

烤肉制品中杂环胺的研究进展

姜玉清, 梁小慧, 张 帅, 甄宗圆*

(枣庄学院食品科学与制药工程学院, 枣庄 277160)

摘 要: 杂环胺(heterocyclic aromatic amines, HAAs)是一类有致癌和致突变作用的化合物, 肉制品烤制的烹调方法会产生杂环胺。随着人们对健康安全的要求越来越高, 杂环胺的检测以及控制杂环胺形成越来越受到人们的关注。本文对国内外烤肉制品中产生的杂环胺的最新研究进展进行综述, 主要对烤肉制品中杂环胺形成的影响因素、检测方法、新型绿色工艺方式等方面进行了阐述, 并对未来的研究进行展望。

关键词: 杂环胺; 影响因素; 检测方法; 控制措施

Research progress of heterocyclic aromatic amines in roast meat product

JIANG Yu-Qing, LIANG Xiao-Hui, ZHANG Shuai, ZHEN Zong-Yuan*

(College of Food Science and Pharmaceutical Engineering, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, China)

ABSTRACT: Heterocyclic aromatic amines (HAAs) is a class of compounds that has carcinogenic and mutagenic effects. Meat roasting cooking methods can produce heterocyclic amines. With the increasing demand for health and safety, the detection and control of heterocyclic aromatic amines have attracted more and more attention. This paper reviewed the latest research progress of heterocyclic aromatic amines produced in barbecue meat products at home and abroad, described the influencing factors and the detection methods of heterocyclic aromatic amines in barbecue products and their new green processing methods, and prospected the future research.

KEY WORDS: heterocyclic aromatic amines; influencing factors; test methods; control measures

1 引 言

烤肉制品作为肉制品消费中的一大类, 其在烤制后产生的杂环胺类化合物, 除对心肌有损伤作用还有致癌和致突变的作用^[1], 受到人们的广泛关注, 杂环胺是通过复杂的美拉德反应途径形成的, 目前发现的已有 30 多种^[2], 通常分为氨基-咪唑-氮杂芳烃类(amino-imidazo-azaarenes, AIAs)杂环胺和氨基-咔啉类(amino-carbolines)杂环胺两大类^[3,4]。AIAs 类杂环胺形成温度一般在 100~300 °C 之间, 被

称为“热型杂环胺”(themic HAAs), 且与 IQ(2-氨基-3-甲基咪唑并[4,5-f]喹啉)性质相似, 因此又被称为 IQ 型杂环胺, 即极性杂环胺; 氨基-咔啉类杂环胺的形成温度通常超过 300 °C, 主要是由氨基酸或蛋白质高温热解而形成, 因此被称为“热解型杂环胺”(pyrolytic HAAs), 又称非极性杂环胺^[5]。烤肉制品中易产生杂环胺, 与人类健康息息相关, 一直是人们所关注的热点, 因此能有效减少烤肉制品中杂环胺形成的绿色工艺, 是目前研究重点, 目的是使人们享受美食的同时能够减少杂环胺带来的危害。本文重点阐述了

基金项目: 枣庄市科学技术发展计划项目(2017NS09)、枣庄学院博士科研项目(1020704)、枣庄学院人才引进项目(745010108)、枣庄市科学技术发展计划项目(2019NS09)

Fund: Supported by Zaozhuang Municipal Science and Technology Project (2017NS09), Research Fund for the Doctoral Program of Zaozhuang University (1020704), Zaozhuang University Talents Introduction Project (745010108), and Zaozhuang Municipal Science and Technology Project (2019NS09)

*通讯作者: 甄宗圆, 主要研究方向为肉品科学。E-mail: zongyuanzhen@163.com

*Corresponding author: ZHEN Zong-Yuan, School of Food Science and Pharmaceutical Engineering, Zaozhuang College, 1th Northampton Road, Zaozhuang Village, Zaozhuang 277160, China. E-mail: zongyuanzhen@163.com

添加各种不同外源物质和新型改良加工方式分别对烤肉中杂环胺的抑制作用,为以后探究添加复配后的外源成分与不同新型物理加工方式相结合从而更好降低烤肉制品中杂环胺的方法提供参考,期望找到更多风味和抑制效果均佳的烤肉工艺。

2 影响杂环胺形成的因素

HAAs 是通过复杂的美拉德反应途径形成的,其形成受温度、时间、加工方式、水分含量、pH、前体化合物、原料肉种类、营养成分等多种因素的影响。

2.1 加工条件

在众多的影响因素中,加工条件的影响最为显著,如温度和时间^[6]。有研究表明在高温情况下,短时间焙烤的烤肉中所形成的杂环胺的情况接近于低温长时间焙烤时的情况,焙烤温度越高的烤肉受到时间影响更明显^[4]。在加热的初期 HAAs 的含量均随着加热时间的延长有所上升,但在高温情况下,长期加热会导致 HAAs 含量的下降,这种下降趋势是由 HAAs 的热降解导致的^[7]。原料肉形态会对加工有一定的影响,羊肉饼重量增加时,极性杂环胺的含量显著降低,而非极性杂环胺的含量降低不显著;绞碎可显著增加极性杂环胺的含量,对非极性杂环胺的含量无显著影响,但未绞碎组非极性杂环胺的含量低于绞碎组^[8]。另外烧烤类型如钢丝烧烤架和石材烤架以及烹调水平的不同也会对杂环胺的形成造成影响^[9]。因此把握好温度和时间,利用合理的加工方式,合理的原料肉形态尤为重要。

2.2 食物成分

食物成分包括形成杂环胺的前体化合物、营养成分,前体物质的不同则产生杂环胺的种类和含量也不相同,营养成分不同的食物产生的杂环胺种类和数量也有很大差异。

肉制品形成 HAAs 的前体化合物主要是来自于肌肉组织中,包括肌酸(酐)、糖类、游离氨基酸和一些二肽等,这些前体化合物的含量会显著影响 HAAs 形成^[4]。在烤牛肉中杂环胺的形成与生牛肉中各种氨基酸存在密切相关^[10]。在模拟体系中前体物质肌酐和苯丙氨酸的量增大,PhIP(2-氨基-1-甲基-6-苯基-咪唑[4,5-b]吡啶)产生量也随之增大;前体物质肌酐、甘氨酸和葡萄糖的量增大,MeIQx(2-氨基-3,8-二甲基咪唑[4,5-f]喹恶啉)生成量先增大后减小^[11]。

而在烹调温度、烹调时间和食物水分含量相同的情况下,营养成分不同的食物产生的杂环胺种类和数量也有很大差异。一般而言,蛋白质含量较高的食物产生的杂环胺较多^[12],而蛋白质的氨基酸构成则直接影响所产生杂环胺的种类^[10,13]。酸甜度也会影响,高浓度的有机酸性成分发现能有效减少杂环胺形成,当高浓度有机酸中添加含有蔗糖,可大幅度减少 IQx(2-氨基-3-甲基咪唑并[4,5-f]喹啉),MeIQx, MeLQ(2-氨基-3,4-二甲基咪唑[4,5-f]喹啉)在鸡肉

中的浓度^[14]。脂肪含量的多少也会对杂环胺的生成产生影响,脂肪添加量的增加,会使 MeIQx、4, 8-DiMeIQx(2-氨基-3,4,8-三甲基咪唑并[4,5-f]喹啉)和 PhIP 3 种极性杂环胺的含量显著升极性杂环胺的含量无显著性变化^[8]。

3 杂环胺检测方法

杂环胺的检测方法有多种。高效液相色谱法^[15,16]可以检测市售不同加工方式的肉制品中的各类杂环胺,并且检测结果较为准确。肖维等^[17]采用固相萃取-高效液相色谱法测定鱼肉制品中的杂环胺,对前处理条件以及色谱条件进行了优化,可为杂环胺在鱼肉制品中的消除规律和毒理评价提供灵敏、准确的分析手段。曾茂茂等^[18]在样品进行前处理后用液相色谱质谱联用仪对 17 种杂环胺进行检测,此方法提供了 17 种杂环胺的定性与定量特征离子及优化的质谱参数,能够同时检测 17 种极性、非极性的杂环胺,且回收率高、精度高、速度快,具有广泛的应用前景。徐琦等^[19]采用超高效液相色谱-电喷雾串联质谱法快速测定鱼类加工品中多种 HAAs,该方简便快捷,准确度高,易推广应用。Yan 等^[20]采用乙腈萃取预处理方法外加超高效液相色谱联用串联光谱法同时测定 17 种杂环芳香胺,这种新方法可以获得更好的回收率(在 42.5%到 99.0%的范围内)和更好的重复性(低于 12.2%)。

2017 年 3 月 1 日实施了 GB 5009.243-2016《食品安全国家标准 高温烹调食品中杂环胺类物质的测定》^[21]。标准适用于烤鱼、烤肉及其制品中 MeIQ、MeIQx、4,8-DiMeIQx、7,8-DiMeIQx(2-氨基-3,7,8-三甲基咪唑并[4,5-f]喹啉)、PhIP 的测定。试样采用氢氧化钠/甲醇溶液提取,固相萃取柱净化,液相色谱-串联质谱检测,内标法定量。

高效液相色谱法可用于大多数杂环胺的检测,固相萃取-高效液相色谱法、超高效液相色谱-电喷雾串联质谱法可用于鱼类制品中杂环胺的测定,液相色谱质谱联用仪法、乙腈萃取预处理方法外加超高效液相色谱联用串联光谱法可同时检测多种极性非极性杂环胺且回收率高。

4 控制措施

4.1 通过工艺方式降低杂环胺

杂环芳香胺在烧烤中易出现,制定合理的工艺可以降低其产生的含量。适当选择烹调工艺参数,如冷冻储存、热加工等可以确保整体感官品质,同时在烧烤过程中可以使杂环胺含量较低^[22]。

新型绿色的制作工艺,可以在保证良好口感的基础上最大限度降低含有的杂环胺的含量。石金明^[23]研究了烤鸭热力场干燥加工技术,在色香味等均最佳的情况下,12 种杂环胺总残留量仅为传统烤鸭的几十分之一,优于传统

烤鸭加工技术。王雅琪^[24]研究了烤鸭红外蒸汽烤制工艺, 可使食物色香味等均最优的情况下杂环胺含量有效降低。孟婷婷^[25]研究了烤羊腿制作工艺, 过热蒸汽联合红外光波烤制法最佳工艺参数为过热蒸汽烤制温度 240 °C、过热蒸汽时间 50 min、光波烤制温度 240 °C 以及光波烤制时间 60 min, 杂环胺含量低、烤羊腿品质好。

最近, 有相关研究者发明了几种可以降低烧烤肉制品中杂环胺含量的方法。(1)曾茂茂等^[26]研究发明了基于酰胺类活性成分降低结合态杂环胺含量的方法, 该方法是将含酰胺类活性成分的溶液均匀加入牛肉糜中, 成型后放入烤箱烤制, 使用这种方法能有效大幅降低烤牛肉中结合态杂环胺的含量。(2)曾茂茂等^[27]研究发明了基于酰胺类活性成分降低游离态杂环胺含量的方法, 该方法是将含酰胺类活性成分的溶液均匀加入牛肉糜中, 成型后放入烤箱烤制, 所述酰胺类活性成分的添加量占牛肉糜的总质量的 0.005%~0.015%, 使用这种方法能有效大幅降低烤牛肉中游离态杂环胺的含量。这 2 种方法若可以成功结合在一起运用, 则可以成为一种新的即能大幅降低烤牛肉中结合态与又能大幅降低烤牛肉中游离态杂环胺的新型方法, 更为绿色安全。(3)曾茂茂等^[28]研究发明了一种基于天然复配香辛料降低结合态杂环胺含量的方法, 该方法是将天然复配香辛料与牛肉糜混合, 成型, 放入烤箱烤制, 能有效大幅降低烤牛肉中结合态杂环胺的含量。(4)廖国周等^[29]研究发明了一种降低烤肉中杂环胺含量的方法, 该方法将原料肉切成小块备用, 按原料肉重称取食盐 3.5%~4.5%、天然提取物 0.35%~0.8%、白砂糖 0.75%~1.3%、香辛料 2.2%~3.6%、料酒 0.8%~1.35%, 与肉块混匀后腌制 7 h, 将腌制好的肉块用竹签串好, 用碳火均匀烤制, 该方法添加的均是能有效降低烤肉中杂环胺含量的天然提取物, 且在烤制过程中添加适量的食盐、白砂糖、香辛料以及料酒, 各辅料协同作用, 从而对杂环胺的抑制效果更好, 使烤肉的口感更佳。这 4 种方法都可使烤肉制品食用更安全, 并且方法成本低, 可适用于大规模工厂化生产, 能够保证烤肉制品的风味更加浓香持久, 完全符合天然、绿色、健康的发展趋势, 一旦得到广泛应用, 必定有利于民。

4.2 添加外源成分对烤肉制品中杂环胺抑制作用

添加外源活性成分会与杂环胺前体化合物形成稳定的加合物进而抑制杂环胺的生成^[30]。国内外有很多杂环胺抑制措施的研究。添加维生素 E^[31]、蜂蜜^[32]、红葡萄酒调味料^[33]、中低分子壳聚糖^[34]、大豆分离蛋白和淀粉^[35]、0.5% 和 1% 山楂提取物^[36]、石榴籽提取物^[37]、洋蓟提取物^[38]均会对杂环胺的形成有抑制作用。以上是不同研究者单独进行研究验证得到的结论, 在以后的研究中可将其进行适当的复配, 探究能否找出合理且比单独使用更优的方法。

另外, 香辛料类以及黄酮类的添加对烤肉制品中杂

环胺的抑制作用研究也一直是研究者们研究的重点, 并且取得了许多研究成果。

4.2.1 添加香辛料类提取物对烤肉制品中杂环胺抑制作用

添加香辛料类提取物可以抑制烤肉制品中杂环胺的生成, 因为烤肉过程会发生美拉德反应产生多种氧化自由基参与杂环胺的生成, 香辛料的抗氧化性以及其含有的酰胺类化合物会清除自由基进而抑制杂环胺形成^[39]。Lu 等^[40]研究表明用 0.5% 大蒜、洋葱、红辣椒、辣椒粉、生姜和黑胡椒粉添加到牛肉和鸡肉肉丸中, 可以抑制总杂环胺的形成, 并且生姜粉的抑制效率最高。Zeng 等^[41]发现在烤牛肉馅饼中添加花椒可减少高达 100% 的 PhIP、IQx、MeIQx、4,8-DiMeIQx。Jinap 等^[42]发现在烤肉的时候使用一些精选香辛料如姜黄、火炬生姜、柠檬草和咖喱叶等, 会减少杂环胺的生成。Zeng 等^[43]研究发现在烤牛肉饼中添加辣椒和辣椒素可以抑制杂环胺的生成, 并且辣椒素抑制效果更好。张梦茹^[44]发现在烤牛肉饼中添加辛辣味的香辛料如辣椒、花椒、黑胡椒以及其所含的特征成分(酰胺类化合物)辣椒素、花椒麻素和胡椒碱均可有效抑制杂环胺的生成。

香辛料的添加可以改善风味和降低杂环胺含量, 因此研究适合的香辛料复配方法, 对人们健康食用烤肉制品有重要意义。

4.2.2 添加黄酮类提取物对烤肉制品中杂环胺抑制作用

黄酮类物质在自然界中广泛存在, 添加黄酮类化合物可以抑制烤肉制品中杂环胺的生成。一是因为黄酮类化合物有抗氧化性可清除美拉德反应形成的烷氧自由基^[45], 二是因为其对生成 PhIP 的中间体苯乙醛有清除作用^[46], 两者共同作用抑制杂环胺的生成。秦川^[46]的研究结果表明在烤牛肉中添加日常生活中常见的膳食类黄酮化合物如柚皮素、山奈酚、槲皮素、根皮苷、EGCG、染料木素、木犀草素和芹菜苷元等, 对烤牛肉中多种杂环胺 8 种黄酮类化合物均有明显的抑制作用, 对于杂环胺 PhIP, 除木犀草素外, 其余 7 种黄酮类化合物均有显著的抑制作用。于春娣等^[47]发现在烤牛肉中添加甘薯叶黄酮提取物、槲皮素、芦丁、甘草素、葛根素这几种黄酮类物质, 对 PhIP 的抑制率顺序是: 甘薯叶黄酮类物质>芦丁>槲皮素>甘草素>葛根素。

黄酮类提取物的添加可以改善风味和降低杂环胺含量, 因此研究适合的黄酮类复配方法, 对人们健康食用烤肉制品有重要意义。

4.3 通过增加其他营养成分消除杂环胺危害

杂环胺在人体内致癌致突变的作用可以通过添加不同的水果和蔬菜提取物来减弱^[48], 水果蔬菜里的膳食纤维可以吸附杂环胺, 能降低其活性, 抑制其危害作用^[49]。有研究者研究杂环胺和水果摄入对 DNA 损伤的联合作用, 结果表明水果摄入可以减弱杂环胺对 DNA 的损伤, 也就

是可以减少致癌致突变^[50]。所以在日常生活中人们应该多摄取一些蔬菜水果,用来抑制杂环胺对人体的危害作用。

5 未来展望

加工肉制品中的有害物质研究一直是研究的热点,尤其是烤肉制品中杂环胺的研究,近年来人们对肉制品中杂环胺检测方法研究逐渐增多,但如何更快速有效的检测出其中含有的杂环胺含量尚且还需要更多的研究。研发出烤肉制品工业化加工新技术是研究方向,在烤肉之前对肉进行腌制等前处理,使用外源物质如香辛料、黄酮类化合物、植物提取物等,利用它们的抗氧化活性及酚类物质等抑制烧烤肉制品中杂环胺的产生,使烤肉尽量避免有害物质的产生。未来希望研究出不同肉类与不同复配外源物质及不同新型烤制工艺相结合的方法,从而使得风味最佳有害物质含量最低。

参考文献

- [1] 洪燕婷,王盼,朱雨辰,等.肉制品中杂环胺形成与控制的研究进展[J].中国食品学报,2014,14(11):149-156.
Hong YT, Wang P, Zhu YC, *et al.* Development in controlling and formation of heterocyclic amines in meat [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2014, 14(11): 149-156.
- [2] 薛超铁,何志勇,高大明,等.加工肉制品中杂环胺的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2018,9(14):3590-3597.
Xue CY, He ZY, Gao DM, *et al.* Heterocyclic aromatic amines in processed meat products [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(14): 3590-3597.
- [3] 张明.烹调过程中杂环胺类化合物的产生与控制[J].食品安全导刊,2017,(15):37-37.
Zhang M. Production and control of heterocyclic amine compounds during cooking [J]. China Food Saf Magaz, 2017, (15): 37-37.
- [4] 鄢嫻.烤肉中杂环胺的形成规律的研究[D].无锡:江南大学,2015.
Yan Y. Study on the formation regularity of heterocyclic amines in barbecue [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.
- [5] 谢洋洋,王小溪,闫文杰,等.肉制品中杂环胺的研究进展[J].食品研究与开发,2017,38(15):199-205.
Xie YY, Wang XX, Yan WJ, *et al.* Research progress of heterocyclic aromatic amines in meat products [J]. Food Res Dev, 2017, 38(15): 199-205.
- [6] 曾茂茂,李洋,何志勇,等.液相色谱-质谱联用法结合主成分分析考察食品中前体物质对杂环胺生成的影响[J].分析化学,2014,42(1):71-76.
Zeng MM, Li Y, He ZY, *et al.* Effects of different precursors on formation of heterocyclic amines of processed food by ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry combined with principal component analysis [J]. Anal Chem, 2014, 42(1): 71-76.
- [7] Chiu CP, Chen BH. Stability of heterocyclic amines during heating [J]. Food Chem, 2000, 68(3): 267-272.
- [8] 郭海涛,王振宇,潘晗,等.脂肪含量及原料肉形态对烤羊肉饼中杂环胺形成的影响[J].核农学报,2014,28(1):91-96.
Guo HT, Wang ZY, Pan H, *et al.* Effects of fat content and raw meat shape on the formation of heterocyclic aromatic amines in roasted mutton patties [J]. J Nucl Agric Sci, 2014, 28(1): 91-96.
- [9] Fatih OZ, Onur YM. The effects of cooking on wire and stone barbecue at different cooking levels on the formation of heterocyclic aromatic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in beef steak [J]. Food Chem, 2016, 203(15): 59-66.
- [10] Arkadiusz S. Heterocyclic aromatic amines in grilled beef: The influence of free amino acids, nitrogenous bases, nucleosides, protein and glucose on HAAs content [J]. J Food Compos Anal, 2015, (40): 34-36.
- [11] 侯伶俐.核苷、碱基及核糖对 PhIP 和 MeIQx 形成影响的研究[D].天津:天津科技大学,2017.
Hou LL. Study on the effects of nucleoside, base and ribose on the formation of PhIP and MeIQx [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2017.
- [12] Monika G, Jochen W. Impact of precursors creatine, creatinine, and glucose on the formation of heterocyclic aromatic amines in grilled patties of various animal species [J]. J Food Sci, 2015, 80(11): 10.
- [13] Sztark A. Chemical state of heterocyclic aromatic amines in grilled beef: evaluation by in vitro digestion model and comparison of alkaline hydrolysis and organic solvent for extraction [J]. Food Chem Toxicol, 2013, 62(12): 653-660.
- [14] Jinap S, Hasnol NDS, Sanny M, *et al.* Effect of organic acid ingredients in marinades containing different types of sugar on the formation of heterocyclic amines in grilled chicken [J]. Food Control, 2018, (84): 478-484.
- [15] 李可,韩雪,谢美娟,等. HPLC 法检测市售传统肉制品中的杂环胺含量[J].现代食品科技,2017,(10):294-301.
Li K, Han X, Xie MJ, *et al.* Determination of heterocyclic amine content in traditional meat products commercially by HPLC [J]. Mod Food Sci Technol, 2017, (10): 294-301.
- [16] 吕慧超,彭增起,刘森轩,等.温和条件下模型体系中烧烤风味及杂环胺形成测定[J].食品科学,2015,36(8):150-155.
Lu HC, Peng ZQ, Liu SX, *et al.* Formation of heterocyclic aromatic amines in model system approximating roast flavor under moderate conditions [J]. Food Sci, 2015, 36(8): 150-155.
- [17] 肖维,张雁,万译为,等.固相萃取-高效液相色谱法测定鱼制品中8种杂环胺类化合物[J].理化检验(化学分册),2014,(7):879-883.
Xiao W, Zhang Y, Wan YW, *et al.* HPLC determination of 8 heterocyclic amines in fish products with solid phase extraction [J]. Phys Test Chem Anal B, 2014, (7): 879-883.
- [18] 曾茂茂,陈静,陈洁,等.一种检测结合态杂环胺含量的方法:中国,CN107290452A [P]. 2017-10-24.
Zeng MM, Chen J, Chen J, *et al.* A method for detecting the content of combined heterocyclic amines: CN107290452A [P]. 2017-10-24.
- [19] 徐琦,杨洪生,吴光红,等.超高效液相色谱-电喷雾串联质谱法同时测定鱼类加工品中12种杂环胺类化合物[J].南方水产科学,2012,8(4):7-15.
Xu Q, Yang HS, Wu GH, *et al.* Simultaneous determination of 12 heterocyclic aromatic amines in fish processing products by UPLC/ESI-MS/MS [J]. South China Fish Sci, 2012, 8(4): 7-15.
- [20] Yan Y, Zhang S, Tao GJ, *et al.* Acetonitrile extraction coupled with UHPLC-MS/MS for the accurate quantification of 17 heterocyclic aromatic amines in meat products [J]. J Chromatogr B, 2017, (1068-1069):

- 173–179..
- [21] GB 5009. 243-2016 食品安全国家标准 高温烹调食品中杂环胺类物质的测定[S].
- GB 5009.243-2016 National standards for food safety-Determination of heterocyclic amine substances in high-temperature cooking foods [S].
- [22] Arkadiusz S, Katarzyna J. Influence of the cold storage time of raw beef meat and grilling parameters on sensory quality and content of heterocyclic aromatic amines [J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 61(2): 299–308.
- [23] 石金明. 传统烤鸭热力场干燥加工技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- Shi JM. Study on drying and processing technology of traditional roast duck thermal field [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [24] 王雅琪. 烤鸭品质评价方法及红外蒸汽烤制工艺参数优化研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
- Wang YQ. Study on quality evaluation method of roast duck and optimization of infrared steam baking process parameters [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2017.
- [25] 孟婷婷. 过热蒸汽联合红外光波烤制羊腿工艺参数优化研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
- Meng TT. Study on optimization of process parameters for roasting lamb leg with superheated steam combined with infrared light wave [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2017.
- [26] 曾茂茂, 陈静, 陈洁, 等. 一种基于酰胺类活性成分降低结合态杂环胺含量的方法: 中国, CN107183507A [P]. 2017-09-22.
- Zeng MM, Chen J, Chen J, *et al.* A method for reducing the content of combined heterocyclic amine based on the active ingredient of amide: China, CN107183507A [P]. 2017-09-22.
- [27] 曾茂茂, 陈静, 陈洁, 等. 一种基于酰胺类活性成分降低游离态杂环胺含量的方法: 中国, CN107183508A [P]. 2017-09-22.
- Zeng MM, Chen J, Chen J, *et al.* A method for reducing the content of free heterocyclic amine based on the active ingredient of amide: China, CN107183508A [P]. 2017-09-22.
- [28] 曾茂茂, 陈静, 陈洁, 等. 一种基于天然复配香辛料降低结合态杂环胺含量的方法: 中国, CN107183546A [P]. 2017-09-22.
- Zeng MM, Chen J, Chen J, *et al.* A method for reducing the content of combined heterocyclic amine based on natural compound spices: China, CN107183546A [P]. 2017-09-22.
- [29] 廖国周, 普岳红, 王桂瑛, 等. 一种降低烤肉中杂环胺含量的方法: 中国, CN107535877A [P]. 2018-01-05.
- Liao GZ, Pu YH, Wang GY, *et al.* A method to reduce the content of heterocyclic amine in barbecue: China, CN107535877A [P]. 2018-01-05.
- [30] 陈炎, 蔡克周, 杨潇, 等. 外源成分对肉制品中杂环胺抑制效果的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(23): 329–333.
- Chen Y, Cai KZ, Yang X, *et al.* Inhibition of heterocyclic aromatic amines in meat products by exogenous components: A review [J]. Food Sci, 2015, 36(23): 329–333.
- [31] Ruan ED, Juárez M, Thacker R, *et al.* Dietary vitamin E effects on the formation of heterocyclic amines in grilled lean beef [J]. Meat Sci, 2014, 96(2): 849–853.
- [32] Hasnol NDS, Jinap S, Sanny M. Effect of different types of sugars in a marinating formulation on the formation of heterocyclic amines in grilled chicken [J]. Food Chem, 2014, 145(15): 514–521.
- [33] Javier GL, Olga V, Maria L, *et al.* Influence of red wine pomace seasoning and high-oxygen atmosphere storage on carcinogens formation in barbecued beef patties [J]. Meat Sci, 2017, (125): 10–15.
- [34] Fatih OZ, Mevlüde K, Ali Z, *et al.* The effects of direct addition of low and medium molecular weight chitosan on the formation of heterocyclic aromatic amines in beef chop [J]. LWT-Food Sci Technol, 2016, (65): 861–867.
- [35] 鄢姆, 曾茂茂, 陈洁, 等. 不同添加量的大豆分离蛋白和淀粉对猪肉中杂环胺形成的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 324–328, 339.
- Yan Y, Zeng MM, Chen J, *et al.* Effects of soy protein isolation and starch with different addition levels on the formation of heterocyclic aromatic amines in roasted pork [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(22): 324–328, 339.
- [36] Tengilimoglu-Metin MM, Hamzalioglu A, Gokmen V, *et al.* Inhibitory effect of hawthorn extract on heterocyclic aromatic amine formation in beef and chicken breast meat [J]. Food Res Int, 2017, 99(1): 586–595.
- [37] Hasan K, Ali Ü. Inhibitory effects of pomegranate seed extract on the formation of heterocyclic aromatic amines in beef and chicken meatballs after cooking by four different methods [J]. Meat Sci, 2014, 96(4): 1446–1451.
- [38] Tengilimoglu-Metin MM, Mevlude K. Reducing effect of artichoke extract on heterocyclic aromatic amine formation in beef and chicken breast meat [J]. Meat Sci, 2017, (134): 68–75.
- [39] 曾茂茂, 王俊辉, 陈静, 等. 香辛料的抗氧化活性及对肉制品中杂环胺的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(1): 1–6.
- Zeng MM, Wang JH, Chen J, *et al.* Antioxidant capacity and effect of spices on heterocyclic amines formation in meat products [J]. J Food Biotechnol, 2018, 37(1): 1–6.
- [40] Lu F, Kuhnle GK, Cheng Q. The effect of common spices and meat type on the formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in deep-fried meatballs [J]. Food Control, 2018, 92(10): 399–411.
- [41] Zeng MM, Wang JH, Zhang MR, *et al.* Inhibitory effects of Sichuan pepper (*Zanthoxylum bungeanum*) and sanshoamide extract on heterocyclic amine formation in grilled ground beef patties [J]. Food Chem, 2018, 239(15): 111–118.
- [42] Jinap S, Shahzad ZI, Roshny MP. Effect of selected local spices marinades on the reduction of heterocyclic amines in grilled beef (satay) [J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 63(2): 919–926.
- [43] Zeng MM, Wang JH, He ZY, *et al.* Inhibitory profiles of chilli pepper and capsaicin on heterocyclic amine formation in roast beef patties [J]. Food Chem, 2017, 221(15): 404–411.
- [44] 张梦茹. 辛辣味香辛料及其特征成分对烤牛肉饼中杂环胺生成规律的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- Zhang MR. Study on the effect of spicy spices and their characteristic components on the formation of heterocyclic amines in roast beef cakes [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [45] 邵泽平. 黄酮类物质对MeIQx和7,8-DiMeIQx产生的抑制作用研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2016.
- Shao ZP. Study on the inhibitory effects of flavonoids on MeIQx and 7,8-DiMeIQx [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016.
- [46] 秦川. 膳食类黄酮抑制烤牛肉饼中杂环胺 PhIP 的形成作用研究[D].

无锡: 江南大学, 2014.

Qin C. Study on the formation of heterocyclic amine PhIP in roast beef cake by dietary flavonoids [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.

- [47] 于春娣, 邵泽平, 张燕, 等. 模拟体系中 PhIP 的产生规律及抑制作用研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(7): 18–22.

Yu CD, Shao ZP, Zhang Y, *et al.* The study of formation rule and inhibitory effect on PhIP in model system [J]. Food Res Dev, 2017, 38(7): 18–22.

- [48] Ubaid R, Amna S, Muhammad IK, *et al.* Production of heterocyclic aromatic amines in meat: Chemistry, health risks and inhibition: A review [J]. LWT-Food Sci Technol, November 2014, 59(1): 229–233.

- [49] Wong D, Cheng KW, Wang MF. Inhibition of heterocyclic amine formation by water-soluble vitamins in Maillard reaction model systems and beef patties [J]. Food Chem, 2012, 133(3): 760–766.

- [50] Carvalho AMD, Carioca AAF, Fisberg RM, *et al.* Joint association of fruit and heterocyclic amine intake with DNA damage levels in a general

population [J]. Nutrition, 2016, 32(2): 260–264.

(责任编辑: 武英华)

作者简介

姜玉清, 主要研究方向为食品科学与工程。

E-mail: 2323392309@qq.com

甄宗圆, 主要研究方向为肉品科学。

E-mail: zongyuanzhen@163.com

“功能性食品微生物”专题征稿函

随着经济的发展和人们生活水平的不断提高, 人们对食品的要求已从单纯的温饱转向了“功能、营养和健康”的新要求; 膳食结构和组成是影响健康和疾病发生的重要因素, 在人们多年以来追求中医、西医或中西医结合预防和治疗疾病模式外, 渐渐转“医补”为“食疗”, 期望利用食品的功能性达到促进健康和干预疾病的目的。因此, 以功能性食品微生物为核心的功能性食品如益生菌、乳酸菌、微生物源 PUFA、红曲等已逐渐深入人心, 这也推动了功能性食品微生物资源开发与应用的发展。在 21 世纪生物技术大发展的时代背景下, 利用食品微生物的特定功能性质, 开发系列健康的功能食品成为重要的发展趋势。目前, 以功能性微生物为核心的技术与产品已广泛用于食品、保健品、医药和饲料行业, 应用前景十分广阔。

功能性食品微生物是一类通过菌体细胞或代谢产物能够赋予食品具有特定功能性质、或者显著改进和优化食品制造工艺的微生物。鉴于此, 本刊特别策划了“功能性食品微生物”专题, 由江南大学食品学院的 **田丰伟 教授** 担任专题主编, 围绕 **(1) 功能性食品微生物的资源发掘、高效筛选、分离鉴定, (2) 功能性食品微生物的生物性质、功能机理与作用机制, (3) 基于功能性食品微生物的食品生物加工与制造的基础和应用研究, (4) 功能性食品微生物的评价与优化方面** 或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在 2019 年 **8 月份出版**。

鉴于您在该领域的成就, 本刊主编 **吴永宁 研究员** 及专题主编 **田丰伟 教授** 特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 **2019 年 7 月 1 日** 前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

感谢您的参与与支持!

投稿方式: (请注明功能性食品微生物专题)

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoods@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部