

畜禽类肝脏腥味物质与脱腥技术研究进展

夏 强, 黄思强, 梁倚绮, 徐 乐, 周昌瑜*, 党亚丽, 曹锦轩, 涂茂林, 孙杨赢, 潘道东*
(宁波大学食品与药学院, 浙江省动物蛋白食品精深加工技术重点实验室, 浙江 宁波 315800)

摘 要: 作为畜禽肉分割环节的主要加工副产物之一, 肝脏富含维生素、矿物质、不饱和脂肪酸与蛋白, 但腥味强烈是所有不同来源肝脏普遍存在的问题, 成为严重制约肝源性成分或肝制品食用品质、可加工性与消费体验的关键因素。卤制、腌制、烘烤等传统工艺是目前肝脏制品去腥除膻的主要方式, 且效果显著, 但存在原材料风味改变、危害因子形成、食材形式限制及自由基过度氧化等缺陷, 降低原料可加工性。新型去腥技术, 包括超滤、生物发酵、包埋、漂洗和臭氧等在肝制品上有所尝试, 但具体去腥机理并不明确。本文对畜禽肝脏利用现状、主要腥味物质分布与形成, 以及脱腥技术开发现状、优缺点与应用机理等方面展开分析与论述, 以期为重构和改善肝制品风味、推动肉制品深加工与副产物增值化利用提供理论参考。

关键词: 肝脏; 腥味物质; 肝蛋白; 去腥; 生物脱腥

Research Progress on Livers of Livestock and Poultry: A Review of Odorants and Deodorization Techniques

XIA Qiang, HUANG Siqiang, LIANG Yiqi, XU Le, ZHOU Changyu*, DANG Yali, CAO Jinxuan, TU Maolin, SUN Yangying, PAN Daodong*
(Key Laboratory of Food Deep Processing Technology of Animal Protein of Zhejiang Province,
College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315800, China)

Abstract: As one of the main processing by-products of livestock and poultry meat, the liver is rich in vitamins, minerals, unsaturated fatty acids and proteins, but the strong odor is a widespread problem for livers from different species, which is a key factor restricting the eating quality, processing quality and consumer acceptance of liver products. At present, traditional food processing methods such as marination, pickling, and baking are the main methods for removing the odor of liver products. Despite being effective, these methods have some disadvantages, such as changes in the flavor of raw materials, the formation of harmful factors, restrictions on the form of ingredients, and excessive oxidation of free radicals, limiting the applicability of raw materials. New deodorization techniques, including biological fermentation, ultrafiltration, rinsing, encapsulation and ozone treatment, have been tested on liver products, but the underlying mechanisms remain not clear. This article analyzes and discusses the current utilization status of livestock and poultry livers, the distribution and formation of major odorants in livestock and poultry livers, and the current development status, advantages and disadvantages, and application mechanism of deodorization techniques, in order to provide a theoretical reference for reconstructing and improving the flavor of liver-based food products and promoting the deep processing and value-added utilization of meat processing by-products.

Keywords: liver; odor substances; liver protein isolate; deodorization; biological deodorization

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20230321-022

中图分类号: TS251.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2023) 07-0028-07

引文格式:

夏强, 黄思强, 梁倚绮, 等. 畜禽类肝脏腥味物质与脱腥技术研究进展[J]. 肉类研究, 2023, 37(7): 28-34. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20230321-022. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2023-03-21

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32101862); “十四五”国家重点研发计划重点专项 (2021YFD2100104)

第一作者简介: 夏强 (1989—) (ORCID: 0000-0003-4426-852X), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为肉制品加工与品质调控。

E-mail: xqiang0713@hotmail.com

*通信作者简介: 周昌瑜 (1990—) (ORCID: 0000-0002-7638-8609), 男, 副教授, 博士, 研究方向为传统肉制品风味形成与调控机制。E-mail: zhouchangyu@nbu.edu.cn

潘道东 (1964—) (ORCID: 0000-0003-1834-7267), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: pandaodong@nbu.edu.cn

XIA Qiang, HUANG Siquang, LIANG Yiqi. Research progress on livers of livestock and poultry: a review of odorants and deodorization techniques[J]. Meat Research, 2023, 37(7): 28-34. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20230321-022. <http://www.rlyj.net.cn>

作为畜禽类肉制品加工的主要副产物之一，牛肝、猪肝、鸭肝、鹅肝等肝脏约占胴体质量1.5%~3.0%^[1]，因畜禽肝脏富含丰富的维生素、矿物质、蛋白质及不饱和脂肪酸等营养元素，其深加工技术近年备受关注。然而，肝脏腥味强烈，对其加工特性产生显著负面影响，导致畜禽类肝脏产品附加值低，除少部分被鲜销外，大部分以动物、水产饲料资源和肥料加以利用，甚至被当成下脚料直接抛弃，造成资源浪费和环境污染问题，没有完全展现其应有价值^[2]。以鸭肝为例，我国2022年肉鸭出栏量约40亿羽，是世界上最大肉鸭生产国和消费国，生产量在全世界占比超过70%^[3]。近年来在水禽标准化屠宰分割环节产生大量加工副产物，禽肝因营养丰富、质地柔嫩而备受关注。然而，常规养殖肉鸭、肉鹅来源肝脏品质较差，达不到肥肝级别，直接消费比例不高，加工利用率不足5%，产品附加值较低。作为胺类、醛类、烯醛类等化合物的代谢场所，肝脏腥味强烈是普遍存在的问题，成为严重制约其食用品质、消费与加工的关键因素^[4]。因此，如何建立安全、高效的去腥方法是完善肉制品加工产业链发展过程中亟待解决的关键问题之一。为了促进肝脏高值化利用，消除或掩蔽肝脏腥味成为当下必须要解决的技术问题。本文基于文献调查与归纳方法，对畜禽肝脏利用现状、主要腥味物质分布与形成，以及脱腥技术开发现状与展望等方面展开分析与论述，以期为重构和改善食品风味、推动畜牧业均衡可持续发展提供理论基础。

1 畜禽肝脏利用现状

据联合国粮食与农业组织统计分析，2020年全球畜禽肉产量为1.33亿t，近年来受益于饲养技术以及加工设备的人工智能化，全球的畜禽肉产量得到进一步提高，导致越来越多加工副产物集中保留下来，如鸡肝每年产量高达50余万t。畜禽肝脏作为畜禽肉加工过程中的一种重要副产物，含有丰富的蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素（VA、VD、VE、叶酸、尼克酸）、矿物质等营养成分，如表1所示^[1]。此外，畜禽肝脏中还含有多种相对含量较低，但对人体健康有益的活性成分，如L-肉碱、牛磺酸、活性肽等。例如，猪肝中富含蛋白质、VA、铁、锌等营养元素，其中铁含量为猪肉的10~18倍，VA含量可达猪肉含量的43倍^[5-6]。然而，畜禽肝脏简单烹饪直接食用主要集中在东亚和东南亚国家，绝大部分以餐馆与家庭烹饪食用为主，而工业食品生产以鹅肝酱、猪

肝酱、鸭肝酱等为主，且作为面包、生菜等拌酱消费方式集中在欧美国家，我国消费者由于对肝酱口味认可度低，导致销量有限。近年来我国食品研发人员尝试开发肝酱、肝泥、肝冻、调味酱、西式肝肠、卤制畜肝/禽肝即食休闲食品、肝制重组午餐肉等，肝脏可食性也从猪、牛、羊、鸭、鹅等大类肉类消费品类同步向驴、骆驼等小众肉制品加工副产品转变^[7-8]，但上述所有类别产品市场份额均非常有限，主要受到几方面的因素挑战：1）畜禽肝脏类食品不适合长期贮藏，经高温灭菌后产品质地劣化，颜色暗化，渣感明显；2）畜禽肝制品腥味浓烈，即使是添加香辛料的卤制类休闲肝类食品在咀嚼与吞咽时也能感受到明显腥味，严重限制其市场化；3）肝类制品贮藏过程中脂肪易分解与氧化，产品风味不稳定，异味感知加重。

表1 畜禽肝脏主要成分含量分布

Table 1 Major chemical composition of poultry and livestock livers

肝脏类别	%					
	水分	蛋白质	脂肪	糖类	维生素	矿物质
鸡肝	75.00	16.60	4.80	2.80	0.03	0.62
鸭肝	76.50	14.50	7.50	0.50	0.03	0.66
鹅肝	72.20	16.40	4.30	6.30	0.02	0.73
猪肝	71.50	21.40	3.70	2.50	0.05	0.70
牛肝	70.50	19.00	4.50	5.10	0.06	0.80
羊肝	71.50	19.10	5.20	3.30	0.05	0.80
鹿肝	71.00	22.00	3.70	1.80	0.10	0.85

提取肝脏中肝磷脂、蛋白与活性水解肽等功能性成分是近年新兴发展的高值化利用方式，涉及等电点沉淀提取、酶法提取与超声辅助提取等提取方法^[1]，对肝脏蛋白工业与功能性成分产品研发具有重要价值。然而，提取活性成分对肝脏利用率有限，以宏量组分蛋白质为例，其含量分布在15%~20%，磷脂含量则更低。同时，肝脏蛋白提取过程中，由于腥味小分子化合物与蛋白质之间的理化互作而发生共提取^[9]，肝脏蛋白往往会呈现出强烈的异味，限制其可加工性。因此，就世界范围内情况而言，肝脏加工附加值低，相关高值产品开发与长期贮藏技术需要进一步发展，其中消除肝脏腥味是亟待解决的关键技术难题。

2 肝脏腥味形成及其物质基础

阻碍畜禽肝脏深加工的关键因素在于肝脏本身强烈的腥味，而解析其腥味物质轮廓与腥味形成机理是有效脱腥的前提。肝脏腥味物质的组成可能因动物种类、

饲养条件、屠宰方式和食品加工等因素而异, 常见腥味物质类别包括胺类、低分子酸、烯醇、醛类、烯醛、硫醇类、二烯醛和杂环类等。已有研究对鸭肝、牛肝、猪肝及鸡肝风味指纹图谱进行表征, 结果表明, 不同类型肝脏挥发性化合物定性差异不显著, 且风味稀释因子均处在相同范围^[10-11]。己烯醛、(Z)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-酮和1-辛烯-3-醇被鉴定为猪肝的主要腥味物质^[12]。基于顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用方法, Guo Zonglin等^[13]考察了不同贮藏温度条件下牛肝风味指纹图谱的动态变化, 在-20、-10、0℃温度条件下, 贮藏初期挥发性物质含量无明显变化, 但随着贮藏时间的延长, 风味物质含量发生显著变化, 醛、酮为主要风味物质, 尤其是糠醛、苯甲醛、己醛、辛醛含量较高, 并随氧化程度的增加而逐渐增加, 小分子醛对牛肝的风味贡献明显。肝脏是三甲胺(trimethylamine, TMA)代谢过程的主要场所, 富含卵磷脂、胆碱、甜菜碱和肉碱的食物在肠道内先由微生物降解为TMA, 肝脏吸收后生成氧化型三甲胺(TMAO), 在TMAO脱甲基酶作用下代谢为二甲胺(dimethylamine, DMA)和甲醛等^[4], 其中TMAO无腥味, TMA和DMA腥味明显。贮藏过程中在内源性酶或微生物作用下, TMAO转化生成TMA和DMA, 腥味增加。

腥味食品中与腥味相关的关键挥发性化学物质, 如表2所示。

表2 腥味食品中与腥味相关的关键挥发性化学物质
Table 2 Main volatile odorants in foods with off-flavor

食品	腥味化合物	参考文献
罗非鱼、带鱼	3-戊酮、(E)-2-癸烯醛、 δ -氨基戊醛和六羟基吡啶	[14]
禽蛋类	TMA、DMA	[15]
大豆	2-烯醛、2,4-二烯醛、苯甲醛、2-戊基呋喃和烯醇	[16]
鱼腥草	鱼腥草素	[17]
羊肉	硬脂酸、支链脂肪酸、己醛、卤代烷烃、胺类和呋喃衍生物	[18-19]
海带	3-羟基-1-辛烯醇、癸烯醛、十一烷酮、十四烷酸、二丁基酞酸酯、甲基萘和1-溴乙基苯	[20]
肝脏	TMA、2-烯醛等	[9,21]
动物血制品	反-4,5-环氧-2(E)-癸烯醛	[22-23]
红毛藻	1-辛烯-3-醇、壬醛、2-壬烯醛、2,4-癸二烯醛和3,5-辛二烯-2-酮	[16]

另一个腥味形成的主要原因与肝脏脂质氧化和氨基酸Strecker降解有关。畜禽肝脏中脂肪含量高达3.7%~41.9%, 经过特殊手段育肥的鹅肥肝脂肪含量甚至能达到60%以上^[1], 这使得畜禽肝脏离体后脂肪极易被氧化形成低阈值的醛、酮、醇类等挥发性有机化合物, 其中氨基酸Strecker降解也可形成醛酮类物质。Allen等^[24]研究表明, 在高脂食物中, 食物腥味的产生很大程度上与油脂的自动氧化作用所产生的一系列挥发性有机物有关, 如不饱和醛、酮、醇类化合物。由于这些化合物气味阈值较低, 即使在较低的浓度下也能呈现出强烈的令人不愉悦的气味特征, 使产品的感官品质严重下降。Im等^[25]研究发现, 新鲜畜禽肝脏本身没有明显的腥味

特征, 肝腥味的产生与其离体后脂肪自动氧化有关, 并鉴定出氧化猪肝腥味主要与1-辛烯-3-酮、1-辛烯-3-醇、(E)-2-壬烯醛和(E,E)-2,4-癸烯醛等挥发性有机物有关。然而, 这些低阈值的挥发性有机化合物大部分与多不饱和脂肪酸氧化有关, 特别是n-3多不饱和脂肪酸。例如, 即使在冷冻条件下(-20℃), 牛肝在6 d以后氧化程度急剧增加, 尤其是己烯醛、辛醛等小分子醛类物质浓度显著上升^[13]。此外, 肝脏腥味受到基质蛋白与腥味化合物之间互作的影响, 蛋白构象可以改变其互作过程, 从而可以解释提取肝蛋白超声处理前后挥发性指纹图谱的差异^[11,26-27]。

3 去腥方法的研究现状

目前, 食物脱腥技术主要有物理、化学和生物方法: 1) 物理方法包括吸附法、包埋法、感官掩蔽法和物理场加工(高压、超声)等; 2) 化学方法包括美拉德反应法、酸碱盐处理法、抗氧化剂法和臭氧脱腥法; 3) 生物方法包括微生物发酵法, 如乳酸菌发酵和酵母菌发酵; 4) 上述方法的组合, 如高压辅助发酵、添加香辛料与发酵组合法等。

3.1 物理方法

物理脱腥法大部分是利用脱腥剂特殊结构所具有的物理特性, 通过吸附、掩盖和包埋等方式去除食品中的不良风味。活性炭因其具有多孔的表面结构与稳定的化学特性, 被广泛运用于食物脱腥^[28-29]。然而, 活性炭作为一种非特异性吸附剂, 在吸附腥味物质的同时也伴随着大量营养物质的吸附, 如蛋白质、矿物质和维生素等, 这在一定程度上造成了食品部分营养价值的损失。此外, 吸附过程结束后, 活性炭也很难彻底从食品基质中分离出去, 容易造成食品的二次污染。作为食品级吸附剂, 壳聚糖能够通过聚电解质效应结合溶液中带负电荷的腥味化合物形成絮状沉淀, 从而起到食物脱腥的效果^[30]。Liang Shanquan等^[31]采用不同分子质量的壳聚糖对牡蛎酶解液进行脱腥处理时, 发现分子质量77 kDa的壳聚糖能有效去除酶解液中的腥味。 β -葡聚糖作为酵母细胞壁的主要成分, 不仅具有广谱抗肿瘤、抗糖尿病、抗病毒、免疫调节及辐射保护作用^[32], 还能吸附真菌毒素及重金属离子^[33]。此外, 有关研究^[34]表明, β -葡聚糖能够吸附挥发性腥味化合物, 如己醛、1-辛烯-3-醇和壬醛, 减少鲢鱼肉中的腥味释放。

吸附法虽然操作简单, 成本低, 但同时也存在极大的局限性: 1) 非食品基质的吸附剂加入食物中, 容易造成食品的二次污染; 2) 吸附材料并不具备特异性吸附, 在吸附的过程中容易造成营养成分的流失以及部分食品特征风味的损失; 3) 吸附剂的加入并不能完全去除食物中的腥味化合物。

包埋法脱腥是通过包埋剂特有的笼形分子结构包裹小分子腥味物质来实现异味消除的技术。 β -环糊精因具有无毒无害、易消化且含有能够键合小分子化合物的笼形疏水空腔,成为食物脱腥过程中应用最广泛的包埋材料。Suratman等^[35]评价 β -环糊精对豆浆中挥发性异味化合物的包封效果,证实 β -环糊精能够有效降低豆浆中的豆腥味。在小球藻生长因子液脱腥研究中,研究者发现当 β -环糊精添加量为0.03 g/100 mL时,脱腥效果最好,而进一步增加 β -环糊精添加量,溶液的腥味值并没有变化^[36]。在肝酱、肝冻等产品中 β -环糊精应用广泛,主要用于掩盖肝腥味。在研发水晶鸭鹅肝冻制品时,考察 β -环糊精添加量0%~3%的脱腥效果,结果表明,腥味抑制程度线性增加, β -环糊精添加量达到3%后腥味感知不再发生变化^[37]。尽管 β -环糊精能够通过包埋的方式有效脱除食物中腥味,但 β -环糊精对于包埋大分子腥味化合物仍具有局限性,脱腥效果极易受食品构成与环境因素影响,且影响产品质构、黏度等品质属性。

掩盖法是利用掩盖剂独特且强烈的特征风味来掩盖食物原有的腥味。掩盖剂大都由具有某种特殊香气的香辛料及香辛料复配物组成,具有调味、赋香、增色等功能。绝大多数香辛料中含有多种低阈值的特征有机挥发性风味化合物,如生姜姜醇和姜酚、大葱挥发性油和葱辣素、花椒川椒素、八角茴香醇等化合物,能够强烈刺激嗅觉神经而减弱腥味物质对于神经的刺激。肉制品与水产品中添加姜汁能够有效降低或阻止脂肪氧化,从而达到阻止与脂肪氧化有关腥味化合物生成的目的,如异戊醛、壬醛、己醛、(Z)-4-庚烯醛、(E)-2-己烯醛、(E)-2-戊烯醛和2,3-辛二酮等脂肪醛酮类化合物,从而达到去腥的效果;同时姜汁中芳樟醇、香茅醇、香叶醇和对伞花烃能够呈现出花香、柠檬香等宜人的风味特征,这些物质能够强烈刺激嗅觉神经,从而减弱嗅觉神经对腥味化合物的响应^[38]。掩盖去腥主要集中在调理肉制品及预制烹饪菜肴等方面,通过掩盖法调理过后的食物其主体风味很容易受掩盖剂影响而改变。例如,作为地方名特畜产品,云南猪肝醉即利用发酵与掩盖去腥方法结合^[39],将辣椒、盐巴、生姜、花椒、草果、八角粉等作料混合、拌匀,按层铺到蒸过并晾干的发酵坛,压实封坛1个月以上,色泽鲜红有光泽,风味酸香独特,能完全消除产品的腥味。李儒仁等^[40]对比研究白烧与红烧2种工艺制得牦牛肝酱理化品质差异,红烧采用花椒、姜、葱、香叶、草果、桂皮、八角等香辛料,而白烧仅用花椒和姜,结果表明,添加复合香辛料能有效去除牦牛肝脏腥味,红烧肝酱感官品质显著优于白烧。

3.2 化学方法

化学脱腥法主要通过向食品原料中加入天然或人工合成的化学试剂,利用化学试剂与腥味化合物之间的反

应生成无腥味或腥味阈值较高的化合物,从而达到脱腥的效果。另一种脱腥原理是利用化学物质阻断加工过程中腥味化合物的生成途径,从而达到食物去腥的效果。美拉德脱腥法是利用食品中的非挥发性还原糖与氨基化合物反应生成酮、醛和杂环类等挥发性风味化合物来掩盖食品原料本身腥味的一种方法。此方法在水产或海鲜调味基料的研制中也得到了广泛应用。例如,郭福军等^[41]分析河蚌酶解液美拉德反应前后风味指纹图谱,发现美拉德反应降低了酶解液中挥发性风味化合物苯甲醛、(E)-2-辛烯醛和3-呋喃甲醛的含量,增加了苯乙醛、3-甲基丁醛、2,4-壬二烯醛、2-苯丙烯醛和癸醛的含量,并表示这种挥发性风味指纹图谱变化有利于改善河蚌肉酶解液的风味,达到脱腥增香的效果。通过向鲍鱼蒸煮液中添加木糖110℃反应40 min后,所得的海鲜调味基料具有较好的鲜味且无腥臭味^[42]。

肝脏蛋白由于提取过程腥味物质共提取效应,导致其腥味显著,Chen Xiao等^[11]通过超声辅助美拉德反应显著降低了鸡肝蛋白的腥苦味特征,同时修饰了鸡肝蛋白结构特征,形成了网络交联骨架、增加负电荷量,使美拉德反应产物表现出明显抗菌性^[43]。Xiong Guoyuan等^[44]对鸡肝蛋白提取物与木糖美拉德反应条件进行响应面优化,获得最佳反应温度为138.78℃,起始pH 7.99、反应时间93.14 min,同时发现酶解物美拉德反应产物抗氧化活性远高于提取蛋白美拉德反应产物,且与接枝程度和褐变程度呈正相关,表明强化肝蛋白美拉德反应过程是调控相关产品理化与功能属性的重要途径。然而,美拉德反应过程中需要大量还原糖和氨基化合物的参与,如游离氨基酸、多肽、蛋白质、葡萄糖等营养物质,这在一定程度上造成这些营养物质的流失,降低了食品原有的营养价值。此外,美拉德反应通常是在高温条件下进行,容易造成热敏性活性成分丢失和蒸煮味的产生。

抗氧化剂法是利用抗氧化剂的抗氧化特性阻止脂肪等物质氧化生成低阈值的腥味化合物,例如醛、酮、醇类等挥发性有机化合物,从而达到去除食物腥味的目的。常用的天然抗氧化剂有萜烯类、多酚类及黄酮类化合物。在提取鱼明胶过程中加入单宁酸、茶多酚等,可以有效延缓脂质氧化,阻断与脂质氧化有关的腥味化合物的生成,从而降低水产品中的鱼腥味,达到较好的脱腥效果^[45-46]。花椒、草果、八角粉等香辛料中含有丰富的天然酚类、黄酮类物质,在肝酱等畜禽肝脏制品中使用具有天然抗氧化剂的效果。天然抗氧化法不仅具有较好的脱腥效果,同时还兼具杀菌、抑菌和调节酶活性等功能,因此可广泛应用于肝脏产品的加工。然而,天然抗氧化剂成分较为复杂,且使用成本高,局限了其应用前景。随着新合成技术的发展,开发出成分已知的人工合成抗氧化剂在食物脱腥领域具有广阔的前景。

酸碱盐处理法是通过改变食品基质所处的环境，如食品基质的离子强度和酸碱度，调节活性基质组分（蛋白质或多糖）的三维空间构象，强化其对腥味化合物的吸附，从而达到脱腥效果。此外，有机酸或有机碱对腥味物质有一定的溶解萃取作用，酸碱溶液与食品的分离能够有效带走部分腥味化合物，从而达到脱腥效果^[47]。该方法在鱼肉的脱腥处理过程中得到了广泛应用，能够有效去除2-甲基异茨醇和土味素等土腥味物质，进而降低腥味，尤其是显著降低(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、1-辛烯-3-醇、己醇等与腥味有关化合物的浓度^[48-49]。酸碱处理法由于其成本低、操作简单，受到了广泛关注。在实际操作过程中，酸碱盐处理会产生大量富营养废水，不经有效处理随意排放会造成环境污染。

臭氧作为一种强氧化剂，在水中极不稳定，容易分解成活泼且具有强氧化性的单原子态氧和羟自由基。然而，挥发性腥味化合物大都是不饱和挥发性有机化合物，在强氧化剂存在下，极易被氧化成无腥味或腥味阈值更高的有机化合物。有关研究表明，臭氧起始质量浓度为0.96 mg/L时，在10 °C水温下通气20 min后，能够有效去除鲢鱼糜的腥味^[50]。杜国伟等^[51]采用臭氧法对鲢鱼糜进行脱腥处理时发现，经臭氧处理后鱼糜中挥发性有机腥味化合物含量减少且风味指纹图谱显著变化。臭氧脱腥虽然具有便携、高效性且本身无毒无害，并且分解的强氧化性物质也能够较短的时间内降解。然而，具有强氧化性的分解产物单原子态氧和羟自由基容易氧化还原性的营养物质，使产品的营养价值下降。

3.3 生物方法

生物脱腥是利用发酵的原理脱除食物中腥味化合物的一种脱腥方法。目前，利用生物发酵法脱除食物腥味应用最广泛的2种微生物是酵母和乳酸菌。酵母本身具有疏松多孔的结构，一方面，能够通过物理吸附的方式除去食品中的不良风味，另一方面，部分醛、酮类化合物能够通过酵母代谢途径降解或被酵母生长过程中合成的酶作为底物利用，生成不易挥发的大分子化合物或不具有腥味特征的有机化合物，从而达到脱腥的效果^[52]。

酵母发酵过程中产生的醛脱氢酶和醇脱氢酶能够将带有鱼腥味的(*E*)-2-癸烯醛转化为无腥味或阈值较高的(*E*)-2-癸烯醇和(*E*)-2-癸烯酸，从而使得白鲢鱼糜腥味下降^[53]。此外，在罗非鱼酶解液酵母发酵过程中也得到了类似的结论，发现酶解液中醛酮类挥发性有机物的含量和种类在发酵后均不同程度减少，导致酶解液腥味下降^[54]。Yu Xueping等^[55]研究猪肝酵母脱腥时发现，发酵后腥味化合物1-辛烯-3-酮和(*Z*)-2-己醛的含量显著降低，证实了酵母发酵能够有效脱除畜禽肝中的腥味化合物。乳酸菌作为应用仅次于酵母的生物脱腥剂，在水产品的脱腥中得到了广泛应用。章新等^[56]评价不同接种量的保

加利亚乳杆菌和嗜热乳杆菌对鱼下脚料的脱腥效果，发现2%的乳酸菌添加量显著降低了腥味。不仅如此，乳酸菌添加还能够降低庚醛、(*E,Z*)-2,6-壬二烯醛等腥味物质的含量，从而使海参肠卵酶解液的腥味降低^[57]。生物发酵法不仅具有较好的脱腥效果，而且在脱腥过程中还能最大程度保留食品基质中的营养成分并抑制腐败菌的生长，因此具有较好开发利用价值。

微生物发酵介导脱腥的途径有如下几点：1) 腥味化合物通过微生物的代谢生成无腥味化合物或合成大分子物质，从而达到脱腥效果；2) 在微生物酶的催化下，腥味化合物分子结构异构化转化成无腥味或腥味阈值较高的化合物，促使食品腥味降低；3) 微生物菌体的疏松结构对腥味物质的吸附作用。可以通过实验设计合理论证上述途径对发酵脱腥的贡献^[58]，但具体脱腥机理，如酵母代谢醛、酮等腥味物质的酶学特征、代谢动力学与底物转化生化途径等问题并未得到充分阐明。

物理场介导微生物发酵过程是生物脱腥未来解决方案中的重要发展方向。已有研究表明，在超声场、超高压场等物理条件下微生物代谢流量与途径发生调整，腥味物质通过生化作用被转化或降解，从而改变产品风味特征^[21,59-60]。特定食品基质中物理场辅助微生物发酵影响风味的作用方式与食品组成、状态及处理条件密切相关，解析物理场介导的风味变化机制是有效利用相关技术定向降低腥味的先决条件。

不同类型去腥方法应用特征如表3所示。

表3 不同类型去腥方法应用特征总结
Table 3 Advantages and disadvantages of different types of deodorization methods

方法类别	去腥技术	优点	缺点
物理方法	包埋	去腥效率高、操作简便、成本低	适用范围有限
	吸附	操作过程简单、成本低	二次污染、不具备特异性吸附，引发营养与风味成分流失
	漂洗	去腥效率高达90%以上	漂洗效率受到腥味成分与基质组分，如蛋白等互作影响，耗水量较大
化学方法	臭氧	除腥效率高、无残留	极活泼的单原子态氧引起肽链、脂质的化学修饰
	美拉德反应	可完全去除腥味、同步实现脱腥增香	热敏性活性成分丢失、产生蒸煮味、发生褐变等
	酸碱盐处理法	基于酸碱盐的溶萃作用有效降低腥味	产生严重环境污染
	抗氧化剂法	阻止脂肪等物质氧化生成低阈值的腥味化合物、脱腥效率高	成分复杂、使用成本相对较高
生物方法	发酵	与生物体吸附和转化过程有关，腥味去除彻底	引入其他风味特征，适用范围有限
	酶法	去腥条件温和、去腥效率高	成本相对较高，改变食品固有理化属性，产生苦味等

4 结 语

畜禽类肝脏中主要腥味物质为小分子醛、烯醛、TMA和DMA等，贮藏过程中TMA代谢与脂质水解和氧

化是腥味物质形成关键途径。卤制、腌、烤以及加入辅料浸泡等掩蔽处理是目前畜禽类肝脏去除腥味的传统技术手段,脱腥原理涉及抑制腥味化合物生成、强化腥味化合物转移、促进腥味化合物代谢等过程。这些方法对去腥除膻、调味增香及延长产品货架期具有重要作用,但共性问题是腥味掩蔽处理显著改变了原材料风味,如加入香辛料、酒糟等,相关产品地域特征鲜明、受众较窄,不利于其推广消费以及现代工业化生产与出口。另一方面,酱卤、腌制和熏腊等传统处理方法存在一定的安全风险,如卤制过程中肉制品长时间高温蒸煮可引发致癌物杂环胺的产生;对于熏腊、烤制品也存在类似的风险因子,如苯并芘。因此,脱腥技术有待进一步发展,在阐明腥味形成规律与降解代谢机制及控释过程的基础上,开发靶向削弱腥味感知工艺过程与组合技术,以期改善畜禽肝脏食品风味特征。

参考文献:

- ZOU Ye, SHAHIDI F, SHI Haibo, et al. Values-added utilization of protein and hydrolysates from animal processing by-product livers: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2021, 110: 432-442. DOI:10.1016/j.tifs.2021.02.033.
- 陆今明, 彭松林, 杨凯麟, 等. 超声波处理对水溶性猪肝蛋白乳化特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 89-96. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021988.
- ZHANG Wangang, NAVEENA B M, JO C, et al. Technological demands of meat processing: an Asian perspective[J]. Meat Science, 2017, 132: 35-44. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.05.008.
- WANG P, ZHENG J, QU L, et al. Molecular cloning, sequence characterization, SNP detection, and tissue expression analysis of duck *FMO3* gene[J]. Molecular and Cellular Biochemistry, 2013, 379(1): 141-151. DOI:10.1007/s11010-013-1636-4.
- 董蓓, 夏楠, 刘瑶, 等. 创新型猪肝加工工艺的研发和营养测评[C]//中国营养学会第十五届全国营养科学大会论文汇编, 2022: 847. DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.034346.
- 王英, 李洪军. 猪肝的利用现状及开发前景[J]. 肉类工业, 2004(9): 14-16. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2004.09.007.
- 刘达玉, 李彬彬, 徐纲, 等. 腌菜复合型畜禽肝脏食品加工保藏技术[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(5): 3. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2016.05.037.
- 萨日盖. 鸵肝酱配方、加工工艺优化及贮藏过程中的品质变化[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020: 1-6.
- HAN Chuanhu, ZHENG Yuanrong, WANG Libin, et al. Contribution of process-induced molten-globule state formation in duck liver protein to the enhanced binding ability of (*E,E*)-2,4-heptadienal[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023, 103(7): 3334-3345. DOI:10.1002/jsfa.12499.
- STRABER S, SCHIEBERLE P. Characterization of the key aroma compounds in roasted duck liver by means of aroma extract dilution analysis: comparison with beef and pork livers[J]. European Food Research and Technology, 2014, 238(2): 307-313. DOI:10.1007/s00217-013-2095-6.
- CHEN Xiao, ZOU Ye, WANG Daoying, et al. Effects of ultrasound pretreatment on the extent of Maillard reaction and the structure, taste and volatile compounds of chicken liver protein[J]. Food Chemistry, 2020, 331: 127369. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127369.
- YU Xue, CHEN Long, SHENG Long, et al. Volatile compounds analysis and off-flavors removing of porcupine liver[J]. Food Science and Technology Research, 2016, 22(2): 283-289. DOI:10.3136/fstr.22.283.
- GUO Zonglin, GE Xiangzhen, YU Qunli, et al. Quality predictive models for bovine liver during storage and changes in volatile flavors[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 2452-2468. DOI:10.1080/10942912.2018.1522330.
- 曾绍东. 罗非鱼肉的酶解及产物脱腥技术研究[D]. 广州: 暨南大学, 2011: 3-9.
- HONKATUKIA M, REESE K, PREISINGER R, et al. Fishy taint in chicken eggs is associated with a substitution within a conserved motif of the *FMO3* gene[J]. Genomics, 2005, 86(2): 225-232. DOI:10.1016/j.ygeno.2005.04.005.
- KUMARI S, DAHUJA A, VINUTHA T, et al. Changes in the levels of off-flavor generation in soybean through biotic elicitor treatments[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(2): 700-706. DOI:10.1021/jf505199a.
- 黄春红. 肉类食品中典型异味物质研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(3): 88-93. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191114-276.
- JIA Wei, SHI Qingyun, ZHANG R, et al. Unraveling proteome changes of irradiated goat meat and its relationship to off-flavor analyzed by high-throughput proteomics analysis[J]. Food Chemistry, 2021, 337: 127806. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127806.
- 张利平. 肉羊体脂脂肪酸与肉品质关系的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2000, 35(4): 363-369. DOI:10.3969/j.issn.1003-4315.2000.04.001.
- 陈婉珠, 芮汉明, 张玲. 海带腥味物质的HS-SPME-GC-MS分析[J]. 食品工业科技, 2006, 27(12): 71-73. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2006.12.020.
- XU Le, XIA Qiang, CAO Jinxuan, et al. Ultrasonic effects on the headspace volatiles and protein isolate microstructure of duck liver, as well as their potential correlation mechanism[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021, 71: 105358. DOI:10.1016/j.ulsonch.2020.105358.
- SARRAFCHI A, LASKA M J P. Olfactory sensitivity for the mammalian blood odor component *trans*-4,5-epoxy-(*E*)-2-decenal in CD-1 mice[J]. Perception, 2017, 46(3/4): 333-342. DOI:10.1177/0301006616653136.
- NILSSON S, SJÖBERG J, AMUNDIN M, et al. Behavioral responses to mammalian blood odor and a blood odor component in four species of large carnivores[J]. PLoS ONE, 2014, 9(11): e112694. DOI:10.1371/journal.pone.0112694.
- ALLEN C E, FOEGDING E A. Some lipids characteristics and interactions in muscle foods: a reviews[J]. Food Technology, 1981, 35(5): 253-257.
- IM S, HAYAKAWA F, KURATA T. Identification and sensory evaluation of volatile compounds in oxidized porcine liver[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(2): 300-305. DOI:10.1021/jf030337v.
- XU Le, ZHENG Yuanrong, ZHOU Changyu, et al. Kinetic response of conformational variation of duck liver globular protein to ultrasonic stimulation and its impact on the binding behavior of *n*-alkenals[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 150: 111890. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111890.
- XU Le, ZHENG Yuanrong, ZHOU Changyu, et al. A structural explanation for enhanced binding behaviors between β -lactoglobulin and alkene-aldehydes upon heat- and ultrasonication-induced protein unfolding[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 130: 107682. DOI:10.1016/j.foodhyd.2022.107682a.

- [28] 叶盛权, 吴晖, 赖富饶, 等. 牡蛎酶解过程的成分变化及脱腥初步研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(3): 262-265. DOI:10.3969/j.issn.1673-9078.2009.03.012.
- [29] 任世英, 秦鹏, 陈国清, 等. 河蚬肉酶解液的活性炭脱腥脱苦条件优化[J]. 粮食与饲料工业, 2018(12): 38-41. DOI:10.7633/j.issn.1003-6202.2018.12.010.
- [30] 张坦, 梁山泉, 杨敏, 等. 壳聚糖对牡蛎ACE抑制肽的脱腥工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(8): 114-120. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2019.08.020.
- [31] LIANG Shanquan, ZHANG Tan, FU Xiaodan, et al. Partially degraded chitosan-based flocculation to achieve effective deodorization of oyster (*Crassostrea gigas*) hydrolysates[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 234: 115948. DOI:10.1016/j.carbpol.2020.115948.
- [32] ZHU Fengmei, DU Bin, BIAN Zhaoxiang, et al. β -Glucans from edible and medicinal mushrooms: characteristics, physicochemical and biological activities[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 41: 165-173. DOI:10.1016/j.jfca.2015.01.019.
- [33] SHETTY P H, JESPERSEN L. *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria as potential mycotoxin decontaminating agents[J]. Trends in Food Science and Technology, 2006, 17(2): 48-55. DOI:10.1016/j.tifs.2005.10.004.
- [34] ZHANG Hhuimei, WU Dan, HUANG Qilin, et al. Adsorption kinetics and thermodynamics of yeast β -glucan for off-odor compounds in silver carp mince[J]. Food Chemistry, 2020, 319: 126232. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.126232.
- [35] SURATMAN L L I, JEON I J, SCHMIDT K A. Ability of cyclodextrins to entrap volatile beany flavor compounds in soymilk[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(2): 109-113. DOI:10.1111/j.1365-2621.2004.tb15499.x.
- [36] 薛璐瑜, 周文红, 余炼, 等. 基于GC-IMS和感官评价法的小球藻生长因子液脱腥工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(2): 212-218. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.028943.
- [37] 赖翠婵, 潘道东, 邓方, 等. 水晶鹅肝冻制备方法研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 194-196. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.11.046.
- [38] 张梅超, 慕金雨, 刘敏, 等. 姜汁对太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)酶解液风味改善的研究[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 170-175. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201417033.
- [39] 孙海蛟, 黄艾祥, 苏琳琳, 等. 猪肝醇的研制及质量控制[J]. 肉类研究, 2009, 23(3): 23-26. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-200903006.
- [40] 李儒仁, 余群力, 韩玲, 等. 牦牛肝酱卤制品配方筛选及其品质分析[J]. 肉类研究, 2012, 26(1): 18-21. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201201005.
- [41] 郭福军, 姜启兴, 许艳顺, 等. 河蚌酶解液美拉德反应前后风味成分的分析[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 171-174. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.18.028.
- [42] 吴靖娜, 靳艳芬, 陈晓婷, 等. 鲍鱼蒸煮液美拉德反应制备海鲜调味基料工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 69-76. DOI:10.7506/spkx1002-6630-2016220010.
- [43] CHEN Xiao, JIANG Di, XU Pingping, et al. Structural and antimicrobial properties of Maillard reaction products in chicken liver protein hydrolysate after sonication[J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128417. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.128417.
- [44] XIONG Guoyuan, CHEN Xiao, Zhang Xingguo, et al. Process optimization and the relationship between the reaction degree and the antioxidant activity of Maillard reaction products of chicken liver protein hydrolysates[J]. Poultry Science, 2020, 99(7): 3733-3741. DOI:10.1016/j.psj.2020.03.027.
- [45] 刘琳琳. 香港牡蛎酶解前后挥发性成分变化及其脱腥方法研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2020: 3-9.
- [46] SAE-LEAW T, BENJAKUL S, O'BRIEN N M. Effects of defatting and tannic acid incorporation during extraction on properties and fishy odour of gelatin from seabass skin[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 661-667. DOI:10.1016/j.lwt.2015.08.060.
- [47] 翁丽萍, 陈飞东, 李峰, 等. 国内外水产品腥味物质及脱腥技术研究进展[J]. 食品工业, 2014, 35(5): 195-200.
- [48] 王方. 酸碱处理对鲫鱼糜腥味脱除效果及凝胶特性影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014: 1-8.
- [49] 付湘晋, 党亚丽, 许时婴, 等. 白鲢鱼土霉味物质的检测与脱除[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(8): 152-155. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2010.08.020.
- [50] 王燕, 刘亮, 刘闪, 等. 臭氧对鲢鱼鱼糜脱腥工艺及其凝胶强度的影响[J]. 武汉工业学院学报, 2013, 32(1): 15-19.
- [51] 杜国伟, 夏文水. 鲢鱼糜脱腥前后及贮藏过程中挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2007, 28(9): 76-80. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2007.09.019.
- [52] 石林凡, 李周茹, 刘光明, 等. 贝类腥味物质检测及脱腥技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 445-453. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021110172.
- [53] 付湘晋. 白鲢鱼脱腥及其低盐鱼糜制备的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010: 2-19.
- [54] 李亚会, 周伟, 李积华, 等. 罗非鱼酶解液酵母发酵脱腥工艺及其挥发性成分的研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(4): 66-71. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2021.04.011.
- [55] YU Xueping, CHEN Long, SHENG Long, et al. Volatile compounds analysis and off-flavors removing of porcupine liver[J]. Food Science and Technology Research, 2016, 22(2): 283-289. DOI:10.3136/fstr.22.283.
- [56] 章新, 郑毅, 叶文彬, 等. 微生物发酵对鱼下脚料脱腥作用的影响研究[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(5): 111-113.
- [57] 陈增鑫, 刘咏霖, 潘芸芸, 等. 不同脱腥方法对海参肠卵酶解液脱腥效果的比较研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(5): 187-192. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.029212.
- [58] 朱新鹏, 唐冬雪, 丁彤. 酵母发酵法去除魔芋干粉中三甲胺的研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(18): 4793-4795. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2016.18.040.
- [59] XIA Qiang, ZHENG Yuanrong, LIU Zhenming, et al. Nonthermally driven volatilome evolution of food matrices: the case of high pressure processing[J]. Trends in Food Science and Technology, 2020, 106: 365-381. DOI:10.1016/j.tifs.2020.10.026.
- [60] MOTA M J, LOPES R P, KOUBAA M, et al. Fermentation at non-conventional conditions in food-and bio-sciences by the application of advanced processing technologies[J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2018, 38(1): 122-140. DOI:10.1080/07388551.2017.1312272.