

# 食品级乳化香精在高温杀菌工艺中的稳定性保持机制研究

陶剑鸣

杭州威欧生物科技有限公司 浙江 杭州 310000

**【摘要】**：食品级乳化香精是食品工业重要风味强化原料，广泛用于饮料、乳制品等生产加工。高温杀菌是保障食品微生物安全的核心，但高温易引发乳化香精稳定性问题，影响食品风味品质与货架期。本文基于多学科理论，以理论分析与逻辑推演为核心，剖析高温杀菌工艺对其稳定性的影响机制，探讨乳化香精自身结构、工艺参数及辅助稳定手段对高温稳定性的作用规律，构建“组分优化-参数调控-辅助防护”三维稳定性保持体系，明确各环节核心机制与适配路径。研究表明，乳化香精界面膜特性、油相抗氧化能力及杀菌工艺参数精准控制是维持高温稳定性的关键，合理的乳化剂复配、风味成分包埋及工艺优化可抑制高温破坏。本文研究为食品级乳化香精在高温杀菌食品中的应用提供理论支撑，也为同类热敏性食品配料稳定性控制提供参考。

**【关键词】**：食品级乳化香精；高温杀菌；稳定性；界面膜；保持机制

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.050

## 1 引言

风味是决定食品消费体验与市场竞争力的核心指标，食品级乳化香精因风味逼真等优势，成为现代食品工业风味调配核心原料。它通过乳化技术形成稳定胶体分散体系，可复刻天然风味，提升风味成分相容性与稳定性。其应用场景广泛，在需高温杀菌的食品中，稳定性决定产品风味品质与货架期。

高温杀菌工艺是保障食品微生物安全性的必要手段，不同工艺条件有差异，均会显著影响乳化香精稳定性。高温会打破其界面平衡与胶体稳定性，引发油滴聚集、风味成分挥发或降解、体系分层沉淀等问题，导致风味强度降低、失真，影响食品感官质地与外观。

目前，食品级乳化香精研发多聚焦常温储存稳定性，针对高温杀菌工艺的专项设计不足。现有研究缺乏对高温下稳定性破坏机制的系统剖析，未形成兼顾风味保留与稳定性的技术体系，且乳化香精成分、杀菌工艺参数、食品基质特性间相互作用规律未厘清，难以精准调控保持其高温稳定性。

本文基于相关理论，系统分析高温杀菌工艺对食品级乳化香精稳定性的影响与破坏机制，从乳化香精组成优化、杀菌工艺参数调控、辅助稳定技术应用三个维度构建保持机制与策略。通过理论推演明确核心逻辑，为其在高温杀菌食品中的应用提供理论指导，助力食品工业保障风味品质与微生物安全性。

## 2 食品级乳化香精的结构特性与高温稳定性基础

### 2.1 乳化香精的核心结构与组成特性

食品级乳化香精多为水包油型胶体分散体系，核心结构由分散相、连续相、界面层及辅助成分构成，各组分特性与配比决定整体稳定性。分散相主要是脂溶性风味成分及少量植物油，其分子量等特性影响高温稳定性。连续相以水为基质，含少量水溶性助剂，其黏度等会间接调控乳化香精稳定性。

界面层是稳定核心，由乳化剂、助乳化剂等组成，形成保

护膜抑制油滴聚集。乳化剂决定界面膜强度与热稳定性，常用食品级乳化剂有卵磷脂等，不同乳化剂性能有差异。助乳化剂协同乳化剂优化界面膜。

辅助成分包括抗氧化剂等，抗氧化剂抑制氧化降解，稳定剂强化稳定性，风味增效剂弥补风味损失。各组分协同形成体系，其稳定性依赖界面层保护、连续相支撑及组分间配伍平衡，高温破坏任一环节都会致稳定性下降。

### 2.2 高温环境对乳化体系的核心影响规律

高温影响乳化香精稳定性通过分子热运动加剧、界面性质变化、成分化学反应三条路径，且相互叠加放大破坏效应。分子热运动加剧使油滴碰撞聚集，导致体系分层。

高温改变界面层性质，使界面膜强度下降，降低界面张力温度敏感性，加剧稳定性破坏。

高温加速化学反应，引发风味损失与体系性质变化，如提升风味成分挥发速率、使不饱和成分氧化、引发乳化剂与食品基质相互作用。

### 2.3 乳化香精高温稳定性的核心评价维度

食品级乳化香精高温稳定性评价需兼顾物理稳定性、风味保留率与化学稳定性三个核心维度，通过多指标协同分析全面表征。物理稳定性评价关注高温处理后胶体状态变化，核心指标有油滴粒径分布、分层速率等，粒径分布窄等表明物理稳定性强。

风味保留率评价分析高温前后风味成分变化，特征风味成分保留率高、不良风味成分生成量少说明风味稳定性强。化学稳定性评价聚焦乳化剂等组分高温稳定性，通过检测含量变化等评价。需评估其在高温环境下的功能保持能力。此外，结合实际应用场景，评价乳化香精高温处理后与食品基质的相容性。高温处理可能改变其界面性质，影响在食品基质中的分散均匀性，进而影响最终产品的风味均一性与感官品质。建立多维度评价体系，可精准识别高温下乳化香精稳定性的薄弱环节

节,为稳定性保持机制的构建与优化提供可靠依据。

### 3 高温杀菌工艺对乳化香精稳定性的破坏机制

#### 3.1 不同高温杀菌工艺的影响差异与作用路径

不同高温杀菌工艺因温度、压力、时间及方式差异,对乳化香精稳定性破坏路径显著不同。巴氏杀菌(低温长时)对物理稳定性破坏较温和,主要通过长时间加热加速风味挥发氧化及缓慢削弱界面膜,适用于热稳定型乳化香精。超高温瞬时杀菌(UHT)的瞬间高温剧烈加剧分子热运动,导致油滴碰撞能量激增、突破界面膜聚集,物理破坏显著;但短时处理使风味损失较少,核心路径为界面膜破裂。高温高压杀菌(HHP)则通过高温高压协同作用:高压压缩油滴体积、改变界面分子排列,降低膜弹性;高温加速乳化剂分解与风味降解,对物理化学稳定性双重破坏。此外,连续式杀菌的流体剪切力协同高温破坏界面膜;间歇式杀菌的温度波动加速乳化剂脱附与膜老化,均加剧稳定性劣化。

#### 3.2 界面膜破坏的核心机制与连锁反应

界面膜高温破坏是稳定性崩溃的核心。高温使乳化剂分子动能增加,导致:①部分分子从界面脱附,膜厚度与致密性下降;②疏水/亲水基团构象重排,破坏吸附平衡,降低膜强度与弹性;③热敏性乳化剂分解失效,生成无活性产物并干扰静电排斥。膜破坏引发连锁反应:油滴聚集概率上升→粒径增大→zeta 电位绝对值降低→静电排斥减弱→油滴合并加剧→大粒径油滴上浮分层。同时,界面暴露加速脂溶性风味挥发氧化,形成"膜破损-聚集-风味损失"恶性循环,彻底破坏体系稳定性。

#### 3.3 风味成分的高温损失与变质机制

风味损失主要通过挥发、氧化、降解三路径发生,受界面膜完整性、抗氧化能力及工艺参数协同影响。挥发源于高温提升风味成分蒸气压,界面膜缺陷会加速低沸点脂溶性成分扩散逸失。氧化是主要变质路径:高温加速含不饱和键成分与氧反应,生成醛酮酸等不良风味物;界面膜破裂或抗氧化剂缺失会急剧加剧此过程。降解表现为高温致化学键断裂,特征风味消失并产生异味。此外,高温促使风味成分与乳化剂/基质发生副反应(如与蛋白质的美拉德反应、与糖类的酯化),改变风味结构特性,不仅导致风味失真,还可能削弱乳化剂界面活性,间接加剧体系不稳定。综合而言,界面膜完整性是阻隔风味损失的关键屏障,其破坏会放大三重损失机制,最终导致产品品质劣变。

### 4 食品级乳化香精高温稳定性的保持机制与实现策略

#### 4.1 乳化香精组成体系的优化设计

乳化剂筛选与复配是核心:优选卵磷脂、聚甘油脂肪酸酯等热稳定乳化剂,通过离子型与非离子型复配构建致密复合界

面膜,增强高温抗冲击能力。分散相优化包括:选用低挥发性风味成分,添加植物油载体降低逸失;复配茶多酚、维生素E等天然抗氧化剂抑制氧化;精准调控风味-载体油比例避免加速变质。连续强化策略:添加黄原胶等增稠剂提升黏度,延缓油滴聚集;调控pH值维持乳化剂活性;控制电解质含量保障zeta 电位稳定,减少静电屏蔽效应。

#### 4.2 高温杀菌工艺参数的精准调控

工艺选择需平衡杀菌效率与稳定性:热敏型体系优先采用巴氏杀菌(低温长时)减少界面膜冲击;热稳定型适用超高温瞬时杀菌(UHT)降低风味损失。关键参数协同优化:严格限定温度上限与保温时间,UHT工艺缩短处理时长并优化升降温速率;高温高压杀菌精确控制压力阈值,避免界面结构破坏。处理方式改进:连续式杀菌优化流速减少剪切应力;间歇式采用梯度升降温模式缓解热冲击。创新采用"后添加"策略——杀菌冷却后再注入乳化香精,规避高温暴露。

#### 4.3 辅助稳定技术的应用与协同增效

包埋技术形成二次防护:以麦芽糊精、环糊精为壁材包裹风味物质,构建热稳定包埋膜隔离氧气与高温,需优化材料配比确保膜完整性与风味释放平衡。抗氧化体系分区防护:脂溶性抗氧化剂(如迷迭香提取物)添加至分散相,水溶性抗氧化剂(如抗坏血酸)作用于连续相,协同抑制氧化链反应;添加柠檬酸等螯合剂钝化金属离子催化。界面修饰强化膜性能:引入小分子活性物质(如甾醇)通过氢键增强膜致密性;采用酶法改性乳化剂提升高温吸附能力。三重技术协同构建"界面强化-包埋防护-抗氧化"稳定体系,显著提升高温耐受性。通过组分设计、工艺调控与辅助技术的系统整合,可突破乳化香精高温应用瓶颈,在保障安全前提下实现风味长效稳定。

### 5 食品基质特性对乳化香精高温稳定性的影响及适配

#### 5.1 食品基质的核心特性影响规律

食品基质组成与性质显著调控乳化香精高温稳定性,不同基质通过影响界面层性质、风味成分迁移速率和化学反应环境,改变其高温杀菌稳定性。蛋白质是关键影响成分,与乳化剂协同吸附可强化界面膜、提升稳定性,拮抗则破坏稳定性。碳水化合物调节体系黏度与水分活度,高黏度利于稳定,但过量会降低界面膜致密性。食品基质的pH值与电解质含量影响zeta 电位与界面膜性质,酸性、碱性基质或高电解质含量会加剧稳定性破坏。脂肪含量与类型也有影响,抗氧化能力强的脂肪可减少风味氧化,易氧化的则加速变质。因此,食品基质与乳化香精的适配性是决定高温稳定性的重要因素。

#### 5.2 不同食品基质中的适配策略

饮料基质多为低黏度水相体系,适配策略聚焦界面膜强化与pH值调控。酸性饮料选耐酸乳化剂,加缓冲剂稳定pH值;

含电解质饮料控制含量或加螯合剂。乳制品基质富含蛋白质与脂肪,利用蛋白质协同作用、抑制脂肪氧化。选与乳蛋白兼容的乳化剂,加天然抗氧化剂,优化杀菌工艺,发酵乳制品可在发酵后杀菌阶段添加。焙烤食品基质富含碳水化合物与油脂,结合包埋技术与工艺优化。用环糊精或麦芽糊精包埋,选热稳定性强的乳化剂复配体系,优化添加方式。

### 5.3 基质与乳化香精的协同优化案例参考

酸性果汁饮料生产中,用聚甘油脂肪酸酯与蔗糖脂肪酸酯复配乳化剂、柠檬酸三钠缓冲剂,降低杀菌温度与时间,结合环糊精包埋,提升风味保留率且无分层。灭菌乳生产中,选卵磷脂与乳清蛋白协同乳化体系,加复合抗氧化剂,优化杀菌工艺,油滴粒径无显著增大,特征风味保留率达标。这些案例表明,协同优化可提升高温杀菌稳定性,保障风味品质。

## 6 关键技术瓶颈与未来发展趋势

### 6.1 当前核心技术瓶颈

食品级乳化香精高温稳定性保持技术虽有进展,但实际应用仍面临诸多核心技术瓶颈。一是界面膜高温稳定性精准调控难,乳化剂复配等手段作用机制未厘清,不同高温工艺下界面膜破坏与修复规律复杂,极端高温工艺中稳定性不足。二是风味保留与稳定性难平衡,强化稳定性手段影响风味释放与感官体验,追求风味释放又削弱稳定性。三是食品基质与乳化香精适配性不足,不同基质组成差异大,缺乏通用适配准则,部分特殊基质中高温稳定性不佳。四是天然、健康化需求与稳定性矛盾,消费者对天然添加剂需求提升,但天然乳化剂等热稳定性低于合成产品,开发高效天然稳定体系成核心难点。

### 参考文献:

- [1] 王瑞云.高温巴氏杀菌乳工艺及品质研究[J].现代食品,2022,28(4):67-69.
- [2] 封明仁,郁葱.紫外线杀菌在食品香精制造中的理念[J].中国洗涤用品工业,2012(7):41-43.
- [3] 樊真宏,杨召侠,王琪,等.饮料中乳化香精的稳定性研究进展[J].中国食物与营养,2025,31(6):47-51.
- [4] 沈锡伟.饮料乳化香精的生产及其稳定性[J].饮料工业,2020,23(2):70-73.

### 6.2 未来技术发展趋势

随着多学科快速发展,食品级乳化香精高温稳定性技术将向精准化、天然化、多功能化方向发展。界面稳定技术方面,精准改性技术成研究热点,通过生物技术定向改造天然乳化剂,实现界面膜精准设计与高温适配。天然化稳定体系研发成主流,开发天然复配体系等替代合成添加剂,协同提升稳定效果。多功能化乳化香精将兴起,结合多种功能开发复合乳化香精,拓展应用场景。智能化技术应用提升稳定性调控精准度,构建关联模型实现工艺参数智能优化与配方精准设计。此外,新型杀菌技术应用减少高温破坏,为稳定性保持提供新路径,实现微生物安全性与风味品质高效协同。

## 7 结论

本文基于界面化学等理论,经分析与推演,探讨食品级乳化香精高温杀菌工艺中稳定性破坏机制与保持策略,构建多维度稳定性保持体系,得出结论:食品级乳化香精高温稳定性依赖界面膜保护、分散相抗氧化与连续相黏度支撑,高温杀菌加剧分子运动等引发稳定性下降,不同杀菌工艺破坏路径与程度有差异。界面膜高温破坏是核心诱因,乳化剂脱附等导致界面膜缺陷,引发连锁反应;风味成分高温损失通过挥发等路径发生,受界面膜与体系抗氧化能力调控。食品基质特性间接调控其高温稳定性,适配策略需优化。构建的三维稳定性保持体系可提升稳定性,各环节协同实现平衡。当前技术面临瓶颈,未来需向精准化等方向发展。本文提出的机制与策略为其应用提供理论支撑与参考,后续可结合实验与案例验证策略,研究界面膜机制与协同效应,优化模型,推动产业发展。