

烹饪加工对肉类品质和营养特性影响的研究进展

杨天意¹, 周晓燕^{1,2,3}, 罗 飞⁴, 杨 伦¹, 李可悦¹,
秦 曼¹, 葛庆丰¹, 于 海¹, 吴满刚¹, 刘 瑞^{1*}

(1. 扬州大学 旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225127; 2. 江苏省淮扬菜产业工程中心, 江苏 扬州 225127;
3. 扬州大学 文化和旅游部中餐非遗技艺传承重点实验室, 江苏 扬州 225127; 4. 南京商业学校, 江苏 南京 210036)

摘 要: 烹饪是人们食用肉制品必备的操作流程,适当的烹饪可改善肉类的风味、质地和色泽,提高食物营养价值。由于烹饪加工中传热方式、介质以及烹饪过程中时间和温度的差异,会造成肉类品质、营养特性发生不同程度的变化。肉类品质的变化主要体现在烹饪损失、嫩度、色泽和风味等方面,而对营养特性的影响主要是营养成分如蛋白质、脂类、维生素和矿物质的结构和含量的更改,适当添加天然抗氧化剂可一定程度上对营养成分起保护作用。所以,不同原材料应根据其自身的特性选择合适的烹饪加工方式,这不仅能保护其营养成分,同时能减少烹饪加工中的烹饪损失,提高熟制品的色泽、风味和烹饪效率。

关键词: 肉类;烹饪;品质;风味物质;营养特性;烹饪损失

中图分类号: TS 972.122.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2022)01-0044-09

随着经济发展和居民生活水平的提高,饮食结构的变化使我国肉类消费量大增。肉类在人们的膳食结构中已占据非常重要的地位,人们越来越注重食用肉类的品质。据统计报道,中国现在已经是世界上最大的牛肉、羊肉、猪肉、家禽和内脏进口国,占国际市场肉类贸易总量的近四分之一^[1]。肉类作为含有丰富优质蛋白、维生素和矿物质的食物,定量食用熟制的肉类对人们身体健康有着至关重要的影响。

烹饪可改善食品的风味、质地和色泽,提高营养价值。我国具有悠久的烹饪历史及文化,烹饪方式也因传热介质和地域的不同分为很多种类。国内传统的烹饪方法的种类繁多,主要包括蒸、煮、炸、熏和烤等;近些年,随着中西方饮食文化的交融,新式的烹饪方法如微波、真空低温、高压加工等现代化烹饪手段也在国内烹饪市场逐渐出现,烹饪现在已经成为色、香、味、形、质、养俱全的代名词^[2]。然而,不同的烹饪方式不仅会影响肉

类的风味、色泽、烹饪损失和脂质成分的营养价值^[3-4],使蛋白质发生氧化,促进蛋白质羰基化、羧基化和席夫碱的形成^[5],也会使肉类中水溶性维生素损失^[6]。据报道,油炸、平底锅煎炸、烤箱烤制和微波会使熟牛排的矿物质含量降低13.6%~21.1%^[7],烧烤和煮沸降低了牛肉中Na、K、P、Ca和Mg的含量,而增加了Fe和Zn的含量^[6],采用不当烹饪方式烹制的肉类,不仅会造成食用感官和品质的降低,还会对人体健康产生潜在的影响。因此,阐明烹饪对肉类品质和营养成分的变化至关重要。

本研究系统总结了国内外不同烹饪方式对肉类品质和营养特性影响的研究进展,主要包括:品质指标(烹饪损失、嫩度、色泽和风味)以及营养成分(蛋白质、脂类、维生素和矿物质)的变化,为我国烹饪的标准化和工业化提供理论依据和指导思路,也为消费者合理烹饪方式的选择,获得健康、美味的高品质肉制品提供实用指导。

收稿日期:2021-12-10 *通信作者

基金项目:国家自然科学基金项目(31901610);江苏省自然科学基金项目(BK20190888);博士后科学基金项目(2020M671626)

作者简介:杨天意,男,扬州大学旅游烹饪学院硕士研究生,主要从事烹饪营养与卫生学研究,E-mail: 755866398@qq.com;

刘 瑞,男,扬州大学旅游烹饪学院副教授,主要从事畜产品加工研究,E-mail: ruiliu@yzu.edu.cn。

1 肉的烹饪方式

烹饪是最常见的肉类热处理方式,烹饪方式不断发展的历程其实是为了更好地保证食用肉类的安全性,以及让肉类产生更诱人的香气和滋味,改善食用肉类享受性的过程。调查研究表明,目前主流烹饪肉类的方式有蒸、煮、烤、炸、微波、熏制、真空低温(sous-vide)和油封(confit)等。

以水和水蒸气为传热介质的烹饪方式是应用最早且广泛的方式之一,其中以煮为代表,煮是将肉与肉制品放置于100℃的水中烹饪;而蒸是通过食物与沸水产生的蒸汽相接触,与煮相比保障了水溶性维生素不会过分流失,有助于保持肉类口感质地的湿润度^[8]。

以热空气或热源直接接触食物的烹饪方式中,烤是具有代表性的,可分为烘烤、火烤与焗烤。火烤是最传统的一种,是将食物暴露在高达260℃的温度下,食物与热源火直接接触而快速熟制;烘烤是将食物置于烤箱在不同的烹饪时间和200℃以上的温度下实现干热,表面发生焦糖反应和美拉德反应来增强肉类的风味;焗烤呈现相似过程,但是在烹饪中要用锡纸覆盖住食物,烤箱温度在170℃左右^[9]。熏也是一种利用空气传热的传统烹饪方式,因能产生独特的风味,分为冷熏和热熏两种,常用于肉制品加工。熏是一个缓慢的熟制过程,原理是将燃烧木头或木炭产生的烟雾作为间接热源,产生烟熏味浓、嫩而多汁的肉类^[8]。冷烟熏常用来增加鸡胸肉、猪肉、三文鱼等食物的味道,其熟制温度通常为12~25℃;热烟熏是使食物暴露在40~100℃的烟和热当中,使食物的内部温度达到85℃。

作为烹饪中的传热介质之一的油脂,因其能促进食物的理化特性变化,产生独特的感官特性,包括颜色、风味、质地和适口性等,被人们广泛使用。其中最常见有煎炸、油炸和油封,区别在于油量和容器,煎炸是将肉类放进少油的平底锅内烹饪;油炸则是在锅中放入足量的油,让食物漂浮在油脂中烹饪^[3];而油封是指在<90℃的油脂中长时间(3~13 h)进行烹饪^[10]。

相对于蒸、煮、炸、熏、烤等传统烹饪方式,微波、远红外辐射、真空低温、欧姆烹饪、高压加工等新型烹饪方式逐渐进入大众的视野。微波烹饪广泛用于西餐或食物熟制存放后的二次加热^[11],其

工作原理是通过磁控管产生电磁波来引起食物中水分子的振动生成热量,具有升温速率快的特点。真空低温烹饪是在传统蒸煮的烹饪方式基础上改进而来,将肉类放入一个热稳定且真空密封的塑料袋中,并放置在水浴或温度控制的蒸汽环境内,在低温(<100℃)下烹饪数小时,以防止芳香挥发物的损失并保留水分,使口感不因失水而柴涩,从而制成口感鲜嫩且营养流失较少的食物^[12]。高压加工(HPP),也称为高静水压(HHP)处理,常用于微生物灭活和食物保存,不同于普通的热诱导,高压加工使肉中蛋白质解聚,增加了肌原纤维蛋白的溶解度,对于嫩化肌原纤维结构有显著效果^[13]。欧姆加热是一种电加热技术,是利用电能对食物本身进行加热,电流通过具有电阻的食品时电能被转化为热量,导致食物内部温度的有效上升。欧姆烹饪加快了食物的烹饪速度并增加食物安全性^[14]。

2 不同烹饪方式对熟肉加工品质的影响

2.1 烹饪损失

烹饪损失指烹饪过程中损失的液体和可溶性物质的总称,是影响肉类品质的关键因素,决定了烹饪后肉的质量。烹饪会引起可溶性蛋白质、维生素和微量元素不同程度的损失^[15]。

JAMES等^[16]的研究表明,与真空低温烹饪相比,较高温度的烤箱烹饪比低温蒸煮的烹饪损失率高出12%左右。在相同中心温度下,VAUDAGNA等^[17]研究了不同烹饪时间下牛肉损失率的变化,发现加热时间显著影响了肉类烹饪损失。此外,CHENG等^[18]对比了干空气蒸制、湿空气蒸制和水煮对猪腿肉烹饪损失率的影响,发现水煮的烹饪损失率最低,湿空气蒸次之,干空气蒸制最高,表明了传热介质和传热模式也是影响烹饪损失的因素之一。由表1可知,烹饪损失主要取决于烹饪的方式和烹饪过程的温度与时间,另外传热方式和传热介质对肉类烹饪损失的产生有一定影响。在温度、时间、传热介质等因素的相互作用下,肌肉蛋白质变性、肌肉组织解体,最终使大量的水分和脂肪释放,随着肉类中心温度的升高,烹饪损失逐渐增加。

2.2 嫩度

嫩度是肉类的关键指标,消费者的满意度大多受到肉类嫩度的影响,而大多数肉是熟制后食

用,因此烹饪是决定嫩度的主要因素之一^[25-26]。

表 1 烹饪方式对常见肉类烹饪损失的影响

肌肉种类	烹饪方式	烹饪条件	烹饪损失/%
牛肉	烤箱烘烤	200 ℃ 加热 15 min	31
	真空低温	60 ℃ 加热 60 min	19 ^[16]
		50 ℃ 加热 90 min	8.33 ± 1.71
牛肉	真空低温	50 ℃ 加热 390 min	10.82 ± 1.62
		60 ℃ 加热 90 min	19.41 ± 1.91 ^[17]
	干空气蒸制	加热至中心温度 120 ℃	22.25
猪腿肉	湿空气蒸制	加热至中心温度 80 ℃	12.74
	水煮	加热至中心温度 80 ℃	9.73 ^[18-19]
		175 ℃ 加热 75 s	11.26 ± 2.19
猪排	平底锅煎炸	175 ℃ 加热 150 s	24.75 ± 3.00 ^[20]
		加热至中心温度 60 ~ 100 ℃	9.71 ~ 30.22
	欧姆烹饪	加热至中心温度 60 ~ 100 ℃	22.53 ~ 38.51 ^[21]
猪肉	水煮	加热至中心温度 60 ~ 100 ℃	5.5
		加热至中心温度 51 ℃	12
	火烤	加热至中心温度 65 ℃	16.5
羊排	真空低温	加热至中心温度 50 ℃	5.91 ± 2.54 ^[22]
		加热至中心温度 70 ℃	15.38 ± 4.39
	平底锅煎炸	每个面 180 ℃/5 min	43.36
鸭肉	油炸	油温 180 ℃/10 min	52.37
	燃气火烤	每个面 200 ℃/10 min	44.40
	烤箱烘烤	每个面 200 ℃/20 min	43.02 ^[24]

MCKENNA 等^[27]发现较长时间烹饪的牛排具有较低的剪切力值,认为影响嫩度的主要因素是烹饪时间和温度的差异。此外,LIU 等^[28]报道更具体地指出,羊肉的剪切力随着烹饪时间和温度的提高呈现两相增加的趋势,第一次增加发生在 50 ~ 55 ℃,第二次增加发生在 70 ~ 75 ℃,原因是由烹饪时间和温度影响肌浆蛋白、肌原纤维蛋白和胶原溶解度的变化所致。剪切力的第一次增加是肌周结缔组织扩张后,拉直了卷曲的肌原纤

维而引起的。根据蛋白质的变性和肌原纤维与结缔组织之间的相互作用,单个肌肉纤维的扩张强度可以产生第二个增量,再一次导致在 70 ~ 75 ℃ 扩大,使肉类的剪切力更大。

肉类烹饪后质地的变化是由热诱导的结构变化和蛋白酶降解所致,加热会溶解胶原蛋白,导致嫩化;加热也会使肌原纤维蛋白变性,导致增韧,造成热诱导下肌肉嫩度变化产生的因素取决于烹饪时间和温度,具体变化见表 2。

表 2 烹饪方式对肉类嫩度的影响

肌肉种类	烹饪方式	熟制条件	剪切力/N
牛背部最长肌	强制空气对流		32.0(平均值)
	烤箱烤制		
	燃气平炉烤箱烤制	加热至中心温度	34.2(平均值)
牛背部最长肌	电热扒炉烤制	65.5、71.1、76.6 ℃	34.6(平均值)
	强制空气冲击式烤炉烤制		33.3(平均值)
	蛤壳式烤架烤制		35.4(平均值) ^[9]
牛背部最长肌			59.8/38.3/50.0
牛半腱肌	烘烤/烧烤/水煮	加热至中心温度 71 ℃	57.9/43.2/46.1
牛半膜肌			65.7/51.0/58.8
牛股二头肌			64.7/53.0/56.9 ^[29]
猪背部最长肌	真空低温	50 ℃ 加热 12 h	51.8 ± 1.73
		50 ℃ 加热 24 h	25.2 ± 4.03
		55 ℃ 加热 12 h	38.9 ± 3.41
猪背部最长肌	真空低温	55 ℃ 加热 24 h	36.6 ± 4.12
		60 ℃ 加热 12 h	23.4 ± 12.1
		60 ℃ 加热 24 h	21.3 ± 8.57 ^[12]
牛半腱肌	烤箱烘烤		103
	真空低温	加热至中心温度 71 ℃	76
	高压加工		54 ^[16]

2.3 色泽

颜色和视觉外观被认为是熟肉熟度的指标。完全成熟的肉呈苍白、干燥和灰褐色;半熟肉则呈红粉色且视觉上带有湿润感。^[30]

在不同烹饪方式中,BOZKURT 等^[31]发现,与常规煎烤烹饪相比,采用欧姆烹饪的牛肉内部会产生更均匀的颜色,且牛肉的表面不会产生结皮导致色素沉淀。NIKMARAM 等^[32]发现,相对于其他传统烹饪方式,肉类经微波烹饪后其色泽变化的速率最快。也有报道表明,在慢速烘烤(50 ~ 60 ℃)的第 6 小时开始,牛肉就会出现一种半熟

的颜色^[33]。牛肉在真空低温烹饪时烹饪时间越长,其外观颜色越成熟^[17]。

目前已证实大多数烹饪肉类的内部颜色红度值与感官目测结果一致。在 50 ~ 65 °C 的区间内,猪、牛、羊肉的红度值随着烹饪温度的升高而降低;当肉的中心温度介于 45 ~ 67 °C 时,肉中肌球蛋白和肌动蛋白的变性程度增加而掩盖肌红蛋白的红色,当达到一定中心温度(70 ~ 90 °C)后,肉色会随着时间的增加而保持稳定^[33-34]。因此,烹饪温度的差异是影响肉色的关键因素。

2.4 风味

烹饪过程中,肉类经过美拉德反应、脂质氧化、硫胺热降解以及这些途径产物的相互作用,产生非挥发性风味前体,如:游离氨基酸、多肽、维生素和饱和脂肪酸等。随着烹饪过程的进行,烹饪诱导维生素降解、脂质氧化、脂质氧化产物与美拉德反应产物的相互作用以及美拉德反应过程中的热诱导反应,造成挥发性风味成分的产生,这些挥发性风味成分决定了熟肉的香气和风味^[35]。

由于风味形成的机制的复杂性,在对比不同烹饪方式间我们发现,烹饪温度的差异可能是影响风味的重要因素之一。DOMINJUEZ 等^[36]发现,由于肉类经长时间的高温烧烤,脂质氧化增加,导致肉类风味形成速率加快。低温短时的微波和真空低温烹饪虽然也会导致肉类脂质氧化增加从而形成风味,但感官上远不如烧烤的滋味强烈^[37],而较高温度的油炸会使肉类产生更诱人的香气化合物和颜色^[20],因此在食用低温和短时烹饪的肉类前,在较高温度下(130 ~ 150 °C)烤几秒,可以让肉类获得更具吸引力的外观和味道。

而在相同烹饪条件下,延长烹饪时间相较于增加温度可能对于肉类风味形成影响作用更大。牛肉汤煮 3 ~ 12 h 比煮 1 ~ 3 h 的风味和香气更明显。LORENZEN 等^[38]研究了烹饪温度、游离氨基酸、肌肽、吡嗪、己醇含量与牛肉烤焦后浓烈风味强度间的联系,发现随着时间的延长,牛肉在烹饪过程中含硫化合物含量降低,显著增加了吡嗪含量^[39]。相同温度下烘烤牛肉的时间越短,其风味更差^[40]。ROLDAN 等^[41]发现,烹饪时间的延长对于肉类最理想的风味和香气形成尤为重要。

3 不同烹饪方式对肉类营养成分的影响

加热使肉类的蛋白质变性,从而增加营养物

质的消化率和吸收率。烹饪方式的差异可能影响肉类中脂肪、氨基酸、生物活性化合物和其他营养成分(维生素和酚类物质)的含量。一般来说,煮、烘烤、火烤、油炸和微波会降低肉的持水力,导致肉中蛋白质、脂肪和灰分含量增加^[42]。此外,烹饪的温度和时间直接影响肉类的营养特性,在较长时间和较高温度的烹饪加工下,这些蛋白变性导致细胞膜破坏、肌纤维收缩、肌原纤维蛋白和肌浆蛋白的聚集及胶凝、结缔组织的收缩和溶解^[43],使熟制的肉类更易于咀嚼、消化,从而提高对人体的营养价值。

3.1 不同烹饪方式对脂肪酸的影响

脂类的营养价值通常用多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸的比值来评价。与生肉相比,烹饪方式的改变会显著影响肉类脂类物质营养价值^[6]。

不同烹饪方式上,烘烤(200 °C, 12 min)、火烤(130 ~ 150 °C, 5 min)、微波(1 000 W, 1.5 min)和油炸(170 ~ 180 °C, 4 min)的牛排脂肪含量都高于生肉(0.33%),分别是 1.15%、1.21%、1.46%和 2.54%^[4]。在鱼类中,煮(100 °C, 5 min)、微波(2 450 MHz, 13 min)、油炸(150 °C, 15 min)改变了虹鳟鱼的脂肪酸含量,而焙烤(180 °C, 30 min)几乎没有影响^[44]。采用油封方式熟制银鳕鱼,多不饱和脂肪酸($n-6/n-3$ PUFAs)比值从 0.14(原始值)提高到 0.36 ~ 0.68,而采用煎炸方式的多不饱和脂肪酸比值高至 7.18。

生肉的类型、脂肪含量和丰度水平对熟制后肉类的脂肪酸组成有很大影响^[6]。烹饪方式能降低饱和脂肪酸的含量,其中油炸对鱼类脂肪酸含量影响最大,原因是因为随着肉中水分流失,饱和脂肪酸含量被烹饪过程中油脂所产生的单不饱和脂肪酸所取代,使脂肪酸组成急剧变化^[45]。因此,鱼肉烹饪最好使用其他方式,如煮、蒸或微波。

3.2 不同烹饪方式对蛋白质特性的影响

膳食中蛋白质的氧化被称为对健康无声的威胁。常见的烹饪方式均会造成蛋白质氧化的发生,而通过改变烹饪方式中温度和时间从而减小氧化的发生一直是研究的重点。

TRAORE 等^[46]发现,大部分热处理加工会造成活性氧化物(ROS)的产生,而 ROS 会引发蛋白质氧化的增加,并且肉类中谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶的活性随着热处理的进行而急剧下降,降低了肉对蛋白氧化的天然抵抗力^[47]。此

外,烹饪过程中脂质氧化产生的自由基(如烷基、醇基和过氧基)也可影响蛋白质氧化的产生^[48]。

胡吕霖^[2]研究了不同烹饪方式对鲟鱼肉蛋白质氧化的影响,结果表明烹饪处理显著增加了鱼肉羰基含量;烘烤(200 ℃,10 min)和油炸(180 ℃,5 min)产生的羰基含量最多(增加 4 倍)。而煮(100 ℃,8 min)和蒸(100 ℃,8 min)产生的羰基含量最少(增加 2 倍)。在烘烤和油炸中,鱼肉经高温/长时间烹饪以及经吸收大量油脂,显著增加其蛋白质和脂类氧化;而在煮和蒸中,由于烹饪过程保持较高湿度、水分损失较小,可能导致蛋白质氧化程度较低。从评估蛋白质氧化的指标(席夫碱)的生成表明,煮沸和蒸煮不会导致其形成,而烘烤和油炸使其增加 10 倍^[2]。此外,GATELLIER 等^[49]也证明,牛肉经高温和长时间烹饪后其羰基含量会显著增加。

烹饪过程中蛋白质氧化还有多种表达形式,包括肉类中蛋白表面疏水性和聚集性的增加、硫醇和芳香族基团的损失以及羧基化和席夫碱的形成^[46,49-50]。此外,血红素铁的消耗和非血红素铁的增加,包括通过芬顿、类芬顿反应或金属催化也会对蛋白质氧化产生显著影响,而影响烹饪过程中蛋白质氧化程度的主要因素取决于温度和时间,具体变化见表 3。

目前,由于大多数烹饪方式(除真空低温或油封)的温度高于 100 ℃,均会造成蛋白质不同程度的氧化。而合成的抗氧化剂如丁基羟基茴香醚(BHA)、丁基羟基甲苯(BHT)和没食子酸丙酯(PG)可防止肉类烹饪过程中 ROS 形成,因此,添加从香料或药材等植物中提取的天然抗氧化剂是应对烹饪中蛋白质氧化的新思路^[49,56]。

3.3 不同烹饪方式对维生素特性的影响

脂溶性维生素(V_A 、 V_D 、 V_E 、 V_K)和水溶性维生素(V_B 、 V_C)具有不同的热稳定性。因此,他们的降解取决于特定的烹饪条件,如烹饪方法、时间、温度、阳光、氧、水分含量和 pH 等因素^[57]。

3.3.1 对脂溶性维生素的影响

大量研究指出,肉类中大部分维生素经烹饪加工后会有较大损失,在不同烹饪方式中,烤(200 ℃,10 min)和油炸(200 ℃,4 min)降低了非洲鲶鱼 V_A 的含量;而微波(2 450 MHz,4 min)和焙烤(200 ℃,15 min)则相反^[23]。此外,经过烤箱烘烤和沸煮牛肉和猪肉的 V_A 损失了 15.4% ~

39.3%^[6]。而与烤箱烤制鸡和羊肉相比,微波烹饪的鸡肉和羊肉 V_A 只有轻微损失。在 V_D 方面,焙烤(180 ℃,30 min)和微波(2 450 MHz,13 min)不影响非洲鲤鱼 V_D 的含量,而沸煮(100 ℃,5 min)和油炸(150 ℃,15 min)分别使其含量降低 28% 和 32%^[58]。对于 V_E 来说,油炸或烧烤香肠不会影响 α -生育酚的含量^[59],而烧烤可将牛肉、猪肉 V_E 的含量降低 11% ~ 21.8%^[6]。

表 3 烹饪方式对肉类蛋白质特性的影响

肌肉种类	烹饪方式	烹饪条件	蛋白质关键变化
牛背部最长肌	空气混合水蒸气射流加热	加热至表面温度 207 ℃	酪氨酸对热处理的敏感性高于苯丙氨酸和色氨酸,极端的烹饪条件(肉表面温度达到 207 ℃)导致芳香族残基的显著降解 ^[49]
鸡胸肉	水煮	60、70、80、90、100 ℃ 下加热 10、20、30、40、50 min	二硫键含量随烹饪时间的增加而增加,巯基含量随烹饪时间的增加而降低 ^[51]
牛半腱肌	水煮	沸水煮制 10、30 min	芳香族氨基酸含量随烹饪时间增加而减少 ^[52]
猪背部最长肌	真空低温	加热至中心温度 60、75 ℃	熟肉和煮汁的蛋白质回收率 > 93%,在 60 ℃ 时略高;60 ℃ 和 75 ℃ 的熟肉蛋白质回收率分别为 89.0 % 和 82.2 % ^[53]
牛腹直肌	干浴油浴	100 ℃ 热空气干浴 0.5、15、30、45 min 270 ℃ 下油浴 1 min	羰基含量随烹饪时间的增加而增加 羰基含量显著增加 ^[50]
牛背部最长肌	空气混合水蒸气射流加热	加热至表面温度 400 ℃	肉的表面温度超过 141 ℃,羰基和席夫碱含量显著增加 ^[49]
猪背部最长肌	干浴	100 ℃ 热空气干浴 10、30 min	羰基和席夫碱含量增加,烹饪 30 min 后肌球蛋白、肌动蛋白和高分子量蛋白质被氧化
猪背部最长肌	烘烤	102 ℃ 加热 20 min (肉两侧各 10 min)	色氨酸和巯基含量下降了 50%,二硫键和羰基含量明显增加 ^[54-55]

目前,造成烹饪后脂溶性维生素大量损失的因素与烹饪温度的高低、传热介质油等有关。因此,对于保持脂溶性维生素来说,汽蒸和微波烹饪可能是一种较好的烹饪方式,因为该方法显著减少烹饪时间和传热介质的影响。

3.3.2 对水溶性维生素的影响

B 族维生素是水溶性维生素中最大的族群。烹饪(焙烤、微波、油炸、火烤、蒸制、煎制、油炸和煮沸),都显著降低了非洲鲶鱼、鲤鱼、石斑鱼中 B 族维生素的含量^[23]。

在不同烹饪方式中,传热介质的差异比温度的影响更显著。GERBER 等^[6]指出,维生素 B₁ 在烤肉中丢失 75%,在煮沸中丢失 100%。烘烤、煮沸使维生素 B₂ 和 B₃ 的损失率分别达到 50% 和 84%,主要因为水溶性维生素在高温下被破坏和在介质水中的流失^[6,23]。因此对于水溶性维生素而言,选择不以水或水蒸气为传热介质的烹饪方式是降低其损失的关键。

3.4 不同烹饪方式对矿物质特性的影响

在目前,仅有较少的文献提到烹饪对肉类矿物质含量的影响。已发表的文献表明,煮沸显著降低了牛肉中 Na、K、P、Ca 和 Mg 的含量^[6],油炸、平底锅煎炸、烤箱烤制和微波会使熟牛排的矿物质含量降低 13.6% ~ 21.1%^[7]。PURCHAS 等^[60]比较了生/熟瘦肉中的矿物质含量,发现与生肉相比,烘烤成熟的肉中的 Na 和 K 含量显著降低,而 Ca、Cu、Fe、Mn 和 Zn 含量显著增加,表明二价的矿物质在烹饪过程中比 Na 和 K 保留得更好,这可能是因为它们与蛋白质较大程度的结合,阻止了烹饪过程中二价矿物质含量的流失导致的。另外,煮沸是造成矿物质损失的最严重的烹饪方式,这很可能与矿物质会浸出到水中有关。

4 结语

烹饪加工在饮食品质属性中起着重要作用,烹饪已被证实会导致肉的结构发生变化,并影响产品最终的品质和适口性。大部分消费者在选择产品时注重产品外观和品质,合适的烹饪方式不仅能减少肉类加工中的烹饪损失,也能大大提高肉的色泽、风味和烹饪过程的效率,因此,改进当前的烹饪方式对于肉类感官和质地的影响至关重要。此外,使用不同烹饪方式加工的肉类,在营养成分上也会产生较大差异,这对饮食健康的选择

至关重要。目前,造成这些因素产生的主要原因是水分流失、脂肪和蛋白质氧化、维生素和矿物质含量的变化、氨基酸损失以及脂肪酸组成的变化等。在未来,更多的研究应该引导到加工参数的定性和定量以及烹饪程序的系统化,这可以让我们更好地控制和指导熟制肉制品品质属性的变化,包括优化加工工艺,这对开发美味适口的肉制品和我国烹饪的标准化和工业化至关重要。此外,我们的目光还要聚焦到肉类饮食对生物功能潜在影响机制上,通过选择合理烹饪方式优化膳食结构,为消费者获得更健康、美味的高品质肉类提供指导。

参考文献:

- [1] 程广燕,刘珊珊,杨祯妮,等. 中国肉类消费特征及 2020 年预测分析[J]. 中国农村经济, 2015(2): 76-82.
- [2] 胡吕霖. 烹饪对鲟鱼蛋白质氧化及消化性的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [3] PATHARE P B, ROSKILLY A P. Quality and energy evaluation in meat cooking [J]. Food Engineering Reviews, 2016, 8(4): 435-447.
- [4] DOMINGUEZ R, GOMEZ M, FONSECA S, et al. Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 58(2): 439-445.
- [5] MITRA B, LAMETSCH R, AKCAN T, et al. Pork proteins oxidative modifications under the influence of varied time - temperature thermal treatments: a chemical and redox proteomics assessment [J]. Meat Science, 2018, 140: 134-144.
- [6] GERBER N, SCHEEDER M R L, WENK C. The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat [J]. Meat Science, 2009, 81(1): 148-154.
- [7] OZ F, AKSU M I, TURAN M. The effects of different cooking methods on some quality criteria and mineral composition of beef steaks [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(4): 13008.
- [8] SOBRAL M, CUNHA S C, FARIA M A, et al. Domestic cooking of muscle foods: impact on composition of nutrients and contaminants [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018, 17(2): 309-333.
- [9] YANCEY J, WHARTON M, APPLE J K. Cookery

- method and end - point temperature can affect the Warner - Bratzler shear force, cooking loss, and internal cooked color of beef longissimus steaks[J]. Meat Science, 2011, 88(1):1 - 7.
- [10] PALACIOS T P, CABALLERO D, BRAVO S, et al. Effect of cooking conditions on quality characteristics of confit cod: prediction by MRI[J]. International Journal of Food Engineering, 2017, 13(8):129 - 140.
- [11] GUO Q, SUN D W, CHENG J H, et al. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry[J]. Trends in Food Science and Technology, 2017, 67: 236 - 247.
- [12] HWANG S I, LEE E J, HONG G P. Effects of temperature and time on the cookery properties of sous - vide processed pork loin[J]. Food Science of Animal Resources, 2009, 39(1):65 - 72.
- [13] SAZONOVA S, GALO BURDA R, GRAMATINA I. Application of high - pressure processing for safety and shelf - life quality of meat - a review[J]. Baltic Conference on Food Science and Technology, 2017, 4: 17 - 22.
- [14] INDIARTO R, REZAHARSAMTO B. A review on ohmic heating and its use in food[J]. International Journal of Scientific and Technology Research, 2020, 9(2):485 - 490.
- [15] YARMAND M S, NIKMARAM P, DJOMEH Z E, et al. Microstructural and mechanical properties of camel longissimus dorsi muscle during roasting, braising and microwave heating[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 419 - 424.
- [16] JAMES B J, YANG S W. Effect of cooking method on the toughness of bovine *M. semitendinosus*[J]. International Journal of Food Engineering, 2012, 8(2): 1168 - 1174.
- [17] VAUDAGNA S R, SÁNCHEZ G, NEIRA M S, et al. Sous vide cooked beef muscles: effects of low temperature - long time (LT - LT) treatments on their quality characteristics and storage stability[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(4):425 - 441.
- [18] CHENG Q, SUN D W, SCANNELL A. Feasibility of water cooking for pork ham processing as compared with traditional dry and wet air cooking methods[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67(4): 427 - 433.
- [19] 章海风,周晓燕,铃莉妍,等. 煮制时间对驴肉不同部位食用品质的影响[J]. 美食研究, 2018, 35(4):37 - 40.
- [20] LI C, HU Y, TANG L, et al. Changes in temperature profile, texture and color of pork loin chop during pan - frying[J]. Journal of Food Research, 2012, 1(3): 184 - 191.
- [21] DAI Y, ZHANG Q N, LU W, et al. Changes in shear parameters, protein degradation and ultrastructure of pork following water bath and ohmic cooking[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(5): 1393 - 1403.
- [22] SEN A R, NAVEENA B M, MUTHUKUMAR M, et al. Colour, myoglobin denaturation and storage stability of raw and cooked mutton chops at different end point cooking temperature[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(5):970.
- [23] LIU F, MENG L, GAO X, et al. Effect of end point temperature on cooking losses, shear force, color, protein solubility and microstructure of goat meat[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2013, 37(3):275 - 283.
- [24] OMOJOLA A B, HAMMED S, ATTOH - KOTOKU V, et al. Physicochemical and organoleptic characteristics of Muscovy drake meat as influenced by cooking methods[J]. African Journal of Food Science, 2014, 8(4):184 - 189.
- [25] 崔莹莹,杨铭铎,李想,等. 食盐浓度和腌制时间对猪肉渗透动力学及品质的影响[J]. 美食研究, 2020, 37(2):41 - 47.
- [26] SEIDEMAN S C, DURLAND P R. The effect of cookery on muscle proteins and meat palatability: a review[J]. Journal of Food Quality, 1984, 6(4): 291 - 314.
- [27] MCKENNA D R, KING D A, SAVELL J W. Comparison of clam - shell cookers and electric broilers and their effects on cooking traits and repeatability of Warner - Bratzler shear force values[J]. Meat Science, 2004, 66(1):225 - 229.
- [28] LIU F, MENG L, GAO X, et al. Effect of end point temperature on cooking losses, shear force, color, protein solubility and microstructure of goat meat[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2013, 37(3):275 - 283.
- [29] FABRE R, DALZOTTO G, PERLO F, et al. Cooking method effect on Warner - Bratzler shear force of different beef muscles[J]. Meat Science, 2017, 138: 10 - 14.
- [30] AKYAR I. Latest Research Into Quality Control[M].

- Croatia; In Tech, 2012; 145 – 176.
- [31] BOZKURT H, ICIER F. Ohmic cooking of ground beef: effects on quality[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(4):481 – 490.
- [32] NIKMARAM P, YARMAND M S, EMAMJOMEH Z, et al. The effect of cooking methods on textural and microstructure properties of veal muscle (*Longissimus dorsi*) [J]. Global Veterinaria, 2011, 6 (2) : 201 – 207.
- [33] BECKER A, BOULAABA A, PINGEN S, et al. Low temperature cooking of pork meat – physicochemical and sensory aspects [J]. Meat Science, 2016, 118: 82 – 88.
- [34] BOTINESTEAN C, KEENAN D F, KERRY J P, et al. The effect of thermal treatments including sous – vide, blast freezing and their combinations on beef tenderness of *M. Semitendinosus* steaks targeted at elderly consumers[J]. LWT – Food Science and Technology, 2016, 74: 154 – 159.
- [35] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review [J]. Food Chemistry, 1998, 62 (4):415 – 424.
- [36] DOMINGUEZ R, GOMEZ 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.
- [37] RODRÍG M T, PENAZZI G, CABONI M F, et al. Effect of different cooking methods on some lipid and protein components of hamburgers[J]. Meat Science, 1997, 45(3):365 – 375.
- [38] LORENZEN C L, DAVULURI V K, ADHIKARI K, et al. Effect of end – point temperature and degree of doneness on sensory and instrumental flavor profile of beefsteaks[J]. Journal of Food Science, 2010, 70 (2):113 – 118.
- [39] HO C T, HARTMAN T G. Lipids in food flavors[J]. Influence of Finishing Diets on Lamb Flavor, 1994, 558: 170 – 185.
- [40] DINARDO M, BUCK E M, CLYDESDALE F M. Effect of extended cook times on certain physical and chemical characteristics of beef prepared in a waterbath [J]. Journal of Food Science, 2010, 49 (3) : 844 – 848.
- [41] ROLDAN M, RUIZ J, PULGAR J S D, et al. Volatile compound profile of sous – vide cooked lamb loins at different temperature – time combinations [J]. Meat Science, 2015, 100: 52 – 57.
- [42] JENSEN I J, DOIT J, EILERTSEN K E. Proximate composition, antihypertensive and antioxidative properties of the semimembranosus muscle from pork and beef after cooking and in vitro digestion[J]. Meat Science, 2014, 96: 916 – 921.
- [43] YU T Y, MORTON J D, CLERENS S, et al. Cooking – induced protein modifications in meat[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016, 16(1):1 – 19.
- [44] KARIMIAN – KHOSROSHAHI N, HOSSEINI H, REZAEI M, et al. Effect of different cooking methods on minerals, vitamins, and nutritional quality indices of rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) [J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19 (9/12): 2471 – 2480.
- [45] PEREZ P T, PETISCA C, CASAL S, et al. Changes in chemical composition of frozen coated fish products during deep – frying[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2014, 65(2):212 – 218.
- [46] TRAORE S, AUBRY L, GATELLIER P, et al. Effect of heat treatment on protein oxidation in pig meat[J]. Meat Science, 2012, 91(1):14 – 21.
- [47] HOAC T, DAUN C, TRAFIKOWSKA U, et al. Influence of heat treatment on lipid oxidation and glutathione peroxidase activity in chicken and duck meat[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2006, 7(1):88 – 93.
- [48] PAPUC C, GORAN G V, PREDESCU C N, et al. Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products; a review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(1):96 – 123.
- [49] GATELLIER P, KONDOYAN A, PORTANGUEN S, et al. Effect of cooking on protein oxidation in n – 3 polyunsaturated fatty acids enriched beef. Implication on nutritional quality [J]. Meat Science, 2010, 85 (4):645 – 650.
- [50] SANTÉ – LHOUTELLIER V, ASTRUC T, MARINOVA P, et al. Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(4):1488 – 1494.
- [51] CUI C. Effect of thermal treatment on the enzymatic hydrolysis of chicken proteins [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10 (10): 37 – 41.
- [52] KAUR L, MAUDENS E, HAISMAN D R, et al. Mi-

- crostructure and protein digestibility of beef; the effect of cooking conditions as used in stews and curries[J]. LWT – Food Science and Technology, 2014, 55(2): 612 – 620.
- [53] WILKINSON B, LEE E, PURCHAS R W, et al. The retention and recovery of amino acids from pork longissimus muscle following cooking to either 60 °C or 75 °C [J]. Meat Science, 2014, 96(1): 361 – 365.
- [54] HERNANDEZ – LOPEZ S H, RODRIGUEZ – CARPENA J G, LEMUS – FLORES C, et al. Antioxidant protection of proteins and lipids in processed pork loin chops through feed supplementation with avocado[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(6): 2788 – 2796.
- [55] GATELLIER P, SANTELHOUTELLIER V, PORTANGUEN S, et al. Use of meat fluorescence emission as a marker of oxidation promoted by cooking [J]. Meat Science, 2009, 83(4): 651 – 656.
- [56] YU T Y, MORTON J D, CLERENS S, et al. Proteomic investigation of protein profile changes and amino acid residue level modification in cooked lamb meat; the effect of boiling[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015: 9112 – 9123.
- [57] LESKOV E, KUBIKOV J, KOVACIKOV E, et al. Vitamin losses; retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(4): 252 – 276.
- [58] KUMAR S, AALBERSBERG B. Nutrient retention in foods after earth – oven cooking compared to other forms of domestic cooking; proximates, carbohydrates and dietary fibre[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(4): 302 – 310.
- [59] BOLGER Z, BRUNTON N P, LYNG J G, et al. Quality attributes and retention of vitamin E in reduced salt chicken sausages fortified with vitamin E[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(11): 3948 – 3959.
- [60] PURCHAS R W, WILKINSON B H P, CARRUTHERS F, et al. A comparison of the nutrient content of uncooked and cooked lean from New Zealand beef and lamb[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2014, 35(2): 75 – 82.

Research advances in effect of cooking on meat quality and nutrition properties

YANG Tianyi¹, ZHOU Xiaoyan^{1,2,3}, LUO Fei⁴, YANG Lun¹, LI Keyue¹,
QIN Man¹, GE Qingfeng¹, YU Hai¹, WU Mangang¹, LIU Rui¹

(1. College of Tourism and Cuisine-Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China; 2. Jiangsu Huaiyang Cuisine Industry Engineering Center, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China; 3. Key Laboratory of Chinese Cuisine Intangible Cultural Heritage Technology Inheritance, Ministry of Culture and Tourism, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China; 4. Nanjing Commercial School, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

Abstract: Cooking is a necessary process for people to consume meats. Proper cooking can improve the flavor, texture and color and increase the nutritional value of the products. Due to the differences in heat transfer methods, media, time and temperature during the cooking process, different degrees of changes in the quality, nutritional properties of cooked meat can occur. Changes in meat quality are mainly reflected in cooking loss, tenderness, color and flavor, etc., while the impact on nutritional properties is due to changes in the structure and content of nutrients such as proteins, lipids, vitamins and minerals. Appropriate addition of natural antioxidants can protect nutrients to a certain extent. Appropriate cooking methods should be applied for different raw materials according to their characteristics, which can not only protect nutrients, but also reduce losses during cooking and improve the color, flavor and cooking efficiency of cooked meat products.

Key words: meat; cooking; quality; flavoring substance; nutritional property; cooking loss

(责任编辑:赵 勇)