

张美, 蒋家乐, 朱清澄, 等. 不同杀菌处理对秋刀鱼软罐头营养及滋味的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(1): 109–118. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040038

ZHANG Mei, JIANG Jiale, ZHU Qingcheng, et al. Effect of Different Sterilization Treatments on the Nutrition and Taste of Soft Canned Saury[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(1): 109–118. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040038

· 研究与探讨 ·

不同杀菌处理对秋刀鱼软罐头营养及 滋味的影响

张 美¹, 蒋家乐¹, 朱清澄^{2,3}, 花传祥^{2,3}, 陶宁萍^{1,4,*}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2. 国家海洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

4. 上海市水产品加工与保鲜工程技术研究中心, 上海 201306)

摘 要: 本文评估了橄榄油油浸结合超高压杀菌应用于秋刀鱼软罐头加工的潜力, 设置了五种处理方式: 不加橄榄油的未杀菌组、橄榄油油浸的超高压杀菌 (UHPSO) 组、不加橄榄油的超高压杀菌 (UHPS) 组、橄榄油油浸的传统热杀菌 (RSO) 组以及不加橄榄油的传统热杀菌 (RS) 组, 并对不同处理组秋刀鱼软罐头营养 (基本营养成分、氨基酸和脂肪酸) 及滋味 (游离氨基酸和呈味核苷酸) 的相关指标进行对比分析。结果表明: UHPSO 组的粗脂肪、粗蛋白含量高于其他杀菌处理组, 营养价值更高; 不同杀菌处理的秋刀鱼软罐头氨基酸组成均符合 FAO/WHO 推荐模式且不存在限制性氨基酸, UHPSO 组氨基酸评分最高, 尤其是补充含硫氨基酸及赖氨酸的优质来源; 与传统热杀菌相比, 超高压杀菌可以更好抑制不饱和脂肪酸的氧化降解, 结合橄榄油油浸处理的秋刀鱼软罐头是补充 n-3 多不饱和脂肪酸的优质来源。与未杀菌组相比, 4 种杀菌处理均导致游离氨基酸和呈味核苷酸含量增加, 结合滋味活性值和味精当量值, 发现谷氨酸、苏氨酸、天冬氨酸、丙氨酸和次黄嘌呤对秋刀鱼软罐头鲜美滋味的形成具有重要的贡献作用, 其中 UHPSO 组鲜味最强。综合分析, 与传统热杀菌相比, 橄榄油油浸结合超高压杀菌处理的秋刀鱼软罐头营养丰富, 滋味更加鲜美。

关键词: 秋刀鱼软罐头, 橄榄油油浸, 超高压杀菌, 热杀菌, 营养, 滋味

中图分类号: S986.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)01-0109-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040038

本文网刊:



Effect of Different Sterilization Treatments on the Nutrition and Taste of Soft Canned Saury

ZHANG Mei¹, JIANG Jiale¹, ZHU Qingcheng^{2,3}, HUA Chuanxiang^{2,3}, TAO Ningping^{1,4,*}

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;

3. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China)

Abstract: The potential of ultra-high-pressure sterilization combined with olive oil impregnation for the processing of soft canned saury was evaluated in this paper. Five types of treatment were set up: Unsterilized group without olive oil, ultra-high-pressure sterilization group with olive oil impregnation (UHPSO), ultra-high-pressure sterilization group without olive oil (UHPS), conventional retort sterilization group with olive oil impregnation (RSO), and conventional retort sterilization group without olive oil (RS). The indicators related to the nutrition and taste (e.g. basic nutrients, total amino acids, fatty

收稿日期: 2022-04-07

基金项目: 国家重点研发计划“大洋秋刀鱼和头足类高效光诱技术与捕捞装备研发”(2019YFD0901503)。

作者简介: 张美 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养与品质评价, E-mail: 17853722723@163.com。

* 通信作者: 陶宁萍 (1968-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与品质评价, E-mail: nptao@shou.edu.cn。

acids, free amino acids, taste-presenting nucleotides, etc.) of the soft canned saury in different treatment groups were compared and analysed. The results showed that crude fat and crude protein content were higher in the UHPSO group than in the other sterilization treatments, which had higher nutritional value. The amino acid composition of sterilization treatments were in accordance with the FAO/WHO recommendations and there were no limiting amino acids, with the UHPSO group recording the highest amino acid scores, especially for as a good source of supplementary sulphur-containing amino acids and lysine. Compared to conventional retort sterilization, ultra-high pressure sterilization inhibited the oxidative degradation of unsaturated fatty acids, making the soft canned saury were a good sources of n-3 polyunsaturated fatty acids in combination with olive oil impregnation. Compared to the unsterilized group, sterilization treatments resulted in free amino acids and flavoring nucleotides increased. Combining the taste activity values and MSG equivalents, glutamic acid, threonine, aspartic acid, alanine and hypoxanthine were found to contribute significantly to the formation of the umami taste of the soft canned saury, with the UHPSO group displaying the strongest umami taste. In summary, the combination of olive oil impregnation and ultra-high-pressure sterilization sulted in a more nutritious and delicious soft canned saury compared to traditional retort sterilization.

Key words: soft canned saury; olive oil impregnation; ultra-high-pressure sterilization; retort sterilization; nutrition; taste

秋刀鱼(*Cololabis saira*)大多分布于北太平洋中上层,它是一种高脂肪高蛋白的经济洄游性鱼类,成熟期脂肪和蛋白质含量均可达到20%以上。因其具有营养丰富、味道鲜美、价格低廉等优点,深受日本、俄罗斯、韩国等地消费者的喜爱^[1]。

秋刀鱼自然状态下容易腐烂变质,因此提高其贮藏品质至关重要,在各种鱼制品中,真空包装的即食软罐头产品是一种受欢迎的流行食品,由于其杀菌时间短、营养损失较少且携带方便的特点,具有较高的商业价值^[2]。杀菌是延长产品货架期的重要环节,探究杀菌方式对即食肉制品品质的影响已成为研究的热点,如李肖婵等^[3]研究了两种杀菌方式(巴氏杀菌和超高压杀菌)对即食小龙虾货架期的影响,为探索即食小龙虾新型加工方式提供新的思路;刘新然等^[2]研究了不同杀菌方式处理后的卤制四角蛤蜊软罐头在贮藏期间品质的变化,发现经超高压杀菌处理,产品色泽与质构品质要优于传统高温杀菌且对风味成分影响较小;孟少华等^[4]研究了超高压杀菌对西式香肠品质的影响,结果发现,超高压杀菌可抑制香肠中微生物的生长繁殖,且对产品品质影响较小。随着生活节奏的不断加快,高品质、多形式的即食产品越来越受到人们的青睐,传统热杀菌安全可靠,但对产品的营养和外观等方面有较大的影响,超高压杀菌通过液体介质对产品加以100 MPa以上的高压,诱导微生物细胞膜损伤,灭活酶、杀灭各种致病菌,是一种非热杀菌技术,能极大地改善产品的品质,在处理即食肉制品上有广泛的应用前景^[5]。

随着营养学的发展,及消费者生活质量的提升,人们越发注重产品的营养和质量。各食物体系的营养组成(基本营养成分,氨基酸、脂肪酸组成等)一直以来都是研究的热点^[6]。如陈丽丽等^[7]以脆肉鲩鱼肉为研究对象,分析了蒸制、煮制、油炸对其营养品质的影响,结果表明,油炸对基本营养组成影响最大,氨基酸总量明显增大,三种处理方式均导致脂肪酸组成的增加,且蒸制处理的鱼肉具有最高的单不饱和脂肪酸含量;葛孟甜等^[8]研究了巴氏杀菌和高温高压杀

菌对即食小龙虾营养品质的影响,结果发现,巴氏杀菌处理的即食小龙虾必需氨基酸评分高于高温高压杀菌,蛋白质营养品质更高。水产品中风味物质一直以来都是研究的重点,尤其是滋味直接影响消费者对水产品的接受度和满意度。钟明慧等^[9]研究不同蒸制时间下鲟鱼背部肉滋味特征的差异,结果发现,蒸制时间在16 min时鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量显著升高($P<0.05$),呈味核苷酸中5'-肌苷酸和5'-鸟苷酸总量最高,鲜味最佳。因此,研究水产品中营养和滋味组成及含量,已经成为评价水产品质量、改进生产工艺的重要手段。

橄榄油是地中海饮食中最重要的食物之一,是鱼罐头行业最常用的填充介质^[10-12]。研究表明,橄榄油中含有多多种生物活性成分(例如多酚、角鲨烯等),具有抗炎、抗致畸以及抗氧化等功效,可延长产品货架期^[13],王永进^[14]的研究也发现,添加橄榄油可以抑制高脂牛肉在贮藏过程中脂质的氧化降解,改善牛肉的营养品质。橄榄油在热杀菌过程中,可以起到传热介质的作用,可使产品在杀菌过程中受热均匀,改善杀菌过程中表面局部过热的问题,较好地维持产品品质^[10]。在此基础上,本文探索了添加橄榄油对秋刀鱼软罐头杀菌过程中营养和滋味的影响,同时以传统热杀菌为对照,评估了超高压杀菌在加工秋刀鱼软罐头上的潜力,以期优化秋刀鱼深加工提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

冷冻秋刀鱼 福建悠鲜食品有限公司(西北太平洋海捕),体重(125.56 ± 10.22)g,体长(30.12 ± 2.96)cm,共50尾;橄榄油 金龙鱼粮油食品股份有限公司;石油醚、NaOH、 H_2SO_4 、硼酸、盐酸、高氯酸、苯酚、三氯甲烷、甲醇、五水合硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钾、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、浓硫酸、柠檬酸、柠檬酸钠、茚三酮缓冲溶液 均为分析纯,上海柯灵试剂有限公司;三氟化硼-甲醇、正己烷 均为色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;17种混合氨基酸标品 美国Sigma-Aldrich公司;37种脂肪酸甲

酯标准品、十九烷酸及十九烷酸甲酯标准品 上海安谱科技股份有限公司;单磷酸腺苷(AMP)、肌苷酸(IMP) 纯度 $\geq 99\%$,美国 Sigma 公司;蛋白胨 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;PALCAM 琼脂 上海高信化玻仪器有限公司。

DZ-260 真空包装机 青岛康普食品包装机械有限公司;L2-700/1 超高压设备 天津华泰森森超高压装备工程技术有限公司;HX-320 柜式高压灭菌器 德国赛斯太克公司;HPP108 恒温恒湿培养箱 德国 Memmert 公司;Soxtec 2050 自动索式抽提仪、Kjeltec 8400 全自动凯氏定氮仪 丹麦 FOSS 公司;Fine Box-6100 马弗炉 浙江泛泰仪器有限公司;SENCO GC17 旋转蒸发仪 德国 IKA 集团;L-8800 氨基酸自动分析仪 日本日立公司;TRACE GC ULTRA 气相色谱仪 美国 Thermo Fisher 公司;DHG-9140A 电热鼓风干燥箱 上海慧泰仪器制造有限公司;FD-80 真空干燥箱 北京博医康实验仪器有限公司;UV-2200 紫外分光光度计 美国 Unico 公司;Waters 2695 高效液相色谱仪 美国 Waters 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 秋刀鱼软罐头的制作工艺 根据预实验结果,确定秋刀鱼软罐头的制作工艺:将解冻后的秋刀鱼去除头、尾和内脏,用水洗净并分割成 6 cm 的鱼段。按固液比 1:2(g/mL)于 12% 的食盐水中浸渍 40 min。腌制后的鱼段置于蒸锅中蒸制 15 min。将加热到 180~200 °C 的橄榄油冷却至 80~90 °C 备用。样品分为两组,一组鱼段与橄榄油(10.00 g)置于经紫外杀菌的耐高温蒸煮真空袋(9×13 cm)进行真空密封;另一组不加橄榄油进行真空密封。两组样品分别进行传统热杀菌处理(20 min~5 min~20 min/121 °C^[15])和超高压杀菌处理(600 MPa/10 min^[16])。

实验分组如下:橄榄油浸渍结合超高压杀菌(ultra-high pressure sterilized with olive oil impregnation, UHPSO)组、不加橄榄油结合超高压杀菌(ultra-high pressure sterilized without olive oil impregnation, UHPS)组、橄榄油浸渍结合传统热杀菌(retort sterilized with olive oil impregnation, RSO)组、不加橄榄油结合传统热杀菌(retort sterilized without olive oil impregnation, RS)组以及未杀菌组。

1.2.2 微生物指标的测定 菌落总数(total viable count, TVC)和单核细胞增生李斯特氏菌(*Listeria monocytogenes* count, LMC):根据中国食品安全国家标准 GB 4789.2-2016 和 GB 4789.30-2016 稍作修改,将不同处理的真空包装的秋刀鱼在超净工作台上于无菌环境下打开,取 2.5 g 样品和 22.5 mL 蛋白胨水(0.1%)转移到无菌均质袋中充分混合。随后,用蛋白胨水进行 4 次 10 倍梯度稀释。不同稀释液依次取 100 μ L 液体在平板计数琼脂和 PALCAM 琼脂培养基上均匀涂布,分别于恒温恒湿培养箱在(30 $\pm$ 1) °C、(45%~60% RH)培养 3 d 和(37 $\pm$ 1) °C、(45%

~60% RH)培养 2 d 后,进行菌落总数和单核细胞增生李斯特菌数的计数。

1.2.3 基本营养成分的测定 参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》对基本营养成分进行测定。

1.2.4 氨基酸的测定 参照 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》和乐彩虹等^[17]的方法。称 1.50 g 样品于水解瓶中,加入 10.00 mL 含有 1% 苯酚的 6 mol/L 的盐酸溶液,抽真空,于 110 °C 电热鼓风干燥箱水解 22 h 后取 1.00 mL 滤液至试管中,经 50 °C 真空(真空度为-96 KPa)干燥后添加 2.00 mL pH2.2 的柠檬酸钠缓冲液,经过 0.22 μ m 水相膜过滤后,于氨基酸自动分析仪上进行测定(色氨酸采用碱水解,荧光分光光度法测定^[18])。

氨基酸评分:根据 1991 年 FAO/WHO 推荐的氨基酸评分模式^[19]按公式(1)计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)。

$$\text{AAS} = \frac{\text{样品蛋白质中氨基酸含量(mg/g)}}{\text{FAO/WHO评分模式必需氨基酸含量(mg/g)}} \quad \text{式(1)}$$

1.2.5 脂肪酸的测定 参照 Zhang 等^[20]的方法。称取鱼肉 10.00 g,氯仿/甲醇(2:1, V/V)浸提 24 h 后,旋转蒸发有机溶剂得到总脂肪。取 0.08~0.10 g 上述脂肪,用三氟化硼-甲醇法将脂肪酸甲酯化,取上清液经 0.22 μ m 有机相滤膜过滤后,于气相色谱仪中进行测定。

气相色谱条件:色谱柱为 Agilent SP-2560 毛细管柱(100 m×0.25 mm×0.2 μ m);检测器为 FID;升温程序为起始温度 70 °C,以 50 °C/min 升至 140 °C,保持 1 min,3 °C/min 升至 225 °C,保持 30 min,汽化室温度 250 °C;载气 N₂;柱流速 1 mL/min;分流比 45:1,进样量 1 μ L^[20]。

1.2.6 游离氨基酸的测定 根据张艳霞等^[21]略加修改,取鱼肉 1.50 g 与 15 mL 5% 三氯乙酸(TCA)溶液均质化,经 5 min 超声,然后稳定 2 h (4 °C),之后离心(10000 g)10 min,取 5 mL 上清液,用 NaOH 溶液(6 mol/L 和 1 mol/L)调 pH 至 2.0,待所有溶液定容至 10 mL 容量瓶中,经水相膜(孔径为 0.22 μ m)过滤后,采用氨基酸自动分析仪进行分析。

测试参数为:阳离子交换树脂;分离柱(4.6 mm×60 mm);分离柱温度为 57 °C;1 通道流速为 0.4 mL/min;2 通道流速为 0.35 mL/min;流动相: pH3.2、3.3、4.0、4.9 的柠檬酸钠和柠檬酸的混合缓冲液以及质量分数为 4% 的茚三酮缓冲溶液^[22]。

1.2.7 呈味核苷酸的测定 根据周纷等^[22]略加改动。取鱼肉 2.50 g 与 10 mL 高氯酸(10%)溶液均质化,

超声后离心(10000 g) 15 min, 沉淀用 5 mL 高氯酸(5%)溶液重复以上操作, 将两次所得上清液合并, 经 KOH 溶液(6 mol/L 和 1 mol/L)调 pH 至 6.2, 溶液定容至 50 mL 容量瓶中, 经过水相膜(孔径为 0.22 μm)过滤后, 采用高效液相色谱进行分析。

测试参数为: 色谱柱为 ODS-3(4.6 mm $\times$ 250 mm, 5 μm); 流动相: A 为甲醇溶液, B 为 0.02 mol/L 磷酸二氢钾和磷酸氢二钾溶液 (A:B=3:97), 用磷酸调节 pH 为 6.5, 等梯度洗脱; 流速 1 mL/min; 柱温 28 $^{\circ}\text{C}$; 进样量 10 μL ; 检测波长 254 nm^[22]。

1.2.8 滋味活性值的计算 滋味活性值(taste activity value, TAV), 能够表明某种滋味物质是否对味觉产生明显作用, 按公式(2)计算:

$$\text{TAV} = c/T \quad \text{式 (2)}$$

式中: c : 样品中滋味物质的浓度 (mg/g); T : 该滋味物质的阈值 (mg/100 g); 当 $\text{TAV}<1$ 时, 表示该物质对滋味贡献不大; 当 $\text{TAV}>1$ 时, 表示该物质对滋味贡献较大, 且数值越大, 贡献越大。

1.2.9 味精当量值的计算 味精当量(equivalent umami concentration, EUC)按公式(3)计算:

$$\text{EUC} = \sum a_i b_i + 1218(\sum a_i b_i)(\sum a_i b_i) \quad \text{式 (3)}$$

式中: a_i : 鲜味氨基酸的含量(g/100 g); b_i : 鲜味氨基酸相对于 MSG 的相对鲜味系数 (ASP: 0.077; Glu: 1); a_j : 呈味核苷酸的含量(g/100 g); b_j : 呈味核苷酸相对于 IMP 的相对鲜味系数 (IMP: 1; GMP: 2.3; AMP: 2.8); 1218: 协同作用常数。

1.3 数据处理

所有指标的测定均重复 3 次, 结果用平均值 $\pm$ 标准偏差的形式表示。使用 SPSS 19.0 软件对数据进行 Duncan's 多重比较并分析差异性($P<0.05$ 表示差异显著)。

2 结果与分析

2.1 微生物安全性

根据国标 GB/T 4789.26-2013 对不同杀菌处理 0 d 的产品进行微生物指标检测, 结果如表 1 所示。菌落总数不是食品安全的直接指标, 但是可用于评估食品在加工过程中的卫生状况^[23]。未杀菌的秋刀鱼肉菌落总数为 55 CFU/g, 经四种不同杀菌处理后,

表 1 不同处理组秋刀鱼肉微生物指标(CFU/g)

Table 1 Microbiological activity of saury meat in different treatment groups (CFU/g)

组别	指标限值		微生物存活量	
	TVC	LMC	TVC	LMC
未杀菌组			55 $\pm$ 21	未检出
UHPSO组			未检出	未检出
UHPS组	$\leq 1 \times 10^5$	不得检出	未检出	未检出
RSO组			未检出	未检出
RS组			未检出	未检出

菌落总数均未检出, 表明秋刀鱼软罐头加工过程中卫生状况良好。单核细胞增生李斯特菌为冷藏秋刀鱼的优势腐败菌, 该菌具有嗜冷性, 能在低至 4 $^{\circ}\text{C}$ 的温度下生存和繁殖; 对热耐力较强, 可耐受巴氏消毒温度(71.7 $^{\circ}\text{C}$, 15 s), 食品法典委员会和欧盟仅对即食食品中单核细胞增生李斯特菌作出了限量^[24], 杀菌过程中产品均未检出单增李斯特菌, 表明产品微生物安全性良好。

2.2 不同杀菌处理对基本营养成分的影响

表 2 为不同处理组秋刀鱼肉基本营养成分的分析结果, 与未杀菌组相比, 经杀菌处理后产品的水分含量均显著降低($P<0.05$), 在相同包装方式下对比两种杀菌方式, 发现高温和高压处理均会使秋刀鱼鱼肉肌纤维蛋白变性, 结构被破坏, 持水性下降, 但超高压杀菌处理组产品水分流失较多, 推测高压对秋刀鱼组织机械损伤更大, 截留水分的综合能力变弱^[25]; 在相同杀菌处理下, 发现油浸处理组秋刀鱼肉水分含量高于非油浸组但无显著性差异($P>0.05$), 表明橄榄油油浸有利于产品杀菌过程中水分的保留, 从而维持产品的口感。鱼肉的营养价值主要取决于蛋白质和脂肪的含量^[26], 与未杀菌组相比, 杀菌处理后秋刀鱼的粗蛋白和灰分含量均增加但组间差异不显著($P>0.05$), 这可能是由于杀菌过程中水分流失较多, 致使其干物质的相对含量增加。杀菌处理后秋刀鱼肉粗脂肪含量下降, 有研究表明, 当压力超过 400 MPa 时, 脂肪一级氧化被促进, 导致超高压杀菌组脂肪含量下降^[27]; 而传统热杀菌处理使得秋刀鱼肉表面区域长时间暴露在高温下, 加快脂肪氧化降解, 导致脂肪含量降低, 综合而言, UHPSO 组秋刀鱼软罐头营养品质较高。

表 2 不同处理组秋刀鱼肉基本营养成分
(g/100 g, $n=3$, 湿重)

Table 2 Basic nutrient composition of saury meat in different treatment groups (g/100 g, $n=3$, wet weight)

组别	水分	粗脂肪	粗蛋白	灰分
未杀菌组	66.56 $\pm$ 0.91 ^a	10.42 $\pm$ 0.44 ^a	23.71 $\pm$ 0.14 ^b	0.94 $\pm$ 0.16 ^b
UHPSO组	62.90 $\pm$ 0.54 ^{bc}	10.01 $\pm$ 0.28 ^{ab}	25.75 $\pm$ 0.36 ^a	1.08 $\pm$ 0.08 ^b
UHPS组	61.93 $\pm$ 0.99 ^c	9.85 $\pm$ 0.19 ^{ab}	25.51 $\pm$ 0.17 ^a	1.12 $\pm$ 0.13 ^{ab}
RSO组	63.79 $\pm$ 1.01 ^b	9.68 $\pm$ 0.18 ^{ab}	25.37 $\pm$ 0.19 ^a	1.25 $\pm$ 0.09 ^{ab}
RS组	62.47 $\pm$ 0.35 ^{bc}	9.46 $\pm$ 0.11 ^b	25.49 $\pm$ 0.06 ^a	1.43 $\pm$ 0.11 ^a

注: 同列字母不同代表差异显著($P<0.05$); 表8同。

2.3 不同杀菌处理对氨基酸组成的影响

不同处理组中氨基酸组成见表 3, 5 种处理组共检测出 18 种氨基酸, 其中包括 8 种必需氨基酸(essential amino acid, EAA)和 10 种非必需氨基酸(non-essential amino acid, NEAA)。氨基酸总量(total amino acid, TAA) (33.64~44.40 g/100 g)远高于草鱼(16.93 g/100 g)、大黄鱼(16.75g/100 g)^[28]。不同处理组间 TAA 含量存在显著性差异($P<0.05$), 由高到低依次是: 未杀菌组>UHPSO 组>UHPS 组

表 3 不同处理组秋刀鱼肉中氨基酸的组成(g/100 g, n=3, 湿重)

Table 3 The composition of amino acids in saury meat in different treatment groups (g/100 g, n=3, wet weight)

氨基酸	未杀菌组	UHPSO组	UHPS组	RSO组	RS组
天冬氨酸 ^a Asp	4.51±0.03 ^a	4.01±0.01 ^b	3.72±0.09 ^c	3.72±0.03 ^c	3.57±0.04 ^d
苏氨酸 ^a Thr	2.26±0.03 ^a	2.00±0.01 ^b	1.84±0.07 ^c	1.82±0.01 ^c	1.69±0.12 ^c
丝氨酸 ^a Ser	1.87±0.09 ^a	1.76±0.00 ^{ab}	1.59±0.08 ^c	1.61±0.03 ^{bc}	1.46±0.07 ^c
谷氨酸 ^a Glu	5.54±0.02 ^a	5.10±0.06 ^b	4.75±0.08 ^c	4.71±0.07 ^c	4.37±0.25 ^d
甘氨酸 ^a Gly	2.04±0.08 ^a	1.75±0.04 ^b	1.66±0.07 ^{bc}	1.65±0.02 ^{bc}	1.60±0.08 ^c
丙氨酸 ^a Ala	2.54±0.07 ^a	2.31±0.02 ^b	2.22±0.07 ^{bc}	2.22±0.01 ^{bc}	2.07±0.14 ^c
半胱氨酸 ^a Cys	0.70±0.04 ^a	0.49±0.01 ^b	0.30±0.17 ^c	0.37±0.04 ^{bc}	0.36±0.33 ^{bc}
缬氨酸 ^a Val	2.11±0.15 ^a	1.84±0.02 ^b	1.79±0.05 ^b	1.67±0.12 ^b	1.67±0.11 ^b
蛋氨酸 ^a Met	1.86±0.03 ^a	1.43±0.02 ^b	1.17±0.12 ^{cd}	1.22±0.06 ^c	1.04±0.04 ^d
异亮氨酸 ^a Iso	1.72±0.02 ^a	1.55±0.06 ^{ab}	1.47±0.10 ^{bc}	1.33±0.08 ^c	1.38±0.05 ^c
亮氨酸 ^a Leu	3.71±0.08 ^a	3.33±0.03 ^b	3.12±0.02 ^c	3.04±0.04 ^{cd}	2.90±0.13 ^d
酪氨酸 ^a Tyr	1.70±0.22 ^a	1.44±0.01 ^{ab}	1.31±0.01 ^{bc}	1.26±0.03 ^{bc}	1.16±0.02 ^c
苯丙氨酸 ^a Phe	1.94±0.04 ^a	1.79±0.03 ^b	1.70±0.01 ^{bc}	1.62±0.06 ^{cd}	1.54±0.04 ^d
赖氨酸 ^a Lys	3.99±0.07 ^a	3.49±0.09 ^b	3.34±0.01 ^b	3.27±0.06 ^{bc}	3.01±0.19 ^c
组氨酸 ^a His	2.71±0.03 ^a	2.32±0.07 ^{bc}	2.50±0.09 ^{ab}	2.53±0.18 ^{ab}	2.12±0.12 ^c
精氨酸 ^a Arg	2.68±0.06 ^a	2.60±0.01 ^{ab}	2.43±0.04 ^{bc}	2.34±0.07 ^c	2.25±0.15 ^c
脯氨酸 ^a Pro	2.09±0.07 ^a	1.63±0.05 ^b	1.54±0.06 ^b	1.53±0.02 ^b	1.47±0.08 ^b
色氨酸 ^a Trp	0.41±0.01 ^a	0.40±0.01 ^b	0.36±0.01 ^c	0.38±0.01 ^b	0.34±0.01 ^d
EAA	18.02±0.29 ^a	15.84±0.25 ^b	14.79±0.06 ^c	14.34±0.32 ^c	13.34±0.39 ^d
NEAA	21.00±0.21 ^a	18.48±0.19 ^b	17.08±0.63 ^c	17.06±0.03 ^c	15.92±0.62 ^d
UAA	14.63±0.10 ^a	13.16±0.12 ^b	12.35±0.31 ^c	12.30±0.01 ^c	11.61±0.43 ^d
TAA	44.40±0.12 ^a	39.24±0.51 ^b	36.80±0.64 ^c	36.27±0.54 ^c	33.64±1.28 ^d
EAA/TAA(%)	40.59	40.37	40.19	39.54	39.66
EAA/NEAA(%)	85.81	85.71	86.59	84.06	83.95
UAA/TAA(%)	32.95	33.54	33.56	33.91	34.51

注: ^a表示必需氨基酸; ^b表示鲜味氨基酸; EAA表示必需氨基酸; NEAA表示非必需氨基酸; UAA表示鲜味氨基酸; TAA表示总氨基酸; 同行字母不同代表差异显著($P<0.05$); 表5、表6同。

>RSO 组>RS 组。与未杀菌组相比, 杀菌后 TAA 含量显著降低($P<0.05$), 但超高压杀菌后 TAA 含量显著高于传统热杀菌($P<0.05$), 这是由于超高压作用于食品时主要破坏非共价键, 而对共价键影响较小, 蛋白质的一级结构不变, 对氨基酸组成影响较小^[29]; 传统热杀菌在高温条件下不仅会破坏蛋白质的非共价键, 共价键也会遭到破坏, 当温度升高到一定程度时, 某些氨基酸(如含硫氨基酸)会发生氧化或美拉德反应而流失^[5]。杀菌处理显著降低 EAA 及鲜味氨基酸(umami amino acid, UAA)的含量($P<0.05$), 4 种杀菌处理组中赖氨酸和亮氨酸含量均较高, 且 EAA/TAA 均接近 FAO/WHO 的理想模式(40%)。鱼肉中 UAA/TAA 比例越大则说明鱼肉的味道越鲜美, 与未杀菌组(32.95%)相比, 4 种处理组 UAA/TAA 分别为 33.54%、33.56%、33.91% 和 34.51%, 说明杀菌后产品的鲜味氨基酸比例上升, 整体滋味有所改善。

为进一步评估秋刀鱼肉中氨基酸的营养价值, 采用 1991 年 FAO/WHO 推荐氨基酸评分模式对 EAA 进行评价(表 4)。除了 RS 组, UHPSO 组、UHPS 组和 RSO 组氨基酸评分最高均为(蛋氨酸+半胱氨酸), 赖氨酸评分第二, 原因可能是高温会促进蛋氨酸和半胱氨酸等含硫氨基酸参与美拉德及 Strecker 降解反应, 使其含量减少^[30]。4 种杀菌处理中色氨酸评

分最低, 但均满足 AAS>1, 表明不同处理组产品均不存在限制性氨基酸, 能满足人体日常需求。在相同包装方式下对比两种杀菌, 发现超高压杀菌组必需氨基酸评分均高于传统热杀菌组, 表明超高压杀菌组氨基酸组成更合理, 营养价值更高; 相同杀菌方式下, 橄榄油油浸处理必需氨基酸评分高于非油浸处理, 推测橄榄油油浸有助于秋刀鱼鱼肉杀菌过程中氨基酸的保留, 维持产品的营养品质。

表 4 不同处理组秋刀鱼肉中必需氨基酸评分

Table 4 Scores of essential amino acids in saury meat in different treatment groups

氨基酸	FAO/WHO模式	未杀菌组	UHPSO组	UHPS组	RSO组	RS组
Thr	34	2.80	2.29	2.12	2.10	1.95
Val	35	2.55	2.04	2.01	1.88	1.74
Iso	28	2.59	2.15	2.06	1.88	1.78
Leu	66	2.37	1.96	1.85	1.81	1.72
Met+Cys	25	4.33	2.98	2.31	2.51	1.98
Phe+Tyr	63	2.44	1.99	1.87	1.80	1.68
Lys	58	2.90	2.34	2.25	2.22	2.04
Trp	11	1.59	1.40	1.28	1.37	1.22

综上, 4 种杀菌处理后产品的氨基酸组成合理、含量丰富, 整体滋味改善, 尤其是含硫氨基酸和赖氨酸的优质蛋白质来源, 且 UHPSO 组秋刀鱼软罐头 AAS 评分高于另外 3 种处理组, 营养更加均衡。

表 5 不同处理组秋刀鱼肉中脂肪酸的组成(mg/g, n=3, 湿重)

Table 5 Fatty acid composition of saury meat in different treatment groups (mg/g, n=3, wet weight)

脂肪酸	未杀菌组	UHPSO 组	UHPS组	RSO组	RS组
C14:0	4.24±0.13 ^b	4.37±0.13 ^{ab}	4.42±0.02 ^{ab}	4.49±0.14 ^a	4.52±0.05 ^a
C16:0	8.38±0.25 ^b	8.75±0.06 ^{ab}	8.80±0.32 ^a	8.82±0.03 ^a	9.10±0.19 ^a
C18:0	2.05±0.04 ^a	2.11±0.05 ^a	2.12±0.02 ^a	2.11±0.09 ^a	2.16±0.02 ^a
C20:0	0.22±0.02 ^a	0.22±0.01 ^a	0.23±0.03 ^a	0.23±0.05 ^a	0.25±0.02 ^a
C22:0	0.56±0.76 ^a	0.57±0.07 ^a	0.58±0.01 ^a	0.58±0.01 ^a	0.58±0.02 ^a
SFA	15.45±0.49 ^b	16.04±0.06 ^{ab}	16.15±0.29 ^a	16.23±0.15 ^a	16.60±0.22 ^a
C16:1	1.57±0.04 ^a	1.53±0.03 ^a	1.54±0.03 ^a	1.50±0.06 ^a	1.48±0.01 ^a
C18:1	6.93±0.05 ^a	7.11±0.40 ^a	7.19±0.02 ^a	7.12±0.08 ^a	7.23±0.02 ^a
C20:1	5.83±0.22 ^a	5.67±0.15 ^a	5.60±0.00 ^{ab}	5.51±0.08 ^{ab}	5.28±0.17 ^b
C22:1	6.22±0.44 ^b	7.28±0.38 ^{ab}	7.43±1.35 ^{ab}	7.26±0.12 ^{ab}	8.24±0.58 ^a
C24:1	0.48±0.08 ^a	0.48±0.00 ^a	0.47±0.01 ^a	0.46±0.03 ^a	0.46±0.01 ^a
MUFA	21.03±0.21 ^b	22.07±0.91 ^{ab}	22.23±1.31 ^{ab}	21.85±0.03 ^{ab}	22.69±0.40 ^a
C18:2n-6	1.16±0.14 ^a	1.10±0.11 ^a	1.12±0.04 ^a	1.12±0.04 ^a	1.11±0.01 ^a
C18:3n-6	0.17±0.02 ^a	0.16±0.00 ^a	0.17±0.03 ^a	0.17±0.01 ^a	0.15±0.01 ^a
C18:3n-3	0.46±0.02 ^a	0.49±0.13 ^a	0.44±0.03 ^a	0.45±0.01 ^a	0.44±0.01 ^a
C20:2	1.90±0.09 ^{ab}	1.97±0.04 ^a	1.83±0.06 ^{abc}	1.80±0.08 ^{bc}	1.73±0.02 ^c
C20:3n-3	0.25±0.00 ^a	0.24±0.00 ^a	0.24±0.01 ^a	0.25±0.01 ^a	0.23±0.02 ^a
C22:2	0.48±0.01 ^a	0.48±0.04 ^a	0.44±0.00 ^a	0.39±0.01 ^b	0.38±0.02 ^b
C20:5n-3	4.30±0.03 ^a	4.26±0.05 ^a	4.21±0.03 ^{ab}	4.14±0.06 ^b	4.03±0.03 ^c
C22:6n-3	13.34±0.12 ^a	13.08±0.35 ^{ab}	12.87±0.09 ^b	12.47±0.24 ^c	11.38±0.02 ^d
PUFA	22.06±0.28 ^a	21.77±0.38 ^{ab}	21.34±0.00 ^b	20.78±0.33 ^c	19.46±0.05 ^d
EPA+DHA	17.64±0.14 ^a	17.34±0.40 ^{ab}	17.09±0.06 ^b	16.61±0.29 ^c	15.41±0.05 ^d
∑n-3 PUFA	18.35±0.14 ^a	18.08±0.27 ^{ab}	17.77±0.08 ^b	17.31±0.27 ^c	16.09±0.06 ^d
∑n-6 PUFA	1.33±0.15 ^a	1.26±0.12 ^a	1.29±0.01 ^a	1.28±0.05 ^a	1.26±0.01 ^a
∑n-6/∑n-3 PUFA	0.07±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.07±0.00 ^a	0.07±0.00 ^a	0.08±0.00 ^a

2.4 不同杀菌处理对脂肪酸组成的影响

5 种处理组共检测到 18 种脂肪酸(表 5), 包括 5 种饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA), 5 种单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和 8 种多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA), 其中, 不饱和脂肪酸总量均在 70% 以上。与未杀菌组相比, 4 种杀菌处理后, SFA 和 MUFA 的含量显著增加($P<0.05$), RS 组最高; 其中, 主要的 SFA 是肉豆蔻酸(C14:0)、棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0), 是秋刀鱼脂香味的主要贡献者; 主要的 MUFA 是油酸(C18:1)、花生一烯酸(C20:1)和芥酸(C22:1), 能够降低心血管疾病和许多相关炎症的风险^[31]; PUFA 的含量显著降低且组间差异显著($P<0.05$), 从高到低依次是: UHPSO 组>UHPS 组>RSO 组>RS 组, 这是由于 300 MPa 及以上的压力以及高温热处理会使磷脂中部分 PUFA 氧化降解, 比例显著降低, 而 SFA 和 MUFA 的比例显著增加^[32]。在相同包装方式下对比两种杀菌, 发现超高压杀菌样品中 PUFA 的含量均为最高, 推测由于传统热杀菌样品长时间暴露于高温环境, 使得部分游离脂肪酸以汁液形式流失^[33]。相同杀菌方式下对比橄榄油油浸和非油浸, 发现橄榄油油浸组 PUFA 高于非油浸组, 推测由于橄榄油中富含抗氧化活性物质(如多酚类物质、维生素 E 等), 可以抑制杀菌过程中脂肪酸的氧化降解^[34]。

n-6 PUFA 和 n-3 PUFA 是人体必需的两类脂肪

酸, 膳食中 n-6/n-3 PUFA 的摄入比例过高会诱发癌症、自身免疫性疾病等疾病, 建议饮食中 n-6/n-3 PUFA 应小于 4.00^[35]。与未杀菌组相比, 杀菌处理后秋刀鱼软罐头中 n-6/n-3 PUFA (0.07~0.08)无显著变化($P>0.05$)且远低于推荐比例, 可见杀菌后的秋刀鱼软罐头符合健康饮食要求, 尤其是 UHPSO 组 n-3 PUFA 含量最高, 是补充 EPA 和 DHA 的优质膳食来源。

综上, 橄榄油油浸结合超高压杀菌处理后的秋刀鱼软罐头脂肪酸膳食营养价值较高。

2.5 不同杀菌处理对游离氨基酸含量的影响

由表 6 可知, 5 种处理组共测得 17 种游离氨基酸, 杀菌后的秋刀鱼肉游离氨基酸含量增加, 由高到低依次为 RS 组>UHPS 组>RSO 组>UHPSO 组>未杀菌组, 这与姜慧娴等^[36]研究结果一致, 推测可能是杀菌过程促进了蛋白质和肽类的水解, 使其游离氨基酸含量增加; 另一原因可能是杀菌过程使鱼肉质度发生改变, 表面呈疏松多孔状, 有利于游离氨基酸的溶出。在相同包装方式下对比两种杀菌, 传统热杀菌组中游离氨基酸含量高于超高压杀菌组, 这是由于高温加热过程使得鱼肉中蛋白质降解生成游离氨基酸^[37]。值得注意的是, 在相同杀菌方式下对比橄榄油油浸和非油浸, 发现添加橄榄油组游离氨基酸总量要低于不加橄榄油组, 据此推测橄榄油中生物活性物质(如色素、生育酚和多酚等)具有抗氧化活性, 可以抑制秋刀鱼软罐头杀菌过程中蛋白质的水解, 维持产品的原

表 6 秋刀鱼软罐头游离氨基酸种类及含量 (mg/g, x±s, n=3, 湿重)

Table 6 Types and contents of free amino acids in soft canned saury (mg/g, x±s, n=3, wet weight)						
氨基酸	呈味特征	未杀菌组	UHPSO组	UHPS组	RSO组	RS组
天冬氨酸Asp	甜/鲜(+)	2.69±0.69 ^a	2.90±0.23 ^a	3.37±0.04 ^a	3.23±0.79 ^a	3.41±0.30 ^a
苏氨酸Thr	甜(+)	1.30±0.15 ^b	1.44±0.12 ^{ab}	1.64±0.02 ^a	1.61±0.40 ^a	1.69±0.17 ^a
丝氨酸Ser	甜(+)	1.10±0.05 ^b	1.25±0.07 ^{ab}	1.46±0.05 ^a	1.41±0.36 ^a	1.46±0.17 ^a
谷氨酸Glu	鲜(+)	3.74±1.08 ^a	3.73±0.26 ^a	4.26±0.15 ^a	4.13±1.04 ^a	4.35±0.34 ^a
甘氨酸Gly	甜(+)	1.34±0.19 ^a	1.36±0.09 ^a	1.49±0.01 ^a	1.43±0.35 ^a	1.53±0.16 ^a
丙氨酸Ala	甜(+)	1.71±0.33 ^a	1.77±0.14 ^a	2.01±0.03 ^a	1.89±0.43 ^a	2.04±0.20 ^a
半胱氨酸Cys	苦/甜/硫(-)	0.13±0.09 ^c	0.16±0.03 ^{bc}	0.34±0.04 ^{ab}	0.34±0.18 ^a	0.28±0.17 ^{abc}
缬氨酸Val	甜/苦(-)	1.47±0.19 ^a	1.43±0.12 ^a	1.51±0.08 ^a	1.54±0.30 ^a	1.64±0.06 ^a
蛋氨酸Met	甜/苦(-)	0.52±0.20 ^b	0.89±0.02 ^a	1.11±0.07 ^a	1.11±0.36 ^a	1.08±0.18 ^a
异亮氨酸Ile	苦(-)	1.16±0.35 ^a	1.17±0.06 ^a	1.21±0.05 ^a	1.30±0.29 ^a	1.35±0.01 ^a
亮氨酸Leu	苦(-)	2.32±0.65 ^a	2.48±0.15 ^a	2.75±0.02 ^a	2.71±0.65 ^a	2.86±0.20 ^a
酪氨酸Tyr	苦(-)	0.95±0.62 ^a	0.99±0.04 ^a	1.14±0.01 ^a	1.15±0.31 ^a	1.20±0.08 ^a
苯丙氨酸Phe	苦(-)	1.24±0.11 ^b	1.31±0.06 ^{ab}	1.47±0.03 ^{ab}	1.45±0.36 ^{ab}	1.56±0.09 ^a
赖氨酸Lys	苦(-)	0.93±0.01 ^c	2.57±0.20 ^b	2.95±0.00 ^{ab}	2.87±0.69 ^{ab}	3.06±0.20 ^a
组氨酸His	甜/苦(-)	1.86±0.36 ^b	1.81±0.13 ^b	2.29±0.12 ^a	1.95±0.41 ^b	2.29±0.06 ^a
精氨酸Arg	甜/苦(+)	1.77±0.35 ^b	1.92±0.16 ^{ab}	2.12±0.03 ^{ab}	2.11±0.50 ^{ab}	2.23±0.18 ^a
脯氨酸Pro	甜/苦(+)	1.60±0.46 ^a	1.25±0.09 ^a	1.38±0.01 ^a	1.33±0.33 ^a	1.41±0.15 ^a
ΣTAA		25.81	28.44	32.46	31.55	33.41
ΣUAA		6.43	6.63	7.63	7.36	7.76
ΣSAA		7.18	7.23	8.32	8.01	8.41
ΣBAA		12.22	14.57	16.55	16.19	17.27

注: “+”表示令人愉悦的口感; “-”表示令人不快的口感; TAA表示总氨基酸; UAA表示鲜味氨基酸; SAA表示咸味氨基酸; BAA表示苦味氨基酸。

表 7 不同处理秋刀鱼软罐头的 TAV 值

Table 7 TAV value of soft canned saury with different treatments						
氨基酸	滋味阈值(mg/100 g)	未杀菌组	UHPSO组	UHPS组	RSO组	RS组
天冬氨酸Asp	100	2.69	3.37	2.90	3.23	3.41
苏氨酸Thr	260	0.50	0.63	0.55	0.62	0.65
丝氨酸Ser	150	0.73	0.97	0.83	0.94	0.97
谷氨酸Glu	30	12.45	14.21	12.42	13.76	14.50
甘氨酸Gly	130	1.03	1.15	1.05	1.10	1.17
丙氨酸Ala	60	2.85	3.34	2.95	3.14	3.40
缬氨酸Val	40	3.67	3.77	3.57	3.85	4.10
蛋氨酸Met	30	1.74	3.68	2.95	3.69	3.58
异亮氨酸Ile	90	1.29	1.34	1.30	1.44	1.49
亮氨酸Leu	190	1.22	1.45	1.30	1.43	1.50
苯丙氨酸Phe	90	1.38	0.02	0.01	0.02	0.02
赖氨酸Lys	50	1.85	5.91	5.14	5.74	6.11
组氨酸His	20	9.29	11.43	9.06	9.73	11.42
精氨酸Arg	50	3.54	4.23	3.84	4.22	4.46
脯氨酸Pro	300	0.53	0.46	0.42	0.44	0.47

有品质。

为进一步观察各游离氨基酸对产品滋味贡献程度,对滋味活性值(TAV)进行计算,TAV 值大于 1 的游离氨基酸对产品的滋味具有重要贡献^[38]。由表 7 可知,谷氨酸的 TAV 值最高,是秋刀鱼鲜美滋味最重要的贡献者。此外,与未杀菌组相比,杀菌处理降低苦味氨基酸(如苯丙氨酸等)的贡献度,对秋刀鱼软罐头的整体滋味进行改善。

2.6 不同杀菌处理对呈味核苷酸含量的影响

肌苷酸(inosinemonphosphate, IMP)和单磷酸腺

苷(adenosine monophosphate, AMP)是鱼肉中主要的呈味核苷酸,对水产品滋味有重要贡献,IMP 是鲜味极强的风味增强剂,可与其他物质(如 L-谷氨酸等)协同增强水产品的鲜味^[39]; AMP 可以抑制苦味,增强咸味和甜味^[40]。由表 8 可知,不同处理组秋刀鱼软罐头中含量最高的核苷酸均为 IMP,含量由高到低依次为: UHPSO 组>UHPS 组>RSO 组>RS 组>未杀菌组,在相同包装方式下对比两种杀菌,油浸组超高压杀菌后秋刀鱼软罐头的 IMP 含量显著高于油浸组传统热杀菌组($P<0.05$);相同杀菌方式下对比

表8 秋刀鱼软罐头呈味核苷酸含量、味道强度值及味精当量

Table 8 Flavor nucleotide content, flavor intensity value and MSG equivalent in soft canned saury

组别	IMP(mg/100 g)	AMP(mg/100 g)	TAV		EUC(g MSG/100 g)
			IMP	AMP	
未杀菌组	63.23±7.04 ^b	26.64±1.16 ^a	2.53±0.28 ^c	0.53±0.02 ^a	3.67±0.35 ^b
UHPSO组	120.31±21.63 ^a	28.35±1.90 ^a	5.22±2.09 ^a	0.57±0.04 ^a	6.43±1.03 ^a
UHPS组	87.55±14.47 ^b	28.20±0.11 ^a	3.50±0.58 ^b	0.56±0.00 ^a	5.55±0.80 ^a
RSO组	84.08±0.12 ^b	28.78±0.63 ^a	3.36±0.01 ^{bc}	0.58±0.01 ^a	5.20±0.01 ^{ab}
RS组	73.88±6.40 ^b	22.55±0.73 ^b	2.96±0.26 ^{bc}	0.45±0.02 ^b	4.84±0.37 ^{ab}

橄榄油油浸和非油浸, 橄榄油油浸处理组 IMP 含量高于非油浸组。由 TAV 值可知, 杀菌后产品 IMP 的 TAV 值均大于 1, 表明 IMP 对秋刀鱼呈鲜味特征具有显著性贡献, 而 AMP 对秋刀鱼滋味特征有一定的修饰作用。EUC 是广泛应用于评价食品鲜味的指标^[41], EUC 由高到低依次为: UHPSO 组>UHPS 组>RSO 组>RS 组, 表明 UHPSO 组秋刀鱼软罐头滋味最鲜美, 且 100 g 鱼肉所具有的鲜味强度相当于 6.43 g 味精产生的鲜味。与传统热杀菌相比, 超高压杀菌作为冷杀菌技术, 主要破坏蛋白质的非共价键, 改变微生物细胞膜的流动性达到杀菌的目的^[42], 对产品滋味成分的破坏程度较低。

3 结论

本文对比了 4 种杀菌处理方式(UHPSO 组、UHPS 组、RSO 组以及 RS 组)对秋刀鱼软罐头营养及滋味的影响。结果发现, UHPSO 组能较好地保留秋刀鱼软罐头的营养成分, 粗蛋白和粗脂肪含量分别为 25.75 g/100 g 和 10.01 g/100 g。4 种杀菌处理组样品均检测出 18 种氨基酸, 且不存在限制性氨基酸, 其中, UHPSO 组氨基酸总量(39.24 g/100 g)最多且评分最高, 尤其是补充含硫氨基酸和赖氨酸的优质蛋白来源。脂肪酸组成结果表明, UHPSO 组总量最高(59.88 mg/g), 能较多地保留 n-3 PUFA 含量(18.08 mg/g), 尤其是补充 EPA 和 DHA 的优质膳食来源。通过游离氨基酸 TAV 值, 发现谷氨酸和天冬氨酸是秋刀鱼鱼肉鲜味的主要贡献者。结合呈味核苷酸的 EUC 值可知, UHPSO 组的秋刀鱼软罐头滋味最鲜美, 每 100 g 鱼肉所具有的鲜味相当于 6.43 g 味精产生的鲜味强度。综合以上结论, 橄榄油油浸处理可以抑制杀菌过程中品质的劣变, 相比于传统热杀菌, 超高压杀菌是较为温和的杀菌防腐技术, 能较好地维持秋刀鱼软罐头营养和滋味属性, 在加工长货架期即食食品上具有潜在的应用前景。

参考文献

- [1] 梁佳伟, 陈新军, 花传祥, 等. 秋刀鱼渔业资源与渔场学研究进展—基于 Citespace 分析[J]. 海洋湖沼通报, 2021, 43(3): 117-128. [LIANG J W, CHEN X J, HUA C X, et al. A Citespace analysis based review of pacific saury fishery resources and fishery oceanography[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, Marine Limnology Bulletin, 2021, 43(3): 117-128.]
- [2] 刘新然, 李海露, 李学鹏, 等. 杀菌方式对卤制风味四角蛤蜊

产品贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(22): 8210-8218. [LIU X R, LI H L, LI X P, et al. Effects of sterilization methods on the storage quality of marinated *Macrura quadrangularis*[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2020, 11(22): 8210-8218.]

[3] 李肖婵, 林琳, 朱亚军, 等. 巴氏杀菌和超高压杀菌对即食小龙虾货架期的影响[J]. 渔业现代化, 2020, 47(4): 83-88. [LI X C, LIN L, ZHU Y J, et al. Effect of pasteurization and ultra-high pressure sterilization on the shelf life of ready-to-eat *Procambarus clarkii*[J]. Fishery Modernization, 2020, 47(4): 83-88.]

[4] 孟少华, 马相杰, 刘贯勇, 等. 超高压杀菌在西式香肠中的应用研究[J]. 肉类工业, 2019(5): 40-42, 50. [MENG S H, MA X J, LIU G Y, et al. Application research of high pressure sterilization in western sausage[J]. Meat Industry, 2019(5): 40-42, 50.]

[5] BARBOSA-CANOVAS G V, MEDINA-MEZA L, CANDO-GAN K, et al. Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 420-434.

[6] 刘焕亮. 我国主要水产品营养成分的研究[J]. 科学养鱼, 2000, 78(7): 11-12. [LIU H L. Research on nutritional components of main aquatic products in China[J]. Scientific Fish Farming, 2000, 78(7): 11-12.]

[7] 陈丽丽, 张树峰, 袁美兰, 等. 不同烹饪方式对脆肉鲩鱼肉营养品质的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(10): 6. [CHEN L L, ZHANG S F, YUAN M L, et al. Effect of different cooking methods on the nutritional quality of *Ctenopharyngodon idellus*[J]. China Condiment, 2019, 44(10): 6.]

[8] 葛孟甜, 李正荣, 赖年悦, 等. 两种杀菌方式对即食小龙虾理化性质及挥发性风味物质的影响[J]. 渔业现代化, 2018, 45(3): 66-74. [GE M T, LI Z R, LAI N Y, et al. Effects of the two sterilization methods on physicochemical properties and volatile flavor compounds of ready-to-eat *Procambarus clarkii*[J]. Fishery Modernization, 2018, 45(3): 66-74.]

[9] 钟明慧, 徐新星, 刘康, 等. 不同蒸制时间下鲟鱼背部肉的滋味特征差异分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 55-60. [ZHONG M H, XU X X, LIU K, et al. Difference analysis on the taste characteristics of sturgeon under different steaming time[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 55-60.]

[10] GÓMEZ-LIMIA L, COBAS N, FRANCO I, et al. Fatty acid profiles and lipid quality indices in canned European eels: Effects of processing steps, filling medium and storage[J]. Food Research International, 2020, 136: 109601.

[11] FARRAS M, ALMANZA-AGUILERA E, HERNÁEZ A, et

- al. Beneficial effects of olive oil and Mediterranean diet on cancer physio-pathology and incidence[J]. *Semin Cancer Biol*, 2021, 73: 178–195.
- [12] SUN Y, ZHANG L L, ZHANG H, et al. Effects of two sterilization methods on the taste compositions of sweet and sour spare ribs flavor[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 104: 104143.
- [13] MARCELINO G, HIANE P A, FREITAS K de C, et al. Effects of olive oil and its minor components on cardiovascular diseases, inflammation, and gut microbiota[J]. *Nutrients*, 2019, 11(8): 1826.
- [14] 王永进. 凉山24种橄榄油的组成分析及其对高脂牛肉消化过程中脂质氧化的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2021. [WANG Y J. Composition analysis of 24 kinds of olive oil from Liangshan and its effect on lipid oxidation during high fat beef digestion[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.]
- [15] TANG J M, GALINA M, LIU F, et al. Microwave sterilization of sliced beef in gravy in 7-oz trays[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 89(4): 375–383.
- [16] HORITA C N, BAPTISTA R C, CATURLA M Y R, et al. Combining reformulation, active packaging and non-thermal post-packaging decontamination technologies to increase the microbiological quality and safety of cooked ready-to-eat meat products[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2018, 72: 45–61.
- [17] 乐彩虹, 陶宁萍, 徐道. 暗纹东方鲀鱼皮胶原蛋白肽脱苦前后苦味物质的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 87–95. [LE C H, TAO N P, XU X. Changes of bitter substances of collagen peptide in *Takifugu obscurus* skin before and after debittering[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(4): 87–95.]
- [18] ZHANG N L, WANG W L, LI B, et al. Non-volatile taste active compounds and umami evaluation in two aquacultured pufferfish (*Takifugu obscurus* and *Takifugu rubripes*)[J]. *Food Bioscience*, 2019, 32(C): 100468.
- [19] 张丹, 王锡昌. 中华鳖肉蛋白质营养特征分析及评价[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(15): 356–359. [ZHANG D, WANG X C. Analysis and evaluation of protein nutritional characteristics of soft-shelled turtle meat[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2014, 35(15): 356–359.]
- [20] ZHANG J, TAO N P, WANG M F, et al. Characterization of phospholipids from Pacific saury (*Cololabis saira*) viscera and their neuroprotective activity[J]. *Food Bioscience*, 2018, 24: 120–126.
- [21] 张艳霞, 谢成民, 周纷, 等. 两种养殖模式大黄鱼肌肉营养价值评价及主体风味物质差异性分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(8): 220–227. [ZHANG Y X, XIE C M, ZHOU F, et al. Evaluation of muscle nutritional value and differences in main flavor substances of *Pseudosciaena crocea* in two cultivation modes[J]. *Food Science*, 2020, 41(8): 220–227.]
- [22] 周纷, 张艳霞, 张龙, 等. 冰鲜大黄鱼不同副产物中滋味成分差异分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(16): 193–199. [ZHOU F, ZHANG Y X, ZHANG L, et al. Differences in taste components in by-products of chilled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. *Food Science*, 2019, 40(16): 193–199.]
- [23] 刘芳, 兰全学, 李碧芳, 等. 国内外即食食品微生物限量标准解析[J]. *食品与生物技术学报*, 2017, 36(2): 215–223. [LIU F, LAN Q X, LI B F, et al. Comparative analysis on domestic and international microbiological limits for ready-to-eat foods[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2017, 36(2): 215–223.]
- [24] YE K, WANG H, JIANG Y, et al. Development of interspecific competition models for the growth of *Listeria monocytogenes* and *Lactobacillus* on vacuum-packaged chilled pork by quantitative real-time PCR[J]. *Food Research International*, 2014, 64: 626–633.
- [25] RAMIREZ-SUAREZ J C, MORRISSEY M T. Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2006, 7(1): 19–27.
- [26] GOLUCH Z, BARBARA K, HARAF G, et al. Impact of various types of heat processing on the energy and nutritional values of goose breast meat[J]. *Poultry Science*, 2021, 100(11): 101473–101473.
- [27] 郭向莹, 李伟群, 孙仪, 等. 超高压处理对低温鸡肉早餐肠在冷藏期间脂肪氧化的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(16): 316–320. [GUO X Y, LI W Q, SUN Y, et al. Effect of ultra-high pressure processing on lipid oxidation in chicken breakfast sausages during chill storage[J]. *Food Science*, 2013, 34(16): 316–320.]
- [28] 丁海燕, 孙晓杰, 盛晓风, 等. 几种主要养殖淡水、海水经济鱼类肌肉营养成分组成及对比分析[J]. *食品科技*, 2016, 41(3): 150–155. [DING H Y, SUN X J, SHENG X F, et al. Comparison and analysis of the nutritional composition in muscle of some cultured fresh-water and marine-cultured fishes[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(3): 150–155.]
- [29] 吴倩蓉, 潘晓倩, 朱宁, 等. 杀菌温度对羊蝎子风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(20): 184–190. [WU Q R, PAN X Q, ZHU N, et al. Effect of sterilization temperature on flavor compounds in spiced lamb spine[J]. *Food Science*, 2020, 41(20): 184–190.]
- [30] 赵景丽, 赵改名, 柳艳霞, 等. 含硫氨基酸美拉德反应在金华火腿挥发性风味物质形成中的作用[J]. *食品科学*, 2013, 34(19): 23–26. [ZHAO J L, ZHAO G M, LIU Y X, et al. Analysis of volatile flavor compounds in Jinhua ham as Maillard reaction products of sulfur-containing amino acid[J]. *Food Science*, 2013, 34(19): 23–26.]
- [31] PASTOR R, BOUZAS C, TUR J A. Beneficial effects of dietary supplementation with olive oil, oleic acid, or hydroxytyrosol in metabolic syndrome: Systematic review and meta-analysis[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2021, 172: 372–385.
- [32] 黄甜, 严成, 孙娟, 等. 超高压结合热处理对猪肉肌内脂肪酸组成的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(5): 226–236. [HUANG T, YAN C, SUN J, et al. Combined effects of high pressure and thermal treatment on intramuscular fatty acid composition in pork[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(5): 226–236.]
- [33] 胡蕾琪. 微波巴氏杀菌处理对三文鱼脂肪酸品质的影响研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020. [HU L Q. Effects of microwave pasteurization on fatty acid quality of Atlantic salmon[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.]
- [34] FERREIRO N, RODRIGUES N, VELOSO ANA C A, et al. Impact of the covering vegetable oil on the sensory profile of canned

- tuna of *Katsuwonus pelamis* species and tuna's taste evaluation using an electronic tongue[J]. *Chemosensors*, 2022, 10(1): 18–18.
- [35] ABDULLA N R, LOH T C, FOO H L, et al. Influence of dietary ratios of n-6: n-3 fatty acid on gene expression, fatty acid profile in liver and breast muscle tissues, serum lipid profile, and immunoglobulin in broiler chickens[J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2019, 28(2): 454–469.
- [36] 姜慧娴, 张瑞娟, 焦阳, 等. 加热方式对南美白对虾和南极磷虾肉糜中的游离氨基酸含量的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(11): 241–248. [JANG H X, ZHANG R J, JIAO Y, et al. Effects of different heating methods on the contents of free amino acids in minced shrimp of *Penaeus vannamei* and *Euphausia superba*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(11): 241–248.]
- [37] 王伟, 张永进, 林琳, 等. 两种不同杀菌方式对神仙豆的营养组成及其挥发性成分的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(1): 245–253. [WANG W, ZHANG Y J, LIN L, et al. Effects of two different sterilization methods on the nutritional composition and volatile components of shenxian (Fairy) beans[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(1): 245–253.]
- [38] 张建芳. 太湖原水中异味物质的监测及其变化规律研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010. [ZHANG J F. Study on the monitoring and changes of odor compounds in raw water of Taihu Lake[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010.]
- [39] 方林, 施文正, 刁玉段, 等. 冻结方式对不同部位草鱼呈味物质的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(12): 199–204. [FANG L, SHI W Z, DIAO Y D, et al. Effect of freezing methods on the taste components in different parts of grass carp meat[J]. *Food Science*, 2018, 39(12): 199–204.]
- [40] 郭亚男, 胡园, 韩刚, 等. 2个海域野生三疣梭子蟹肌肉中营养成分比较[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(2): 73–82. [GUO Y N, HU Y, HAN G, et al. Comparison of muscle nutritional composition of wild *Portunus trituberculatus* in two sea areas[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39(2): 73–82.]
- [41] 郭宏慧, 杨方, 高沛, 等. 不同养殖水域中华绒螯蟹滋味差异分析[J]. *渔业科学进展*, 2022(2): 215–227. [GUO H H, YANG F, GAO P, et al. Analysis of flavor compounds of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) from different regions[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022(2): 215–227.]
- [42] 刘康玲, 吴楠, 王玉荣, 等. 超高压杀菌处理对鲜驼乳品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(5): 158–163. [LIU K L, WU N, WANG Y R, et al. Effect of ultra high pressure sterilization on quality of fresh camel milk[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(5): 158–163.]