

# 卡拉胶和转谷氨酰胺酶复合对热处理罗非鱼鱼糜肠凝胶性能的影响

陈斌<sup>1,2</sup>, 朱志伟<sup>1</sup>, 阮征<sup>1</sup>, 李沛生<sup>1</sup>, 刘通讯<sup>1</sup>, 戴炳胡<sup>3</sup>, 曾广幸<sup>3</sup>

(1. 华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640) (2. 国家知识产权局专利局专利审查协作广东中心医药生物发明审查部, 广东广州 510530) (3. 阳江市琪海水产有限公司, 广东阳江 529536)

**摘要:** 在高压湿热灭菌条件下, 通过杀菌温度 121.1 °C 和杀菌时间 14 min、17 min 和 20 min 的热处理组合, 对复合添加了卡拉胶和转谷氨酰胺酶 (TG 酶) 的罗非鱼鱼糜肠的凝胶强度、以 TPA 指标 (硬度、内聚性和回复性)、持水性以及维持其凝胶结构的化学作用力指标的变化规律进行了研究。结果表明, 在热处理组合条件下, 添加了卡拉胶和 TG 酶的鱼糜肠在凝胶强度、持水性方面均显著高于 ( $P < 0.05$ ) 未添加上述复合添加物的对照样。添加上述复合添加物的鱼糜肠在硬度、内聚性和回复性上均随着杀菌强度的加大而下降, 但均好于同一杀菌条件下的对照样, 其中硬度和回复性的改善效果显著 ( $P < 0.05$ ), 而内聚性的提高效果不明显 ( $P > 0.05$ )。此外, 相比于对照样, 在该热处理条件下, 疏水相互作用和  $\epsilon$ - $(\gamma$ -谷氨酰基) 赖氨酸共价键交联破坏程度显著下降 ( $P < 0.05$ ), 二硫键的破坏程度无显著变化 ( $P > 0.05$ )。

**关键词:** 罗非鱼鱼糜肠; 热处理; 凝胶性能; 化学作用力; 卡拉胶; TG 酶

文章编号: 1673-9078(2015)9-212-217

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.035

## Effects of Carrageenan and Transglutaminase on the Gel Properties of Tilapia Sausage

CHEN Bin<sup>1,2</sup>, ZHU Zhi-wei<sup>1</sup>, RUAN Zheng<sup>1</sup>, LI Bian-sheng<sup>1</sup>, LIU Tong-xun<sup>1</sup>, DAI Bing-hu<sup>3</sup>, ZENG Guang-xing<sup>3</sup>

(1. College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Patent Examination Cooperation Center of the Patent Office SIPO, Guangzhou 510530, China)

(3. Qihai Aquatic Products Co., Ltd., Yangjiang 529536, China)

**Abstract:** The influence of carrageenan and transglutaminase (TGase) addition on the gel strength, texture profile analysis (TPA) indicators (hardness, cohesion, and resilience), water holding capacity, and chemical bonding indicators, to maintain the gel structure of tilapia sausage under thermal sterilization (121.1 °C for 14 min, 17 min, and 20 min) was investigated. Results showed that tilapia sausage, under heat sterilization with the additives (carrageenan and TGase), had significantly higher gel strength and water holding capacity ( $P < 0.05$ ) than that of the control samples. The hardness, cohesion, and resilience of the samples with the compound additives decreased as the sterilization intensity increased, but were all higher than that of the control samples. Among them, hardness and resilience were significantly higher ( $P < 0.05$ ), but the effect on cohesion was not significant ( $P > 0.05$ ). Furthermore, compared to control samples, the extent of damage to hydrophobic interactions and  $\epsilon$ - $(\gamma$ -glutamyl) lysine bond under heat sterilization decreased significantly ( $P < 0.05$ ), while the extent of damage to disulfide bonds did not change significantly ( $P > 0.05$ ).

**Key words:** tilapia sausage; thermal sterilization; gel properties; chemical bonding; carrageenan; transglutaminase

在鱼糜制品制造过程中, 亲水胶体和转谷氨酰胺酶 (TG 酶) 是重要的添加成分, 其能分散或溶解于水中, 起到增稠的效果或形成凝胶。目前, 已有多

收稿日期: 2014-11-12

基金项目: 广东省教育部产学研结合项目 (2011B090400293); 广东省海洋渔业科技项目; 中央财政农业科技推广项目

作者简介: 陈斌 (1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与保藏

通信作者: 朱志伟 (1974-), 男, 博士, 研究方向: 食品加工与保藏

亲水胶体 (如魔芋胶、果胶、卡拉胶等) 应用于鱼糜制品加工中, 以改善其凝胶性能。卡拉胶属于带负电荷的多糖, 不仅自身能交联形成凝胶, 还能与鱼糜蛋白相互作用形成鱼糜蛋白-亲水胶体凝胶, 并与带负电荷的鱼糜蛋白的羧基形成鱼糜蛋白-卡拉胶凝胶, 因此能提高鱼糜的凝胶强度<sup>[1-2]</sup>。

影响内源性 TG 酶活性的因素较多, 不易控制, 故添加外源性的 TG 酶成为鱼糜制品生产者的一大选

择,通过增强非二硫共价键的交联,提高鱼糜制品弹性。而微生物 TG 酶(也称 MTG 酶)大部分对  $\text{Ca}^{2+}$  无敏感性,且作用底物广泛,大部分食品蛋白质均可作为其催化底物,形成交联<sup>[3-4]</sup>。近年来,在国外,MTG 酶已用于多个食品领域,包括肉制品、乳制品、豆制品加工等<sup>[5]</sup>,而在国内也有所关注<sup>[6-8]</sup>,就鱼糜制品而言,其添加量、作用时间、温度及 pH 等成为影响鱼糜弹性、粘聚性、白度等品质的因素。

$F_0$  值是食品热杀菌致死值,也是评价食品热处理有效性的重要指标<sup>[9]</sup>。大多数芽孢杆菌耐热性较强,在低酸性罐头中,肉毒梭状芽孢杆菌是其热杀菌的对象菌,冷点需满足  $F_0$  值  $\geq 12 D_{121.1}$ ,  $D_{121.1}=0.1\sim 0.3 \text{ min}^{[9]}$ 。

上述添加物对鱼糜凝胶的影响研究,大多集中于 100 °C 热处理以下范围,对在高压湿热灭菌条件下的影响鲜有研究。本文以罗非鱼鱼糜肠为对象,通过复合添加 Kappa 型卡拉胶和 TG-B 酶,研究其在不同杀菌强度 ( $F_0=3、5、7 \text{ min}$ ) 下的凝胶强度、TPA 指标、持水性以及维持其交联结构的化学作用力之间的变化规律。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验材料

罗非鱼鱼糜,由广东省某水产公司提供;食盐,市售;卡拉胶(Kappa 型),广东大地食用化工有限公司;TG 酶(TG-B 型),日本味之素公司。

### 1.2 主要试剂

邻苯二甲醛(OPA)、5,5-二硫 2-硝基苯甲酸(DTNB),由 Sigma-Aldrich 公司提供。

### 1.3 主要仪器设备

淋水式杀菌锅(LH4A29A),宁波锐托杀菌设备公司;Ellab 无线测温系统(TrackSense Pro),丹麦 Ellab 公司;多功能真空包装机(DZ-300TN),兄弟包装机械公司;质构仪(TA.XT Plus),英国 SMS 公司。

### 1.4 实验方法

#### 1.4.1 罗非鱼鱼糜凝胶(鱼糜肠)的制备

冷冻罗非鱼糜→解冻→斩拌→灌肠→凝胶化(40 °C, 60 min)→加热(90 °C, 30 min)→冷却→热杀菌→罗非鱼鱼糜肠

#### 1.4.2 杀菌方法

使用淋水式反压杀菌锅进行杀菌。杀菌公式设置:升温阶段,5 min 升至目标杀菌温度;保温阶段,

恒温目标杀菌时间;冷却阶段,4 min 降至 40 °C。

#### 1.4.3 传热曲线及 F 值测定

由于鱼糜肠为圆柱状且均匀填充,各向同性,故其冷点可认为位于几何中心处。所有测试鱼糜肠直径相同(30 mm),长度相当,且杀菌前冷点初温均控制在  $25\pm 1$  °C。

温度数据采用丹麦 Ellab TRACKSENSE® PRO 无线热验证系统记录。利用 Ellab 温度探头,探头一端插入鱼糜肠中心(冷点温度),记录罐头冷点温度变化;探头另一端暴露在袋外,记录杀菌锅温度变化,每隔 30 s 记录一次温度数据。无线探头与鱼糜肠一起真空包装杀菌,记录温度、F 值变化曲线。

#### 1.4.4 凝胶强度测定

采用 TA.XT Plus 型质构仪进行测定。测定时截取直径 30 mm,厚 25 mm 规格的鱼糜肠片段。凝胶强度测定平行 5 次。测定条件为,用 P/5S 探头测其凝胶强度;测前速率:1.0 mm/s;测试速度为 1.0 mm/s;测后速率:1.0 mm/s;触发类型:Auto-5 g。凝胶强度表示为穿刺强度与刺破鱼糜肠时探头所走距离的乘积,单位为 g·cm。

#### 1.4.5 质地剖面分析(TPA 测定)

采用 TA.XT Plus 型质构仪进行测定。测定时截取直径 30 mm,厚 25 mm 规格的鱼糜肠片段。TPA 指标测定均平行 5 次。选用 P/36R 型平底圆柱探头测试。测试参数:测前速率 1.0 mm/s;测试速度 1.0 mm/s;测后速率 1.0 mm/s;压缩比 30%;探头两次测定间隔时间 5 s;触发力 5 g;触发类型:自动。

#### 1.4.6 持水性测定

将直径 30 mm,厚 5 mm,重  $m_1$  的鱼糜肠薄片置于上下各三层定性滤纸(杭州新华纸业有限公司)中间,在其上加 5 kg 的重物,保持 2 min,称重  $m_2$ ,按下式计算持水性<sup>[10]</sup>:

$$\text{持水性}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

#### 1.4.7 巯基(-SH)含量的测定

鱼糜凝胶中巯基含量的测定参考 BENJAKUL 方法<sup>[11]</sup>。巯基含量以每千克鱼糜蛋白中巯基的质量摩尔浓度表示,单位为  $\mu\text{M/g}$ ,试验重复 3 次。

#### 1.4.8 可利用赖氨酸含量的测定

鱼糜凝胶中可利用赖氨酸含量的测定参考 Swaisgood 的邻苯二甲醛(OPA)方法<sup>[12]</sup>。

#### 1.4.9 凝胶的溶解性测定

参考 Gomez-Guillen M C 等<sup>[13]</sup>人的方法并稍作修改。取 2 g 绞碎的鱼糜凝胶样品,分别与 10 mL 的 0.05 M NaCl (SA)+0.6 M NaCl (SB)、0.6 M NaCl+1.5M

尿素(SC)、0.6 M NaCl+8 M 尿素(SD)和 0.6 M NaCl +8 M 尿素+0.5 M 2-β-ME (SE) 混合并均质, 均质液在 4 °C 下静置 1 h, 并 9000 r/m 离心 20 min。用双缩脲法测定上清液中蛋白质的含量, 其中离子键的贡献以溶解于 SB 溶液与 SA 溶液中蛋白质含量之差表示; 氢键的贡献以溶解于 SC 溶液与 SB 溶液中蛋白质含量之差表示; 疏水相互作用的贡献以溶解于 SD 与 SC 溶液中蛋白质含量之差表示。

### 1.4.10 数据处理

采用 SPSS13.0 for Windows 和 Excel 进行数据处理, 结果采取均值±标准差的形式。指标内部的均值比较采用最小显著差异法 (LSD), 取 95% 置信度 ( $P<0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 试验 F<sub>0</sub> 值的选择

对于罗非鱼鱼糜肠低酸性食品而言, F<sub>0</sub> 值应至少达到 3 min<sup>[14-15]</sup>, 并且根据微生物实验, 确认在本实验提供的灭菌公式下能够达到商业无菌状态, 故采用 F<sub>0</sub> 值 3 min 作为本实验杀菌强度控制的下限; 通过预实验, 发现罗非鱼鱼糜肠对热杀菌的耐受性较差, 其在 121.1 °C、20 min (F<sub>0</sub> 值=7 min) 杀菌过后, 其感官品质下降明显, 失去其特有的弹性和口感, 不能为消费者所接受, 故取 F<sub>0</sub> 值 7 min 作为本实验热杀菌强度控制的上限。此外, 在本实验采用的添加量范围内, 与未添加的鱼糜凝胶相比, 实际测定 F<sub>0</sub> 值均无显著变化 ( $P>0.05$ ) (表 1), 故杀菌条件维持不变。当理论 F<sub>0</sub> 值为 3 min、5 min、7 min 时, 鱼糜肠样品在 121.1 °C 下杀菌分别保温 14 min、17 min、20 min, 实际测定 F<sub>0</sub> 值分别达到 3.02±0.12 min、5.02±0.11 min、7.34±0.14 min。

表 1 理论与实测 F<sub>0</sub> 值

Table 1 Theoretical and measured F values

理论 F <sub>0</sub> 值/min	杀菌温度/°C	保温时间/min	实际测定 F <sub>0</sub> 值/min		P 值
			对照 (鱼糜)	鱼糜-卡拉胶-TG 酶	
3	121.1	14	3.02±0.12	3.04±0.22	>0.05
5	121.1	17	5.02±0.11	5.03±0.16	>0.05
7	121.1	20	7.34±0.14	7.32±0.15	>0.05

### 2.2 复合添加物 (添加卡拉胶和 TG 酶) 对热

杀菌罗非鱼鱼糜肠凝胶性能的比较

#### 2.2.1 复合添加物对凝胶强度的影响

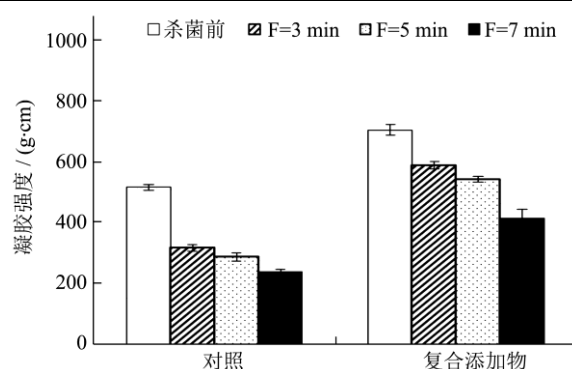


图 1 复合添加物对热杀菌罗非鱼鱼糜肠凝胶强度的影响

Fig.1 Effect of sterilization on the gel strength of tilapia sausage with combination additives

注: 对照为未添加复合添加物的罗非鱼鱼糜肠 (其余成分一致), 下同。

如图 1, 对于对照, 杀菌后其凝胶强度显著下降 ( $P<0.05$ ), 且总趋势是随杀菌 F<sub>0</sub> 值的增加 (即杀菌强度的增加) 而降低, 在 F<sub>0</sub> 值分别在 3 min、5 min、7 min (121.1 °C 下杀菌 14 min、17 min、20 min) 下, 其凝胶强度值分别比杀菌前下降了 38.44%、44.27% 和 53.16%。从下降梯度上看, F<sub>0</sub> 值为 3 min 时凝胶强度已严重下降, 可能是由于 121.1 °C 杀菌 14 min 已对形成鱼糜肠凝胶强度的空间网络交联支撑结构构成破坏, 维持其交联的二硫键、非二硫共价键和疏水相互作用等作用力减弱, 因而质构上表现出其强度下降近 40%; 而在 F<sub>0</sub> 值为 3~5 min 这个时间段, 凝胶强度下降幅度有所放缓, 凝胶强度值下降不大, 可认为在此杀菌强度范围内, 其内部结构较为稳定; F<sub>0</sub> 值在 5~7 min 时, 凝胶强度下降幅度增大, 可能是由于杀菌过度造成结构等进一步破坏所致。此外, 由于 F<sub>0</sub> 值的累积不呈线性增加, 也可能造成了凝胶强度的下降幅度的不同。

对于添加上述复合添加物的鱼糜肠而言, 杀菌前, 相比于对照, 添加了 TG-B 和 0.2% 卡拉胶的罗非鱼鱼糜肠的凝胶强度有显著提高 ( $P<0.05$ ), 达到 703.8 g cm。杀菌后, 其凝胶强度明显下降 ( $P<0.05$ ), 在 F<sub>0</sub> 值 3 min、5 min、7 min 条件下, 凝胶强度数值分别下降 16.39%、23.09% 和 41.08%, 这说明维持鱼糜肠凝胶强度的结构遭到了破坏。从下降程度上看, 呈现在 F<sub>0</sub> 值 5~7 min 时较为平稳的状态。但在同一 F<sub>0</sub> 值下, 添加复合添加物的鱼糜肠均比对照有更高的凝胶强度, 数值分别是对照的 1.85 倍、1.88 倍和 1.72 倍, 由此可见, TG-B 和 0.2% 卡拉胶两种添加成分的组合对增强鱼糜肠的凝胶强度上, 并无相互抑制, 且具有增强其耐热性的作用。具体而言, 一方面, 由于添加了卡拉胶成分, 一是其本身能凝胶, 形成不同于鱼糜



凝胶的网络结构,对高温有较好的耐受性,对整个鱼糜-卡拉胶凝胶体系的耐热性起到促进作用;二是其本身就是亲水胶体,通过吸水膨胀,能在高温下锁住更多水分,保持整个凝胶结构;三是其还能与肌球蛋白相互作用,提高了二者之间的交联程度和结构稳定性。因而通过罗非鱼鱼糜自身凝胶、卡拉胶自身凝胶、鱼糜与卡拉胶之间的相互作用,三者共同作用,卡拉胶以凝胶而形成的连续相贯穿、填充于鱼糜凝胶网络中以强化其结构。另一方面,添加 TG 酶同样可提高鱼糜肠的耐热性,主要是由于通过催化  $\epsilon$ -( $\gamma$ -谷氨酰基)赖氨酸共价键的形成,从而加固了凝胶主体结构,变得更加致密,因而比对照样对高温有更好的耐受性。这既证明了支撑凝胶网络骨架的肌球蛋白分子链并未断裂(因为如果肌球蛋白分子链本身已断裂,则再增加键的交联也不能改善凝胶强度),也验证了  $\epsilon$ -( $\gamma$ -谷氨酰基)赖氨酸共价键在鱼糜肠形成凝胶强度中有重要作用。

### 2.2.2 复合添加物对 TPA 指标的影响

根据质构仪仪器测定与感官分析相关性研究结果,本实验选择的 TPA 参数如下<sup>[16]</sup>:硬度、内聚性和回复性。

如图 2 所示,在 TPA 模式测定中,添加复合添加物的鱼糜肠在硬度、内聚性和回复性上均随着杀菌强度的加大而下降,但均好于同一杀菌条件下的对照样,其中硬度和回复性的改善效果显著 ( $P < 0.05$ ),而内聚性的提高效果不明显 ( $P > 0.05$ )。结合感官分析的相关性结果来看,就硬度而言,添加复合添加物的鱼糜肠在杀菌前和  $F_0$  值 3 min、5 min、7 min 条件下,分别是对照的 1.13 倍、1.33 倍、1.32 倍和 1.56 倍,即该硬度数值的减小,表明其感官粗糙度、硬度的下降,以及更具粘聚性和多汁性,即口感质地虽更为细腻,但变得更加软烂。就回复性而言,分别是对照的 1.12 倍、1.13 倍、1.12 倍和 1.11 倍,因而其回复性数值的变化表明随着杀菌强度的增加,鱼糜肠的残余颗粒感增强。而就内聚性而言,由于杀菌前和杀菌后的内聚性指标数值间无显著差异,可认为热杀菌对于鱼糜肠的感官粘聚性并无显著影响。

### 2.2.3 复合添加物对持水性的影响

如图 3,相比于对照,添加了上述复合添加物的罗非鱼鱼糜肠的持水性均有提升,在杀菌前和杀菌后,分别比对照样增长了 0.89%、1.21%、0.88%和 0.90%,而在  $F_0$  值 3 min、5 min、7 min 条件下,添加复合添加物后的鱼糜肠的持水性均有所下降,分别比杀菌前下降 1.89%、3.37%和 5.00%。持水性(保水性)最早是用于描述肌肉在一定条件下结合或保持肌肉中水分

的能力,其与肌肉的感官品质有很紧密的联系,如质构特性和风味等,也可以反映鱼糜制品的口感等感官品质。鱼糜凝胶的三维空间的网络结构能结合大量水分,因此,当加热导致疏水基团暴露后,原有网络结构改变,凝胶的保水能力就会相应降低,即持水性下降的结果也是上述质构特性变劣的体现。加入复合添加物后,鱼糜肠凝胶的持水性的改善,可能是由于卡拉胶有强烈的亲水性,因此在凝胶网络中保持水分的有序结构,而 TG-B 的添加则进一步强化了凝胶网络结构的交联,从而在表观上体现为持水性的改善。此外,该持水性的指标变化也与上述凝胶强度和 TPA 指标的变化趋势相符。

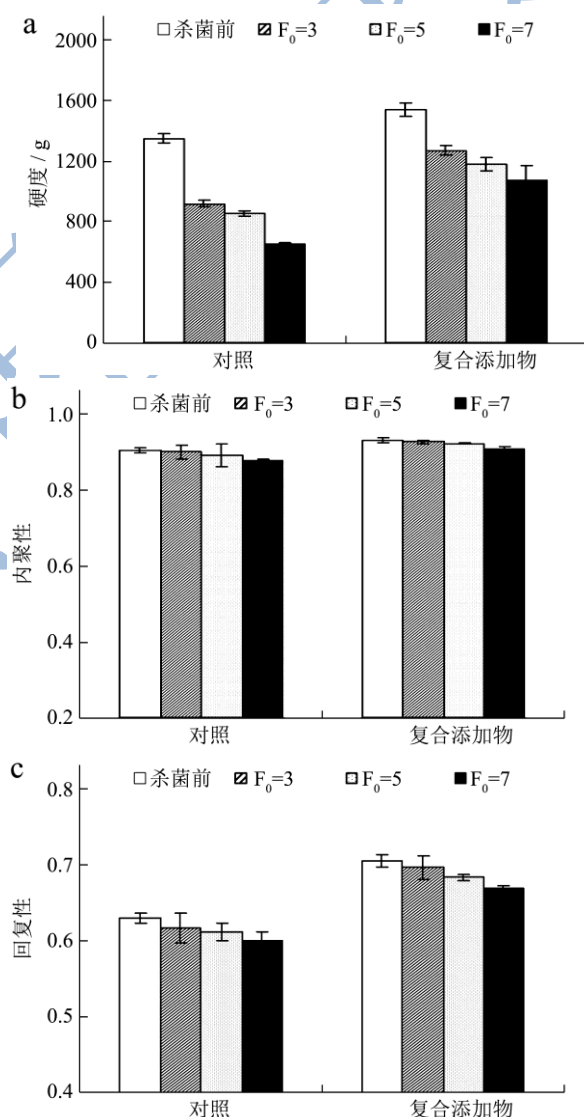


图 2 复合添加物对热杀菌罗非鱼鱼糜肠 TPA 指标(硬度(a)、内聚性(b)、回复性(c))的影响

Fig.2 Effect of compound additives on the TPA indicators (hardness (a), cohesion (b), and resilience (c)) of tilapia sausage during sterilization

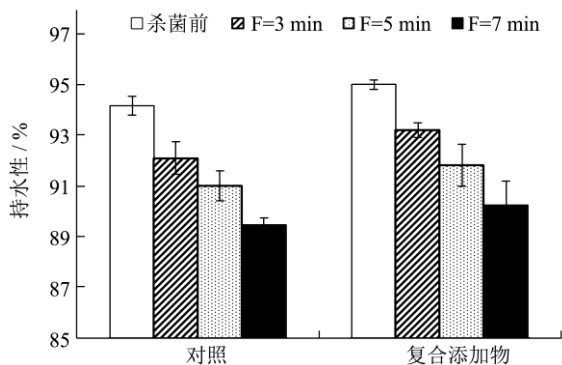


图3 复合添加物对热杀菌罗非鱼鱼糜肠持水性的影响

Fig.3 Effect of sterilization on the water holding capacity of tilapia sausage with combination additives

### 2.3 复合添加物 (添加卡拉胶和 TG 酶) 对热

#### 杀菌罗非鱼鱼糜肠化学作用力的比较

##### 2.3.1 复合添加物对-SH 含量的影响

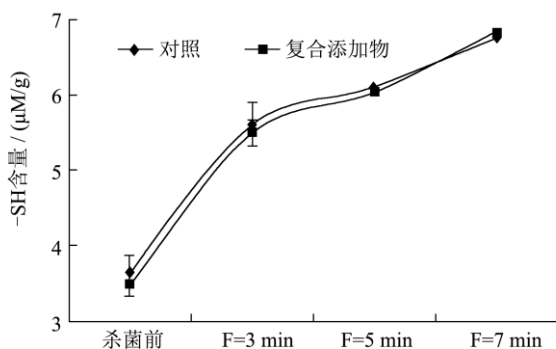


图4 F<sub>0</sub> 值对加入复合添加物罗非鱼鱼糜肠巯基含量的影响

Fig.4 Effect of the F<sub>0</sub> value on the thiol group content of tilapia sausage with combination additives

在鱼糜凝胶形成过程中, 由于热致凝胶作用, 肌球蛋白开始展开、解旋、变性, 构象发生变化, 暴露出更多的-SH, 使得其测定的含量增加; 而后随着温度的继续升高, 相邻的两个半胱氨酸所带有-SH 基通过氧化作用, 共价交联为二硫键 (-S-S-), 从而使-SH 含量显著减少。二硫键是蛋白质凝胶形成以及维持其三维结构的主要化学作用力, 因而-SH 含量的降低或升高也间接地反映出二硫键交联程度的提高或破坏。

具体而言, 如图4所示, 一方面, 相比于杀菌前, 对照和添加了复合添加物的鱼糜肠在杀菌后的-SH 含量均显著上升 ( $P < 0.05$ ), 其总体趋势是随 F<sub>0</sub> 值的增加而增加, 在上述三个热处理条件下, 分别比对照增加了 52.92%、66.39%、83.88%, 这间接表明, 在 121.1 °C 下, 二硫键的断裂量增加, 即维持鱼糜凝胶空间网络结构的交联被破坏。此外, 其趋势与鱼糜肠凝胶强度、硬度、内聚性、回复性和持水性的变化相反,

也验证了二硫键 (以-SH 含量表示) 在维持凝胶网络结构完整性方面的作用, 即微观结构决定了质构, 二硫键交联含量的下降 (以-SH 含量升高表示) 是上述质构指标下降的原因之一。而从具体变化来看, 在 F<sub>0</sub> 为 3 min 时增加幅度最大, 而 F<sub>0</sub> 为 3、5、7 min 之间的增速较为均匀, 增幅分别为 13.47% 和 17.49%。

另一方面, 相比于对照, 添加了复合添加物的罗非鱼鱼糜肠的-SH 含量在杀菌前和 F<sub>0</sub> 值为 3 min 和 5 min 时均有所下降, 在 F<sub>0</sub> 值为 7 min 时高于对照, 但差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。这说明复合添加物对-SH 含量变化的影响不大, 即, 虽然-SH 含量有所下降, 说明二硫键遭到破坏的程度有所降低, 但效果不明显, 因而添加卡拉胶和 TG 酶作为复合添加物, 在杀菌过程中对维持二硫键的交联无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

##### 2.3.2 复合添加物对可利用赖氨酸含量的影响

在 F<sub>0</sub> 值 3 min、5 min、7 min 条件下 (图6), 对照样和添加了复合添加物的鱼糜肠中的可利用赖氨酸含量均随 F 值的增加而显著上升 ( $P < 0.05$ )。但相比于对照, 在杀菌前和杀菌后, 添加了复合添加物的罗非鱼鱼糜肠可利用赖氨酸含量显著下降 ( $P < 0.05$ ), 下降率分别达到 8.20%、12.21%、13.14% 和 8.55%。这说明复合添加物对鱼糜肠的可利用赖氨酸含量变化的影响较大, 也说明 ε-(γ-谷氨酰基)赖氨酸共价键遭到破坏的程度有所降低, 即鱼糜肠的内部网络交联结构破坏降低, 使添加复合添加物的鱼糜肠在质构方面有更好耐热性。

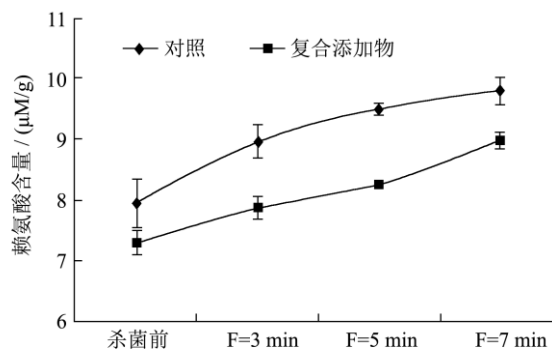


图5 F<sub>0</sub> 值对加入复合添加物罗非鱼鱼糜肠可利用赖氨酸含量的影响

Fig.5 Effect of the F<sub>0</sub> value on the available lysine content of tilapia sausage with combination additives

##### 2.3.3 复合添加物对疏水相互作用的影响

在 F<sub>0</sub> 值 3 min、5 min、7 min 条件下 (图6), 对照样和添加了复合添加物的鱼糜肠的疏水相互作用均随 F<sub>0</sub> 值的增加而显著下降 ( $P < 0.05$ ), 且添加复合添加物的鱼糜肠下降幅度更为均匀。但在杀菌前和杀菌后, 相比于对照, 添加了复合添加物的罗非鱼鱼糜肠

的疏水相互作用均有显著增加 ( $P<0.05$ ), 分别达到对照样的 1.09 倍、1.27 倍、1.14 倍和 1.12 倍。这可能是由于外源 TG 酶通过增多  $\epsilon$ -( $\gamma$ -谷氨酰基)赖氨酸共价键的交联而强化了凝胶网络, 对水的束缚能力提高, 水的有序结构更加稳固, 因而其“亲水表”、“疏水里”的结构也更加稳定, 从而提高了疏水相互作用; 且卡拉胶是亲水胶体, 能吸收大量水分而在高温下使水保持有序结构, 也维持了疏水相互作用的稳定。因此, 一方面, 添加了 TG 酶和卡拉胶后, 其疏水相互作用比对照均有显著提高, 另一方面, 疏水相互作用的提高与其表观凝胶强度、硬度、持水性等特性的提高相符, 也进一步验证了疏水相互作用在高温条件下维持鱼糜肠空间网络结构及其表观体现的质构上所发挥的作用。

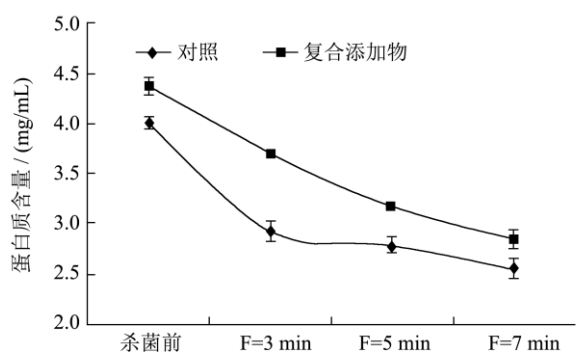


图 6  $F_0$  值对加入复合添加物罗非鱼鱼糜肠疏水相互作用的影响

Fig.6 Effect of the  $F_0$  value on the hydrophobic interactions of tilapia sausage with combination additives

### 3 结论

本文对复合添加了卡拉胶和转谷氨酰胺酶 (TG 酶) 的罗非鱼鱼糜肠在高压湿热灭菌条件 (杀菌温度 121.1 °C 和杀菌时间 14 min、17 min 和 20 min 组合) 下的凝胶强度、TPA 指标 (硬度、内聚性和回复性)、持水性以及化学作用力指标的变化规律进行了研究。结果表明, 其凝胶强度、持水性均显著高于 ( $P<0.05$ ) 未添加上述卡拉胶和 TG 酶的对照样; 添加上述复合添加物的鱼糜肠在硬度、内聚性和回复性上均随着杀菌强度的加大而下降, 但均好于同一杀菌条件下的对照样, 其中硬度和回复性的改善效果显著 ( $P<0.05$ ), 而内聚性的提高效果不明显 ( $P>0.05$ ); 此外, 相比于对照样, 其在该热处理条件下, 疏水相互作用和  $\epsilon$ -( $\gamma$ -谷氨酰基)赖氨酸共价键交联破坏程度显著下降 ( $P<0.05$ ), 二硫键的破坏程度无显著变化 ( $P>0.05$ )。

### 参考文献

[1] Park J W. Surimi and surimi seafood (Second Edition) [M].

USA: Taylor & Francis Group, 2005

- [2] [日]新井健一,山本常治(著),万建荣,洪玉菁(译).冷冻鱼糜 [M].上海:上海科学技术出版社,1991
- Nii Kenichi, Yamamoto Joji. Frozen Surimi [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1991
- [3] Kang I J, Matsumura Y, Ikura K, et al. Gelation and properties of soybean glycinin in a transglutaminase-catalyzed system [J]. J. Agric. Food Chem., 1994, 42: 159-165
- [4] Seguro K, Kumazawa Y, Ohtsuka T, et al. Microbial transglutaminase and  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamyl) lysine crosslink effects on elastic properties of kamaboko gel [J]. J. Food Sci., 1995, 60: 305-311
- [5] Yokoyama K, Nio N, Kikuchi Y. Properties and applications of microbial transglutaminase [J]. Appl. Microbiol. Biotechnol., 2004, 64: 447-454
- [6] 严菁.转谷氨酰胺酶对淡水鱼糜凝胶特性的影响[D].华中农业大学,2003
- YAN Jing. Effect of Transglutaminase on Gel Properties of Freshwater Fishes [D]. Huazhong Agricultural University, 2003
- [7] 赵梅荣,刘良忠.谷氨酰胺转氨酶对草鱼鱼糜品质的影响[J].食品科学,2006,12(27): 170-174
- ZHAO Mei-rong, LIU Liang-zhong. Effect of Transglutaminase on the Quality of Grass Carp Surimi [J]. Food Science, 2006, 12(27): 170-174
- [8] 洪鹏志,章超桦,郝记明,等.TG 酶制剂对鱼糜凝胶强度的影响[J].福建水产,2001,2:20-24
- HONG Peng-zhi, ZHANG Chao-hua, HAO Ji-ming, et al. Infection of Transglutaminase on Surimi Gel-strength [J]. Journal of Fujian Fisheries, 2001, 2: 20-24
- [9] 曾庆孝,李汴生,芮汉明.食品加工与保藏原理(第二版)[M].北京:化学工业出版社,2007
- ZENG Qing-xiao, LI Bian-sheng, RUI Han-ming. Principle of Food Processing and Preservation (2nd Edition) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007
- [10] Cheftel J C, Culioli J. Effect of high pressure on meat: a review [J]. Meat Science, 1997, 46:211-236
- [11] BENJAKUL S, SEYMOUR T A, MORRISSEY M T. Physicochemical changes in pacific whiting muscle proteins duringiced storage [J]. Journal of Food Science, 1997,62 (4): 729-733
- [12] Swaisgood E. Assay for available lysine in proteins [J]. Analytical Biochemistry, 1981, 115(1): 203-211

- [13] Gómez-Guillán M C, Borderías A J, Montero P. Chemical interactions of nonmuscle proteins in the network of sardine (*Sardina pilchardus*) muscle gels [J]. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 1997, 29: 602-608
- [14] Pflug I J, Odlaugh T E. A review of z and F values used to ensure the safety of low-acid canned foods [J]. *Food Technology*, 1978, 32, 63-70
- [15] Pflug I J. Textbook for an introductory course in the microbiology and engineering of sterilization processes (6th Edition) [M]. Minneapolis, MN: Environmental Sterilization Laboratory, 1987
- [16] 殷俊,梅灿辉,陈斌,等.肉丸品质的质构与感官分析[J].现代食品科技,2011,27(1): 50-55
- YIN Jun, MEI Can-hui, CHEN Bin, et al. Sensory Evaluation and Instrumental Measurement of Meatballs [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(1): 50-55