 标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 儿茶素添加量对不同加热方式的鱼肉糜质构的影响

儿茶素的添加量对不同加热方式的鱼肉糜质构的影响见表 2。

表 2 儿茶素添加量对不同加热方式的大马哈鱼鱼肉糜质构的影响
Tab.2 Effect of catechin on texture of salmon surimi under different cooking methods

加热方式	儿茶素的质量分数/%	硬度/N	内聚性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
炉烤	0	20.40±0.33 ^e	1.87±0.04 ^a	0.28±0.02 ^a	38.32±0.09 ^b	4.54±0.47 ^{cd}
	0.1	21.53±0.15 ^d	1.75±0.05 ^a	0.11±0.01 ^b	38.41±0.03 ^b	4.07±0.02 ^e
	0.2	25.29±0.71 ^c	1.76±0.02 ^a	0.13±0.03 ^b	39.14±0.16 ^a	4.80±0.47 ^{cd}
	0.3	29.52±0.35 ^a	1.85±0.02 ^a	0.28±0.06 ^a	39.61±0.39 ^a	7.98±0.47 ^a
	0.4	29.94±0.76 ^a	1.75±0.08 ^a	0.14±0.01 ^b	39.62±0.22 ^a	5.65±0.22 ^b
	0.5	27.78±0.60 ^b	1.74±0.05 ^a	0.11±0.01 ^b	35.76±0.07 ^c	5.27±0.21 ^{bc}
煎烤	0	54.40±0.27 ^d	0.61±0.03 ^b	0.32±0.03 ^c	42.10±0.53 ^d	12.70±0.50 ^c
	0.1	39.95±0.80 ^e	0.51±0.06 ^c	0.30±0.07 ^c	37.24±0.60 ^e	8.96±0.56 ^d
	0.2	56.45±0.58 ^c	0.70±0.03 ^a	0.45±0.05 ^b	43.41±0.15 ^{cd}	11.51±0.53 ^c
	0.3	58.35±1.10 ^b	0.79±0.17 ^a	0.45±0.04 ^b	46.15±0.80 ^b	20.16±0.84 ^b
	0.4	63.45±0.24 ^a	0.74±0.05 ^a	0.56±0.02 ^a	49.25±0.33 ^a	26.99±0.46 ^a
	0.5	54.52±0.48 ^d	0.79±0.01 ^a	0.57±0.11 ^a	44.33±0.62 ^c	20.04±0.39 ^b
油炸	0	36.65±0.64 ^d	0.86±0.02 ^a	0.19±0.02 ^c	31.92±0.50 ^d	6.00±0.88 ^d
	0.1	46.49±0.38 ^c	0.83±0.02 ^a	0.46±0.04 ^b	38.81±0.67 ^c	17.05±0.70 ^c
	0.2	62.19±0.63 ^{ab}	0.80±0.03 ^a	0.58±0.01 ^a	48.43±0.19 ^a	28.30±0.16 ^a
	0.3	63.26±0.33 ^a	0.75±0.05 ^a	0.57±0.02 ^{ab}	48.34±0.14 ^a	28.75±0.26 ^a
	0.4	63.14±0.60 ^a	0.87±0.01 ^a	0.50±0.05 ^{ab}	46.94±0.23 ^b	27.31±0.50 ^b
	0.5	61.34±0.28 ^b	0.76±0.04 ^a	0.58±0.03 ^a	47.04±0.40 ^b	28.80±0.85 ^a

注: 表中数据的形式为平均值 ± 标准差; 字母不同表示不同处理组间差异显著 ($P < 0.05$)。

质构特性会受到很多因素的影响,如食品本身的结构、化学组成、生产加工条件和蛋白质氧化程度等。由表 2 可知,添加儿茶素的样品硬度高于空白对照组,鱼肉的硬度变大可能是由于儿茶素与蛋白质发生了交联作用,促使蛋白质进一步聚集^[17]。其中,空白组硬度最大的是煎烤鱼肉糜样品,可能是由于煎烤导致鱼肉糜的水分快速流失。添加儿茶素后,样品的弹性得到提高,原因可能是儿茶素的存在减少了水分损失,减少了样品的损失,因此导致样品的弹性上升。儿茶素添加量对 3 种加热方式的大马哈鱼鱼肉糜内聚性无显著性差异 ($P \geq 0.05$)。由表 3 可知,在 3 种不同的加热方法中,质量分数为 0.3% 的儿茶素对大马哈鱼鱼肉糜咀嚼性有显著影响 ($P < 0.05$),咀嚼性的增加可能是由于儿茶素与鱼肉中肌原纤维蛋白相互作用,生成了复合物,促进了蛋白质网络结构的形成^[18]。已有学者研究的结果与文中的结果相似,向荣^[19]研究发现桑葚多酚的活性成分导致腊肠质地变硬; Choi 等^[20]发现海带中的多酚可有效抑制肌肉中蛋白质和脂肪的氧化,从而改善肉制品的质构。

2.2 儿茶素添加量对不同加热方式的鱼肉糜感官评价的影响

儿茶素添加量对不同加热方式的鱼肉糜感官评价的影响见表 3。感官评分是评定人员通过对鱼肉糜的色泽、气味、口感等打分,经计算得到的综合得分。由表 3 可知,儿茶素添加量对 3 种不同加热方式的鱼肉糜形状无显著性差异 ($P \geq 0.05$),随着儿茶素浓度的增加,不同加热方式鱼肉糜的色泽、气味、口感均呈先上升后下降的趋势。当儿茶素添加量(质量分数)为 0.3% 时,油炸、煎烤鱼肉糜的气味分值显著高于炉烤加热方式鱼肉糜 ($P < 0.05$),可能是由于鱼肉糜在油炸、煎烤过程中发生了美拉德反应,从而产生了油炸食品诱人的风味,而炉烤鱼肉糜略有鱼腥味,因此与炉烤鱼肉糜相比,油炸、煎烤鱼肉糜更受大多数人的欢迎。

2.3 儿茶素添加量对不同加热方式的鱼肉糜出品率的影响

儿茶素添加量对不同加热方式大马哈鱼出品率的影响见图 1。

表3 儿茶素添加量对不同加热方式大马哈鱼鱼肉糜感官评价的影响
Tab.3 Effect of catechin on the sensory evaluation of salmon surimi under different cooking methods

加热方式	儿茶素的质量分数/%	色泽	形状	结构	气味	口感
炉烤	0	4.6±0.3 ^b	6.3±0.2 ^a	5.4±0.4 ^a	4.6±0.4 ^d	4.8±0.1 ^b
	0.1	5.5±0.3 ^b	6.5±0.3 ^a	5.5±0.4 ^a	5.9±0.3 ^{bc}	5.3±0.2 ^b
	0.2	7.4±0.5 ^a	6.7±0.2 ^a	5.0±0.5 ^a	7.0±0.3 ^{ab}	7.0±0.5 ^a
	0.3	7.5±0.2 ^a	6.4±0.5 ^a	5.7±0.3 ^a	7.3±0.3 ^a	7.2±0.2 ^a
	0.4	6.7±0.3 ^a	6.0±0.3 ^a	5.9±0.3 ^a	5.9±0.7 ^{bc}	5.7±0.5 ^b
	0.5	5.1±0.6 ^b	6.7±0.6 ^a	5.1±0.2 ^a	5.2±0.3 ^{cd}	5.4±0.4 ^b
煎烤	0	5.6±0.2 ^b	5.8±0.1 ^d	5.8±0.6 ^d	5.8±0.6 ^d	5.9±0.3 ^c
	0.1	6.2±0.9 ^b	6.5±0.3 ^c	6.1±0.3 ^{cd}	6.2±0.2 ^{cd}	5.6±0.3 ^c
	0.2	7.6±0.4 ^{ab}	7.4±0.4 ^b	7.6±0.3 ^{ab}	7.4±0.1 ^{ab}	7.4±0.2 ^b
	0.3	8.5±0.1 ^a	8.4±0.2 ^a	8.4±0.3 ^a	8.4±0.3 ^a	8.6±0.3 ^a
	0.4	7.1±0.7 ^b	7.5±0.1 ^b	6.9±0.4 ^{bc}	7.0±0.7 ^{bc}	7.4±0.3 ^b
	0.5	6.5±0.5 ^b	6.5±0.2 ^c	6.4±0.4 ^{cd}	5.9±0.3 ^{cd}	6.4±0.5 ^c
油炸	0	5.6±0.2 ^c	5.6±0.5 ^c	5.8±0.6 ^c	5.8±0.4 ^c	5.7±0.4 ^c
	0.1	6.1±0.3 ^c	6.1±0.4 ^c	5.9±0.3 ^c	6.1±0.5 ^c	6.3±0.5 ^{bc}
	0.2	7.6±0.4 ^a	7.3±0.1 ^b	7.5±0.3 ^{ab}	7.4±0.2 ^b	7.5±0.3 ^{ab}
	0.3	8.4±0.4 ^a	8.6±0.1 ^a	8.2±0.3 ^a	8.5±0.3 ^a	8.7±0.2 ^a
	0.4	7.4±0.5 ^{ab}	7.1±0.4 ^b	6.6±0.8 ^{bc}	7.3±0.3 ^b	6.7±1.2 ^{bc}
	0.5	6.5±0.4 ^{bc}	6.5±0.4 ^{bc}	7.0±0.6 ^{abc}	7.1±0.2 ^b	6.7±0.4 ^{bc}

注：表中数据形式为平均值±标准差；字母不同表示不同处理组间差异显著（ $P < 0.05$ ）。

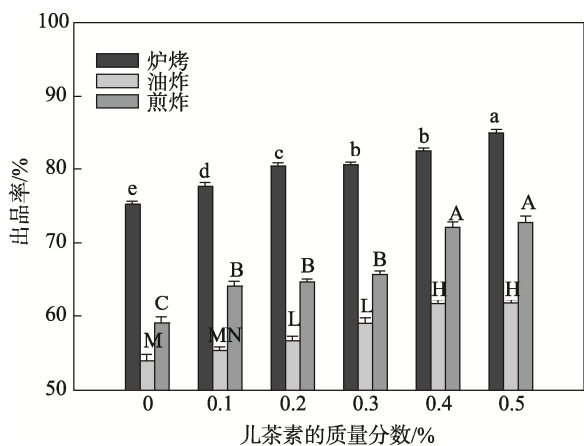


图1 儿茶素添加量对不同加热方式大马哈鱼鱼肉糜出品率的影响

Fig.1 Effect of catechin on the yield of salmon surimi under different cooking methods

注：字母不同表示不同处理组间差异显著（ $P < 0.05$ ）。

出品率是决定大马哈鱼调理食品利润和价格的关键因素。由图1可知，随着儿茶素浓度的增加，3种加热方式鱼肉糜的出品率显著增加（ $P < 0.05$ ）。首先，不同烹饪方式对鱼肉糜出品率有显著影响（ $P < 0.05$ ），炉烤鱼肉糜的出品率显著高于煎烤鱼肉糜（ $P < 0.05$ ）。这可能是由于炉烤热传递的方式是空气

对流与辐射，烹调温度为140℃且加热时间长，无法迅速将热能传递到鱼肉糜，鱼肉糜组织结构致密，较好地保留了鱼肉糜的水分，而煎烤热传递的方式是传导，在180℃加热过程中均匀地接受到热源，水分流失得较多，组织结构较松散。另外，煎烤鱼肉糜的出品率显著高于油炸鱼肉糜（ $P < 0.05$ ），其原因可能是油炸热传递的方式是传导，油炸鱼肉糜在190℃加热过程中全方位地接受到热源，水分流失比煎烤鱼肉糜多，导致鱼肉损失也较大。这可能是由于在鱼肉糜热加工过程中，高温导致蛋白质发生变性，加速了肌球蛋白与肌动蛋白的结合，从而导致肌原纤维收缩，使可存储水分的网格空间结构变狭窄^[21]。其次，添加不同量的儿茶素对鱼肉糜的出品率有显著影响（ $P < 0.05$ ）。随着儿茶素添加量的增加，出品率呈现先上升后趋于平缓的趋势。儿茶素的添加减少了鱼肉糜的加热损失，这是因为儿茶素作为抗氧化剂，延缓了鱼肉中蛋白质变性进程，增强了蛋白质的持水性，因此减少了鱼肉糜的水分损失。

2.4 儿茶素添加量对不同加热方式的鱼肉糜颜色的影响

儿茶素添加量对不同加热方式鱼肉糜颜色的影响见表4。

表 4 儿茶素添加量对不同加热方式大马哈鱼鱼肉糜颜色的影响

Tab.4 Effect of catechin on color of salmon surimi under different cooking methods

加热方式	儿茶素的质量分数/%	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]
炉烤	0	58.13±1.42 ^d	23.85±0.43 ^a	23.74±0.64 ^a
	0.1	72.84±0.48 ^{bc}	10.15±0.60 ^d	9.58±0.51 ^{cd}
	0.2	73.56±0.26 ^{bc}	13.92±0.14 ^c	10.31±0.24 ^c
	0.3	76.60±0.53 ^a	16.41±0.38 ^b	12.06±0.30 ^b
	0.4	73.84±0.88 ^b	9.76±0.46 ^d	7.65±0.72 ^e
	0.5	71.30±0.29 ^c	10.07±0.31 ^d	8.22±0.82 ^{de}
煎烤	0	42.68±0.44 ^c	21.13±0.61 ^{bc}	26.67±0.32 ^a
	0.1	37.64±0.43 ^d	20.27±0.52 ^c	25.94±0.61 ^a
	0.2	38.43±0.63 ^d	21.83±0.05 ^b	26.04±0.53 ^a
	0.3	55.80±0.52 ^a	23.90±0.54 ^a	26.63±0.23 ^a
	0.4	49.04±1.61 ^b	20.60±0.44 ^{bc}	26.26±0.43 ^a
	0.5	51.26±0.46 ^b	20.97±0.31 ^{bc}	25.82±0.50 ^a
油炸	0	48.57±0.51 ^a	24.37±0.52 ^a	36.05±0.62 ^a
	0.1	36.44±0.18 ^b	14.93±0.75 ^d	24.15±0.71 ^c
	0.2	37.43±0.20 ^b	21.23±0.70 ^b	27.63±0.07 ^d
	0.3	48.37±0.20 ^a	23.30±0.43 ^a	32.81±0.73 ^b
	0.4	47.25±0.75 ^a	20.59±0.67 ^b	29.47±0.97 ^c
	0.5	47.19±0.82 ^a	18.87±0.42 ^c	29.10±0.28 ^{cd}

注: 表中数据形式为平均值±标准差; 字母不同表示不同处理组间差异显著 ($P<0.05$)。

色泽会影响产品的感官质量, 进而影响产品的销售量。由表 4 可知, 随着儿茶素浓度的增大, 与空白对照组相比, 3 种加热方式的鱼肉糜的 a^* 有显著性差异 ($P<0.05$)。 a^* 值减小的原因可能是, 高铁肌红蛋白的氧化可减小加热过程中鱼肉糜肉的 a^* 值, 儿茶素作为抗氧化剂有效抑制了鱼肉糜中高铁肌红蛋白的生成, 从而起到护色的作用^[22]。随着儿茶素浓度的增加, 煎烤鱼肉糜的 b^* 值并无明显的上升下降趋势, 儿茶素对煎烤鱼肉糜的 b^* 值并无显著影响 ($P\geq 0.05$)。周亚君等^[23]研究了人参提取液对烧鸡品质的影响, 人参提取液中的多酚在一定程度上抑制了产品氧化褐变的发生, 影响了 a^* 值。曾亮等^[24]研究发现, 儿茶素作为抗氧化剂, 能减少不饱和脂肪酸脂质过氧化, 抑制高铁肌红蛋白的生成, 从而降低 a^* 值。石长波等^[25]研究发现, 儿茶素/大豆分离蛋白复合物和儿茶素均可起到保护肉肠色泽的作用。

2.5 儿茶素添加量对不同加热方式的鱼肉糜 POV 的影响

儿茶素添加量对不同加热方式鱼肉糜 POV 的影响见图 2。

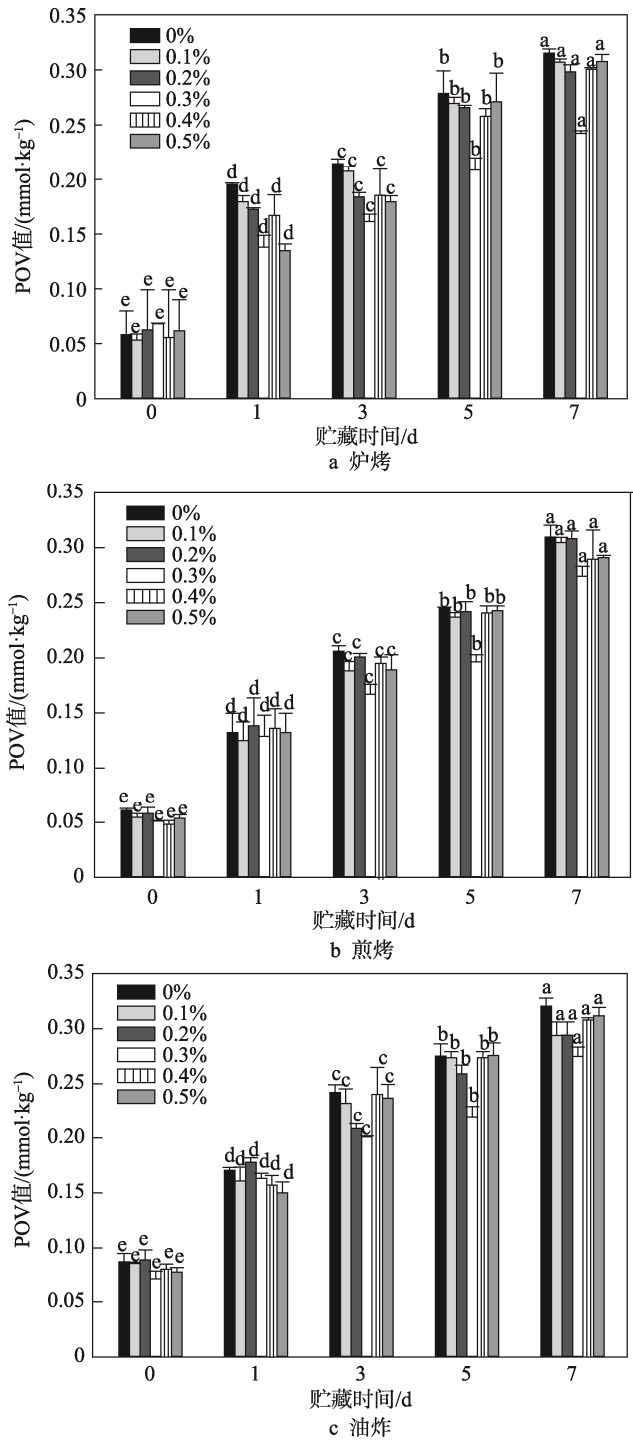


图 2 儿茶素添加量对不同加热方式大马哈鱼鱼肉糜 POV 值的影响

Fig.2 Effect of catechin on the POV of salmon surimi under different cooking methods

注: 字母不同表示不同处理组间差异显著 ($P<0.05$)。

由图2可知,随着贮藏时间的增加,鱼肉糜的POV值逐渐增加,脂肪氧化程度也加大。3种加热方式实验组的POV值显著低于对照组($P < 0.05$),且贮藏3~7 d添加0.3%儿茶素的鱼肉糜POV值显著小于其他各组鱼肉糜的POV值($P < 0.05$)。儿茶素可以取代自由基,与不饱和脂肪酸相互作用,从而抑制脂肪氧化。除此之外,与炉烤鱼肉糜相比,煎烤和油炸鱼肉糜的POV值更大,可能是由于煎烤和油炸时需用到油,煎烤和油炸鱼肉糜氧化程度更大。聂吉语等^[26]研究发现,迷迭香提取物及其包结物可显著降低培根的脂质氧化程度,其POV值随着添加量的增加而降低。李亚茹等^[27]研究发现,添加外源多酚在加热过程中能抑制油茶籽油初级氧化产物的生成。

2.6 儿茶素添加量对不同加热方式的鱼肉糜TBARS的影响

儿茶素添加量对不同加热方式鱼肉糜TBARS值的影响见图3。

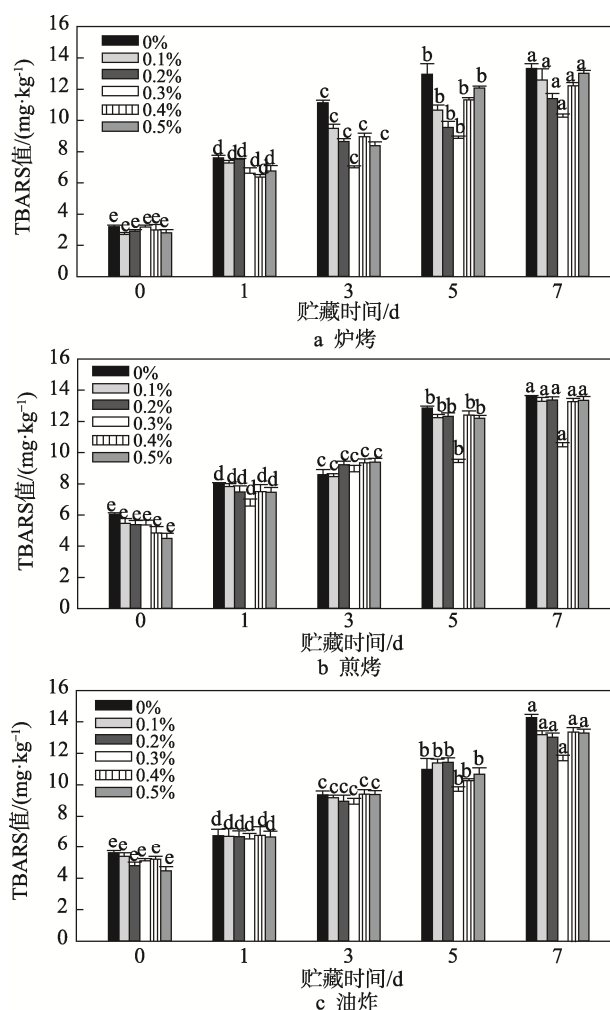


图3 儿茶素添加量对不同加热方式大马哈鱼鱼肉糜TBARS的影响

Fig.3 Effect of catechin on the TBARS of salmon surimi under different cooking methods

注: 字母不同表示不同处理组间差异显著 ($P < 0.05$)。

TBARS值已被用于表示脂质氧化的程度,这是由于其在第2阶段自动氧化产生,在此阶段过氧化物被氧化为醛和酮^[28]。由图3可知,随着贮藏时间的增加,鱼肉糜的TBARS值逐渐升高。3种加热方式实验组的TBARS值显著低于对照组($P < 0.05$),且贮藏3~7 d时添加0.3%儿茶素的鱼肉糜TBARS值显著小于其他各组鱼肉糜的TBARS值($P < 0.05$),可能是由于儿茶素清除了大量超氧自由基,进一步阻止了脂肪酸烷基自由基与氧发生链式反应,降低了脂质氧化反应速率。另外,与炉烤鱼肉糜相比,煎烤和油炸鱼肉糜的TBARS值更大,可能是由于煎烤和油炸时需用到油,煎烤和油炸鱼肉糜氧化程度更大。温度是影响儿茶素稳定的重要因素,高温并未使儿茶素抗氧化能力丧失。张丹等^[29]研究发现,儿茶素在120℃、加热20 min内保持稳定。李亚茹等^[27]研究发现,儿茶素在180℃加热过程中并未丧失抗氧化能力,能抑制油茶籽油初级氧化产物的生成。由此可见,儿茶素并未因为高温丧失抗氧化能力。Fan等^[30]研究发现,所有香肠的TBARS值在整个贮藏期间都有所增加,TBARS的增加可能归因于香肠的部分脱水和饱和脂肪酸的氧化增加。Fan等^[31]研究了马齿苋提取物在冷藏条件下对猪肉的保鲜效果,结果表明其延缓了脂质氧化,降低了TBARS值。

3 结语

儿茶素对大马哈鱼的品质有明显提高。通过对儿茶素在大马哈鱼鱼肉糜炉烤、煎烤、油炸等3种加热过程中各项指标进行测定,结果表明儿茶素在一定程度上可有效地改善鱼肉糜的质构特性、色差、出品率,降低过氧化值和硫代巴比妥酸值,抑制鱼肉糜脂肪和蛋白质氧化;与对照组相比,儿茶素的添加可以有效抑制鱼肉糜的脂肪氧化程度,儿茶素添加量为0.3%时表现出更稳定的抗氧化效果。该实验不仅能满足消费者对大马哈鱼产品日益增长的需求,还可拓宽未来调理制品中的开发应用。

参考文献:

- [1] 薛倩倩,姜晓明,温运启,等.微波巴氏杀菌对软包装大马哈鱼鱼片的品质影响[J].食品科学,2020,41(21): 52-57.
XUE Qian-qian, JIANG Xiao-ming, WEN Yun-qi, et al. Effect of Microwave Pasteurization on Quality of Soft-Packed Oncorhynchus Keta Walbaum Fillets[J]. Food Science, 2020, 41(21): 52-57.
- [2] HONDA K, SHIRAI K, KOMATSU S, et al. Sea-Entry Conditions of Juvenile Chum Salmon *Oncorhynchus Keta* that Improve Post-Sea-Entry Survival: A Case Study of the 2012 Brood-Year Stock Released from the

- Kushiro River, Eastern Hokkaido, Japan[J]. Fisheries Science, 2020, 86(5): 783-792.
- [3] PATEIRO M, LORENZO J M, VÁZQUEZ J A, et al. Oxidation Stability of Pig Liver PÂTÉ with Increasing Levels of Natural Antioxidants (Grape and Tea)[J]. Antioxidants, 2015, 4(1): 102-123.
- [4] WANG Ze-fu, HE Zhi-fei, ZHANG Dong, et al. Antioxidant Activity of Purslane Extract and Its Inhibitory Effect on the Lipid and Protein Oxidation of Rabbit Meat Patties during Chilled Storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(5): 1953-1962.
- [5] SCHILLING M W, PHAM A J, DHOWLAGHAR N, et al. Effects of Rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L) and Green Tea (*Camellia Sinensis* L) Extracts on Sensory Properties and Shelf-Life of Fresh Pork Sausage during Long-Term Frozen Storage and Subsequent Retail Display[J]. Meat and Muscle Biology, 2018, 2(1): 375-390.
- [6] ZHOU Ya-jun, WANG Qiu-ying, WANG Shu-jie. Effects of Rosemary Extract, Grape Seed Extract and Green Tea Polyphenol on the Formation of N-Nitrosamines and Quality of Western-Style Smoked Sausage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(6): e14459.
- [7] NAMAL SENANAYAKE S P J. Green Tea Extract: Chemistry, Antioxidant Properties and Food Applications - a Review[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1529-1541.
- [8] PATURI G, BUTTS C A, JOYCE N I, et al. Pectin Influences the Absorption and Metabolism of Polyphenols from Blackcurrant and Green Tea in Rats[J]. Foods, 2021, 10(4): 813.
- [9] 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.
- LIU Guang-xian, WANG Li, LI Xue, et al. Effects of 3 Kinds of Natural Antioxidants on Physicochemical Properties of Chinese Cured Meat[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(15): 6177-6184.
- [10] KHAN I A, LIU Dong-mei, YAO Ming-jun, et al. Inhibitory Effect of Chrysanthemum Morifolium Flower Extract on the Formation of Heterocyclic Amines in Goat Meat Patties Cooked by Various Cooking Methods and Temperatures[J]. Meat Science, 2019, 147: 70-81.
- [11] 马菲, 郇延军, 刁欣悦. 酱制时间对传统酱卤猪肉制品风味及质构变化规律的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 55-63.
- MA Fei, XUN Yan-jun, DIAO Xin-yue. Effect of Sauce Time on the Flavor and Texture Change of Traditional Sauce and Braised Pork Products[J]. Food & Machinery, 2019, 35(9): 55-63.
- [12] 张诗雯, 仪淑敏, 吕柯明, 等. 水分含量对冻结金线鱼肉香肠品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 21-26.
- ZHANG Shi-wen, YI Shu-min, LYU Ke-ming, et al. Effect of Moisture Content on Quality of Frozen Nemipterus Virgatus Sausages[J]. Food Science, 2019, 40(24): 21-26.
- [13] 陈康明. 油炸公干鱼品质变化规律及其煎炸油的复配研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 14.
- CHEN Kang-ming. Research on Quality Variation of Fried Stolephorus Commersonii and Its Mixture of Frying Oil[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 14.
- [14] 彭家宜. 红辣椒复配槐米替代硝盐对风干肠发酵和品质特性的影响研究[D]. 成都: 成都大学, 2021: 11.
- PENG Jia-xuan. Combination of Red Chili Pepper and Flos Sophorae as a Nitrite Alternative Affects on Fermentation and Quality Characteristics of Dry-Fermented Sausage[D]. Chengdu: Chengdu University, 2021: 11.
- [15] VARELTZIS P, HULTIN H O, AUTIO W R. Hemoglobin-mediated Lipid Oxidation of protein Isolates Obtained from Cod and Haddock White Muscle as Affected by Citric Acid, Calcium Chloride and pH[J]. Food Chemistry, 2008, 108(1): 64-74.
- [16] 彭晶. 菜籽蛋白的制备及其对白鲢鱼糜凝胶特性的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017: 48.
- PENG Jing. Study on the Preparation of Rapeseed Protein and Its Effect on the Gelation of Silver Carp Surimi[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017: 48.
- [17] 倪伟, 米杰, 孙仲麒, 等. 羟丙基二淀粉磷酸酯对虾糜凝胶特性及其蛋白结构的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(7): 1181-1190.
- NI Wei, MI Jie, SUN Zhong-qi, et al. Effects of Hydroxypropyl Distarch Phosphate on the Gel Properties and Protein Structure of Shrimp Surimi[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(7): 1181-1190.
- [18] 李立敏, 杨豫崧, 成立新, 等. 茶多酚对羊肉肌原纤维蛋白-多糖复合体系乳化及质构特性的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(8): 67-77.
- LI Li-min, YANG Yu-song, CHENG Li-xin, et al. Effect of Tea Polyphenols on Emulsifying and Textural Properties of Mutton Myofibrillar Protein-Polysaccharide Composite[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(8): 67-77.
- [19] 向荣. 桑椹多酚对广式腊肠品质及其蛋白质氧化调控机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020: 12.
- XIANG Rong. Studies on the Mechanism of Mulberry Polyphenols on the Quality and Protein Oxidation of Cantonese Sausage[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020: 12.
- [20] CHOI Y S, CHOI J H, HAN D J, et al. Effects of Laminaria Japonica on the Physico-Chemical and Sensory Characteristics of Reduced-Fat Pork Patties[J]. Meat Science, 2012, 91(1): 1-7.
- [21] 李锐. 不同热加工方式对罗非鱼片品质变化影响作用研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2021: 34.
- LI Rui. Study on the Effects of Different Thermal Processing Methods Influence on the Quality Changes

- of Tilapia Fillets[D]. Yantai: Yantai University, 2021: 34.
- [22] 李君珂, 孙雪梅, 柳全文, 等. 绿原酸对不同加热方式的草鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(4): 80-85.
LI Jun-ke, SUN Xue-mei, LIU Quan-wen, et al. Effect of Chlorogenic Acid on Qualities of Grass Carp Processed by Different Cooking Methods[J]. Food Science, 2020, 41(4): 80-85.
- [23] 周亚军, 王雪松, 陈艳, 等. 人参浸提液处理对烧鸡食用品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(15): 66-73.
ZHOU Ya-jun, WANG Xue-song, CHEN Yan, et al. Effects of Ginseng Extracts on Eating Quality of Roast Chicken[J]. Food Science, 2021, 42(15): 66-73.
- [24] 曾亮, 黄建安, 唐书泽, 等. 儿茶素对鸭肉色泽和鲜度的影响[J]. 食品与机械, 2008, 24(1): 55-59.
ZENG Liang, HUANG Jian-an, TANG Shu-ze, et al. Study on Color and Shelf-Life of Duck Meat by Adding Catechins[J]. Food & Machinery, 2008, 24(1): 55-59.
- [25] 石长波, 姚恒喆, 袁惠萍, 等. 儿茶素/大豆分离蛋白复合物对猪肉肠品质的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(5): 60-65.
SHI Chang-bo, YAO Heng-zhe, YUAN Hui-ping, et al. Effect of Catechin and Soybean Protein Isolate Compound on the Quality of Pork Sausage[J]. China Condiment, 2021, 46(5): 60-65.
- [26] 聂吉语, 李荣, 王颖, 等. 迷迭香提取物及其包结物在中式培根中的应用[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 12-16.
NIE Ji-yu, LI Rong, WANG Ying, et al. Application of Rosemary Extract and Its Inclusion Complex in Chinese Bacon[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(1): 12-16.
- [27] 李亚茹, 钟海雁, 龙奇志. 高温条件下外源多酚对油茶籽油氧化稳定性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 61-64.
LI Ya-ru, ZHONG Hai-yan, LONG Qi-zhi. Effect of Exogenous Polyphenols on the Oxidant Stability of Oil-Tea Camellia Oil during Heating[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 61-64.
- [28] LI Ting-ting, LI Jian-rong, HU Wen-zhong, et al. Shelf-Life Extension of Crucian Carp (*Carassius Auratus*) Using Natural Preservatives during Chilled Storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 140-145.
- [29] 张丹, 许兰, 唐李俊, 等. 儿茶素异构化的促进和抑制因素研究[J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(12): 1952-1958.
ZHANG Dan, XU Lan, TANG Li-jun, et al. Promotion and Inhibitory Factors on Isomerization of Tea Catechins[J]. Natural Product Research and Development, 2016, 28(12): 1952-1958.
- [30] FAN Wen-jiao, ZHANG Yong-kui, CHEN Yun-chuan, et al. TBARS Predictive Models of Pork Sausages Stored at Different Temperatures[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 1-4.
- [31] FAN Xiao-jing, LIU Shan-zhi, LI Huan-huan, et al. Effects of Portulaca Oleracea L. Extract on Lipid Oxidation and Color of Pork Meat during Refrigerated Storage[J]. Meat Science, 2019, 147: 82-90.

责任编辑: 彭颀