

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023824

引用格式:熊添,吴燕燕,陈胜军,等.不同热加工方式对卵形鲳鲹肌肉蛋白及品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(12):179-185. XIONG Tian, WU Yanyan, CHEN Shengjun, et al. Effects of different thermal processing methods on muscle protein and quality of *Trachinotus ovatus*[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(12):179-185.

不同热加工方式对卵形鲳鲹肌肉蛋白及品质的影响

熊添^{1,2,3}, 吴燕燕^{1*}, 陈胜军¹, 胡晓¹, 杨贤庆¹, 王悦齐¹, 杨少玲¹

1(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东 广州, 510300)

2(中国海洋大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛, 266000)

3(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北省农业科技创新中心农产品加工分中心, 湖北 武汉, 430064)

摘要 为研究热加工方式对鱼肉蛋白的影响, 对新鲜、蒸制、油炸、微波、烤制下卵形鲳鲹肌肉的水分含量、失重率、蛋白质组成、肌原纤维蛋白的总巯基含量、SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳、氨基酸组成等多方面的指标进行测试和分析。结果表明, 4种热加工方式对卵形鲳鲹的肌肉蛋白和品质的影响存在显著差异性, 单位质量样品中总蛋白含量为烤制>油炸>微波>蒸制, 与肌肉中水分的含量呈负相关。蒸制鱼肉盐溶性蛋白和水溶性蛋白在蛋白质组分中所占的比例更高, 鱼肉外观和结构保存最完整。微波处理组对肌原纤维蛋白质的破坏作用最强, 经微波处理的鱼肉更利于人体消化吸收。经烤制和油炸后, 卵形鲳鲹肌肉的非蛋白氮含量和呈味氨基酸含量均是最高, 风味要优于另外2组。

关键词 卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*); 热加工方式; 蛋白质变性; 肌原纤维蛋白

Effects of different thermal processing methods on muscle protein and quality of *Trachinotus ovatus*

XIONG Tian^{1,2,3}, WU Yanyan^{1*}, CHEN Shengjun¹, HU Xiao¹,
YANG Xianqing¹, WANG Yueqi¹, YANG Shaoling¹

1(Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China) 2(College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266000, China) 3(Institute of Agricultural Product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Sub-Center of Agricultural Product Processing Research, Hubei Innovation Center of Agriculture Science and Technology, Wuhan 430064, China)

ABSTRACT To study the effect of thermal processing methods on fish muscle protein and quality, various indicators, such as moisture content, weight loss rate, the protein composition, total sulfhydryl content of myofibrillar proteins, SDS-PAGE and amino acid composition in fresh, steamed, fried, microwaved and baked *Trachinotus ovatus* were measured and analyzed. The results showed that the four thermal processing methods had great destructive effects on muscle protein and the quality of *Trachinotus ovatus*. The total protein content in the unit weight sample was baked group > fried group > microwaved group > steamed group, which was negatively correlated with the moisture content in the muscle. The proportion of salt-soluble protein and water-soluble protein in the protein components of steamed fish meat was higher, and the appearance and structure of the fish meat were the most intact. The microwaved group had the strongest destruction effect on myofibrillar proteins, and the microwaved fish meat was more conducive to human digestion and absorption. After baking and frying, the non-

第一作者: 硕士研究生(吴燕燕研究员为通讯作者, E-mail: wuyygd@163.com)

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-47); 国家重点研发计划(2019YFD0901903; 2018YFD0901006)

收稿日期: 2020-03-02, 改回日期: 2020-03-10

protein nitrogen content and taste amino acid content of *Trachinotus ovatus* muscle were the highest, and the flavor was better than the other two groups.

Key words *Trachinotus ovatus*; thermal processing methods; protein denaturation; myofibrillar protein

卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 又名金鲳鱼, 广泛分布于我国四大海域, 是我国近年来新增的养殖海洋经济鱼种, 在华南沿海地区被大量养殖。因肉质细嫩、味道鲜美, 且兼具极佳的保健及综合利用开发的价值, 卵形鲳鲹备受消费者青睐, 其在中国内陆、甚至日本、韩国、欧盟等地区的销量逐年递增^[1], 具有很强的发展潜力。随着卵形鲳鲹育种和养殖技术的不断突破^[2-4], 国内养殖产量现已突破 10 万 t 大关, 产业结构开始升级转型, 有关卵形鲳鲹的加工方向的研究也在逐步充实和发展。王娜^[5]探究了加工工艺及对卵形鲳鲹鱼糜凝胶的影响并对现有的工艺进行优化。刘洪霞等^[6]、曹璇等^[7]学者则专注于卵形鲳鲹内脏、鱼皮、鱼骨等副产物的加工综合利用。FENG 等^[8]、QIU 等^[9]、巩涛硕等^[10]等研究人员做了大量卵形鲳鲹保鲜、冻结加工等方面的工作, 而有关卵形鲳鲹热加工的研究报导相对较少。

热加工是水产品加工过程中非常重要的一环, 热加工不仅赋予水产品特殊的色泽、风味和质地, 还可以起到杀菌作用, 增强食品安全性, 使蛋白质变性, 提高蛋白质的消化吸收率。目前关于热加工对水产品品质影响的研究多集中在脂质、挥发性成分、食用安全性等方面^[11-14], 而热加工方式对水产品蛋白质的影响及其品质变化的关联性分析研究鲜有报道。

本文拟将卵形鲳鲹背部肌肉用蒸制、微波、油炸和烤制这 4 种常用中式热加工方式加工, 以期探究热加工方式对卵形鲳鲹鱼肉蛋白及品质变化的影响, 分析其间的相互关联, 为卵形鲳鲹即食小块鱼的合理加工提供理论依据, 也为其他海水鱼的热加工工艺参数选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

卵形鲳鲹: 鲜活, 质量为 (455.38 ± 44.21) g, 全长 (28.58 ± 2.03) cm, 雄性, 20 条; 于 2018 年 3 月至 12 月购于广州市下渡大街农贸市场。将卵形鲳鲹活鱼放在装有海水的塑料容器保存, 30 min 内运回实验室。

Na_2HPO_4 、 KH_2PO_4 、石油醚、 H_2SO_4 、 K_2SO_4 、 CuSO_4 、 H_3BO_3 、 HCl 、 HNO_3 、 NaCl 、 MgCl_2 、氯仿、无水乙醇、甲醇、三氯乙酸、正己烷等试剂全部为国产分析

纯, 广州化学试剂公司; 总巯基测定试剂盒, 南京建成生物工程研究所; SDS-PAGE 试剂盒、SDS-PAGE 蛋白上样缓冲液 (2X) 及 BeyoColor™ 彩色预染蛋白, 上海碧云天生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

DZ-400/2L 多功能真空包装机, 江苏南通彩星工贸有限公司; MILLI-Q 超纯水机, 美国 Millipore 公司; 3K30 型台式冷冻离心机, 德国 Sigma 公司; T50 型均质机, 德国 IKA 公司; Sunrise-basic 吸光酶标仪, 瑞士 TECAN 公司; Titrand 809 型自动电位滴定仪, 瑞士万通公司; TDZ5-WS 台式低速离心机, 湖南长沙湘仪离心机仪器有限公司; BS124S 型电子天平, 德国 Sartorius 公司; Powerpac@ Basic 基础电泳仪, 美国 Bio-rad 公司; Tanon 1600 凝胶成像系统, 上海天能科技有限公司; G80F23 型微波炉, 广东格兰仕公司; C21-WK2102 型电磁炉, 广东美的公司; 835-50 型高速氨基酸自动分析仪, 日本日立公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

对鲜活卵形鲳鲹进行去头、去骨、去皮、去鱼鳍和去内脏处理后清洗数次。取背部肌肉切成 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 的鱼片样品备用。样品被随机分成 5 组, 每组 20 个鱼片, 对应被分配到不同的烹饪方法和作为参考的新鲜原料组。

用于分析蛋白质氨基酸组成的样品需进行手工去骨, 并在厨房搅拌机中研磨, 以确保用于分析的样品均匀且具有代表性。所有样品均用真空密封袋包装, 在超低温条件 ($-80\text{ }^\circ\text{C}$) 下保存至分析, 保存时间不超过 5 d。

1.3.2 热加工方式

本研究以蒸、炸、微波、烘烤 4 种国内常用烹调方法来处理鱼片, 在保证鱼块烹饪至可食用的前提下, 通过调整工艺参数来控制烹饪时间保持一致, 通过预实验获得以下 4 种烹饪条件。

蒸制: 出现水蒸汽后, 将鱼肉放入蒸笼在约 $100\text{ }^\circ\text{C}$ (蒸汽温度) 下进行 1.5 min;

油炸: 以葵花油为油炸介质, 采用家用 1.5 L 容量的油炸锅, 在 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 左右的温度下油炸 1.5 min;

微波: 在微波炉的微波模块中, 用 500 W 微波加热 1.5 min;

烤制:在微波炉的烧烤(光波)模块中烘烤1.5 min。

每种烹饪方式重复3次,每次烹饪一式3份。

1.3.3 水分含量的测定

按照 GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》(直接干燥法)测定水分含量。

1.3.4 加热失重率的测定

烹饪前,用滤纸擦拭鱼片表面并称重。烹饪后,冷却至室温,用滤纸吸干鱼片表面并再次称重。依据鱼片样品在烹饪前后的质量变化计算失重率^[15]。

1.3.5 粗蛋白及蛋白质各组分含量的测定

蛋白测定方法参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》(凯氏定氮法)。鱼肉蛋白分离参照 VISESSANGUAN 等^[16]的方法进行,所使用的碱溶液是 0.1 mol/L NaOH,溶解时间为 2 h。

1.3.6 肌原纤维蛋白的提取

参考 CHIN 等^[17]的方法并略作修改,提取肌原纤维蛋白。按照南京建成生物工程研究所总蛋白定量检测试剂盒所提供的方法(BCA法),配合使用酶标仪测定蛋白浓度。

1.3.7 总巯基含量的测定

参考 YONGSAWATDIGUL 等^[18]的方法,作适当修改,使用南京建成生物工程研究所总巯基测定试剂盒及酶标仪测量肌原纤维蛋白的总巯基含量。

1.3.8 肌原纤维蛋白的 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳

参照李娜等^[19]的方法,作适当修改进行测定。按照试剂盒配方配制浓度 12% 的分离胶,浓度 5% 的浓缩胶。

1.3.9 鱼肉的氨基酸组成测定及营养评价标准

参照 GUO 等^[20]的方法,稍作调整后进行样品前处理,采用全自动氨基酸分析仪测定。根据 FAO/WHO(1973)建议的每克氮氨基酸评分模式和鸡蛋蛋白氨基酸评分模式对比分析^[21]。

1.3.10 数据分析方法

所有实验至少进行 3 次重复,数据以平均值 \pm 标准差(mean \pm SD)表示。实验数据处理采用 Microsoft Excel 进行整理,SPSS 19.0 分析数据,Origin 作图,方差分析(ANOVA, $P < 0.05$)和 Duncan 的多重检验用于确定样本之间差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 热加工方式对卵形鲳鲹肌肉外观的影响

肌肉加热后的失重率和水分含量是指示肌肉持水

能力的重要指标。肌肉水分中的固定化水存在于肌原纤维和肌膜之间,依赖于肌原纤维蛋白的空间结构,是决定肌肉持水性的主要因素。当蛋白质处于紧密状态时,网络空间缩小,肌肉持水性较弱。当蛋白质处于扩张状态时,网络空间增大,肌肉持水性也变强^[22]。结合图 1 和图 2 结果来看,热加工后的卵形鲳鲹样品的外形发生不同程度收缩,失重率均增大。造成这种现象的主要原因是热处理过程中肌肉收缩,蛋白质网络空间结构改变,肌肉持水性下降,一部分蛋白质、脂肪、水分随汁液流失,其中水分损失带来的影响最为严重。本研究制备的烤制样品组,加热强度大,由光电和微波协同作用,对肌肉结构破坏严重水分损失严重,失重率 $[(62.28 \pm 0.77)\%]$ 最高,水分含量 $[(36.68 \pm 3.13)\%]$ 最低,即烤制样品的肌肉持水性最差。蒸制样品由于加热强度较低,蛋白凝胶网络结构保存较完整。再加上加热过程中鱼肉表面水蒸气的不断补充,肌肉失水损失少,失重率 $[(14.81 \pm 1.45)\%]$ 最低,水分含量 $[(71.21 \pm 0.24)\%]$ 最高,与新鲜鱼肉水分含量 $[(71.65 \pm 0.55)\%]$ 非常接近,肌肉持水性最强^[23]。就本研究选用对 4 种热加工方式对卵形鲳鲹持水性的影响程度而言:烤制 > 油炸 > 微波 > 蒸制,与加热强度呈负相关。国外的学者在研究烹饪方法和冷冻贮藏对鲤鱼鱼片品质特性影响时也发现了类似的结果^[24]。



图 1 不同热加工方式下卵形鲳鲹肌肉的外观变化
Fig.1 Changes of *Trachinotus ovatus* muscle appearance under different thermal processing methods

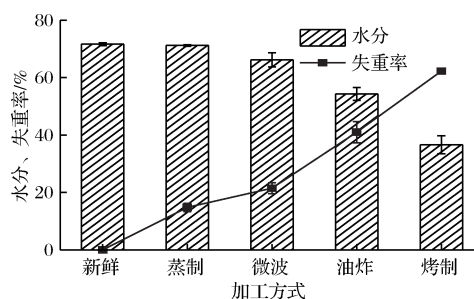


图 2 不同热加工方式下卵形鲳鲹肌肉水分和失重率的变化
Fig.2 Changes of water content and weight loss rate in *Trachinotus ovatus* muscle under different thermal processing methods

2.2 热加工方式对卵形鲳鲹肌肉中蛋白质含量及组成的影响

卵形鲳鲹在热加工过程中会发生汁液流失和蛋白质变性,导致总蛋白、碱溶性蛋白、碱不溶性蛋白和非蛋白氮含量的升高,盐溶性蛋白和水溶性蛋白含量下降。如表1所示,经4种热加工处理后卵形鲳鲹肌肉的蛋白总量均显著上升($P < 0.05$),蛋白含量烤制 > 微波 > 油炸 > 蒸制。从图3各类蛋白质的组成分布来看,非蛋白氮所占的比重在热加工前后始终稳定在10%左右,推测这几种热加工方式对蛋白质的一级结构影响较小,分子质量较大的蛋白经热加工后没有或者极少量被降解成非蛋白氮,因而蛋白质组成中非蛋白氮的所占的比重维持稳定,仅有非蛋白氮含量因肌肉质量损失发生变化。游离氨基酸、核苷酸及小分子多肽等既是非蛋白氮的组成成分,也是肉类的主要呈味物质。新鲜卵形鲳鲹肌肉非蛋白氮含量为(1.87 ± 0.04) mg/g,油炸和烤制鱼肉非蛋白氮含量相对增长最多,分别为(4.26 ± 0.15) mg/g 和(3.39 ± 0.21) mg/g。一般而

言,非蛋白氮含量越高对应的风味组分的含量更高,这说明烤制和油炸鱼肉风味要优于微波和蒸制鱼肉。

其他四类蛋白质所占比重经4种热加工方式处理后差异巨大。新鲜卵形鲳鲹水溶蛋白约占蛋白总量的1/4,而经蒸制、微波、油炸、烤制处理后降低到2%~4%,加热过程中部分水溶性蛋白会随汁液流失,水溶性蛋白含量的变化与肌肉中水分的含量存在一定的相关性,蒸制鱼肉的持水性最强,因而水溶性蛋白相对保存较好,水溶性蛋白所占比重相对油炸、烤制、微波组更高。新鲜卵形鲳鲹中占到蛋白总量一半以上的盐溶性蛋白,经热加工后所占比重均下滑到10%以下,同样是蒸制组盐溶性蛋白所占比重相对更高。碱溶性蛋白和碱不溶性蛋白总量所占的比重由热加工前的14%上升到80%以上。产生这些变化的原因是蛋白质在热加工的过程中发生变性,空间结构发生改变,盐溶性和水溶性蛋白部分转化为不溶性蛋白。

表1 不同热加工方式下卵形鲳鲹肌肉中各类蛋白质含量的变化

单位:mg/g

Table 1 Changes of various protein contents in the muscles of *Trachinotus ovatus* muscle under different thermal processing methods

加工方式	碱不溶性蛋白	水溶性蛋白	非蛋白氮	盐溶性蛋白	碱溶性蛋白	蛋白总量
新鲜	0.54 ± 0.08^d	4.42 ± 0.07^a	1.87 ± 0.04^d	9.93 ± 0.62^a	2.03 ± 0.29^d	18.79 ± 0.15^d
蒸制	6.10 ± 0.20^c	1.03 ± 0.08^b	2.15 ± 0.12^c	1.72 ± 0.09^b	13.38 ± 0.86^c	24.39 ± 1.78^c
微波	10.85 ± 0.39^a	0.96 ± 0.08^b	2.98 ± 0.21^b	1.27 ± 0.07^d	15.69 ± 1.16^b	32.15 ± 2.52^b
油炸	8.66 ± 0.32^b	0.62 ± 0.07^c	3.39 ± 0.23^b	1.43 ± 0.03^c	17.94 ± 1.25^b	31.63 ± 2.81^b
烤制	7.82 ± 1.06^b	0.94 ± 0.04^b	4.26 ± 0.15^a	1.80 ± 0.06^b	27.33 ± 0.82^a	42.15 ± 2.93^a

注:同一列不同小写字母表示具有显著性差异($P < 0.05$)

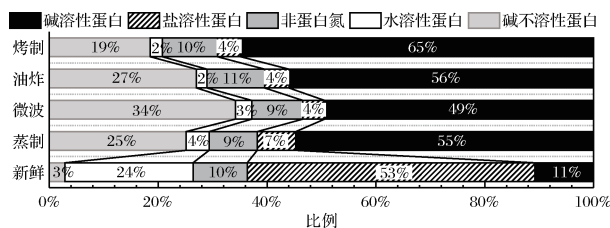


图3 不同热加工方式下卵形鲳鲹肌肉蛋白质组成的变化

Fig. 3 Changes of protein compositions in *Trachinotus ovatus* muscle under different thermal processing methods

2.3 热加工方式对卵形鲳鲹肌原纤维蛋白的影响

肌原纤维蛋白是组成肌肉中肌原纤维的蛋白质,是鱼肉蛋白的重要组成部分,所占的比重在50%以上,主要包括原肌球蛋白、肌球蛋白、肌原蛋白、肌动球蛋白等几类。其中肌球蛋白占肌原纤维蛋白总量的50%~55%,肌动蛋白占肌原纤维蛋白总量的20%~25%,此外还有少量功能不明的调节性结构蛋

白质。肌动蛋白与肌球蛋白可结合形成的不溶于水的肌动球蛋白,肌动球蛋白与肌肉收缩有关,是横纹肌纤维中肌原纤维的主要成分。卵形鲳鲹在加热的过程中肌原纤维蛋白结构和性质发生改变,聚合形成凝胶,影响着肌肉的品质。

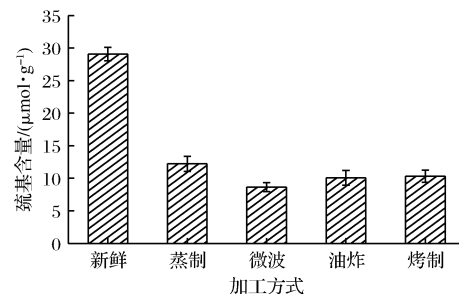


图4 不同热加工方式下卵形鲳鲹肌原纤维蛋白总巯基含量的变化

Fig. 4 Changes of total sulfhydryl content in *Trachinotus ovatus* myofibrillar protein under different thermal processing methods

巯基和二硫键对蛋白质结构的稳定性、易变性和酶的催化作用有一定的影响,测量巯基在热加工过程中的含量的变化可以用来指示蛋白的变性程度。卵形鲳鲹肌肉经4种热加工方式处理后,肌原纤维蛋白总巯基含量由新鲜鱼肉的(29.08±1.04) μmol/g降低至(8.63~12.21) μmol/g,从高到低排序依次为:蒸制>烤制>油炸>微波。微波处理组的总巯基含量相对最低,换言之,微波对肌原纤维蛋白变性程度影响更大,产生的破坏作用也越强。

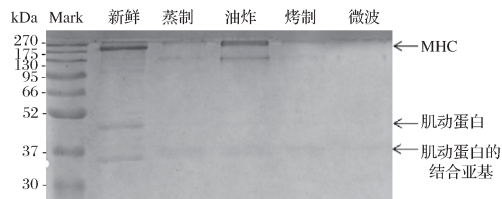


图5 不同热加工方式下卵形鲳鲹肌原纤维蛋白的SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳图

Fig.5 SDS-PAGE pattern of *Trachinotus ovatus* myofibrillar protein under different thermal processing methods

如图5所示,经过4种热加工方式处理后,130 kDa~270 kDa的大分子蛋白明显变浅,这表明了肌球蛋白重链(myosin heavy chain, MHC)发生明显变化。蛋白条带色泽由深到浅分别是油炸、烤制、蒸制和微波,油炸和烤制处理后大分子蛋白条带加深可能是由于热加工温度过高而使肌原纤维蛋白发生了过度聚合变性,产生了聚集现象,形成聚集体^[25]。微波处理后的条带最浅的实验结果也出现在王振宇等^[26]研究不同加工方式对猪肉的肌原纤维蛋白的电泳分析图谱中,推测微波处理肉样能加速蛋白质的瓦解。分子质量约为45 kDa的肌动蛋白条带仅在新鲜组出现,因高温处理导致肌动蛋白变性,结构发生改变,不再溶于用来提取肌原纤维蛋白的盐溶液,故各热加工组均未见该条带。在各热处理组中都能略微看到分子质量约为37 kDa的肌钙蛋白(troponin, Tn)条带,而该分子质量的蛋白也在HU等^[27]和SHERIKAR等^[28]的研究中被证明是具有热稳定性。

2.4 热加工方式对卵形鲳鲹氨基酸组成的影响

新鲜和烹饪后卵形鲳鲹氨基酸组成变化如表2所示。由于这4种热加工方式均导致样品中水分含量减少,蛋白质含量上升,烹饪后卵形鲳鲹样品氨基酸含量不同程度增长,这与陈惠等^[29]研究热加工对草鱼的氨基酸组成影响的结果相类似。蒸制、微波、油炸、烤制样品的氨基酸总量(total amino acids,

TAA)由热处理前18.09 mg/100mg分别增加到20.80 mg/100mg,24.50 mg/100mg,26.58 mg/100mg和31.13 mg/100mg。而对照和处理组的必需氨基酸(essential amino acid, EAA)与氨基酸总量(total amino acid, TAA)的比值(EAA/TAA)差异基本可以忽略,均在41.35%~41.99%,EAA/NEAA均大于70%。尽管鲜味氨基酸(delicious amino acids, DAA)与TAA的比值在加热前后基本无异,但加热后,油炸和烤制组的DAA含量增加量较蒸制和微波组有较大提升,其中烤制的样品DAA含量最高,为11.98 mg/100mg。总的来说热加工处理方式对氨基酸组成比例的影响不大,但对各氨基酸的含量有一定影响。

表2 不同热加工方式下卵形鲳鲹肌肉的氨基酸组成

单位:mg/100mg

Table 2 Changes of amino acid compositions in *Trachinotus ovatus* under different thermal processing methods

氨基酸	新鲜	蒸制	微波	油炸	烤制
天冬氨酸(Asp)	1.94	2.20	2.61	2.86	3.34
苏氨酸(Thr)	0.88	1.01	1.20	1.31	1.52
丝氨酸(Ser)	0.75	0.85	1.02	1.10	1.29
谷氨酸(Glu)	2.84	3.15	3.74	4.04	4.74
脯氨酸(Pro)	0.53	0.58	0.66	0.73	0.90
甘氨酸(Gly)	1.01	1.26	1.44	1.61	1.90
胱氨酸(Cys)	0.1	0.13	0.14	0.15	0.18
丙氨酸(Ala)	1.15	1.33	1.56	1.71	2.00
缬氨酸(Val)	1.01	1.21	1.43	1.56	1.80
蛋氨酸(Met)	0.59	0.68	0.79	0.84	1.00
异亮氨酸(Ile)	0.90	1.04	1.22	1.34	1.54
亮氨酸(Leu)	1.52	1.79	2.10	2.28	2.62
酪氨酸(Tyr)	0.65	0.74	0.93	0.96	1.05
苯丙氨酸(Phe)	0.78	0.90	1.08	1.16	1.33
赖氨酸(Lys)	1.80	2.08	2.44	2.67	3.09
组氨酸(His)	0.46	0.50	0.56	0.70	0.77
精氨酸(Arg)	1.18	1.35	1.58	1.71	2.06
氨基酸总量(TAA)	18.09	20.80	24.50	26.58	31.13
必需氨基酸总量(EAA)	7.48	8.71	10.26	11.16	12.90
非必需氨基酸总量(NEAA)	10.61	12.09	14.24	15.42	18.23
鲜味氨基酸(DAA)	6.94	7.94	9.35	10.22	11.98
EAA/TAA	41.35	41.88	41.88	41.99	41.44
EAA/NEAA	70.50	72.05	72.06	72.37	70.76
DAA/TAA	38.36	38.18	38.16	38.45	38.48

以FAO/WHO联合的推荐的标准氨基酸评分模式和全鸡蛋模式来评价不同热加工方式下卵形鲳鲹肌肉中的必需氨基酸,结果见表3。热处理后卵形鲳鲹的必需氨基酸评分(amino acid score, AAS)和化学评分(chemical score, CS)均出现了小幅度的波动变化。以AAS、CS评分可知,热加工处理后卵形鲳鲹的第一限制氨基酸与加热前一致,均为含硫氨基酸(蛋

氨酸+胱氨酸)。而第二限制氨基酸在以 AAS 评分时均是缬氨酸,以 CS 评分时,蒸制、油炸和烤制样品的是苯丙氨酸+酪氨酸,微波和新鲜样品则依然是缬氨酸。卵形鲳鲹肌肉的赖氨酸含量非常高,其在 4 种热加工方式下的 AAS 和 CS 评分均为首位,是 FAO/WHO 模式和全鸡蛋模式相应含量的 1.82~1.85 倍和 1.41~1.42 倍,增加摄入量可用于改善日常因食

用谷物食品较多而导致的赖氨酸不足,也可以进一步加工成优质的催乳剂和婴幼儿补充食品^[30]。按照全鸡蛋模式计算必须氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI),热加工后卵形鲳鲹的 EAAI 除烤制样品外均有不同程度的增长,微波样品的 EAAI 值最高,相对而言蛋白的均衡性更好,更利于人体消化吸收。

表 3 不同热加工方式下卵形鲳鲹肌肉必需氨基酸组成评价

Table 3 Evaluation of essential amino acid compositions in *Trachinotus ovatus* under different thermal processing methods

必需氨基酸	新鲜		蒸制		微波		油炸		烤制	
	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
缬氨酸	1.12 **	0.85 **	1.17 **	0.89	1.18 **	0.89 **	1.18 **	0.89	1.17 **	0.88
蛋氨酸+胱氨酸	1.08 *	0.62 *	1.11 *	0.63 *	1.08 *	0.61 *	1.06 *	0.6 *	1.08 *	0.61 *
异亮氨酸	1.24	0.94	1.25	0.94	1.24	0.94	1.26	0.95	1.24	0.93
亮氨酸	1.19	0.98	1.22	1.01	1.22	1.00	1.22	1.00	1.20	0.99
苏氨酸	1.21	1.05	1.21	1.04	1.22	1.05	1.23	1.05	1.22	1.05
赖氨酸	1.83	1.41	1.84	1.42	1.83	1.41	1.85	1.42	1.82	1.41
苯丙氨酸+酪氨酸	1.30	0.87	1.3	0.87 **	1.35	0.91	1.31	0.88 **	1.26	0.85 **
EAAI	93.51	94.7	94.89	94.7	93.38					

注: * 第一限制氨基酸, ** 第二限制氨基酸

3 结论

由于不同的热加工方式的升温速率和加热强度存在差异,本研究所采用的蒸制、微波、油炸和烤制这 4 种热加工方式对卵形鲳鲹肌肉蛋白和品质的影响存在差异性。热处理过程中肌肉收缩,蛋白质网络空间结构发生改变,肌肉持水性下降,一部分蛋白质随汁液流失,一部分蛋白质性质发生改变,单位质量鱼肉的蛋白质组成和含量均发生显著变化。

相同质量加工制品中的蛋白含量:烤制>油炸>微波>蒸制,与产品的含水量呈负相关。热加工过程中蛋白质组分中盐溶性和水溶性蛋白会部分转化为不溶性蛋白,因而含量下降。4 种热加工方式均对卵形鲳鲹的结构蛋白具有极大的破坏作用,致使肌原纤维蛋白总巯基含量显著下降,SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳中 130 kDa~270 kDa 的大分子蛋白明显变浅,肌球蛋白重链被降解。热加工处理方式对氨基酸组成比例无显著的影响,但经热处理后,单位质量肌肉各类氨基酸的含量有所上升。

综合评价本文选用的 4 种热处理方式对卵形鲳鲹蛋白和品质的影响及其关联性:(1)蒸制鱼肉由于加热强度相对温和,蛋白质凝胶结构稳定性强,肌肉的持水性和水分含量相对较高,盐溶性蛋白和水溶性蛋白在蛋白质组分中所占的比例更高,鱼肉外观和结构保存最完整。(2)SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳图谱

显示微波这一加工方式对蛋白质的破坏作用最强,经氨基酸分析发现微波处理组的氨基酸评分最高,微波处理鱼肉更利于人体消化吸收。(3)经烤制和油炸后,卵形鲳鲹肌肉的非蛋白氮含量和呈味氨基酸含量均是最高,因此风味要优于其他 2 组。

参 考 文 献

- [1] 季晓彤. 金鲳鱼块微冻贮藏过程品质变化及控制[D]. 大连: 大连工业大学, 2018.
- [2] XIE Jiajun, FANG Haohang, HE Xuanshu, et al. Study on mechanism of synthetic astaxanthin and *Haematococcus pluvialis* improving the growth performance and antioxidant capacity under acute hypoxia stress of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) and enhancing anti-inflammatory by activating Nrf2-ARE pathway to antagonize the NF- κ B pathway[J/OL]. Aquaculture: 1–30 [2019–10–30]. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734657>
- [3] 李秀玲, 刘宝锁, 张楠, 等. 发酵豆粕替代鱼粉对卵形鲳鲹生长和血清生化的影响[J]. 南方水产科学, 2019, 15(4): 68–75.
- [4] LIU Bo, GUO Huayang, ZHU Kecheng, et al. Growth, physiological, and molecular responses of golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758) reared at different salinities[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2019, 45(6): 1 879–1 893.
- [5] 王娜. 加工工艺对金鲳鱼鱼糜凝胶特性及鱼糜蛋白冷冻变性影响的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015.
- [6] 刘洪霞, 夏光华, 李川, 等. 金鲳鱼内脏脂肪酶的初步纯化及鱼皮酶法脱脂的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2017, 38(20): 98–104.
- [7] 曹璇, 申铨日. 超声波辅助稀碱水解法提取金鲳鱼骨油的工艺优化与脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 280–285.
- [8] FENG Xiao, BANSAL NIDHI, YANG Hongshun. Fish gelatin com-

- bined with chitosan coating inhibits myofibril degradation of golden pomfret (*Trachinotus blochii*) fillet during cold storage[J]. Food Chemistry, 2016,200:283–292.
- [9] QIU Xujian, CHEN Shengjun, LIU Guangming, et al. Inhibition of lipid oxidation in frozen farmed ovate pompano (*Trachinotus ovatus* L.) fillets stored at -18°C by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016,96(10):3374–3379.
- [10] 巩涛硕, 蓝蔚青, 王蒙, 等. 不同冻结方式对金鲷鱼水分、组织结构与品质变化的影响[J]. 食品科学, 2019,40(23):213–219.
- [11] 任中阳, 吴燕燕, 李来好, 等. 腌干鱼制品热泵干燥工艺参数优化[J]. 南方水产科学, 2015,11(1):81–88.
- [12] 石慧, 杨少玲, 吴燕燕, 等. 卵形鲳鲹鱼片热风干燥条件优化及其品质特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2019,45(17):129–135.
- [13] ZHANG Jiahui, CAO Jun, PEI Zhisheng, et al. Volatile flavour components and the mechanisms underlying their production in golden pompano (*Trachinotus blochii*) fillets subjected to different drying methods: A comparative study using an electronic nose, an electronic tongue and SDE-GC-MS[J]. Food Research International, 2019,123:217–225.
- [14] 郑秋月. 热加工食品和水产品中致病菌检测技术体系建立[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.
- [15] FARAG M M A. Effect of different cooking methods on nucleic acid nitrogen bases content of fresh sardine fish and its nutritive value[J]. World Journal of Dairy & Food Sciences, 2013,8(2):156–164.
- [16] VISESSANGUAN W, BENJAKUL S, RIEBROY S, et al. Changes in composition and functional properties of proteins and their contributions to Nham characteristics[J]. Meat Science, 2004,66(3):579–588.
- [17] CHIN K B, GO M Y, XIONG Y L. Konjac flour improved textural and water retention properties of transglutaminase-mediated, heat-induced porcine myofibrillar protein gel: Effect of salt level and transglutaminase incubation[J]. Meat Science, 2009,81(3):565–572.
- [18] YONGSAWATDIGUL J, PARK J W. Thermal denaturation and aggregation of threadfin bream actomyosin[J]. Food Chemistry, 2003,83(3):409–416.
- [19] 李娜, 赵永强, 李来好, 等. 冰藏过程中罗非鱼鱼片肌肉蛋白质变化[J]. 南方水产科学, 2016,12(2):88–94.
- [20] GUO Y, GU S, WANG X, et al. Comparison of fatty acid and amino acid profiles of steamed Chinese mitten crab[J]. Fisheries Science, 2014,80(3):621–633.
- [21] 刘欢, 陈胜军, 杨贤庆, 等. 舌状蜈蚣藻营养成分分析与品质评价[J]. 南方水产科学, 2018,14(6):99–104.
- [22] BERTRAM H C, KARLSSON A H, RASMUSSEN M, et al. Origin of multiexponential T_2 relaxation in muscle myowater[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001,49(6):3092–3100.
- [23] LARSEN D, QUEK S Y, EYRES L. Effect of cooking method on the fatty acid profile of New Zealand King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. Food Chemistry, 2010,119(2):785–790.
- [24] ABDELRAHMAN SAID TALAB. Effect of cooking methods and freezing storage on the quality characteristics of fish cutlets[J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2014,6(4):468–479.
- [25] 康怀彬, 邹良亮, 张慧芸, 等. 高温处理对牛肉蛋白质化学作用力及肌原纤维蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2018,39(23):80–86.
- [26] 王振宇, 刘欢, 马俪珍, 等. 热处理下的猪肉蛋白质特性[J]. 食品科学, 2008,29(5):73–77.
- [27] HU Lyulin, REN Sijie, SHEN Qing, et al. Proteomic study of the effect of different cooking methods on protein oxidation in fish fillets[J]. RSC Advances, 2017,7(44):22755–227496.
- [28] SHERIKAR A T, KARKARE U D, KHOT J B, et al. Studies on thermostable antigens, production of species-specific antiadrenal sera and comparison of immunological techniques in meat speciation[J]. Meat Science, 1993,33(1):121–136.
- [29] 陈惠, 刘焱, 李志鹏, 等. 热加工对草鱼鱼肉品质及风味成分的影响[J]. 食品与机械, 2017,33(9):53–58.
- [30] 王苗苗, 王海磊, 罗庆华, 等. 鲢鱼肌肉营养成分测定及评价[J]. 食品科学, 2014,35(15):238–242.