

冷冻家禽类预制菜加工及复热技术研究进展

黎梓杭¹, 黄凯雯¹, 江伟烽², 刘泽祺¹, 杨海华¹, 林捷^{1,3},
吴绍宗^{1,3}, 郭宗林^{1,3}, 郑华^{1,3*}

(1. 华南农业大学食品学院, 广州 510642; 2. 广州市江丰实业股份公司, 广州 510450;
3. 畜禽产品精准加工与安全控制国家地方联合工程中心, 广州 510450)

摘要: 预制菜是指以农、畜、禽、水产品为原料, 经过标准化生产得到的成品或半成品。随着宅经济、家庭小型化和生活节奏的改变, 预制菜行业迅猛发展。家禽预制菜是预制菜行业的重要分支, 市场上主要的产品有冷冻形式的白切鸡、椒麻鸡、盐焗鸡等卤煮类产品; 也有道口烧鸡、辣子鸡丁等常温保藏类; 还有盐水鸭等低温保藏食品。加工技术和复热技术良莠不齐, 原料控制、腌制入味、熟化工艺和匹配的设备等影响着产品的质量; 特别是冷冻类预制菜, 复热技术和程度对菜品的品质影响较大, 缺乏家禽预制菜肴和复热技术的理论研究。本文综述了加工技术以及复热技术对冷冻家禽预制菜的影响, 为改善家禽预制菜的食用品质提供理论支撑, 同时为预制菜加工企业、中央厨房以及家庭饮食中获得安全、高质量的冷冻家禽预制菜提供思路。

关键词: 冷冻家禽预制菜; 加工技术; 熟化; 复热技术

Advances in processing and reheating technologies for frozen prepared poultry foods

LI Zi-Hang¹, HUANG Kai-Wen¹, JIANG Wei-Feng², LIU Ze-Qi¹, YANG Hai-Hua¹,
LIN Jie^{1,3}, WU Shao-Zong^{1,3}, GUO Zong-Lin^{1,3}, ZHENG Hua^{1,3*}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Guangzhou Jiangfeng Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510450, China; 3. National and Local Joint Engineering Center for Precision Processing and Safety Control of Livestock and Poultry Products, Guangzhou 510450, China)

ABSTRACT: Prepared foods are finished or semi-finished products through standardized processing of raw materials from agricultural, livestock, poultry, or aquatic products. With the evolution of the home economy, family miniaturization and life pace, the prepared foods industry has developed rapidly. Prepared poultry foods are an important part of the prepared food industry. The main products in the market are frozen white-cut chicken, frozen pepper chicken, frozen salt-baked chicken, and other frozen marinated products; there are also products preserved at room temperature such as Daokou roast chicken and spicy diced chicken; furthermore, low-temperature preservation foods such as boiled salted duck are also included. The level of processing and reheating technologies are of varying quality, of which the management of raw materials, marination and flavoring, maturation processes, and matching

基金项目: 2023年广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目(2023KJ128)、畜禽产品精准加工与安全控制国家地方联合工程研究中心项目(发改高技[2016]2203号)

Fund: Supported by the 2023 Guangdong Modern Agricultural Industrial Technology System Innovation Team Construction Project (2023KJ128), and the National and Local Joint Engineering Research Center for Precision Processing and Safety Control of Livestock and Poultry Products (Develop high skills[2016]No.2203)

***通信作者:** 郑华, 副教授, 主要研究方向为畜禽产品加工与控制。E-mail: 951524011@qq.com

***Corresponding author:** ZHENG Hua, Associate Professor, College of Processing and Control of Livestock and Poultry Products, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China. E-mail: 951524011@qq.com

equipment affect the product quality; in particular, the technology and degree of reheating have a greater effect on the quality of prepared frozen foods, however, there is a lack of theoretical research. This paper reviewed the influence of processing and reheating technologies on prepared frozen poultry foods to theoretically support the edible quality improvement of prepared poultry foods, and provide ideas for prepared foods enterprises, central kitchens and families to obtain safe and high quality frozen prepared poultry foods.

KEY WORDS: frozen prepared poultry foods; processing technologies; curing; reheating technology

0 引言

据艾媒分析报告表示, 2022 年中国预制菜市场规模预估达到 4196 亿元, 其中家禽预制菜市场规模为 1091 亿元, 消费占比 26%。截止至 2023 年 5 月, 世界家禽生产总量已超过 1 亿万 t^[1-2]。冷冻家禽预制菜是指禽肉经过一系列适当加工处理再进行包装杀菌, 通过冷冻贮藏运输, 进入市场售卖后再经过简单烹调即可食用的产品, 其优点主要有原料来源方便、加工方式简单^[3]。由此可见, 冷冻家禽类预制菜在中国市场仍有十分良好的发展前景。

冷冻家禽类预制菜的品类众多, 主要集中在卤煮型家禽预制菜。但卤煮型家禽预制菜仍处于开拓阶段, 在腌制处理、熟化、冷冻和复热过程中因为蛋白质过度变性、脂质过度氧化时常导致出现保水性低、风味差、嫩度下降等问题, 影响家禽预制菜的食用品质, 进而降低商业价值^[4]。研究表明, 家禽预制菜的食用品质主要受腌制技术、冷冻技术、熟化技术和复热技术的影响。针对以上问题, 本文整理了近年来国内外家禽类预制菜的腌制、熟化、冷冻及复热技术的研究进展, 探究了腌制、熟化、冷冻及复热技术对家禽预制菜的影响, 并对其进行总结, 以期改善家禽类预制菜的食用品质提供参考。

1 加工工艺对家禽预制菜的影响

家禽预制菜有多种加工工艺, 能有效在加工环节改善禽肉嫩度与保水性的工艺主要有 4 种: 腌制工艺、机械处理、熟化处理以及冷冻处理^[3,5-7]。

1.1 腌制工艺对家禽预制菜的影响

腌制能够防腐贮藏、改善肉色、提升风味和嫩度, 是冷冻家禽类预制菜生产关键技术之一^[5]。目前生产冷冻家禽预制菜常用的腌制方法主要是湿腌法, 而湿腌法中包括了传统湿腌法和真空滚揉技术、高压腌制、静态变压腌制等新技术^[8-9]。陈德琴等^[10]利用真空滚揉加工鸡腿肉, 结果表明鸡腿在经过真空滚揉处理后, 嫩度以及保水率得到显著提高; 而将鸭肉置于 150 MPa 压力下腌制, 发现鸭肉既低盐又能很好地保持嫩度和鲜味^[11]。相比于静态腌制, 烤鸭肉在静态变压的条件下, 质构、保水性和香味保持能力

都得到了提升^[12]。因此, 在冷冻家禽类预制菜加工过程中, 使用新型腌制技术可以显著提高家禽预制菜的嫩度、保水性以及香味, 为未来提高腌制率、开发新技术和改善禽肉整体品质提供参考。

除腌制技术外, 腌制液配方在一定程度上也影响着禽肉的保水性以及嫩度。除了传统地添加磷酸盐和氯化钠提高肉类的保水性和嫩度以外, 人们逐渐将重心转移到低磷低钠的摄入。代增英等^[13]发现使用 0.6%~1.5% 的球磨超微粉碎(ball milling superfine grinding, BMSG)海藻酸盐无磷保水剂腌制鸡胸肉时, 肉制品的纤维感、咀嚼感和多汁性得到提高; 2% 海藻糖、0.5% 碳酸氢钠和 0.1% L-组氨酸复配得到的无磷保水剂腌制鸡肉制成的调理鸡丁在储存过程中则能显著地降低蒸煮损失和提高鲜味值^[14]。同时, 家禽类预制菜在冻藏过程中由于温度低, 导致一些不耐冻的呈味氨基酸发生损失, 为了弥补这种损失, 赵子瑞^[15]在腌制剂中添加 0.6% 的酵母提取物, 发现该方法可以定向补偿氨基酸损失, 使产品肉香纯正, 鲜嫩爽口。由此可见, 腌制剂中包含复配保水剂或者微生物提取物不仅可以提高禽肉的整体质地, 还能维持禽肉原有的滋味, 在未来的研究中应当重点被关注。

1.2 机械处理对家禽预制菜的影响

冷冻家禽预制菜在工业生产过程中的机械处理主要包括滚揉技术与焯水处理。滚揉技术是通过滚筒的离心力使肉块与肉块, 肉块与滚筒之间不断发生碰撞、摩擦, 使得肌纤维发生分离, α 线断裂, 破坏细胞的完整性, 使原料肉组织结构松软, 从而提高了肉的嫩度和保水性^[16]。随着工业的发展, 滚揉技术逐渐与新型加工技术结合, 丁玉庭等^[6]发现对比常压滚揉, 真空滚揉与脉动真空滚揉处理得到的鸭肉在色泽、嫩度上更优, 蒸煮损失更少, 而李长鸣^[8]则在该技术的基础上做出了改进, 采用变压滚揉处理鸭肉, 显著提高了鸭肉的口感以及营养物质, 在保证咸度的同时降低了含盐量, 符合人们低盐低糖的健康生活。

为了除去肉中的血污和腥味, 大部分带有腥臊气味的家禽肉类在熟化前需要经过焯水处理, 如王西汐等^[9]发现两次焯水能明显减少鸡肉的腥味物质[庚醛和(E)-2-壬烯醛], 减少了预煮时异味物质的产生。但对于家禽类预制菜, 焯水时间过久或者温度过高会导致保水性下降、肌纤维蛋

白过度变性, 因此, 在初加工过程中, 应当严格控制焯水的温度和时间。

1.3 熟化处理对家禽预制菜的影响

1.3.1 不同熟化方式对家禽预制菜的影响

不同的熟化方式对肉的色泽、质构、香气等产生不同影响。目前, 肉制品的热加工方式有很多种, 如表 1 所示, 包括传统的热加工方式, 如水煮、蒸制、油炸、煎制加热、焗制等^[28]; 也包括新式的热加工方法, 如欧姆加热^[29]、远红外加热^[30-32]、射频加热^[33]、电磁感应加热^[17]等, 新式方法具有一定优势, 如加热速度快、清洁环保等, 但限于技术发展不成熟, 导致食物的接触面过热、禽肉熟化不完全、精准控温较难等, 暂不能大规模应用到家禽预制菜生产过程的熟化工序中。

家禽类预制菜以卤煮型预制菜和油炸型预制菜为主, 常见的熟化方式为煮制。煮制即对原料实行热加工的过程, 一般包括水煮加热、蒸汽加热、油炸等。其中水煮加热和蒸汽加热属于对流加热, 二者加热效果相近。对比于水煮加热, 蒸汽加热由于蒸汽温度高, 热穿透速率高, 对禽肉的熟化速度更快, 同时蒸制能够很好地保持禽营的营养物质和风味物质^[34]。CHO 等^[35]研究了不同温度的过热蒸汽对腌制肌肉影响, 发现在 225℃左右过热蒸汽下处理 10 min 左右得到的禽肉综合评分最高, 最适合食用。而经过不同热加工处理后, 水煮加热得到的鸭肉部分腥味被去除并且鲜味氨基酸含量提高^[12], 鲜味值得已增加。近年来, 关于

真空低温烹调的研究更是被推上热点。真空低温烹调是指将真空包装中的家禽肉置于固定好温度、时间的容器内, 一般以温度 50~80℃水浴加热数小时的一种加工技术。牛肉在低温真空烹调与蒸汽加热后的质构与营养性存在差异, 与常压水浴熟化相比, 在 60℃下进行低温真空烹调得到的牛肉矿物质含量损失不到 5%, 无显著性差异, 且最终得到的剪切力下降 17%, 保水性提高了 4%; 在低温真空烹调下, 鸡胸肉红度值提高 3.4 倍、肉质嫩度提高了 7%, 保水性提高了 23%^[36]。由此可见, 真空低温烹调 and 过热蒸汽加热对改善家禽预制菜的嫩度、保水性以及整体品质有很好的效果。

油炸熟化是一种特殊的煮制方式, 该技术利用脂肪或油作为传热介质直接与食物接触, 经过高温短时的加热处理, 杀灭微生物和细菌, 并赋予食物金黄的外观以及酥脆的口感。但是过高的油温以及过长的加热时间会导致禽肉产生不良风味、氧化值过高, 生成杂环胺、丙烯酰胺等致癌物质等问题^[37-38]。同时工厂中加热食品油脂经常反复使用, 导致油脂中反式脂肪酸的合成速度加快, 过度摄入反式脂肪酸对人体健康有一定的危害。因此, 预加热的过程中, 控制油温及加热时间尤为重要。

1.3.2 不同熟化程度对家禽预制菜的影响

热加工是熟化、灭菌的一种方式, 主要目的是为了改善家禽肉的感官性质, 降低肉的硬度, 以满足消费者需要^[34,39]。由于家禽肉中每种蛋白质的变性温度以及收缩程度不同,

表 1 不同熟化技术对家禽预制菜的影响
Table 1 Effects of curing technology on poultry precooked foods

熟化技术	熟化温度	熟化效果	应用原料及参考文献
过热蒸汽加热	225℃处理 10 min	红值更高, 肉质更嫩, 保水性强, 综合评分在 225℃熟化 10 min 后最高	鸡腿肉 ^[17]
水煮加热	熟化至中心温度 75℃	去除了部分腥味并提高了氨基酸含量	鸭肉 ^[18]
真空低温烹调	60℃熟化 4 h	矿物质损失小, 嫩度更高, 保水性更强	鸡胸肉 ^[19]
油炸加热	180℃油炸 6 min	外观评分最高, 蛋白质变形程度高	鸡肉球 ^[20]
焗制加热	86℃卤水中焗制 65 min	色泽金黄、皮爽脆、肉滑嫩、骨咸香, 受卤水影响大	盐焗鸡 ^[21]
炒制加热	150℃油锅中炒制中心温度 70℃	表面硬化, 保水性下降, 但挥发性风味物质含量高	宫保鸡丁 ^[22-23]
煎制加热	150℃热油煎制 3 min 左右	得率高, 保水性好, 产生挥发性风味物质不如炒制加热	预调理鸡扒 ^[24]
烤制加热	130℃烤制 70 min+170℃烤制 90 min	保水性高, 肉质鲜嫩, 无焦糊斑, 铅、砷、汞等小于 0.05 mg/kg	奥尔良烤鸡 ^[25]
远红外加热	由可编程温度控制器将温度控制在 180℃加热 3.5 min	耗能低, 营养物质降解少, 但食物中油脂含量高	鸡块 ^[26]
欧姆加热	55 V 加热至中心温度 70℃	保水性低于蒸汽加热, 口感、弹性得到提升	鸡肉肠 ^[27]

因此对于肉的熟度也仅限于模糊定义, 1997 年, CALIFANO 等^[40]初次将热处理时内部温度达到 60℃的肉定义为“半熟肉”, 中心温度 71℃的肉定义为“中熟肉”, 而中心温度达到 77℃的肉被定义为“全熟肉”。在生产预制菜的过程中, 原料通常被加热至全熟, 导致产品质量参差不齐。有学者以鸡肉在熟化过程中蛋白质的变性规律为核心, 研究并发现随着中心温度达到 45℃, 鸡肉的保水性开始降低, 肌浆蛋白开始凝固, 折叠的肽链伸展, 以盐键或氢键结合的形式产生新的侧链, 酸基的数量急剧减少, pH 上升, 等电点向碱性方向移动, α 螺旋显著下降^[41-42]。当温度上升至 65~75℃时, 肌节剧烈收缩, 肌纤维变短(如图 1 所示), 维持 α 螺旋的氢键作用力下降, 蛋白质二级结构发生改变, 这与计红芳等^[43]研究加热温度对鹅肉的影响中得到的结果相似。鸡肉中所含的结合水以及肌浆蛋白析出, 胶原蛋白吸水变性生成明胶溶出, 肌内膜和肌束膜分离, z 线断裂, z 线附近出现颗粒化现象, 肌球蛋白与肌动蛋白交联形成肌动球蛋白, 弹性蛋白含量降低, 肉中的抗氧化系统被破坏, 不饱和脂肪酸向饱和脂肪酸转化, 使得熟化后的半成品禽肉抗氧化能力和食用品质下降^[44-46]。

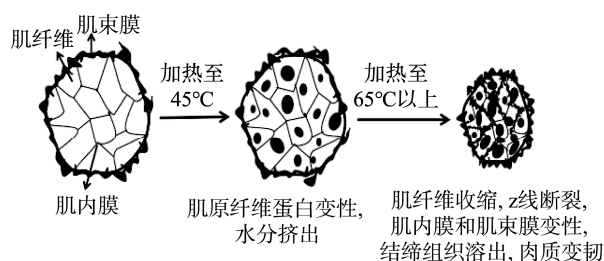


图1 肌原纤维蛋白受热变性图

Fig.1 Schematic diagram of heat degeneration of myofibrillar protein

同时, 家禽肉风味主要来源于加热后产生的挥发性物质、非挥发性等物质, 与肉的种类和加热程度有关。在熟化过程中, 由于美拉德反应、脂质降解以及美拉德和脂质的相互作用使肉类气味发生显著性变化。王昱苏等^[47]通过气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)发现鸡肉中的己醛在较低温度下就可以得到相对较高且稳定的值; 而当鸭肉中心温度熟化至 70℃时, 多种醛类物质的特征风味值(odour active values, OAV)较高, 肉香味和脂香味明显, 但温度达到 75℃时, 鸭肉的硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)将达到最高, 鸭肉中脂肪氧化程度高, 易产生异味^[48]; 同时, SMITH 等^[49]建立了温度-时间函数, 认为鸡胸肉熟化至 74℃以上时再保藏复热, 会加快产生过熟味(warm-over flavor, WOF)。LI 等^[50]的研究则表明, 鸭肉在预加热到 60℃左右, 鸭肉中胶原蛋白以及大部分肌原纤维蛋白并未发生变性, 冷藏后再复热可以减少胶原蛋白的损失, 并且肌纤维的收缩程度降低, 肉质得到一定的

改善, 这与李超^[51]发现的结果相近。随着郁浩^[52]证明了鸡肉制品在预加热过程中适当控制加热强度和加热时间能够有效降低蛋白质的变性程度, 这些结果都说明对比在预加工过程中将家禽肉预加热至“全熟”状态, “半熟”的产品经过一定的复热处理后可能会使产品的品质得到一定的改善, 但目前半熟预制菜的品类多局限于牛排、香肠、培根等西式食物, 对中餐尤其是家禽类预制菜的加工技术尚未成熟, 仍有很大发展空间。

1.4 冷冻处理对家禽预制菜的影响

冷冻技术对家禽类预制菜的色泽、质地以及风味有着重要影响。在预制菜的生产过程中, 常用的冷冻技术主要为常规冷冻工艺。常规冷冻工艺是通过食品与低温介质接触而发生热交换, 导致食品的温度降至所设定的温度, 从而实现预制菜的冷冻处理, 具有设施简单、操作简便等优点^[53-54]。但由于常规冷冻技术降温速度慢, 冻结时产生的冰晶大小不受控制, 容易导致家禽类预制菜在冻藏过程中组织被严重破坏, 发生严重的氧化褐变, 降低家禽预制菜的品质。为解决这一问题, 近年来人们进行深入研究, 提出了超声波辅助冷冻、磁场辅助冷冻以及高压冷冻等方法应用于预制菜的保藏, 以求最大限度地保持预制菜的风味和品质^[55-56]。

1.4.1 超声波辅助冷冻

超声波辅助冷冻法是一种利用低频、高强度超声辅助低温冷冻的一种方法, 具有操作方便、价格低廉、无毒、环保等优点^[57]。超声波辅助冷冻形成的冰晶小, 形状规则且分布均匀, 对组织破坏较小, ZHANG 等^[58]发现经过超声波辅助冷冻的鸡胸肉经过长期冷冻储存后, 鸡胸肉色泽以及脂肪氧化并无明显变化, 且冻藏后进行蒸煮, 蒸煮损失仅为 5.65%。可见, 使用超声辅助冷冻技术处理家禽预制菜可以很好地保持菜肴的品质。但是目前超声辅助冷冻技术仍然需要改进, 如冷冻机制有待完善, 能否与其他技术联合使用都是未来需要解决的问题^[59]。

1.4.2 磁场辅助冷冻

磁场是一种洁净的能源技术, 由于其独特的传导特性及能量产生方式而被用于辅助食品冷冻, 以更好地保持家禽预制菜的质量以及营养特性^[60]。在快速冷冻设备中的磁场能够有效使食物中的自由水聚集成簇, 吸附在蛋白质三级结构表面, 降低了水分的冰点, 抑制冰晶的形成, 维持和稳定了食物中组织结构^[61]。当磁场强度达到 4.6 G 时, 磁场对肉类食物冻结具有促进作用, 冻结速率达到最大值, 但目前就国内而言, 出于对专利技术的保护, 磁场辅助冷冻技术的相关数据公布过少, 应用范围也存在一定局限性, 在未来仍有很大的开发空间^[62]。

1.4.3 高压冷冻

高压冷冻是一种利用水的冰点在高压下降低, 将食物

冷却到一定温度下, 解除压力, 使食品迅速冻结的方法^[63]。高压冷冻有利于食品内部形成均匀而细小的冰晶, 且冰晶体积不膨胀, 能够减少家禽预制菜内部组织的损伤, 能够保持食品原有品质。目前高压冷冻技术能够明显减少食物中汁液流失、组织破坏以及改善食物品质的效果已经被广泛认可, 但对于肉类蛋白质的结构影响仍然存在一定的差异, 长时间高压容易导致蛋白质结构网络被破坏, 使家禽预制菜品质出现不可逆的降低^[64-65]。

2 复热处理对家禽预制菜的影响

市面上 46.2%的家禽预制菜采用冷链供应, 在食用前均需要再次加热, 经过复热处理后的肉制品口感更佳, 符合我国消费者饮食习惯, 这种食用前再加热的处理过程称为复热^[66-67]。对于全熟家禽预制菜, 如辣子鸡丁等, 消费者习惯凭借经验对预制菜进行复热, 对不同的复热方法以及工艺参数没有总结, 导致复热后出现口感变差、风味散失、水分含量低等问题, 降低了家禽预制菜的质量。

对于半熟家禽预制菜, 如白切鸡等, 在复热过程中, 食物中任何残留的未熟化的部位, 都有可能增加食物中毒的风险^[68]。而如果复热工序太复杂, 则会失去作为预制菜的意义, 因此, 有关预制菜的复热工艺的研究仍迫在眉睫。

2.1 不同复热方法对家禽预制菜的影响

对于冷冻家禽预制菜, 常见的复热方式(表 2)包括: 水煮复热、蒸汽复热、油炸复热、烘烤复热、微波复热、空气炸复热、欧姆复热等; 除此之外, 还有射频复热技术、红外复热技术、微波联合汽蒸复热、微波联合水浴复热等待继续开发的技术^[31]。不同的复热方法对预制菜的品质和风味影响不同, LYON 等^[77]使用烤箱以及微波复热同一批鸡肉饼, 发现微波复热组 TBARs 值显著高于烤箱复热, 且存在一定的过熟味, 而 CATHARINA 等^[78]发现使用红外、高压蒸汽以及微波复热同一批鸡肉派和牛肉饼时, 蒸汽以及微波复热处理得到的食物中, 核黄素以及硫胺素含量均高于 89%, 红外处理组中得到的核黄素以及硫胺素含量均低于 84%, 可见, 合适的复热方法对还原食物的色香味显得十分重要。

2.1.1 蒸汽复热

蒸汽复热是利用水蒸汽作为媒介, 在持续高温和较高压力下, 蒸汽逐步向原料内部渗入, 使原料成熟或者酥烂的一种方法, 其复热原理如图 2 所示, 适用于蒸鸡、盐水鸭等卤煮型预制菜。近些年, 关于过热蒸汽复热的研究越来越受到关注, 过热蒸汽是指干饱和蒸汽在一定压力下继续加热并超过蒸发温度所形成的高温蒸汽。过热蒸汽热传递效率高、安全、绿色环保, 已经逐渐成为了一种新型预制菜预加热技术^[79]。

表 2 不同复热方法对冷冻家禽预制菜的影响
Table 2 Effects of different reheating methods on precooked foods

复热方法	复热条件	复热效果	参考文献
空气炸复热	200℃ 10 min+180℃ 6 min	复热后食品脱脂率较高, 外酥里嫩, 绿色健康, 有油炸产品特有的风味和色泽	[69]
水浴复热	85℃ (±5℃)加热至中心温度到 72℃左右	加热均匀, 弹性下降较快, TBARs 值增加较明显	[70] [71]
蒸汽复热	100℃蒸汽复热 10 min	复热后食品的色香味保留好, 脂肪氧化程度高	[72]
微波复热	720 W 复热 60 s	复热后肉质较好, 产生一定的风味物质, 但水分损失、营养损失较大	[73]
烘烤复热	180℃复热 10 min	复热后色泽金黄, 挥发性风味物质增加, 但脂肪和蛋白质氧化更快, 水分损失较多, 产生较多的胆固醇氧化产物	[74]
欧姆复热	(21±1) V/cm 复热 2.5 min	复热时间短, 能量消耗小, 水分损失小, 肉质较嫩, 但是肉表面颜色较浅, 不适合脂肪多的肉制品复热	[75]
油炸复热	180℃复热 2 min	复热过程中不饱和脂肪酸含量增加, 风味更好, 水分损失大, 氧化稳定性大大降低	[76]

2.1.2 烘烤复热

烘烤复热即熟肉或者半成品通过热力进行重新熟化或者烘干的过程,其复热原理如图 3 所示。通过烘烤,熟肉或者肉的半成品的色泽、滋味、水分含量等将发生一系列的变化,从而使得肉制品表面干爽、香气浓郁、滋味诱人、色泽金黄^[80]。但复热后的禽肉脂肪和蛋白质氧化程度高,丙二醛(malonic dialdehyde, MDA)值与 TBARs 值较高,易产生 WOF 因子,复热时间过长或温度过高易导致禽肉中产生较多杂环胺等不良物质,过多摄入不利于人体健康,适用于烤鸡、红烧鸭等家禽预制菜。

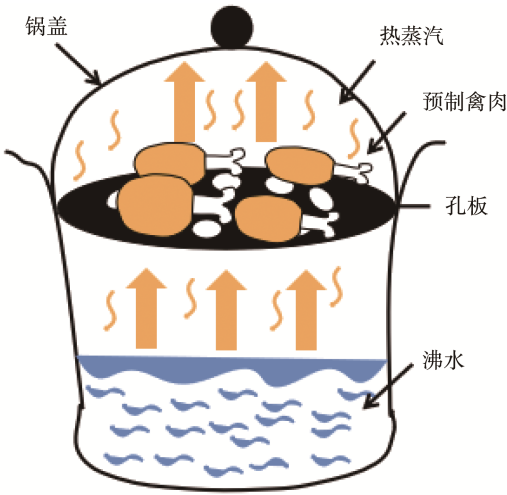


图2 蒸汽复热原理
Fig.2 Steam reheating principle

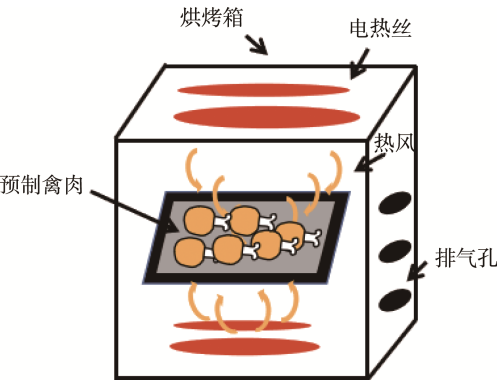


图3 烘烤复热原理
Fig.3 Baking reheating principle

2.1.3 微波复热

微波复热即微波透入物料内,与物料的极性分子相互作用,使其极性取向随着外电磁场的变化而变化(图 4),致使分子急剧摩擦、碰撞,以响应发生 915 至 245000 万次/s 的电场反转,使物料内各部分在同一瞬间获得热量而升温^[81],其复热原理如图 5 所示。但此种方法通常会导致受热不均匀的情况,并且微波加热穿透深度不高,一般被限制在每

边 10~15 mm,对于体积较大的样品,难以穿透^[82]。复热后,禽肉 MDA 值和 TBARs 值低于水浴复热、蒸汽复热。但存在着复热后的禽肉表面蛋白质氧化程度高、水分散失快等问题,容易产生 WOF。多位学者发现,在微波功率 750 W 左右复热 75~80 s 得到的预制肉类品质较好^[83-85],适用于多种家禽预制菜。

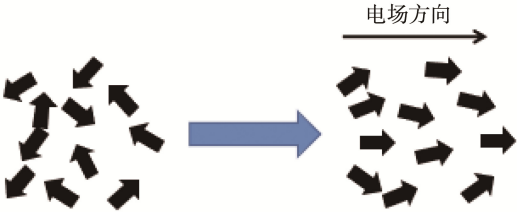


图4 偶极极化机制
Fig.4 Dipole polarization mechanism

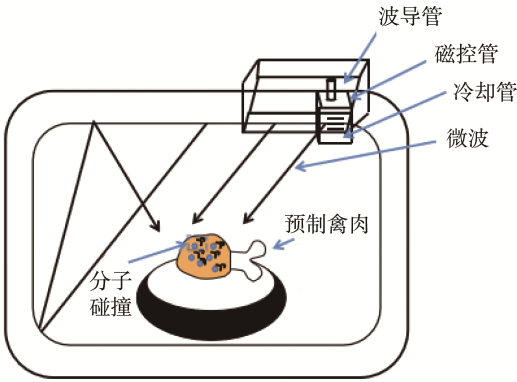


图5 微波复热原理
Fig.5 Microwave reheating principle

2.1.4 空气炸复热

空气炸是一种采用空气代替热油,利用较高流速的热空气迅速带走食品表面水分,对食品进行均匀加热,使复热后的食品产生类似于油炸效果的复热方法,较适用于油炸型预制菜,其复热原理如图 6 所示。在相同的复热温度下,对比油炸复热,空气炸复热的食品能够保留食品本身的香味和酥脆,产生的 WOF 因子含量低于油炸复热,同时减少了丙烯酰胺的形成以及 25%的油脂摄入,有益于人们的身体健康。刘天毅等^[69]发现 200℃复热 10 min 结合 180℃复热 6 min 后得到的鸡块感官得分最高,且当复热温度小于 200℃时,家禽预制菜的感官评分随着复热时间的延长呈先增加后下降的趋势,因此,冷冻家禽类预制菜在使用空气炸复热时,应当将复热温度控制在 180~200℃,且复热时间在 10min 左右最佳。

2.1.5 欧姆复热

欧姆复热又称电加热,其原理是利用食品本身的导电性进行复热(图 7)。当电流通过食品时,食品中含有可电离的酸和盐产生电阻,使得食品内部的温度升高,从而达

到复热的目的。欧姆复热的能量主要来源于食物本身, 从而实现快速复热, 但需要保证物料与电极接触良好, 含盐量低或者形态不均匀的物料可能会导致复热不完全^[86]。欧姆复热得到的肉制品肉色均匀, 得率在 70%左右, 复热速度快, 能量消耗少, 适用于预制鸡汤、鸭汤等卤煮型预制菜^[87]。目前多认为在功率 (21 ± 1) V/cm 下复热 2 min 左右得到的家禽预制菜品质综合评分最高。

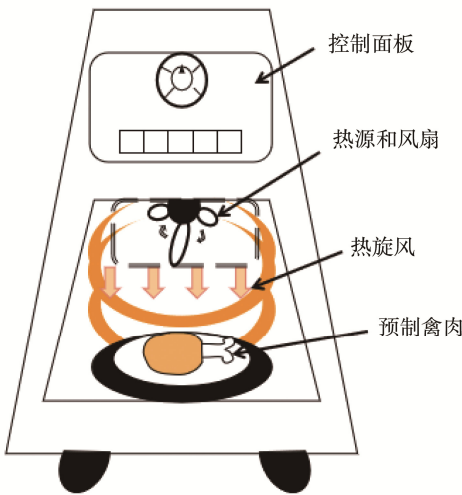


图6 空气炸复热原理
Fig.6 Air frying reheating principle

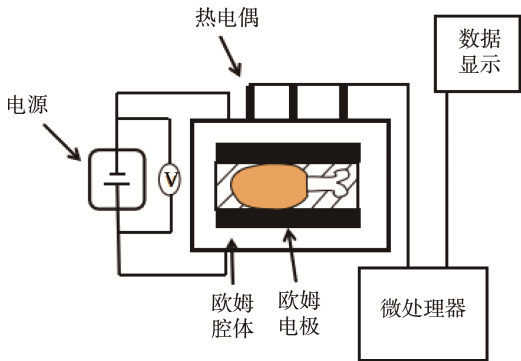


图7 欧姆复热原理
Fig.7 Ohmic reheating principle

2.2 复热程度对家禽预制菜的影响

不同复热程度对家禽预制菜的品质以及安全性上都有一定的影响。我国餐饮服务食品操作规范规定, 复热食品中心温度应超过 70℃才能保证食用安全, 过度复热、复热温度过高都会导致预制菜得率过低, 水分保持能力变差^[88]。刘世欣等^[89]发现预制肉串在微波复热的过程中, 不适当的复热功率和时间, 都会降低肉串的多汁性、色泽以及嫩度; 有报道指出, 当复热温度超过 70℃时, 鸡肉中的肌原纤维发生纵向变化, 挤出水分, 肉质保水性降低, 同时当水分

蒸发过多时, 鸡肉表面出现硬化、变焦等现象, 影响感官和食用安全; 当煮制复热时间延长, 肌原纤维结构的完整性遭到破坏, 降低了肉的韧性和收缩程度, 肉的咀嚼性和硬度出现了下降的现象, 其口感软绵, 水分含量较低, 无鲜嫩口感^[90]。同时, 随着复热温度的增加, 冷冻预制菜会产生 WOF, WOF 是熟肉复热过程中产生的一种特殊异味^[91], 一般难以被人们接受, 主要由细胞膜磷脂受热氧化分解产生, 由于鸡胸肉中磷脂含量为鸡腿肉的两倍, 所以即使在鸡腿肉脂肪含量较高的情况下, 鸡胸肉也能产生较高的异味因子, 添加豆蔻提取物等天然抗氧化剂可有效降低脂质氧化以及蛋白质降解, 从而减少 WOF 因子的产生^[92]。当温度高于 73℃时, 鸡胸肉更容易产生 WOF, 因此复热时间仍然不宜过长^[93]。

但是复热时间过短, 不仅可能会导致食物感官较差, 而且任何残留的未熟化的部位都有可能增加食物中毒的风险, PATSIAS 等^[94]发现预煮鸡肉在常温储存 12 d 下, 表面总活菌数达到新鲜食物可接受的上限, 不完全复热后食用可能会影响人体健康, 而当鸡丝制品复热到中心温度较低时, 鸡肉中存在冰水混合物, 表面脂肪溶解不完全, 夹杂较重的生油味, 感官较差^[95]。因此, 建议冷冻家禽预制菜在复热过程中复热至中心温度 70~73℃较为合适。

3 结束语

冷冻家禽预制菜食用前的品质主要受加工技术和复热技术的影响。本文总结了多种加工技术以及复热技术对家禽预制菜产生的效果, 认为合适的腌制工艺、机械处理、熟化程度、熟化方法以及冷冻方法能够提高家禽预制菜初产品嫩度、风味以及保水性。同时, 大部分消费者以及餐厅凭经验复热导致家禽预制菜食用前的保水性、嫩度、风味下降。针对在复热后品质下降的问题, 未来应该开展有关不同腌制剂、熟化技术、冷冻技术以及复热技术对家禽类预制菜品质提升的研究, 重点关注加工过程中熟化程度以及冷冻方法的选择对家禽类预制菜复热后保水性、嫩度、风味的影响以及复热技术导致禽肉品质下降的机制研究。以期提高冷冻家禽预制菜在复热后的嫩度、风味以及保水性, 为不同种类的家禽预制菜设计特定的生产工艺及复热设备, 以便在未来开拓冷冻家禽预制菜的消费市场。

参考文献

[1] 艾媒咨询. 2022—2023 年中国肉禽类预制菜产业研究及竞争格局监测报告 [EB/OL]. [2022-07-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1737581103192331388&wfr=spider&for=pc> [2023-05-07].
Ai Media Consulting. China Meat and Poultry Prepared Foods Industry Research and Competition Monitoring Report (2022—2023) [EB/OL]. [2022-07-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1737581103192331388&wfr=spider&for=pc> [2023-05-07].

- [2] 中商产业生产院. 2022 年中国预制菜行业市场回顾及 2023 年发展前景预测分析 [EB/OL]. [2022-03-07]. https://www.sohu.com/a/578136700_120205287#:~:text=2021%E5%B9%B4%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%82%89,%E8%BE%BE3289%E4%BA%BF%E5%85%83%E3%80%82 [2023-06-29].
China Business Industry Production Institute. China Prepared Foods Industry 2022 Market Review and 2023 Development Prospects Analysis [EB/OL]. [2022-03-07]. https://www.sohu.com/a/578136700_120205287#:~:text=2021%E5%B9%B4%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%82%89,%E8%BE%BE3289%E4%BA%BF%E5%85%83%E3%80%82 [2023-06-29].
- [3] 曾璐瑶, 王海滨, 廖鄂, 等. 畜禽类预制菜加工技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 495–504.
ZENG LY, WANG HB, LIAO E, *et al.* Processing technology progress on prepared dishes of livestock and poultry [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, 44(7): 495–504.
- [4] 连荷. 夯实冷冻食品科技根基 推动预制菜产业行稳致远[N]. 中国食品报, 2022-12-07.
LIAN H. Consolidate the foundation of frozen food science and technology and promote the stable development of the prepared foods industry [N]. *China Food News*, 2022-12-07.
- [5] 刘梦竹, 康桦华, 涂杜, 等. 基于传统烹饪肉类预制菜的加工技术需求[J]. 广东畜牧兽医科技, 2023, 48(3): 24–29.
LIU MZ, KANG HH, TU D, *et al.* Processing technology requirements of meat prepared dishes based on traditional cooking [J]. *Guangdong J Anim Vet Sci*, 2023, 48(3): 24–29.
- [6] 丁玉庭, 胡煌, 吕飞, 等. 滚揉腌制方式对鸭肉腌制品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(2): 200–204.
DING YT, HU H, LV F, *et al.* Effect of different brining methods on the quality of duck [J]. *Food Ferment Ind*, 2013, 39(2): 200–204.
- [7] 刘天杰, 阎红, 孙晋康, 等. 花椒鸡丁预调理食品标准化加工工艺研究[J]. 西昌学院学报, 2017, 31(2): 7–10.
LIU TJ, YAN H, SUN JK, *et al.* Research on standardized processing technology of prepared food of diced chicken with Chinese prickly pepper [J]. *J Xichang Univ*, 2017, 31(2): 7–10.
- [8] 李长鸣. 一种提高鸭肉腌制口感的腌制方法: 中国, CN109418778A[P]. 2019-03-05.
LI CM. A pickling method for improving the taste of pickling duck meat: China, CN109418778A [P]. 2019-03-05.
- [9] 王西沙, 曹金诺, 李赫, 等. 氯化钙复合脂肪酶处理工对鸡汤腥味的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 131–136.
WANG XX, CAO JN, LI H, *et al.* Effect of calcium chloride combined lipase treatment process on the gamey taste of chicken soup [J]. *Food Sci Technol Ind*, 2019, 40(24): 131–136.
- [10] 陈德琴, 王伦兴, 张洪礼, 等. 响应面优化淘汰蛋鸡鸡腿肉真空滚揉腌制工艺[J]. 农产品加工, 2022, (11): 34–39, 43.
CHEN DQ, WANG LX, ZHANG HL, *et al.* Effect of vacuum tumbling on the tenderness of spent hen leg meat [J]. *Farm Prod Process*, 2022, (11): 34–39, 43.
- [11] 张爽. 高压对鸭胸肉腌渍速度与品质影响研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
ZHANG S. The effect of high pressure on pickled speed and character of duck breast meat [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2009.
- [12] JIAO D, ZHANG D, CHEN R, *et al.* A developed variable pressure-assisted salting process: Improving the textural, flavor, and sensory attributes in roasted duck breast [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 167: 113800.
- [13] 代增英, 马晓静, 张晓龙, 等. BMSG 海藻酸盐无磷保水剂在肉制品中的应用研究[J]. 肉类工业, 2022, (4): 27–32.
DAI ZY, MA XJ, ZHANG XL, *et al.* Application research of BMSG alginate phosphate-free water-retaining agent in meat products [J]. *Meat Sci*, 2022, (4): 27–32.
- [14] 闫征, 卞次, 王咏梅, 等. 无磷保水剂对中式调理鸡丁品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(5): 1203–1208.
YAN Z, BIAN H, WANG YM, *et al.* Influence of non-phosphate water-retaining agents on quality of Chinese prepared diced chicken [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2019, 35(5): 1203–1208.
- [15] 赵子瑞. 低钠酱牛肉制备配方优化与品质改良及贮藏特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
ZHAO ZR. Study on the preparation formula optimization, quality improvement and storage characteristics of low sodium spiced [D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [16] 于秋影, 赵宏蕾, 常婧瑶, 等. 新型滚揉技术在肉制品加工中的应用的研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(17): 380–388.
YU QY, ZHAO HL, CHANG JY, *et al.* Progress in the application of new tumbling technologies in meat processing [J]. *Food Sci*, 2022, 43(17): 380–388.
- [17] WANG XJ, MUHOZA B, WANG XW, *et al.* Comparison between microwave and traditional water bath cooking on saltiness perception, water distribution and microstructure of grass carp meat [J]. *Food Res Int*, 2019, 125: 108521.
- [18] LIU Y, XU X, ZHOU G. Changes in taste compounds of duck during processing [J]. *Food Chem*, 2007, 102(1): 22–26.
- [19] WIESŁAW P, DANUTA J, KATARZYNA K, *et al.* Effect of heat treatment by the sous-vide method on the quality of poultry meat [J]. *Foods*, 2021, 10(7): 1610.
- [20] ISMAIL-FITRY M, JINAP S, JAMILAH B, *et al.* Effect of different time and temperature of various cooking methods on sulfonamide residues in chicken balls: International conference on environment: Survival and sustainability [C]. Nicosia, Cyprus, 2007.
- [21] 钟鸣, 李威娜, 钟艳梅, 等. 盐焗鸡食品生产加工与品质控制研究进展[J]. 肉类工业, 2022, (1): 1–6.
ZHONG M, LI WN, ZHONG YM, *et al.* Research progress on production and processing and quality control of salt-baked chicken food [J]. *Meat Technol*, 2022, (1): 1–6.
- [22] 林丹, 吴宝珠, 冷朝杰, 等. 宫保鸡丁微波烹饪工艺优化及其挥发性风味物质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(19): 6171–6180.
LIN D, WU BZ, LENG CJ, *et al.* Optimization of processing technology of Kung Pao chicken by microwave and analysis of volatile flavor components [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(19): 6171–6180.
- [23] 杨洪浪, 华玲, 贾洪锋, 等. 宫保鸡丁烹制过程中品质的变化[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 189–197.
YANG HL, HUA L, JIA HF, *et al.* Quality changes of Kung Pao chicken during cooking [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, 44(4): 189–197.
- [24] 章海风, 李辉, 周晓燕, 等. 三种食用油在鸡排煎制中的品质变化[J]. 扬州大学烹饪学报, 2013, 30(1): 27–30.
ZHANG HF, LI H, ZHOU XY, *et al.* Quality changes of three kinds of

- edible oil in frying chicken chops [J]. *Culin Sci J Yangzhou Univ*, 2013, 30(1): 27–30.
- [25] 扶庆权. 奥尔良风味烤鸡的制作[J]. *肉类工业*, 2015, (11): 6–7.
- FU QQ. Production of Orleans flavor roast chicken [J]. *Meat Ind*, 2015, (11): 6–7.
- [26] UDOMKUN P, NIRUNTASUK P, INNAWONG B. Impact of novel far-infrared frying technique on quality aspects of chicken nuggets and frying medium [J]. *J Food Process Pres*, 2019, 43(5): e13931.
- [27] LIM-IM J, KULKETWONG C, SUWANPAYAK N, *et al*. Effect of ohmic heating on colour and texture of chicken frankfurter [J]. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*, 2019, 301(1): 12054.
- [28] 王乐, 闫宇壮, 冯国勇, 等. 食品复热技术发展与应用分析[J]. *食品工业*, 2021, 42(10): 243–248.
- WANG L, YAN YZ, FENG GY, *et al*. Analysis on the development and application of food reheating technology [J]. *Food Ind*, 2021, 42(10): 243–248.
- [29] ÁNGEL-RENDÓN SV, FILOMENA-AMBROSIO A, CORDON-DÍAZ S, *et al*. Ohmic cooking: Application of a novel technology in pork and influences on water holding capacity, cooking loss and colour [J]. *Int J Gastron Food Sci*, 2019, 17: 100–164.
- [30] 于贤龙, 褚斌, 肖红伟, 等. 红外辐射食品热处理机制及应用研究进展[J]. *食品与机械*, 2022, 38(4): 213–219.
- YU XL, CHU B, XIAO HW, *et al*. Advance in research on heat treatment mechanism of infrared radiation and its application in foods [J]. *Food Mach*, 2022, 38(4): 213–219.
- [31] LEE E. A review on applications of infrared heating for food processing in comparison to other industries [J]. *Innov Food Proc Technol*, 2021, 1: 431–455.
- [32] 陈臣. 预制千层饼鲜食/冷藏及复热品质改善研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- CHEN C. Study on edible quality improvement of fresh/cooling and reheating of pre-made pancake [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [33] 姜欣, 李阿敏, 陈东坡. 面向食品解冻和制熟过程的射频加热技术研究进展[J]. *家电科技*, 2022, 4(4): 58–64, 79.
- JIANG X, LI AM, CHEN DP. Research progress of radio frequency heating technology for food thawing and cooking [J]. *J Appl Sci Technol*, 2022, 4(4): 58–64, 79.
- [34] 杨宝进. 畜产品工艺学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2021.
- YANG BJ. Animal products science and technology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2021.
- [35] CHO W, CHOI J. Sensory quality evaluation of superheated steam-treated chicken leg and breast meats with a combination of marination and hot smoking [J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1924.
- [36] MODZELEWSKA-KAPITULA M, PIETRZAK-FIEĆKO R, TKACZ K, *et al*. Influence of sous vide and steam cooking on mineral contents, fatty acid composition and tenderness of semimembranosus muscle from Holstein-Friesian bulls [J]. *Meat Sci*, 2019, 157: 107877.
- [37] 陈龙, 王谊, 程昊, 等. 油炸食品中潜在的几类危害物及其消减技术[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(2): 376–389.
- CHEN L, WANG Y, CHENG H, *et al*. Several potential hazardous substances in fried foods and their control techniques [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2022, 22(2): 376–389.
- [38] 周明珠, 杜柳, 邱文兴, 等. 油炸肉制品风味的研究进展[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(5): 1–9.
- ZHOU MZ, DU L, QIU WX, *et al*. Research progress on flavor of fried meat products [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2023, 39(5): 1–9.
- [39] 赵钜阳, 孔保华, 刘骞, 等. 中式传统菜肴方便食品研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(4): 1342–1349.
- ZHAO JY, KONG BH, LIU Q, *et al*. Research progress on convenience food from traditional Chinese dishes [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(4): 1342–1349.
- [40] CALIFANO AN, BERTOLA NC, BEVILACQUA AE, *et al*. Effect of processing conditions on the hardness of cooked beef [J]. *J Food Eng*, 1997, 34(1): 41–54.
- [41] 张立彦, 吴兵, 包丽坤. 加热对三黄鸡胸肉嫩度、质构及微观结构的影响[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2012, 40(8): 116–121.
- ZHANG LY, WU B, BAO LK. Effect of heating on tenderness, texture and microstructure of Sanhuang chicken breast meat [J]. *J South China Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2012, 40(8): 116–121.
- [42] 吴兵. 鸡肉的热致变化研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- WU B. Study on thermal-induced changes of chicken [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.
- [43] 计红芳, 张令文, 王方, 等. 加热温度对鹅肉理化性质、质构与微观结构的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(3): 89–93.
- JI HF, ZHANG LW, WANG F, *et al*. Effects of heating temperature on physicochemical properties, texture and microstructure of goose meat [J]. *Food Ferment Ind*, 2017, 43(3): 89–93.
- [44] DAVEY CL, GILBERT KV. Temperature-dependent cooking toughness in beef [J]. *J Sci Food Agric*, 1974, 25(8): 931–938.
- [45] SAOWAKON W. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle [J]. *Food Chem*, 2015, 93(2): 337–348.
- [46] METTE C, PETER P, LARSEN L. The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue [J]. *Meat Sci*, 2000, 55(3): 301–307.
- [47] 王昱苏, 孟兰奇, 郭焯, 等. 热加工方式对鸡肉风味的影响[J]. *保鲜与加工*, 2022, 22(12): 44–52.
- WANG YS, MENG LQ, GUO Y, *et al*. Effect of thermal processing method on chicken flavor [J]. *Storage Process*, 2022, 22(12): 44–52.
- [48] 陈梦飞. 低温真空烹调对鸭肉风味特性及品质的影响研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2022.
- CHEN MF. Research on the effect of sous vide cooking on the favor characteristics and quality of duck meat [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2022.
- [49] SMITH DM, SALIH AM, MORGAN RG. Heat treatment effects on warmed-over flavor in chicken breast meat [J]. *J Food Sci*, 1987, 52(4): 842–845.
- [50] LI C, WANG D, DONG H, *et al*. Effects of different cooking regimes on the microstructure and tenderness of duck breast muscle [J]. *J Sci Food Agric*, 2013, 93(8): 1979–1985.
- [51] 李超. 加热处理对鸭肉嫩度的影响及其机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- LI C. Effects of heat treatment on duck meat tenderness and its mechanism [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [52] 郁浩. 微波预油炸调理鸡肉制品的研制[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.

- YU H. Development of microwavable pre-fried chicken products [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2012.
- [53] 黄骏. 肉类预制菜肴的品质提升与控制策略研究[J]. 食品安全导刊, 2023, (16): 42–44.
- HUANG J. Research on the quality improvement and control strategy of meat prepared dishes [J]. *China Food Saf Magaz*, 2023, (16): 42–44.
- [54] 孙国皓. 食品冷冻技术研究现状及进展[J]. 食品安全导刊, 2021, (12): 177–179.
- SUN GH. Current status and progress of food freezing technology research [J]. *China Food Saf Magaz*, 2021, (12): 177–179.
- [55] 侯倩, 丁林欢, 张虹虹, 等. 磁场辅助冷冻技术在食品中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 32(4): 20–26.
- HOU Q, DING LH, ZHANG HH, *et al.* Advance on the application of magnetic field-assisted freezing technology in food [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, 32(4): 20–26.
- [56] 袁琳娜, 李洪军, 王兆明, 等. 新型冷冻和解冻技术在肉类食品中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(2): 220–227.
- YUAN LN, LI HJ, WANG ZM, *et al.* Research progress on novel freezing and thawing technology applied to meat products [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(2): 220–227.
- [57] ZHANG C, CHEN Q, SUN QX, *et al.* Ultrasound-assisted freezing retards the deterioration of functional properties of myofibrillar protein in chicken breast during long-term frozen storage [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 170: 114064.
- [58] ZHANG C, LI YX, XIA XF, *et al.* Changes in muscle quality and physicochemical characteristics of chicken breast subjected to ultrasound-assisted immersion freezing during long-term frozen storage [J]. *Int J Refrig*, 2022, 142: 10–18.
- [59] 李晓燕, 樊博玮, 赵宜范, 等. 超声辅助冷冻技术在食品浸渍式冷冻中的研究进展[J]. 包装工程, 2021, 45(11): 11–17.
- LI XY, FAN BW, ZHAO YF, *et al.* Research progress of ultrasound-assisted freezing technology in food immersion chilling and freezing [J]. *Pack Eng*, 2021, 45(11): 11–17.
- [60] JIANG QY, ZHANG M, MUJUMDAR AS. Application of physical field-assisted freezing and thawing to mitigate damage of frozen food [J]. *J Sci Food Agric*, 2022, 103(5): 2223–2238.
- [61] 韩道财, 张长峰, 段荣帅, 等. 食品快速冷冻新技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(5): 171–176.
- HAN DC, ZHANG CF, DUAN RS, *et al.* Review of new food quick-freezing technology [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(5): 171–176.
- [62] 刘磊磊, 孙淑凤, 赵勇, 等. 磁场对冷冻过程影响的研究进展[J]. 低温与超导, 2017, 45(6): 83–87.
- LIU LL, SUN SF, ZHAO Y, *et al.* Research progress in the effect of magnetic field on the freezing process [J]. *Cryo Sup*, 2017, 45(6): 83–87.
- [63] LI B, SUN DW. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods-A review [J]. *J Food Eng*, 2002, 54(3): 175–182.
- [64] 李云飞. 食品高压冷冻技术研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2008, (4): 590–595.
- LI YF. The technical review of high pressure freezing of foods [J]. *J Jilin Agric Univ*, 2008, (4): 590–595.
- [65] 吴喆, 刘泽勤. 食品冷冻中新技术的研究进展[J]. 冷藏技术, 2010, (4): 18–21.
- WU Z, LIU ZQ. Research advances in new technologies in food freezing [J]. *Ref Technol*, 2010, (4): 18–21.
- [66] 蔺小雨, 侯雅文, 黄一珍, 等. 真空低温预制及复热对鲍鱼腹足食用品质的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(6): 198–208.
- LIN XY, HOU YW, HUANG YZ, *et al.* Effect of vacuum and low temperature preparation and reheating on the edible quality of abalone (*Haliotis discus hanai*) [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2022, 22(6): 198–208.
- [67] 于佳琦, 田地. 预制菜行业深度报告: 效率为王, 改造餐桌[EB/OL]. [2022-08-16]. <https://new.qq.com/rain/a/20220816A01IX900> [2023-05-17].
- YU JQ, TIAN D. Prepared foods industry in-depth report: Efficiency is king, transforming the table [EB/OL]. [2022-08-16]. <https://new.qq.com/rain/a/20220816A01IX900> [2023-05-17].
- [68] ELANSAR I, MOHAMED A, EL-DIN BEKHIT, *et al.* Processing, storage and quality of cook-chill or cook-freeze foods [J]. *Food Eng Ser*, 2015, 1: 125–150.
- [69] 刘天毅, 鹿旭, 张智, 等. 空气炸烤箱烹饪鸡块技术研究[C]. 2022 年中国家用电器技术大会论文集, 2023.
- LIU TY, LU X, ZHANG Z, *et al.* Study on technology of cook chicken nuggets in air-frying oven [C]. *Proceedings of the 2022 China Household Appliance Technology Conference*, 2023.
- [70] 惠腾, 梁志宏, 戴瑞彤. 帕累托图结合双标图研究复热条件下鸡肉汤挥发性物质[J]. 肉类研究, 2019, 33(6): 25–32.
- HUI T, LIANG ZH, DAI RT. Volatile compounds of re-heated frozen prepared chicken soup evaluated by pareto chart combined with principal component biplots [J]. *Meat Res*, 2019, 33(6): 25–32.
- [71] 王红丽. 冷冻罗非鱼片品质综合评价及货架期预测模型的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- WANG HL. Study on comprehensive quality evaluation and shelf-life prediction model of frozen tilapia fillets [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [72] 胡琴, 黄旭辉, 祁立波, 等. 佛跳墙冷冻调理食品在不同复热方式下的品质变化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 163–171.
- HU Q, HUANG XH, QI LB, *et al.* Quality changes of frozen prepared Fotiaoqiang product reheated by different methods [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2021, 37(4): 163–171.
- [73] 赵钜阳, 石长波, 张琪. 微波复热功率及时间对速冻红烧肉品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3519–3525.
- ZHAO JY, SHI CB, ZHANG Q. Effects of different microwave re-heating powers and time on quality of quick-frozen pork braised in brown sauce [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(9): 3519–3525.
- [74] 刘雅娜, 苏里阳, 魏小溪, 等. 不同复热方式对烤全羊食用品质及挥发性风味物质的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(6): 123–127.
- LIU YN, SU LY, WEI XX, *et al.* Effect of eating quality and the volatile flavor in roast whole lamb by different reheating ways [J]. *Food Sci Technol*, 2017, 42(6): 123–127.
- [75] CHHIKARA N, PANGHAL A, CHAUDHARY G. Novel technologies in food science [M]. USA: Scrivener, 2023.
- [76] LUO X, XIAO S, RUAN Q, *et al.* Differences in flavor characteristics of frozen surimi products reheated by microwave, water boiling, steaming, and frying [J]. *Food Chem*, 2022, 372: 131260.
- [77] LYON BG, LYON CE, ANG CYW, *et al.* Sensory analysis and thiobarbituric acid values of precooked chicken patties stored up to three days and reheated by two methods [J]. *Poult Sci*, 1988, 67(5): 736–742.

- [78] CATHARINA YWA, LINA AB, BEA AC, *et al.* Riboflavin and thiamine retention in frozen beef-soy patties and frozen fried chicken heated by methods used in food service operations [J]. *J Food Sci*, 1978, 43(3): 1024.
- [79] 魏思凡, 朱堃华, 皮东楷, 等. 过热蒸汽技术在食品加工中的应用研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(4): 335–344.
- WEI SF, ZHU GH, PI DK, *et al.* Research progress on application of superheated steam technology in food processing [J]. *Food Ferment Ind*, 2023, 49(4): 335–344.
- [80] 马相杰, 孟少华, 谢华, 等. 烘烤胡萝卜猪肉丸加工工艺研究[J]. *肉类工业*, 2019, (3): 7–11.
- MA XJ, MENG SH, XIE H, *et al.* Study on processing technology of roasted carrot pork meatball [J]. *Meat Ind*, 2019, (3): 7–11.
- [81] HILL MA. Vitamin retention in microwave cooking and cook-chill foods [J]. *Food Chem*, 1994, 49(2): 131–136.
- [82] 赵颖颖, 李三影, 闫路辉, 等. 不同复热方式对糖醋排骨品质的影响[J]. *中国调味品*, 2021, 46(7): 52–59.
- ZHAO YY, LI SY, YAN LH, *et al.* Effects of different reheating methods on the quality of sweet and sour pork ribs [J]. *China Cond*, 2021, 46(7): 52–59.
- [83] 汪倩. 燕麦麸猪肉丸的配方优化及烹饪、储藏和复热对其品质影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- WANG Q. Studies on the development of oat bran pork meatballs and the effect of cooking, storing and reheating to its qualities [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [84] 鹿旭, 刘天毅, 位天意, 等. 微波复热红烧肉均匀性改善研究[C]. 2022 年中国家用电器技术大会论文集, 2023.
- LU X, LIU TY, WEI TY, *et al.* Study on improving the uniformity of braised pork with soy sauce by microwave reheating [C]. *Proceedings of the 2022 China Household Appliance Technology Conference*, 2023.
- [85] 孙昕. 微波复热对调理食品品质的影响[J]. *化学工程与装备*, 2022, (3): 25–28.
- SUN X. Effect of microwave reheating on the quality of seasoned foods [J]. *Chem Eng Equip*, 2022, (3): 25–28.
- [86] PATHARE PB, ROSKILLY AP. Quality and energy evaluation in meat cooking [J]. *Food Eng Rev*, 2016, 8(4): 435–447.
- [87] ÁNGEL-RENDÓN SV, FILOMENA-AMBROSIO A, HERNÁNDEZ-CARRIÓN M, *et al.* Pork meat prepared by different cooking methods. A microstructural, sensorial and physicochemical approach [J]. *Meat Sci*, 2020, 163: 108089.
- [88] 市市场监督管理局. 餐饮服务食品安全操作规范[EB/OL]. [2021-02-07]. http://www.dongyang.gov.cn/art/2021/2/8/art_1229326091_59268090.html [2023-05-07].
- Municipal Market Supervision Authority. Code of practice for food safety in food service [EB/OL]. [2021-02-07]. http://www.dongyang.gov.cn/art/2021/2/8/art_1229326091_59268090.html [2023-05-07].
- [89] 刘世欣, 夏秀芳, 孔保华, 等. 微波复热时间和微波功率对预油炸牛肉串品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(8): 249–252.
- LIU SX, XIA XF, KONG BH, *et al.* Effects of the time and power of microwave-reheating on the quality of preprocessing fried beef kebabs [J]. *Sci Technol Ind*, 2013, 34(8): 249–252.
- [90] 胡茂岑. 川南特色菜肴滑肉的加工工艺优化及品质特性研究[D]. 成都: 成都大学, 2021.
- HU MQ. Study on processing technology optimization and quality characteristics of slippery pork in Southern Sichuan [D]. Chengdu: Chengdu University, 2021.
- [91] TIMS M, WATTS B. Protection of cooked meats with phosphates [J]. *Food Technol*, 1958, 12(5): 240–243.
- [92] PARVIN R, ZAHID A, SEO JK, *et al.* Influence of reheating methods and frozen storage on physicochemical characteristics and warmed-over flavor of nutmeg extract-enriched precooked beef meatballs [J]. *Food Chem*, 2020, 9(8): E670.
- [93] SOYER A, ÖZALP B, DALMIS Ü, *et al.* Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat [J]. *Food Chem*, 2010, 120(4): 1025–1030.
- [94] PATSIAS A, CHOULIARA I, KONTOMINAS MG, *et al.* Shelf-life of a chilled precooked chicken product stored in air and under modified atmospheres: Microbiological, chemical, sensory attributes [J]. *Food Microbiol*, 2006, 23(5): 423–429.
- [95] 乔学彬, 王林, 周世中. 微波复热技术对速冻酱拌鸡丝品质的影响[J]. *中国调味品*, 2019, 44(9): 144–147, 152.
- QIAO XB, WANG L, ZHOU SZ. Effect of microwave reheating technology on quality of quick-frozen sauce mixed with chicken shreds [J]. *China Cond*, 2019, 44(9): 144–147, 152.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



黎梓杭, 硕士研究生, 主要研究方向为畜禽产品加工及综合利用。
E-mail: 1264518122@qq.com



郑 华, 副教授, 主要研究方向为畜禽产品加工与控制。
E-mail: 951524011@qq.com