

畜禽副产物腥味形成机制及脱腥方法研究进展

刘泽祺¹, 李明霞¹, 杨 琳¹, 郑 华^{1,2}, 林 捷^{1,2}, 吴绍宗^{1,2}, 郭宗林^{1,2*}, 雷红涛^{1,2}

(1. 华南农业大学食品学院, 广州 510642; 2. 畜禽产品精准加工与安全控制
国家地方联合工程技术中心, 广州 510450)

摘 要: 畜禽副产物是指畜禽屠宰后除胴体肉外的可食性部分, 含有丰富的蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质、维生素等营养物质, 但其腥味问题严重阻碍了深加工和高值化利用, 造成极大的资源浪费和严重的环境污染, 限制了畜禽肉制品加工行业的发展。近年来, 针对畜禽副产物的脱腥方法不断被开发和探索, 成为畜禽副产物加工的研究热点。本文综述了畜禽副产物中腥味物质的来源和产生机制, 介绍了物理法(感官掩蔽法、吸附法、包埋/微胶囊法、其他物理脱腥方法)、化学法(酸碱盐处理法、天然抗氧化剂法、氧化剂法、美拉德反应法)、生物法(酵母发酵法、其他微生物发酵法)和复合法等脱腥方法, 以期为畜禽副产物脱腥方法开发和综合利用提供理论指导。

关键词: 畜禽副产物; 腥味物质; 产生机制; 脱腥; 综合利用

Research progress on fishy odor generation mechanism and deodorization methods of livestock and poultry by-products

LIU Ze-Qi¹, LI Ming-Xia¹, YANG Lin¹, ZHENG Hua^{1,2}, LIN Jie^{1,2}, WU Shao-Zong^{1,2},
GUO Zong-Lin^{1,2*}, LEI Hong-Tao^{1,2}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2. National Local Joint Engineering Center for Precision Processing and Safety Control of
Livestock and Poultry Products, Guangzhou 510450, China)

ABSTRACT: Livestock and poultry by-products are edible parts of livestock and poultry after slaughtering, except for carcass meat, which are rich in nutrients such as protein, fat, carbohydrates, minerals, vitamins, etc.. However, the problem of fishy odor seriously hinders their deep processing and high-value utilization, causing serious waste of resources and environmental pollution, and limiting the development of the animal meat product processing industry. In recent years, methods for deodorizing by-products from livestock and poultry have been continuously developed and explored, becoming a major research hotspot in by-product processing. This paper reviewed the sources and generation mechanism of fishy odor in livestock and poultry by-products, and introduced the physical methods (sensory masking, adsorption, embedding/microencapsulation, other physical deodorization methods), chemical methods (acid-base or salt treatment, natural antioxidants, oxidants, Maillard reaction), biological methods (yeast fermentation, other microbial fermentation methods) and complexed deodorization methods,

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目(家禽产业)

Fund: Supported by the Modern Agricultural Industry Technology System Innovation Team Construction Project in Guangdong Province (Poultry Industry)

*通信作者: 郭宗林, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜禽产品加工及智能活性包装技术。E-mail: gzl072810@scau.edu.cn

*Corresponding author: GUO Zong-Lin, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China. E-mail: gzl072810@scau.edu.cn

aiming to provide theoretical reference for the development of deodorization methods and the comprehensive utilization of by-products.

KEY WORDS: livestock and poultry by-products; fishy odor; mechanism; deodorization; comprehensive utilization

0 引言

畜禽肉及其制品是生活中常见的肉类食品之一, 主要包括猪、牛、羊、兔、鸡、鸭、鹅等肉用品种^[1]。随着我国居民生活水平的提高, 消费者对于畜禽肉消费需求不断增加, 畜禽肉产量逐年上升。2018—2022 年, 我国畜禽肉制品产量持续提高, 2022 年, 我国畜禽肉产量达到了 9227 万 t^[2], 表现出持续增长的态势。

畜禽副产物包括动物的毛发、皮、血液、骨架、内脏、脂肪、头尾等, 约占动物总重的 50%^[3]。畜禽副产物营养种类齐全, 不仅含有丰富的蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质、维生素等基本营养成分^[4], 有些还含有对人体有益的生物活性物质, 如动物肝脏中含有多种活性酶类和更多的维生素、矿物质^[5]; 血液中含有多种活性蛋白和更多的铁元素^[6]; 皮毛含有较多的胶原蛋白^[7]; 骨中含有胶原蛋白和软骨素等^[8]。

为寻求新的利润增长点, 提高经济效益, 畜禽副产物的精深加工与综合利用逐渐受到企业的重视。然而, 在现代畜禽制品加工行业中, 大多数畜禽副产物因具有令人不愉快的腥味而使其加工困难, 多被直接丢弃, 或以鲜销方式流入市场, 或生产堆肥、生物气体和低值产品^[9-10], 造成了严重的资源浪费。

近年来, 许多学者探究了畜禽副产物及其制品的腥味产生机制, 有针对性地开发出了一系列有效的脱腥方法, 有效改善了畜禽副产物的风味, 提高了副产物及其制品的可接受度, 一定程度上促进了畜禽副产物综合利用的发展。但目前鲜有文章对畜禽副产物的腥味产生机制和脱腥方法研究现状进行总结。因此, 本文重点介绍了畜禽副产物的腥味产生机制以及现有脱腥方法, 并分析比较了各方法的优劣势与适用性, 以期对脱腥方法的开发和畜禽副产物的综合利用提供理论参考。

1 畜禽副产物腥味来源

大量研究表明, 畜禽副产物的腥味并非一种或几种挥发性风味物质引起, 而是多种挥发性风味物质共同作用的结果, 主要包括小分子挥发性物质如醇类、醛类、酮类、酸类、酯类、烃类及部分含氮、含硫、含卤素化合物等^[11], 其组成和生成路径极其复杂, 根据腥味物质的来源大致可分为畜禽副产物中自身产生和加工过程产生两大类^[12]。

1.1 畜禽副产物自身产生

1.1.1 副产物自身所含挥发性物质

与肌肉组织相比, 畜禽副产物作为生物器官, 承担着

特殊的生理功能, 在生物体内进行复杂的生理生化反应, 在畜禽养殖过程中积累了大量挥发性代谢产物。因此, 大部分畜禽副产物本身带有腥味和其他不良风味。以畜禽肝脏为例, 作为生物体内最重要的代谢器官和可食性副产物, 分布着大量血管, 具有血液成分。据报道, 血红蛋白中的铁元素会导致血液金属腥味, 从而导致肝脏的腥味^[13]。IM 等^[13]采用 0.9% NaCl 溶液排除猪肝血管中的血液, 发现去血猪肝对比带血的 NaCl 溶液和新鲜猪肝, 已无明显的金属腥味和鱼腥味。副产物在动物体内由于生化反应积累了多种挥发性代谢产物, 一些学者对此进行了研究。LUO 等^[14]采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法(headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)从牛副产物(心、肝、肺、瘤胃和肠)中鉴定出了 16 种特征异味化合物, 分别为 1-壬醛、(*E,E*)-2,4-壬二烯醛、辛醛、1-辛烯-3-醇、(*E,E*)-2,4-癸二烯-1-醛、对甲酚、3-庚基丙烯醛、己醛、(*E*)-2-辛烯醛、癸醛、(*E*)-2-壬烯醛、1-壬醇、庚醛、十二烷基醛、己酸乙酯和 2-辛酮, 大多为醇、醛、酮类, 以小分子醛为主。其中, 壬醛、己醛、(*E*)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇等带有令人不愉快的草腥味、鱼腥味和脂肪味, 存在于多种水产品、肉制品中^[15-17], 而醛类和不饱和醇类通常阈值较低, 容易被人感知, 同样对畜禽副产物腥味具有重要贡献^[18-19]。此外, 部分畜禽体内代谢也会产生腥味和其他异味物质, 如引起猪肉及副产物腥臭味的粪臭素和雄烯酮^[20]。粪臭素主要通过 *L*-丝氨酸在肠道厌氧微生物的作用下生成, 具有强烈的粪便臭味, 而雄烯酮主要来源于睾丸分泌物^[20]。综上可知, 根据副产物在动物体内的作用不同, 自身所携带的主要风味物质也不同, 故不同种类的副产物会呈现不同的风味。

1.1.2 蛋白质降解和脂肪氧化

畜禽副产物离体后, 在贮藏和运输过程中伴随着蛋白质的降解和脂肪氧化, 产生大量的腥味物质或腥味前体物质, 包括醇、醛、酮类、胺类、低级脂肪酸以及含硫化合物等挥发性有机物^[21]。不饱和脂肪酸如花生四稀酸、亚油酸、亚麻酸等在脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)或光等因素作用下, 生成氢过氧化物, 自由基链式反应启动, 再进一步形成醇、醛、酮、烃类等物质^[22]。一些醛类物质大多具有不良刺激性气味、阈值低、挥发性强等特点, 在一些副产物中被检测到, 通常被认为对腥味具有重要贡献^[23]。例如, 采用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)在豪猪肝中检测出多种异味化合物, 以醛类为主, (*E*)-2-辛烯醛、己醛和(*Z*)-2-庚烯醛是主要异味化合物, 另外, 1-辛烯-3-醇来源于亚油酸氧化, 也对豪猪

肝腥味具有重要贡献^[24]。罗非鱼加工副产物中存在多种醇、醛、酮类腥味物质,其中己醛和 1-辛烯-3-醇为特征腥味物质^[25]。烃类物质源于脂肪酸中烷氧自由基的均裂,本身阈值较高,对副产物风味贡献较小,但烯烃类可以作为产生腥味的前体物质,在某些条件下可以转化为阈值较低的醛酮类物质^[22,26]。酸类物质是由酶水解或加热以及肌肉中脂肪酸甘油酯和磷脂的氧化产生的,对畜禽肉及其副产物风味的负面影响较大,是导致肉类发酸发臭的主要原因之一^[15]。此外,蛋白质和氨基酸的降解是导致副产物产生腥臭味的重要因素,尤其是一些含硫氨基酸(Met、Cys),除了产生硫化氢、氨气等臭味物质外,还可能产生杂环化合物如呋喃、噻唑、噻吩等。例如,草鱼不同部位中的 2-戊基呋喃具有很低的阈值和强烈的焦糊味^[22]。

1.1.3 其他物质的酶促反应

多数副产物本身具有多种内源活性酶类,离体后仍然具有酶促反应活性,催化部分物质的分解,可能产生腥味物质或腥味前体物质。多肽和氨基酸等含硫、氮物质在酶的作用下发生脱氨、脱羧反应,产生腥味物质^[27]。此外,有研究表明,类胡萝卜素的降解也是腥味物质的来源^[28]。

1.2 加工过程中产生

畜禽副产物的加工方式主要有热加工和非热加工。副产物经过热加工,由于剧烈的分子热运动,其风味往往会发生极大改变,能够产生熟肉特有的风味。而非热加工通常能最大程度保留副产物原有的风味,但能一定程度上促进部分物质的分解和相互反应,产生异味物质。两种加工方式均可能诱导腥味物质的产生。

1.2.1 热加工

热加工是诱导副产物中非挥发性成分转化生成挥发性风味物质的重要原因。肉制品熟化过程中会引起蛋白质、脂质、糖类、维生素等物质的氧化、还原、分解反应,以及反应产物之间的相互作用,产生大量挥发性风味物质,构成熟肉特有的风味^[29-30]。随着热加工温度的提高和时间的延长,这些挥发性风味物质或前体物质主要通过美拉德反应、脂质氧化和分解影响副产物的风味,产生大量的含硫、含氮化合物(吡嗪和噻唑类等)。Met、Cys 等含硫氨基酸热分解能够产生硫化氢,还可以进一步与酚类物质结合形成硫酚,进而形成熟肉香味^[30]。但过高温度和长时间的热加工容易导致熟肉制品产生刺激性的焦糊味。此外,维生素 B₁ 在高温下降解也会产生硫醇、硫化物和二硫化物等化合物,形成熟肉制品特有的风味^[31]。

1.2.2 非热加工

与传统热加工相比,非热加工能够较大幅度地避免营养物质的热分解,保留食品原有的风味和感官,常见的非热加工方式有辐照、超声波、微波、超高压、高压脉冲电场等^[32]。但有研究发现,这些非热加工方式也会对食品的风味产生一定的影响,在加工过程中也会产生异味物

质。何立超等^[33]研究发现辐照能使猪肉火腿肠产生二硫化碳、二甲基二硫醚、2-甲基丙醛、3-甲基丁醛、己醛、丁烯和二甲苯等多种异味化合物。也有报道指出,超声波能够影响肉制品中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的含量和比例,促进脂肪一定程度氧化或分解,成为潜在的腥味物质的来源^[34]。

2 畜禽副产物的脱腥方法

近年来,一些学者对畜禽副产物脱腥方法进行了探索,以达到高效脱除副产物腥味且减少营养价值损失的目的。畜禽副产物的脱腥方法主要分为物理法、化学法、生物法,以及采用两种或两种以上的复合脱腥法四大类。

2.1 物理法

畜禽副产物的物理脱腥方法主要包括感官掩蔽、吸附、包埋/微胶囊等手段,其操作较化学法、生物法简单,脱腥效果良好,是畜禽副产物进行简单加工最常用的脱腥方法。值得注意的是,物理法通常不能从本质上脱除腥味物质,不仅脱腥效果较化学法、生物法差,且容易改变畜禽副产物本身的营养和风味。因此,需要根据加工实际需求选择合适的脱腥方法。

2.1.1 感官掩蔽法

感官掩蔽法是肉制品加工过程中最常用的脱腥方法之一,利用生姜、葱、蒜、辣椒、料酒、桂皮、草果等香辛料或天然植物提取物中特殊的刺激性风味物质(如生姜中的姜酮醇、姜酚,葱中的葱蒜辣素,辣椒中的辣椒素,茶中的茶多酚等)掩盖副产物腥味,具有良好的脱腥效果^[35-36],且这些物质通常具有良好的抗氧化性,能延缓副产物中因脂肪氧化而产生的腥味物质^[37]。赵萍等^[38]采用生姜/料酒处理大鲢肝并分析了不同处理时间挥发性风味物质的动态变化,发现经生姜/料酒处理 5 min 即可显著降低大鲢肝的腥味值,多种醇、醛、酮类腥味物质相对含量下降,脱腥效果显著。马玉琴等^[39]采用天然植物提取物复合脱腥剂(迷迭香提取物、海藻糖和 NaCl)对牛胃进行脱腥,有效降低了醛类物质的种类及含量。可见,感官掩蔽法是最原始的脱腥方法,且脱腥效果较好,其优点在于简单、直接、耗时短,适合用于副产物菜肴的加工过程中,但由于这些特殊风味物质阈值低,可能会同时掩盖副产物本身的风味,且对口感有一定影响。

2.1.2 吸附法

吸附法主要利用吸附剂的多孔结构,将流经吸附剂表面的物质截留在其表面或内部而产生吸附效果的方法。常用的吸附剂包括两类:一类是活性炭、硅胶、分子筛、活性氧化铝等具有多孔结构和巨大表面积 of 的吸附剂;另一类是壳聚糖、大孔树脂等通过范德华力和氢键吸附腥味物质的吸附剂,它们大多具有可再生性,但后者由于具有特

殊基团而对腥昧物质的选择性更强^[28,40]。吸附法常用于液体脱腥, 采用食品级活性炭处理可使鲍鱼内脏酶解液脱苦脱腥, 且蛋白质回收率达到 88.06%^[41]; 采用 AB-8 大孔树脂处理鲢鱼皮胶原肽(silver carp skin collagen peptides, SCP)的脱腥效果比活性炭和硅藻土好, 处理后的酶解液感官品质明显提升, 且具有增鲜作用^[42]。这些研究表明, 吸附法脱腥具有操作简单、吸附能力强、吸附剂可再生等优点, 但吸附过程中可能会截留产品中的营养物质导致营养价值的降低, 由于吸附剂在固体和半固体产品中较难去除, 故其应用大多局限于液体产品。

2.1.3 包埋/微胶囊法

包埋/微胶囊是利用包埋剂的笼型分子结构将一些分子量较小的挥发性风味物质包络其中, 从而阻止或延缓腥昧物质挥发而脱腥的方法。 β -环状糊精是常见的包埋剂, 它是由 7 个葡萄糖分子通过 α -1,4-糖苷键连接形成的环状笼型分子, 具有疏水内腔和亲水外表面^[28], 是一种安全无毒的食品添加剂, 目前在副产物脱腥上应用较多。例如, 添加 β -环状糊精能有效脱除鲢鱼鱼皮明胶中的腥昧^[43]; 微胶囊技术不仅能减轻粉红鲈鱼头和内脏蛋白水解物(pink perch head & viscera protein hydrolysates, PHVPH)的腥臭味和苦味, 还能够起到防止氧化的作用^[44]。包埋/微胶囊法具有操作简单、耗时短等优点, 但对分子过大或过小的腥昧物质包埋效果有限, 且添加包埋剂会对食品的质构有一定影响。

2.1.4 其他物理脱腥法

除上述常用的物理脱腥法外, 也有报道应用蒸汽、辐照、超临界 CO_2 萃取法进行脱腥。王小康等^[45]研究表明, 采用减压蒸馏法能一定程度对罗非鱼皮胶原蛋白进行脱腥, 加热能使腥昧物质释放, 同时减压能够加速腥昧物质的排出。LI 等^[46]探究了不同辐照剂量对 4℃下贮藏的猪肉异味的影响, 结果表明, 适当剂量的辐照能有效降低猪肉的异味。ABRIL 等^[47]采用超临界 CO_2 萃取法对干猪肝脱腥的结果表明, 干猪肝的挥发性有机物含量降低了 81.3%, 且生猪肝中的特征腥昧物质 1-辛烯-3-醇、1-壬醇和(*E,E*)-2,4-庚二烯醛均有效减少。

2.2 化学法

畜禽副产物的化学脱腥主要通过酸碱盐、天然抗氧化剂、氧化剂、还原糖等化学试剂与腥昧物质直接反应, 能够快速有效脱除腥昧物质。与物理法相比, 化学法脱腥最突出的缺点是容易造成化学残留, 食品安全是食品加工中的首要问题, 因此, 使用化学法脱腥时需严格控制试剂用量并遵守操作规范。

2.2.1 酸碱盐处理法

酸碱处理法脱腥, 一方面能使副产物蛋白质结构展开, 减少蛋白质与腥昧物质的相互作用, 促进腥昧物质释放并溶出; 另一方面能与腥昧物质反应使腥昧减轻。盐能

渗透进组织中形成高渗环境, 促进腥昧物质的溶出。崔方超等^[48]比较了柠檬酸、碳酸氢钠和酵母对草鱼的脱腥效果, 结果显示, 3 种脱腥方法处理后的草鱼挥发性风味物质减少, 其中柠檬酸处理组效果最好。刘子琪等^[23]采用 NaCl 浸泡对牛肝进行脱腥, 结果显示, 1.0% NaCl 溶液处理 60 min, 牛肝的腥昧值显著下降, 且通过气相离子迁移谱法(gas chromatography-ion mobility spectroscopy, GC-IMS)分析, 牛肝中的腥昧物质(*E*)-2-戊烯醛二聚体、(*E*)-3-戊烯-2-酮、乙酸乙酯、乙酸乙酯二聚体和甲硫醇显著减少。董丽琴等^[49]对比了食盐、酵母和食盐-酵母复合脱腥法对牛肝排的脱腥效果, 结果显示, 食盐浸泡脱腥效果最佳。酸碱盐脱腥法操作简单, 去腥效果较好, 某些脱腥剂(如 NaCl)同时能抑制微生物的生长, 但同时会造成部分营养物质的溶出, 且废水处理是其一大难题。

2.2.2 天然抗氧化剂法

抗氧化剂法是利用天然植物提取物中含有多种天然抗氧化剂处理副产物: 第一, 能将部分腥昧物质还原或防止脂肪氧化而减轻腥昧; 第二, 其结构能与部分腥昧物质结合, 阻止或延缓腥昧物质的释放; 第三, 其本身带有特殊香气, 能掩盖部分腥昧。HUANG 等^[50]对比了多种香辛料提取物对鲢鱼的脱腥效果, 其中迷迭香提取物的脱腥效果最佳, 进一步从迷迭香提取物中分离出迷迭香酸、肌肽酸和肌肽醇 3 个组分用于脱腥, 指出它们可能通过非共价键与挥发性风味物质相结合来减少腥昧释放, 脱腥效果良好。此外, 茶叶水提液在大鲢肝脱腥中的应用也取得显著效果^[51]。天然抗氧化剂法具有操作简单、脱腥效果好的优点, 但由于不同植物提取物带有不同的特殊香味, 需要根据不同产品有针对性地选择抗氧化剂种类, 以达到较好脱腥效果的同时尽可能保留副产物原有风味。

2.2.3 氧化剂法

氧化剂法是通过加入强氧化剂, 将副产物中的腥昧物质氧化成无腥昧或阈值较高的挥发性风味物质而脱腥。王燕等^[52]探究了臭氧对鲢鱼鱼糜的脱腥效果, 结果显示, 当臭氧初始质量浓度为 0.98 mg/L、通气时间为 20 min、水温为 10℃时脱腥效果最佳, 且能够增强鱼糜凝胶强度。但臭氧过度处理会产生哈喇味^[53]。XU 等^[54]采用 H_2O_2 处理鲢鱼鱼糜凝胶, 发现凝胶表面 1-辛烯-3-醇、庚醛、壬醛、辛醛和癸醛等腥昧物质含量下降, 同样能够改善鲢鱼鱼糜凝胶的性能。采用强氧化剂处理的优点在于脱腥效果好、时间短, 但抗氧化剂的残留可能会导致食品安全问题, 且过度处理反而可能加重腥昧, 故需要控制好氧化剂的添加量 and 处理时间。

2.2.4 美拉德反应法

美拉德反应法是利用蛋白质与碳水化合物(氨基酸、肽与还原糖)之间发生羰氨反应, 中间产物相互发生反应生成多种具有独特风味的挥发性化合物以掩盖腥昧的方

法。王晴等^[55]探究了不同种类多糖与鸡肝酶解液美拉德反应产物的风味差异,发现平菇多糖的美拉德反应程度更高,且它们的美拉德反应产物中,醇类和杂环类化合物含量分别提高166.71%和53.37%,醛类含量下降73.12%,通过美拉德反应明显减弱了产物的腥味。该法的优点是在高温条件下可以产生多种挥发性化合物,能够增强肉香味,适用于蛋白质含量较高的副产物,但其反应过程中消耗了部分蛋白质和氨基酸。

2.3 生物法

畜禽副产物的生物脱腥主要依靠微生物新陈代谢或微生物酶将腥味物质转换为无腥味物质,其中最常用的生物脱腥方法是酵母发酵法。与物理法、化学法相比,生物法的发酵特性更大限制了其应用范围,此外,生物法更加容易引起其他微生物生长,安全隐患较大。因此,使用生物法脱腥需要严格控制操作条件和发酵过程。

2.3.1 酵母发酵法

酵母发酵法是指利用酵母对腥味物质的吸附作用、体内酶系统的代谢作用和酵母所分泌的酶在体外的催化作用,将腥味物质转化为无腥味物质,同时部分代谢产物对腥味物质有掩蔽和增香作用。此外,有研究表明,酵母的疏松多孔结构使其同时具有吸附腥味物质的作用。YU等^[24]对比了 β -环状糊精包埋和酵母发酵对豪猪肝挥发性风味物质的变化,结果显示,酵母发酵脱腥效果更佳,腥味物质含量明显降低,乙醇含量明显提高。GAO等^[56]采用酿酒酵母对乌鱼头汤进行脱腥,并优化了脱腥工艺参数为:酵母添加量1.4%、发酵温度35℃、发酵时间74 min。经发酵后,多种腥味物质含量降低,己醛含量降低最多,说明酵母发酵能有效脱除乌鱼头汤腥味。酵母发酵的优点是同时具有多种发酵机制、脱腥效果好、酵母易得且成本低,但发酵过度容易产生过重的酵母味,因此,需要注意对发酵过程的控制。

2.3.2 其他微生物发酵法

微生物发酵法是指微生物在发酵过程中会产生一些代谢产物,能产生脱腥效果,同时使环境中CO₂含量、O₂含量和pH等条件发生改变,能抑制腐败菌的生长,减少腥味产生。一些用于食品加工的菌种,如乳酸菌等,被应用于副产物脱腥中。如在海参肠卵酶解液中添加0.4%乳酸菌,在40℃下发酵10 h能使多种腥味物质含量显著降低^[57]。但微生物发酵耗时较长,会改变副产物原有的风味,对需要保留原有风味的产品不适用,且产物不稳定,容易引发食品安全问题。

2.4 复合脱腥法

由于副产物腥味物质的多样性和单一脱腥方法的局限性,仅采用一种脱腥方法往往不能达到较好的脱腥效果,同时采用两种或以上的脱腥方法通常具有协同增效作用,

可以达到更好的脱腥效果。罗进等^[58]分别采用活性干酵母+ β -环状糊精复合法和超声+壳聚糖复合法对牛肝进行脱腥,发现复合脱腥法比单一脱腥法(面包酵母发酵法、葱姜提取液掩盖法)对牛肝的脱腥效果更好,且超声+壳聚糖复合法效果最好。SUN等^[59]采用肌肽结合超高压联合处理乌鱼肉,结果显示,肌肽的抗氧化性和超高压导致的脂肪氧合酶失活,能够降低乌鱼肉的挥发性风味化合物和三甲胺的形成,脱腥效果好,并且能延长乌鱼肉的保质期。王妍等^[60]优化了盐水酵母复合法对牛肝脱腥的工艺参数,在酵母添加量1.0%、发酵温度30℃、食盐添加量5.6%和食盐溶液浸泡时间78 min的条件下,脱腥牛肝无腥味且口感良好。可见,复合脱腥法具有多种协同的脱腥机制和广泛的脱腥范围,合理的搭配能发挥增效作用,因此,复合脱腥法也将更多应用于副产物的脱腥中。

3 结束语

畜禽副产物的腥味问题严重制约着其深加工和高值化利用,解决腥味问题不仅能极大促进肉品加工行业的发展,而且能带来巨大的经济效益。但目前人们对畜禽副产物的腥味物质研究较少,对腥味物质产生机制研究尚浅。现有的畜禽副产物脱腥方法大多从水产品脱腥方法引入,目前仍处于开发与初步探索阶段,加之畜禽副产物腥味来源和产生机制的共性和个性、挥发性风味化合物的复杂多样性等原因,使得阐明腥味产生机制以及开发高效且针对性强的脱腥方法极为困难,这也成为了近年来学者们的研究热点之一。

现有的部分脱腥方法在某些副产物脱腥中已经取得良好的效果,多项研究表明,复合脱腥法比单一脱腥法具有更明显的脱腥优势和发展潜力,但大多数研究仍未深入到分子层面探索其脱腥机制。此外,畜禽副产物腥味物质、腥味物质产生机制等相关研究资料仍然缺乏。故未来的研究可以考虑从分子层面上阐明腥味来源与产生机制,从而有针对性地开发合适且高效的脱腥方法。

参考文献

- [1] 刘春节,张涛,曾治国,等. 畜禽肉类腥味物质检测与去除方法研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(14): 338–345.
LIU CJ, ZHANG T, ZENG ZG, et al. Research progress on detection and removal methods of fishy substances in livestock and poultry meat [J]. Food Ferment Ind, 2023, 49(14): 338–345.
- [2] 国家统计局. 中华人民共和国2022年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2023-02-28]. http://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202302/t20230228_1919001.html [2023-05-23].
National Bureau of Statistics. Statistical bulletin on national economic and social development of the People's Republic of China 2022 [EB/OL]. [2023-02-28]. http://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202302/t20230228_1919001.html [2023-05-23].

- [3] MEEKER DL. North American rendering: Processing high quality protein and fats for feed [J]. *Rev Bras Zootecn*, 2009, 38: 432–443.
- [4] MOUTINHO S, MARTÍNEZ-LLORENS S, TOMAS-VIDAL A, *et al*. Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency [J]. *Aquaculture*, 2018, 468: 271–277.
- [5] 熊国远, 陈晓, 徐幸莲, 等. 鸡肝的生产与加工利用研究[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(22): 310–314.
- XIONG GY, CHEN X, XU XL, *et al*. Research progress on production and processing of chicken liver [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(22): 310–314.
- [6] 汪正熙, 王卫, 张旭, 等. 畜禽血精深加工利用及其研究进展[J]. *农产品加工*, 2020, (6): 67–71.
- WANG ZX, WANG W, ZHANG X, *et al*. Deep processing and utilization of livestock and poultry blood and its research progress [J]. *Farm Prod Process*, 2020, (6): 67–71.
- [7] 张肖楠, 张永生, 颜振敏, 等. 猪皮胶原蛋白肽对猪肉品质特性及微观结构的影响[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(14): 67–73.
- ZHANG XN, ZHANG YS, YAN ZM, *et al*. Effect of pigskin collagen peptides on quality characteristics and microstructure of pork stuffing [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, 44(14): 67–73.
- [8] 谢晶, 尹义捐, 杨欲成, 等. 响应面法优化鹅全骨硫酸软骨素的酶法提取工艺[J]. *肉类研究*, 2018, 32(8): 40–45.
- XIE J, YIN YJ, YANG YC, *et al*. Optimization of enzymatic extraction of chondroitin sulfate from goose bones by response surface methodology [J]. *Meat Res*, 2018, 32(8): 40–45.
- [9] MARTÍNEZ-ALVAREZ O, CHAMORRO S, BRENES A. Protein hydrolysates from animal processing by-products as a source of bioactive molecules with interest in animal feeding: A review [J]. *Food Res Int*, 2015, 73: 204–212.
- [10] 王琳琳, 余群力, 曹晖, 等. 我国肉牛副产品加工利用现状及技术研究[J]. *农业工程技术*, 2015, 25(17): 36–41.
- WANG LL, YU QL, CAO H, *et al*. Research on the current situation and technology of processing and utilization of beef cattle by-products in China [J]. *Agric Eng Technol*, 2015, 25(17): 36–41.
- [11] ZHANG YY, TANG L, ZHANG Y, *et al*. Comparison of different volatile extraction methods for the identification of fishy off-odor in fish by-products [J]. *Molecules*, 2022, 27(19): 6177.
- [12] 黄铭逸, 李藏兰, 郑江霞. 畜禽产品风味与评价技术的研究进展[J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(7): 12–17.
- HUANG MY, LI ZL, ZHENG JX. Research progress on flavors of animal products and the evaluation [J]. *Chin J Anim Sci*, 2020, 56(7): 12–17.
- [13] IM S, HAYAKAWA F, KURATA T. Identification and sensory evaluation of volatile compounds in oxidized porcine liver [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(2): 300–305.
- [14] LUO J, YU QL, HAN GX, *et al*. Identification of off-flavor compounds and deodorizing of cattle by-products [J]. *Food Biochem*, 2022, 46(12): e14443.
- [15] LI YH, ZHOU W, CAO YP, *et al*. Analysis of volatile components of tilapia enzymolysis solution after different deodorization treatments [J]. *Earth Env Sci*, 2020, 571(1): 012121.
- [16] 党连魁. 蒸制中华绒螯蟹在冷藏过程中腥味变化及控制技术的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- DANG LK. Research on the variations and control technology of fishy odor for the steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during cold storage [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [17] THIANSILAKUL Y, BENJAKUL S, RICHARDS MP. Effect of myoglobin from Eastern little tuna muscle on lipid oxidation of washed Asian seabass mince at different pH conditions [J]. *J Food Sci*, 2011, 76(2): 242–249.
- [18] LU Q, LIU FF, BAO JQ. Volatile components of American silver carp analyzed by electronic nose and MMSE-GC-MS-O [J]. *J Food Biochem*, 2019, 43(11): e13006.
- [19] 余远江, 庞一扬, 袁桃静, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 分析五种水产原料的风味特征[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 106–117.
- YU YJ, PANG YY, YUAN TJ, *et al*. Analysis of flavor characteristics of five aquatic raw materials based on electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(19): 106–117.
- [20] 黄春红, 冷瑞丹. 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.
- HUANG CH, LENG RD. A review of studies on typical off-flavor substances in fish and meat [J]. *Meat Res*, 2020, 34(3): 88–93.
- [21] 邓雨娇, 张定堃, 刘倩, 等. 动物药腥臭气味形成机制及掩味技术研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(10): 2353–2359.
- DENG YJ, ZHANG DK, LIU Q, *et al*. Progress on formation and taste-masking technology of stench of animal medicines [J]. *China J Chin Mater Med*, 2020, 45(10): 2353–2359.
- [22] WANG HL, ZHU YZ, ZHANG JJ, *et al*. Characteristic volatile compounds in different parts of grass carp by comprehensive two-dimensional gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry [J]. *Int J Food Prop*, 2020, 23(1): 777–796.
- [23] 刘子琪, 董丽琴, 杨大维, 等. NaCl 浸泡处理对牛肝风味的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(24): 147–156.
- LIU ZQ, DONG LQ, YANG DW, *et al*. Effect of NaCl immersion on flavor of beef liver [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(24): 147–156.
- [24] YU XP, CHEN L, SHENG L, *et al*. Volatile compounds analysis and off-flavors removing of porcupine liver [J]. *Food Sci Technol Res*, 2016, 22(2): 283–289.
- [25] 邢贵鹏, 黄卉, 李来好, 等. 罗非鱼加工副产物脱腥工艺及其腥味物质分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(20): 140–145.
- XING GP, HUANG H, LI LH, *et al*. Deodorization process of tilapia processing by-products and its fishy odor component analysis [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(20): 140–145.
- [26] MA N, PEI F, YU J, *et al*. Valid evaluation of volatile flavor composition of fresh and dehydrated Tuber indicum with different drying methods [J]. *CyTA-J Food*, 2018, 16(1): 413–421.
- [27] 董婧琪, 王圆圆, 闫保国, 等. 水产品腥味物质形成机理与脱腥技术研究

- 究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(5): 189–194.
- DONG JQ, WANG YY, YAN BG, *et al.* Progress in research on the formation mechanism of and deodorization technology for fishy substances in aquatic products [J]. Food Res Dev, 2022, 43(5): 189–194.
- [28] YAMAMOTO M, SUSANNE B, KEISUKE Y, *et al.* Determination of volatile compounds in four commercial samples of Japanese green algae using solid phase microextraction gas chromatography mass spectrometry [J]. Sci World J, 2014, 2014(1): 289–780.
- [29] KHAN MI, JO C, TARIQ MR. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors-A systematic review [J]. Meat Sci, 2015, 110: 278–284.
- [30] WETTASINGHE M, VASANTHAN T, TEMELLI F, *et al.* Volatiles from roasted byproducts of the poultry-processing industry [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(8): 3485–3492.
- [31] GROSCH W. Evaluation of the key odorants of foods by dilution experiments, aroma models and omission [J]. Chem Senses, 2001, 26: 533–545.
- [32] HALLENSTVEDT E, KJOS NP, REHNBERG AC, *et al.* Fish oil in feeds for entire male and female pigs: Changes in muscle fatty acid composition and stability of sensory quality [J]. Meat Sci, 2010, 85(1): 182–190.
- [33] 何立超, 李成梁, 马素敏, 等. 辐照对猪肉火腿风味与品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 34–39.
- HE LC, LI CL, MA SM, *et al.* Effect of irradiation on the flavor and color of pork sausages [J]. Food Sci, 2017, 38(9): 34–39.
- [34] 黄荣秋, 臧明伍, 李海花, 等. 超声波技术在肉品加工中的应用研究进展[J/OL]. 食品工业科技: 1-14. [2023-04-18]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100228
- HUANG RQ, ZANG MW, LI HH, *et al.* Research advance of application of ultrasonic treatment in meat processing [J]. Sci Technol Food Ind: 1-14. [2023-04-18]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100228
- [35] 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.
- SHI LF, LI ZR, LIU GM, *et al.* Research progress in determination and deodorization of fishy odor compounds from shellfish [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(22): 445–453.
- [36] 邓静, 杨蕊, 朱佳倩, 等. 水产原料腥味物质的形成及脱腥技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2097–2102.
- DENG J, YANG H, ZHU JQ, *et al.* Research progress in the formation and deodorization technology of fishy odor for aquatic raw material [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(8): 2097–2102.
- [37] 贾楠, 沙炫利, 吴琳蓉, 等. 海参胶的脱腥精制及体外消化特性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(8): 138–147.
- JIA N, SHA XL, WU LR, *et al.* Investigation of the deodorization refinement and *in vitro* digestion properties of sea cucumber gelatin [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(8): 138–147.
- [38] 赵萍, 陈小华, 刘俊霞, 等. 生姜/料酒脱腥过程中大鲵肝挥发性有机物动态变化[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(24): 164–172.
- ZHAO P, CHEN XH, LIU JX, *et al.* Dynamic changes of volatile organic compounds in giant salamander (*Andrias davidia*)s liver during ginger/cooking wine deodorization [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(24): 164–172.
- [39] 马玉琴, 韩玲, 张锐, 等. 天然植物提取物复合脱腥剂对牛胃脱腥效果评价及工艺优化[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-13. [2023-04-04]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034306>
- MA YQ, HAN L, ZHANG R, *et al.* Effect evaluation and process optimization of natural plant extract compound deodorant for removing fishy smell from bovine stomach [J]. Food Ferment Ind: 1-13. [2023-04-04]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034306>
- [40] CANSADO IPP, MOURAO PAM. Impact of the use of co-adjuvants agents during chemical activation on the performance of activated carbons in the removal of 4-chloro-2-methyl-phenoxyacetic acid [J]. Environ Technol Innov, 2021, 24: 102058.
- [41] 梁杰, 赵晓旭, 杨志强, 等. 鲍鱼内脏酶解液抗氧化能力及脱腥工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(2): 112–119.
- LIANG J, ZHAO XX, YANG ZQ, *et al.* Study on antioxidant ability and deodorization process of abalone visceral enzymatic hydrolysate [J]. Food Res Dev, 2019, 40(2): 112–119.
- [42] 梁芮涵, 李博. 大孔树脂吸附法对鲢鱼皮胶原肽脱腥脱苦的作用效果[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-11. [2023-04-20]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034293
- LIANG RH, LI B. Effect of macroporous resin adsorption on deodorization and debittering of silver carp skin collagen peptides [J]. Food Ferment Ind: 1-11. [2023-04-20]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034293
- [43] 杨莉莉. β -环糊精对明胶挥发性物质的掩蔽及其理化性质的影响研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- YANG LL. Effects of β -cyclodextrin on the masking of volatile substances in gelatin and its physicochemical properties [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [44] KUMARI A, KAUSHIK N, SLIZYTE R, *et al.* Production and microencapsulation of protein hydrolysate of pink perch (*Nemipterus japonicus*) by-products obtained from surimi industry for its sustainable utilization [J]. Waste Biomass Valori, 2023, 14(1): 209–226.
- [45] 王小康, 林绮莲, 黎颖, 等. 罗非鱼皮胶原蛋白中腥味物质的鉴定及不同脱腥方法的脱腥效果比较[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 234–239.
- WANG XK, LIN QL, LI Y, *et al.* Identification and elimination of odorous compounds from tilapia skin collagen [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(5): 234–239.
- [46] LI CL, HE LC, JIN GF, *et al.* Effect of different irradiation dose treatment on the lipid oxidation, instrumental color and volatiles of fresh pork and their changes during storage [J]. Meat Sci, 2017, 128: 68–76.
- [47] ABRIL B, LORENZO JM, GARCÍA-PÉREZ JV, *et al.* Supercritical CO₂ deodorization of dried pork liver [J]. J CO₂ Util, 2023, 70: 102455.
- [48] 崔方超, 李婷婷, 杨兵, 等. 电子鼻结合 GC-MS 分析草鱼脱腥前后风味变化[J]. 食品科学, 2014, 35(20): 126–130.
- CUI FC, LI TT, YANG B, *et al.* Flavor compounds of fresh and deodorized grass carps as determined by electronic nose combined with GC-MS [J]. Food Sci, 2014, 35(20): 126–130.

- [49] 董丽琴, 刘子琪, 张丽, 等. 牛肝排腥及腌制工艺优化[J]. 现代食品, 2021, (5): 93–100.
DONG LQ, LIU ZQ, ZHANG L, *et al.* Beef liver deodorization and pickling process optimization [J]. Mod Food, 2021, (5): 93–100.
- [50] HUANG PM, WANG ZR, SHI Y, *et al.* Deodorizing effects of rosemary extract on silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and determination of its deodorizing components [J]. J Food Sci, 2022, 87: 636–650.
- [51] 刘俊霞, 赵萍, 万小辉, 等. 大鲵肝茶叶水提液脱腥过程中挥发性有机物的动态变化[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 8–17.
LIU JX, ZHAO P, WAN XH, *et al.* Dynamic changes of volatile organic compounds in giant salamander liver during the deodorization with tea water extract [J]. Food Mach, 2022, 38(3): 8–17.
- [52] 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.
WANG Y, LIU L, LIU S, *et al.* Effects of ozone on deodorization process and gel strength of surimi from silver carp [J]. J Wuhan Polytech Univ, 2013, 32(1): 15–19.
- [53] 肖淑婷, 尹涛, 胡杨, 等. 臭氧漂洗过程中鱼肉组分溶出及其对鱼糜品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(12): 155–163.
XIAO ST, YIN T, HU Y, *et al.* Dissolution of fish components during ozone water rinsing and its effect on the quality of surimi [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2021, 21(12): 155–163.
- [54] XU YS, YANG YY, LIU CK, *et al.* Modification of volatile profiles of silver carp surimi gel by immersion treatment with hydrogen peroxide (H_2O_2) [J]. Int J Food Sci Technol, 2021, 56: 5726–5737.
- [55] 王晴, 蔡皓雯, 陆信曜, 等. 不同多糖对鸡肝酶解液美拉德反应的影响及其产物应用[J/OL]. 食品与发酵工业: 1–9. [2023-04-20]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035333>
WANG Q, CAI HW, LU XY, *et al.* Effects of different polysaccharides on Maillard reaction of chicken liver enzymatic hydrolysate and its application [J]. Food Ferment Ind: 1–9. [2023-04-20]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035333>
- [56] GAO RC, LI X, LIU HJ, *et al.* Optimization of removal of off-odor in mullet (*Channa argus*) head soup by yeast using response surface methodology and variations of volatile components during fermentation [J]. J Food Process Pres, 2021, 45: e15920.
- [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[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(5): 187–194.
CHEN ZX, LIU YL, PAN YY, *et al.* Effect of different deodorization methods on enzymatic hydrolysate of sea cucumber (*Stichopus japonicas*) intestines and gonads [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(5): 187–194.
- [58] 罗进, 马玉琴, 余群力, 等. 牛肝不同脱腥方法比较及腥味物质分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1–12. [2023-04-21]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033284
LUO J, MA YQ, YU QL, *et al.* Comparison of different deodorization methods for bovine liver and analysis of off-flavor substances [J]. Food Ferment Ind: 1–12. [2023-04-21]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033284
- [59] SUN LG, LYU JX, LIU Y, *et al.* Effects of combined camosine and ultra-high pressure on the inhibition of fishy off-odor of snakehead fillets and the possible mechanism [J]. Food Chem, 2022, 395: 133615.
- [60] 王妍, 张丽, 余群力, 等. 响应面试验优化牛肝盐水酵母复合脱腥工艺[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(2): 155–162.
WANG Y, ZHANG L, YU QL, *et al.* Optimization of bovine liver salted yeast compound deodorization process by response surface test [J]. J Gansu Agric Univ, 2018, 53(2): 155–162.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



刘泽祺, 硕士研究生, 主要研究方向为畜产品加工及副产物综合利用。
E-mail: zqliu@stu.scau.edu.cn



郭宗林, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜禽产品加工及智能活性包装技术。
E-mail: gzl072810@scau.edu.cn