

# 滚揉技术在肉制品加工中的应用研究进展

李慧<sup>1</sup>, 张崑<sup>1,\*</sup>, 郭添荣<sup>1,2</sup>, 陈素勤<sup>1</sup>, 张龙翼<sup>1</sup>, 柯欢<sup>1</sup>, 母运龙<sup>1</sup>

(1.成都大学 肉类加工四川省重点实验室, 四川 成都 610106; 2.成都市食品药品检验研究院, 四川 成都 610000)

**摘要:**为进一步促进滚揉技术在现代肉制品加工中的应用, 本文在阐明滚揉技术工作原理及其主要影响因素(真空度、滚揉温度、滚揉时间、转速及滚揉方式)基础上, 分析滚揉技术在肉制品加工中的应用现状以及滚揉技术与现代食品加工新技术的联合应用研究进展。通过分析发现, 滚揉技术在传统腌腊肉制品、西式肉制品和预调理肉制品加工中的应用研究较多; 在与食品加工新技术联合应用方面, 主要有超声波、充气变压、脉动真空技术与滚揉技术联合应用的报道。总之, 滚揉技术在肉制品加工中的应用主要集中在产品品质改良和质量安全控制方面。

**关键词:** 滚揉技术; 肉制品; 加工; 产品品质

## Recent Progress in Application of Tumbling Technology in Meat Processing

LI Hui<sup>1</sup>, ZHANG Yin<sup>1,\*</sup>, GUO Tianrong<sup>1,2</sup>, CHEN Suqin<sup>1</sup>, ZHANG Longyi<sup>1</sup>, KE Huan<sup>1</sup>, MU Yunlong<sup>1</sup>

(1.Key Laboratory for Meat Processing of Sichuan Province, Chengdu University, Chengdu 610106, China;

2.Chengdu Institute of Food and Drug Inspection, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** To promote further application of tumbling technology in modern meat products processing, the working principle and main parameters (vacuum degree, tumbling temperature, tumbling time, rotation speed and tumbling methods) of this technology are described in this review, and the current status of the application of tumbling technology in meat processing is summarized together with recent progress its joint application with new modern food processing technologies. Our analysis shows that rolling technology has been mainly used in the processing of traditional Chinese cured meat products, western-style meat products and pre-conditioned meat products. The modern food processing technologies that have been applied with tumbling technology mainly include ultrasonic, aerated pressure, and pulsed vacuum technologies. In short, the application of tumbling technology is mainly focused on meat product quality improvement and quality and safety control.

**Keywords:** tumbling technology; meat products; processing; product quality

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191120-281

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2020) 02-0099-06

引文格式:

李慧, 张崑, 郭添荣, 等. 滚揉技术在肉制品加工中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(2): 99-104. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191120-281. <http://www.rlyj.net.cn>

LI Hui, ZHANG Yin, GUO Tianrong, et al. Recent progress in application of tumbling technology in meat processing[J]. Meat Research, 2020, 34(2): 99-104. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191120-281. <http://www.rlyj.net.cn>

现代肉品加工技术对世界肉类工业发展起到了积极推动作用。自20世纪80年代以来, 我国从国外引进大量现代肉品加工新技术, 使我国肉品工业经历了从传统的煮制、烧烤、烹调等简单加工, 到大量采用现代滚揉、真空包装、高温高压杀菌等技术的精深加工阶段, 并涌

现出如烟熏火腿、风味香肠、培根等一系列工业化高端肉制品<sup>[1-2]</sup>。这不仅极大推动了我国肉类工业迅速发展, 而且大大刺激了肉制品消费<sup>[3]</sup>。据统计, 2010—2018年, 我国肉制品加工产量由1 200万t增长到1 713.1万t, 年均增长率达5.3%<sup>[4-5]</sup>。

收稿日期: 2019-11-20

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2019YFN0172; 2018NZ0007);

成都市科技惠民应用示范项目(2015-HM02-00099-SF)

第一作者简介: 李慧(1994—)(ORCID: 0000-0002-4846-7545), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与保藏。

E-mail: 571625262@qq.com

\*通信作者简介: 张崑(1981—)(ORCID: 0000-0002-5823-4358), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与保藏。

E-mail: zhangyin@cdu.edu.cn

滚揉技术作为新的肉品加工技术，自引入我国以来，有效促进了我国多种肉制品产品质量的提高，尤其在肉类原料嫩化、调味和其他食用品质改善方面发挥了重要作用。但是，随着新型食品种类和加工技术的出现，滚揉技术在肉品加工业中的应用潜力还有待进一步拓展。为了进一步促进滚揉技术在现代肉制品加工中的广泛应用，本文对近年来国内外报道的滚揉技术在肉制品加工中的研究进展进行分析讨论，并对部分特色产品的优化工艺进行比较分析，以期为滚揉技术在肉制品加工中的深入应用研究提供参考。

## 1 滚揉技术简介

滚揉技术借助物理冲击使肉料之间相互碰撞、摩擦、挤压，降低肌纤维和结缔组织的机械强度，破坏细胞结构，同时，肌肉挤压变形促进溶质迁移扩散，使盐分均匀分布，结合机械作用，提高蛋白质溶解度，从而改善肉类原料的嫩度及食用性<sup>[6]</sup>。肉品的滚揉需要在滚揉机作用下完成操作，影响肉品滚揉品质的因素主要有真空度、滚揉温度、滚揉时间、转速和滚揉方式等参数，各参数在肉类原料滚揉时对肉品品质的影响如表1所示。

表1 滚揉参数对肉品品质影响  
Table 1 Effect of tumbling parameters on meat quality

滚揉参数	条件	对肉品品质的影响	参考文献
真空度	60.8~81.0 kPa	抑制微生物生长，防止蛋白质、脂质氧化，提高腌制效率	[7]
滚揉温度	0~4 °C	抑制肉料温度上升及微生物繁殖	[7]
滚揉时间	视原料种类、大小、厚度而定	组织结构破坏程度随滚揉时间的增加而增加	[8]
转速	8~12 r/min	提高出品率，维持肉料形态	[9]
	间歇滚揉	改善色泽、提高出品率	[10]
滚揉方式	连续滚揉	加速组织结构软化，提高腌制液吸收率，缩短腌制时间	[11]
	双向滚揉	原料受力均匀，切片性和出品率更好	[12]

### 1.1 真空度

在对肉制品进行滚揉加工时，通常采用的真空条件为60.8~81.0 kPa<sup>[7]</sup>，在该真空条件下，滚筒内产生一定的负压，肌肉的内外压差促使组织间隙中的空气通过不断挤压而排出，可以有效防止肉制品在后续热加工处理时产生空气膨胀，从而破坏产品结构<sup>[9]</sup>。滚揉常作为肌肉注射的后序工艺，真空条件下肌肉发生膨胀，伴随机械作用，腌制液不断向针孔四周渗透，注射孔眼不断缩小，可以在一定程度上恢复肌肉的完整性<sup>[13]</sup>。真空能抑制微生物生长和脂肪氧化，并改善产品色泽<sup>[14]</sup>。真空通过影响微生物细胞膜的通透性诱导微生物的遗传信息发生改变，最终导致微生物细胞发生变异或死亡。原料肉中的肌红蛋白易与空气发生氧化反应，生成高铁肌红蛋白，当高铁肌红蛋白含量达到70%时，肉就会变成褐色，而肉料的腌制往往是一个较长时间的动态过程，肉

料长时间暴露于空气中不仅严重影响肉的品质，也不利于腌制上色。总之，真空能大幅提高肉制品的稳定性。

### 1.2 滚揉温度

滚揉温度通常控制在0~4 °C，此时肉的口感和嫩度较优。温度越高，分子热运动越快，腌制液扩散速率越快。滚揉过程中的摩擦生热虽然对腌制速率有一定的促进作用，但温度升高，酶活性增强，蛋白质、脂肪水解加快，微生物繁殖加快，产品稳定性降低。当滚揉温度超过10 °C时，产品品质明显下降<sup>[15]</sup>。低温滚揉对提高肉制品的保水性和质构特性具有突出贡献<sup>[16-17]</sup>，因此，在滚揉腌制时，最好与制冷系统联用，特别是在夏季高温环境中，更应将滚揉温度控制在适宜条件下，避免温度波动过大，造成产品品质下降。

### 1.3 滚揉时间

滚揉时间与肉块种类、大小及厚度密切相关，较大肉块通常需要在滚揉前期进行盐水注射，才能实现较好的滚揉效果。肉制品腌制过程中，腌制液的吸收和保留是一个以时间为参数的动力学过程。肌肉中的蛋白质被结缔组织膜层层包裹，使得腌制液的渗入必须穿过重重屏障。目前研究多集中于滚揉时间，鲜有滚揉过程中肉块尺寸对产品质量的影响研究，如袁玉超等<sup>[18]</sup>研究猪里脊肉的滚揉机理时发现，腌制液吸收效果与滚揉时间有关，滚揉时间越长，吸收效果越好，产品出品率也越高，但当滚揉时间超过11 h时，产品感官品质开始下降，出品率变化不明显。孙建清等<sup>[10]</sup>发现，猪肉火腿滚揉时间为8 h时，产品的质构和感官品质最好，而滚揉4、10 h的猪肉火腿，其系水性、光泽感及质地均较差。可见，滚揉时间的选择极为重要，一般滚揉机的滚揉时间需符合公式： $T=L/(U \times N)$ ，式中， $T$ 为滚筒总转动时间（间歇时间除外）/h， $L$ 为转动距离（常数，一般为10~12 km）， $U$ 为滚揉机内周长/m， $N$ 为转速/（r/min）<sup>[15]</sup>。

### 1.4 转速

滚揉机转速决定物料在滚筒中的翻滚、摩擦和撞击强度，转速过小，滚揉机按摩力量不足，腌制液渗透慢且不均匀；转速过大，物料与机械之间撞击摩擦过强，肉块软化过快，肉料表面发生撕裂，并产生破碎肉末<sup>[19]</sup>。在实际应用中，转速通常控制在8~12 r/min，禽肉8 r/min、畜肉10 r/min，对于类似于猪后腿等体积较大、肉质较紧密的肉料可以将转速提高至20 r/min<sup>[20-21]</sup>。

### 1.5 滚揉方式

滚揉方式主要分为间歇滚揉和连续滚揉，不同方式之间优势各异。间歇滚揉更有利于蛋白质充分溶出，能改善西式火腿色泽、嫩度及出品率<sup>[10]</sup>。然而，Gao Tian等<sup>[11]</sup>通过比较不同滚揉方式和滚揉时间对猪排质量特征的影响，发现连续滚揉更有利于提高腌制效率，且产品感官品质和风味更好。滚揉方式还包括顺时针和

逆时针2种转动形式,在卸料前将滚筒反转,以便将浆叶背部的肉料清理干净。李良明<sup>[12]</sup>对滚揉方向进行研究,与单向滚揉相比,若将顺时针和逆时针结合采用双向滚揉,火腿的滚揉均匀程度更高,且产品具有更好的切片性,出品率也更高。

此外,影响滚揉效果的因素还包括滚揉装置的选择,据相关研究,肉制品加工过程中的传质过程受滚揉装置的影响最大,工业化滚揉装置与实验室滚揉装置在滚揉效果上具有显著差异<sup>[22]</sup>,这可能与设备装载量、滚筒设计、操作条件等有关<sup>[23]</sup>。在肉制品工艺研究中,滚揉集中于定性研究,缺乏滚揉作用的定量研究,如肌肉在滚揉中的运动和变形规律相关研究仍是空白,因此很难对滚揉方案中的各参数进行量化<sup>[24]</sup>。

## 2 滚揉技术在肉制品中的应用

滚揉技术自引入我国以来,在传统腌腊肉制品、西式肉制品及预调理肉制品中应用较多(表2),且以畜禽肉加工为主,水产食品较少。受原料组织结构的影响,家禽和鱼肉的滚揉时间和强度远小于畜肉,这主要与畜肉肉质坚实而禽肉、鱼肉肉质细嫩有关。

**表2 影响肉制品滚揉效果的因素及滚揉后品质比较**  
**Table 2 Main tumbling parameters and their effect on the quality of different processes meat products**

肉制品分类	所用原料	产品名称	产品特点	滚揉参数	滚揉效果	参考文献
传统腌腊肉制品	猪肉	腊板鸭	肉质紧密、色泽良好,具有特殊腌腊风味	真空度70 kPa,滚揉温度4℃,转速10 r/min,滚揉时间60 min	改善腊肉风味和色泽	[25]
西式肉制品	猪后腿肉	西式火腿	经巴氏杀菌,肉风味和滋味保留较好,营养成分流失少,产品有烟熏风味,一般0~4℃保藏	转速20 r/min,滚揉时间约6.7 h,适宜双向间歇式真空滚揉	提高火腿保水性、黏合性和出品率	[12]
预调理肉制品	鸡胸肉	调理鸡胸肉	为半成品,形态包括肉片、肉馅、肉串和肉丸等,多在-18℃条件下冷冻贮藏	真空度0.07 MPa,滚揉温度1℃,滚揉里程4 000 m	提高鸡胸肉出品率	[26]
	罗非鱼	速冻调理鱼		转速9~10 r/min,滚揉时间10 min,静置1~2 h	提高鱼肉嫩度	[27]

由表2可知,滚揉技术在上述3类肉制品中应用时,要达到良好的工艺效果,需重点考虑真空度、滚揉温度、滚揉时间和转速等参数,这与表1的分析结果一致。虽然3类肉制品均经过滚揉处理,但却表现出不同的加工效果,说明滚揉技术在肉制品加工中具有广泛的加工效益,加工潜力巨大。

### 2.1 传统腌腊肉制品

传统腌腊肉制品是以防腐为目的逐步发展起来的一类肉制品,由于没有促进腌制液快速渗透的有效手段,导致产品生产效率高,质量参差不齐,安全性难以保障。滚揉技术的引入为传统腌腊肉制品的生产注入了新活力。Yusop等<sup>[28]</sup>将滚揉技术应用于中式腌

制鸡胸肉片,发现滚揉处理鸡肉时,腌料渗透更均匀一致,肉色更深。王健等<sup>[29]</sup>采用现代滚揉腌制及风干成熟工艺加工低盐火腿,火腿产品的内外部品质更稳定。杨秋丽等<sup>[25]</sup>利用真空滚揉技术加工腊板鸭,改善了鹅肉的滋味、风味及色泽。除了常规的真空滚揉外,张东等<sup>[30]</sup>还利用脉动真空滚揉猪后腿肉,腌制时间比常规真空滚揉法更短,产品蒸煮损失率更小、嫩度更高。

### 2.2 西式肉制品

近年来,西式肉制品占据的市场份额不断提高<sup>[31-32]</sup>,这类肉制品弥补了高温肉制品的缺陷,更好地保留了肉的营养、风味和滋味。西式肉制品以低温肉制品为主,滚揉是低温肉制品加工的重要环节,能促进食盐、磷酸盐及其他大分子功能性成分快速扩散,对改善西式肉制品组织形态、结合力及腌制发色具有重要意义。李良明<sup>[12]</sup>研究滚揉方式及滚揉时间对西式火腿品质的影响,发现在转速20 r/min条件下,滚揉6.7 h制得的火腿保水性、黏合性最好,出品率也最高,而滚揉时间少于5 h或多于6.7 h,所得产品品质均较差。王福红等<sup>[33]</sup>在烤肠加工工艺中将斩拌与滚揉相结合,提高了烤肠的出品率、紧实度和弹性,促进烤肠熏制上色,延长了烤肠保质期。

### 2.3 预调理肉制品

预调理肉制品是在销售前已经过充分预处理,消费者经过简单热处理便可直接食用的一类肉制品,极大缩短了消费者备餐时间,备受世界各国餐饮机构和家庭的青睐<sup>[34-35]</sup>。滚揉技术在调理肉制品加工中应用广泛,对改善调理肉制品保水性和品质具有一定积极作用<sup>[36-40]</sup>。胡鹏等<sup>[41]</sup>研究发现,对羊肉进行滚揉加工不仅可以提高羊肉肌原纤维蛋白降解速率及嫩度,还可以延缓肌原纤维蛋白的氧化。汪烁硕等<sup>[42]</sup>研究液料比、磷酸盐添加量和滚揉时间对冷冻调理猪排品质的影响,得出腌制液添加量35%、磷酸盐添加量0.5%、滚揉时间2.5 h时所得冷冻调理猪排的品质最好。刘梦娟等<sup>[26]</sup>通过响应面法得出调理鸡胸肉的最优滚揉工艺为滚揉里程4 000 m、滚揉温度1℃、真空度0.07 MPa。此外,真空滚揉技术在水产品加工中的应用也有报道。蒲亚军等<sup>[27]</sup>利用滚揉腌制罗非鱼片,提高了罗非鱼片嫩度。我国的预调理肉制品以冷冻产品居多,市场上主要有调理牛肉、调理羊肉及各种调理水产品。冰晶生长、内源蛋白酶水解活性及脂质氧化是影响冷冻肉制品品质劣变的主要因素,且原料肉的初始质量对后期保藏具有显著影响<sup>[43]</sup>。通过已有研究可知,滚揉加工对调理肉制品保藏前初始质量的改善具有一定积极作用。

## 3 现代加工技术与滚揉技术的结合

尽管滚揉技术在肉制品生产中应用广泛,但肉制品生产是一个复杂的过程,仅靠单一的滚揉处理所带来

的产品效益往往有其局限性，特别是在科技快速发展的当代，依靠固定的生产模式已无法适应新时代的发展要求。近年来，超声波、超高压、脉动压等一系列现代技术在食品加工中逐渐兴起，部分技术已与滚揉技术联合应用于肉品加工中。

表3 现代加工新技术在肉制品中的应用

Table 3 Application of new modern processing technologies combined with tumbling in meat products

技术	原料	滚揉参数	滚揉效果	参考文献
超声波辅助 变压滚揉	鲜鸡肉	超声波(25 kHz)处理2 min, 真空度0.08 MPa, 转速16 r/min, 滚揉压强101.3 kPa, 单向连续真空滚揉9 min, 再常压滚揉9 min, 滚揉总时间60 min	短时间(40~60 min)即可达到常压滚揉120 min的嫩化效果	[44-45]
充气变压 滚揉	猪后腿肉	滚揉温度5℃, 变压滚揉30 min, 静置10 min, 滚揉总时间10 h, 变压交变比2:1, 压力0.25 MPa, N <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 体积比1:2	提高出品率、感官评分及相关质构指标; 抑菌效果是传统真空滚揉的2倍	[46-47]
脉动真空 滚揉	猪肉	真空度0.025 MPa, 真空滚揉20 min, 常压滚揉10 min, 转速8 r/min, 滚揉时间6 h、脉动比1.43	提高腌制速率, 减少水分流失, 改善产品质构	[48-51]

由表3可知：在鸡肉加工中应用超声波辅助滚揉能有效缩短常压滚揉时间，提高产品嫩化效果；在猪后腿肉加工中应用充气变压滚揉可以提高产品出品率和感官品质，并且具有良好的抑菌效果；脉动真空滚揉技术是常压滚揉技术的改进，具有提高猪肉腌制速率、减少水分流失、改善产品质构特性的效果。

### 3.1 超声波辅助变压滚揉

超声波能加速肉类的传质过程，增强蛋白质的功能特性，其作用主要与超声产生的机械效应、空化效应及热效应有关。超声波引发组织结构中物质的运动，使细胞结构发生改变，如组织软化，使细胞通透性增强。组织不断吸收超声波能量，转化为热量，改善酶活，促使一系列生化反应的发生，对提高肉制品品质具有潜在作用<sup>[52-55]</sup>。将超声波应用于改善鲜肉和加工肉制品的感官、物化特性及加工工艺主要有以下优势：超声波处理可以改善牛肉蛋白质的乳化活性和稳定性，从而提高牛肉嫩度<sup>[56]</sup>；超声波能促进食盐的渗透扩散，提高牛肉腌制速率，缩短加工时间<sup>[57-60]</sup>；在鹅肉成熟过程中减少鹅肉的蒸煮损失，提高鹅肉嫩度和黏着性<sup>[61]</sup>。

超声处理可与滚揉联用，冯婷等<sup>[44-45]</sup>研究表明，与滚揉腌制相比，超声处理具有更高的腌制液吸收率，特别是腌制开始的前1 h二者差距最为明显，当二者结合应用时，超声波辅助变压滚揉腌制加快了蛋白质降解速率，滚揉后的蛋白质对热更敏感，这可能是超声波辅助变压滚揉改善鸡肉嫩度的主要原因。

超声波在肉制品中的应用并不广泛，多用于乳制品、蛋液及其他蛋白乳液生产中。国内外有关超声波与滚揉结合的应用案例更少，一是由于缺乏此类集合设备，二是由于超声强度和处理时间还处于初步探索阶

段，仅限于实验室研究，还远达不到形成流程化、工业化生产的要求。

### 3.2 充气变压滚揉

充气变压滚揉技术将真空滚揉和加压滚揉联合应用，二者按一定的变压交变比交替滚揉，肌肉的微环境经历气体周期性交替作用和腌制液周期性吸入和排出运动，同时加压充入的抑菌气体，如N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>等混合气体，既可以抑制潜在的微生物生长，还可以在肉块下落过程增加肉块的摩擦力做功，提高机械效率，使腌制液迅速渗透，进而提高原料肉的持水性，改善肉的质构和色泽<sup>[9]</sup>。另外，常规真空滚揉由于真空度过高，组织中的营养成分过度渗出而降低出品率，充气变压滚揉可以减弱这种作用。詹文圆等<sup>[46-47]</sup>分别研究充气变压滚揉和真空滚揉对猪后腿肉的影响，发现充气变压滚揉腌制能够显著提高产品出品率、感官评分及质构特性，且抑菌效果更优，可应用于午餐肉和盐水火腿的加工。

变压交变比和抑菌气体的体积比是影响充气变压滚揉效果的主要因素，适宜的参数控制对缩短生产周期、降低成本、提高产品价值具有重要意义。充气变压滚揉技术有期望进一步应用于其他肉制品加工，并在肉类加工技术方面提供潜在改进，滚揉处理对微生物生长的影响还有待研究。

### 3.3 脉动真空滚揉

脉动真空腌制指压力在真空和常压交替变化的状态下进行传质过程，真空环境产生的压力梯度使物料内部气体和液体通过气孔向外部渗出，为腌制液渗入留出足够空间，当恢复常压状态时，腌制液及时填充空位，从而提高腌制液渗透速率。其中，真空腌制在果蔬渗透脱水中已有成熟应用，在肉制品生产中基于实验室探索已形成基本完善的理论体系<sup>[7]</sup>。Deumier等<sup>[48]</sup>研究发现，火鸡肉在脉动真空腌制方法下，不仅腌制速率得到显著提升，而且保水性也得到大幅提高。罗环等<sup>[49]</sup>研究发现，脉动真空腌制醉鱼入味效果较常压腌制更好，且失水量更少，能更好地保持鱼肉外观形态。徐薇薇等<sup>[50]</sup>对羊肉采用脉动真空腌制，将腌制效率提高8%~26%。在滚揉过程中通过周期性的间隔抽真空来实现脉动滚揉腌制，能显著提高腊猪肉的腌制效率<sup>[51]</sup>。这一研究说明脉动真空腌制与滚揉技术联用合理可行，探究不同肉制品的脉动比是实现该技术的重要环节。

除上述已有的联用技术外，现代腌制新技术还有超高压腌制技术、脉冲电场技术、冲击波技术等。这些技术与滚揉技术异曲同工，不仅能提高腌制剂的渗透速率，增加肉嫩度，提高肉制品品质，还能抑制微生物生长，若与滚揉技术联用不仅能提高产品品质和生产效率，还能利用电场或冲击波进行深度杀菌，延长产品货架期，这对未来滚揉技术的完善具有重要意义。



#### 4 结 语

目前, 滚揉参数的设定还未形成一套科学、完整的指导标准, 原料种类、尺寸大小、腌制液浓度等均会对滚揉效果产生影响, 这也为滚揉技术的广泛推广增加了难度。合理的滚揉参数不仅有利于提高产品质量, 还能减少能源浪费, 因此还应对滚揉过程的渗透原理和规律进行更深入的研究。此外, 在新技术交叉融合方面, 还应拓展滚揉技术与其他现代食品加工新技术的联合使用, 以进一步提高滚揉效率, 并提升和改善除产品品质以外的其他特性, 如抑菌、护色、减盐等。

#### 参考文献:

- [1] 于智峰, 赵立庆, 郑君君, 等. 西式加工技术在传统酱卤肉制品中的应用[J]. 肉类工业, 2011(10): 1-4.
- [2] 陈海燕. 我国肉制品加工业结构演化与政策选择[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(3): 114-119. DOI:10.19556/j.0258-7033.2018-03-114.
- [3] 朱文博, 陈永福. 世界和中国肉类消费及展望[J]. 农业展望, 2018, 14(3): 98-109.
- [4] 王俊武, 孟俊祥, 张丹, 等. 国内外肉制品加工业的现状与发展趋势[J]. 肉类工业, 2013(9): 52-54.
- [5] 全球肉类产量增速将放缓[J]. 世界农业, 2018(1): 209.
- [6] SHAREDEH D, MIRADE P S, VENIEN A, et al. Analysis of salt penetration enhancement in meat tissue by mechanical treatment using a tumbling simulator[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 166: 377-383.
- [7] 赵子瑞, 苑冰冰, 张苏苏, 等. 酱卤肉制品加工技术研究进展[J]. 肉类研究, 2016, 30(12): 41-47. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.12.008.
- [8] 杨勇胜, 彭增起. 滚揉腌制条件对猪肉加工特性的影响[J]. 现代食品科技, 2012(10): 1386-1390. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2012.10.036.
- [9] 孙建清, 徐宝才, 周辉, 等. 低温肉制品关键工艺及装备技术应用研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(23): 454-460.
- [10] 孙建清, 韩衍青, 王笑笑, 等. 滚揉方式和时间对猪肉切片火腿品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(6): 125-130.
- [11] GAO Tian, LI Jiaolong, ZHANG Lin, et al. Effect of different tumbling marination treatments on the quality characteristics of prepared pork chops[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2015, 28(2): 260-267. DOI:10.5713/ajas.14.0511.
- [12] 李良明. 西式火腿滚揉加工方式的研究[J]. 四川畜牧兽医, 2001(7): 53.
- [13] 高庆超, 常应九, 刘荟萃, 等. 西式肉制品主要加工技术研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(24): 209-214. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2018.24.036.
- [14] JAHANI R, HAMIDI Z, AHMADI H. Effect of pressure and rotation speed of tumbling on shelf-life of chicken breast in vacuum tumbling[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(Suppl 3): 203.
- [15] 冯改霞. 滚揉技术在肉制品中的应用[J]. 肉类工业, 2002(3): 10-11.
- [16] KIM S Y, CHOI J H, CHOI Y S, et al. Effects of low-temperature tumbling on the quality characteristics of restructured chicken breast ham[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resource, 2012, 32(3): 268-273. DOI:10.5851/kosfa.2012.3.268.
- [17] KIM S Y, SONG D H, HAM Y K, et al. Efficacy of tumbling in soy sauce marination of pork loins: effects of tumbling time and temperature[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2019, 56(12): 5282-5288. DOI:10.1007/s13197-019-03997-y.
- [18] 袁玉超, 鲍琳. 影响猪里脊肉出品率因素的研究[J]. 现代食品科技, 2008(11): 1115-1117. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2008.11.020.
- [19] ELIDIANE L, JULIANA S, HELEN T, et al. Brine absorption in seasoned chicken pieces[J]. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2015, 10(4): 331-340. DOI:10.1007/500003-015-0946-8.
- [20] 孙晓蕾, 张永明, 肖浩平, 等. 蜜汁鸡翅滚揉技术的研究[J]. 肉类工业, 2008(6): 30-32.
- [21] 李雪蕊, 徐宝才, 徐学明. 滚揉里程对牛排品质影响及工艺优化[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(4): 417-423. DOI:10.3969/j.issn.1673-1689.2018.04.013.
- [22] MIRADE P S, PORTANGUEN S, SICARD J, et al. Impact of tumbling operating parameters on salt, water and acetic acid transfers during biltong-type meat processing[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 265: 109686. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2019.109686.
- [23] MARTIN J M. Handbook of meat and meat processing[M]. Boca Raton: CRC Press, 2012: 531-546.
- [24] DAUDIN J D, SHAREDEH D, FAVIER R, et al. Design of a new laboratory tumbling simulator for chunked meat: analysis, reproduction and measurement of mechanical treatment[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 170: 83-91. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2015.09.020.
- [25] 杨秋丽, 杨阳, 周昌瑜, 等. 真空滚揉时间对风干过程中腊板鹅理化品质的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(6): 1149-1156. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2016.06.1149.
- [26] 刘梦娟, 蔡云洁, 梁子豪, 等. 滚揉工艺对调理鸡胸肉制品出品率的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 6-10. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614002.
- [27] 蒲亚军, 王莉, 石元江, 等. 罗非鱼片制作速冻调理鱼的工艺研究[J]. 肉类工业, 2015(11): 34-36.
- [28] YUSOP S M, O'SULLIVAN M G, KERRY J F, et al. Influence of processing method and holding time on the physical and sensory qualities of cooked marinated chicken breast fillets[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(1): 363-370. DOI:10.1016/j.lwt.2011.08.007.
- [29] 王健, 严文静, 吴海舟, 等. 现代滚揉腌制工艺对低盐火腿风干成熟中品质变化的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(9): 228-234. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.09.036.
- [30] 张东, 李洪军, 李少博, 等. 不同腌制方式对猪肉腌制速率及肉质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 88-92. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.014293.
- [31] 宋磊, 杜娟. 国内外肉类及其制品加工研究现状及进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(20): 5288-5293.
- [32] 张晓敏. 追求新鲜与营养-低温肉制品加工现状及优势[J]. 农产品加工, 2011(12): 6-7.
- [33] 王福红, 徐衍胜. 肉制品斩拌和滚揉技术在烤肠加工中的结合应用[J]. 肉类工业, 2015(11): 25-27.
- [34] GARCIA-LOMILLO J, GONZALEZ-SANJOSE M L, PINO-GARCÍA R D, et al. Antioxidant effect of seasonings derived from wine pomace on lipid oxidation in refrigerated and frozen beef patties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 77: 85-91. DOI:10.1016/j.lwt.2016.11.038.
- [35] 郭亚萍, 高美须, 靳焯, 等. 用辐照技术保障预制食品的安全与质量[J]. 核农学报, 2005(3): 232-235.
- [36] UTRERA M, PARRA V, ESTEVEZ M. Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 812-820. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.09.006.
- [37] 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.11.037.

- [38] DEAN R T, FU S, STOCKER R, et al. Biochemistry and pathology of radical-mediated protein oxidation[J]. *Biochemical Journal*, 1997, 324(1): 1-18. DOI:10.1042/bj3240001.
- [39] 史培磊, 闵辉辉, 李春保, 等. 滚揉腌制前后鹅肉品质的变化[J]. *食品科学*, 2011, 32(11): 88-92.
- [40] 苑瑞生, 梁荣蓉, 罗欣. 滚揉时间和食盐浓度对鸡肉调理制品的保水性及盐溶性蛋白质溶出量的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(1): 162-166; 170. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2011.01.038.
- [41] 胡鹏, 汝医, 王维婷, 等. 滚揉对成熟过程中羊肉肌原纤维蛋白降解及氧化程度的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(24): 53-56. DOI:10.13881/j.cnki.hljxmsy.2018.01.0256.
- [42] 汪烁硕, 许学勤, 姜启兴. 滚揉工艺对冷冻调理猪排品质的影响[J]. *食品工业*, 2016, 37(12): 157-162.
- [43] YANG Fang, JING Diantao, YU Dawei, et al. Differential roles of ice crystal, endogenous proteolytic activities and oxidation in softening of obscure pufferfish (*Takifugu obscurus*) fillets during frozen storage[J]. *Food Chemistry*, 2019, 278: 452-459. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.11.084.
- [44] 冯婷, 孙京新, 邢新涛, 等. 静置、滚揉和超声波对生鲜鸡肉腌制效果的比较[J]. *食品科技*, 2014, 39(5): 111-116. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2014.05.027.
- [45] 冯婷, 孙京新, 徐幸莲, 等. 超声波辅助变频滚揉对鸡肉腌制品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(5): 248-254; 315. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.5.039.
- [46] 詹文圆. 肉制品加工中变频滚揉腌制技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 30-43.
- [47] 詹文圆, 郇延军, 孙敬, 等. 变频滚揉腌制工艺对冷却猪肉中微生物的影响[J]. *食品工业科技*, 2009(1): 211-213. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2009.01.053.
- [48] DEUMIER F, TRYSTRAM G, COLLIGNAN A, et al. Pulsed vacuum brining of poultry meat: interpretation of mass transfer mechanisms[J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 58(1): 85-93. DOI:10.1016/S0260-8774(02)00367-9.
- [49] 罗环, 夏文水, 许艳顺, 等. 醉鱼间歇式真空浸渍快速入味工艺优化[J]. *食品与机械*, 2012, 28(5): 197-201.
- [50] 徐薇薇, 王振宇, 倪娜, 等. 羊肉脉动真空腌制工艺参数优化及腌制模型建立[J]. *食品科学*, 2015, 36(14): 29-33.
- [51] 张东, 李洪军, 甘潇, 等. 响应面优化腊肉脉动真空滚揉腌制工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(10): 124-130. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.014381.
- [52] JAYASOORIYA S D, TORLEY P J, ARCY B R D, et al. Effect of high power ultrasound and aging on the physical properties of bovine *Semitendinosus* and *Longissimus* muscles[J]. *Meat Science*, 2007, 75(4): 628-639. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.09.010.
- [53] LI Ke, KANG Zhuangli, ZOU Yufeng, et al. Effect of ultrasound treatment on functional properties of reduced-salt chicken breast meat batter[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(5): 2622-2633. DOI:10.1007/s13197-014-1356-0.
- [54] HU Yaqin, YU Hixia, DONG Kaicheng, et al. Analysis of the tenderisation of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) meat by ultrasonic treatment using response surface methodology[J]. *Food Chemistry*, 2014, 160: 219-225. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.01.085.
- [55] CHANG H C, WONG R X. Textural and biochemical properties of cobia (*Rachycentron canadum*) sashimi tenderised with the ultrasonic water bath[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(3): 1340-1345. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.11.116.
- [56] AMIRI A, SHARIFIAN P, SOLTANIZADEH N. Application of ultrasound treatment for improving the physicochemical, functional and rheological properties of myofibrillar proteins[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 111: 139-147. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2017.12.167.
- [57] INUGLIA E S, ZHANG Z, TIWARI B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products: a review[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2017, 59: 70-78. DOI:10.1016/j.tifs.2016.10.016.
- [58] SIRÓ I, VÉN C, BALLA C, et al. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 91(2): 353-362. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015.
- [59] 蔡华珍, 王珏, 梁启好. 超声波处理对咸肉腌制影响的初步研究[J]. *食品与发酵工业*, 2005(12): 110-113. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2005.12.029.
- [60] 付丽, 郑宝亮, 高雪琴, 等. 牛肉的超声波快速腌制与嫩化工艺优化[J]. *肉类研究*, 2017, 31(12): 23-29. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201712005.
- [61] 陈丽艳, 潘道东, 曹锦轩, 等. 超声波处理对鹅肉蛋白结构及品质的影响[J]. *核农学报*, 2018, 32(12): 2363-2372. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2018.12.2363.