

# 重组鹅肝制品品质评价方法及营养评价

刘 畅<sup>1</sup> 李翠锶<sup>1</sup> 林婉玲<sup>1,2</sup> 罗东辉<sup>3,4</sup> 郑欣怡<sup>1</sup> 崔晓彤<sup>1</sup>

(1. 韩山师范学院生命科学与食品工程学院, 广东 潮州 521041; 2. 广东省粤东药食资源功能物质与治未病研究重点实验室, 广东 潮州 521041; 3. 化学与精细化工广东省实验室潮州分中心, 广东 潮州 521011; 4. 广东海洋大学食品科学与工程学院, 广东 阳江 529500)

**摘要:** [目的] 研究重组鹅肝制品的品质评价方法及营养评价方法。[方法] 以鹅肝为原料, 复配鸡胸肉并添加木薯淀粉、大豆分离蛋白、谷氨酰胺转氨酶(TG 酶)等辅料制备重组鹅肝。采用 CRITIC-灰色关联法对不同配方重组鹅肝的色度、熟化损失及质构特性进行综合评分, 筛选出最佳配方, 考察其营养指标并对其进行营养评价。[结果] 当鹅肝含量为 15%、鸡胸肉含量为 85%、TG 酶含量为 1.25%、木薯淀粉含量为 10%、大豆分离蛋白含量为 2.5% 时, 重组鹅肝的综合得分最高, 为 208.93 分。重组鹅肝水分、蛋白质、脂肪含量分别为 64.86, 18.13, 0.85 g/100 g; 共检出 14 种脂肪酸, 其中 9 种不饱和脂肪酸, 5 种饱和脂肪酸且含有亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸和花生四烯酸, 脂肪酸致动脉粥样硬化指数(AI 值)和血栓形成指数(TI 值)均  $< 0.5$ ; 必需氨基酸总量/氨基酸总量(EAA/AA)为 43.25%, 必需氨基酸总量/非必需氨基酸总量(EAA/NEAA)为 76.22%, 第一限制性氨基酸为蛋氨酸。[结论] 通过 CRITIC-灰色关联分析法对重组鹅肝的品质进行评价, 可以反映重组鹅肝的品质特性。重组鹅肝属于高蛋白、低脂肪的食品, 适合心脑血管疾病患者食用, 其氨基酸组成合理, 属于优质蛋白质。

**关键词:** 鹅肝; 重组; CRITIC-灰色关联分析法; 品质评价; 营养评价

## Evaluation methods for quality and nutrition of recombinant goose liver products

LIU Chang<sup>1</sup> LI Cuisi<sup>1</sup> LIN Wanling<sup>1,2</sup> LUO Donghui<sup>3,4</sup> ZHENG Xinyi<sup>1</sup> CUI Xiaotong<sup>1</sup>

(1. School of Life Sciences and Food Engineering, Hanshan Normal University, Chaozhou, Guangdong 521041, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Functional Substances in Medicinal Edible Resources and Healthcare Products, Chaozhou, Guangdong 521041, China; 3. Chaozhou Branch of Chemistry and Chemical Engineering Guangdong Laboratory, Chaozhou, Guangdong 521011, China; 4. School of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Yangjiang, Guangdong 529500, China)

**Abstract:** [Objective] To analyse the quality evaluation methods for and nutrition evaluation of recombinant goose liver products. [Methods] Goose liver is used as the raw ingredient and combined with chicken breast, while tapioca starch, soybean protein isolate, and transglutaminase (TG) are added as auxiliary materials, to prepare recombinant goose livers. The CRITIC-grey correlation analysis is employed to comprehensively score the color, cooking loss, and texture characteristics of recombinant goose livers made with different formulas. Then, the best formula is screened for nutritional index observation and nutrition evaluation. [Results] The comprehensive score of recombinant goose livers is the highest at 208.93 with 15% goose livers, 85% chicken breast, 1.25% TG, 10% tapioca starch, and 2.5% soybean protein isolate. The moisture, protein, and fat content of recombinant goose livers are 64.86, 18.13, and 0.85 g/100 g, respectively. A total of 14 fatty acids are detected, including 9 unsaturated fatty acids and 5 saturated fatty acids, including linoleic acid,  $\alpha$ -linolenic acid, and arachidonic acid.

**基金项目:** 韩江实验室自主创新科研资助项目(编号:HJ202202B004); 广东省大学生创新创业训练计划项目(编号:S202310578026); 韩山师范学院大学生创新创业训练计划项目(编号:2022182)

**通信作者:** 林婉玲(1979—), 女, 韩山师范学院副研究员, 博士。E-mail: lwlscsf@163.com

**收稿日期:** 2024-11-08 **改回日期:** 2025-07-11

**引用格式:** 刘畅, 李翠锶, 林婉玲, 等. 重组鹅肝制品品质评价方法及营养评价[J]. 食品与机械, 2025, 41(11): 118-128.

**Citation:** LIU Chang, LI Cuisi, LIN Wanling, et al. Evaluation methods for quality and nutrition of recombinant goose liver products[J]. Food & Machinery, 2025, 41(11): 118-128.

More importantly, the atherosclerosis index (AI) and thrombosis index (TI) are lower than 0.5. Additionally, essential amino acids/amino acids (EAA/TAAs) and essential amino acids/nonessential amino acids (EAA/NEAA) are 43.25% and 76.22%, respectively, with methionine as the first limiting amino acid. [Conclusion] The quality of recombinant goose livers is evaluated using the CRITIC-grey correlation analysis, which can reflect the quality characteristics of recombinant goose livers. Recombinant goose liver is a high-protein, low-fat food suitable for patients with cardiovascular and cerebrovascular diseases. Reasonably in amino acid composition, recombinant goose liver is a source of high-quality protein.

**Keywords:** goose liver; recombinant; CRITIC-grey correlation analysis; quality evaluation; nutritional evaluation

中国鹅产量约占世界总产量的90%以上,是世界上养殖量最多、品种最丰富的国家<sup>[1]</sup>。鹅肝营养丰富,含有碳水化合物、蛋白质、脂肪、胆固醇及铁、锌、钾等物质<sup>[2-3]</sup>,其蛋白质含量达21.17%,体内消化率达97%,是人体优质的蛋白质来源<sup>[3]</sup>。此外,鹅肝中维生素A含量比奶、蛋、鱼等食品高<sup>[2]</sup>,可作为维生素A的主要补充来源。鹅肝具有较高的营养价值,但其腥味重、颗粒感明显,综合利用率较低<sup>[4]</sup>。目前,鹅肝工业化生产应用的主要为肥鹅肝,一般加工成法式鹅肝、鹅肝酱及粉肝,普通鹅肝大部分被用作动物饲料,高值化利用较低。普通鹅肝的研究及产品的开发主要集中在鹅肝酱产品<sup>[5-6]</sup>,其产品形式单一,种类少,只有少部分鹅肝相关产品的开发,如卤制鹅肝<sup>[4]</sup>、鹅肝肠<sup>[7-8]</sup>等。

重组加工技术是借助机械和添加辅料对肌肉纤维中的蛋白进行提取,利用物理、化学或生物的方法将肉糜或肉颗粒粘连起来,重新组合的一种技术<sup>[9-10]</sup>。郝修振等<sup>[11]</sup>利用谷氨酰胺转氨酶(TG酶)对重组肥牛的黏结条件和工艺进行了优化;黄莉等<sup>[12]</sup>研究了食用胶对重组牛肉加工特性的影响;张云飞<sup>[13]</sup>研究了鲳鱼纯鱼肉的重组制品品质特性;李琴<sup>[14]</sup>利用碎猪肉和豆腐开发了重组火腿。重组加工技术可以将蛋白含量高的食物与其他食物进行很好的交联,并通过添加香辛料等物质形成新的食品。

综合评价方法是将错综复杂、不易量化的多类型指标和数据通过数学理论抽象化或简化进行评价<sup>[15-16]</sup>。在综合评价方法中,各指标数据的分析及简化是综合评价方法的主要步骤,而数据分析方法是决定综合评价方法是否准确和有效的主要途径。灰色关联分析是一种分析供试选项与理想选项的相近或相异程度作为衡量因子间关联程度的方法<sup>[17-18]</sup>,已被广泛应用于船舶耐波性综合评价<sup>[19]</sup>、装备作战能力量化评估<sup>[20]</sup>、豌豆种质资源评价<sup>[21]</sup>、青贮玉米品种品质比较<sup>[22]</sup>等方面,但其在食品加工产品的品质评价方面应用较少。灰色关联度的大小表示评价对象与CRITIC权重赋值法是一种以评价指标间的对比强度及冲突性作为基础综合衡量的客观权重计算方法<sup>[23]</sup>,可以减少主观因素对评价指标的影响。因此,将重组鹅肝制品品质评价指标的CRITIC权重计算结果和灰色关联系数进行结合,可以提高综合评价方法的客观性以及评价结果的准确性。

研究拟以鹅肝、鸡胸肉、大豆蛋白为主要成分,利用正交设计试验方法对组分进行设计,采用CRITIC-权重赋

值法联合灰色关联法建立重组鹅肝品质评价法,并在此基础上对重组鹅肝的营养特性进行评价,以期为鹅肝的高值化利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 试验材料

鹅肝:胡椒粉、肉桂、八角、川砂仁、小茴香、香叶、肉豆蔻、草果、山奈、花椒、丁香、木薯淀粉、植物油等;市售;

鸡胸肉:正大食品有限公司;

酱油:鹤山市东古调味食品有限公司;

白砂糖:广州福正东海食品有限公司;

食盐:广东省广盐集团股份有限公司;

味精:上海太太乐食品有限公司;

蚝油:海天调味食品有限公司;

大豆分离蛋白、卡拉胶、复合磷酸盐二号、TG酶(133 U/g);河南万邦实业有限公司。

#### 1.1.2 试剂

乙酸镁、硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、95%乙醇、浓盐酸、浓硫酸、正庚烷:分析纯,西陇科学股份有限公司;

硼酸、石油醚:分析纯,广州化学试剂厂;

甲基红、溴甲酚绿:分析纯,上海展云化工有限公司;

三氟化硼甲醇、甲醇:分析纯,广州市信洪贸易有限公司;

无水碳酸钠、氯化钠、焦性没食子酸:分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱:DHG-9075A型,上海一恒科学仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HWS-24型,上海一恒科学仪器有限公司;

分析天平:MR204/A型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电子天平:YP401N型,上海菁海仪器有限公司;

绞肉机:LA170型,九阳股份有限公司;

电陶炉:C22-CS03型,浙江苏泊尔股份有限公司;

数控超声波清洗器:KQ-500DE型,昆山市超声仪器有限公司;

自动凯氏定氮仪:K9840型,山东海能科学仪器有限公司;

石墨消解仪:SH220F型,山东海能科学仪器有限公司;

脂肪测定期:SOX406型,山东海能科学仪器有限公司;

马弗炉: SX2-8-10Z 型, 上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;

集热式恒温加热磁力搅拌器: DF-101S2 型, 郑州紫拓仪器设备有限公司;

气相色谱—质谱联用仪: TRACE1300-ISQ7000 型, 美国 Thermo 公司;

质构仪: TA-XT2i 型, 英国 SMS 公司;

色差仪: CR-400 型, 日本柯尼达美能达公司;

全自动氨基酸分析仪: LA8080 型, 日本日立公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 重组鹅肝制品制备

(1) 制备工艺: 鹅肝、鸡胸肉于 4 °C 解冻 10 h, 修剪去脂肪、杂质等, 清洗, 鹅肝、鸡胸肉置于绞肉机中斩拌 3 min 至形成肉糜, 加入食盐斩拌 3 min, 加入大豆分离蛋白、木薯淀粉、卡拉胶、TG 酶、复合磷酸盐等斩拌 3 min, 加入调味粉、白糖斩拌 3 min, 加入冰卤汤、植物油等斩拌 3 min, 灌肠, 40 °C 水浴 40 min, 80 °C 水浴 20 min, 100 °C 水浴 20 min, 冷却, 包装。

(2) 重组鹅肝制品组分设计: 采用正交试验法。以鸡胸肉、TG 酶、木薯淀粉和大豆分离蛋白为因素, 采用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 进行组分设计。其他辅料添加量以鹅肝和鸡胸肉的总质量计, 盐 1.4%, 白胡椒粉 1.5%, 黑胡椒粉 1.5%, 白糖 1.2%, 蚝油 3%, 冰卤汤 8%, 植物油 3%, 卡拉胶 0.3%, 复合磷酸盐 0.3%。

1.3.2 综合评价方法建立 采用 CRITIC-灰色关联分析法建立重组鹅肝制品的综合评价方法。选取不同配方重组鹅肝制品的色度指标、熟化损失及质构特性的检测结果作为评价指标, 运用 SPSSPRO 网页版对其进行数据处理及分析。

#### (1) CRITIC 权重法:

① 建立评价矩阵: 评价矩阵  $\mathbf{X}$  由  $i$  个评估对象和  $j$  个评估指标构成。

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中:

$x_{ij}$ —第  $i$  个评估对象的第  $j$  个评估指标的值。

② 原始指标数据处理: 将熟化损失进行负向指标处理, 白度、内聚性进行正向指标处理, 咀嚼性、硬度、弹性、胶黏性进行中间型指标处理, 得到矩阵  $\mathbf{Z} = [z_{ij}]$ 。

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min_j}{\max_j - \min_j}, & \text{正向指标} \\ 1 - \frac{|x_{ij} - x_{best}|}{\max\{|x_{ij} - x_{best}|\}}, & \text{中间型指标,} \\ \frac{\max_j - x_{ij}}{\max_j - \min_j}, & \text{负向指标} \end{cases} \quad (2)$$

式中:

$z_{ij}$ —该原始指标处理后的结果;

$\max_j, \min_j$ —第  $j$  项指标的最大值和最小值;

$x_{best}$ —中间型指标的最优参考值。

③ 指标变异性计算: 以标准差形式进行表现。

均值:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{ij}, \quad (3)$$

标准差:

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}, \quad (4)$$

式中:

$x_{ij}$ —第  $i$  个对象第  $j$  项指标的实验结果;

$\bar{x}_j$ —第  $j$  项指标的平均值;

$S_j$ —第  $j$  项指标的指标差异性。

④ 指标冲突性计算: 以相关系数的形式来表示。

$$R_j = \sum_{l=1, l \neq j}^m (1 - r_{lj}), \quad (5)$$

式中:

$r_{lj}$ —评价指标  $i$  和  $j$  之间的相关系数;

$R_j$ —第  $j$  项指标的指标冲突性。

⑤ 信息量计算: 按式(6)进行计算。

$$C_j = S_j R_j, \quad (6)$$

式中:

$S_j$ —第  $j$  项指标的指标变异性;

$R_j$ —第  $j$  项指标的指标冲突性;

$C_j$ —第  $j$  项指标的信息量。

⑥ 权重系数矩阵: 按式(7)、式(8)进行计算。

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_j]^T, \quad (7)$$

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{l=1}^m C_l}, \quad (8)$$

式中:

$C_j$ —第  $j$  项指标的信息量;

$w_j$ —第  $j$  项指标的权重系数。

(2) 灰色关联分析法:

① 确定评价指标: 利用各指标的 CRITIC 权重确定各样品的基础值, 整理得到待评价矩阵  $\mathbf{C}$ 。

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1j} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{i1} & \cdots & c_{ij} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

式中:

$c_{ij}$ —第  $i$  个对象第  $j$  项指标的值。

② 确定母序列  $\mathbf{C}_0$ : 选取 9 组重组鹅肝制品通过权重计算得到权重得分。

③ 对评价指标进行无量纲处理: 用均值法对各指标值进行无量纲处理。

比较序列均值:

$$\bar{C}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k C_{ij}, \quad (10)$$

无量纲化结果:

$$X_i(j) = \frac{C_{ij}}{\bar{C}_j}, \quad (11)$$

式中:

$X_i$ ——第  $i$  项数据无量纲处理后的结果;

$C_j$ ——第  $j$  项指标的均值;

$C_{ij}$ ——第  $j$  项指标的第  $i$  项试验结果。

④ 计算比较序列与参考序列的关联系数:按式(12)进行计算。

$$\xi_i(j) = \frac{\min_{i,j} |X_0(j) - X_i(j)| + \rho \max_{i,j} |X_0(j) - X_i(j)|}{|X_0(j) - X_i(j)| + \rho \max_{i,j} |X_0(j) - X_i(j)|}, \quad (12)$$

式中:

$\rho$ ——分辨系数,取(0,1),一般取0.5;

$\xi_i(j)$ ——第  $i$  个对象第  $j$  项指标与参考序列之间的关联系数。

计算完成得到关联系数矩阵  $(\xi_{ij})_{m \times n}$ 。

⑤ 计算关联度:按式(13)进行计算。

$$r_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \xi_i(j), \quad (13)$$

式中:

$r_j$ ——第  $j$  个对象与母序列的关联度;

$\xi_{ij}$ ——第  $i$  个对象第  $j$  项指标的关联系数。

⑥ 计算关联得分并排序:按式(14)进行计算。

$$S_i = \sum_{j=1}^m r_j c_{ij}, \quad (14)$$

式中:

$S_i$ ——第  $i$  个对象的灰色关联得分;

$r_j$ ——第  $j$  个对象与母序列的关联度;

$c_{ij}$ ——第  $i$  个对象第  $j$  项指标的数据。

### 1.3.3 品质特性指标测定

(1) 熟化损失:根据金铮等<sup>[24]</sup>的方法。

(2) TPA:根据扶庆权等<sup>[25]</sup>的方法并修改。将重组鹅

$$TI = \frac{C_{12:0} + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times \sum PUFA_{(\omega-6)} + 3 \sum PUFA_{(\omega-3)} + \frac{\sum PUFA_{(\omega-3)}}{\sum PUFA_{(\omega-6)}}}. \quad (20)$$

(2) 氨基酸营养价值评价:根据 FAO/WHO 提出的氨基酸评分标准模式和中国疾病预防控制中心提出的全鸡蛋白氨基酸模式,分别按式(21)、式(22)计算重组鹅肝蛋白中的氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)<sup>[29-30]</sup>。

$$AAS = \frac{m_1}{m_2}, \quad (21)$$

式中:

AAS——重组鹅肝蛋白中的氨基酸评分;

肝样品切为 2 cm 厚的圆柱体,采用质构仪进行测定,取硬度、弹性、咀嚼性、内聚性、胶黏性 5 个指标,结果取平均值。探头型号 P/50, 测前速度 1 mm/s, 测试速度 60 mm/min, 测后速度 2 mm/s, 压缩变形量 30%, 循环次数 2 次, 测定间隔时间 5 s, 触发力 2 N。

(3) 色度:将重组鹅肝样品切为 2 cm 厚的圆柱体, 表面用吸水纸擦干, 手持色差仪先进行零位校正和白板校正后测定样品表面的  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值, 每份样品测定 9 次, 按式(15)计算白度值,结果取平均值。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}, \quad (15)$$

式中:

$L^*, a^*, b^*$ ——重组鹅肝的色度值;

$W$ ——鹅肝白度;

100——完全反射漫射体的白度。

### 1.3.4 基本成分测定

(1) 水分含量:按 GB 5009.3—2016 执行。

(2) 灰分:按 GB 5009.4—2016 执行。

(3) 蛋白质含量:按 GB 5009.5—2016 执行。

(4) 脂肪含量:按 GB 5009.6—2016 执行。

(5) 脂肪酸:按 GB 5009.168—2016 执行。

### 1.3.5 氨基酸测定 按 GB 5009.124—2016 执行。

### 1.3.6 重组鹅肝营养价值评价方法

(1) 脂肪酸营养价值评价:对重组鹅肝的饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)的比例进行评价。利用 PUFA 和 SFA 的比值,计算致动脉粥样硬化指数(AI)和血栓形成指数(TI),评价其对人类心血管疾病发生的影响<sup>[26]</sup>。按式(16)~式(20)进行计算<sup>[27-28]</sup>。

$$SFA = C_{14:0} + C_{16:0} + C_{17:0} + \dots + C_{22:0}, \quad (16)$$

$$MUFA = C_{16:1} + C_{17:1} + C_{18:1} + C_{20:1} + C_{22:1} + C_{24:1}, \quad (17)$$

$$PUFA = C_{18:2} + C_{18:3} + C_{20:2} + C_{20:3} + C_{20:4} + C_{22:6}, \quad (18)$$

$$AI = \frac{C_{12:0} + 4 \times C_{14:0} + C_{16:0}}{\sum MUFA + \sum PUFA}, \quad (19)$$

$$m_1 = \text{样品蛋白质中某种必需氨基酸含量, mg/g};$$

$m_2$ ——FAO/WHO 模式中某种必需氨基酸含量, mg/g。

$$CS = \frac{m_1}{m_2}, \quad (22)$$

式中:

CS——重组鹅肝蛋白中的化学评分;

$m_1$ ——样品蛋白质中某种必需氨基酸含量, mg/g;

$m_2$ ——鸡蛋某种必需氨基酸含量。mg/g。

#### 1.4 数据处理

除特殊说明之外的指标<sup>[30]</sup>采取 3 次平行试验,熟化损失、色泽、TPA、基本理化成分结果均用平均值±标准差表示。采用 SPSS 27 软件进行方差分析,Origin 2022 软件绘图并进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 综合评价法建立

以鸡胸肉、TG 酶、木薯淀粉和大豆分离蛋白为因素,采用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 进行正交试验设计,试验因素水平见表 1,试验设计见表 2。

表 1 正交试验因素表

Table 1 Factors in orthogonal experiments

水平	A 鸡胸肉添 加量/%	B TG 酶添 加量/%	C 木薯淀粉 添加量/%	D 大豆分离蛋 白添加量/%
1	75	1.25	9	2.25
2	80	1.50	10	2.50
3	85	1.75	11	2.75

表 2 正交试验设计

Table 2 Designs in orthogonal experiments

试验号	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	3	2
3	1	3	2	3
4	2	1	3	3
5	2	2	2	1
6	2	3	1	2
7	3	1	2	2
8	3	2	1	3
9	3	3	3	1

表 3 不同配方重组鹅肝产品主要指标的变化

Table 3 Main indexes of recombinant goose liver products made with different formulas

试验号	白度	熟化损失/%	质构特性				
			硬度/N	内聚性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
1	51.07±1.09	0.27±0.13	28.25±1.16	0.60±0.01	4.03±0.15	17.71±0.90	71.29±3.67
2	52.63±2.11	0.13±0.07	33.29±0.67	0.62±0.01	4.52±0.02	20.57±0.53	92.94±2.81
3	54.88±1.61	0.10±0.06	28.42±1.05	0.64±0.01	4.61±0.08	18.08±0.51	83.32±3.06
4	53.66±1.18	0.15±0.05	29.22±0.60	0.62±0.00	4.19±0.07	18.12±0.43	75.93±0.74
5	55.73±1.61	0.39±0.17	39.74±3.00	0.63±0.01	4.76±0.06	25.13±1.67	119.48±7.48
6	55.44±1.33	0.30±0.13	31.63±1.32	0.63±0.01	4.70±0.16	19.97±0.83	93.82±4.82
7	52.00±1.35	0.22±0.09	43.26±2.10	0.64±0.01	4.64±0.31	27.62±0.80	128.14±8.96
8	51.11±1.27	0.18±0.07	29.28±0.83	0.62±0.02	4.37±0.17	18.19±0.56	79.58±2.50
9	51.51±1.07	0.32±0.25	39.75±0.56	0.66±0.01	4.75±0.30	26.38±0.90	125.20±5.55

#### 2.1.1 CRITIC 权重法的建立

(1) 评价矩阵: 测定 9 组试验样品的白度、熟化损失平均率、硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性, 结果见表 3, 同时根据 7 个指标的测定结果, 构成评价矩阵。

51.07	0.27	28.25	0.60	4.03	17.71	71.29
52.63	0.13	33.29	0.62	4.52	20.57	92.94
54.88	0.10	28.42	0.64	4.61	18.08	83.32
53.66	0.15	29.22	0.62	4.19	18.12	75.93
55.73	0.39	39.74	0.63	4.76	25.13	119.48
55.44	0.30	31.63	0.63	4.70	19.97	93.82
52.00	0.22	43.26	0.64	4.64	27.62	128.14
51.11	0.18	29.28	0.62	4.37	18.19	79.58
51.51	0.32	39.75	0.66	4.75	26.38	125.20

(2) 原始指标数据处理: 各项指标中, 熟化损失平均率越小越好, 属于负向指标, 白度、内聚性越大越好, 属于正向指标, 咀嚼性、硬度、弹性、胶黏性属于中间型指标, 经式(2)计算得到

0.00	0.41	0.99	0.00	0.00	0.71	0.73
0.33	0.90	0.67	0.17	0.84	0.92	0.79
0.82	1.00	1.00	0.83	1.00	0.75	1.00
0.56	0.83	0.95	0.33	0.28	0.76	0.84
1.00	0.00	0.24	0.50	0.74	0.33	0.19
0.94	0.31	0.78	0.50	0.84	1.00	0.77
0.20	0.59	0.00	0.83	0.95	0.00	0.00
0.01	0.72	0.94	0.67	0.59	0.77	0.92
0.09	0.24	0.24	1.00	0.76	0.16	0.07

(3) 相关系数矩阵: 以指标之间的对比强度和冲突性计算各指标的相关性, 得到相关系数见表 4。由表 4 可知, 咀嚼性与胶黏性和硬度之间呈显著正相关, 相关系数分别为 0.920( $P < 0.05$ ), 0.961( $P < 0.05$ ); 胶黏性与硬度之间呈显著正相关, 相关系数为 0.863( $P < 0.05$ )。因此, 咀嚼性、胶黏性、硬度等指标可以从客观上评价重组鹅肝的品质。

(4) 重组鹅肝的品质指标权重: 指标变异性以标准差( $S_i$ )形式表现, 标准差越大则权重越大。指标冲突性以指

表4 重组鹅肝各品质指标之间的相关性<sup>†</sup>  
Table 4 Correlation of quality indexes of recombinant goose livers

指标	熟化损失	白度	咀嚼性	胶黏性	弹性	内聚性	硬度
熟化损失	1.000						
白度	-0.166	1.000					
咀嚼性	0.646	0.119	1.000				
胶黏性	0.435	0.235	0.920*	1.000			
弹性	0.088	0.398	-0.252	-0.213	1.000		
内聚性	-0.066	0.035	-0.432	-0.568	0.660	1.000	
硬度	0.531	0.019	0.961*	0.863*	-0.463	-0.472	1.000

† \*为在0.05水平上显著相关。

标间相关性为基础,以 $R_j$ 的形式体现,指标之间相关性越强则冲突性越低,权重越小。信息量指指标所包含的信息,信息量越大,该指标的相对重要性越大。将信息量归一化得到各指标的权重,经CRITIC权重法计算得到的客观权重见表5,权重从大到小依次为咀嚼性(17.851%)、熟化损失平均率(16.933%)、胶黏性(15.044%)、硬度(13.879%)、内聚性(12.349%)、白度(12.012%)、弹性(11.931%)。故按照权重大小对重组鹅肝的品质进行权重打分。

表5 重组鹅肝品质指标权重  
Table 5 Quality index weight of recombinant goose livers

指标	指标变异性 $S_j$	指标冲突性 $R_j$	信息量 $C_j$	权重 $W_j/\%$
白度	0.336	4.532	1.524	12.012
熟化损失平均率	0.401	5.360	2.149	16.933
内聚性	0.388	4.038	1.567	12.349
硬度	0.386	4.562	1.761	13.879
咀嚼性	0.331	6.843	2.265	17.851
胶黏性	0.330	5.783	1.909	15.044
弹性	0.350	4.329	1.514	11.931

(5) 正交试验组的重组鹅肝品质CRITIC权重得分:通过计算得到不同配方的重组鹅肝品质的CRITIC权重得分,结果见表6。将此权重得分应用到灰色关联法中,计算各组重组鹅肝与CRITIC权重得分的关联度,进而计算重组鹅肝的综合得分。

## 2.1.2 灰色关联法的建立

(1) 评价矩阵:测定样品的白度、熟化损失平均率、内聚性、硬度、咀嚼性、胶黏性和弹性,由各品质指标检测结果构成评价矩阵。

$$C = \begin{bmatrix} 51.07 & 0.27 & 28.25 & 0.60 & 4.03 & 17.71 & 71.29 \\ 52.63 & 0.13 & 33.29 & 0.62 & 4.52 & 20.57 & 92.94 \\ 54.88 & 0.10 & 28.42 & 0.64 & 4.61 & 18.08 & 83.32 \\ 53.66 & 0.15 & 29.22 & 0.62 & 4.19 & 18.12 & 75.93 \\ 55.73 & 0.39 & 39.74 & 0.63 & 4.76 & 25.13 & 119.48 \\ 55.44 & 0.30 & 31.63 & 0.63 & 4.70 & 19.97 & 93.82 \\ 52.00 & 0.22 & 43.26 & 0.64 & 4.64 & 27.62 & 128.14 \\ 51.11 & 0.18 & 29.28 & 0.62 & 4.37 & 18.19 & 79.58 \\ 51.51 & 0.32 & 39.75 & 0.66 & 4.75 & 26.38 & 125.20 \end{bmatrix}$$

(2) 确定母序列 $C_0$ :选取9组正交试验的重组鹅肝品质的CRITIC权重得分组成一个新矩阵。

$$C_0 = [24.23 \ 28.27 \ 26.50 \ 25.44 \ 33.58 \ 28.60 \ 34.77 \\ 25.51 \ 33.72]$$

表6 重组鹅肝品质指数及CRITIC权重得分  
Table 6 Quality index of recombinant goose livers and CRITIC weight scores

试验号	白度	熟化损失平均率	硬度	内聚性	弹性	胶黏性	咀嚼性	权重得分	排名
1	51.07	0.27	28.25	0.60	4.03	17.71	71.29	24.23	9
2	52.63	0.13	33.29	0.62	4.52	20.57	92.94	28.27	5
3	54.88	0.10	28.42	0.64	4.61	18.08	83.32	26.50	6
4	53.66	0.15	29.22	0.62	4.19	18.12	75.93	25.44	8
5	55.73	0.39	39.74	0.63	4.76	25.13	119.48	33.58	3
6	55.44	0.30	31.63	0.63	4.70	19.97	93.82	28.60	4
7	52.00	0.22	43.26	0.64	4.64	27.62	128.14	34.77	1
8	51.11	0.18	29.28	0.62	4.37	18.19	79.58	25.51	7
9	51.51	0.32	39.75	0.66	4.75	26.38	125.20	33.72	2

(3) 正交试验组品质指标的灰色关联系数:依据灰色关联法的基本方法,将评价矩阵  $C$ 、母序列  $C_0$  导入 SPSSPRO 网页版,选择均值法对各品质评价指标进行无量纲处理,选取分辨系数为 0.50,计算得到关联系数矩阵。

$$\xi = \begin{bmatrix} 0.69 & 0.45 & 1.00 & 0.71 & 0.83 & 0.99 & 0.74 \\ 0.96 & 0.40 & 0.96 & 0.98 & 0.92 & 0.97 & 0.96 \\ 0.79 & 0.37 & 0.80 & 0.73 & 0.72 & 0.81 & 0.85 \\ 0.68 & 0.56 & 0.97 & 0.72 & 0.85 & 0.92 & 0.75 \\ 0.72 & 0.34 & 0.94 & 0.64 & 0.73 & 0.94 & 0.95 \\ 0.84 & 0.46 & 0.86 & 0.96 & 0.84 & 0.85 & 0.69 \\ 0.56 & 0.54 & 0.77 & 0.60 & 0.62 & 0.75 & 0.69 \\ 0.78 & 0.75 & 0.97 & 0.73 & 0.76 & 0.92 & 0.83 \\ 0.59 & 0.54 & 0.95 & 0.71 & 0.72 & 0.80 & 0.68 \end{bmatrix}$$

关联系数代表各正交试验组与母序列对应维度上的关联程度值,数字越大,关联性越强。

(4) 正交试验组品质指标的灰色关联度:根据正交试验组各品质指标的灰色关联系数计算各组重组鹅肝制品与得分之间的关联度及排序,结果见表 7。关联度值为 0~1,值越大代表该指标与重组鹅肝制品得分之间的相关性越强。由表 7 可知,硬度与品质得分关联度最大,为 0.914;其次为胶黏性。

表 7 重组鹅肝品质指标的关联度及排名

Table 7 Correlation degrees and rankings of quality indicators of recombinant goose livers

评价项	关联度	排名
硬度	0.914	1
胶黏性	0.883	2
咀嚼性	0.805	3
弹性	0.778	4
内聚性	0.754	5
白度	0.724	6
熟化损失平均率	0.489	7

(5) 正交试验组的重组鹅肝品质综合得分:将正交试验组的重组鹅肝各指标测量值与指标的关联度相乘得到各样品的关联得分,如表 8 所示。其中,综合得分最高的为第 7 组,为 208.93 分;其次为第 9 组,为 202.05 分。根据不同配方的重组鹅肝制品的综合得分,得到 4 个等级的综合得分范围(见表 9)。

## 2.2 重组鹅肝的品质特性

由表 10 可知,重组鹅肝的水分含量较高,为 64.86 g/100 g;蛋白质含量高达 18.13 g/100 g,因其加工过程中加入了辅料,略低于鹅肝蛋白含量<sup>[6]</sup>,由于鸡胸肉、大豆分离蛋白的加入,其蛋白质含量仍处于较高水平,高于文献[7]的鹅肝肠;脂肪含量为 0.85 g/100 g,根据 GB 28050—2011,每 100 g 固体食品中不高于 1.5 g 脂肪含

表 8 重组鹅肝的综合得分及排名

Table 8 Comprehensive scores and rankings of recombinant goose livers

试验号	综合得分	排名
1	139.54	9
2	165.56	5
3	152.86	6
4	146.48	8
5	199.41	3
6	166.49	4
7	208.93	1
8	147.84	7
9	202.05	2

表 9 重组鹅肝制品的评价标准表

Table 9 Evaluation criteria for recombinant goose liver products

等级	优	良	中	差
综合得分范围	>200	165~200	140~164	<140

表 10 重组鹅肝的基本成分测定结果

Table 10 Basic component determination of recombinant goose livers

g/100 g

水分	灰分	脂肪	蛋白质
64.86±0.09	2.74±0.01	0.85±0.01	18.13±0.08

量为低饱和脂肪类食品,可确定该重组鹅肝为低饱和脂肪类食品。因此,最佳配方的重组鹅肝具有蛋白含量高、脂肪含量低的特性。

## 2.3 重组鹅肝的脂肪酸组成分析

由图 1 可知,重组鹅肝中共检出 14 种脂肪酸。其中,SFA 5 种,含量为 0.73 g/100 g;不饱和脂肪酸 9 种,MUFA 3 种,PUFA 6 种,PUFA 含量最高。PUFA 含量高于文献[8]的,可能与鸡胸肉添加量较高有关,PUFA 有利于调节人体的脂质代谢。由图 2 可知,单不饱和脂肪酸中蓖麻油酸( $C_{18:1}$ )含量最高,为 0.67 g/100 g;多不饱和脂肪酸中亚油酸( $C_{18:2}$ )含量最高,为 1.08 g/100 g,其次是  $\alpha$ -亚麻酸( $C_{18:3}$ )、花生四烯酸( $C_{20:4}$ )。陈唱等<sup>[8]</sup>研究发现,亚油酸为鹅肝中含量最高的多不饱和脂肪酸。因此,亚油酸为鹅肝中主要的多不饱和脂肪酸。亚油酸是一种人体必需脂肪酸,可以降低血液中的胆固醇,对人体有益<sup>[31]</sup>。 $\alpha$ -亚麻酸是一种  $\omega$ -3 必需脂肪酸,具有提高智力及抗血栓的作用<sup>[32]</sup>。花生四烯酸是一种  $\omega$ -6 多不饱和脂肪酸,在人体蛋白代谢、大脑和视神经发育等方面具有重要的作用<sup>[33]</sup>。综上,该重组鹅肝产品的脂肪含量为 0.85 g/100 g,属于低脂类产品,说明该配方的重组鹅肝的营养好。

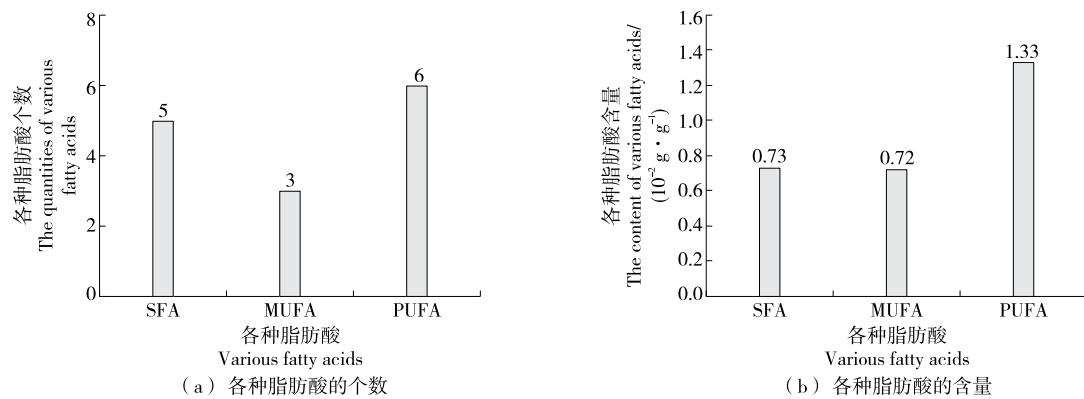


图 1 重组鹅肝脂肪酸的种类个数和含量

Figure 1 Quantities and content of fatty acids in recombinant goose livers

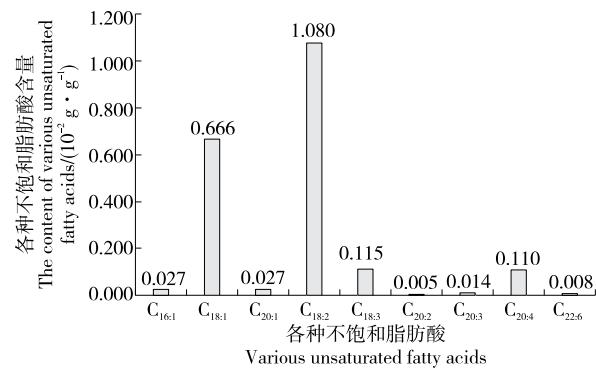


图 2 重组鹅肝中不饱和脂肪酸含量

Figure 2 Unsaturated fatty acid content in recombinant goose livers

为进一步评价重组鹅肝的营养价值,采用AI和TI来评价重组鹅肝可能导致心血管疾病发生的可能性<sup>[34]</sup>。食用较低AI值和TI值的食品可以降低人体中血浆总胆固醇和低密度脂蛋白水平,对心血管健康有益<sup>[35]</sup>。羊肉、牛肉和猪肉的AI值分别为1.0,0.7,0.6;TI值分别为1.5,1.0,1.3<sup>[36]</sup>。由表11可知,重组鹅肝的AI值为0.24, TI值为0.48,均分别低于几种常见肉类的AI值和TI值,说明重组鹅肝对心脑血管疾病患者的影响小于其他常见的肉类。

$\omega$ -6 PUFA为一种必需脂肪酸,与机体代谢和免疫机能均相关,重组鹅肝中 $\omega$ -6 PUFA含量为42.79%。亚油酸是一种 $\omega$ -6 PUFA,是构成低密度脂蛋白的主要成分,对调节血脂和改善脂代谢紊乱有重要作用<sup>[37]</sup>。重组鹅肝中亚油酸占比为38.80%,是人体摄入亚油酸的选择之一。二十二碳六烯酸(DHA)是一种对人体极重要的多不饱和脂肪酸,是大脑的重要组成成分之一,可以促进婴幼儿的脑部发育,提高成年人的记忆力,改善脑功能,预防脑神经退化性疾病的发生<sup>[38]</sup>。重组鹅肝中含有DHA,可以作为人体补充DHA的产品选择之一。

表 11 重组鹅肝脂肪酸组成营养<sup>†</sup>

Table 11 Fatty acid compositions of recombinant goose livers

脂肪酸种类	比例/%	脂肪酸种类	比例/%
SFA	26.24	PUFA( $\omega$ -6)	42.79
MUFA	25.87	AI	0.24
PUFA	47.89	TI	0.48
PUFA( $\omega$ -3)	4.93		

<sup>†</sup> SFA包含 $\text{C}_{14:0}$ 、 $\text{C}_{16:0}$ 、 $\text{C}_{18:0}$ 、 $\text{C}_{20:0}$ 和 $\text{C}_{22:0}$ ; MUFA包含 $\text{C}_{16:1}$ 、 $\text{C}_{18:1}$ 和 $\text{C}_{20:1}$ ; PUFA包含 $\text{C}_{18:2}$ 、 $\text{C}_{18:3}$ 、 $\text{C}_{20:2}$ 、 $\text{C}_{20:3}$ 、 $\text{C}_{20:4}$ 和 $\text{C}_{22:6}$ ; PUFA( $\omega$ -3)包含 $\text{C}_{18:3}$ 、 $\text{C}_{20:3}$ 和 $\text{C}_{22:6}$ ; PUFA( $\omega$ -6)包含 $\text{C}_{18:2}$ 和 $\text{C}_{20:4}$ 。

#### 2.4 重组鹅肝的氨基酸组成及氨基酸营养评价

**2.4.1 氨基酸组成** 鹅肝中蛋白质含量达21.17%,体内消化率高达97%<sup>[7]</sup>,是优质的蛋白质来源。由表12可知,重组鹅肝中共检出16种氨基酸,其中人体必需氨基酸(EAA)7种,组氨酸为婴幼儿必需氨基酸。必需氨基酸总量为35.58 g/100 g,其中赖氨酸含量最高。EAA/TAAs为43.25%,EAA/NEAA为76.22%。根据FAO/WHO评分标准,必需氨基酸与总氨基酸的比值为40%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值为60%时为优质蛋白。重组鹅肝的EAA/TAAs和EAA/NEAA均已达到FAO/WHO的标准,其氨基酸组成合理,可作为人体必需氨基酸获取的主要来源,也可将重组鹅肝作为优质蛋白质食品。

**2.4.2 氨基酸组成营养评价** 由表13可知,重组鹅肝中必需氨基酸总含量稍微高于FAO/WHO标准,但重组鹅肝的必需氨基酸总量比全鸡蛋蛋白模式的低。从单个氨基酸含量来看,重组鹅肝中赖氨酸含量比全鸡蛋蛋白模式和FAO/WHO模式的高,分别高出2.98,3.08 g/100 g;亮氨酸和异亮氨酸含量比全鸡蛋蛋白模式的低,但比FAO/WHO模式的高,其余均比全鸡蛋蛋白模式和FAO/WHO模式的低。因此,重组鹅肝的第一限制性氨基酸和第二

表 12 重组鹅肝的氨基酸组成和含量<sup>†</sup>

Table 12 Compositions and content of amino acid in recombinant goose livers

氨基酸	名称	含量/ ( $10^{-2}$ g·g <sup>-1</sup> )	占比/%
必需氨基酸	赖氨酸*	8.58	10.43
	亮氨酸*	7.32	8.90
	缬氨酸*	4.26	5.18
	异亮氨酸*	4.14	5.03
	苏氨酸*	3.90	4.74
	苯丙氨酸*	3.60	4.38
	蛋氨酸*	1.86	2.26
	酪氨酸*	1.92	2.33
非必需氨基酸	谷氨酸	14.82	18.02
	天冬氨酸	8.22	9.99
	精氨酸	5.46	6.64
	丙氨酸	4.98	6.05
	甘氨酸	3.84	4.67
	丝氨酸	3.60	4.38
	脯氨酸	3.36	4.08
	组氨酸	2.40	2.92
氨基酸总量		82.26	/
必需氨基酸总量(EAA)		35.58	43.25
非必需氨基酸总量(NEAA)		46.68	56.75
EAA/TAA		/	43.25
EAA/NEAA		/	76.22
鲜味氨基酸总量(DTAA)		37.38	45.44

<sup>†</sup> 色氨酸因酸水解法测定,未能检出;\*为必需氨基酸, \*\*为婴幼儿特需的必需氨基酸。

限制性氨基酸分别为蛋氨酸和苏氨酸,而赖氨酸是重组鹅肝的优势氨基酸。从评分结果来看,以 AAS 为标准评分时,重组鹅肝中赖氨酸、亮氨酸和异亮氨酸的 AAS 评分 $>1$ ,苏氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸的 AAS 评分接近 1,缬氨酸和蛋氨酸的 AAS 分别为 0.85 和 0.53。以 CS 为标准评分时,只有赖氨酸的 CS 评分 $>1$ ,其余氨基酸的 CS 评分均 $<1$ 。综合 AAS 和 CS 的评分结果,重组鹅肝的第一限制性氨基酸为蛋氨酸。

### 3 结论

采用 CRITIC 法对不同配方中重组鹅肝的色度指标、熟化损失及质构特性等 7 个指标进行了权重赋分,进而采用灰色关联法建立了 7 个品质指标之间的灰色关联系数与关联度。结果表明,硬度与品质得分的关联度最大,为 0.914;通过各指标与关联度相乘得到不同配方重组鹅肝的综合得分,得出重组鹅肝的最优配方为鸡胸肉添加量

表 13 重组鹅肝的氨基酸评分和化学评分

Table 13 Amino acid scores and chemical scores of recombinant goose livers

氨基酸	含量/ ( $10^{-2}$ g·g <sup>-1</sup> )	AAS	CS	鸡蛋蛋白	FAO/WHO 推荐值
赖氨酸	8.58	1.56	1.23	5.6	5.5
亮氨酸	7.32	1.05	0.85	9.2	7.0
缬氨酸	4.26	0.85	0.65	6.8	5.0
异亮氨酸	4.14	1.04	0.77	5.0	4.0
苏氨酸	3.90	0.98	0.83	5.2	4.0
蛋氨酸	1.86	0.53	0.33	5.0	3.5
苯丙氨酸+酪氨酸	5.52	0.99	0.59	9.1	5.6
必需氨基酸总量	35.58	/	/	47.3	35.0

85%、TG 酶添加量 1.25%、木薯淀粉添加量 10%, 大豆分离蛋白添加量 2.5%, 此时综合得分最高, 为 208.93 分。重组鹅肝中共检出 14 种脂肪酸, 其中不饱和脂肪酸 9 种, 多不饱和脂肪酸 6 种, 并含有亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸和花生四烯酸。该重组鹅肝的脂肪含量低, 蛋白含量高, 属于优质蛋白质食品, 可作为心脑血管疾病患者推荐食品。后续可以结合重组鹅肝加工过程的蛋白质和风味物质等方面, 为制备重组鹅肝提供更加完善的指导。

### 参考文献

- [1] 李鑫. 鹅肝蛋白的提取及其加工特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2018: 13.
- [2] LIN X. Study on extraction and processing properties of goose liver proteins[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018: 13.
- [3] 丁辉. 鹅肝酱创新制作与在烹饪中调味应用[J]. 中国调味品, 2015, 40(11): 78-80, 88.
- [4] DING H. Innovative making of foie gras and flavoring application in cooking[J]. China Condiment, 2015, 40(11): 78-80, 88.
- [5] HU Y Y, ZHOU C Y, ZENG X Q, et al. Phosphorylation altered structural flexibility of goose liver protein: relation to interfacial and emulsifying properties[J]. Journal of Food Engineering, 2024, 375: 112040.
- [6] 林婉玲, 曾姣, 郑秋纯, 等. 不同卤料处理方式对卤味鹅肝挥发性风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(6): 243-251.
- [7] LIN W L, ZENG J, ZHENG Q C, et al. Effect of different spice processing treatments on the volatile flavor components of pot-stewed goose liver[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(6): 243-251.
- [8] 吴婷婷, 刘溪, 周蒙蒙, 等. 樱桃鹅肝的改良工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(9): 68-71.
- [9] WU T T, LIU X, ZHOU M M, et al. The improvement of the process of cherry shape's goose liver[J]. The Food Industry,

- 2020, 41(9): 68-71.
- [6] 谢章斌, 罗婷, 范亚苇, 等. 复合风味蛋白酶改善鹅肝酱风味的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 235-239.
- XIE Z B, LUO T, FAN Y W, et al. Compound flavourzyme hydrolysis for flavor improvement of goose liver sauce[J]. Food Science, 2010, 31(20): 235-239.
- [7] 陈唱. 鹅肝深加工产品的研制[D]. 南京: 南京农业大学, 2018: 12, 19, 67.
- CHEN C. Development of goose liver deep processing products [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018: 12, 19, 67.
- [8] 陈唱, 王鹏, 张玉龙, 等. 营养鹅肝肠的研制及其营养价值分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(11): 232-239, 247.
- CHEN C, WANG P, ZHANG Y L, et al. Development of nutritional goose liver sausage and its nutritional value analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(11): 232-239, 247.
- [9] 周亚军, 王淑杰, 闫琳娜, 等. 重组鹿肉制品的加工特性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 268-275.
- ZHOU Y J, WANG S J, YAN L N, et al. Processing property of recombinant product made of venison and pork[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 268-275.
- [10] ZHAO J L, ZHU W Y, ZENG J H, et al. Insight into the mechanism of allergenicity decreasing in recombinant sarcoplasmic calcium-binding protein from shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with thermal processing via spectroscopy and molecular dynamics simulation techniques [J]. Food Research International, 2022, 157: 111427.
- [11] 郝修振, 付丽, 申晓琳, 等. 谷氨酰胺转氨酶对重组肥牛粘结条件及工艺的优化[J]. 肉类工业, 2016(7): 33-38.
- HAO X Z, FU L, SHEN X L, et al. Optimization of binding condition and technology of transglutaminase to recombinant plump beef[J]. Meat Industry, 2016(7): 33-38.
- [12] 黄莉, 孔保华, 江连洲, 等. 食用胶对重组牛肉加工特性的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 114-118.
- HUANG L, KONG B H, JIANG L Z, et al. Effect of edible gums on processing characteristics of restructured beef[J]. Food Science, 2009, 30(23): 114-118.
- [13] 张云飞. 鲣鱼纯鱼肉重组制品的研制及其品质特性的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011: 23.
- ZHANG Y F. Study on development of restructured pomfret products and its quality characteristics[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011: 23.
- [14] 李琴. 碎猪肉与豆腐重组火腿产品开发[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015: 20.
- LI Q. The development of ground pork and tofu restructuring ham product[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2015: 20.
- [15] 严华, 魏峰, 马双成. 基于综合权重分析的西洋参药材等级质量标准研究[J]. 中国现代中药, 2021, 23(8): 1 363-1 373.
- YAN H, WEI F, MA S C. Study on quality grading standard of panacis quinquefolii radix based on comprehensive weight analysis[J]. Modern Chinese Medicine, 2021, 23(8): 1 363-1 373.
- [16] DONG X, BI X Z, QUEK S Y. Integrative approach to assessing bioactivity from hempseed protein isolate extracted and dehydrated by different methods: synergising in silico prediction and *in vitro* validation[J]. Food Chemistry, 2025, 463: 141459.
- [17] 李继清, 李阳, 黄可. 基于CRITIC-加权灰色关联分析的年度洪涝灾情评估模型及应用[J]. 中国农村水利水电, 2024(11): 21-29.
- LI J Q, LI Y, HUANG K. Annual flood disaster assessment model and application based on critical-weighted grey correlation analysis[J]. China Rural Water and Hydropower, 2024(11): 21-29.
- [18] PESODE P, BARVE S. A grey relational analysis of the micro arc oxidation process parameters and their effects on Ti-6Al-7Nb coating performance and corrosion resistance for biomedical uses[J]. Engineering Research Express, 2024, 6(4): 045512.
- [19] 熊云峰. 基于灰色系统理论的船舶耐波性综合评价研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005: 17.
- XIONG Y F. The comprehensive evaluation of seakeeping based the theory of grey system[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2005: 17.
- [20] 李远哲, 孙亚东, 付昭旺, 等. 基于改进灰色关联分析法的装备作战能力量化评估[J]. 火力与指挥控制, 2024, 49(3): 178-184.
- LI Y Z, SUN Y D, FU Z W, et al. Quantitative evaluation of equipment combat capability based on improved gray correlation method[J]. Fire Control & Command Control, 2024, 49(3): 178-184.
- [21] 刘翔, 韩梅, 严清彪, 等. 基于灰色关联分析的肥饲兼用型箭筈豌豆种质资源评价[J]. 草业科学, 2024, 41(1): 106-116.
- LIU X, HAN M, YAN Q B, et al. Evaluation of germplasm resources used for fertilizing and feeding in *Vicia sativa* based on grey correlation analysis[J]. Pratacultural Science, 2024, 41(1): 106-116.
- [22] 潘翔磊, 梁庆伟, 张晴晴, 等. 赤峰地区11个青贮玉米品种品质的比较研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2022(2): 92-97.
- PAN X L, LIANG Q W, ZHANG Q Q, et al. Comparative study on quality of 11 silage maize varieties in Chifeng area[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2022 (2): 92-97.
- [23] 聂畅, 杨燕云, 张振秋. 星点效应面结合CRITIC权重赋值法优选芍药甘草汤的制备工艺研究[J]. 辽宁中医杂志, 2020, 47(12): 145-147, 239.
- NIE C, YANG Y Y, ZHANG Z Q. Study on optimization of *Paeoniae radix et Notoginsengi Tang* preparation process based on star-point effect surface and CRITIC weight assignment

- method[J]. Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine, 2020, 47(12): 145-147, 239.
- [24] 金铮, 于婉莹, 赵文字, 等. 鲟鱼重组鱼排3D打印特性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(3): 241-249.
- JIN Z, YU W Y, ZHAO W Y, et al. 3D printing characteristics of reconstituted fish fillets of sturgeon[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(3): 241-249.
- [25] 扶庆权, 周宏. 鸡肉火腿肠综合品质的研究[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 45-48.
- FU Q Q, ZHOU H. Comprehensive quality of chicken ham sausages[J]. Food Science, 2011, 32(1): 45-48.
- [26] 邓金兰, 邱英莲, 李海丽, 等. 金腿五仁月饼脂肪酸组成分析与营养评价[J]. 食品工业, 2023, 44(3): 326-330.
- DENG J L, QIU Y L, LI H L, et al. Fatty acid composition analysis and nutrition evaluation of Chinese ham mooncake with five kernel[J]. The Food Industry, 2023, 44(3): 326-330.
- [27] 宋海云, 张涛, 王文林, 等. 澳洲坚果果仁脂肪酸分析及评价[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(21): 128-136.
- SONG H Y, ZHANG T, WANG W L, et al. Analysis and evaluation of fatty acids in macadamia kernels[J]. Food Research and Development, 2021, 42(21): 128-136.
- [28] 张倩芳, 李敏, 孟晶岩, 等. 藜麦冲调粉加工工艺优化及其营养评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(24): 216-221.
- ZHANG Q F, LI M, MENG J Y, et al. Research on the processing technology and nutritional evaluation of quinoa compound powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(24): 216-221.
- [29] 章杰, 何航, 揭晓蝶, 等. 四川白鹅氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品与机械, 2018, 34(9): 62-67.
- ZHANG J, HE H, JIE X D, et al. Analysis of amino acid composition and nutritional evaluation of Sichuan white goose [J]. Food & Machinery, 2018, 34(9): 62-67.
- [30] 林婉玲, 关熔, 曾庆孝, 等. 彩鲷和普通罗非鱼不同部位营养及质构特性的研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 16-21, 49.
- LIN W L, GUAN R, ZENG Q X, et al. Nutrition and textural properties of different parts of caidiao tilapia (*Sarathodon sp*) and common tilapia (*Tilapia nilotica* *Linnaeus*) [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(1): 16-21, 49.
- [31] WANG J, CHENG Y Y, FANG L Y, et al. Physicochemical properties, profile of volatiles, fatty acids, lipids and concomitants from four *Kadsura coccinea* seed oils[J]. Food Chemistry: X, 2024, 23: 101765.
- [32] ZHU P Y, FAN L P, YAN X W, et al. Advances of  $\alpha$ -linolenic acid: sources, extraction, biological activity and its carrier[J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 152: 104676.
- [33] VÁZQUEZ L, DE DONLEBÚN B P, GUTIÉRREZ-GUIBELALDE A, et al. Structured triacylglycerol with optimal arachidonic acid and docosahexaenoic acid content for infant formula development: a bio-accessibility study[J]. Foods, 2024, 13(17): 2 797.
- [34] BOSCO A D, CAVALLO M, MENCHETTI L, et al. The healthy fatty index allows for deeper insights into the lipid composition of foods of animal origin when compared with the atherogenic and thrombogenicity indexes[J]. Foods, 2024, 13(10): 1 568.
- [35] ZHANG J C, SHANGGUAN Y C, NI J, et al. Super-comminuted dietary fiber from pomelo peel regulates blood lipids and gut microbiota and prevents obesity in high-fat diet-fed mice[J]. Food Bioscience, 2024, 57: 103531.
- [36] 韩悦, 马剑锋, 陈雪昌, 等. 4 种养殖河豚鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 28-35.
- HAN Y, MA J F, CHEN X C, et al. Nutrient components in muscle of four species of cultured puffer fish[J]. Food Research and development, 2022, 43(8): 28-35.
- [37] 娄毛闪, 于海宁, 沈生荣. 膳食亚油酸与肠道菌群和慢性代谢性疾病的关系[J]. 现代医药卫生, 2023, 39(21): 3 611-3 614, 3 619.
- LOU M S, YU H N, SHEN S R. Association of dietary linoleic acid with gut microbiome and chronic metabolic diseases[J]. Journal of Modern Medicine & Health, 2023, 39(21): 3 611-3 614, 3 619.
- [38] MASCOLO C, MARRONE R, PALMA A, et al. Nutritional value of fish species[J]. Journal of Nutritional Ecology and Food Research, 2013, 1(3): 219-225.