



天津科技大学学报

Journal of Tianjin University of Science & Technology

ISSN 1672-6510, CN 12-1355/N

## 《天津科技大学学报》网络首发论文

题目： 蛤肉罐头加工工艺优化及产品品质与特征风味分析  
作者： 杨欣然，叶培洁，郑凤杰，陈慧斌  
DOI： 10.13364/j.issn.1672-6510.20240204  
收稿日期： 2024-10-12  
网络首发日期： 2025-01-14  
引用格式： 杨欣然，叶培洁，郑凤杰，陈慧斌. 蛤肉罐头加工工艺优化及产品品质与特征风味分析[J/OL]. 天津科技大学学报.  
<https://doi.org/10.13364/j.issn.1672-6510.20240204>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI: 10.13364/j.issn.1672-6510.20240204 蛤肉罐头加工工艺优化及产品品质与特征  
风味分析杨欣然<sup>1,2</sup>, 叶培洁<sup>1</sup>, 郑凤杰<sup>1</sup>, 陈慧斌<sup>1,2,3</sup>

(1. 福建师范大学生命科学学院, 福州 350117; 2. 蛤老大(福建)食品有限公司, 莆田 351100;

3. 福建师范大学南方海洋研究中心, 福州 350117)

**摘要:** 以菲律宾蛤仔为原料制作蛤肉罐头产品, 探究黄豆酱添加量、白芝麻添加量和食醋添加量对蛤肉罐头感官品质的影响。通过质构特性、色差及感官评价确定最佳干燥温度。在单因素实验基础上, 采用响应面实验对蛤肉罐头工艺参数进行优化, 并利用正交偏最小二乘判别分析模型(orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA), 分析最佳加工工艺挥发性化合物的差异特征及测定其游离氨基酸含量。结果表明: 当干燥温度为 70°C 时, 蛤肉硬度(2110.59±76.02N)适中, 弹性(0.92±0.05 mm)和咀嚼性(1390.89±52.21 J)较好, 具有良好的适口性。蛤肉罐头最佳加工工艺参数(CMS-2): 黄豆酱添加量 28.34%, 白芝麻添加量 3.37%, 食醋添加量 8.21%, 其感官评分为 89.53±0.86; 与工艺优化后感官评分最低组(CMS-1)相比, CMS-2 促进风味的关键挥发性化合物如酸类、酯类、杂环含氮化合物等累计预测变量重要性投影值(variable importance in projection, VIP)和含量显著增加( $P < 0.05$ ), 游离氨基酸总含量(29.53±0.10 mg/g)增加, 鲜味氨基酸 Glu 对整体风味贡献最大, 滋味活性值(TAV)达到 37.62。该研究可为菲律宾蛤仔等贝类在食品领域的开发与利用提供参考。

**关键词:** 蛤肉罐头; 工艺优化; 挥发性风味化合物; 游离氨基酸

**中图分类号:** TS254.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(0000)00-0000-00

## Research on Processing Quality and Characteristic Flavor of Canned Clam Meat Based on Response Surface Methodology and OPLS-DA

YANG Xinran<sup>1,2</sup>, YE Peijie<sup>1</sup>, ZHENG Fengjie<sup>1</sup>, CHEN Huibin<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China; 2. Ge Laoda (Fujian) Food Co., Ltd., Putian 351100, China; 3. Southern Institute of Oceanography, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

**Abstract:** A product of canned clam meat was made from *Ruditapes philippinarum* as raw materials. The impacts of soybean paste contents, white sesame seeds contents, and vinegar contents on the qualities of canned clam meat were investigated. The optimal drying temperature was determined by texture property, color difference, and sensory evaluation. On the basis of the single factor experiment, response surface experiment was applied to optimize the technology parameters. The different characteristics of volatile compounds were analyzed using the orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA) model and the free amino acid contents were determined in canned clam meat with optimal processing. The results showed that when the drying temperature was 70°C, the clam meat exhibited moderate hardness(2110.59±76.02N), optimal springiness(0.92±0.05 mm), chewiness (1390.89±52.21 J), as well as enhanced palatability. The optimal parameters of canned clam meat (CMS-2) were soybean paste contents of 28.34%, white sesame seeds contents of 3.37%, and vinegar contents of 8.21% with a sensory score of 89.53±0.86. Compared with the lowest sensory score after processing optimization (CMS-1), in CMS-2, the cumulative VIP value and content of key volatile compounds that promote flavors such as acids, esters, and heterocyclic nitrogen-containing compounds were significantly increased ( $P < 0.05$ ). The total free amino acid content (29.53 ± 0.10 mg/g) increased, and the umami amino acid Glu contributed the most to the overall flavors, with a TAV value of 37.62. This study can provide references for the development and utilization of *Ruditapes philippinarum* and

收稿日期: 2024-10-12; 修回日期: 2024-11-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401564); 福建省科技计划区域发展项目(2022N3003)

作者简介: 杨欣然(1999—), 女, 福建人, 硕士研究生; 通信作者: 陈慧斌, 研究员, chuibin@fjnu.edu.cn

other shellfish in the food field.

**Key words:** canned clam meat; process optimization; volatile flavor substances; free amino acid analysis

菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)，俗称花蛤、蛤喇、蚬子等，在太平洋、大西洋及印度洋沿岸均有分布<sup>[1]</sup>，其味道鲜美，富含优质蛋白<sup>[2]</sup>；软体部氨基酸总量较高，且种类丰富，富含多种矿物质和微量元素<sup>[3]</sup>；脂肪含量少且不饱和脂肪酸含量高，适合人体消化吸收<sup>[4]</sup>。此外，菲律宾蛤仔中含有牛磺酸及代尔太 7-胆固醇和 24-亚甲基胆固醇，对预防心血管和高血压疾病、保护肝脏健康具有积极作用<sup>[5-6]</sup>。菲律宾蛤仔因其营养高而备受人们喜爱，具有广泛的市场需求。

菲律宾蛤仔繁殖周期短、生长速度快、适应性强、食物来源广、投资要求低，近年来已成为我国养殖量最大的海产经济贝类之一<sup>[7]</sup>。我国菲律宾蛤仔生长时间为 6 月—10 月，生长于南北沿海地带，北至辽宁、山东，南至广东、福建各海域<sup>[8-9]</sup>。由于其生长周期具有明显的季节性和地域性，且长途运输成本较高，大多销售都以生鲜品为主并集中于沿海地区。随着人民生活水平的提高，市场逐渐出现菲律宾蛤仔的加工制品，如即食产品、干制品和罐头产品等<sup>[10]</sup>。目前，由于蛤仔等贝类产品的创新研究较少，企业缺乏多样性的加工制品，从而极大地限制了销售范围和消费群体<sup>[11]</sup>。

本研究以菲律宾蛤仔为研究对象，通过质构特性、色差及感官评价确定最佳干燥温度，在单因素实验的基础上进行响应面优化实验，利用 OPLS-DA 分析优化后蛤肉罐头的挥发性风味化合物，筛选出其关键挥发性化合物，并测定其游离氨基酸成分，为菲律宾蛤仔等海洋贝类资源在休闲食品领域的深入开发与利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

#### 1.1.1 实验原料

菲律宾蛤仔，蛤老大（福建）食品有限公司提供；辅料黄豆酱、食用盐、白砂糖、白芝麻、生姜粉、食醋、香辛料、食用油、胡椒粉等均为市售优质等级。

#### 1.1.2 试剂与仪器

氯化钠、色谱级乙腈、色谱级甲醇，国药集团化学试剂有限公司；环己酮（纯度≥99.5%）、无水乙酸钠，西陇科学股份有限公司；磺基水杨酸，北京索莱宝科技有限公司；6-氨基喹啉-N-羧基琥珀酰亚胺氨基甲酸酯（纯度≥90%），加拿大 Toronto Research Chemicals 公司。

NS810 型分光测色仪，深圳市三恩时科技有限公司；TA-XT plus C 型质构仪，英国 Stable Micro Systems 公司；7890B/5977B 型气相色谱-质谱联用仪，美国安捷伦科技有限公司；DHG-9070A 型电热鼓风干燥箱，上海一恒科学仪器有限公司；e2695 型高效液相色谱仪，沃特世科技（上海）有限公司；MJ-78A 型高压灭菌锅，施都凯仪器设备（上海）有限公司。

### 1.2 蛤肉罐头制作工艺

#### 1.2.1 工艺流程

蛤肉罐头制作工艺参照 Li 等<sup>[12]</sup>的方法并稍作修改。新鲜菲律宾蛤仔经过预处理，蒸煮液调味后将蛤肉进行腌渍入味、干燥、复配调味，紧接着进行装罐和灭菌，制得蛤肉罐头。工艺流程如图 1 所示。

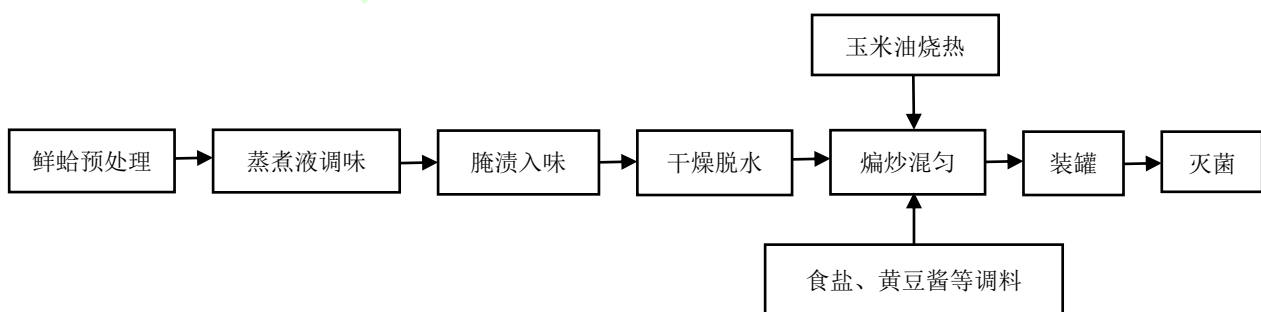


图 1 蛤肉罐头生产工艺流程图

Fig.1 Production process flow chart of canned clam meat

#### 1.2.2 操作要点

原料预处理：选择形态完整、大小合适的新鲜

菲律宾蛤仔在 5% 的盐水中净化吐沙 6h, 吐沙后清洗沥干, 蒸煮 5min 后开口取肉, 预留蒸煮液。

蒸煮液调味: 蒸煮液加入适量的食盐、味精、料酒进行调味, 以备用。

腌渍入味: 将蛤肉放入调味液中煮沸 5 min, 静置 45 min, 入味着色。

干燥脱水: 取出静置后的蛤肉沥干, 平铺于烘干盘上, 放入干燥箱, 直至蛤肉保持  $45\% \pm 2\%$  水分含量。

搅拌混匀: 将玉米油加热至  $120^{\circ}\text{C}$  左右, 放入蒜泥和辣椒煸炒 30 s, 紧接着温度调至  $100^{\circ}\text{C}$ , 加入蛤肉、黄豆酱、食盐、食醋、白砂糖、酱油、白芝麻及适量香辛料和胡椒粉煸炒约 1 min 后出锅, 加工完成。

装罐、灭菌: 空罐提前用水煮沸消毒并沥干。将加工后的蛤肉装入罐中并预留 2 cm 左右的顶隙, 初步加热排出罐内的空气, 然后旋紧罐盖, 置于高压灭菌锅,  $121^{\circ}\text{C}$  灭菌 15 min。灭菌完毕后进行冷却, 形成最终产品。

### 1.3 蛤肉罐头实验设计

#### 1.3.1 干燥工艺优化

蛤肉分别在  $50^{\circ}\text{C}$ 、 $60^{\circ}\text{C}$ 、 $70^{\circ}\text{C}$ 、 $80^{\circ}\text{C}$ 、 $90^{\circ}\text{C}$  烘干, 直至蛤肉水分含量在  $45\% \pm 2\%$ , 进行灭菌, 冷却后进行全质构 (TPA) 测定、色差测定以及感官评价, 确定最佳干燥温度。

#### 1.3.2 单因素实验设计

以 500 g 蛤肉为计, 在工艺步骤相同的前提下, 固定添加 1.5% 食盐、4% 白砂糖、2% 料酒及 0.1% 生姜粉、2% 蒜泥、1% 辣椒、0.05% 香辛料和 0.05% 胡椒粉, 控制黄豆酱添加量为 25%、白芝麻添加量为 3% 和食醋添加量为 8%, 研究黄豆酱添加量 (15%、20%、25%、30%、35%)、白芝麻添加量 (1%、2%、3%、4%、5%)、食醋添加量 (6%、7%、8%、9%、10%) 对蛤肉罐头感官品质的影响。

#### 1.3.3 响应面实验设计

通过单因素实验可知, 黄豆酱添加量、白芝麻添加量和食醋添加量对蛤肉罐头的色泽、气味、滋味和组织形态影响显著。在此基础上, 采用 Design-Expert 13.0 软件, 依据 Box-Behnken 模型原理, 选用黄豆酱添加量、白芝麻添加量和食醋添加量 3 个因素进行响应面实验, 以感官品质为响应值, 进行拟合得到二次多项回归方程, 并对该方程进行回归模型方差分析, 最终确定蛤肉罐头最佳加工工艺参数。响应面优化因素与水平设计见表 1。

表 1 响应面优化因素与水平设计

Tab. 1 Responsesurfaceoptimizationfactors and horizontal design

水平	因素		
	黄豆酱添加量 /% (A)	白芝麻添加 量/% (B)	食醋添加 量/% (C)
-1	20	2	6
0	25	3	8
1	30	4	10

### 1.4 产品指标测定

#### 1.4.1 感官评定

参照 GB/T 37062-2018《水产品感官评价指南》, 制定蛤肉罐头感官评价标准表。感官评定小组由 10 名经感官评定培训人员组成 (5 名男性, 5 名女性), 分别从色泽、气味、滋味和组织状态 4 个方面进行感官评价。

#### 1.4.2 水分含量

按照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》中的直接干燥法进行测定。

#### 1.4.3 色差

参考刘永杰等<sup>[13]</sup>的方法, 使用分光测色仪进行测定, 每份样品测定 3 次, 并记录数值。其中,  $L^*$  表示亮度 (lightness);  $a^*$  (redness/greenness) 正值表示偏红, 负值表示偏绿;  $b^*$  (yellowness/blueness) 正值表示偏黄, 负值表示偏蓝。

#### 1.4.4 质构特性

参考林靖莹等<sup>[14]</sup>的方法, 略作修改。采用探头类型为 P/36R 圆柱形, 探头的下降、测试和返回速度分别为 2 mm/s、1 mm/s 和 2mm/s, 压缩比为 50%, 触发力为 5.0 g, 测量时间为 5.00 s。平行测定 5 个样品, 结果取平均值。

#### 1.4.5 GC-MS 测定

固相微萃取条件: 参考杨欣然等<sup>[15]</sup>的方法略作修改。称 2.5 g 搅碎后样品置于顶空瓶中, 加入 100  $\mu\text{L}$  环己酮内标溶液 ( $9.47 \times 10^{-4} \text{mg/mL}$ ) 与 2.5 mL 饱和氯化钠溶液, 置于  $65^{\circ}\text{C}$ 、300 r/min 的磁力搅拌器中平衡 10min, 将萃取头 (50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS) 插入顶空瓶中, 萃取 30 min,  $230^{\circ}\text{C}$  下解析 5 min。

GC 条件: 采用 HP-INNOWax Polyethylene Glycol (60 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ ) 色谱柱, 以流量为 1mL/min 的氦气 (纯度 > 99%) 作为载气, 进样口温度为  $250^{\circ}\text{C}$ , 检测器温度为  $230^{\circ}\text{C}$ , 解析 7 min, 不分流模式。

柱温箱升温程序:  $40^{\circ}\text{C}$  保持 6min, 以  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至  $230^{\circ}\text{C}$ , 保持 10 min。

MS 条件: 电子轰击离子源 (EI); 电子能量为 70 eV; 发射电流为 100  $\mu\text{A}$ ; 扫描范围 ( $m/z$ ) 为 35~550。

定性定量方法: 每组 3 个平行, 通过计算机谱

库 (NEST17) 检索风味化合物, 选取匹配度高于 80% 的化合物。计算公式如式 (1) 所示。

$$C_x = \frac{C_0 \times V_0 \times S_x}{S_0 \times m} \quad (1)$$

式中:  $C_x$  为未知风味化合物含量,  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;  $C_0$  为环己酮内标浓度,  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ ;  $V_0$  为环己酮内标的进样体积,  $\mu\text{L}$ ;  $S_x$  为未知风味化合物的峰面积;  $S_0$  为添加的环己酮内标的峰面积;  $m$  为样品质量,  $\text{kg}$ 。

#### 1.4.6 游离氨基酸测定

参考 Lestari 等<sup>[16]</sup>的方法, 略作修改。取 2 g 搅碎的样品, 加入 10 mL 6% 磺基水杨酸与 10 mL 0.1 mol/L HCl, 涡旋混匀, 超声 30 min。去离子水稀释后, 用 0.22  $\mu\text{m}$  膜过滤。滤液用 6-氨基喹啉-N-羧基琥珀酰亚胺氨基甲酸酯衍生。采用 AccQ-Tag Ultra C-18 柱 (3.9 mm  $\times$  150 mm) 进行色谱分离; 流动相 A 为超纯水, 流动相 B 为乙酸钠, 流动相 C 为乙腈; 温度设定为 36 $^{\circ}\text{C}$ , PDA 紫外检测器检测波长为 254 nm, 流量为 0.98 mL/min。

#### 1.5 数据处理

利用 Design-Expert 13.0 软件进行响应面实验; 采用 Origin 2024 软件绘图以及 SPSS 27 进行数据统计分析; 运用 SIMCA 14.1 软件进行 OPLS-DA, 计算预测变量重要性投影 (variable importance in projection, VIP) 值, 结合 SPSS 27 进行独立样本 t 检验, 蛤肉罐头挥发性化合物成分筛选条件为  $\text{VIP} > 1$  且  $P < 0.05$ 。图表中不同小写字母表示具有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 干燥温度的确定

菲律宾蛤仔水分含量高, 导致口感软烂, 嚼劲不足, 而适宜的干燥温度不仅赋予产品色泽, 还可均匀地降低蛤肉的水分含量, 保持其良好的质构特性。由图 2 可知, 蛤肉的  $L^*$  值随着温度的升高而显著降低 ( $P < 0.05$ ), 而  $a^*$  值随温度变化不明显 ( $P > 0.05$ )。如表 2 所示, 随温度的升高, 蛤肉硬度、弹性、咀嚼性均呈现先增加后下降的趋势。当温度从 50 $^{\circ}\text{C}$  升高到 60 $^{\circ}\text{C}$  时, 水分蒸发速度快, 导致蛤肉组织的收缩和硬化。当温度大于 60 $^{\circ}\text{C}$  时, 蛤肉硬度下降, 可能是温度过高, 导致蛤仔表面快速硬化, 形成硬壳致使内部水分蒸发不均匀<sup>[13]</sup>; 也可能是蛤肉中蛋白质分子间结构变化而导致硬度下降<sup>[17]</sup>。在干燥温度为 70 $^{\circ}\text{C}$  时, 蛤肉的色泽良好, 硬度适中 (2110.59  $\pm$  76.02 N), 弹性 (0.92  $\pm$  0.05 mm) 和咀嚼性

(1390.89  $\pm$  52.21 J) 较好, 同时感官评分 (86.30  $\pm$  0.82) 最高, 具有良好的适口性, 综合考虑选择 70 $^{\circ}\text{C}$  作为最佳干燥温度。

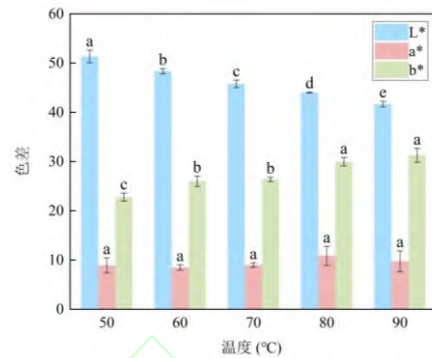


图 2 不同干燥温度下菲律宾蛤仔色泽变化

Fig.2 Color changes of *Ruditapes philippinarum* at different drying temperatures

表 2 不同干燥温度下菲律宾蛤仔质构特性及感官评分

Tab.2 Texture property of *Ruditapes philippinarum* and sensory scores at different drying temperatures

温度/ $^{\circ}\text{C}$	质构			感官评分
	硬度/N	弹性/mm	咀嚼性/J	
50	1211.55 $\pm$ 45.49 <sup>d</sup>	0.76 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	820.02 $\pm$ 41.18 <sup>c</sup>	82.7 $\pm$ 0.82 <sup>e</sup>
60	2231.98 $\pm$ 13.72 <sup>a</sup>	0.80 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>	1219.76 $\pm$ 10.99 <sup>b</sup>	85.5 $\pm$ 0.71 <sup>b</sup>
70	2110.59 $\pm$ 76.02 <sup>a</sup>	0.92 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	1390.89 $\pm$ 52.21 <sup>a</sup>	86.3 $\pm$ 0.82 <sup>a</sup>
80	1961.28 $\pm$ 35.18 <sup>b</sup>	0.88 $\pm$ 0.05 <sup>ab</sup>	1261.51 $\pm$ 52.03 <sup>b</sup>	84.4 $\pm$ 0.70 <sup>c</sup>
90	1581.51 $\pm$ 53.60 <sup>c</sup>	0.81 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>	901.22 $\pm$ 75.01 <sup>c</sup>	83.5 $\pm$ 0.85 <sup>d</sup>

### 2.2 单因素实验

不同因素对蛤肉罐头感官评分的影响如图 3 所示。

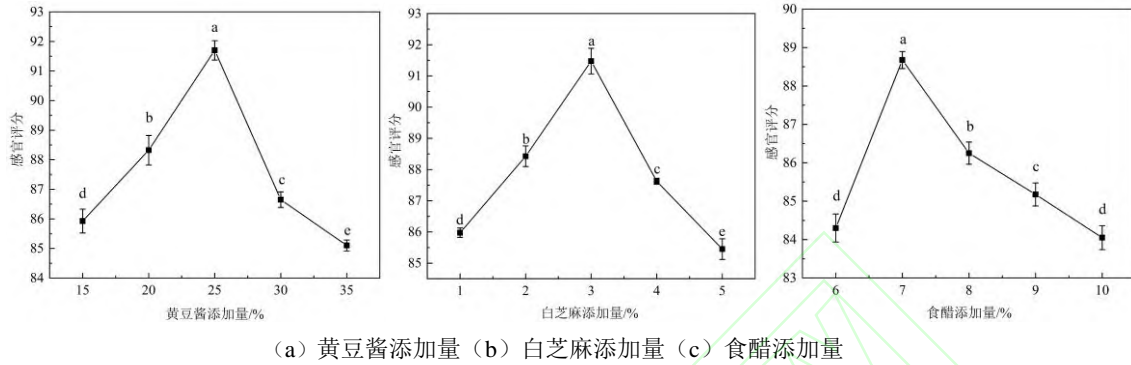
由图 3 (a) 可知, 随着黄豆酱添加量的增加, 蛤肉罐头感官评分呈现先增加后降低的趋势。当黄豆酱添加量为 25% 时, 感官评分达到最高, 是因为适量的黄豆酱可使蛤肉罐头的口感更加细腻丰富; 而当黄豆酱添加量为 30% 或更高时, 感官评分呈下降趋势, 此时黄豆酱添加过多, 导致酱体过于浓稠, 口感变得厚重, 掩盖了蛤肉本身的鲜美。因此黄豆酱添加量优化为 25%, 并在此基础上进行响应面实验。

在加热条件下, 白芝麻可与蛤肉罐头中的还原糖和氨基酸等成分发生美拉德反应, 生成一系列具有浓郁香气的化合物, 从而提升蛤肉罐头风味<sup>[18]</sup>。由图 3 (b) 可知, 随着白芝麻添加量的增加, 蛤肉罐头感官评分值呈现先增加后降低的趋势。当白芝麻添加量为 3% 时, 蛤肉罐头的风味和口感达到最佳平衡, 感官评分最高; 而当白芝麻添加量为 4% 或更

高时, 蛤肉罐头口感浓稠, 产生腻感, 感官评分呈下降趋势。因此白芝麻添加量优化为 3%, 此基准上用于响应面实验。

由图 3 (c) 可知, 随着食醋添加量的增加, 蛤肉罐头感官评分呈现先增加后降低的趋势, 当食醋添加量为 7% 时, 感官评分达到最高, 原因是适量的

食醋能够提升蛤肉罐头的整体风味和口感; 而当食醋添加量为 8% 或更高时, 感官评分呈下降趋势, 是由于过多食醋使蛤肉罐头的酸味突出, 掩盖其他风味成分, 导致整体风味失衡。因此, 食醋添加量优化为 7%, 能够使蛤肉罐头的酸、香、鲜等风味相互协调, 达到最佳的感官效果。



(a) 黄豆酱添加量 (b) 白芝麻添加量 (c) 食醋添加量  
图 3 不同因素对蛤肉罐头感官评分的影响

Fig.3 Effect of different factors on the sensory score of canned clam meat

2.3 响应面实验分析

2.3.1 响应面实验结果及方差分析

选取黄豆酱添加量、白芝麻添加量、食醋添加量 3 个因素进行响应面实验优化, 实验结果见表 3。响应面回归模型方差分析见表 4。

(Y) 对黄豆酱添加量 (A)、白芝麻添加量 (B) 和食醋添加量 (C) 的二次多项回归方程式:

$$Y=88.64+2.31A+1.53B+0.5375C-0.25AB+0.025AC-0.05BC-1.66A^2-1.83B^2-1.31C^2。$$

表 4 响应面回归模型方差分析

表 3 响应面法实验设计及结果

Tab.3 Response surface methodology experimental design and results

实验号	A 黄豆酱添加量/%	B 白芝麻添加量/%	C 食醋添加量/%	感官评分
1	0	-1	1	84.4
2	-1	-1	0	81.0
3	0	0	0	89.6
4	-1	1	0	85.1
5	1	0	1	89.2
6	0	0	0	89.5
7	-1	0	1	84.1
8	1	-1	0	85.7
9	0	1	-1	86.7
10	0	0	0	88.3
11	0	-1	-1	84.1
12	-1	0	-1	82.2
13	0	1	1	86.8
14	1	0	-1	87.2
15	0	0	0	87.3
16	1	1	0	88.8
17	0	0	0	88.4

将表 3 数据进行多元回归拟合, 得到感官评分

Tab.4 Variance analysis of response surface regression

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	100.64	9	11.18	12.37	0.0016	**
A	42.78	1	42.78	47.31	0.0002	**
B	18.61	1	18.61	20.58	0.0027	**
C	2.31	1	2.31	2.56	0.1539	
AB	0.25	1	0.25	0.28	0.6153	
AC	0.003	1	0.003	0.003	0.9595	
BC	0.01	1	0.01	0.01	0.9192	
A <sup>2</sup>	11.57	1	11.57	12.79	0.0090	**
B <sup>2</sup>	14.14	1	14.14	15.64	0.0055	**
C <sup>2</sup>	7.20	1	7.20	7.96	0.0257	*
残差	6.33	7	0.90			
失拟项	2.50	3	0.83	0.87	0.5271	
纯误差	3.83	4	0.96			
总值	106.96	16				

注: \*\*表示极显著 (P < 0.01), \*表示显著 (P < 0.05)

由表 4 可知, 模型 P < 0.01, 表明该模型差异影响极显著, 模型有意义。失拟项 P = 0.5271 > 0.05 不显著, 表明该回归拟合度高<sup>[19]</sup>。通过 F 值可知, 3 个因素对蛤肉罐头感官评分的影响程度依次为: A > B > C。

AB、AC 和 BC 因素之间交互作用对蛤肉罐头感

官评分的响应图和等高线图如图 4 所示。

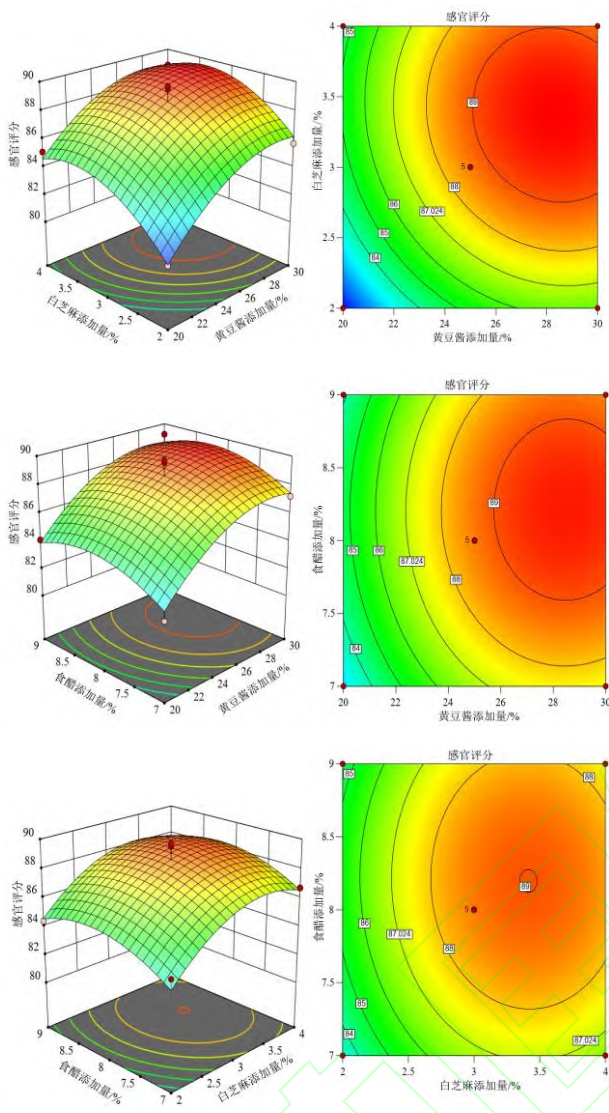


图 4 AB、AC 和 BC 因素之间交互作用对蛤肉罐头感官评分的响应图和等高线图

Fig.4 Response surface plots and contour plots of the interaction effects between factors AB, AC, and BC on the sensory evaluation scores of canned clam meat

由图 4 可知，黄豆酱添加量与白芝麻添加量 (AB)、黄豆酱添加量与食醋添加量 (AC)、白芝麻添加量与食醋添加量 (BC) 交互作用响应面图开口向下，均存在极大值。当等高线图为椭圆形时，表示两个自变量之间存在显著的交互作用；当等高线图为圆形时，表示两个自变量之间的交互作用不显著<sup>[20]</sup>。等高线图表明，AB、AC、BC 的曲线斜率小，等高线图接近圆形，这说明 AB、AC 和 BC 的交互作用不显著 ( $P > 0.05$ )，这与回归模拟实验结果 (表 4) 一致。因此，响应面实验优化蛤肉罐头加工工艺最佳参数为黄豆酱添加量 28.34%，白芝麻添加量 3.37%，食醋添加量 8.21%，感官评分 89.75。

以表 3 中蛤肉罐头工艺优化后感官评分最低组 (CMS-1) 即黄豆酱添加量为 20%，白芝麻添加量为 2%，食醋添加量为 8% 的蛤肉罐头为实验对照进行后续分析。

### 2.3.2 验证实验

在此条件下进行验证实验，制得的蛤肉罐头感官评分为  $89.53 \pm 0.86$ ，与模型预测值基本一致，说明该实验的拟合性能好，有较好的分析预测能力。

### 2.4 蛤肉罐头挥发性化合物 OPLS-DA 分析

采用 OPLS-DA 模型分析蒸煮开壳后的蛤肉 (CK)、蛤肉罐头工艺优化后感官评分最低组 (CMS-1) 和蛤肉罐头最佳加工工艺参数 (CMS-2) 的挥发性化合物之间的差异特征。OPLS-DA 模型统计结果见表 5。该模型自变量拟合指数 ( $R^2X$ ) 为 0.975，因变量拟合指数 ( $R^2Y$ ) 为 0.995，模型预测指数 ( $Q^2$ ) 为 0.982， $R^2$  和  $Q^2$  均超过 0.5，表示模型稳定可靠、预测能力强<sup>[21]</sup>。

表 5 OPLS-DA 模型统计结果

Tab. 5 OPLS-DA model performance statistics

预测主成分数	正交主成分数	自变量拟合指数 $R^2X$	因变量拟合指数 $R^2Y$	模型预测指数 $Q^2$
2	1	0.975	0.995	0.982

不同加工工艺蛤肉罐头挥发性化合物成分的 OPLS-DA 分析如图 5 所示。由图 5 可知，3 组样本在 OPLS-DA 的分散点图聚类良好，各样本组间差异小，不同样本之间实现完全分离。不同加工工艺蛤肉罐头的 OPLS-DA 模型置换验证如图 6 所示。经过 200 次置换检验， $R^2$  为 0.932，其截距为 0.038， $Q^2$  为 0.992，其截距为 -1.05，表明该模型不存在过拟合现象<sup>[21]</sup>。因此，OPLS-DA 模型可用于蛤肉罐头挥发化合物成分的鉴别分析。

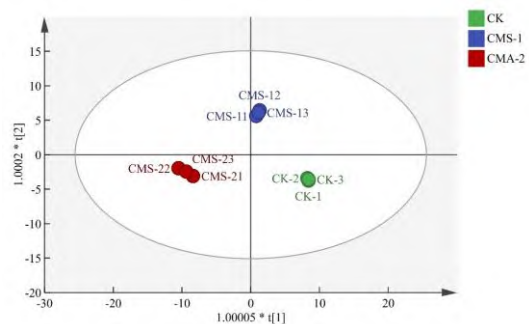


图 5 不同加工工艺蛤肉罐头挥发性化合物成分的 OPLS-DA 分析

Fig.5 Orthogonal partial least squares discriminant analysis of volatile compounds in canned clam meat with different processing techniques

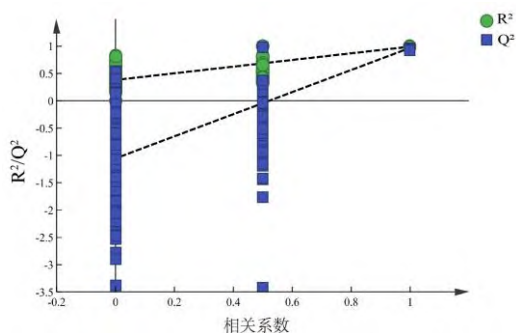


图 6 不同加工工艺蛤肉罐头的 OPLS-DA 模型置换验证

Fig.6 OPLS-DA model permutation test in canned clam meat with different processing techniques

CK、CMS-1 和 CMS-2 挥发性化合物的 VIP 值和含量见表 6。当 VIP 值 > 1 时, 该成分能表达模型中的差异特征, VIP 值越大表示该成分对变量的解释贡献度越大, 与工艺差异的相关性越高。表 6 为 OPLS-DA 模型中 VIP > 1 的 33 种关键挥发性化合物, 其中醇类 2 种, 酸类 5 种, 烯炔类 3 种、酮类 5 种、酯类 5 种、醛类 2 种、其他类 11 种。由表 6 可知, CMS-2 中酸类、酯类和杂环含氮化合物(吡嗪和呋喃类)累计 VIP 值和含量均高于 CK 和 CMS-1, 表明这 3 类关键挥发性化合物对 CMS-2 的整体风味贡献大, 相关性也高。酸类是由食醋添加以及热反应而产生, 其对 CMS-2 影响程度较大; 黄豆酱中酯类物质被氧化后产生醛类物质能够产生, 促进酱香味散发<sup>[22]</sup>; 苯乙酸乙酯、乙酸苯乙酯等酯类物质主要存在于食醋中, 促进蛤肉罐头的甜味和花果香气<sup>[23]</sup>; 而杂环含氮化合物是熟食制品风味的重要贡献者, 吡嗪和呋喃类均与美拉德反应有关<sup>[24, 25]</sup>, 可能来源于黄豆酱或干燥过程中蛤仔发生美拉德反应而产生。由此可知, CMS-2 由于黄豆酱和食醋添加量的增加, 促进了酸类、酯类、杂环含氮化合物产生, 提高了其整体风味。

醛类与水产品的哈喇味、土腥味密切相关, 并具有较强的叠加效应<sup>[26]</sup>。其中, (E,E)-2,4-庚二烯醛对 CK 和 CMS-1 的整体风味影响较大, 且含量显著高于 CMS-2 ( $P < 0.05$ ), 表明 CMS-2 可达到遮腥提香效果。酮类一般是多不饱和脂肪酸受热氧化降解和微生物的氧化作用产物, 由于存在相互作用, 会对腥味具有一定的增强作用<sup>[27]</sup>, 尤其是  $\beta$ -紫罗酮、2-壬酮和 2-环己烯-1-酮对样品的风味贡献大, 而 CMS-2 的含量显著低于 CMS-1 ( $P < 0.05$ )。

综上, CMS-2 中检测出与腥味等关键挥发性化合物, 如醛类、酮类显著降低 ( $P < 0.05$ ), 而大多数促进风味的关键挥发性化合物的累计 VIP 值和含量均显著增加 ( $P < 0.05$ ), 如酯类、酸类、吡嗪和

呋喃类, 表明最佳加工工艺参数对蛤肉罐头的风味品质具有提升作用。

表 6 CK、CMS-1 和 CMS-2 挥发性化合物的 VIP 值和含量

Tab.6 Volatile compounds of VIP values and contents in CK, CMS-1, and CMS-2

类别	化合物名称	VIP 值	含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )		
			CK	CMS-1	CMS-2
醇类	1-戊醇	1.25	—	4.85±0.00 <sup>a</sup>	1.37±0.21 <sup>a</sup>
	正己醇	1.09	2.52±0.00 <sup>a</sup>	3.63±0.49 <sup>a</sup>	—
酸类	乙酸	1.08	—	3.33±0.30 <sup>a</sup>	2.85±0.44 <sup>a</sup>
	辛酸	1.08	—	1.74±0.32 <sup>a</sup>	1.58±0.49 <sup>a</sup>
	己酸	1.00	—	—	1.32±1.86
	异辛酸	1.00	—	—	2.32±3.28
	壬酸	1.00	—	—	1.46±2.07
烯炔类	苜烯	1.05	1.3±0.35 <sup>a</sup>	1.54±0.28 <sup>a</sup>	—
	环辛二烯	1.06	—	13.44±2.21 <sup>a</sup>	11.68±6.55 <sup>a</sup>
	正十七烷	1.19	—	2.72±0.25 <sup>a</sup>	1.42±0.74 <sup>a</sup>
酮类	$\beta$ -紫罗酮	1.21	2.28±0.99 <sup>b</sup>	8.74±1.58 <sup>a</sup>	—
	2-壬酮	1.04	17.69±0.96 <sup>b</sup>	22.93±6.18 <sup>a</sup>	14.96±2.39 <sup>b</sup>
	2-环己烯-1-酮	1.16	—	2.81±0.09 <sup>a</sup>	0.94±1.33 <sup>b</sup>
	5-甲氧基-1-茚酮	1.00	—	—	3.77±5.32
	3,5-辛二烯-2-酮	1.00	—	—	5.24±0.08
酯类	苯甲酸乙酯	1.14	—	7.65±0.36 <sup>a</sup>	5.42±2.22 <sup>a</sup>
	苯乙酸乙酯	1.06	—	4.30±0.37 <sup>a</sup>	3.92±1.84 <sup>a</sup>
	乙酸苯乙酯	1.02	—	3.08±0.12 <sup>a</sup>	3.19±1.57 <sup>a</sup>
	十六酸乙酯	1.01	—	28.96±0.36 <sup>a</sup>	35.72±6.63 <sup>b</sup>
	十四酸乙酯	1.01	—	—	3.98±0.00
醛类	可卡醛	1.02	—	2.05±0.11 <sup>a</sup>	2.17±0.97 <sup>a</sup>
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	1.08	23.72±3.76 <sup>a</sup>	3.68±1.48 <sup>b</sup>	—
其他类	(E)-2-(2-戊烯基)呋喃	1.00	—	—	31.64±0.45
	2-庚基呋喃	1.00	—	—	2.99±0.00
	2-乙酰基呋喃	1.24	—	3.90±0.33 <sup>a</sup>	0.67±0.95 <sup>b</sup>
	2,6-二甲基吡嗪	1.05	—	4.46±0.88 <sup>a</sup>	4.31±1.07 <sup>a</sup>
	2,5-二甲基吡嗪	1.04	—	11.67±2.82 <sup>a</sup>	11.31±3.63 <sup>a</sup>
	2-乙基-6-甲基吡嗪	1.24	—	3.20±0.36 <sup>a</sup>	1.15±0.31 <sup>b</sup>
	3, 4-二氢-2H-吡喃	1.25	—	5.25±1.15	—
	油酸酰胺	1.23	—	3.19±0.42 <sup>a</sup>	0.43±0.6 <sup>b</sup>
	愈创木酚	1.03	—	3.04±0.35 <sup>a</sup>	2.95±1.47 <sup>a</sup>



3-乙基苯酚	1.00	—	—	2.84±4.01
邻甲酚	1.06	—	4.14±1.45 <sup>a</sup>	1.70±2.41 <sup>b</sup>

注：统计 VIP > 1 的关键性挥发化合物；—表示未检测挥发性风味化合物；不同上标小写字母表示具有统计学意义 ( $P < 0.05$ )

### 2.5 游离氨基酸含量分析

CMS-1 和 CMS-2 的游离氨基酸含量及 TAV 值结果见表 7。CK、CMS-1 和 CMS-2 的游离氨基酸总含量分别为 16.38±0.01 mg/g、26.74±0.10 mg/g、29.53±0.10 mg/g，CK 检测出 15 种氨基酸，而 CMS-1 和 CMS-2 检测出 17 种。滋味活性值 (TAV) 是游离氨基酸含量与其阈值的比值。TAV>1 表明该氨基酸对整体滋味具有重要影响，值越大，则贡献越大。CMS-2 中鲜味氨基酸 Glu 和 Asp 的 TAV 值均高于

CK 和 CMS-1，说明黄豆酱添加量的增加有助于鲜味的显著提高<sup>[23]</sup>。CK 中甜味氨基酸 Gly 和 Ala 滋味贡献较大，经过加工后，甜味贡献大的氨基酸变为 Gly 和 Lys，表明黄豆酱和白芝麻的添加可提高 Lys 的甜味贡献。CK 和 CMS-1 中贡献较大的苦味氨基酸是 Arg 和 His，而 CMS-2 中苦味贡献较大的氨基酸为 Arg、His、Val 和 Ile。与 CMS-1 相比，CMS-2 中苦味的氨基酸 Arg 和 His 的 TAV 值下降为 9.15 和 3.34，而 Val 和 Ile 的 TAV 值均显著增加，其原因可能是黄豆酱和食醋的增加均会导致苦味氨基酸滋味的增加<sup>[23,28]</sup>。但 CMS-2 中苦味氨基酸 TAV 值得增加并未影响其整体滋味，可能是由于鲜甜味增强，平衡了苦味。因此，鲜味氨基酸是蛤肉罐头的主要滋味成分。

表 7 CMS-1 和 CMS-2 的游离氨基酸含量及 TAV 值

Tab.7 Free amino acid contents and TAV in CMS-1 and CMS-2

类别	名称	阈值/ (mg/100g)	CK/ (mg/100g)	滋味活性值 (TAV)	CMS-1/ (mg/100g)	滋味活性值 (TAV)	CMS-2/ (mg/100g)	滋味活性值 (TAV)
鲜味氨基酸	天冬氨酸 Asp	100	34.90±0.00 <sup>c</sup>	0.35	112.65±1.20 <sup>b</sup>	1.13	133.60±1.84 <sup>a</sup>	1.34
	谷氨酸 Glu	30	112.20±0.42 <sup>c</sup>	3.74	972.85±0.07 <sup>b</sup>	32.43	1128.65±3.89 <sup>a</sup>	37.62
甜味氨基酸	丝氨酸 Ser	150	16.30±0.14 <sup>b</sup>	0.11	107.00±2.69 <sup>a</sup>	0.71	117.20±0.42 <sup>a</sup>	0.78
	甘氨酸 Gly	130	392.60±0.57 <sup>a</sup>	3.02	254.10±0.00 <sup>b</sup>	1.95	266.45±0.92 <sup>b</sup>	2.05
	苏氨酸 Thr	260	140.90±0.14 <sup>a</sup>	0.54	95.25±4.31 <sup>ab</sup>	0.37	100.80±0.28 <sup>b</sup>	0.39
	丙氨酸 Ala	60	81.75±0.21 <sup>a</sup>	2.04	1.15±0.35 <sup>b</sup>	0.02	2.05±0.07 <sup>b</sup>	0.03
	脯氨酸 Pro	300	4.50±0.00 <sup>b</sup>	0.02	55.10±4.95 <sup>a</sup>	0.18	86.1±0.00 <sup>a</sup>	0.29
	赖氨酸 Lys	50	9.30±0.00 <sup>b</sup>	0.19	87.35±1.34 <sup>a</sup>	1.75	103.90±0.42 <sup>a</sup>	1.85
苦味氨基酸	缬氨酸 Val	40	0.93±0.04 <sup>c</sup>	0.02	23.40±8.77 <sup>b</sup>	0.59	118.5±0.71 <sup>a</sup>	2.96
	蛋氨酸 Met	30	—	—	17.65±0.64 <sup>a</sup>	0.59	17.95±0.07 <sup>a</sup>	0.60
	苯丙氨酸 Phe	90	2.75±0.07 <sup>b</sup>	0.03	86.10±0.28 <sup>a</sup>	0.96	88.25±0.35 <sup>a</sup>	0.98
	异亮氨酸 Ile	90	3.20±0.00 <sup>c</sup>	0.04	85.85±0.78 <sup>b</sup>	0.95	92.40±0.28 <sup>a</sup>	1.15
	亮氨酸 Leu	190	5.05±0.07 <sup>c</sup>	0.03	140.80±0.00 <sup>b</sup>	0.74	150.85±0.49 <sup>a</sup>	0.79
	组氨酸 His	20	22.95±0.07 <sup>c</sup>	1.15	84.05±1.20 <sup>a</sup>	4.20	66.80±0.28 <sup>b</sup>	3.34
	精氨酸 Arg	50	806.25±1.2 <sup>a</sup>	16.13	523.25±33.3 <sup>ab</sup>	10.47	457.65±0.92 <sup>b</sup>	9.15
	酪氨酸 Tyr	91	2.60±0.00 <sup>b</sup>	0.03	22.2±0.00 <sup>a</sup>	0.24	20.40±0.00 <sup>a</sup>	0.22
无味氨基酸	胱氨酸 Cys	—	—	—	3.55±3.04 <sup>a</sup>	—	1.30±0.28 <sup>a</sup>	—
合计			1638.18±1.39 <sup>b</sup>		2673.8±10.32 <sup>a</sup>		2952.85±10.11 <sup>a</sup>	

注：—表示未检测挥发性风味化合物；不同上标小写字母表示具有统计学意义 ( $P < 0.05$ )

### 3 结 语

本研究以菲律宾蛤仔为原料，探究蛤肉罐头加工品质及特征风味。通过全质构 (TPA)、色差及感官评价确定干燥温度为 70°C，且此温度能使蛤肉达到最佳的色泽、硬度 (2110.59±76.02N)、弹性 (0.92±0.05 mm) 和咀嚼性 (1390.89±52.21J)。在单

因素实验确定最佳工艺优化范围基础上，采用响应面实验优化蛤肉罐头工艺参数，最佳工艺参数为黄豆酱添加量 28.34%，白芝麻添加量 3.37%，食醋添加量 8.21%。基于 OPLS-DA 模型分析不同加工工艺中蛤肉罐头关键挥发性化合物含量和差异特征，并测定其游离氨基酸含量。实验结果表明：CMS-2 中风味的关键挥发性化合物累计 VIP 值和含量显著增加，尤其是酸类、酯类、杂环含氮化合物 ( $P < 0.05$ )；

游离氨基酸总含量高达  $29.53 \pm 0.10$  mg/g, 且 Glu 的 TAV 值最高 (37.62), 对整体风味贡献最大, 使产品的鲜味显著提高。本研究为开发高品质蛤肉罐头产品提供一定的理论基础和数据支撑。

#### 参考文献:

- [1] 许玲. 不同群体菲律宾蛤仔下潜行为和呼吸代谢对比研究[D].大连:大连海洋大学, 2022.
- [2] ZHANG T, HUA Y, ZHOU C, et al. Umami peptides screened based on peptidomics and virtual screening from *Ruditapes philippinarum* and *Macraa veneriformis* clams[J]. Food Chemistry, 2022, 394:133504.
- [3] ZHAO L, MILANO S, TANAKA K, et al. Trace elemental alterations of bivalve shells following transgenerational exposure to ocean acidification: Implications for geographical traceability and environmental reconstruction[J]. Science of The Total Environment, 2020, 705: 135501.
- [4] NIE H, LU Z, LI D, et al. The potential roles of fatty acid metabolism-related genes in Manila clam *Ruditapes philippinarum* under cold stress[J]. Aquaculture, 2023, 562: 738750.
- [5] SONG Y, CAI Q, WANG S, et al. The ameliorative effect and mechanisms of *Ruditapes philippinarum* bioactive peptides on obesity and hyperlipidemia induced by a high-fat diet in Mice[J]. Nutrients, 2022, 14(23): 5066.
- [6] ZHANG Z, WANG J, HUO Z, et al. Identification and expression of cysteine sulfite decarboxylase genes and their response to hyposalinity stress in *Ruditapes philippinarum*[J]. Frontiers in Marine Science, 2023, 10: 1176006.
- [7] ZHOU Z, ZHANG Y-Y, GAO J-X, et al. Metabolomic approaches to analyze the seasonal variations of amino acid, 5'-Nucleotide, and lipid profile of clam (*Ruditapes philippinarum*)[J]. LWT, 2021, 148: 111709.
- [8] TAKEUCHI S, HONMA K, HIRASAKA K. Byssus production ability and degree of byssal-gland development in the infaunal clam *Ruditapes philippinarum*[J]. Acta Zoologica, 2020, 101(4): 392-403.
- [9] 陈志, 陈启春, 黄健, 等. 福建沿海菲律宾蛤仔工厂化人工育苗技术[J]. 福建农业科技, 2019, 55(07): 25-28.
- [10] 支慧敏, 李杨, 王薇, 等. 菲律宾蛤仔肌原纤维蛋白热变性性与闭壳肌脱壳的关联性[J]. 水产学报, 2024, 48(07): 48-57.
- [11] CAN TUNÇELLI İ, ÖZDEN Ö. Evaluation of rainbow trout and meagre fillets as novel ready-to-eat products[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2023, 32(4): 373-383.
- [12] LI K, ZHANG Z, YE H, et al. Processing optimization and quality assessment for the innovative product of canned soybean paste oyster[J]. Food Science and Technology, 2022, 42: e93622.
- [13] 刘永杰,陶乐仁,冯东昱.冷风干燥鲫鱼干燥特性及品质分析[J].食品与发酵工业, 2024, 50(19): 223-228.
- [14] 林靖莹, 任雯雯, 叶培洁, 等. 鲑鱼-铜盆鱼复合鱼糜凝胶品质和风味特性研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2024,40(05):139-148.
- [15] 杨欣然,陈婷婷,林靖莹,等.鲑鱼滑加工工艺优化及其品质特性研究[J].渔业研究, 2024, 46(5): 468-479.
- [16] LESTARI SD, HUSSIN ASM, MUSTAFAS, et al. Bacterial community structure, predicted metabolic activities, and formation of volatile compounds attributed to Malaysian fish sauce flavour[J]. Food Chemistry, 2023, 426: 136568.
- [17] PAN X, WANG J, XU W, et al. Uncovering quality changes of shrimp (*Penaeus vannamei*) during solar drying and its relationship with protein-related properties[J]. Food Chemistry X, 2024, 23: 101696.
- [18] SHEN Y, HU L T, XIA B, et al. Effects of different sulfur-containing substances on the structural and flavor properties of defatted sesame seed meal derived Maillard reaction products[J]. Food Chemistry, 2021, 365: 130463.
- [19] 陈静静, 刘贯勇, 蒙珍妮, 等. 响应面法优化无锡酱排骨制作工艺[J]. 保鲜与加工, 2024, 24(05): 84-90+97.
- [20] SREEDEVI P, JAYACHANDRAN L E, RAO P S. Response surface optimization and quality prediction of high pressure processed sugarcane juice (*Saccharum officinarum*)[J]. LWT, 2021, 152: 112190.
- [21] 马雪莲,王鹏,耿敬章,等.感官评价联合 GC-MS 与 OPLS-DA 解析加热温度对椒麻鸡赋味汤料呈香品质影响规律[J].食品科学,2024,45(17):127-134.
- [22] 杜喜玲,刘云.基于响应面法的黄豆酱生产工艺优化及色泽分析[J].中国调味品,2024,49(08):120-124.
- [23] 沈广玥.食醋风味及其与发酵工艺的相关性分析[D].天津:天津科技大学, 2023
- [24] LIU H, WANG Z, ZHANG D, et al. Generation of key aroma compounds in Beijing roasted duck induced via Maillard reaction and lipid pyrolysis reaction[J]. Food Research International, 2020, 136: 109328.

- [25] DING A, ZHU M, QIAN X, et al. Effect of fatty acids on the flavor formation of fish sauce[J]. *Lwt*, 2020, 134: 110259.
- [26] YU M, LI T, SONG H. Characterization of key aroma-active compounds in four commercial oyster sauce by SGC/GC × GC-O-MS, AEDA, and OAV[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 107: 104368.
- [27] 黄崇棱,尹雪莲,陆婷婷,等.即食贻贝加工过程中风味活性物质的分析[J].*中国食品学报*,2023,23(10):294-304.
- [28]龙正玉,邹金浩,杨怀谷,等.鸡肉和黄豆混合发酵过程中蛋白质、氨基酸与风味变化规律[J/OL].*食品工业科技*, 1-18[2024-11-27].<https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024010348>.

