

肉类休闲食品品质提升与安全控制研究进展

文雯¹, 曾晓芳^{1,2}, 冼燕萍³, 董浩^{1,2*}

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广州 510225; 2. 仲恺农业工程学院, 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 现代农业工程创新研究院, 广州 510225; 3. 广州质量监督检测研究院, 广州 510101)

摘要: 随着经济的快速发展与人民消费水平的不断提升, 肉类休闲食品产业也随之快速发展。肉类休闲食品属于零食的一种, 是人们在闲暇时所享用的食品, 也是快速消费食品中重要的组成部分之一。肉类休闲食品种类繁多, 在味道、便利、营养、口感和健康方面备受人们青睐。与此同时, 随着消费理念不断更新, 肉类休闲食品品质与食品安全问题日益受到关注。肉类休闲食品在目前的发展面临诸如肉制品的品质较低等问题, 因此需要提升其品质, 尤其是在减盐、减糖、减脂、增鲜等方面。在食品加工中存在一些危害物等安全隐患, 如化学性、物理性及加工伴生危害物等, 需要建立起检测技术和控制技术以做到安全控制。基于此, 文章系统性总结了肉类休闲食品品质提升的方法及安全控制领域近十年来的研究进展, 以期肉类休闲食品品质安全保证及产业升级提供借鉴与参考, 进而促进肉类休闲食品产业的高质量发展。

关键词: 肉类休闲食品; 品质提升; 安全控制

Research progress on quality improvement and safety control of meat snack food

WEN Wen¹, ZENG Xiao-Fang^{1,2}, XIAN Yan-Ping³, DONG Hao^{1,2*}

(1. College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Academy of Contemporary Agricultural Engineering Innovations, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 3. Guangzhou Quality Supervision and Testing Institute, Guangzhou 510101, China)

ABSTRACT: With the rapid development of economy and the continuous improvement of people's consumption level, the meat leisure food industry has also developed rapidly. Meat snack is a kind of snacks, which is not only the food enjoyed by people in their leisure time, but also an important part of rapid consumption food. There are many kinds of meat snack foods, which are favored by people in taste, convenience, nutrition, taste and health. At the same time, with the continuous updating of consumption concepts, the quality of meat snack foods and food safety issues have received increasing attention. In the current development of meat snack food, there are some problems, such as

基金项目: 广东省科协青年科技人才培养计划项目(SKXRC202317)、广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室项目(2021B1212040013)、广东省驻镇帮镇扶村农村科技特派员项目(KTP20210224)

Fund: Supported by the Youth Talent Support Program of Guangdong Provincial Association for Science and Technology (SKXRC202317), the Project of Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology (2021B1212040013), and the Guangdong Province Rural Science and Technology Commissioner in Help the Town and Village (KTP20210224)

*通信作者: 董浩, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工与质量安全控制。E-mail: donghao@zhku.edu.cn

*Corresponding author: DONG Hao, Ph.D, Associate Professor, College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, No.24, Dongsha Street, Haizhu District, Guangzhou 510225, China. E-mail: donghao@zhku.edu.cn

the low quality of meat products, so it is necessary to improve its quality. Especially in salt reduction, sugar reduction, fat reduction, freshening and so on. And there are some hidden dangers such as chemical, physical and processing associated hazards in food processing. Detection technology and control technology need to be established to achieve safety control. Therefore, this paper systematically summarized the research progress in the field of quality improvement and safety control of meat leisure food in the past ten years, in order to provide reference for the quality and safety assurance and industrial upgrading of meat leisure food, and promote the high-quality development of meat leisure food industry.

KEY WORDS: meat snack food; quality improvement; security control

0 引言

我国肉类来源丰富,是世界上第一大的肉类生产大国以及肉制品消费大国。随着经济快速发展以及人们消费水平的提高,肉类休闲食品产业正迅速发展。近几年,我国肉类休闲食品产业的增幅较高,这成为人民生活改善的重要标志。肉类休闲食品是指以各种肉类为原材料,经过一系列的生产加工工艺制成的快消产品,具有美味且便捷的特点,深得消费者的喜爱。肉类休闲食品以原料分类可分为猪肉类、牛肉类、水产类、兔肉类、禽类等;以加工工艺可主要分为干制类、酱卤类、速冻调理、肉灌类等^[1]。肉类休闲食品在风味、方便、营养、口感、健康等方面都深得人们的偏爱,食用过肉类休闲食品的人们表示感觉到心情愉悦。现今消费者对于肉类休闲食品的需求已经超越了单一口味的局限,呈现出多元化的趋势。他们不仅追求肉类休闲食品的美味和包装,更注重保障其安全和卫生,以此为基础来确保健康。因此,肉类休闲食品成为当前市场消费中重要的食品种类之一。为了满足消费者多样化的需求,许多生产肉类休闲食品的企业积极探索创新,推出了多种类别供消费者自由选择。本文将从肉类休闲食品的品质提升和安全控制两方面进行系统性的总结,对未来国内肉类休闲食品的品质提升和安全保障两大方面具有一定意义。

1 肉类休闲食品品质提升

1.1 肉类休闲食品减盐

食盐(NaCl)在加工肉制品时具有重要作用,是形成肉制品基本风味和口感的重要成分之一。它不仅可以为肉制品提供一定的咸味,同时可以起到嫩化、防腐的作用,提高肉制品的品质特性^[2]。不过,摄入食盐过多会对人体健康产生一定的危害。因此,在保证肉制品品质的前提下,有效降低钠盐的使用量并开发低盐肉类休闲食品是肉类工业中一个很重要的发展方向。

目前,减盐的方法有以下几种:一是直接减盐或优化食盐的物理形态,二是寻找食盐的替代物,三是使用新型加工技术,四是联合技术^[3]。表 1 为肉类休闲食品减盐方

法。直接减少肉制品中食盐的含量会使其离子强度降低,导致蛋白乳化和溶解性变差,凝胶结构松散等问题,最后使肉制品的品质大大降低。因此在减盐的过程中优化食盐的形态可以保持产品的品质。VINITHA 等^[4]研究表明,当把食盐的颗粒尺寸缩小至纳米级别时,唾液中的食盐溶解速度显著加快,同时咸味增强。

表 1 肉类休闲食品减盐方法

Table 1 Methods to reduce the salt content of meat snack food

肉类休闲食品 减盐方法	特点	参考文献
直接减盐	操作简单,但离子强度降低,蛋白乳化和溶解性变差,凝胶结构松散	[3]
优化食盐的物理形态	有效且操作简单,食盐溶解速度快,咸味感知快	[4]
加入食盐的替代物	有效降低腌肉食盐含量,但不影响肉制品的风味及贮存性	[5-8]
使用新型加工技术	降低盐含量和延长产品保质期,有效改善肉制品的品质特性	[9-10]
使用联合技术	多个栅栏因子结合会使效果显著加强,使产品良好风味得以保持	[11-12]

近年来,很多研究人士发现在制作肉类休闲食品的过程中加入食盐替代物,可有效达到减盐且能保证产品的品质特性。王路^[5]以艾草猪肉脯作为研究对象,通过单因素和响应面试验来寻找钠盐的替代物。结果表示氯化钾、乳酸钙和氯化钙可用来替代氯化钠,可以有效改善肉制品的品质特性。BARROS 等^[6]对鸡肉使用离子强度相当于 1.5% NaCl 的 CaCl₂。结果显示,肌肉的理化和感官性质几乎没有影响,并且盐含量降低高达 34%,同时将钙含量增加到 92%,获得健康的产品。于荟等^[7]通过正交试验,利用蔗糖和乳酸盐代替一部分食盐进行低盐腌制,使其食盐含量降低到 3.9%。此方法有效降低腌肉食盐含量,但不影响肉制品的风味及贮存性。王昱等^[8]研究燕麦、豌豆、苹果这 3 种膳食纤维对低盐鸡胸肉糜的凝胶特性。结果发现 3 种膳食纤维添加均可显著改善低盐鸡胸肉糜的蒸煮得率、

硬度和咀嚼性,从而提升低盐肉制品的品质。因此,适量添加食盐的替代物能有效地实现减盐和确保肉制品品质特性。

在加工技术方面,高压加工技术作为一种补充技术,具有降低盐含量和延长产品保质期的功能。O'FLYNN 等^[9]比较了在加压下制备低钠香肠的效果。他们将样品置于 150 MPa/5 min 的不同盐水平(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%和 2.5%)下,低于 1.5%的盐水平会对产品的颜色、质地、多汁性和硬度产生负面影响。在 150 MPa、高于 2%的盐水平处理下,可生产出对感官属性没有负面影响的香肠。BARRETTO 等^[10]利用超声波(600 W/cm², 20 kHz, 持续 10 min)使煮熟的火腿的含盐量降低,其感官和技术特征与传统火腿相似。

利用单一方法去替代食盐往往效果不好,因此利用强度较低的多个栅栏因子结合会使效果显著加强。FERRINI 等^[11]通过加入 KCl 或 K-乳酸盐从而减少或替代 NaCl,并加上快速干燥和高压工艺,可以生产对外观没有影响、微生物风险较小的低钠干腊肉。唐悠等^[12]利用氯化钾、乳酸钙替代钠盐,并加入异抗坏血酸钠、酵母抽提物,使产品的良好风味得以保持。因此,将联合技术应用于减盐过程,多种栅栏因子的联合作用可显著增强效果,从而保留了产品的优良风味。

对于咸味的感知受到多种因素的综合影响,因此,对于肉类休闲食品的减盐策略,需要不断研发出高品质的食盐替代品,探索新型的低盐加工工艺以及联合技术,生产出高质量产品,以期提升消费者的健康水平。

1.2 肉类休闲食品减糖

糖是肉制品烹饪过程中重要的调味品之一。糖在肉类休闲食品中使用量较高,糖分摄入过多会给人的健康带来隐患,容易导致肥胖、糖尿病等多种慢性疾病。因此,为了控制糖分的摄入量,大量学者对“减糖”进行深入研究。“减糖”的方法主要包括:直接减糖、使用糖的替代物。直接减糖容易导致理化和感官性质下降。因此多使用糖的替代物。在肉制品中添加糖醇,用多元醇替代蔗糖,比如山梨糖醇、木糖醇、麦芽糖醇等^[13]。杨柳等^[14]发现在发酵香肠中添加木糖醇,其水分活度较低,轻微抑制乳酸菌,且木糖醇发酵香肠的感官评分高于传统香肠。祝婕等^[15]通过单因素试验发现,随着木糖醇替代比增加,蜜汁叉烧肉的甜味基本不变,且木糖醇最适宜的替代比水平为 20%。逢晓云等^[16]利用麦芽糖醇替代部分蔗糖由此降低肉糜脯中蔗糖的含量,并在保证不改变水分活度的情况下提高肉糜脯的含水量,提高柔软性和嫩度。利用糖的替代物既能减少糖分摄入,又能改善肉制品的保水性、抗氧化活性与质地水平等,确保肉类休闲食品品质。但代糖产品仍存在风味上的差异,且并不完全符合功能替代的要求。比如赤藓糖醇无法达到褐变反应的要求。因此在使用糖的替代物时需要在代糖的选择上和加工特性上进行优化,设计出更具

操作性的减糖方案。

1.3 肉类休闲食品减脂

脂肪是人体的重要组成成分,是肉类休闲食品中必不可少的成分。食物中的脂肪可以为人体提供能量,改善食物的色香味,增加饱腹感。但脂肪是高热量营养素,摄入过量容易导致肥胖。而肥胖与高血压、高血脂、糖尿病、肾病等慢性疾病以及乳腺癌、直肠癌、胰腺癌等癌症密切相关。由此可见,需要减少产品中的脂肪从而保持人们的健康水平。减少肉类休闲食品中的脂肪的方法一般是使用脂肪的替代物。SALCEDO-SANDOVAL 等^[17]使用稳定在水乳油或魔芋基质凝胶中的健康油作为脂肪替代品,以降低法兰克福香肠的脂肪含量。ÖZER^[18]研究发现,添加 25%的菊粉至发酵香肠中,可降低发酵香肠的脂肪和能量值,丰富产品的膳食纤维,延长香肠的贮藏期限,但会使其硬度增加,降低口感。单一的脂肪替代物可以降低肉类休闲食品的部分脂肪,但很难达到产品的综合品质要求。所以常使用复配脂肪替代物来提高肉类休闲食品的品质,并最大程度减少脂肪的含量^[19]。MARCHETTI 等^[20]研究发现,在香肠中添加 0.32%乳蛋白和 0.593%卡拉胶作为复配脂肪替代物,可有效降低香肠中脂肪的含量且品质特性与高脂香肠无显著差异。综上所述,应合理使用脂肪替代物,降低肉类休闲食品中的脂肪,并优化脂肪替代物的复配方案,以改善产品的质构和风味,达到消费者的预期。

1.4 肉类休闲食品增鲜

鲜味是五大味觉之一,在人们的生活中占有重要的地位。鲜味是由鲜味分子激活的鲜味受体,在细胞内启动一系列的信号传递,再通过味觉神经进入大脑的味觉中枢。在肉类休闲食品的加工中,通常会使用鲜味剂增鲜^[21]。鲜味剂是风味增强剂中的一种,可以增强食品鲜味。鲜味剂对肉制品起着良好的增鲜和调味作用^[22]。翟营营^[23]研究发现,在鱼糜制品中加入酵母抽提物,鱼糜制品的鲜味显著提升,回味持久。酵母抽提物对鱼糜制品腥味也有一定掩盖作用。林瑞榕等^[24]在卤肉制品中添加黄原胶,结果发现样品中氨基酸含量增加,且增加趋势显著($P < 0.05$),能增强鲜味和甜味并掩盖部分苦味。在香肠、牛肉、火腿等肉制品中添加水解动物蛋白,可增强肉制品的天然味道及其鲜味,改进香味并减少腥味^[25]。除此之外,延长肉制品烹煮的时间也可以使其增鲜。刘文营等^[26]通过对熏马肠烹煮过程中的风味物质释放进行研究,结果表示汤汁中的游离氨基酸和鲜味值呈增加趋势,但烹煮时间不宜过长。常亚楠等^[27]采用色谱法,研究煮制时间对鸡肉及鸡汤游离氨基酸(free amino acid, FAA)含量的影响规律。结果表明,鸡汤中的 FAA 含量随煮制时间延长呈显著升高的趋势,在烹煮时间为 120 min 时,FAA 的含量约是 10 min 的 5 倍,且在 120 min 时达到最大值。鸡汤在加热 120 min 内,随烹煮

时间的延长, 鸡汤会更加鲜美适口并且营养价值高。综上, 在肉制品中添加增鲜剂以及适当延长烹煮时间, 可使肉制品增鲜。但在添加增鲜剂提鲜的同时需要考虑异味的存在, 如何更好掩盖或去除异味, 是今后研究方向之一。

1.5 肉类休闲食品风味提升

肉类休闲食品的风味是研究其整体品质的重要感官指标之一。风味受多方面因素影响, 其研究过程的范围涉及生物、物理、化学等多个领域^[28]。影响肉制品风味的因素包括原料、辅料、加工工艺、杀菌流程和贮运运输等多个关键环节。利用合适的加工工艺和添加相应的辅料, 是提高肉制品风味的主要方法。通常会使用以下加工工艺: 腌制工艺、蒸煮和烘烤工艺、油炸工艺、微波热加工、杀菌工艺、包装工艺^[29]。在肉制品中使用烟熏加工的方式, 不仅能让肉制品风味更加独特, 增加人们的味觉享受, 并且可以延长食物的货架期。龚小会^[30]从发酵肉制品加工过程中分离出酵母菌, 并从中筛选可用于生产肉制品发酵剂的菌株, 改善干腌火腿品质, 提高火腿的风味。

在肉制品中加入香辛料等辅料亦可使其风味提升。辛辣香辛料在肉制品加工中的主要作用是赋予肉制品辛、香、麻、辣等风味^[31]。XI 等^[32]在烤羊肉中添加各类香料, 研究香料的加入对烤羊肉和羊肉挥发性组分的影响。结果表明, 烤羊肉的风味挥发物的产生主要来自于生香料的热作用, 在煮沸过程中形成的额外挥发物很少。尚丹等^[33]使用天然柠檬精油为风味料, 研究出一种新型柠檬鸡排的制备方法。结果表明, 天然的柠檬精油可提高鸡排的风味和口感。由此可见, 利用合适的加工工艺和添加相应的辅料, 是提高肉制品风味的主要方法, 但在辅料的添加中需要寻找最优复配比, 才能更好提升肉类休闲食品的风味。

1.6 肉类休闲食品功能性研究

随着人们生活水平的提高, 对于食品的要求也越来越高, 功能性肉类休闲食品应运而生。功能性肉类休闲食品是指具有一定保健功能的肉类食品, 比如在肉类食品中添加功能性的物质或使用特定的加工工艺。可在肉类食品中加入膳食纤维、矿物质等功能性辅料以及使用发酵工艺等加工工艺。

被公认为人体第七大营养素的膳食纤维(dietary fiber), 虽然不能被人体所消化吸收, 但近些年来大量研究表明其具有预防和缓解高血脂、高血压等多种慢性疾病的作用^[34]。PARES 等^[35]研究发现将纳米微纤维素(cellulose nanofibrils, CNF)添加到乳化肠配方中, 0.5% CNF 可以替代 0.1%淀粉和 5%聚磷酸盐。弥补一些传统功能成分(如聚磷酸盐、玉米淀粉和酪蛋白酸钠)的不足。且 CNF 本身可以用来治疗肠胃相关疾病^[36]。郭年红^[37]在火腿肠和香肠等肉类休闲食品中加入 8%青稞麸皮膳食纤维, 研究结果表明, 加入青稞麸皮膳食纤维的肉制品不仅具有较高的水分含量, 还可以提高其营养价值。YILMAZ^[38]将黑麦糠麸作为脂肪

替代加入到肉丸中, 降低了肉丸总脂肪酸含量。并且黑麦糠麸本身具有抑制肿瘤、减小患心脏病几率等生理功能。除此之外, 矿物质也可以影响肉类休闲食品的功能性。比如硒可以调节多种生理功能。调节免疫系统, 并且可预防糖尿病、心血管疾病和癌症。余青等^[39]把粉碎干燥的富硒西兰花粉加入香肠中, 综合各项指标, 发现添加 0.20%的西兰花粉可达到富硒肉制品的标准, 增强营养价值且延长产品的贮藏期, 改善香肠的品质。

使用特定加工工艺亦可提升肉类休闲食品的功能性。周天硕等^[40]利用发酵工艺制备肉类休闲食品, 其在发酵过程中, 蛋白质发生变性和降解, 生成大量生物活性肽成分, 这有利于蛋白质的吸收, 加快人体对营养物质的消化和利用。且生物活性肽具有免疫调节、抗菌、抗血栓、抗氧化、抗高血压及降胆固醇等功能。

因此, 在肉类休闲食品中添加功能性物质或使用特定的加工工艺可以提升其功能性。提升肉类休闲食品的功能性不仅可以增强人体免疫功能, 减少肠道疾病的发生, 还可以抑制肉制品腐败和细菌滋生, 延长肉制品贮存期和保鲜期。

2 肉类休闲食品安全检测与控制

由于中国经济水平持续提升, 温饱问题已成过去式, 如今, 肉类休闲食品的安全性问题引起了广泛关注。但是近年来肉类休闲食品的安全问题越来越凸显, 给人民身体健康造成一定程度的危害。因此, 需重视肉类休闲食品的安全性, 加强质检力度, 确保质量达标。

2.1 肉类休闲食品物理、化学主要危害物安全检测

2.1.1 物理性主要危害物及其检测方法

物理性危害物通常被描述为外来物质或异物, 包括在食物中未发现的、任何可能对个人造成疾病或伤害的物质。在生产链的任何环节中, 物理性危害物都会对肉类休闲食品造成污染, 并产生危害, 但很少导致死亡。肉类休闲产品可能受到不同来源的物理危害如表 2 所示, 如受污染的原料, 设计或维护不当的设施和设备, 加工的步骤不正确, 以及不妥当的员工培训和实践。这些物理危害对消费者健康产生了不同程度的影响。

表 2 肉类休闲食品常见物理性危害类型

Table 2 Common physical hazard types of meat snack foods

常见物理危害类型	污染物具体形式	原因
原材料	骨头、塑料、木头、针线、金属和玻璃	工厂中对于动物不正确的处理, 设备有所缺陷
包装材料	虫子等外部污染物	在加工后进入, 储存的条件不合格
员工	头发、首饰、钮扣、指甲装饰品、烟草制品等	员工未进行培训

检验出物理性危害物的方法有金属探测器检测、X 射线技术。金属探测器可用于定位食品中的含铁和非铁金属。通过 X 射线技术、光学探针可以发现各种异物,尤其是骨头碎片^[41]。在生产过程中,X 射线技术、光学探针可定期检查可能丢失或损坏的零件或设备产品。

2.1.2 化学性危害物及其检测方法

肉类休闲食品一般都含有丰富的脂肪、蛋白质及其他物质,在加工或贮运过程中,会经历美拉德反应、脂肪氧化等过程,产生危害人体健康的化学性危害物^[42]。美拉德反应和脂质氧化是肉类休闲食品加工过程中占主导的两种反应。这两类反应对危害物形成发挥重要作用。肉类休闲食品在加工过程中常见的化学危害物有杂环胺(heterocyclic amines, HAs)、N-亚硝基化合物(n-nitroso chemicals, NOCs)类、多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)、丙烯酰胺(acrylamide, AA)等具有潜在毒性的物质。当反应条件控制不当时,这些危害物的产生会大大增加,通过食物的摄入而危及消费者的身体健康^[43]。因此对于危害物的检测和控制具有重要意义。

(1) 杂环胺

HAs 是一种潜在的有害物质,是在鱼类、牲畜和家禽等高蛋白食品的热加工过程中产生的具有致癌和致突变作用的杂环化合物^[44]。HAs 由美拉德反应及蛋白质在高温下分解产生,其危害性远超想象。HAs 一般在烧烤和烹调等热加工条件下产生。摄入过多的 HAs,会对人体健康产生一定负面影响^[45]。

在检验方法上,目前广泛采用超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)测定杂环胺。该法具有高选择性和高灵敏性,并有良好的分离效果。DONG 等^[46]采用超高效液相色谱-四极杆高分辨率质谱法(ultra high-performance liquid chromatography-quadrupole-Orbitrap high-resolution mass spectrometry, UHPLC-Q-Orbitrap-HRMS)对我国传统培根和香肠中的 14 种 HAs 进行了筛选和测定。使用氢氧化钠溶液和乙腈从样品中提取 HAs,并通过固相萃取进行纯化。结果表明,UHPLC-Q-Orbitrap-HRMS 在 HAs 的定量方面表现出良好的性能。CHEN 等^[47]成功开发了一种稳健而灵敏的改良 QuEChERS 清洁剂,结合 UPLC-MS/MS,测定烘焙产品中的 14 种 HAAs。邓鹏等^[48]利用 UPLC-MS/MS 定量分析煎香肠游离与结合态下的 HAs 含量,评价煎香肠产生 HAs 含量的影响因素。结果表明温度比时间对煎香肠中 HAs 的影响更明显($P < 0.05$);用大豆油炒制时加入黑胡椒,能显著抑制炒制香肠游离及结合态 HAs 产生。该法适用于肉类休闲食品中多种杂环胺含量的同步检测,对研究杂环胺形成规律具有重要的意义。

(2) N-亚硝基化合物

N-亚硝基化合物是一类具有较强致癌性的化学物质。肉制品在加工过程中,常会加入可以赋予肉制品诱人的鲜

红外观的亚硝酸盐,这可以改善产品的品质风味、抑制有害菌的生长并提高抗氧化性。但亚硝酸盐可进行亚硝化反应,形成具有致癌性的 N-亚硝胺。因此对于 N-亚硝基化合物的检测和控制需要进行深入的研究。

N-亚硝基化合物的检测方法主要有定量核磁共振氢谱法、高效液相色谱法、气相色谱法以及固相萃取技术与其他技术相结合的方法^[49]。张雅军等^[50]采用定量核磁共振氢谱法来测定 5 种 N-亚硝胺类化合物的含量,结果与质量平衡法结果基本一致,且此方法简单快捷,准确性高。蔡鲁峰^[51]采用固相萃取-高效液相色谱法测定肉类食品中 9 种 N-亚硝基化合物。结果表明该方法回收率高、精密度高,适用于肉类食品中多种 N-亚硝基化合物的同时测定。王艳丽等^[52]采用固相萃取技术,结合气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS),分析肉类食品中 11 种 N-亚硝胺类化合物。结果表明,该方法提取及净化时间仅需 15 min/样品,提取与净化时间大幅缩短,检测效率提升 10 倍,可实现动物源性食品中 N-亚硝胺类化合物的快速测定。

(3) 多环芳烃

PAHs 是指含有两个或两个以上且呈现出不同构型的苯环耦合在一起所形成的芳香族化合物及其衍生物^[53]。PAHs 是肉类食品加工过程中极易产生且具有致癌、致畸和致突变的一类有机物^[54]。人们接触多环芳烃的主要来源是食用肉类相关食品,这些肉类食品使用烟熏、烧烤、烘烤和油炸等特定方法进行烹饪^[55]。研究表明,肉类食品中 PAHs 的含量普遍偏高。中国是肉类大国,肉类也是膳食途径中对 PAHs 贡献率高的食品种类,因此需要重视肉类休闲食品中的食品安全问题,以及需要一定手段对此加以控制^[56]。

检测 PAHs 的常用方法有高效液相色谱法、液相色谱-串联质谱法、气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、GC-MS/MS 等。LU^[57]利用固相萃取法提取六氯环己烷和多环芳烃,并用高效液相色谱-二极管阵列紫外/荧光检测器进行分析,结果发现在选定的肉制品中,烤鸡和烤培根的多环芳烃含量高。PENG 等^[58]利用气相色谱-同位素稀释质谱检测方法,检测肉制品中的 16 种多环芳烃含量,该法前处理效率高,定量法灵敏、准确,适合于检测肉类食品中多环芳烃的含量。WONGMANEEPRATIP 等^[59]采用高效液相色谱-光电二极管阵列检测器分析了加入不同腌料后,烤鸡胸肉每边炭烤 3 min 后 PAHs 的形成情况。结果显示,在腌料中加入油或碱的成分可能是增加烤肉制品中多环芳烃含量的重要原因。李莎等^[60]将 QuEChERS 前处理方法与气相色谱-三重四极杆质谱法结合,检测辣条中 16 种多环芳烃。结果表明,在 0.005~0.50 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好,线性相关系数均达 0.9984 以上。除了传统的检验方法外,王晓那^[61]研究发现两种检测食品中硝基多环芳烃的新型功能材料:磁性

共价有机骨架结构、共轭微孔聚合物, 分别作为磁固相萃取的吸附剂, 用于检测食品中硝基多环芳烃。综上, 以上检测方法选择性好、灵敏度较高, 但其检验所需费用高昂, 且操作难度大, 研发出新型、高效的检测技术, 以实现快速检测, 是未来发展的重要方向。

2.2 肉类休闲食品主要危害物的控制

2.2.1 肉类休闲食品物理性主要危害物的控制

在肉类休闲食品中建立对物理危害的控制措施是非常重要的, 必须选择正确的控制措施。根据危险分析和需要控制的临界点, 对设备进行分类。首先, 需要识别潜在的危险并建立跟踪算法。制定良好的食品安全生产准则, 在危害分析及关键控制点(hazard analysis and critical control point, HACCP)中^[62]解决问题, 并根据产品类型和生产过程来区别物理危害的不同来源。其次, 控制害虫和清除环境中的异物也是必不可少的。并对工厂及其设备进行预防性的维护并实施定期的清理和维修。产品的运输、接收、分配和储存程序以及包装材料处理(尤其是涉及玻璃的方法)需要进行严格的管控, 并评估是否有可能引入危害物。最后, 对于工厂员工必须进行严格的培训。

2.2.2 肉类休闲食品化学性主要危害物的控制

(1) 控制加工温度和时间

控制加工温度和时间可有效减少化学性主要危害物。HASYIMAH 等^[63]研究在不同温度(150、200、250、300 和 350°C)下气烤沙茶牛肉中多环芳烃和杂环芳烃胺的同时生成。结果表明, 在 150°C 时, 多环芳烃和杂环芳烃胺的显著浓度最低; 多环芳烃和杂环芳烃的生成同时随着温度的升高而增加。MIN 等^[64]利用气相色谱质谱联用仪分析了水、脂质前体和抗氧化剂的存在对肉类食品中多环芳烃形成和抑制的影响, 并通过电子自旋共振研究了其机制。结果表明, 8 种 PAHs 含量随加热温度、时间增加而增加。且多环芳烃的形成受温度的影响大于时间的影响。因此, 控制肉类食品加工的温度和时间, 可有效减少多环芳烃的生成。

(2) 控制加工过程中的脂肪含量

脂肪含量对肉制品中 HAs 的形成具有密切的影响。樊贺雨^[65]添加 5%、10% 和 20% 的牛脂肪量, 探究不同的牛脂肪量对油炸牛肉饼中 HAs 的影响, 结果表明添加牛脂肪的量增多会促进油炸牛肉饼中 HAs 的生成。牛脂肪的添加量由 5% 提高至 20% 后, 可以观察到 HAs 总量的显著提高 ($P < 0.05$), 不过脂肪在 HAs 形成中发挥的作用尚未得到充分解释。LEE 等^[66]利用 GC-MS 提取并测定多环芳烃。结果发现, 除去油滴及烟雾后烤制猪肉及牛肉, 4 种 PAHs 之和较常规烧烤分别减少 48%~89% 及 41%~74%。因此, 在确保肉类休闲食品风味的同时, 减少脂肪含量会影响化学危害物生成。

(3) 添加外源抑制剂

添加外源抑制剂可有效减少化学性危害物的生成。研

究表明一些天然产物在体内外对 NOCs 的合成都具有阻断作用, 如咖啡因、胱氨酸、组氨酸、半胱氨酸、丙氨酸、甘氨酸、三肽、谷胱甘肽及一些食品抗氧化剂^[67]。YU 等^[68]研究香菜根和香叶提取物对烤鸭翅中 PAHs 的形成和抑制作用。分别配制 5 个浓度组(200、400、600、800、1000 mg/L)的香菜根提取物和香菜叶提取物用于鸭翅腌制。结果表明, 香菜根提取物对 PAHs 的形成有较大的抑制作用, 且香菜对 PAHs 的抑制作用与香菜卤汁中的酚类化合物有关。香菜可以认为是一种减轻热加工肉制品中 PAHs 的天然来源。GONG 等^[69]在油条中加入 3 种天然抗氧化剂: 迷迭香提取物、茶多酚和竹子抗氧化剂, 并将合成抗氧化剂叔丁基对苯二酚(*tert*-butylhydroquinone, TBHQ)加入到油条中进行比较, 研究添加物是否对多环芳烃的含量是否有影响, 采用 GC-MS 对多环芳烃进行分析。与未添加抗氧化剂的样品相比, 添加 TBHQ、迷迭香提取物、茶多酚和竹子抗氧化剂可使总多环芳烃和总多环芳烃浓度降低。竹抗氧化剂对油条品质的抑制效果最好, 对油条品质的降解也有较好的延缓作用。由此可见, 天然提取的抗氧化剂可有效抑制化学性危害物的生成。

(4) 应用不同加工技术

采用不同的加工技术, 可以减少化学危害物的生成。ÖZBAY^[70]以 20 个不同品牌的意大利腊肠为样品, 使用 3 种不同的烹饪技术(煎炸、蒸煮、微波)进行烹饪, 并采用 GC-MS 进行分析挥发性亚硝胺(volatilizable n-nitrosamine, VNA)的含量。结果发现, 微波烹饪可减少 VNA 的生成量。王玮^[71]研究表明, 电烤(红外线辐射)可以代替传统的炭烤, 减少致癌物质杂环胺的生成。微波技术、过热蒸汽烘焙技术以及同时使用 3 种技术可以达到减少牛肉饼杂环胺的目的, 结合后杂环胺的生成量比结合前最多减少 44.48%。朱严华^[72]针对鱿鱼的多环芳烃生成, 比较了 3 种不同的烹饪方式, 并检测了样品中多环芳烃的总量以及 16 种常见的多环芳烃化合物的含量。研究表明, 烤所产生的多环芳烃总含量最低, 而煎所产生的苯并[a]芘则呈现出最低水平。

3 结论与展望

肉类休闲食品在风味、方便、营养、口感、健康等方面都深得人们的偏爱。因此, 肉类休闲食品的品质提升和安全控制一直是现今研究的热点。减盐、减糖、减脂、增鲜、风味提升和功能性研究等品质提升方法具有良好的发展前景。现今减盐的方法一般不采用直接减少食盐含量, 而是更多寻找食盐的替代物以及实用新型加工技术或联合技术; 减糖的方法多使用糖的替代物; 减脂的方法主要从加工工艺以及寻找脂肪的替代物从而减少肉类休闲食品中的脂肪; 肉类休闲食品增鲜一般使用鲜味剂提鲜; 风味提升的方法主要是加入各类的香辛辅料和使用特定加工技术; 功能性的提升则是在肉类食品中加入多糖、矿物质等功能

性辅料以及使用发酵工艺等加工工艺。

除了品质提升, 肉类休闲食品的安全性也是人们关注的重点。因此, 应重视肉类休闲食品的安全检测和控制。物理性危害物的检测一般使用金属探测器、X 射线技术。控制物理性危害物的方法主要是 HACCP 计划中选择正确的控制措施。化学性危害物的检测主要利用定量核磁共振氢谱法、高效液相色谱法、气相色谱法以及固相萃取技术与其他技术相结合的方法。控制化学性危害物的方法主要控制加工温度和时间以及添加外源抑制剂。因此, 持续性提升肉类休闲食品的品质以及加强其安全控制, 是未来肉类休闲食品行业高发展的重要研究方面。

参考文献

- [1] 姜晓东. 国内休闲肉制品现状与展望[J]. 肉类工业, 2012, (1): 6-8, 5. JIANG XD. Actuality and prospect of leisure meat products in China [J]. Meat Ind, 2012, (1): 6-8, 5.
- [2] 郭星月. 鸭肉干休闲食品开发及品质变化研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021. GUO XY. The development and quality changes of duck jerky snack food [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2021.
- [3] 王卫, 张锐, 张佳敏, 等. 肉制品加工中的减盐技术: 研究进展与应用展望[J]. 肉类研究, 2022, 36(7): 54-60. WANG W, ZHANG R, ZHANG JM, *et al.* Salt reduction technologies in meat processing: Recent progress and future applications [J]. Meat Res, 2022, 36(7): 54-60.
- [4] VINITHA K, LEENA MM, MOSES JA, *et al.* Size-dependent enhancement in salt perception: Spraying approaches to reduce sodium content in foods [J]. Powder Technol, 2021, 378: 237.
- [5] 王路. 复合盐对艾草猪肉脯品质特性及脂肪氧化的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013. WANG L. Effect of compound salt on characteristics and lipid oxidation of pork jerky with argy wormwood-powder [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2013.
- [6] BARROS JC, GOIS TS, PIRES MA, *et al.* Sodium reduction in enrobed restructured chicken nuggets through replacement of NaCl with CaCl₂ [J]. J Food Sci Technol Mys, 2019, 56: 3587-3596.
- [7] 于荟, 陈有亮, 王联潮, 等. 低盐腌制对腌肉制品品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 134-136. YU H, CHEN YL, WANG LC, *et al.* Effect of low salt curing on quality of salted meat products [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(9): 134-136.
- [8] 王昱, 袁晶晶, 赵电波, 等. 膳食纤维对低盐鸡胸肉糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(8): 16-22. WANG Y, YUAN JJ, ZHAO DB, *et al.* Effects of dietary fibers on gelation properties of low-salt chicken breast surimi [J]. Food Sci, 2023, 44(8): 16-22.
- [9] O'FLYNN CC, CRUZ-ROMERO MC, TROY D, *et al.* The application of high-pressure treatment in the reduction of salt levels in reduced-phosphate breakfast sausages [J]. Meat Sci, 2014, 96(3): 1266-1274.
- [10] BARRETTO TL, POLLONIO MAR, TELIS-ROMERO J, *et al.* Improving sensory acceptance and physicochemical properties by ultrasound application to restructured cooked ham with salt (NaCl) reduction [J]. Meat Sci, 2018, 145: 55-62.
- [11] FERRINI G, COMAPOSADA J, ARNAU J, *et al.* Colour modification in a cured meat model dried by quick-dry-slice process and high pressure processed as a function of NaCl, KCl, K-lactate and water contents [J]. Innov Food Sci Emer, 2012, 13(none): 69-74.
- [12] 唐悠, 刘娜, 朱秋劲, 等. KCl、乳酸钙替代钠盐对风干香猪肉的品质改善[J]. 肉类研究, 2017, 31(3): 7-11. TANG Y, LIU N, ZHU QJ, *et al.* Quality improvement of air-dried pork of mini-pigs by using calcium lactate and potassium chloride to substitute sodium salt [J]. Meat Res, 2017, 31(3): 7-11.
- [13] 王秋玉, 周晓燕, 薛盼盼, 等. 肉制品中的减糖策略研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(6): 188-191. WANG QY, ZHOU XY, XUE PP, *et al.* Study on the strategy of reducing sugar in meat products [J]. China Cond, 2021, 46(6): 188-191.
- [14] 杨柳, 陈宇飞, 王磊. 木糖醇对发酵香肠水分及微生物的影响[J]. 中国食品添加剂, 2016, (1): 114-118. YANG L, CHEN YF, WANG L. Effects of xylitol on moisture content and microorganism of fermented sausage [J]. China Food Addit, 2016, (1): 114-118.
- [15] 祝婕, 刘学军. 木糖醇部分替代蔗糖对蜜汁叉烧肉品质的影响[J]. 肉类工业, 2016, (2): 9-12. ZHU J, LIU XJ. Effect of xylitol partial substitution of saccharose on quality of honey-stewed BBQ pork [J]. Meat Ind, 2016, (2): 9-12.
- [16] 逢晓云, 陈佳新, 夏秀芳, 等. 麦芽糖醇替代蔗糖对低糖型猪肉糜脯质量的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 64-68. PANG XY, CHEN JX, XIA XF, *et al.* Effect of substitution of sucrose with maltitol on the quality of low-sugar type of dried-pork slice [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(13): 64-68.
- [17] SALCEDO-SANDOVAL L, COFRADES S, PÉREZ CRC, *et al.* Healthier oils stabilized in konjac matrix as fat replacers in n-3 PUFA enriched frankfurters [J]. Meat Sci, 2013, 93(3): 757-766.
- [18] ÖZER CO. Utilization of Jerusalem artichoke powder in production of low-fat and fat-free fermented sausage [J]. Italian J Food Sci, 2019, 31(2): 301-310.
- [19] 董学文, 张苏芬, 李大宇, 等. 脂肪替代物在肉制品中应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 1961-1966. DONG XW, ZHANG SS, LI DY, *et al.* Research progress of the application of fat substitutes in meat products [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(6): 1961-1966.
- [20] MARCHETTI L, ANDRES SC, CALIFANO AN. Low-fat meat sausages with fish oil: Optimization of milk proteins and carrageenan contents using response surface methodology [J]. Meat Sci, 2014, 96(3): 1297-1303.
- [21] 高文超, 田俊, 姜雪峰. 味觉化学之鲜味化学[J]. 化学教育(中英文), 2020, 41(18): 1-7. GAO WC, TIAN J, JIANG XF. The umami ingredients of flavor chemistry [J]. Chin J Chem Edu, 2020, 41(18): 1-7.
- [22] 刘源, 王文利, 张丹妮. 食品鲜味研究进展[J]. 中国食品学报, 2017, 17(9): 1-10. LIU Y, WANG WL, ZHANG DN. Research progress of umami in food [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2017, 17(9): 1-10.
- [23] 翟莹莹. 酵母抽提物主要滋味成分分析及其对鱼糜制品风味的影响[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(5): 105-113. ZHAI YY. Analysis of main taste components of yeast extract and its effect on flavor of surimi products [J]. J Huazhong Agric Univ, 2019, 38(5): 105-113.
- [24] 林瑞榕, 杨清羽, 罗富靖, 等. 黄原胶对肉肉酱品质及风味的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(21): 6844-6854.

- LIN RR, YANG QY, LUO FJ, *et al.* Effects of xanthan gum on quality and flavor of braised meat sauce [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(21): 6844–6854.
- [25] 孟鸿菊. 功能性鲜味剂的最新研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2007, (1): 109–113.
- MENG HJ. The research progresses of functional fresh taste medicinal preparation [J]. *China Food Addit*, 2007, (1): 109–113.
- [26] 刘文营, 李开雄, 王守伟, 等. 新疆哈萨克熏马肠煮制过程中汤汁中游离氨基酸和挥发性物质分析[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(4): 270–280.
- LIU WY, LI KX, WANG SW, *et al.* Analysis of free amino acids and volatile flavor substances during cooking of smoked horse sausage prepared in Kazakh region of Xinjiang [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2020, 20(4): 270–280.
- [27] 常亚楠, 赵改名, 柳艳霞, 等. 煮制对鸡肉及汤汁中游离氨基酸的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(9): 333–337
- CHANG YN, ZHAO GM, LIU YX, *et al.* Changes of free amino acids in chicken and its broth during cooking [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(9): 333–337.
- [28] 胡子璇, 徐乐, 梁小慧, 等. 肉制品挥发性风味物质研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(19): 219–224.
- HU ZX, XU L, LIANG XH, *et al.* Progress on volatile flavor compounds of meat products [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(19): 219–224.
- [29] 赵志平, 康峻, 王卫, 等. 加工工艺对肉制品风味影响研究进展[J]. *食品工业*, 2021, 42(8): 209–213.
- ZHAO ZP, KANG J, WANG W, *et al.* Research progress on the effects of processing on the flavor of meat [J]. *Food Ind*, 2021, 42(8): 209–213.
- [30] 龚小会. 酵母产香特性及其对发酵肉制品风味品质的影响研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2022.
- GONG XH. Research on aroma-producing properties of yeast and its effect on flavor quality of fermented meat products [D]. Guizhou: Guizhou University, 2022.
- [31] 王海帆, 郭梦嫣, 王玉洁, 等. 辣椒、花椒等辛辣香料对肉制品风味影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 389–395.
- WANG HF, GUO MY, WANG YJ, *et al.* A review on the effects of pungent spices including chili and prickly ash on the flavor of meat products [J]. *Food Chem*, 2022, 43(15): 389–395.
- [32] XI J, ZHAN P, TIAN H, *et al.* Effect of spices on the formation of VOCs in roasted mutton based on GC-MS and principal component analysis [J]. *J Food Qual*, 2019, 2019(15): 1–11.
- [33] 尚丹, 韦永乐, 周明光, 等. 柠檬风味料在肉制品中的应用[J]. *肉类工业*, 2021, (6): 35–38.
- SHANG D, WEI YL, ZHOU MG, *et al.* Application of lemon flavor materials in meat products [J]. *Meat Ind*, 2021, (6): 35–38.
- [34] 王静, 李超君, 陆学洲, 等. 膳食纤维生理功能、制备方法及其在食品加工中的应用[J]. *保鲜与加工*, 2023, 23(4): 74–80.
- WANG J, LI CJ, LU XZ, *et al.* Physiological function, preparation method and its application in food processing of dietary fiber [J]. *Storage Process*, 2023, 23(4): 74–80.
- [35] PARES D, PELACH MA, TOLDRA M, *et al.* Nanofibrillated cellulose as functional ingredient in emulsion-type meat products [J]. *Food Bioprocess Technol*, 2018, 11: 1393–1401.
- [36] GOMEZ HC, SERPA A, VELASQUEZ-COCK J, *et al.* Vegetable nanocellulose in food science: A review [J]. *Food Hydrocolloid*, 2016, 57: 178–186.
- [37] 郭年红. 青稞麸皮膳食纤维的制备工艺及在肉制品中的应用[D]. 成都: 西华大学, 2021.
- GUO NH. Preparation of dietary fiber from high land barley bran and its application in meat products [D]. Chengdu: Xihua University, 2021.
- [38] YILMAZ I. Effects of rye bran addition on fatty acid composition and quality characteristics of low-fat meatballs [J]. *Meat Sci*, 2004, 67(2): 245–249.
- [39] 余青, 熊哲民, 陈嘉浩, 等. 富硒西蓝花粉及普通西蓝花粉对香肠品质特性的影响[J]. *肉类研究*, 2021, 35(9): 13–19.
- YU Q, XIONG ZM, CHEN JH, *et al.* Effects of selenium-enriched versus common broccoli powder on the quality characteristics of sausages [J]. *Meat Res*, 2021, 35(9): 13–19.
- [40] 周天硕, 赵家圆, 孟彩云, 等. 发酵肉制品中生物活性肽的研究进展[J]. *肉类研究*, 2022, 36(12): 67–71.
- ZHOU TS, ZHAO JY, MENG CY, *et al.* Progress in research on bioactive peptides in fermented meat products [J]. *Meat Res*, 2022, 36(12): 67–71.
- [41] DAS AK, NANDA PK, DAS A, *et al.* Hazards and safety issues of meat and meat products [J]. *Food Saf Human Health*, 2019. DOI: 10.1016/B978-0-12-816333-7.00006-0
- [42] 江黎雯, 薛超轶, 何志勇, 等. 肉制品中 3 类有害物质的来源与控制方法研究进展[J]. *肉类研究*, 2020, 34(4): 77–87.
- JIANG LW, XUE CY, HE ZY, *et al.* A review of three kinds of hazardous substances in meat products: Sources and control methods [J]. *Meat Res*, 2020, 34(4): 77–87.
- [43] 陈俏纯, 何志勇, 秦昉, 等. 肉制品加工过程风味和伴生危害物的生成及关联规律[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(15): 4848–4855.
- CHEN QC, HE ZY, QIN F, *et al.* Formation and correlation of flavor and associated hazards in meat processing [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(15): 4848–4855.
- [44] KANG HJ, LEE SY, DA YL, *et al.* Main mechanisms for carcinogenic heterocyclic amine reduction in cooked meat by natural materials [J]. *Meat Sci*, 2021, 183(3): 108663.
- [45] ZHOU Z, LIN F, NIU C. Effect of different processing conditions on heterocyclic amine in meat [J]. *Mod Food*, 2019, (20): 152–154.
- [46] DONG H, XIAN Y, LI H, *et al.* Analysis of heterocyclic aromatic amine profiles in Chinese traditional bacon and sausage based on ultrahigh-performance liquid chromatography-quadrupole-Orbitrap high-resolution mass spectrometry (UHPLC-Q-Orbitrap-HRMS) [J]. *Food Chem*, 2020, 310(25): 125937.1–10.
- [47] CHEN L, XIAN Y, HOU X, *et al.* Quantitative analysis of fourteen heterocyclic aromatic amines in bakery products by a modified QuEChERS method coupled to ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS) [J]. *Food Chem*, 2019. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125048
- [48] 邓鹏, 胡璐曼, 凌菁, 等. 煎香肠中杂环胺的生成规律研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(11): 3423–3430.
- DENG P, HU LM, LING J, *et al.* Study on the formation regularity of heterocyclic amines in fried sausages [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(11): 3423–3430.
- [49] 赵思俊, 李雪莲, 孙晓亮, 等. N-亚硝基化合物的危害及其检测方法——由 WHO 将“火腿等食品列入致癌物”谈起[J]. *中国动物检疫*, 2016, 33(1): 52–56.
- ZHAO SJ, LI XL, SUN XL, *et al.* Hazard and test methods of N-nitroso compounds [J]. *China Anim Health Insp*, 2016, 33(1): 52–56.
- [50] 张雅军, 陈忠兰, 徐翊雯, 等. 定量核磁共振氢谱法测定 5 种 N-亚硝胺类化合物的含量[J]. *中国新药杂志*, 2022, 31(13): 1326–1330.
- ZHANG YJ, CHEN ZL, XU YW, *et al.* Determination of five N-nitrosamine compounds by quantitative proton nuclear magnetic

- resonance [J]. *Chin J New Drug*, 2022, 31(13): 1326–1330.
- [51] 蔡鲁峰. 固相萃取净化—高效液相色谱法测定肉制品中的 9 种 N-亚硝基化合物[J]. *食品科学*, 2016, 37(12): 217–221.
CAI LF. Determination of nine N-nitroso compounds in meat products by solid phase extraction purification and high performance liquid chromatography [J]. *Food Chem*, 2016, 37(12): 217–221.
- [52] 王艳丽, 梁秀清, 陈倩倩, 等. 通过式固相萃取-气相色谱-串联质谱法测定动物源性食品中 11 种 N-亚硝胺类化合物[J]. *肉类研究*, 2023, 37(3): 33–39.
WANG YL, LIANG XQ, CHEN QQ, *et al.* Determination of eleven n-nitrosamines in animal derived foods by gas chromatography-tandem mass spectrometry after pass-through solid phase extraction [J]. *Meat Res*, 2023, 37(3): 33–39.
- [53] 刘聪聪, 王冲, 叶可萍, 等. 加工肉制品中多环芳烃的研究现状[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(2): 367–377.
LIU CC, WANG C, YE KP, *et al.* Research status of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in processed meat products [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2021, 21(2): 367–377.
- [54] ZEHUI TU, NIE W, WANG S, *et al.* Migration, transformation and control of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled and smoked meat products: A review [J]. *Meat Res*, 2017, 31(8): 49–54.
- [55] LIU C, WANG C, YE K, *et al.* Effect of fatty acid on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and the proposed formation mechanism during electric roasting [J]. *Br Food J*, 2019, 121(12): 3193–3207.
- [56] 白雪. 烤羊肉中多环芳烃形成及抑制研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2021.
BAI X. Study on the formation and inhibition of PAHs in roasted lamb [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2021.
- [57] LU F. Formation and control of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons during meat processing [D]. UK: University of Reading, 2018.
- [58] PENG Y, YONGLI LI, CHEN Y, *et al.* Determination of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in meat samples by gas chromatography-isotope dilution mass spectrometry approach [J]. *Food Sci*, 2019, 40(12): 321–325.
- [59] WONGMANEERATIP W, VANGNAI K. Effects of oil types and pH on carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled chicken [J]. *Food Control*, 2017, 79: 119–125.
- [60] 李莎, 曾习文, 申睿, 等. QuEChERS-气相色谱—三重四极杆质谱法测定辣条中 16 种多环芳烃[J]. *食品与机械*, 2022, 38(7): 68–74, 79.
LI S, ZENG XW, SHEN R, *et al.* Determination of 16 kinds of polycyclic aromatic hydrocarbons in spicy strip by QuEChERS gas chromatography-triple quadrupole mass [J]. *Food Mach*, 2022, 38(7): 68–74, 79.
- [61] 王晓那. 新型有机框架材料在食品硝基多环芳烃的检测和磷酸氯喹的去除研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
WANG XX. Novel organic frameworks for detecting nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons and removing of chloroquine phosphate in food samples [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022.
- [62] YIN LB, LEI ZM, ZHOU J, *et al.* Application of HACCP in production process of Hunan flavored leisure dried tofu [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(5): 1920–1925.
- [63] HASYIMAH AN, JINAP S, SANNY M. Simultaneous formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heterocyclic aromatic amines (HCAs) in gas-grilled beef satay at different temperatures [J]. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 2018, 35(5): 848–869.
- [64] MIN, SAEROM, PATRA, *et al.* Factors influencing inhibition of eight polycyclic aromatic hydrocarbons in heated meat model system [J]. *Food Chem*, 2018, 239: 993–1000.
- [65] 樊贺雨. 油炸牛肉饼中晚期糖基化终末产物和杂环胺形成受加工条件的影响及控制[D]. 南昌: 南昌大学, 2022.
FAN HY. The formation and inhibitory effect of processing conditions on the formation of advanced glycation end products and heterocyclic aromatic amines in fried beef patties [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.
- [66] LEE JG, KIM SY, MOON JS, *et al.* Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats [J]. *Food Chem*, 2016, 199(MAY 15): 632–638.
- [67] 蔡鲁峰, 李娜, 杜莎, 等. N-亚硝基化合物的危害及其在体内外合成和抑制的研究进展[J]. *食品科学*, 2016, 37(5): 7.
CAI LF, LI N, DU S, *et al.* Progress in hazards, synthesis and inhibition of N-nitroso compounds *in vitro* and *in vivo* [J]. *Food Chem*, 2016, 37(5): 7.
- [68] YU Y, CHENG Y, WANG C, *et al.* Inhibitory effect of coriander (*Coriandrum sativum* L.) extract marinades on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in roasted duck wings [J]. *Food Sci Hum Well*, 2023, 12(4): 1128–1135.
- [69] GONG G, ZHAO X, WU S. Effect of natural antioxidants on inhibition of parent and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in Chinese fried bread youtiao [J]. *Food Control*, 2018, 87: 117–125.
- [70] ÖZBAY S. Determination of volatile N-nitrosamines formed in salami cooked by different processes [J]. *J Food Compos Anal*, 2022, 112: 104691.
- [71] 王玮. 运用不同热加工方式减控烤牛肉饼中杂环胺的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2021.
WANG W. Research on reducing heterocyclic aromatic amines in grilled beef patties with different thermal processes [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2021.
- [72] 朱严华. 煎烤鱿鱼中多环芳烃的形成及其控制[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021.
ZHU YH. Effect of chitosan on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) formation in fried squid and its mechanism [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2021.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



文 雯, 主要研究方向为食品加工与质量安全控制。

E-mail: 2387015957@qq.com



董 浩, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工与质量安全控制。

E-mail: donghao@zhku.edu.cn