

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80007

不同腌制技术及其设备应用研究进展

董俊逸^{1,2,3} 姚欢丽¹ 陈 帅^{1,2,3} 吕 静^{1,2,3} 许泽宇^{1,2,3,4}

(1. 郑州轻工业大学, 河南 郑州 450000; 2. 冷链食品加工与安全控制教育部重点实验室[郑州轻工业大学], 河南 郑州 450000; 3. 河南省冷链食品质量安全控制重点实验室, 河南 郑州 450000; 4. 中原食品实验室, 河南 漯河 462000)

摘要: 传统腌制肉方法腌制速度缓慢、腌制液不均匀, 易导致肉品的口感、色泽不稳定。随着近年来研究的深入, 超高压、脉冲电场等一些新技术对肉品腌制品质的改善机理逐渐被阐明, 并被应用于肉品腌制中。文章综述了不同腌制技术及其设备应用研究进展, 包括超声波腌制技术、真空滚揉腌制技术、变压滚揉腌制技术、超高压腌制技术、脉冲电场技术, 分析其利弊以及在工业化生产中的应用, 总结了目前腌制技术存在的不足, 并展望了未来肉品腌制的研究方向。

关键词: 肉品; 腌制; 物理场辅助; 装备

Research progress on different pickling techniques and their equipment applications

DONG Junyi^{1,2,3} YAO Huanli¹ CHEN Shuai^{1,2,3} LU Jing^{1,2,3} XU Zeyu^{1,2,3,4}

(1. Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450000, China; 2. Key Laboratory of Cold Chain Food Processing and Safety Control [Zhengzhou University of Light Industry], Ministry of Education, Zhengzhou, Henan 450000, China; 3. Henan Key Laboratory of Cold Chain Food Quality and Safety Control, Zhengzhou, Henan 450000, China; 4. Food Laboratory of Zhongyuan, Luohe, Henan 462000, China)

Abstract: The traditional pickling method for meat has a slow pickling speed and uneven pickling solution, which can easily lead to unstable taste and color of the meat. With the deepening of research in recent years, the improvement mechanism of new technologies such as ultra-high voltage and pulsed electric field on the quality of meat pickling has gradually been elucidated and applied in meat pickling. The article reviews the research progress of different pickling techniques and their equipment applications, including ultrasonic pickling technology, vacuum rolling pickling technology, variable pressure rolling pickling technology, ultra-high pressure pickling technology, and pulse electric field technology. The advantages and disadvantages of these techniques and their applications in industrial production are analyzed, and the shortcomings of current pickling techniques are summarized. The future research directions for meat pickling are also discussed.

Keywords: meat products; pickling; physical field assistance; equipment

中国是肉品生产和消费大国, 年产量可达 5 794 万 t^[1]。在肉品加工过程中, 使用腌制技术可以防止腐败菌繁殖而达到延长货架期的目的, 同时增加肉的风味, 改善肉类色泽和质构, 提高肉品的食用品质^[2]。中国传统腌制过程中, 由于生产工艺复杂、生产周期长, 易造成食盐渗透缓慢且不均匀, 导致肉品的口感、色泽不稳定^[3]。为提

高腌制效率, 缩短腌制时间和成本, 提高肉品食用品质, 减少腌制过程中的污染^[4], 文章拟综述不同腌制技术及其设备应用研究进展, 分析其利弊以及在工业化生产中的应用, 总结目前腌制技术存在的不足, 并对其未来发展方向进行展望, 以期对肉品新型腌制技术的开发提供依据。

基金项目: 河南省科技攻关项目(编号: 242102111054); 河南省重大科技专项(编号: 221100110500); 郑州轻工业大学博士科研基金项目(编号: 2020BSJJ016); 河南省高等学校重点科研项目(编号: 23A550010)

通信作者: 许泽宇(1989—), 男, 郑州轻工业大学讲师, 博士。E-mail: happyzeyu123@126.com

收稿日期: 2024-01-03 **改回日期:** 2024-06-26

1 不同腌制技术及其特点

目前,比较成熟的现代腌制技术有超声波腌制技术、真空滚揉腌制技术、变压滚揉腌制技术、超高压腌制技术和脉冲电场技术等。

超声波腌制技术是利用超声波的机械效应、热效应、空化效应作用于肉品,以促进腌制液的渗透和扩散,从而实现快速腌制肉品的一种技术。超声波腌制可以有效解决肉品在腌制时耗时长、效率低、质量损失大等问题,对嫩度、持水性、色泽、延长贮存期均有重要作用,在使用时要选择适宜的强度和时间。真空滚揉和变压滚揉是在机械滚揉的基础上附加真空条件或变压条件的加速腌制方法。真空滚揉和变压滚揉可以进一步促进腌制液在肉品中均匀扩散与分布,提高腌制速度,但滚揉技术参数的设定并没有一套系统的指导标准,原料大小、腌制液浓度等均会对滚揉腌制的效果产生影响。超高压腌制是一种利用高静压处理肉品,以缩短腌制周期、提高腌制效率,同时实现杀菌保鲜的肉品加工技术。在其加工过程中,超高压压强、腌制时间、腌制温度等会对腌制产生影响。脉冲电场辅助腌制是一种利用脉冲电场技术来加速和优化腌制过程的加工方法,脉冲电场辅助腌制可以加快腌制速度、提高肉品的嫩度,在使用时需考虑待加工肉品的物理状态,其作用机理存在着不同假说,目前以电击穿理论和电穿孔机理为主流观点。

2 不同腌制技术及其设备应用

2.1 超声波腌制

超声波辅助腌制具有高能量、高效率、绿色环保的特点,可以在不降低肉品质量的情况下,赋予肉制品一些理想的技术特性,超声波对肉品的腌制原理如图 1 所示^[5]。与传统腌制技术相比,超声波辅助腌制可以减少腌制时间,改善膜的通透性,提高效率 and 腌制效果,超声波辅助腌制对肉品嫩度、持水性、延长贮存期均有重要作用^[6]。

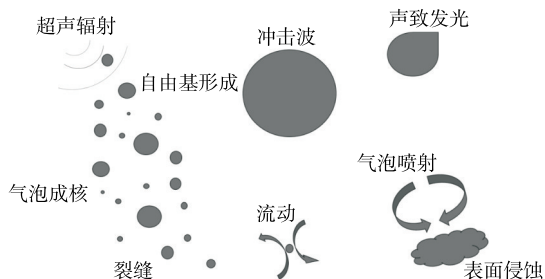


图 1 超声波对肉的作用机理图

Figure 1 Mechanism diagram of ultrasound on meat

超声波辅助腌制可以提高肉品的嫩度。Pan 等^[7]通过比较静态盐水和超声辅助盐水后猪肉的保水能力、仪器颜色、质地参数以及微观结构,发现超声腌制能够有效改

善肉制品的质地特性,与 Gonzalez 等^[8]的研究结果一致,这可能是超声波导致细胞破裂和水解,使蛋白质结构断裂,从而提高了牛肉的质量。Zhou 等^[9]对比研究了 4 种腌制方法对猪肉肌原纤维的影响,如图 2 所示,超声辅助腌制组的猪肉纤维之间的间隙明显,可能是超声波加速肌肉纤维的扩张和相关酶的释放,从而使肌肉的组织结构断裂和分解,明显改善了肉的嫩度。

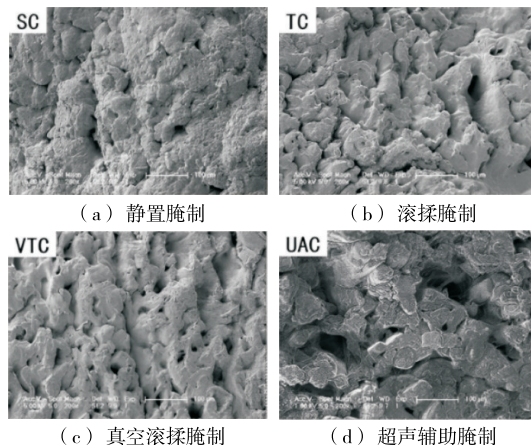


图 2 腌制方法对黑猪肉显微结构的影响^[9]

Figure 2 The effect of different pickling methods on the microstructure of black pork

超声波辅助腌制对肉制品持水力具有显著作用。Xiong 等^[10]研究发现,超声波处理后更多的盐分进入肉中,使得更多的蛋白质侧链与水结合,提高了鸡胸肉的持水能力。茹浩东等^[11]对驴肉进行常压腌制(SC)、脉冲真空腌制(PVC)、超声辅助腌制(UAC)和超声辅助脉冲真空腌制(UVC),探究了 4 种方式对驴肉品质的影响,其氢质子密度成像如图 3 所示,白色区域代表水分含量,UVC 白色区域最多,由此表明超声辅助脉冲真空腌制处理可以增强腌制肉样中的水分流动性,同时提高了腌制后样品中的水分含量和保水性。然而,肉糜保水性和超声时间并不呈正相关,李心悦等^[12]发现,随着超声处理时间的增长,保水性呈先增加后减小趋势,60 min 时保水性最大,处理时间过长会破坏肉糜凝胶空间网状结构,导致保水性降低。此外,超声波功率对肉品保水性也有影响,李佳麒^[13]研究发现,当超声功率>900 W 时,牛肉的蒸煮损失下降速度显著,当超声功率>1 200 W 时,蒸煮损失下降速度明显变缓。因此,超声波腌制肉品时,要选择合适的腌制功率和时间,以保持肉品的保水性。

此外,超声波辅助腌制可以延长产品贮存期,张建梅等^[14]比较了鸡胸肉在传统工艺和超声工艺下贮藏过程中菌落总数的变化,结果如图 4 所示。超声波作用下的鸡胸肉菌落总数小于静腌工艺的,与传统腌制工艺相比延长

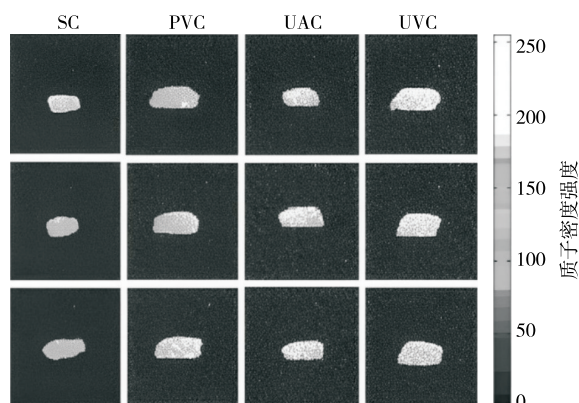
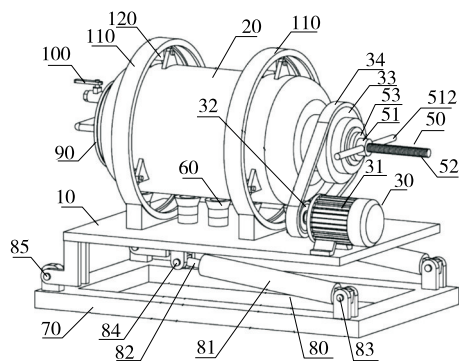


图3 不同腌制方法驴肉的氢质子密度图像^[11]

Figure 3 Image of hydrogen proton density of donkey meat with different curing methods

了产品贮藏期,与冯婷婷^[15]的研究结论一致。因此,超声波可以在有效保持肉品风味的基础上,较好地杀灭肉品中的微生物,延长食品的保存期。

超声波辅助腌制可以提高腌制效率和腌制品的品质并延长肉品的贮藏期,但高强度和长时间的超声波处理会显著增加肉品蛋白质氧化和脂肪氧化程度,可能会使蛋白质发生变性,因此腌制时应选择适宜的超声波强度和时间,避免过高强度的超声波对肉品品质造成影响。



10. 支撑件 20. 仓体 30. 旋转驱动机构 31. 电机 32. 驱动皮带轮 33. 从动皮带轮 34. 皮带 40. 隔挡件 50. 移动机构 51. 螺套 512. 手柄 52. 螺杆 53. 限位端盖 60. 超声波换能器 70. 机架 80. 角度调节机构 81. 油缸 82. 活塞杆 83. 第一枢轴 84. 第二枢轴 85. 第三枢轴 90. 仓盖 100. 阀门 110. 环形轨道 120. 滑轮

(a) 外轮廓图

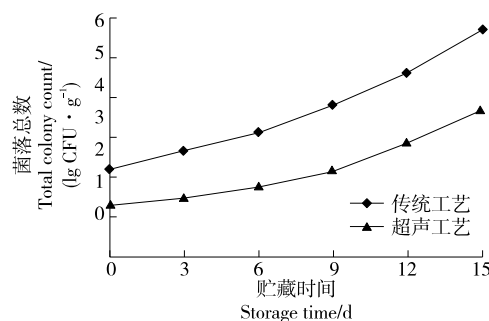
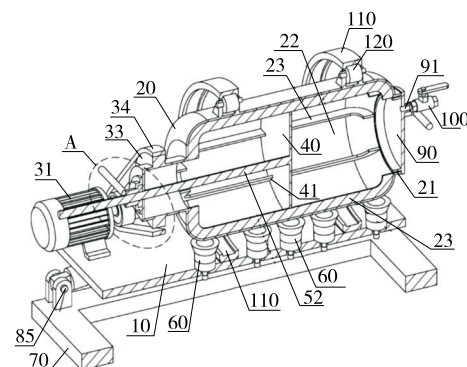


图4 鸡胸肉在贮藏过程中菌落总数的变化^[14]

Figure 4 Changes of the total number of colonies in chicken breast during storage

北京银星通达科技开发有限公司设计的超声波腌制设备如图5所示^[16],主要由支撑件、仓体、旋转驱动机构、隔挡件、移动机构及超声波换能器等组成,通过移动机构可驱动隔挡件朝向或远离物料来改变腌制腔的容积,从而适应不同数量的肉品的腌制需要。当腌制肉品数量较少时,通过移动机构驱动隔挡件朝向物料进出口移动,使仓体内的肉品不至于过于分散,有利于腌制液在肉品中均匀渗透,从而提高腌制速度;通过角度调节机构来调节仓体的角度,进而方便卸料以及利于腌制液集中在腌制腔内。



10. 支撑件 20. 仓体 21. 物料进出口 22. 腌制腔 23. 抄板 31. 电机 33. 从动皮带轮 34. 皮带 40. 隔挡件 41. 避让槽 52. 螺杆 60. 超声波换能器 70. 机架 85. 第三枢轴 90. 仓盖 91. 气孔 100. 阀门 110. 环形轨道 120. 滑轮

(b) 内部结构剖视图

图5 一种超声波腌制设备^[16]

Figure 5 A type of ultrasonic pickling equipment

2.2 真空滚揉腌制

真空条件下进行滚揉加工可以提高肉品的腌制效率、缩短腌制时间、降低肉品的蒸煮损失、提高肉品的嫩

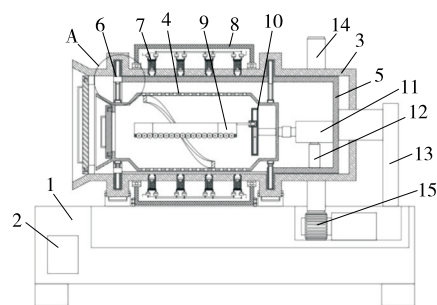
度和改善肉品的色泽^[17]。在改善肉品嫩度方面,郭瑶堂等^[18]通过比较最优工艺条件下真空滚揉腌制和静置腌制得到的牛肉的剪切、出品率和质构特性,发现经真空滚揉后

的牛肉剪切力显著降低,硬度和内聚力显著升高,有效改善了肉的嫩度和质构特性。在改善肉品色泽方面,Ge 等^[19]研究发现,真空滚揉腌制的鸡肉亮度值(L^*)比浸泡腌制的高,鸡肉的保水性也在腌制过程中得到提高。此外,真空滚揉腌制可以延长贮藏期。苏婷等^[20]发现,真空滚揉腌制可以更好地抑制草鱼鱼肉制品中微生物的生长,从而有效延长贮藏期;随着真空度的提高,肉品的感官品质、巯基丁二酸(TBA)和挥发性盐基氮(TVB-N)会先升高再降低,这可能是由于过高的真空度会导致肉品的纤维组织结构被破坏,肉品保水性下降,从而影响了肉品的品质。

在真空滚揉腌制过程中,存在腌制效率、温度和氧化等不可忽略的因素,如果这些因素控制不当,可能会导致耗时久、温度高、水分多、微生物繁殖等风险;传统的加工设备也存在一定的弊端,如吸收率低、渗透不均匀、生产时热量不受控制等,这些都在一定程度上影响肉品腌制的效果^[21]。因此,需要研究探讨适宜的真空度以及滚揉过程,同时设计研发新型真空滚揉机,以提高真空滚揉腌制后肉品的品质。有研究人员^[22]提出了一种烤鱼腌制入味真空滚揉机,如图 6 所示,利用内筒的旋转以及对位于底端的导片以对腌制料液进行抽吸,并利用弹簧实现腌制料液的喷射,使腌制料液均匀地分布于原料肉堆,从而提高原料肉腌制效率的目的。为了解决人工上料不方便的问题,研究人员^[23]又提出了一种腌制肉类的真空滚揉机,如图 7 所示,通过创新设计的升降板、液压缸、滑块、滑轨、连接杆、转动杆、轴承座、固定轴和升降组件的相互配合,可将肉料框内的原料自动添加到机体内,并能自动调节上料高度以适应不同环境需求,节省了人力成本的投入。为了满足中华传统畜禽肉品工业化加工的需求,并结合真空滚揉和现代智能控制技术的优点,许泽宇等^[24-25]提出了一种复合式真空滚揉—智能炒制一体机,如图 8 所示,该一体机主要由五部分组成,具有自动称量、智能自动设定加工程序、真空滚揉、桶内加注调料、恒力搅拌、均匀受热等功能。通过创新设计复合式的真空环境外筒和智能炒制内筒的“双桶”结构,将真空滚揉和智能炒制融入到一台设备中,从而实现了真空滚揉和智能炒制的一体化作业,提高了滚揉和炒制的加工效率、餐品一致性及产品质量,降低了企业的设备投入。

2.3 变压滚揉腌制

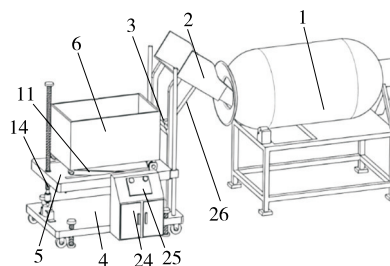
变压滚揉腌制又称呼吸式滚揉技术,原料肉在滚揉过程中经历气体周期性交替和腌制液周期性吸入、排出,使肉块组织结构交替受力,从而提高产品出品率、感官评分和质地特性等指标^[26]。变压滚揉腌制可以改善肉品的质构、色泽以及出品率。刘丹丹等^[27]探究了滚揉方式对中式酱牛肉各项指标的影响,发现变压滚揉增加了酱牛肉的保水性、出品率及感官评分,且产品的质构、色泽也得到了改善。在研究变压滚揉充入的气体组成时,Zhu



1. 机架 2. 控制箱 3. 外筒 4. 内筒 5. 固定内架 6. 支撑内辊 7. 取液器 8. 置筒 9. 移料板 10. 位置调整级件 11. 内驱动电机 12. 内伸缩器 13. 内架支撑杆 14. 外齿轮 15. 外驱动件

图 6 一种烤鱼腌制入味真空滚揉机^[22]

Figure 6 A vacuum rolling and kneading machine for marinating and flavoring roasted fish



1. 本体 2. 进料斗 3. 固定架 4. 底板 5. 升降板 6. 肉料框 11. 转动杆 14. 升降组件 24. 电控箱 25. 控制面板 26. 斜支撑杆

图 7 一种应用于腌制肉类的真空滚揉机^[23]

Figure 7 A vacuum rolling machine applied to pickling meat

等^[28]发现, $V_{CO_2}:V_{N_2}$ 为 1:1 时变压滚揉处理后猪排的嫩度、持水能力及出品率最佳,原因是滚揉后的肌纤维直径显著降低,且混合气体组的肌纤维直径最小,如图 9 所示。在比较静置、真空滚揉和超声辅助变压滚揉 3 种腌制处理对鸡肉的影响时,李鹏等^[29]发现,超声辅助变压滚揉的纤维排列混乱,肌原纤维之间间隙增大,处理效果最为明显,如图 10 所示,说明超声辅助变压滚揉可以提高腌制速度,改善鸡肉的内部结构。变压滚揉可以通过增加 α -螺旋和 β -折叠结构的数量来改变蛋白质的构象,但不改变蛋白质的二级结构,与静态腌制和真空滚揉相比,提高了产品质量,减少了加工时间和成本,但具体操作需要考虑设备和产品参数,此类问题还需进一步研究。

变压滚揉可以提高肉品工业化加工的腌制速度,为了适应不同肉品的加工需求,研究人员^[30]提出了一种滚揉压强实时可调的多功能恒温滚揉机,如图 11 所示,该滚揉压强调节装置可以实时调整装置内的压强,进而实现对肉品物料的变压滚揉或恒定压强滚揉;超声波辅助装

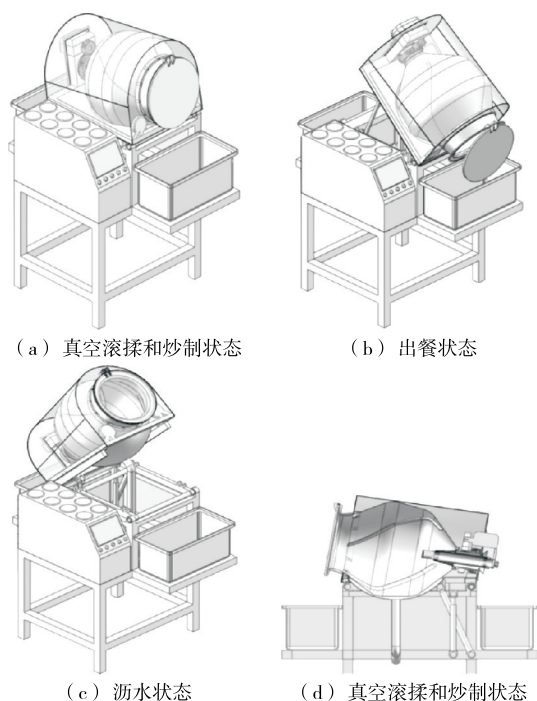
图8 真空滚揉—智能炒制一体机^[24]

Figure 8 Vacuum rolling and intelligent frying all-in-one machine

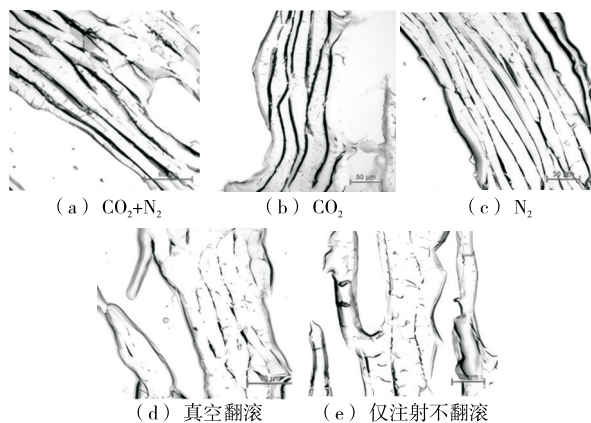
图9 猪排在不同翻滚方式下的肌肉纤维形态^[28]

Figure 9 The muscle fiber morphology of pork chops under different rolling methods

置可以利用超声波对肉品物料进行辅助滚揉;制冷装置用于吸收装置在滚揉过程中产生的热量,从而使滚揉装置内的温度维持在设定范围内;温度传感模块和压强传感模块可以实时监测装置内的温度变化和压强变化。此设备能有效提高肉品滚揉质量,可在较短时间内获得最佳滚揉效果,提高生产效率和肉品原料的适应性,滚揉后肉品的嫩度有效改善,硬度、剪切力和蒸煮损失显著降低,肉品色泽更加鲜亮,弹性和凝聚性显著增加,有效提高了肉品的腌制品质。

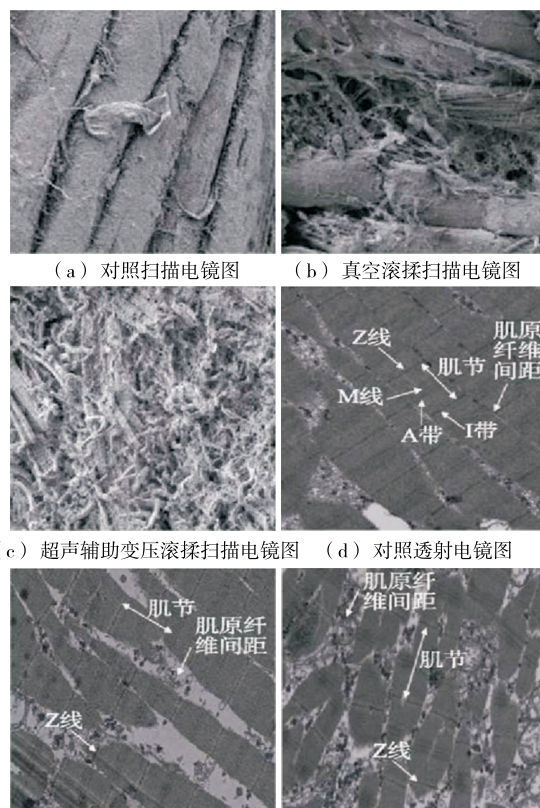
图10 不同滚揉处理后鸡肉的微观结构图^[29]

Figure 10 Microscopic structure diagram of chicken meat after different rolling and kneading treatments

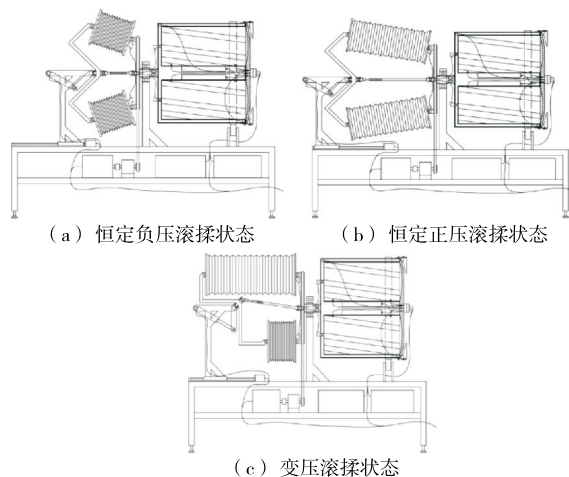
图11 变压滚揉机^[30]

Figure 11 Variable pressure rolling machine

2.4 超高压腌制

食品超高压技术是在密闭的超高压容器中,用水作为介质对软包装食品进行高压处理(100~1 000 MPa)的新型处理技术,可以减少微生物,影响酶活性和产品质地、颜色,延长保质期,与传统腌制工艺相比,超高压技术

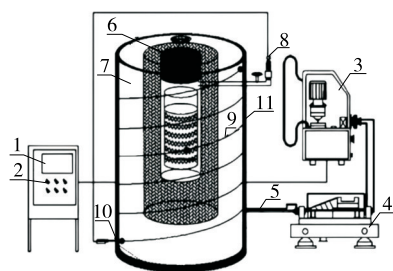
的安全性高、无污染、腌制速度快^[31]。超高压腌制可以提高肉品的嫩度。王琳等^[32]对比了超高压腌制与常温常压、低温常压腌制后烤肉的质构、感官评价、脂肪氧化,3种腌制方式中,超高压腌制的猪肉硬度和咀嚼性最低,可能是由于压力使猪肉中肌肉纤维和蛋白质的结合发生解离,同时导致肌纤维碎片化,最终造成硬度下降。此外,杨梅等^[33]采用模糊数学法对11种腌制方法取得的样品进行综合评价,发现经超高压腌制的斑点叉尾鲴鱼的综合得分最高,腌制效果最好。超高压腌制可以提高肉品的色泽。冷雪娇^[34]通过对比研究不同压力对鸡胸肉的腌制效果,发现高压腌制会使鸡胸肉的亮度值升高,改善腌制肉品的色泽。此外,超高压腌制可以控制微生物的生长,从而延长贮藏期。Orel等^[35]研究表明,在600 MPa的压力下,用50%的氯化钠替代物可以将即食鸡胸肉的微生物保质期延长60 d以上。

压力的变化会影响腌制的效果,不同压力条件下,腌制品的质构也不同。在色泽方面,冷雪娇^[34]研究发现,当压力<150 MPa时,鸡胸肉的亮度值无明显变化,压力>150 MPa时,亮度值开始显著提高,且其红度值下降,黄度值升高,可能是因为较高的压力使亚铁肌红蛋白被氧化成高铁肌红蛋白,导致肉变成黄褐色。在嫩度方面,王旭^[36]研究发现,随着压力的升高,剪切力先降低后升高,在200 MPa时剪切力最小,表明压力<200 MPa时,腌制羊腿肉的嫩度有所提高,进一步增大压力,嫩度开始下降,可能是由于过高的压力引起蛋白质变性。在感官评价方面,邹小欠等^[37]采用不同压力和保鲜剂处理腌制泥螺,发现压力会对泥螺质地产生一定影响,经100,300,500 MPa处理并冷藏15 min后,300 MPa处理组的感官评分下降最少。因此,在运用超高压腌制方法时,应控制好压力,影响超高压腌制效果的其他因素还需进一步研究。

天津科技大学等设计的超高压腌制仪器如图12所示。该仪器将禽蛋密封于超高压容器中,以料液为传压介质,采用100 MPa以上(100~600 MPa)的压力,在常温或较低温度下处理禽蛋,所得腌制蛋营养成分损失较少,极大地保留了腌制蛋的营养品质和风味。在超高压力的作用下,渗透速度快,受力均匀,蛋品破损率低,极大地缩短了腌制蛋的生产周期,提高了生产效率,减少了原料蛋因腌制时间过长引起的营养品质下降问题,延长了保质期。

2.5 脉冲电场腌制

脉冲电场被认为是一种非常有前途的改善食品质量的非热技术,其是通过使用几纳秒到几毫秒的电场脉冲,施加在通过两个电极的食品物料上,蛋白质的极性基团在脉冲电场的影响下发生解折叠,引起蛋白质聚集从而改变蛋白质的功能特性^[39-40]。其能在较低温度下高效率



1. 显示器 2. 设置钮 3. 电动液压泵 4. 增压器 5. 高压配管 6. 超高压腌制缸缸盖 7. 超高压腌制缸体 8. 卸压阀 9. 加热管 10. 温感探头 11. 保温层

图12 一种超高压腌制仪器^[38]

Figure 12 An ultra-high pressure pickling instrument

加工食品,适用于固体、液体和对热敏感的食品,其主要优点是提高食品的微生物安全性,而不会因为过程中热量积累最小而显著影响其感官和营养特性^[41]。

在肉制品腌制过程中,脉冲电场处理会造成细胞膜穿孔,加快食盐扩散的速度,破坏细胞组织,更好地容纳盐水,如图13所示^[42]。脉冲电场辅助腌制可以提高腌制效率,改善肉品的嫩度。Zhang等^[43]评估了脉冲电场对牛肉腌制过程中的质构、微观结构和食用质量的影响。结果表明,脉冲电场可以以较小的能量输入取得较好的腌制效果。脉冲电场的使用加快了牛肉对氯化钠的吸收,浸泡时间减少了近33%,嫩度提高了22.9%。目前,有关脉冲电场对肉品腌制的影响研究较少,其作用机制还需深入研究。作为一种新兴的加工技术,脉冲电场腌制的具体作用效果如何,也有待进一步探索。

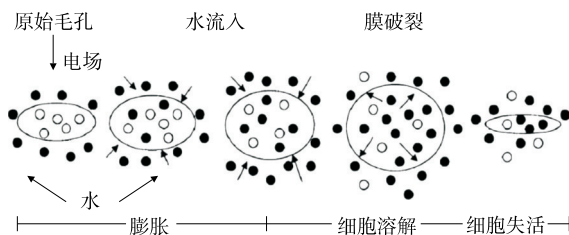


图13 脉冲电场的电穿孔作用^[41]

Figure 13 The electroporation effect diagram of pulsed electric field

3 不同腌制技术的对比

超声波辅助腌制可以提高持水力、改善色泽并能延长肉品的贮藏期,但高强度和长时间超声波处理可能会使蛋白质发生变性,因此腌制时应选择适宜的超声波强度和时间,避免过高强度的超声波对肉品品质造成影响;滚揉腌制能有效改善肉品的色泽、质构并增加其出品率、感官评分,但目前并未系统地研究不同的滚揉腌制技术的效果差距,具体的设备和产品参数也无统一的标准,此

类问题还需进一步探讨;超高压辅助腌制可以提高腌制速度、减少微生物,但不同压力下会产生不同的腌制效果,因此在运用超高压腌制方法时,应控制好压力;脉冲电场辅助腌制可以加快腌制速度、提高肉品的嫩度,但作为新兴技术,其作用机理和具体作用效果有待进一步探索。现代腌制技术的对比分析见表1。

表1 现代腌制技术的对比分析
Table 1 Comparative analysis of modern pickling techniques

方法	作用原理	优点	缺点	文献
超声波腌制	空化效应、机械效应、热效应	提高肉质的保水性	强度过大、时间过长会影响腌制肉品品质	[5—15]
真空滚揉腌制	在真空状态下的物理作用力	提高食盐的渗透率	真空度不宜过高	[18—21]
变压滚揉腌制	真空和压力周期性交替、腌制液进入细胞间隙	腌制品质构、色泽得到改善	设备和产品参数没有统一标准	[26—29]
超高压腌制	破坏分子中部分非共价键、蛋白质结构改变	提高腌制速度	不同压力腌制效果不同	[32—37]
脉冲电场	对细胞膜进行电穿孔、对细胞以及组织有破坏作用	加快食盐扩散速度	作用机理和具体作用效果尚未明确	[39—43]

4 结语

文章主要综述了新型腌制工艺及装备技术应用研究进展,相比于传统腌制技术,新型腌制技术提高了腌制速度、增强了腌制效果,但也存在一定的局限性。部分腌制技术的作用机理尚未明确,仍处于起步阶段;在处理过程中对肉品品质造成的劣变问题,在实施规模化生产时面对的设备局限性和标准化,仪器的结构、规格、性能参数等仍有很大的改进空间,处理不同种类肉品的作用效果不同,各腌制方法的协同作用机制有待研究。后续可以采取以下措施:建立腌制过程中的数学模型以预测口感、化学等方面的变化,以便从理论上解释作用机理;不断优化工艺参数,寻找不同腌制技术的最优参数;积极开发适合规模化生产的腌制设备,提高企业效率;针对不同肉品研究其特有的参数阈值,以探究不同种类肉品的作用效果;研究不同腌制技术的具体协同作用,达到更好的腌制效果。

参考文献

[1] 2023年年度数据:农业一畜产品产量[DB]. 北京: 中华人民共和国国家统计局, 2024.
Annual data for 2023: agriculture: output of livestock product [DB]. Beijing: National Bureau of Statistics of the People's Republic of China, 2024.

[2] 杨焕彬, 曾庆培, 李京, 等. 广东隔水蒸鸡产业化生产关键工艺优化[J]. 轻工学报, 2021, 36(2): 1-9.
YANG H B, ZENG Q P, LI J, et al. Optimization of key process for the industrialization of Guangdong steam chicken[J]. Journal of Light Industry, 2021, 36(2): 1-9.

[3] 吴梦迪, 马海乐, 刘会敏. 不同模式超声波辅助低温腌制对牛肉品质的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(9): 177-182, 233.
WU M D, MA H L, LIU H M. Effects of different modes of ultrasonic assisted low-temperature curing on beef quality[J].

Food & Machinery, 2023, 39(9): 177-182, 233.

[4] 程静, 李丽婵, 汪少芸, 等. 皮蛋加工工艺创新及腌制过程中理化性质变化规律研究进展[J]. 食品与机械, 2023, 39(9): 209-218.
CHENG J, LI L C, WANG S Y, et al. Research progress on innovative processing technologies and changes in physicochemical properties during the pickling of Pidan[J]. Food & Machinery, 2023, 39(9): 209-218.

[5] DONG Y X, ZHANG H Z, MEI J, et al. Advances in application of ultrasound in meat tenderization: a review[J]. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2022, 6: 969503.

[6] 黄荣秋, 臧明伍, 李海花, 等. 超声波技术在肉品加工中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(20): 431-439.
HUANG R Q, ZANG M W, LI H H, et al. Research advance of application of ultrasonic treatment in meat processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(20): 431-439.

[7] PAN J J, LI C L, LIU X J, et al. A multivariate insight into the organoleptic properties of porcine muscle by ultrasound-assisted brining: protein oxidation, water state and microstructure[J]. LWT, 2022, 159: 113-136.

[8] GONZALEZ G L, ALARCON-ROJO D A, CARRILLO-LOPEZ M L, et al. Does ultrasound equally improve the quality of beef? An insight into *Longissimus lumborum*, *Infraspinatus* and *Cleidooccipitalis*[J]. Meat Science, 2020, 160: 107963.

[9] ZHOU Y J, HU M Q, WANG L. Effects of different curing methods on edible quality and myofibrillar protein characteristics of pork[J]. Food Chemistry, 2022, 387: 132872.

[10] XIONG G Y, FU X Y, PAN D M, et al. Influence of ultrasound-assisted sodium bicarbonate marination on the curing efficiency of chicken breast meat[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 60: 104808.

[11] 茹浩东, 刘崇歆, 邓紫馨, 等. 超声波辅助脉冲真空腌制对驴肉品质的影响[J]. 美食研究, 2023, 40(1): 73-79.

- RU H D, LIU C X, DENG Z X, et al. The effect of ultrasonic assisted pulse vacuum pickling on the quality of donkey meat [J]. *Journal of Researches on Dietetic Science and Culture*, 2023, 40(1): 73-79.
- [12] 李心悦, 曹清泉, 徐静, 等. 超声波辅助腌制对猪肉糜食用品质及凝胶性能的影响[J]. *肉类研究*, 2022, 36(8): 21-28.
- LI X Y, CAO J Q, XU J, et al. Effects of ultrasonic-assisted curing on eating quality and gel properties of minced pork[J]. *Meat Research*, 2022, 36(8): 21-28.
- [13] 李佳麒. 超声波辅助腌制对牛肉干制品嫩度的影响及其机制探讨[D]. 郑州: 河南农业大学, 2022: 13-14.
- LI J Q. Effect of ultrasonic-assisted pickling on tenderness of beef jerky products and its mechanism[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2022: 13-14.
- [14] 张建梅, 厉建军, 孙晓红, 等. 超声波辅助腌制对肉制品的影响[J]. *农产品加工*, 2019(15): 11-14.
- ZHANG J M, LI J J, SUN X H, et al. Effect of ultrasonic assisted pickling on meat products[J]. *Farm Products Processing*, 2019(15): 11-14.
- [15] 冯婷婷, 叶阳, 李蓉, 等. 超声波辅助腌制对卤鸡爪出品率和保藏期品质的影响[J]. *中国调味品*, 2018, 43(9): 49-54.
- FENG T T, YE Y, LI R, et al. Effects of ultrasonic assisted curing on the yield and quality of marinated chicken feet[J]. *China Condiment*, 2018, 43(9): 49-54.
- [16] 北京银星通达科技开发有限责任公司. 一种超声波腌制设备: CN23420122.5[P]. 2023-04-07.
- Beijing Silver Star Science & Technology Co Ltd. A type of ultrasonic pickling equipment: CN23420122.5[P]. 2023-04-07.
- [17] 胡鹏, 汝医, 王维婷, 等. 滚揉对成熟过程中羊肉品质的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2017(20): 98-100.
- HU P, RU Y, WANG W T, et al. The effect of rolling and kneading on the quality of lamb meat during the ripening process[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2017(20): 98-100.
- [18] 郭瑶堂, 王明芳, 罗月辰, 等. 滚揉工艺对牛肉品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(8): 177-182.
- GUO Y T, WANG M F, LUO Y C, et al. Effects of rolling process on quality of beef[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(8): 177-182.
- [19] GE Q F, GUO S Y, CHEN S, et al. A comparative study of vacuum tumbling and immersion marination on quality, microstructure, and protein changes of Xueshan chicken[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 1064521.
- [20] 苏婷, 王辉, 安建超, 等. 真空滚揉腌制对草鱼品质的影响[J]. *肉类工业*, 2021(3): 41-45.
- SU T, WANG H, AN J C, et al. Effect of vacuum rolling and curing on quality of grass carp[J]. *Meat Industry*, 2021(3): 41-45.
- [21] LI Y, FENG T, SUN J, et al. Physicochemical and microstructural attributes of marinated chicken breast influenced by breathing ultrasonic tumbling[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 64: 105022.
- [22] 安徽富煌三珍食品集团有限公司. 一种烤鱼腌制入味真空滚揉机: CN2310821744.9[P]. 2023-09-01.
- Chaohu Fuhuang Sanzhen Co Ltd. A vacuum rolling and kneading machine for marinating and flavoring roasted fish: CN2310821744.9[P]. 2023-09-01.
- [23] 嘉善疆江食品有限公司. 一种应用于腌制肉类的真空滚揉机: CN2123053028.6[P]. 2022-04-05.
- Jiashan Jiangjiang Food Co Ltd. A vacuum rolling machine applied to pickling meat: CN2123053028.6[P]. 2022-04-05.
- [24] 郑州轻工业大学. 一种用于大盘鸡制作的全自动真空滚揉智能炒制机: CN2010661071.1[P]. 2020-09-22.
- Zhengzhou University of Light Industry. A fully automatic vacuum rolling intelligent frying machine for making large plate chicken: CN2010661071.1[P]. 2020-09-22.
- [25] 许泽宇, 栗俊广, 李波, 等. 复合式畜禽肉品真空滚揉-智能炒制一体机的设计[J]. *食品工业*, 2021, 42(11): 247-252.
- XU Z Y, LI J G, LI B, et al. Design of compound vacuum tumbling and intelligent frying machine for livestock and poultry meat[J]. *Food Industry*, 2021, 42(11): 247-252.
- [26] 刘丹丹, 赵培, 陈金玉, 等. 呼吸式滚揉腌制对中式酱牛肉挥发性物质的影响[J]. *食品与机械*, 2022, 38(2): 21-26.
- LIU D D, ZHAO P, CHEN J Y, et al. Effects of breathing tumbling on volatile substances of Chinese soy-sauced beef[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(2): 21-26.
- [27] 刘丹丹, 吴子健, 刘忠敏, 等. 滚揉方式对中式传统酱牛肉品质的影响[J]. *肉类研究*, 2021, 35(7): 15-20.
- LIU D D, WU Z J, LIU Z M, et al. Effects of tumbling methods on quality of traditional chinese sauced beef[J]. *Meat Research*, 2021, 35(7): 15-20.
- [28] ZHU C Z, YIN F, TIAN W, et al. Application of a pressure-transform tumbling assisted curing technique for improving the tenderness of restructured pork chops[J]. *LWT*, 2019, 111: 125-132.
- [29] 李鹏, 王红提, 孙京新, 等. 超声辅助变压滚揉对鸡肉蛋白质结构及含水量的影响[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(16): 308-314.
- LI P, WANG H T, SUN J X, et al. Effects of pressure-transform tumbling assisted by ultrasound on protein structure and water content of chicken[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(16): 308-314.
- [30] 郑州轻工业大学. 一种滚揉压强实时可调的多功能恒温滚揉机: CN2123180345.4[P]. 2022-08-02.
- Zhengzhou University of Light Industry. A multifunctional constant temperature rolling machine with real-time adjustable rolling pressure: CN2123180345.4[P]. 2022-08-02.
- [31] 黄丽, 庞庭才, 祁岑, 等. 超高压处理对斜带石斑鱼冷藏期间细菌多样性的影响[J]. *食品与机械*, 2023, 39(12): 126-132.

- HUANG L, PANG T C, QI C, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on bacterial diversity of *Epinephelus coioides* during refrigeration[J]. Food & Machinery, 2023, 39(12): 126-132.
- [32] 王琳, 冉佩灵, 熊双丽, 等. 超高压腌制对烤制猪肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 19-26.
- WANG L, RAN P L, XIONG S L, et al. Effect of ultra-high pressure curing on the quality of roasted pork[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 19-26.
- [33] 杨梅, 陈梦迪, 王珂莉, 等. 基于模糊数学评判法优化调味鱼的腌制工艺[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(8): 83-89.
- YANG M, CHEN M D, WANG K L, et al. Optimization on brining process of flavored fish based on fuzzy mathematics comprehensive evaluation[J]. Food Research and Development, 2020, 41(8): 83-89.
- [34] 冷雪娇. 超高压处理对鸡胸肉腌制效果的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014: 33-35.
- LENG X J. Study of high pressure brining on the chicken breast[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014: 33-35.
- [35] OREL R, TABILO-MUNIZAGA G, CEPERO-BETANCOURT Y, et al. Effects of high hydrostatic pressure processing and sodium reduction on physicochemical properties, sensory quality, and microbiological shelf life of ready-to-eat chicken breasts[J]. LWT, 2020, 127: 109352.
- [36] 王旭. 超高压腌制对羊腿肉品质影响及传质动力学研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2016: 20-30.
- WANG X. Study of quality and mass transfer on ultra-high pressure brining leg of lamb[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2016: 20-30.
- [37] 邹小欠, 李成, 余炬波, 等. 超高压结合天然保鲜剂处理对腌制生食泥螺品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2 268-2 275.
- ZOU X Q, LI C, YU J B, et al. Combined effects of natural chemicals and ultra-high pressure on quality of pickled raw *Bullacta exarata*[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(8): 2 268-2 275.
- [38] 天津科技大学, 天津复盛中生物科技有限责任公司. 一种超高压法快速制作再制蛋的系统及方法: CN1811206108.0[P]. 2019-03-26.
- Tianjin University of Science and Technology, Tianjin Fushengzhong Biotechnology Co Ltd. A system and method for rapid production of remade eggs using ultra-high pressure method: CN1811206108.0[P]. 2019-03-26.
- [39] 王昱, 李新燕, 白艳红, 等. 鸡肉肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性改善技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2 527-2 534.
- WANG Y, LI X Y, BAI Y H, et al. Research progress on improvement techniques of chicken myofibrillar protein heat-induced gel properties[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(8): 2 527-2 534.
- [40] BASSO M P, ALVES B S D, MANUEL J L, et al. Green technologies as a strategy to reduce NaCl and phosphate in meat products: an overview[J]. Current Opinion in Food Science, 2020, 40: 1-5.
- [41] 李喜宏, 杨梦娇, 梁富浩, 等. 非热加工技术调控果蔬产品内源酶活性研究进展[J]. 轻工学报, 2023, 38(4): 11-19.
- LI X H, YANG M J, LIANG F H, et al. Research progress on regulation of endogenous enzyme activities of fruit and vegetable products by non-thermal processing technology[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(4): 11-19.
- [42] 陈婷, 刘昕露, 王白娟. 高压脉冲电场在云南普洱茶中的应用研究进展[J]. 江西农业学报, 2023, 35(7): 121-126.
- CHEN T, LIU X L, WANG B J. Research progress in application of high voltage pulsed electric field in Yunnan Pu'er tea[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2023, 35(7): 121-126.
- [43] ZHANG Y, WANG R, WEN Q H, et al. Effects of pulsed electric field pretreatment on mass transfer and quality of beef during marination process[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2022, 80: 103061.