DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250908007
**引用格式**: 李柏阳, 韩舒晨, 李国巍, 等. 果酱加工中的关键要素与杀菌方式对其品质影响研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(2): 96–107.
LI BY, HAN SC, LI GW, *et al*. Research progress on the key factors in jam processing and effects of sterilization methods on its quality [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(2): 96–107. (in Chinese with English abstract).

# 果酱加工中的关键要素与杀菌方式对其品质影响研究进展

李柏阳, 韩舒晨, 李国巍, 董　艳, 杨庆丽, 张正海, 吕文庆, 魏连会, 刘雨雯, 董芷嘉, 姬妍茹*

(黑龙江省科学院大庆分院, 大庆　163000)

**摘　要:** 果酱作为一种历史悠久的传统食品, 凭借其独特的风味和多样的食用方式, 在全球食品市场中占据重要地位。随着大健康产业的蓬勃发展和消费者对功能性食品需求的不断提升, 果酱产业正面临转型升级的关键时期。近年来, 消费者对低糖、低热量、高纤维及富含抗氧化物质的功能性果酱需求显著增长, 这促使果酱加工技术不断创新与优化。本文系统综述了果酱加工过程中的关键技术要素, 包括原材料选择、甜味剂优化、增稠剂应用以及杀菌工艺创新等方面。这些技术的综合应用不仅提升了果酱的功能性和安全性, 也为产业可持续发展提供了理论依据和技术参考, 推动果酱从传统佐餐食品向高端健康食品转型。

**关键词:** 果酱; 原材料; 甜味剂; 增稠剂; 杀菌工艺

## Research progress on the key factors in jam processing and effects of sterilization methods on its quality

LI Bai-Yang, HAN Shu-Chen, LI Guo-Wei, DONG Yan, YANG Qing-Li, ZHANG Zheng-Hai, LV Wen-Qing, WEI Lian-Hui, LIU Yu-Wen, DONG Zhi-Jia, JI Yan-Ru*

(*Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Sciences*, *Daqing* 163000, *China*)

**ABSTRACT:** As a traditional food with a long history, jam occupies an important position in the global food market with its unique flavor and diverse eating methods. With the vigorous development of the health industry and the increasing demand of consumers for functional food, the jam industry is facing a critical period of transformation and upgrading. In recent years, consumers' demand for functional jam with low sugar, low calorie, high fiber and rich antioxidant substances has increased significantly, which promotes the continuous innovation and optimization of jam processing technology. This paper systematically reviewed the key technical elements in the process of jam

**收稿日期:** 2025-09-08
**基金项目:** 黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZBZ202409002); 黑龙江省科学院科技成果转化专项(CGZH2025DQ01); 大庆市指导性科技计划项目(zd-2025-075)
**第一作者:** 李柏阳(1997—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品加工。E-mail: 1427364419@qq.com
***通信作者:** 姬妍茹(1971—), 女, 硕士, 研究员, 主要研究方向为食品生物技术。E-mail: jyr309@126.com

processing, including raw material selection, sweetener optimization, thickener application and sterilization process innovation. The comprehensive application of these technologies not only improved the functionality and safety of jam, but also provided a theoretical basis and technical reference for the sustainable development of the industry, and promoted the transformation of jam from traditional food to high-end healthy food.

**KEY WORDS:** jam; raw materials; sweeteners; thickeners; sterilization process

## 0　引　言

果酱是一种以水果为主要原料, 通过添加糖、酸等配料熬制而成的凝胶状食品, 兼具水果风味和营养成分。糖是果酱甜味的来源, 它不仅提供适口的酸味、平衡甜味并突出果香, 更重要的是调节pH至果胶最佳凝胶范围, 这是形成稳定凝胶的关键条件之一, 且低 pH 环境还能有效抑制微生物生长, 辅助保藏。增稠剂则通过与糖、酸协同作用, 在特定pH下形成稳固的三维网络凝胶结构, 这不仅赋予了果酱标志性的浓稠质地和顺滑口感, 还起到包裹水分、稳定悬浮果肉并最终塑造整体结构的核心作用。

其制作工艺主要包括原料处理(清洗、破碎、打浆)、配料调配(添加甜味剂及其他辅料)、混合搅拌、加热浓缩、灌装密封和杀菌等关键步骤[1]。随着食品加工技术的发展, 可用于制作果酱的原料品种日益丰富, 这不仅为消费者提供了多样化的选择, 还能有效延长果蔬制品的保质期, 解决季节性资源浪费问题, 同时较好地保留原料特有的风味和营养价值[2]。本文系统阐述了果酱的分类体系、常用水果原料及其配方比例, 重点分析了甜味剂、增稠剂选择、杀菌方式等因素对果酱品质及活性成分的影响, 以期为果酱产业的标准化生产和品质提升提供理论依据和技术参考。

## 1　果酱的分类方式

目前, 果酱产品可按照原材料、加工工艺、产品用途的不同进行如下分类。(1)按原料分类。主要以配方中水果、果汁或果浆用料比例进行划分, 其中用量大于等于 25%为果酱, 用量小于等于 25%称为果味酱。(2)按加工工艺分类。以罐头工艺进行生产的果酱产品为果酱罐头, 其余方式生产果酱产品则为其他果酱。(3)按用途分类。按照使用环境不同进行分类, 如原料类果酱主要作为食品工业的中间产品, 用于生产其他食品; 酸乳类用果酱专用于酸乳制品常加入酸乳来保持稳定状态, 不发生分层或质地变化; 冷冻饮品类用果酱则适用于冰淇淋、雪糕等冷冻甜品, 需具备低温稳定性, 避免冰晶析出或口感硬化; 烘焙类用果酱常用于面包、蛋糕、饼干等烘焙食品, 需耐高温且保持风味和黏稠度; 其他果酱是指作为食品加工原料的果酱, 例如果馅、糖果夹心等。佐餐类果酱则是直接向消费者提供的, 佐以其他食品一同食用的果酱。

根据 GB/T 22474—2025《果蔬、花卉酱质量通则》对果酱类产品进行分类, 主要为果酱、蔬菜酱、花卉酱、复合酱、水果风味酱、蔬菜风味酱、花卉风味酱、复合风味酱, 具体标准如表 1 所示。

**表 1　各类产品的水果、蔬菜、花卉原材料添加量标准**
**Table 1　Standards for adding raw materials of fruits, vegetables and flowers of various products**

| 产品类别 | 水果/蔬菜/花卉及其制品添加量要求/% | 备注 |
|---|---|---|
| 果酱 | ≥25 | 折算成水果 |
| 蔬菜酱 | ≥25 | 折算成蔬菜 |
| 花卉酱 | ≥10 | 折算成花卉 |
| 复合酱 | ≥25 | 折算成水果/蔬菜/花卉 |
| 水果风味酱 | 5~25 | 折算成水果 |
| 蔬菜风味酱 | 5~25 | 折算成蔬菜 |
| 花卉风味酱 | 2~10 | 折算成花卉 |
| 复合风味酱 | 5~25 | 折算成水果/蔬菜/花卉 |

## 2　原材料及辅料的选择

### 2.1　原材料的选择

原料是果酱的核心成分, 主要以水果、蔬菜为主, 它们不仅决定了产品的基本风味和色泽, 还提供了丰富的营养成分。不同原料的选择会使产品在加工适应性上存在显著差异, 主要体现在生物活性成分及其功效方面(表 2)。近年来, 随着健康饮食理念的深入人心和消费升级趋势的持续深化, 消费者对食品的营养价值提出了更高要求。在这一背景下, 传统单一水果配方的果酱产品已难以满足市场对营养多元化、功能差异化和感官个性化的复合型需求。因此, 众多学者针对此类问题深入研究后发现(表 3), 复合果酱原料种类大多为 2~3 种, 这类搭配不仅形成营养互补的优势, 同时能够满足消费者个性化需求。

### 2.2　糖与甜味剂的使用

糖与甜味剂在食品加工领域中扮演着不可或缺的角色, 其功能不仅限于赋予食品甜味, 还涉及改善感官品质、

表 2 常见果酱原料选择及其活性物质与作用

Table 2 Selection of common jam raw materials and their active substances and functions

| 常见水果果酱的原材料 | 活性物质 | 作用 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| 草莓 | 花青素类、单宁类、黄酮类、萜类、酚酸类、苯丙素类 | 抗氧化、抗肿瘤、抗菌、降血糖、抗肥胖、抗炎、对心脑血管作用 | [3–4] |
| 猕猴桃 | 挥发油类、黄酮类、三萜类、多糖类、甾类 | 抗肿瘤、抗辐射、抗肝炎作用、提高人体免疫力 | [5–8] |
| 蓝莓 | 蓝莓叶多糖、绿原酸、黄酮类化合物、花青素 | 抗氧化清除自由基、降血糖、降血脂、抑菌活性、抗肿瘤、视网膜保护作用、神经退行性疾病、胚胎生长及调节免疫 | [9–13] |
| 苹果 | 酚酸类、黄酮类、三萜类、类胡萝卜素、甾醇、膳食纤维、矿物质元素 | 降糖降脂、抗菌、抗癌、抗氧化、预防骨质疏松、肿瘤、心血管硬化及阿尔茨海默症, 抗辐射、抗过敏、防龋齿、消除口臭、增强骨质 | [14–17] |
| 山楂 | 黄酮类化合物、黄烷-3-醇、原花青素、黄酮、黄酮醇类、有机酸类化合物、三萜类化合物、糖类、含氮类 | 降压作用、降糖作用、抗菌抗炎作用、免疫调节作用、降糖作用、对胃肠道作用 | [18–21] |

表 3 常见果酱原材料组成及其配比

Table 3 Composition and proportion of common jam raw materials

| 分类 | 原料 | 质量比 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| 单一水果果酱 | 草莓 | - | [22–23] |
| | 猕猴桃 | - | [24–25] |
| | 蓝莓 | - | [26–27] |
| | 西梅 | - | [28–29] |
| | 香蕉 | - | [30–31] |
| 复合水果果酱 | 山楂、百香果 | 4:1 | [32] |
| | 山楂、柿子 | 2:3 | [33] |
| | 胡萝卜、蓝莓 | 8:2 | [34] |
| | 马齿笕、紫薯块 | 5:5 | [35] |
| | 番茄、枸杞 | 8:2 | [36] |
| | 红枣、芦荟 | 5:5 | [37] |
| | 番茄、木瓜 | 6:4 | [38] |
| | 苹果、山楂、胡萝卜 | 5:2:3 | [39] |
| | 南瓜、山楂、红枣 | 7:3:5 | [40] |

注: -代表仅为一种原材料制作果酱。

调节质构特性以及延长货架期等多重作用。在传统果酱生产中, 白砂糖(蔗糖)因其优异的溶解性、热稳定性以及与果胶的协同凝胶作用, 长期以来被视为标准甜味剂。研究表明, 白砂糖在果酱体系中能够通过氢键与果胶分子相互作用, 形成稳定的三维网络结构, 从而赋予产品适宜的黏稠度和涂抹性[41]。同时, 其高渗透压特性可显著降低体系的水分活度(water activity, Aw), 有效抑制霉菌、酵母等微生物的繁殖, 延长产品的保质期[42]。此外, 蔗糖在加热过程中参与美拉德反应, 能够赋予果酱特有的色泽和风味, 进一步优化其感官品质。

然而, 随着全球健康饮食理念的普及和慢性代谢性疾病发病率的上升, 消费者对低糖、低热量及功能性食品的需求日益增长, 促使研究人员积极探索白砂糖的替代方案, 目前, 替代蔗糖策略主要聚焦于 3 类物质: 低热量甜味剂如赤藓糖醇、甜菊糖苷、罗汉果甜苷; 功能性糖类如木糖醇、麦芽酮糖醇、阿拉伯糖以及天然甜味剂来源如蜂蜜、枫糖浆、椰糖, 其作用及应用范围(表 4)所示。并且利用甜味剂代替蔗糖的果酱类产品逐渐走进市场(表 5)。综合来看, 这些替代品不仅能够显著降低产品的总糖含量和热量, 还能赋予食品额外的健康益处。例如, 赤藓糖醇几乎不参与代谢, 适合糖尿病患者食用; 低聚果糖可作为益生元促进肠道菌群平衡; 而蜂蜜和枫糖浆则富含多酚类物质, 具有抗氧化和抗炎活性。

甜味剂替代蔗糖显著影响果酱的品质特性: 在凝胶机制方面, 蔗糖不仅是甜味源, 更是通过降低 Aw 和与果胶竞争水分子, 促进果胶分子脱水并形成强三维网络的核心结构剂; 而高强度甜味剂本身无此功能, 仅提供甜度, 常需配合增稠剂来弥补质构损失, 因此其形成的凝胶网络强度、质构和脱水收缩行为通常逊于蔗糖体系。风味释放上, 蔗糖分子能与风味化合物相互作用, 影响其挥发性和感知强度; 甜味剂分子结构迥异, 可能改变挥发性风味物质的分配系数和释放动力学, 导致果酱的起始强度、持久性、整体平衡等风味释放效果的改变, 部分甜味剂还可能带来不良后苦味干扰天然果香。微生物抑制效果方面, 蔗糖的高渗透压是传统果酱的主要防腐屏障; 甜味剂本身大多不具备同等降低 Aw 的能力, 其防腐效果严重依赖额外添加的防腐剂、低 pH 环境等, 否则抑菌效力会显著下降。虽然甜味剂的使用还存在着一定的局限性, 但其凭借低热能、高甜度的特性优势, 以及对血糖波动的缓释作用和部分产品对口腔健康的保护功能, 在果酱制品领域展现出显著的应用优势。

值得注意的是, 单一甜味剂往往难以完全复现蔗糖的多元功能特性, 因此复合甜味系统的优化成为当前研究的热点。通过科学配比不同甜味剂, 如将高倍甜味剂与填充型甜味剂进行组合; 或结合亲水胶体如结冷胶、黄原胶以弥补质构缺陷, 可以在减少蔗糖用量的同时, 维持甚至提升产品的感官品质和延长保质期。

表 4　甜味剂的种类、作用及应用范围
Table 4　Types, functions and application ranges of sweeteners

| 甜味剂的种类 | 作用 | 应用范围 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| 罗汉果甜苷 | 调节血糖、降血脂抗氧化、止咳祛痰、消炎抗菌、保肝、抗癌 | 乳品饮料、固体饮料、调味料、糖果等食品 | [43–45] |
| 甜菊糖苷 | 抗氧化、降血糖、降血压、保护心肌活性、改善肠道功能 | 饮料类、奶类、酒类、果脯类、烘焙食品、调味品 | [46–47] |
| 赤藓糖醇 | 高甜度、热量低、不升血糖、防龋齿、高耐受性 | 饮料、烘焙食品、糖果、乳制品 | [48–50] |
| 木糖醇 | 糖尿病人的甜味剂以及辅助治疗剂、预防龋齿、预防呼吸道感染、预防骨质疏松、抗氧化 | 焙烤食品、奶类食品、糖果类食品、医药食品等 | [51–52] |
| 麦芽糖醇 | 热量低、抑制人体脂肪过量贮存、抑制龋齿、促进钙的吸收、安全性高 | 低热量食品、脂肪替代食品、低热量糖果饮料类食品 | [53–54] |
| 三氯蔗糖 | 无吸湿性、热量低、溶解度好、稳定性高, 在焙烤条件下稳定、预防龋齿 | 各类乳制品、灌油食品、饮料、烘焙食品 | [55] |

表 5　不同果酱所使用甜味剂的种类及其用量
Table 5　Types and dosage of sweeteners used in different jam

| 糖的种类 | 质量比/% | 果酱名称 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| 蔗糖 | 15 | 保健型低糖大豆膳食纤维番茄酱 | [56] |
| | | 低糖西梅果酱 | [57] |
| | 17.3 | 海棠果果酱 | [58] |
| | 20 | 火龙果果酱 | [59] |
| | 25 | 低糖鲜杏果酱、全果型红心火龙果 | [60–61] |
| | 30 | 低糖山楂山药复合果酱 | [62] |
| | 45.8 | 沃柑果酱 | [63] |
| 麦芽糖 | 7.46 | 柿子果酱 | [64] |
| 纽甜 | 0.002 | 低糖柑橘果酱 | [65] |
| 木糖醇 | 18 | 低糖玫瑰山药复合果酱 | [66] |
| | 14.5 | 火龙果橙皮低糖复合果酱 | [67] |
| 白砂糖、甜菊糖 | 22、2 | 低糖红枣花生复合果酱 | [68] |
| 白砂糖、麦芽糊精 | 2、5 | 低糖甘薯果酱 | [69] |

## 2.3　增稠剂的应用

### 2.3.1　增稠剂的作用机制

果酱增稠剂的作用机制主要依赖于其高分子结构在水相中形成网状结构, 通过物理或化学作用束缚水分、增强黏度并稳定体系。增稠剂的种类多样, 如果胶、琼脂、黄原胶、卡拉胶等, 其作用机制各有特点, 但核心原理均涉及分子间相互作用、水合作用以及特定环境条件(如 pH、温度、离子强度)的影响[70]。

以最常用的果胶为例, 其增稠过程可分为溶解、凝胶网络形成和稳定 3 个阶段。果胶是由 $\alpha$-1,4-糖苷键连接的半乳糖醛酸聚合物, 其分子链上的羧基(-COOH)和甲氧基(-$OCH_3$)比例决定了凝胶特性[71]。高甲氧基果胶(high methoxyl pectin, HMP)(酯化度大于 50%)在酸性(pH 2.8~3.5)和高糖(大于 55%可溶性固形物)条件下, 分子链因脱水作用相互靠近, 羧基间的氢键和甲氧基的疏水作用促使分子链交联, 形成连续的三维凝胶网络, 从而固定水分并赋予果酱黏弹性[72–73]。而低甲氧基果胶(ligh methoxyl pectin, LMP)(酯化度小于 50%)则依赖二价钙离子($Ca^{2+}$)桥接羧基, 这种离子交联方式增强机械强度及热稳定性, 使其能在低糖或无糖体系中发挥作用[74]。琼脂的增稠机制则基于其双螺旋结构的温度依赖性, 它由琼脂糖和琼脂胶组成, 加热溶解后分子呈随机卷曲状, 冷却时琼脂糖链通过氢键形成双螺旋, 进一步聚集为刚性凝胶网络, 具有热可逆性但熔点较高(85 ℃以上), 因此能提供稳定的增稠效果[75]。黄原胶作为微生物多糖, 其增稠作用源于带负电的侧链(丙酮酸和乙酸基团)在溶液中伸展, 通过分子间缠绕和静电排斥形成高黏度流体, 即使在低浓度下也能显著提高体系黏度, 并表现出剪切稀化特性。此外, 黄原胶与果胶或卡拉胶的协同效应可进一步增强凝胶强度[76]。卡拉胶主要分为 $\kappa$-、$\lambda$-、$\iota$- 3 种类型, 它们均含有双糖单元, 不同在于分别具有 1、2、3 个硫基酸盐, 而有机硫酸盐取代的程度决定了其类别及其特性, 如 $\kappa$-卡拉胶在钾离子存在下形成硬凝胶, $\iota$-卡拉胶依赖钙离子形成弹性凝胶, 而 $\lambda$-卡拉胶则仅起增稠作用, 这些多糖的凝胶化均涉及螺旋结构的聚集和离子交联[77]。

在实际生产中, 按照各类增稠剂的功能特性主要分为两大类: 增稠型和凝胶型。增稠型增稠剂(如黄原胶、瓜尔胶和羧甲基纤维素钠等)因其分子间作用力较弱, 通常只能增加酱体的黏度, 而无法独立构建稳定的三维网络凝胶结构。因此, 在某些果酱产品中需要与凝胶型增稠剂配合使用才能发挥最佳效果。凝胶型增稠剂(如海藻酸盐、卡拉胶、琼脂、海藻酸盐等)虽然能形成网络结构, 但单独使用时也常常存在局限, 难以满足果酱在口感、质地和稳定性等方面的综合品质要求。因此, 同样需要通过与其他增

稠剂进行复配来优化。

综上，果酱增稠剂的作用机制是多种分子相互作用的结果，包括氢键、疏水作用、离子交联和分子链缠结等，最终形成稳定的网络结构，从而改善果酱的质地、口感和保质期。而通过科学的复配，利用不同增稠剂之间的协同效应，是提升果酱综合品质、解决脱水或质构缺陷的关键技术手段。

2.3.2 增稠剂对果酱品质的影响

增稠剂通过调节果酱的黏稠度、凝胶结构和持水性，显著影响其质地、口感和稳定性。适量的增稠剂能形成均匀凝胶，赋予果酱顺滑细腻的质地，防止析水和分层，同时增强光泽与风味释放；但过量使用可能导致胶质感过重或弹性不足。此外，增稠剂的选择需适配糖度、pH 及工艺条件，以平衡感官品质与货架稳定性，满足消费者对口感与健康的需求，特别是在低糖果酱加工领域。含糖量降低会导致传统高糖果酱的凝胶结构难以形成，增稠剂的使用成为确保产品质构的关键因素，表 6 展示了增稠剂在果酱中的典型应用案例。

大量研究证实，食品增稠剂能有效维持果酱的形态稳定性，并显著改善其质地特性。在果酱品质评价方面，研究者通常通过感官分析、质构测定、流变学特性测试以及微观结构观察等多项指标进行综合评估。这种多维度评价方法的科学性在于：将果酱的质构特征和流变行为这些宏观力学性能指标与利用显微成像技术进行微观结构特征相结合，阐明了增稠剂如何通过“分子-结构-性能”的级联效应，最终实现果酱形态稳定性和感官品质的协同优化。

## 3 不同杀菌方式对果酱品质的影响

果酱作为一种高糖、高酸食品，虽然本身具有一定抑菌性，但仍需杀菌处理以确保食品安全、延长保质期并维持良好品质。目前，果酱加工中常用的杀菌方法有两类：传统热杀菌法如巴氏杀菌技术、高温瞬时杀菌技术与新型非热杀菌技术如超高压处理技术、脉冲电场杀菌技术、射线杀菌技术等。这些方法在杀菌效果和品质保持方面各有优缺点(表 7)。

科研人员针对于适用于果酱的杀菌方式开展了一系列研究(表 8)，研究发现，传统热杀菌技术通过高温不可逆变性微生物蛋白质及核酸实现灭菌，对营养成分的影响也较为显著。(1)维生素由于热氧化与水解损失率达 50%~90%；(2)酚类物质则因热降解及脱水作用，使其损失率在 10%~40%，且可能发生美拉德与焦糖化反应使产品发生褐变；(3)挥发性风味物质(如酯类、醛类物质)则因挥发及氧化反应而大幅损失或转化成异味，其保留率常小于 60%；(4)天然色素因热裂解，结构造成破坏导致褪色，进而影响其感官品质。

非热杀菌技术通过物理手段(如高压、脉冲电场等)灭活微生物，避免热处理带来的成分降解，因此相较于传统热杀菌，其对维生素、酚类物质、挥发性风味成分及天然色素的负面影响显著减小，更有利于保留果酱的营养与感官品质。

总的来说，热杀菌技术虽然高效但对营养成分破坏较为严重；而非热杀菌技术可通过精准物理作用针对性灭火微生物，但各自在成本、芽孢处理、风味效果等方面具有应用限制，因此还需通过各类果酱产品特性进行权衡性选择。

**表 6 增稠剂在果酱产品中的应用**

**Table 6 Application of thickener in jam products**

| 产品 | 增稠剂 | 比例/% | 果酱品质状态 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|
| 玉米须低糖山楂果酱 | 果胶 | 0.4 | 白砂糖、柠檬酸、果胶的添加量分别为 21%、0.5%、0.4%，感官评分为 98 分；复合果酱香味和玉米须特有香味浓郁、口感顺滑、品质最佳 | [78] |
| 草莓果酱 | 果胶 | 0.4 | 最优工艺为益生菌添加量 0.5%、白砂糖添加量 10.1%、发酵时间 8.1 h、果胶添加量 0.4%，在此条件下草莓果酱综合评分达到 88.0；产品细腻光滑、涂抹性好，具有特殊的发酵风味 | [79] |
| 柑橘芒果复合果酱 | 果胶 | 0.75 | 色泽橙黄、果香浓郁，口感醇厚细腻、酸甜协调易于涂抹 | [80] |
| 柚子桂花果酱 | 黄原胶 | 0.5 | 酱体呈现淡黄色，色泽均匀，有光泽，柚子和桂花风味融合，有柚子和桂花特有的香气，酸甜适中，口感细腻适宜 | [81] |
| 杨梅荔枝果酱 | 黄原胶 | 0.4 | 色泽呈淡紫红色，外观通透、均匀，涂抹性好，酸甜可口，有荔枝杨梅的独特香味 | [82] |
| 秋葵多糖果酱 | 高氧甲基果胶 | 1.5 | 具有与商品果酱特性相似的性质，口感更优 | [83] |
| 发酵型蓝莓果酱 | 黄原胶:果胶(质量比 1:1) | 0.8 | 果酱的感官评分最好，抗氧化能力高于未发酵果酱 | [84] |

**表 7　不同杀菌技术的方法、原理及其优点**

**Table 7　Methods, principles and advantages of different sterilization techniques**

| 杀菌技术 | 方法 | 原理 | 优点 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|
| 加热杀菌技术 | 低温杀菌: 杀菌温度低于 100 ℃;<br>高温杀菌: 食品经 100 ℃以上的杀菌处理;<br>超高温瞬时杀菌: 温度为 135~150 ℃, 保温时间 2~8 s | 利用较高温度钝化酶的活性, 破坏食品中的有害成分, 从而达到杀菌效果 | 应用范围广;<br>适合绝大多数的食品 | [85–86] |
| 超高压杀菌技术 | 该加工技术采用弹性材料包装食品物料, 以水性介质作为压力传递载体, 在超高压(大于等于 100 MPa)条件下实现杀菌灭菌及物料改性的非热加工方法 | 在超高压环境下是生物分子被挤压, 使分子结构发生变化而破坏, 最终导致生命活动停止 | 最大程度地保留了食品的风味物质与营养价值; 满足了消费者对于新鲜、营养和健康食品的追求; 食品附加值更高 | [87–89] |
| 微波杀菌技术 | 利用特定波长的电磁波能量, 通过光速传播并被微生物吸收, 引发电介质加热效应, 导致菌体蛋白质构象改变和细胞结构破坏, 从而实现非接触式灭菌 | 利用生物效应与电磁场的作用, 通过改变微生物细胞膜的性质, 降低其生长发育的水平, 达到杀菌目的 | 安全性高; 拥有更好的环保性; 杀菌时间短; 杀菌效果良好 | [90–92] |
| 辐射杀菌技术 | 采用射线进行杀菌, 在不升温的条件下实现彻底灭菌的冷杀菌技术 | 利用 $\gamma$ 射线或高速电子射线的穿透性, 使得被照食品表面及内部微生物的细胞组织死亡, 抑制新陈代谢 | 常温操作, 最大程度保持食物原汁原味; 微生物残留量低; 不会破坏食物自身储存环境 | [93–94] |
| 高压低温杀菌技术 | 将食品置于 60 ℃的温度下, 采用 608 MPa 高压对食品进行杀菌处理 | 利用低温搭配高压的方式相结合处理将其中蕴含的芽孢菌全部杀死 | 最大化地保留食品本身的营养成分与口感风味; 具有十分热闹理想的杀菌效果 | [95–97] |
| 脉冲磁场杀菌技术 | 利用高强度脉冲磁场发生器为媒介, 对食品进行扫描来得以杀菌 | 磁场改变微小颗粒电位、感应电流、能量等物理参数, 进而破坏微生物细胞结构、达到杀菌目的 | 最大程度保留食品风味; 耗能小; 杀菌温度较低 | [98–99] |

**表 8　不同杀菌方式对果酱理化指标的影响**

**Table 8　Effects of different sterilization methods on the physicochemical properties of jam**

| 果酱名称 | 杀菌方式 | 杀菌条件 | 杀菌后理化指标的变化 | 最优杀菌方式 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|---|
| 低糖香蕉果酱 | 高温煮沸 | 沸水浴灭菌、10 min | 在储存期间, 样品黏度保持稳定, 褐变度、可溶性蛋白及维生素 C 含量均未见明显变化, 但还原糖含量呈现轻微下降趋势。储存至 15 d 时, 样品中微生物指标超过安全限值 | 采用剂量 4.1 kGy 辐照杀菌法 | [100] |
| | 高压蒸汽 | 121 ℃、0.1 MPa、5 min | 样品的黏度显著增加, 同时褐变度、还原糖及可溶性蛋白含量均呈上升趋势, 而维生素 C 含量则显著降低; 储存至 15 d 时, 微生物总数已超过食品安全标准限值 | | |
| | 射线辐照 | $^{60}$Co-$\gamma$ 射线(1.1、4.1、9、13.8 kGy) | 在 15 d 的储存期内, 样品黏度略有增加但无显著差异, 褐变值、维生素 C 及还原糖含量均呈下降趋势, 而可溶性蛋白含量有所上升; 中、高剂量辐照处理的果酱在储存末期仍符合国家微生物限量标准 | | |
| 猕猴桃低糖复合果酱 | 高温煮沸 | 95~100 ℃, 30 min, 后分段冷却至 38~40 ℃ | 总糖含量的下降速率加快, 有效抑制了可滴定酸含量的上升; 维生素 C 含量保持稳定, 而非酶褐变指数、还原糖含量及可溶性固形物的保留率均呈现不同程度地降低 | 采用剂量 4 kGy 的射线辐照法 | [101] |
| | 高压蒸汽 | 121 ℃, 10 min 后分段冷却至 38~40 ℃ | 褐变度和总糖含量均显著高于对照组。抑制了可滴定酸含量的增加, 维生素 C 和还原糖含量下降。储藏 30 d 后, 样品 pH 仍维持在 3.5 以上 | | |
| | 射线辐照 | $^{60}$Co-$\gamma$ 射线(2、4、6 和 8 kGy) | 抑制了可滴定酸含量的增加, 同时减缓了总糖含量的下降速率, 使其保存率显著高于对照组; 还原糖含量有所降低, 而菌落总数和非酶褐变指数均随辐照剂量的增加而显著减小; 小剂量辐照处理可有效减缓维生素 C 的降解速率, 并降低 pH 的下降幅度; 贮藏 60 d 后, 所有处理组的 pH 均维持在 3.0 以上 | | |

表 8(续)

| 果酱名称 | 杀菌方式 | 杀菌条件 | 杀菌后理化指标的变化 | 最优杀菌方式 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|---|
| 脆红李低糖果酱 | 巴氏杀菌 | 85 ℃、15 min | 储藏 15 d 时微生物含量超标，黏度、总糖、总酸、总酚、可溶性固形物含量下降，感官评分较低 | 采用超声波杀菌的方式 | [102] |
| | 超声波杀菌 | 300 W、40 ℃、20 min | 储藏 15 d 时微生物含量符合国家标准且略优于超高压杀菌，黏度下降，最大程度保留了果酱中的多酚、维生素 C 等营养成分，感官评分高 | | |
| | 超高压杀菌 | 550 MPa、30 ℃、10 min | 储藏 15 d 时微生物含量符合国家标准，黏度、总酸含量升高，总糖、总酚、可溶性固物含量下降，感官评分较低 | | |
| 蓝莓番茄复合果酱 | 高压蒸汽杀菌 | 121 ℃、压力 0.1 MPa 杀菌 5 min | 抑制菌落总数增加，pH 下降，有效抑制微生物殖，还原糖下降，维生素 C 含量下降趋势明显 | 采用 5 kGy Co-γ 辐照杀菌法 | [103] |
| | 沸水杀菌 | 100 ℃杀菌 15 min | 抑制菌落总数增加，pH 下降，有效抑制微生物殖，还原糖下降，维生素 C 含量下降后趋于稳定 | | |
| | Co-γ 射线杀菌 | 剂量分别 1.3、2、5 和 8 kGy | 抑制菌落总数增加、其中 5 kGy 的辐照剂量效果最优，随着剂量增加 pH 下降趋势越稳定，有效抑制微生物繁殖，还原糖含量下降，抑制维生素 C 降解，可溶性固形物含量下降 | | |
| 蓝莓黑枸杞复合果酱 | 高压蒸汽杀菌 | 121 ℃蒸汽处理 8 min | 颜色发生褐变程度升高，黏度大幅提高，霉菌总数、菌落总数高于安全值、总酸含量出现一定增长、总糖含量大幅上升 | 采用 5 kGy Co-γ 射线杀菌法 | [104] |
| | 沸水杀菌 | 100 ℃杀菌 15 min | 颜色基本没有发生变化，黏度无显著影响，霉菌总数、菌落总数高于安全值、总酸含量出现一定增长、总糖含量大幅减少 | | |
| | Co-γ 射线杀菌 | 辐照剂量分别为 1、3、5、7 kGy | 颜色变化与辐照剂量大小有关，黏度提高但不明显，高剂量霉菌总数、大肠菌数、菌落总数安全值内，总酸含量出现一定增长后趋于稳定，总糖大幅减少 | | |
| 香蕉柚子皮复合果酱 | 高压蒸汽杀菌 | 121 ℃处理 5、10、15 min | 高压蒸汽灭菌 10 min 时感官评分最佳，可溶性固形物下降幅度最小、保留率最高，在 3 种杀菌方式下的其保留率最高，可滴定酸含量最低、其上升速率缓慢，pH 下降，菌落总数最低且随时间增长菌落总数增长缓慢 | 采用 121 ℃处理 10 min 的高压蒸汽灭菌法 | [105] |
| | 沸水浴杀菌 | 95~100 ℃，灭菌处理 20、25、30、35 min 后冷却到 35~40 ℃ | 沸水浴灭菌 30 min 感官评分最佳，可溶性固形物下降幅度最小、保留率最高，但在 3 种杀菌方式下的其保留率最低，可滴定酸含量上升，pH 下降，菌落总数最低且随时间增长菌落总数增长缓慢 | | |
| | 微波杀菌 | 功率 750 W 处理 80、100、120、140 s | 微波杀菌 120 s 时感官评分最佳，可溶性固形物下降幅度最小、保留率最高，在 3 种杀菌方式下其保留率仅次于高压蒸汽杀菌，可滴定酸含量上升，pH 下降，菌落总数最低且随时间增长菌落总数增长缓慢 | | |

## 4 结束语

本研究系统探讨了原材料的选择与配比、甜味剂的科学应用、增稠剂的合理选择以及杀菌技术的优化与创新，为果酱品质提升与工艺优化提供了有益的理论依据和实践参考。然而，食品工业正经历着以数字化、精准化和功能化为标志的深刻变革，本研究在对接产业尖端趋势方面尚有深化空间。未来的研究应突破传统框架，在以下前沿方向寻求突破，以驱动果酱及同类食品加工技术的高质量发展。

(1)数字化技术的应用。食品 3D 打印技术为实现产品艺术化与个性化发展提供了新路径。可聚焦于消费者对果酱个性化和对场景化需求进行设计，并探索适用于果酱体系的专用打印材料，包括不同果胶、膳食纤维与非凝胶成分的流变特性对果酱品质的影响，从而实现从单一“食用酱体”到“食用艺术品”的跨越。

(2)健康价值的应用。生物活性肽等新型功能辅料的产业化应用。传统产品仅对特定营养元素进行强化，未来功能性果酱的开发应更具靶向性。可针对特定人群的健康需求，定向筛选与添加来源于动植物或微生物的生物活性肽、益生元等功能因子。其次要关注活性成分在果酱高酸、高糖环境中的稳定性问题，并利用体外模拟消化模型验证其生物利用度的保持情况。

(3)智能化生产的应用。利用人工智能(artificial intelligence，AI)驱动产品加工过程智能化。应着力于果酱生产中多种加工模式相结合，并利用人工智能对海量工艺参数、物料不同时期特性及最终产品品质进行深度学习与建模。以此为基础，开发能够实时预测并动态优化杀菌工

艺的智能决策系统, 在保证食品安全的前提下, 实现品质损耗的最小化与能效的最大化。

综上所述, 通过融合 3D 打印技术、生物活性因子的靶向添加工程以及 AI 赋能的智慧创造, 果酱产业的未来将迈向一个高度定制化、功能化和绿色高效的新纪元。这不仅是对本研究方向的深化与拓展, 更是响应未来食品核心内涵的必然之路。

## 参考文献


[1] BELOVIC M, TORBICA A, PAJIC LI, *et al.* Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace [J]. Food Chemistry, 2017, 237: 1226–1233.

[2] MUNIASAMY R, SARAVANAN K, MURUGANANTHAM MK, *et al*. Sustainable microwave-based eutectic mixture assisted purification of low-methoxy pectin and its role as an edible emulsifier in carrot jam preparation [J]. Food Chemistry, 2025, 470: 142653.

[3] 尹琳琳, 陈志娜, 孙瑞雪, 等. 水开菲尔粒发酵草莓汁在冷藏期间品质稳定性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(2): 301–307.
YIN LL, CHEN ZN, SUN RX, *et al.* Analysis on quality stability of strawberry juice fermented by schiffel granules during cold storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(2): 301–307.

[4] 张诗怡, 吕佳瑶, 吴珊, 等. 非活菌型发酵草莓汁工艺优化、风味品质及营养功能分析[J/OL]. 食品与发酵工业, 1–12. [2025-06-05]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.042846
ZHANG SY, LV JY, WU S, *et al.* Process optimization, flavor quality and nutritional function analysis of non viable fermented strawberry juice [J/OL]. Food and Fermentation Industries, 1–12. [2025-06-05]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.042846

[5] 陈贵廷. 猕猴桃的生物活性研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(3): 159–161.
CHEN GT. Research progress on biological activity of kiwifruit [J]. China Food Safety Magazine, 2022(3): 159–161.

[6] 路喻丹, 刘晓驰, 冯新, 等. 猕猴桃的营养成分、生物活性及其综合利用研究进展[J]. 东南园艺, 2022, 10(2): 137–144.
LU YD, LIU XC, FENG X, *et al.* Research progress on nutritional components, biological activities and comprehensive utilization of kiwifruit [J]. Southeast Horticulture, 2022, 10(2): 137–144.

[7] 车翔婷, 陈嘉乐, 陈禹彤, 等. 猕猴桃深加工与食品开发研究进展[J]. 食品安全导刊, 2024(21): 133–135.
CHE XT, CHEN JL,CHEN YT, *et al.* Research progress on kiwifruit deep processing and food development [J]. China Food Safety Magazine, 2024(21): 133–135.

[8] 张齐. 猕猴桃籽多酚对高脂饮食诱导小鼠肥胖的预防作用及其机制[D]. 西安: 西北大学, 2020.
ZHANG Q. Preventive effect and mechanism of kiwifruit seed polyphenols on obesity induced by high fat diet in mice [D]. Xi'an: Northwest University, 2020.

[9] 杨帅帅, 牛犇, 刘瑞玲, 等. 蓝莓汁发酵菌株筛选及对肠道健康的影响[J/OL]. 食品与发酵工业, 1–18. [2025-07-07]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.042802
YANG SS, NIU B, LIU RL, *et al.* Screening of blueberry juice fermentation strains and their effects on intestinal health [J/OL]. Food and Fermentation Industries, 1–18. [2025-07-07]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.042802

[10] 赵金海, 王雷, 黄国庆, 等.蓝莓的营养成分测定及保健功能研究[J]. 黑龙江科学, 2018, 9(9): 26–27.
ZHAO JH, WANG L, HUANG GQ, *et al.* Study on nutritional composition and health function of blueberry [J]. Heilongjiang Science, 2018, 9(9): 26–27.

[11] 张晓千, 孙晓琛, 苏巍, 等. 脉冲强光处理对蓝莓汁杀菌效果及品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(2): 23–31.
ZHANG XQ, SUN XC, SU W, *et al.* Effect of pulsed light treatment on the germicidal efficacy and quality of blueberry juice [J]. Food Research and Development, 2025, 46(2): 23–31.

[12] 农玉萍, 于洋. 红枣山楂蓝莓复合饮料工艺优化及抗氧化活性分析[J]. 食品工业, 2025, 46(1): 1–7.
NONG YP, YU Y. Process optimization and antioxidant activity analysis of jujube hawthorn blueberry compound beverage [J]. The Food Industry, 2025, 46(1): 1–7.

[13] 徐凌, 贾金辉, 李洪淼, 等. 蓝莓-山楂复合果汁饮料的研制[J]. 农产品加工, 2024(17): 6–8.
XU L, JIA JH, LI HM, *et al.* Development of blueberry hawthorn compound juice beverage [J]. Agricultural Products Processing, 2024(17): 6–8.

[14] 任潇, 朱孟东, 王立平, 等. 苹果特征性营养品质指标筛选[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(11): 12–22.
REN X, ZHU MD, WANG LP, *et al.* Screening of characteristic nutritional quality indexes of apple [J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(11): 12–22.

[15] 孟海凤, 黄剑, 聂佩显, 等. 硫代硫酸铵对苹果边果营养及激素含量的影响[J]. 北方园艺, 2024(4): 8–13.
MENG HF, HUANG J, NIE PX, *et al.* Effect of ammonium thiosulfate on nutrition and hormone content of apple side fruit [J]. Northern Horticulture, 2024(4): 8–13.

[16] 冯舒涵, 易建勇, 毕金峰, 等. 苹果酚类物质与膳食纤维的结合作用[J]. 中国食品学报, 2021, 21(12): 335–346.
FENG SH, YI JY, BI JF, *et al.* Combination of apple phenols and dietary fiber [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(12): 335–346.

[17] 邢鑫, 孙炜强, 张禹, 等. 我国苹果及制品出口结构特征和趋势分析[J]. 中国果菜, 2025, 45(7): 97–103.
XING X, SUN WQ, ZHANG Y, *et al*. Structural characteristics and trend analysis of China's apple and its products export [J]. China Fruit & Vegetable, 2025, 45(7): 97–103.

[18] 海杰, 陈振东, 张宗博, 等. 山楂叶总黄酮干预非酒精性脂肪性肝病作用机制的研究进展[J]. 中成药, 2025, 47(6): 1937–1942.
HAI J, CHEN ZD, ZHANG ZB, *et al.* Research progress on the mechanism of hawthorn leaf flavonoids in the intervention of nonalcoholic fatty liver disease [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2025, 47(6): 1937–1942.

[19] 修建华, 张振. 山楂籽黄酮类化合物提取及自由基清除能力分析[J]. 农产品加工, 2025(10): 87–93.
XIU JH, ZHANG Z. Extraction of flavonoids from hawthorn seeds and analysis of free radical scavenging capacity [J]. Agricultural Products Processing, 2025(10): 87–93.

[20] 李萍, 管咏梅, 潘荣斌, 等. 山楂发酵制品研究进展[J/OL]. 食品工业

科技, 1–17. [2025-05-21]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024120216
LI P, GUAN YM, PAN RB, *et al.* Research progress of Hawthorn fermented products [J/OL]. Science and Technology of Food Industry, 1–17. [2025-05-21]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024120216

[21] 谷佩珊, 陈亦新, 王春光, 等. 发酵型和配制型山楂酒中主要呈香物质组成分析[J]. 食品科学, 2023, 44(14): 326–335.
GU PS, CHEN YX, WANG CG, *et al.* Analysis of main aroma components in fermented and formulated hawthorn wine [J]. Food Science, 2023, 44(14): 326–335.

[22] 杨斯超, 花成. 草莓果酱超高压杀菌与贮藏稳定性研究[J]. 现代食品, 2021(19): 95–98.
YANG SC, HUA C. Study on ultra high pressure sterilization and storage stability of strawberry jam [J]. Modern Food, 2021(19): 95–98.

[23] 周雨, 王凤忠, 孟胜亚, 等. 响应曲面法优化西藏亚东野生草莓果酱的配方研究[J]. 农产品加工, 2019(3): 40–44.
ZHOU Y, WANG FZ, MENG SY, *et al.* Optimization of the formula of wild strawberry jam in Yadong tibet by response surface methodology [J]. Agricultural Products Processing, 2019(3): 40–44.

[24] 张臻, 豆康宁, 康锦锦. 猕猴桃果酱工艺优化研究[J]. 现代食品, 2019(18): 115–118.
ZHANG Z, DOU KN, KANG JJ. Optimization of kiwi jam technology [J]. Modern Food, 2019(18): 115–118.

[25] 李柏阳. 软枣猕猴桃果酱加工品种筛选及其工艺优化[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
LI BY. Variety selection and process optimization of *Actinidia arguta* jam [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2023.

[26] 赵玮, 毕金峰, 马有川, 等. 超高压杀菌对果胶复合凝胶低糖蓝莓果酱品质的影响[J]. 核农学报, 2025, 39(6): 1223–1234.
ZHAO W, BI JF, MA YC, *et al*. Effect of ultra high pressure sterilization on the quality of pectin composite gel low sugar blueberry jam [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2025, 39(6): 1223–1234.

[27] 朱志方, 王赫, 朱明明. 谷胱甘肽添加对蓝莓果酱品质的影响[J]. 食品科技, 2024, 49(4): 286–294.
ZHU ZF, WANG H, ZHU MM. Effect of glutathione addition on the quality of blueberry jam [J]. Food Science and Technology, 2024, 49(4): 286–294.

[28] 热娜古丽·木沙, 艾克拜尔·买买提, 张红, 等. 新疆西梅果酱加工工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(1): 120–122.
RENAGULI MS, AIKEBAIER MMT, ZHANG H, *et al.* Research on processing technology of Xinjiang Ximei jam [J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2017, 53(1): 120–122.

[29] 戴志伟. 西梅原浆中乳酸菌的筛选及发酵型低糖西梅果酱的研制[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
DAI ZW. Screening of lactic acid bacteria from *Prunus mume* puree and development of fermented low sugar *Prunus mume* jam [D]. Urumchi: Xinjiang Agricultural University, 2021.

[30] 郑云云, 洪佳敏, 张帅. 香蕉多元营养果酱加工工艺优化[J]. 福建农业科技, 2020(7): 42–45.
ZHENG YY, HONG JM, ZHANG S. Optimization of banana multi nutrient jam processing technology [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2020(7): 42–45.

[31] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 低糖香蕉果酱的研制[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(1): 63–67.
WEI P, YOU XR, ZHANG YY, *et al.* Development of low sugar banana jam [J]. Food Research and Development, 2016, 37(1): 63–67.

[32] 鲁萌萌, 谭航, 马立安. 山楂百香果复合果酱的研制[J]. 中国调味品, 2022, 47(2): 93–96.
LU MM, TAN H, MA LAN. Development of hawthorn passion fruit compound jam [J]. China Condiment, 2022, 47(2): 93–96.

[33] 张琳, 王希琰, 张仁堂. 柿子山楂复合果酱的研究及配方优化[J]. 中国调味品, 2020, 45(2): 88–92.
ZHANG L, WANG XY, ZHANG RT. Research and formula optimization of persimmon hawthorn compound jam [J]. China Condiment, 2020, 45(2): 88–92.

[34] 迟恩忠, 王丽, 杨雨浩, 等. 蓝莓胡萝卜复合果酱的配方优化及货架期预测[J]. 中国调味品, 2020, 45(7): 123–126.
CHI ENZ, WANG L, YANG YH, *et al.* Formulation optimization and shelf life prediction of blueberry carrot compound jam [J]. China Condiments, 2020, 45(7): 123–126.

[35] 张开平, 韦行静, 刘燕丽, 等. 低糖马齿苋紫薯酱加工工艺优化及其产品品质评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(3): 187–196.
ZHANG KP, WEI XJ, LIU YL, *et al.* Optimization of processing technology and product quality evaluation of low sugar purslane purple sweet potato paste [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(3): 187–196.

[36] 谢婧, 陈映霞, 肖晓霞, 等. 低糖番茄枸杞复合果酱的研制[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(4): 49–53.
XIE J, CHEN YX, XIAO XX, *et al.* Development of low sugar tomato medlar compound jam [J]. Grain & Food Industry, 2020, 27(4): 49–53.

[37] 林志荣. 复合增稠剂对红枣芦荟低糖果酱品质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(8): 207–212, 221.
LIN ZR. Effect of compound thickener on the quality of jujube aloe low sugar paste [J]. Food & Machinery, 2022, 38(8): 207–212, 221.

[38] 林志荣, 刘兰. 番茄木瓜低糖果酱制备及其理化性质研究[J]. 中国果菜, 2022, 42(5): 5–11.
LIN ZR, LIU L. Study on the preparation and physicochemical properties of tomato papaya low candy jam [J]. Chinese Fruit and Vegetable, 2022, 42(5): 5–11.

[39] 王栋, 邢黎明. 苹果山楂胡萝卜复合果酱的研制[J]. 农产品加工, 2021(20): 13–15.
WANG D, XING LM. Development of Apple Hawthorn carrot compound jam [J]. Agricultural Products Processing, 2021(20): 13–15.

[40] 马雪玲, 圣明月. 南瓜山楂红枣复合果酱的研制[J]. 食品安全导刊, 2021(14): 57–59.
MA XL, SHENG MY. Development of pumpkin hawthorn jujube compound jam [J]. China Food Safety Magazine, 2021(14): 57–59.

[41] WU CL, LIAO JS, WANG JM, *et al.* Gelation behavior and mechanism of low methoxyl pectin in the presence of erythritol and sucrose: The role of co-solutes [J]. International Journal of Biological Macromolecules: Structure, Function and Interactions, 2024(1): 271.

[42] BAYDIN T, DILLE MJ, AARSTAD OA, *et al.* The impact of sugar alcohols and sucrose on the physical properties, long-term storage stability, and processability of fish gelatin gels [J]. Journal of Food Engineering, 2023, 341: 111334.

[43] 林婷, 张永敏, 许巧霞. 罗汉果甜苷研究进展综述[J]. 食品安全导刊, 2023(10): 147–149.

LIN T, ZHANG YM, XU QX. Review on research progress of mogroside [J]. China Food Safety Magazine, 2023(10):147–149.

[44] 杜亚. 罗汉果甜苷提取物延缓自然衰老小鼠卵巢功能衰退的作用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2022.
DU Y. Study on the effect of Mogroside extract on delaying the decline of ovarian function in natural aging mice [D]. Nanning: Guangxi University, 2022.

[45] 吕昌勇. 罗汉果提取物在酸奶饮品中的应用[J]. 生物加工过程, 2018, 16(6): 94–98, 106.
LV CY. Application of siraitia grosvenorii extract in yogurt drinks [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2018, 16(6): 94–98, 106.

[46] 李亚桐, 马媛媛, 汪振洋, 等. 甜菊糖苷的应用及生物合成研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2023, 43(1): 104–114.
LI YT, MA YY, WANG ZY, *et al.* Advances in application and biosynthesis of stevioside [J]. China Biotechnology, 2023, 43(1): 104–114.

[47] 黄伟志. 甜菊糖苷的功能及其在食品工业中的应用[J]. 江苏调味副食品, 2021(4): 5–9, 13.
HUANG WZ. Function of stevioside and its application in food industry [J]. Jiangsu Condiment and Subsidiary Food, 2021(4): 5–9, 13.

[48] 吕明月, 毕金峰, 吕健, 等. 赤藓糖醇含量对重组桃脯品质特性的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(9): 366–374.
LV MY, BI JF, LV J, *et al*. Effect of erythritol content on quality characteristics of recombinant preserved peach [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(9): 366–374.

[49] 王健樵, 鲁斌, 马仕宇, 等. 赤藓糖醇感官品质剖析及影响因素分析[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(23): 177–184.
WANG JQ, LU B, MA SY, *et al*. Analysis of sensory quality and influencing factors of erythritol [J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(23): 177–184.

[50] 张译尹, 邢晓蕊, 王茹. 赤藓糖醇的生物学功能及临床应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(3): 357–365.
ZHANG YY, XING XR, WANG R, *et al*. Research progress on biological function and clinical application of erythritol [J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(3): 357–365.

[51] 王晓芸, 吾尔亚提·沙塔尔. 天然甜味剂在糖果中的应用技术研究[J]. 中国食品工业, 2025(3): 133–135.
WANG XY, WUERYATI STER. Research on application technology of natural sweeteners in candy [J]. China Food Industry, 2025(3): 133–135.

[52] 林国文, 汤思薇, 余捷, 等. 木糖醇缓解 2 型糖尿病和糖尿病肾病的研究进展[J]. 赣南医科大学学报, 2025, 45(2): 149–153.
LIN GW, TANG SW, YU J, *et al.* Research progress of xylitol in alleviating type 2 diabetes and diabetic nephropathy [J]. Journal of Gannan Medical University, 2025, 45(2): 149–153.

[53] 房子蔚, 王雨生, 于真, 等. 山梨糖醇和麦芽糖醇对玉米淀粉糊化和老化性质的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(7): 217–223.
FANG ZW, WANG YS, YU Z, *et al.* Effects of sorbitol and maltitol on pasting and aging properties of corn starch [J]. Food Science and Technology, 2022, 47(7): 217–223.

[54] 朱荣安, 张岩, 胡业先, 等. 麦芽糖醇菊粉蛋卷的配方优化及其品质分析[J]. 保鲜与加工, 2024, 24(12): 91–97.
ZHU RAN, ZHANG Y, HU YX, *et al.* Formulation optimization and quality analysis of maltitol inulin egg roll [J]. Storage and Process, 2024, 24(12): 91–97.

[55] 李正钰, 隋佳怡, 周思远, 等. 三氯蔗糖在食品中的应用概况及检测方法[J]. 广西糖业, 2024, 44(1): 22–26.
LI ZY, SUI JY, ZHOU SY, *et al.* Application and detection methods of sucralose in food [J]. Guangxi Sugar Industry, 2024, 44(1): 22–26.

[56] 曾维丽, 豆康宁. 保健型大豆膳食纤维番茄酱的研制[J]. 中国调味品, 2015, 40(6): 80–82.
ZENG WL, DOU KN. Development of health soybean dietary fiber tomato paste [J]. China Condiment, 2015, 40(6): 80–82.

[57] 古丽米热·祖努纳, 沙尼都哈什·哈勒木别克, 克丽曼·艾沙, 等. 低糖西梅果酱加工工艺优化及挥发性物质分析[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(4): 107–117.
GULIMIRE ZNN, SHANIDUHASHI HLMBK, KELIMAN AIS, *et al.* Optimization of processing technology and analysis of volatile substances of low sugar prunus jam [J]. Food Research and Development, 2025, 46(4): 107–117.

[58] 王远利, 王菲, 张权, 等. 海棠果果酱的研制及其品质分析[J].食品工业科技, 2024, 45(11): 175–186.
WANG YL, FANG F, ZHANG Q, *et al.* Development and quality analysis of crabapple jam [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(11): 175–186.

[59] 严月蓉, 孙钦菊, 杜丽娟, 等. 火龙果果酱的研制及流变特性研究[J]. 农产品加工, 2025(12): 19–26, 31.
YAN YR, SUN QJ, DU LJ, *et al.* Development and rheological properties of pitaya jam [J]. Agricultural Products Processing, 2025(12): 19–26, 31.

[60] 申雪, 裴龙英, 布海丽且姆·阿卜杜热合曼, 等. 响应面法优化低糖鲜杏果酱配方的研究[J]. 保鲜与加工, 2024, 24(7): 71–77.
SHEN X, PEI LY, BUHAILIQIEMU ABDRHM, *et al.* Optimization of low sugar fresh apricot jam formula by response surface methodology [J]. Storage and Process, 2024, 24(7): 71–77.

[61] 黄莹星, 谢桂勉, 黄崇才. 全果型红心火龙果果酱加工工艺[J]. 食品工业, 2023, 44(12): 7–11.
HUANG YX, XIE GM, HUANG CC. Processing technology of whole fruit red pitaya jam [J]. The Food Industry, 2023, 44(12): 7–11.

[62] 李英, 袁丹丹, 李颖. 低糖山楂山药复合果酱制备工艺[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(8): 28–31.
LI Y, YUAN DD, LI Y. Preparation technology of low sugar hawthorn and Chinese yam compound jam [J]. Food and Nutrition in China, 2018, 24(8): 28–31.

[63] 王若彤, 秦小勤, 何小宇, 等. 基于响应面法的沃柑果酱工艺优化[J]. 农产品加工, 2025(3): 49–52, 57.
WANG RT, QIN XQ, HE XY, *et al.* Optimization of ponkan jam process based on response surface methodology [J]. Agricultural Products Processing, 2025(3): 49–52, 57.

[64] 许殊, 张先淑, 骆红毅, 等. 柿子果酱的制备[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(11): 65–67.
XU S, ZHANG XS, LUO HY, *et al.* Preparation of persimmon jam [J]. Food Research and Development, 2015, 36(11): 65–67.

[65] 付彩霞, 钟洪浩, 李军鹏, 等. 基于模糊数学感官模型的低糖柑橘果酱配方优化[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(9): 157–163, 196.
FU CX, ZHONG HH, LI JP, *et al*. Optimization of low sugar citrus jam formula based on fuzzy mathematical sensory model [J]. Food Research and Development, 2023, 44(9): 157–163, 196.

[66] 宋莺丽, 柴思思, 马立安. 低糖玫瑰山药复合果酱的研发及货架期预

测[J]. 中国调味品, 2023, 48(2): 103–108.
SONG YL, CHAI SS, MA LAN. Development and shelf life prediction of low sugar rose yam compound jam [J]. Chinese Condiments, 2023, 48(2): 103–108.

[67] 吴洁, 宋莺丽, 王晴, 等. 火龙果橙皮低糖复合果酱的研发[J]. 中国调味品, 2022, 47(6): 103–106.
WU J, SONG YL, WANG Q, *et al*. Research and development of low sugar compound jam from pitaya orange peel [J]. Chinese Condiment, 2022, 47(6): 103–106.

[68] 陆健康, 李述刚, 艾明艳. 低糖红枣花生复合果酱的研制[J]. 食品工业, 2014, 35(12): 143–147.
LU JK, LI SG, AI MY. Development of low sugar jujube peanut compound jam [J]. The Food Industry, 2014, 35(12): 143–147.

[69] 孙翠焕, 陈丽媛, 陈杰, 等. 低糖甘薯果酱新配方工艺研究[J]. 山东农业科学, 2015, 47(3): 101–104.
SUN CH, CHEN LY, CHEN J, *et al.* Study on the new formulation technology of low sugar sweet potato jam [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2015, 47(3): 101–104.

[70] 刘星宇, 高婧宇, 彭郁, 等. 食品增稠剂对果酱质地的影响研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(18): 272–281.
LIU XY, GAO JY, PENG Y, *et al*. Research progress on the effect of food thickeners on jam texture [J]. Food Science, 2024, 45(18): 272–281.

[71] 任多多, 江伟, 孙印石, 等. 果胶的分类、功能及其在食品工业中应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 438–446.
REN DD, JIANG W, SUN YS, *et al.* Research progress on classification, function and application of pectin in food industry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 438–446.

[72] ZHAO S, MIAO L, TIAN G, *et al.* Elucidating the impact of intermolecular forces on the formation and internal structure of high-methoxyl pectin aggregates [J]. Food Chemistry, 2025, 487: 144765.

[73] LI H, RAO J, CHEN B. Tyramine modification of high and low methoxyl pectin: Physicochemical properties, antioxidant activity, and gelation behavior [J]. Food Hydrocolloids, 2023, 144(11): 1.1–1.14.

[74] COIN F, LARRANAGA A, CERVENY S. Structural characterization of low methoxyl pectin-based adsorbents: The role of water on pectin structure [J]. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2025, 11: 100885.

[75] SPITZ AMI, SAUER HI, WUNDER RS, *et al.* Hydrogels from agar and citrus pectin for cleaning cultural heritage objects [J]. Journal of Molecular Liquids, 2025, 431: 127678.

[76] 魏翔宇, 张炯亮, 李欣悦, 等. 黄原胶增稠剂在卒中后吞咽障碍中应用的研究进展[J]. 新医学, 2025, 56(8): 731–738.
WEI XY, ZHANG JL, LI XY, *et al.* Research progress on application of xanthan gum thickener in dysphagia after stroke [J]. New Medicine, 2025, 56(8): 731–738.

[77] UDO T, MUMMALETI G, MOHAN A, *et al.* Current and emerging applications of carrageenan in the food industry [J]. Food Research International, 2023, 173(2): 21.

[78] 杨巍巍, 余黔坤. 响应面法优化玉米须低糖山楂酱生产工艺的研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(1): 134–139.
YANG WW, YU QK. Optimization of production process of low sugar hwthorn sauce with corn silk by response surface methodology [J]. China Condiment, 2023, 48(1): 134–139.

[79] 孟宪福, 覃朝望. 基于响应面法的草莓果酱工艺优化[J]. 食品科技, 2023, 48(6): 75–80.
MENG XF, QIN ZW. Optimization of strawberry jam process based on response surface methodology [J]. Food science and Technology, 2023, 48(6): 75–80.

[80] 熊荣园, 梁洪, 魏玲, 等. 低糖柑橘芒果复合果酱的微波加工工艺优化及品质分析[J]. 食品工业, 2023, 44(9): 54–59.
XIONG RY, LIANG H, WEI L, *et al*. Optimization of microwave processing technology and quality analysis of low sugar citrus mango compound jam [J]. The Food Industry, 2023, 44(9): 54–59.

[81] 蔡秀岑, 李美玲, 任文彬, 等. 柚子桂花酱的工艺优化及风味研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(12): 124–129.
CAI XC, LI ML, REN WB, *et al.* Study on process optimization and flavor of pomelo osmanthus jam [J]. China Condiment, 2023, 48(12): 124–129.

[82] 阳晖, 熊晓欣. 杨梅荔枝复合果酱的配方优化[J]. 食品工业, 2023, 44(4): 20–24.
YANG H, XIONG XX. Formula optimization of bayberry litchi compound jam [J]. The Food Industry, 2023, 44(4): 20–24.

[83] 王星月, 杨潇然, 李晓, 等. 秋葵多糖低热量果酱的感官、质构、流变及贮藏特性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(10): 96–103.
WANG XY, YANG XR, LI X, *et al.* Study on sensory, texture, rheological and storage properties of okra polysaccharide low calorie jam [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(10): 96–103.

[84] 张雪, 史晨阳, 卢珊, 等. 发酵型蓝莓果酱工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2025, 50(3): 93–102.
ZHANG X, SHI CY, LU S, *et al.* Process optimization and antioxidant activity of fermented blueberry jam [J]. Food Science and Technology, 2025, 50(3): 93–102.

[85] MORIHIRO S. 食品杀菌技术的现状及未来发展趋势[J]. 中国洗涤用品工业, 2018(11): 40–44.
MORIHIRO S. Current situation and future development trend of food sterilization technology [J]. China Cleaning Industry, 2018(11): 40–44.

[86] PING C, LI X, WANG T, *et al.* Comprehensive insights into the mechanisms influencing flavor alteration in mutton soup induced by thermal and cold sterilization: Integration of flavoromics and lipidomics [J]. Food Chemistry, 2025, 488: 144855.

[87] HUANG C, WANG C, QIN C, *et al.* Effects of ultra-high pressure microfluidization on quality attributes and microbial safety of bayberry juice: A non-thermal processing strategy [J]. LWT-Food Science and Technology, 2025, 230: 118211.

[88] SINLAPAPANYA P, PALAMAE S, BUATONG J, *et al.* The combined effect of free or encapsulated ethanolic cashew leaf extract and high-pressure processing (HPP) on shelf-life extension of refrigerated Nile tilapia slices [J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2025, 22: 102065.

[89] 牛逍瞳, 马燕, 张健, 等. 超高压杀菌对低脂核桃酱品质的影响及其货架期预测[J/OL]. 食品工业科技, 1–23. [2025-08-28]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050033
NIU XT, MA Y, ZHANG J, *et al*. Effect of ultra high pressure sterilization on the quality of low fat walnut jam and its shelf life prediction [J/OL]. Food Industry Science and Technology, 1–23. [2025-08-28]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050033

[90] 李润杰, 宋飞虎, 刘畅, 等. 酸菜料包的加压微波杀菌技术研究[J]. 中国调味品, 2025, 50(2): 162–168.
LI RJ, SONG FH, LIU C, *et al.* Study on pressurized microwave sterilization technology of pickled cabbage bag [J]. China Condiment, 2025, 50(2): 162–168.

[91] 杨婧蓉, 陈科涵, 刘伯业, 等. 微波处理对小麦粉理化特性及保鲜湿面品质的影响[J]. 食品科技, 2024, 49(10): 178–185.
YANG JR, CHEN KH, LIU BY, *et al.* Effects of microwave treatment on physicochemical properties of wheat flour and fresh-keeping wet noodle quality [J]. Food Science and Technology, 2024, 49(10): 178–185.

[92] 张亚征, 冯作山, 白羽嘉, 等. 沙棘果粉微波杀菌工艺优化及其品质变化[J]. 中国调味品, 2025, 50(8): 153–160.
ZHANG YZ, FENG ZS, BAI YJ, *et al.* Optimization of microwave sterilization process and quality change of seabuckthorn fruit powder [J]. China Condiment, 2025, 50(8): 153–160.

[93] 赵韵淳. 真空冷鲜罗非鱼片特定腐败微生物分离鉴定及 $^{60}$Co-$\gamma$ 辐照杀菌保鲜技术的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2023.
ZHAO YC. Isolation and identification of specific spoilage microorganisms in vacuum chilled tilapia fillets and Study on $^{60}$Co-$\gamma$ irradiation sterilization and preservation technology [D]. Guangzhou: South China University of technology, 2023.

[94] 何凯锋, 陈秀金, 臧鹏, 等. 辐照杀菌技术对食品品质的影响及控制研究进展[J]. 食品与发酵工业,2023, 49(10): 299–305.
HE KF, CHEN XJ, ZANG P, *et al.* Research progress on the influence and control of irradiation sterilization technology on food quality [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(10): 299–305.

[95] 王秀珍. 食品加工中的热杀菌技术和非热杀菌技术分析[J]. 食品界, 2019(2): 162.
WANG XZ. Analysis of thermal sterilization technology and non thermal sterilization technology in food processing [J]. Food Industry, 2019(2): 162.

[96] 李异凡. 高压低温处理对牛奶杀菌效果及品质影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2022.
LI YF. Effect of high pressure and low temperature treatment on milk sterilization and quality [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2022.

[97] 郑卓赟. 高压低温下食品中水的相变研究及其杀菌效应的初步探究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
ZHENG ZY. Study on phase transition of water in food under high pressure and low temperature and preliminary study on its germicidal effect [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.

[98] 徐悦. 脉冲磁场杀菌效果及对生活废水的处理和杀灭机理分析[D]. 大连: 大连交通大学, 2023.
XU Y. Sterilization effect of pulsed magnetic field and analysis of treatment and killing mechanism of domestic wastewater [D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2023.

[99] GUO L, AZAM SMR, GUO Y, *et al.* Germicidal efficacy of the pulsed magnetic field against pathogens and spoilage microorganisms in food processing: An overview [J]. Food Control, 2021(1): 108496.

[100] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 不同杀菌方式对低糖香蕉果酱品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 97–100, 104.
WEI P, YOU XR, ZHANG YY, *et al.* Effects of different sterilization methods on the quality of low sugar banana jam [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(7): 97–100, 104.

[101] 陈诗晴, 王征征, 姚思敏薇, 等. 不同杀菌方式对贮藏过程中猕猴桃低糖复合果酱品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5): 53–58, 64.
CHEN SQ, WANG ZZ, YAO SMW, *et al.* Effects of different sterilization methods on the quality of kiwifruit low sugar compound jam during storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(5): 53–58, 64.

[102] 李兴武, 章黎黎. 不同杀菌方式对脆红李低糖果酱营养成分和感官品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(11): 70–75.
LI XW, ZHANG LL. Effects of different sterilization methods on nutritional components and sensory quality of crisp red plum low candy jam [J]. Food Research and Development, 2018, 39(11): 70–75.

[103] 谷伟男. 杀菌方式对蓝莓番茄酱贮藏过程中品质的影响[J]. 现代食品, 2019(9): 150–153, 157.
GU WN. Effect of sterilization methods on the quality of blueberry ketchup during storage [J]. Modern Food, 2019(9): 150–153, 157.

[104] 张先淑. 杀菌方式对蓝莓黑枸杞复合果酱贮藏过程中品质的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(3): 122–124.
ZHANG XS. Effect of sterilization methods on the quality of blueberry black wolfberry compound jam during storage [J]. The Food Industry, 2019, 40(3): 122–124.

[105] 段丽丽, 刘倩, 田怡. 不同杀菌方式对低糖香蕉柚子皮复合果酱的影响研究[J]. 四川旅游学院学报, 2019(1): 18–22.
DUAN LL, LIU Q, TIAN Y. Effect of different sterilization methods on low sugar banana pomelo peel compound jam [J]. Journal of Sichuan Tourism University, 2019(1): 18–22.

(责任编辑: 安香玉　蔡世佳)