

烘烤、蒸煮和微波加热技术在动物源性食品加工中的应用

王科瑜¹, 杨宏旭¹, 王超英², 阮华平², 陈东坡², 周鹏^{1,*}

(1. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡 214122;

2. 杭州老板电器股份有限公司, 浙江杭州 311100)

摘要: 烘烤、蒸煮和微波加热技术作为食品工业及家庭烹饪中的主要加热手段越来越受到人们重视。而动物源性食品营养丰富, 食用价值高, 又是人们日常膳食的必需。因此, 本文综述了这三种加热技术的原理和特点, 及其在动物源性食品干燥、杀菌和烹饪中的应用, 同时重点阐述了烘烤、蒸煮和微波烹饪处理对动物源性食品营养成分、食用品质及安全性的影响, 为加热技术在食品工业及家庭烹饪中的进一步发展和应用提供新的思路。

关键词: 烘烤, 蒸煮, 微波, 动物源性食品, 原理, 应用

Application of Baking, Boiling, Microwaving Heating Techniques in Animal-derived Food Processing

WANG Ke-yu¹, YANG Hong-xu¹, WANG Chao-ying², RUAN Hua-ping², CHEN Dong-po², ZHOU Peng^{1,*}

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Hangzhou Robam Appliances Co., Ltd., Hangzhou 311100, China)

Abstract: Baking, boiling and microwaving heating techniques as the main heating methods in the food industry and home cooking are gaining more and more attention. Furthermore, animal-derived foods have become a necessity for people's daily diets because of their rich nutrition and high food value. Therefore, the principles and characteristics of these heating techniques, as well as their applications in the drying, sterilization and cooking of animal-derived foods were reviewed in this paper, also the influences caused by these techniques on the nutritional components, edible qualities and safety of animal-derived foods were emphatically elaborated, aiming to provide new ideas for the further development and utilizations of heating techniques in the food industry and home cooking.

Key words: baking; boiling; microwaving; animal-derived food; principle; application

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)13-0325-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.13.060

引文格式: 王科瑜, 杨宏旭, 王超英, 等. 烘烤、蒸煮和微波加热技术在动物源性食品加工中的应用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(13): 325-330.

动物源性食品(animal-derived food)指的是全部可食用的动物组织以及乳和蛋, 包括水生动物及其制品、畜禽肉及其制品等。该类食品营养价值高, 富含优质蛋白质、多不饱和脂肪酸及微量营养素, 成为了人们日常膳食的必需。而不同的热处理方式则在不同程度上影响着动物源性食品的营养价值和食用品质, 一方面, 温度过高或加热时间过长易造成营养素的破坏甚至有害物质的产生, 另一方面, 加热不充分则会因微生物的残留而导致食品安全性的下降。鉴于烘烤、蒸煮和微波加热技术在食品工业中应用广泛且与家庭烹饪联系密切, 因此本文概述了这三

种加热技术的原理、特点及其在动物源性食品加工中的相关应用, 并着重分析了这三种加热技术在烹饪过程中对动物源性食品营养品质、食用品质及安全性的影响, 以期在加热技术在食品工业中的进一步发展及在家庭烹饪中的广泛应用提供新的思路。

1 烘烤、蒸煮和微波加热原理及特点

1.1 烘烤加热

食品的热处理过程存在对流、传导和辐射三种基本传热方式。烘烤主要以空气对流和热辐射方式进行传热, 从食品工业及家庭应用的广泛性方面考虑, 本文所述烘烤加热技术以电热烘烤为主。导体

收稿日期: 2017-10-18

作者简介: 王科瑜(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品物性, E-mail: wangkeyu2017@163.com。

* 通讯作者: 周鹏(1975-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品物性、乳制品和水产品加工, E-mail: zhoupeng@jiangnan.edu.cn。

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-0666)。

在有电流通过时容易发热,电热烘烤利用电热元件将电能转化为内能,并以空气为媒介将热量传至食品表面及内部。红外技术的引入大大提升了烘烤速率和传热效率^[1]。利用红外技术,食品中的基本质点在加热过程中可选择性吸收与其固有频率相同的红外线,接着产生能级跃迁并加速物料间晶格和键团的振动碰撞,从而表现出自发的热效应。总体来看,红外辐射技术具有传热效率高、节能环保、产品质量好等突出特点,其传热速率通常与热源表面温度及物料温度的四次方之差成正比,同时在空气中的热损失小,对物料具有一定的穿透效应,且传热传质方向与温湿梯度方向一致,因而短时间内即可完成食品的加热。考虑到大部分食材的红外吸收光谱多集中在 2.5~20 μm 的远红外波长范围,因而采用远红外加热更能达到省时、节能的目的。

1.2 蒸煮加热

蒸煮是一种较为典型的表面热传导技术,以热水或热蒸汽为介质将热量从物料表面逐层传入内部。水浴蒸煮及高压蒸汽加热方式由于设备简单、操作方便,被最早应用于食品加工,而过热蒸汽技术的出现丰富了食品的热处理手段。过热蒸汽可由饱和蒸汽进一步加热得到,其温度高于沸点且呈无色透明状态。相同压力下,过热蒸汽的热容量明显高于饱和蒸汽,分子运动更剧烈,同时过热蒸汽在食品低温表面优先液化释放潜热也加速了热量的传导,改善了食品加热的均匀性。此外,过热蒸汽加热也可在常压下实现,设备安全性高,同时腔体内可形成低氧环境,从而降低食品中脂肪和蛋白氧化所造成的品质劣变^[2]。真空低温蒸煮技术(sous-vide cooking, SVC)利用热稳定真空装置,通过对时间和时间的控制,旨在低温条件下实现食品的蒸煮加热, SVC 在保持食品品质和营养、减少有害物质产生方面效果突出,人们对其在食品中的应用研究也更加深入^[3]。

1.3 微波加热

微波加热技术则是运用介电损耗原理将热量更直接地传递到物料内部,实现内外同时加热,因此相比于上述加热技术更易达到均匀加热的目的。微波一般指频率在 300 MHz~300 GHz(对应波长为 1 m~1 mm)范围的超高频电磁波,其交替周期变化的电磁场赋予物料中杂乱无章排列着的极性分子以一定的取向性,并使其随电场变化迅速摆动,相邻分子间出现摩擦和碰撞,这种离子极化和偶极子导电效应促使物料将电磁能转化为热能,介质温度不断升高,其具体原理如图 1 所示^[4]。微波具有的反射、透射等电磁波特性,且其在金属腔体上的损耗非常小,因而在烘烤、蒸煮和微波三种加热方式中,微波的传热效率最高。工业上常采用 915 MHz 和 2450 MHz 的微波加热物料,这就意味着极性分子在 1 s 内可转动 9.15×10^8 次或 2.45×10^9 次,相比于热传导方式,其加热速率更快且产热量可观^[5]。而物料的组分、物化特性、微波的电场强度、谐振腔设计等因素的差异也会对加热效率和均匀性造成很大影响^[6]。

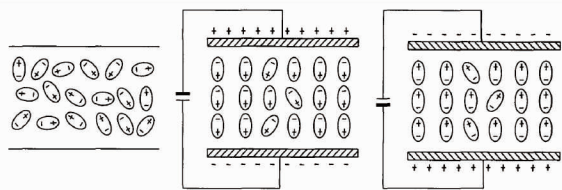


图 1 电磁场中介质极化过程示意图

Fig.1 Schematic drawing of medium polarizing in electromagnetic field

2 烘烤、蒸煮和微波加热技术在动物源性食品加工中的应用

2.1 烘烤、蒸煮和微波加热技术在动物源性食品干燥中的应用

动物源性食品经干燥处理后可脱除其中的部分水分并降低其水分活度,从而有效抑制酶的活性及微生物的生长繁殖,延长食品的货架期及保藏时间。近年来,烘烤、蒸煮和微波加热技术在动物源性食品干燥中的应用日益广泛,红外烘烤干燥、过热蒸汽干燥、微波干燥等技术各有见长,不同干燥方式的相互联合也越来越受到人们的重视。

微波干燥是一种复杂的非稳态过程,食品在微波场作用下吸收微波能并将其转化为热能,其内层水分受热后不断向外层迁移。从不同微波功率来看,高火及中高火微波处理,牛肉粒水分含量从初始的 40.48% 降至终值 21% 仅需 90 s,干燥速率快且失水均匀。同时干燥过程牛肉中的不易流动水部分向结合水转化,但其缔合程度低于原组织中的结合部分,具体如图 2 所示^[7]。此外,微波干燥相比热风干燥而言,不仅干燥所需时间明显缩短,肉质的氧化程度也显著降低,但就鸭肉粒的质构和总体色泽方面来看热风干燥更突出。而 60 $^{\circ}\text{C}$ 热风干燥结合 5 W/g 微波干燥的处理方式则可综合两者优势,显著改善产品质量^[8]。

过热蒸汽传热传质效率高,其应用于鲍鱼干燥中的处理时间约是热风干燥的 1/5,能耗低且环境友好。同时过热蒸汽结合冷风干燥也能进一步解决前者在干燥中存在的蛋白质破坏、美拉德褐变严重、口感下降等问题^[9]。基于热风的对流传热和中红外的辐射传热原理,谢小雷等^[10]利用中红外-热风组合方式(combined mid-infrared and hot air, CMIHA)干燥牛肉,结果表明中红外能更快穿透进入食材内部并引起分子振动,内部水分迅速扩散至样品表面并借助热风的对流作用从表面蒸发,其干燥时间仅为热风干燥的 45%。此外, CMIHA 在减缓肌红蛋白氧化、保持产品色泽方面同样效果显著,从图 3 中牛肉干的微观结构来看, CMIHA 干燥产品仍具有较完整的肌纤维束且纤维直径较大,与感官上具有较好的弹性和咀嚼性相对应。

2.2 烘烤、蒸煮和微波加热技术在动物源性食品杀菌中的应用

动物源性食品的原材料及热加工产品在保藏中容易因微生物污染而腐败变质,烘烤、蒸煮和微波加

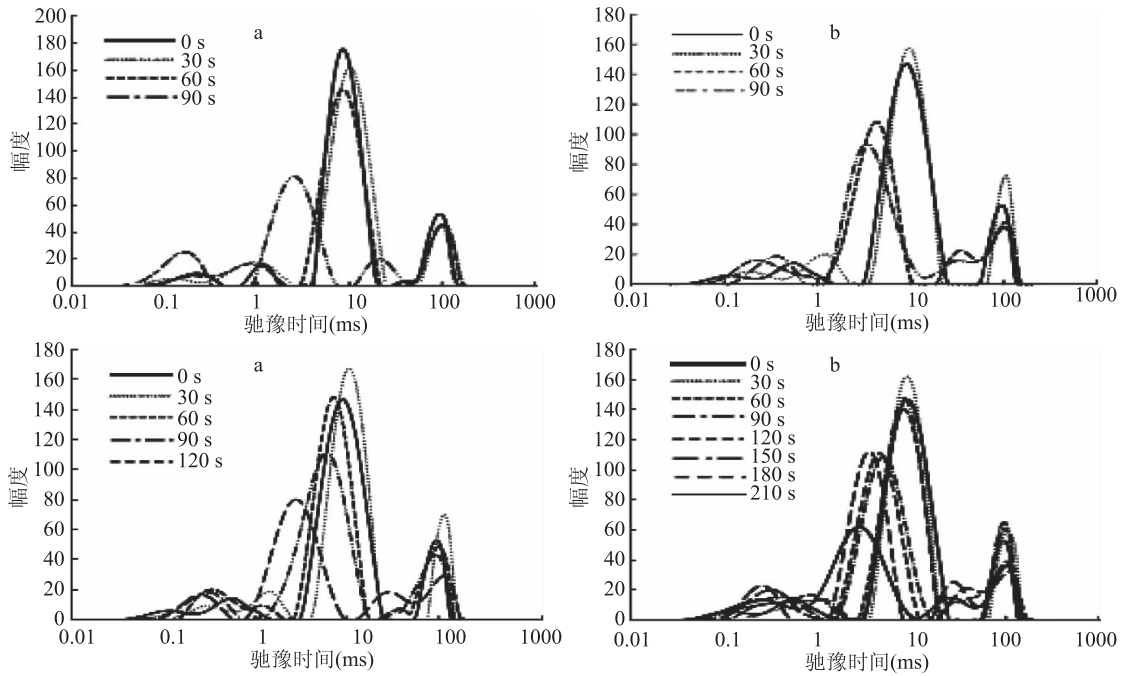


图2 牛肉粒在不同干燥过程中弛豫时间(T_2)的变化

Fig.2 Changes of relaxation time(T_2) of beef pellets in different drying processes

注:干燥功率分别为高火(a),中高火(b),中火(c)和中低火(d)。

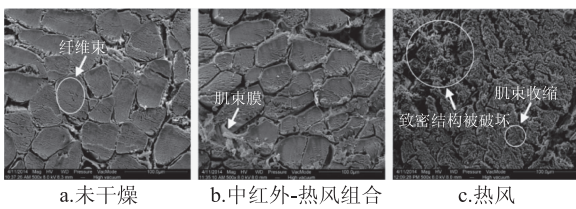


图3 不同干燥方法对干燥后牛肉干微观结构的影响(500×)

Fig.3 Effects of different drying methods on microstructure of dried jerky(500×)

热技术在食品灭菌中的应用由来已久,相关杀菌技术在提高动物源性食品质量稳定性和安全性方面发挥着重要作用。

红外加热技术可将能量以电磁波的形式传递到食品内部,通过破坏致病菌细胞内的DNA、RNA、蛋白质等组分而达到杀菌目的。但其穿透能力相比于微波而言并不强,杀菌效果受微生物种类、样品厚度、红外能量强度等因素的影响较大,因而更适于食品表面的杀菌。研究表明,红外杀菌技术对热狗表面李斯特菌的作用效果显著,2~3 min的保温时间可明显提高杀菌强度^[11]。将其应用于液态食品中同样可得到很好的杀菌效果,619℃红外照射4 min后牛奶中的金黄色葡萄球菌完全灭活,其致死率与牛奶流量、处理时间及灯管温度显著相关^[12]。

高温蒸煮、高压蒸汽及过热蒸汽技术也可用于动物源性食品的杀菌保藏。烘烤牛肉采用真空包装结合5 min煮沸处理不仅可有效延长牛肉保质期,且组织结构韧性强,无高压蒸煮的“过熟味”,感官指标更理想^[13]。过热蒸汽由于其渗透力强,可将其应用于刺身等生食原料表面的瞬时杀菌,不仅高效节能

且数十秒的杀菌过程对食材总体品质的影响较小。

微波作为新型热杀菌技术兼具了热效应与非热效应双重杀菌作用,其杀菌强度受输出频率、杀菌时间及食品状态的影响较大,食品含水量的增加对杀菌效果有明显促进作用,相比高温杀菌能较好地保持食品的品质特性。戚彪等人^[14]将其应用于卤猪肝中式菜肴的生产加工过程发现,微波杀菌表温70℃即可使样品达到商业无菌状态,在维生素A含量的保持上优于高温杀菌,但样品总体失水较多且嫩度有所下降^[14]。张玮敬等人^[15]通过调整微波功率和时间来改善其对盐焗鸡翅根的杀菌效果,结果表明采用750 W微波功率可将产品的保质期延长至35 d,进一步调整微波时间为20 min可显著改善鸡翅根初始感官品质的变化($p < 0.05$)。

2.3 烘烤、蒸煮和微波加热技术在动物源性食品烹饪中的应用

动物源性食品经烹饪处理后其组织结构及香味特性均发生明显变化,不同热处理方式对产品品质的影响也有所差异。动物源性食品经烘烤后风味物质的种类和含量显著增加,总体香气浓郁且表皮酥脆,口感独特,但食材组分的进一步热分解和氧化则易导致有害物质的产生。蒸煮处理虽然加热时间较长,但能最大程度保留食品原有风味,产品肉质柔嫩、酥烂鲜香,多汁性口感明显优于烘烤和微波处理。微波烹饪的突出特点为传热传质效率高,可在短时间内完成食品的熟化,总体对食品营养的破坏较小,但产品往往水分损失严重,比较缺乏特征风味和色泽,难以控制加热终点。

2.3.1 烘烤、蒸煮和微波烹饪对动物源性食品营养组分的影响 烹饪处理对动物源性食品水分、蛋白质、脂肪、维生素等营养成分的影响较大,且随烹饪

技术和烹饪条件的改变而表现出不同变化趋势。随着热处理温度的升高和时间的延长,动物源性食品的水分含量逐渐降低,蒸煮损失以及所伴随的营养成分流失呈现出上升趋势。新鲜羊肉经蒸煮和200℃烘烤处理后,水分含量分别降低了29.87%和33.92%,这可能与水分蒸发以及蛋白变性导致肌肉持水能力的下降有关^[16]。随烘烤时间的延长,羊肉中蛋白质的溶解性及提取率显著降低,其中肌动蛋白、肌球蛋白重链和肌浆蛋白聚集现象明显,美拉德反应产物的形成、肌动蛋白及肌红蛋白侧链氨基酸残基的进一步修饰容易造成肉质的营养特性和消化性能的下降^[17]。为了更好地判定食材加热终点以减少营养成分的损失,韩忠等^[18]以43 kDa的G-肌动蛋白的变性情况作为依据,通过SDS-PAGE得出,猪肉经700 W变频微波炉加热70s后不仅蒸煮损失少、肉质柔嫩且兼具节能省电的优势。此外,也有研究表明73℃低温长时烹饪与传统加热方式(100℃高温)相比,其在保持牛肉中维生素B₃和B₁₂含量方面效果更佳^[19]。

脂肪酸作为动物源性食品中重要的营养素,不同品种肉类在脂肪酸组成和含量上差异显著,而过高的烹饪温度容易造成脂肪的大量分解和甘油三酯的流失^[20-21]。其中单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)受温度和时间的影响,在80℃蒸煮2h后含量最高,100℃处理时总体变化幅度最小。多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)的变化趋势与MUFA类似,而饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)对蒸煮时间更为敏感,由于熔点较高,温度对其含量变化的影响较小^[22]。相比于蒸煮而言,羊肉经200℃、30min烘烤处理后其水分和脂肪含量的损失更加严重($p < 0.05$),饱和脂肪酸含量有所增加而不饱和脂肪酸呈现相反趋势。蒸煮羊肉虽在风味上稍有欠缺,但其脂肪酸组成更接近鲜肉样品,SFA:MUFA:PUFA的比值为6.38:2.88:1,更符合健康膳食的要求^[16]。另外,研究发现烹饪处理对提高牛肉肌内脂肪中共轭亚油酸(conjugated linoleic acid, CLA)含量有一定作用,而CLA对人体健康存在诸多益处^[23]。

2.3.2 烘烤、蒸煮和微波烹饪对动物源性食品食用品质的影响 烹饪过程中,烘烤、蒸煮和微波加热处理会在一定程度上影响动物源性食品的食用品质,具体表现在食品色泽、质构、感官、风味的变化上。色泽方面,以远红外辐射烤制羊排为例,220℃高温下羊排的L*和b*值显著高于120℃低温烤制,而a*值显著降低,可见肌红蛋白氧化速率的加快和美拉德反应的诱发对动物源性食品外观的改善有一定作用^[24]。蒸制处理的样品由于表面温度较低,因此在三种烹饪处理中其色泽变化最小^[25-27]。经微波加热的动物源性食品仍较缺乏特征色泽,但发色效果略优于蒸煮处理,猪肉经500 W变频和50%非变频微波处理后亮度和黄度值更高^[18]。

质构可用于表征食材表面的一致性和内部结构的纹理特征,受动物源性食品种类、烹饪方式的影响较大。采用35%低蒸汽加热可延长鸡胸肉在60~80℃的停留时间,胶原蛋白的充分溶解明显改善了肉质

嫩度,烘烤处理后的样品常因内部水分损失严重和表面形成硬壳而导致剪切力值增加^[25]。质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)结果表明,随着烘烤温度从160℃上升至200℃,牛肉的硬度、弹性、回复性和内聚性均出现不同程度的上升,水分含量和蛋白变性程度对其影响较大^[28-29]。感官方面,曹仲文等^[30]以色泽、嫩度、香味和多汁性为评价指标,得出万能蒸烤箱烹饪鸡丁的最佳工艺为:湿度90%、温度115℃条件下加热5min。动物源性食品的嫩度和口感很大程度上取决于加热过程中肌原纤维蛋白和结缔组织的变化。随着肌肉中心温度的升高,肌原纤维蛋白逐渐变性收缩导致肌纤维细胞间隙逐的增大,肌肉结构的持水性下降,肉质嫩度进一步降低。60℃为肌内膜和肌束膜胶原蛋白的热变性温度,而在80~90℃范围结缔组织胶原蛋白的溶解和凝胶化使得肉质口感有所提升,组织蛋白酶的释放对肉质嫩度的改善也有一定效果^[31-32]。

风味特性上,动物源性食品风味物质的形成主要来源于美拉德反应、脂质的氧化降解、美拉德反应产物与脂质氧化产物的相互作用以及维生素的热分解。肉香味挥发性成分以脂肪烃、醛类、酯类、醇类、酮类为主,热加工处理可显著影响风味物质的组成和含量。醛类阈值低,对风味的贡献较大,微波和烘烤处理往往产生较高含量的己醛,其是亚油酸氧化后得到的脂香味物质^[33]。醇类物质中不饱和醇对风味的影响同样显著,其与羧酸酯化后可产生果香味^[34]。此外,含硫、含氮及杂环化合物的存在也丰富了动物源性食品的总体风味。

2.3.3 烘烤、蒸煮和微波烹饪对动物源性食品安全性的影响 动物源性食品烹饪后除营养和食用品质发生变化外,微生物残留、物质氧化、多环芳烃和杂环胺等有害物质的生成也值得关注。烹饪处理可通过破坏微生物的细胞结构和营养物质代谢达到杀菌目的。研究表明,65℃、4~6min变频微波烹饪不仅能提高牛肉的含水量和嫩度,同时可杀灭99%左右的微生物^[35]。Becker^[29]通过外接食源性病原体的方法证明低温长时间蒸制处理可保证猪肉的微生物安全性。脂肪氧化对产品的质地、风味、营养组成都有不利影响,甚至可能产生丙二醛(malondialdehyde, MDA)等有害成分损害人体健康^[36]。动物源性食品原料特性和加工方式是影响脂肪氧化程度的重要因素,牛肉经过蒸煮和烤制处理后,其中丙二醛含量明显高于羊肉和猪肉,121℃蒸煮处理的脂肪氧化情况更为严重^[37]。Domínguez^[38]比较了烧烤、微波、油炸、烘烤四种烹饪方式对脂肪氧化的影响,如表1所示,微波加热硫代巴比妥酸反应物(TBARs值)最高,可能是由于该处理加速了不饱和脂肪酸的降解。油炸组的TBARs值相对较低,表明加热时间对脂肪氧化的促进作用比温度更显著。

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)和杂环胺(heterocyclic amines, HCAs)是有机物不完全燃烧或脂肪高温降解的产物,具有致突变、致癌变的危害性。以300℃为加热分界温度,低于300℃产生的氨基咪唑氮杂芳烃类

表1 不同烹饪方式对马驹肉蒸煮损失和TBARs值的影响
Table 1 Cooking loss and TBARs values of raw and cooked foal meat

	生样	烤架烤制	微波	油炸	烤炉烤制
蒸煮损失(g/100 g)	-	22.45 ± 5.51 ^a	32.49 ± 6.41 ^c	23.73 ± 2.87 ^{ab}	26.71 ± 3.51 ^b
TBARs (mg MDA/kg)	0.11 ± 0.04 ^a	0.40 ± 0.16 ^a	1.31 ± 0.52 ^b	0.41 ± 0.19 ^a	1.23 ± 0.78 ^b

注:不同字母表示各指标之间数值存在显著差异($p < 0.05$)。

(aminoimidazolylaromatic hydrocarbons, AIAs) 毒性较强,其为美拉德反应产物,可由肌酸、还原糖、氨基酸以不同途径形成,且随烹饪方式、加工条件、前体物质浓度、水分和脂肪含量的变化而发生组成和浓度的改变^[39]。鸡肉和鸭肉经200℃烤制20 min后杂环胺含量分别为4 ng/g和6.8 ng/g^[40]。Liao^[41]采用不同烹饪方法加工鸭胸肉并得出,HCA s形成量按从大到小排列依次为烘烤、微波和蒸煮。牛肉饼在烤制过程中,随着脂肪含量的增加,极性杂环胺如2-氨基-3,8-二甲基咪唑并[4,5-f]喹啉、2-氨基-3,4,8-三甲基咪唑并[4,5-f]喹啉和2-氨基-1-甲基-6-苯基咪唑并[4,5-b]吡啶均表现出不同水平的增加,而非极性氨基酸无显著变化,这可能与形成途径不同有关^[42]。苯并[a]芘是多环芳烃中的强致癌物质,张天义^[43]以不同微波频率和加热时间处理猪肉时没有苯并[a]芘检出,表明正常的微波条件仍比较安全。而张兰等^[44]采用远红外烤制牛肉时发现,随着加热温度的升高,PAHs种类和含量逐渐增多,当温度达到200℃时有少量苯并[a]芘产生,因此建议烤制烹饪条件设为160℃、40 min,而蒸制方式形成的PAHs含量少且致癌性弱,相对更安全。

3 结语

烘烤、蒸煮和微波加热技术作为常用的热加工手段在食品中的应用由来已久,不同的热处理方式各有优劣,随着新型加热技术的提出与研究,其总体趋势越来越向提高传热效率、更好地保持食品营养品质和安全性方向发展。本文综述了这三种加热技术在动物源性食品干燥、杀菌、烹饪方面的应用,通过总结国内外学者目前的研究得出,热处理技术如过热蒸汽加热、低温蒸煮加热等对动物源性食品品质的影响及在相关方面的应用仍值得进一步探究。同时,人们对便捷、快速消费生活方式的追求促使了中央厨房及智能家电的发展,通过标准化的加工工艺及冷链配送实现了中华传统美食和菜肴的工业化生产,而智能家电在家庭厨房中的广泛应用使得一键烹饪成为可能,大大节省了食材的烹饪时间。因此,烘烤、蒸煮和微波加热技术作为食品工业及智能家电烹饪中的主要热处理方式,其在技术上的相互联合、优势互补以提高食品品质将成为食品行业的又一研究重点。

参考文献

[1] 高福成.现代食品工程高新技术[M].北京:中国轻工业出版社,1997:103-113.
[2] 胡宏海,张泓,张雪.过热蒸汽在肉类调理食品加工中的应用研究[J].肉类研究,2013,27(7):48-52.
[3] 张凯华,臧明伍,李丹,等.真空低温蒸煮技术在动物源性食品中的应用进展[J].肉类研究,2016,30(12):35-40.

[4] 韩清华.微波真空干燥膨化苹果片的机理及品质研究和设备设计[D].北京:中国农业机械化科学研究院,2007.
[5] 高福成.现代食品工程高新技术[M].北京:中国轻工业出版社,1997:129-131.
[6] Vadivambal R, Jayas D S. Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials—a review [J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 3(2):161-171.
[7] 李欣,苏珊珊,马丽珍,等.利用LF-NMR研究牛肉粒微波干燥过程中水分迁移和分布变化[J].食品科技,2013,38(1):145-149.
[8] 孙卓,王勤志,滕建文,等.半干鸭肉粒热风与微波联合干燥工艺研究[J].食品与机械,2013,29(3):230-233,237.
[9] 贾真,罗章秀,方婷,等.不同干燥方式对鲍鱼品质特性的影响[J].食品工业,2017,38(6):51-55.
[10] 谢小雷,李侠,张春晖,等.不同干燥方式对牛肉干物性特性的影响[J].农业工程学报,2015,31(S1):346-354,380.
[11] Huang L, Sites J. Elimination of listeria monocytogenes on hotdogs by infrared surface treatment [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(1):27-31.
[12] Krishnamurthy Kathiravan, Jun Soojin, Irudayaraj Joseph, et al. Efficacy of infrared heat treatment for inactivation of staphylococcus aureus in milk [J]. Journal of Food Process Engineering, 2008(31):798-816.
[13] 张志清,赵霖月,夏爽,等.不同灭菌包装方式对特色烤动物源性食品保质期的影响[J].食品研究与开发,2011,32(8):147-151.
[14] 戚彪,曲超,成晓瑜,等.微波杀菌对卤猪肝品质特性的影响[J].食品科学,2013,34(1):69-72.
[15] 张祎敬,秦丽娟,宋贤良,等.微波杀菌对盐鸡翅根杀菌效果及品质影响[J].食品工业科技,2016,37(20):245-248.
[16] 任国艳,曹利,王玉琴,等.不同烹调方式对羊肉品质的影响[J].食品科学,2016,37(19):24-30.
[17] Tzer-Yang Yu, James D Morton, Stefan Clerens, et al. Proteomic investigation of protein profile changes and amino acid residue-level modification in cooked lamb longissimus thoracis et lumborum: The effect of roasting [J]. Meat science, 2016, 119:80-88.
[18] 韩忠,罗媛,唐相伟,等.SDS-PAGE电泳法对微波加热猪肉终点温度的鉴定及其品质特性的研究[J].现代食品科技,2014,30(6):181-185.
[19] Rinaldi M, Dall'Asta C, Paciulli M, et al. A novel time/temperature approach to sous vide cooking of beef muscle [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(10):2969-2977.
[20] Duckett S K, Wagner D G. Effect of cooking on the fatty acid composition of beef intramuscular lipid [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1998, 11(4):357-362.
[21] Gertz C, Aladedyne F, Matthäus B. Oxidation and structural

- decomposition of fats and oils at elevated temperatures [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2014, 116 (11):1457-1466.
- [22] 李莹莹,李家鹏,吴晓丽,等.蒸煮温度和时间对猪肉脂肪酸组成比例关系的影响[J].*食品科学*,2012,33(23):27-30.
- [23] Alfaia C M M, Alves S P, Lopes A F, et al. Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat [J]. *Meat Science*, 2010, 84(4):769-777.
- [24] 潘腾,孟静,崔建云,等.商业化烤制羊排中心温度预测模型[J].*农业机械学报*,2015,46(6):233-238.
- [25] Mora B, Curti E, Vittadini E, et al. Effect of different air/steam convection cooking methods on turkey breast meat: Physical characterization, water status and sensory properties [J]. *Meat Science*, 2011, 88(3):489-497.
- [26] Bowers L J, Dikeman M E, Murray L, et al. Cooked yields, color, tenderness, and sensory traits of beef roasts cooked in an oven with steam generation versus a commercial convection oven to different endpoint temperatures [J]. *Meat Science*, 2012, 92(2):97-106.
- [27] Modzelewska-Kapituła M, Dałbrowska E, Jankowska B, et al. The effect of muscle, cooking method and final internal temperature on quality parameters of beef roast [J]. *Meat Science*, 2012, 91(2):195-202.
- [28] 张兰,高天丽,刘永峰,等.3种传统中式高温烹饪工艺对牛肉食用品质的影响[J].*食品与发酵工业*,2016,42(11):126-132.
- [29] Becker A, Boulaaba A, Pinggen S, et al. Low temperature cooking of pork meat—physicochemical and sensory aspects [J]. *Meat Science*, 2016, 118:82-88.
- [30] 曹仲文,顾晗焯,夏启泉.万能蒸烤箱预熟鸡丁的工艺研究[J].*扬州大学烹饪学报*,2013(3):15-17.
- [31] Chang H J, Xu X L, Zhou G H. DSC Analysis of heat-induced changes of thermal characteristics for perimysium and endomysium collagen from beef semitendinosus muscle [J]. *Food Science*, 2012, 33(7):118-122.
- [32] Sikes A, Tornberg E, Tume R. A proposed mechanism of tenderising post-rigor beef using high pressure-heat treatment [J]. *Meat Science*, 2010, 84(3):390-399.
- [33] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: A review [J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4):415-424.
- [34] Gómez M, Lorenzo J M. Effect of fat level on physicochemical, volatile compounds and sensory characteristics of dry-ripened “chorizo” from Celta pig breed [J]. *Meat Science*, 2013, 95(3):658-666.
- [35] 高文宏,王君翠,唐相伟,等.不同加热方式对牛肉嫩度和杀菌率的影响[J].*现代食品科技*,2016,32(8):191-196.
- [36] Broncano J M, Petróñ M J, Parra V, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in Latissimus dorsi muscle of Iberian pigs [J]. *Meat Science*, 2009, 83(3):431-437.
- [37] 田万强,刘永锋,李林强,等.热处理对牛、羊、猪肉肌内脂肪过氧化程度影响[J].*家畜生态学报*,2016,37(3):34-38.
- [38] Domínguez R, Gómez M, Fonseca S, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat [J]. *Meat Science*, 2014, 97(2):223-230.
- [39] Jägerstad M, Skog K, Arvidsson P, et al. Chemistry, formation and occurrence of genotoxic heterocyclic amines identified in model systems and cooked foods [J]. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 1998, 207(6):419-427.
- [40] Liao G Z, Wang G Y, Xu X L, et al. Effect of cooking methods on the formation of heterocyclic aromatic amines in chicken and duck breast [J]. *Meat Science*, 2010, 85(1):149-154.
- [41] Liao G Z, Wang G Y, Zhang Y J, et al. Formation of heterocyclic amines during cooking of duck meat [J]. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2012, 29(11):1668-1678.
- [42] 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.
- [43] 张天义.微波加热对猪肉中蛋白质及苯并芘形成的影响研究[D].广州:华南理工大学,2013.
- [44] 张兰,高天丽,刘永峰,等.八种中式烹饪工艺对牛肉中多环芳烃、反式脂肪酸和亚硝酸盐的影响[J].*中国农业及科学*,2017,50(6):1126-1138.
- [11] Lawrence WT, Norton JA, Sporn MB, et al. The reversal of an Adriamycin induced healing impairment with chemoattractants and growth factors [J]. *Annals of Surgery*, 1986, 203(2):142-147.
- [12] Sato Y and T Ohshima. The expression of mRNA of proinflammatory cytokines during skin wound healing in mice: a preliminary study for forensic wound age estimation (II) [J]. *International Journal of Legal Medicine*, 2000, 113(3):140-145.
- [13] Shimonaka M, Katagiri K, Nakayama T, et al. Rap1 translates chemokine signals to integrin activation, cell polarization, and motility across vascular endothelium under flow [J]. *Journal of Cell Biology*, 2003, 161(2):417-427.
- [14] Mori R, Shaw TJ, Martin P. Molecular mechanisms linking wound inflammation and fibrosis: knockdown of osteopontin leads to rapid repair and reduced scarring [J]. *Journal of Experimental Medicine*, 2008, 205(1):43-51.
- [15] 刘凯,熊晶晶,刘梅,等.酪酸梭菌、美沙拉嗪、蒙脱石散对溃疡性结肠炎大鼠血IL-6、IL-8、IL-10及TNF- α 水平的影响[J].*免疫学杂志*,2015,31(11):931-935.
- [16] 乔红梅,庞焕香,张云峰,等.肺炎支原体肺炎患儿IL-6、IL-10、TNF- α 的变化[J].*临床儿科杂志*,2012,30(1):59-61.

(上接第 295 页)

(9):1236.