

专家论坛专栏

编者按:预制菜以其烹饪便捷、口味稳定、出餐快速、生产成本低、品类丰富等适应现代快节奏生活方式的优势受到消费者青睐。当前,保障预制菜食用安全是食品行业必须关注的重点。本期栏目邀请专家从预制肉类食品贮藏及复热过程中品质变化、预制肉类食品中晚期糖基化终末产物的形成及抑制2个方面对预制菜的食用品质和安全进行了详细阐述。希望通过这些讨论,为预制食品行业的创新和可持续发展提供有益的参考。

(栏目策划:李 宁)

doi:10.12301/spxb202400222

文章编号:2095-6002(2024)03-0011-12

引用格式:刘骞,张靖铭,孔保华,等. 预制肉类食品贮藏及复热过程中品质变化的研究进展[J]. 食品科学技术学报,2024,42(3):11-22.



LIU Qian, ZHANG Jingming, KONG Baohua, et al. Research progress on quality changes during storage and reheating of precooked meat products[J]. Journal of Food Science and Technology, 2024,42(3):11-22.

预制肉类食品贮藏及复热过程中品质变化的研究进展

刘 骞, 张靖铭, 孔保华, 曹传爱, 孙方达, 张宏伟

(东北农业大学 食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:随着现代生活节奏的加快和饮食习惯的转变,预制肉类食品因其便捷性和多样性而受到广大消费者的青睐。在预制肉类食品生产、销售及消费过程中,贮藏和复热是2个关键环节。阐述了预制肉类食品在贮藏和复热过程中的品质变化及其影响因素。在贮藏期间,预制肉类食品常因为多种因素导致品质劣变,例如持水性降低、质构特性下降、色泽劣变、脂肪和蛋白质的氧化等。这些变化不仅影响食品的口感和营养价值,还可能会引发食品安全问题,进而减少消费者的购买意愿。在预制肉类食品复热过程中,不同复热方式对预制肉类食品的品质产生不同的影响。传统的蒸煮、烤制和油炸复热方式虽然使用广泛,但可能导致风味和质地的下降,而微波复热则能更快速、均匀地加热,尽管微波复热也可能引起某些品质的下降。提出了提升品质的策略,包括添加天然抗氧化剂、升级包装技术、采用新型杀菌和辅助冷冻技术等,旨在推进预制肉类食品行业的创新和可持续发展。

关键词:预制肉类食品;贮藏;复热;品质变化;提升策略

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

肉及肉制品是高质量蛋白质、氨基酸、维生素等营养物质的重要来源,对维持人体的正常生命活动

和营养需求有着重要作用。据统计,2022年我国居民人均肉类消费量达34.6 kg,其中城镇居民人均肉

收稿日期:2024-03-29

基金项目:黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2020ZX07B02)。

Foundation: “Ten Thousand Plan” of Major Science and Technology Projects in Heilongjiang Province (2020ZX07B02).

第一作者:刘 骞,男,教授,博士生导师,主要从事畜产品加工方面的研究。

类消费量为 35.2 kg,农村居民人均肉类消费量 33.7 kg^[1]。随着人们生活水平的不断提高和生活节奏的加快,消费者的消费观念已经从最初的满足于温饱发展成为追求高品质、方便快捷的消费,因此对营养价值高、食用方便、安全卫生的肉制品需求越来越大。目前,肉制品市场规模正发生结构性的改变,预制肉类食品的需求在持续上升,且受疫情影响上涨速度明显加快。2023 年中央一号文件首次提出:“提升净菜、中央厨房等产业标准化和规范化水平,培育发展预制菜产业”^[2],进一步提升了预制肉类食品的发展高度。

预制肉类食品是以鲜(冻)肉为主要原料,经分割或糜化后与调味料、品质改良剂、蔬菜等混合,再经滚揉、成型、热处理等工序制成。其最突出的优势是简化了切块、腌制、烹饪等工序,能将食材的质量与风味结合,适应了当下年轻人在“懒人经济”下的生活和消费习惯。此外,预制肉类食品促进了餐饮业发展方向的转变,因为其标准化生产流程能保证食品口味的稳定性,减少后厨人员的需求,提高送餐速度,减少生产中食材的浪费,大幅降低经营成本。根据贮藏和运输条件,预制肉类食品分为冷冻型和冷藏型两大类。冷冻型预制肉类食品较为常见,如火锅肉丸、调理肉串、牛排等,它们在加工后立即速冻,以保持新鲜度。但较长时间的冷冻会导致产品品质劣变,如水分流失、质构特性变差、脂肪氧化等问题^[3]。而冷藏型预制肉类食品,包括低温蒸煮香肠、生肉馅料等,口感通常比冷冻型更鲜嫩。但冷藏型产品贮藏和运输条件较为苛刻(通常要维持在 0~4℃ 的温度内),且更容易受微生物污染,因此保质期较短^[4]。无论哪种类型食品,在食用前都需要进行适当的复热处理以恢复口感和风味,确保食品安全。不同复热条件也会对产品品质造成影响。近年来,国内外研究人员围绕预制肉类食品的配方优化、工艺改进和新产品开发等方面进行了大量研究^[5-6],但对其在贮藏及复热过程中的品质变化及其改善策略尚缺乏系统的总结。

基于此,本文阐述了预制肉类食品贮藏和复热期间的品质变化,以及这些变化的影响因素,并提出了使用天然抗氧化剂、改进包装方式、采用新型杀菌技术和辅助冷冻技术等策略以提升产品品质。以期为预制肉类食品的品质改善、贮藏期延长和新产品开发提供理论依据和技术参考。

1 预制肉类食品贮藏期间的品质变化及影响因素

通常,预制肉类食品从生产后到端上餐桌前需经历贮藏、运输和复热过程(图 1)。预制肉类食品在贮藏期间的品质变化是一个复杂的过程。

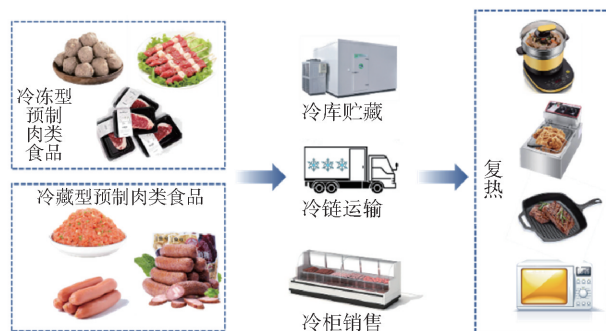


图 1 预制肉类食品的贮藏、运输和复热过程

Fig. 1 Storage, transportation and reheating of precooked meat products

物理、化学和生物 3 个方面的相互作用对产品品质有影响(图 2)。其中,物理特性主要包括持水性、质构特性和色泽,它们是产品品质最直观的体现。化学反应主要指脂肪和蛋白质的氧化,而生物作用则是微生物生长和酶的作用。这些变化不仅影响了产品的营养价值和口感,还涉及产品的安全性和质量稳定性,直接关系到消费者的接受度和健康。因此,深入了解这些变化有助于制定更为有效的贮藏和保鲜措施,以确保产品在整个贮藏期间保持最佳状态。

1.1 物理作用的影响

持水性变化是指预制肉类食品在贮藏过程中对水分的吸附和保留能力的变化。这一变化反映了肌肉纤维结构和化学特性的稳定性。因此,持水性是评估肉类食品质量和新鲜度的关键指标之一。不同的贮藏条件会以不同方式影响持水性。Choi 等^[7]研究了 4℃ 贮藏过程中鸡胸肉水分分布特性的变化,发现在贮藏前期(4~72 h)自由水的含量和比例均显著降低,不易流动水含量降低但比例升高,说明此阶段流失的水分主要是自由水,而在贮藏后期(72~168 h)3 种结合方式的水含量均降低,但自由水比例升高,说明有部分结合水和不易流动水转化成了自由水,这是蛋白质变性导致水合作用降低的结果。相比之下,冷冻贮藏的产品

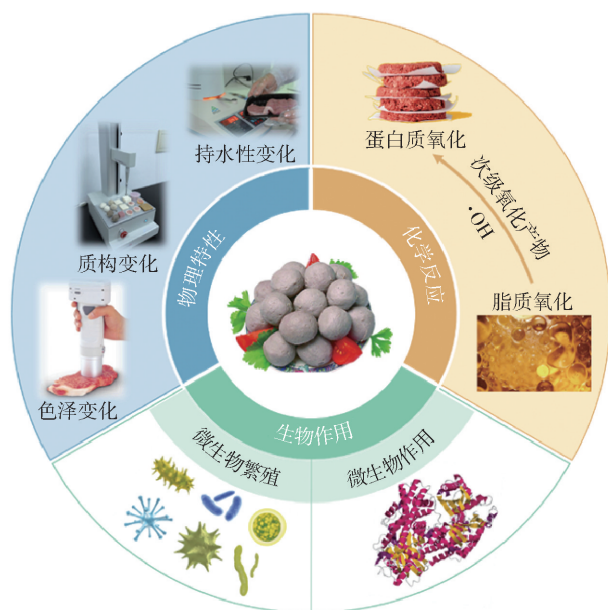


图2 预制肉类食品贮藏过程中的品质变化

Fig. 2 Quality changes in precooked meat products during storage

有更高的贮藏稳定性^[8]。然而,冷冻型预制肉类食品的持水性会受到冰晶形成和生长的影响;冰晶生长会刺破细胞膜,导致细胞间隙扩大,进而引起水分的流失^[9]。同时,在冷冻过程中,由于食品的表面温度低于内部温度,表面水分蒸发速率会加快,从而导致干耗现象。

质构特性,包括肉制品的硬度、弹性、咀嚼性、致密性等,是消费者最直接感受到的属性。大量研究证明,随着贮藏时间的延长,预制肉类食品的质构特性呈现下降的趋势,这个过程受到持水性、蛋白质结构特性、微生物生长等多种因素的相互影响^[10]。Cropotova等^[11]指出肌原纤维蛋白在贮藏过程中会发生变性,导致蛋白溶解度降低,进而使产品的质构特性下降。此外,在冷冻过程中形成的冰晶会损伤食品结构,产生不均匀的微孔,这些空隙在解冻后仍然存在,导致肉制品的质构特性下降,影响整体口感^[9]。另外,贮藏温度的波动也是导致预制肉类食品品质特性变化的重要因素。Tao等^[12]研究发现,温度波动越小,质构特性下降的程度越低,最终产品的品质越佳,这是因为温度波动会引起冰晶重结晶,通过内压作用,导致肌纤维变形或局部断裂,使得蛋白质结构改变和次级键断裂,从而导致产品质构特性的下降。

肉制品的色泽是影响消费者购买的最直接因素。颜色鲜亮的肉制品通常被认为是新鲜、美味且

口感好的。因此,研究预制肉类食品在贮藏期间的色泽变化具有重要意义。Fan等^[13]研究了冷藏猪肉在4℃贮藏的色泽变化,发现随着贮藏时间的延长,亮度(L^*)值和红度(a^*)值均有所下降,而黄度(b^*)值有所上升。 L^* 值降低可能是水分流失的结果^[14], a^* 值降低归因于肌红蛋白的氧化和高铁肌红蛋白的形成,而 b^* 值升高则是由于脂肪氧化和微生物生长繁殖产生的黄色物质所致。另一方面,Fernandes等^[15]研究发现,冷冻不同时间的鱼片颜色差异不显著,说明冷冻贮存的时间不会影响鱼片的颜色,这可能是原料肉种类不同而产生的差异。

1.2 化学反应的影响

预制肉类食品在贮藏过程中会发生一系列的化学反应,主要是蛋白质氧化和脂肪氧化,这不仅影响肉制品的感官特性,也导致营养价值降低。

蛋白质氧化会改变其分子结构,引起蛋白质交联聚集、肽链主链断裂以及氨基酸损失,进而导致蛋白质生物功能的丧失^[16]。羰基、巯基含量是反映蛋白质氧化程度的最常见指标。其中羰基主要来源于蛋白质肽链上的NH—或NH₂—,它们在受到活性氧攻击时会被氧化成羰基,而含硫氨基酸上的巯基在受到活性氧攻击时会形成二硫键或亚磺酸、亚硫酸等氧化产物,使肌肉蛋白的空间结构发生变化,影响肉品品质^[17]。Lu等^[18]研究了贮藏温度和时间对鸡胸肉氧化的影响,发现-10℃样品的巯基含量高于-18℃样品,说明低温能抑制蛋白质的氧化反应,控制贮藏温度有利于确保产品的品质和食用安全性。Gao等^[19]通过蛋白组学揭示了贮藏期间蛋白质氧化和降解的分子机制,他们指出肌球蛋白重链快速骨骼肌的降解和氧化最多,其次是肌球蛋白重链快速骨骼肌1型,少量的肌球蛋白重链1B骨骼肌表现出降解和氧化,而肌球蛋白轻链只经历蛋白质降解,几乎没有任何氧化修饰。此外,Shen等^[20]研究发现,蛋白质氧化不仅降低了预制肉类食品的持水性和质构特性,还会导致蛋白质表面颗粒聚集体增多,减少风味物质的结合位点,导致风味丧失。此外,蛋白质的过度氧化还会降低其对消化酶的敏感性,降低产品的营养价值^[21]。

脂质氧化也是导致预制肉类食品在贮藏过程中质量变化的主要原因之一。在脂质氧化过程中,不饱和脂质首先与自由基(如氢氧基等)结合产生脂

质自由基,然后与氧分子反应产生脂类过氧化物和氢过氧化物^[22]。适度的氧化对许多肉类产品的典型香气至关重要,但过度的脂质氧化会导致强烈的哈败味,严重降低食品的可接受性。此外,脂质氧化还会破坏肉制品的营养价值,甚至产生有害成分,影响人体健康^[23]。硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)值是衡量肉制品贮存过程中脂质氧化程度的常用指标。Song等^[24]研究猪肉排在冷藏期间的氧化稳定性,发现在贮藏初期(0~3 d),TBARs值变化不显著,说明此阶段只发生轻微的脂质氧化;而在贮藏后期(3~7 d),TBARs值显著升高,此时脂质氧化反应剧烈发生。有研究通过脂质组学综合定量分析了三黄鸡胸肉在4℃冷藏过程中脂质的变化,发现在贮藏期间三黄鸡胸肉中总脂质质量分数下降了16.8%,主要是三酰甘油酯、磷脂酰胆碱和磷脂酰乙醇胺的含量减少。途径分析表明,差异脂质分子的变化主要基于甘油磷脂代谢和亚油酸代谢,这导致了脂肪分解和代谢产物的积累^[25]。此外,研究还发现脂质氧化与蛋白质氧化呈正相关,一方面,脂质氧化产生的自由基能够诱导蛋白质自由基的生成,引发链式聚合反应;另一方面,脂质氧化的次级氧化产物可以与蛋白质分子的氨基等侧链基团发生反应,导致蛋白质交联^[26-27]。

1.3 生物作用的影响

预制肉类食品在贮藏期内的微生物生长是一个重要的问题,不仅会导致产品腐败和变质,还可能产生有害毒素,对消费者的健康造成威胁。随着微生物数量的增加,它们会分解食品中的成分,释放CO₂、H₂等气体和挥发性有机物,导致包装膨胀并产生异味^[28]。同时,微生物在代谢过程中还会生成胺、吲哚、有机酸和酮等腐败物质,导致肉质软化和表面黏结^[29]。此外,一些微生物能够分泌脂溶性色素,使肉制品出现变色甚至发出荧光等明显的腐败迹象^[30]。一般情况下,优势腐败菌代表着在特定环境中能够迅速生长并占据主导地位的一种或几种微生物,研究预制肉类食品的优势腐败菌有助于更准确地理解食品腐败的过程和机制。Zhang等^[31]研究表明:魏氏假单胞菌是牛排贮藏过程中的优势腐败菌,它可以促使铁蛋白降解并释放游离铁,导致活性氧积累进而引发蛋白质氧化。此外,氧气对微生物的生长有重要影响,Kim等^[32]研究了不同真空度下牛腩的理化性质和微生物品质之间的

关系,结果表明:不同细菌对氧气的依赖程度随真空度呈对数变化,因此少量的氧气对微生物的优势度有显著影响。

对于一些生鲜调理肉类食品,除了微生物作用之外,内源酶的表达也是导致肉品品质劣化的关键生物学因素。有研究表明,肌球蛋白稳定性与Ca²⁺-ATP酶活性有关,Ca²⁺-ATP酶活性越高,肌肉蛋白越稳定^[33]。Zhou等^[34]研究了虾肉在冷冻120 d期间,胰蛋白酶、钙蛋白酶和组织蛋白酶活性的变化及其对肌肉蛋白的影响,结果表明:随着贮藏时间的延长,完整虾和去头虾的硬度、拉伸力、嚼劲、蛋白质含量和Ca²⁺-ATP酶活性均显著降低;与此同时,胰蛋白酶、钙蛋白酶和组织蛋白酶的活性也有显著变化。组织学分析进一步显示,虾肉组织中肌原纤维之间的间隙较小,这表明在冷冻贮藏过程中,这3种酶的释放可能会影响肌肉组织的微观结构。

Ren等^[35]通过添加抑制剂研究了3种酶对羊肉贮藏期间的品质影响,结果表明,酶作用下肌原纤维更容易断裂。另外,α-1,4-葡聚糖磷酸化酶也在糖代谢中起重要作用,它可以催化蛋白质可逆磷酸化并参与碳水化合物代谢途径。研究发现,α-1,4-葡聚糖磷酸化酶的表达在鸡胸肉贮藏0~2周内发生了显著变化,同时鸡胸肉质量下降并产生异味,这表明在这一时期鸡胸肉的糖代谢反应发生了变化。这些变化导致了肌肉蛋白结构的改变,从而影响了肉制品的新鲜度^[36]。

2 不同复热方式对预制肉类食品品质变化的影响

预制肉类食品在食用前通常需要经过再次加热以保证食用安全。这个过程会改变其风味、口感和营养价值。传统的复热方式如蒸煮、烤制、油炸一直被广泛使用。近年来,随着科技的进步和人们对方便快捷的需求增加,微波复热方式逐渐兴起。然而,不同的复热方式由于加热温度、加热时间、传热介质的不同会给预制肉类食品带来不同的品质变化(图3)。

2.1 蒸煮复热的影响

蒸煮复热方式因其便捷和成本低的特点,目前仍是预制肉类食品中应用最普遍的复热方式。Mora等^[37]研究了蒸汽加热与干燥空气加热对火鸡胸肉

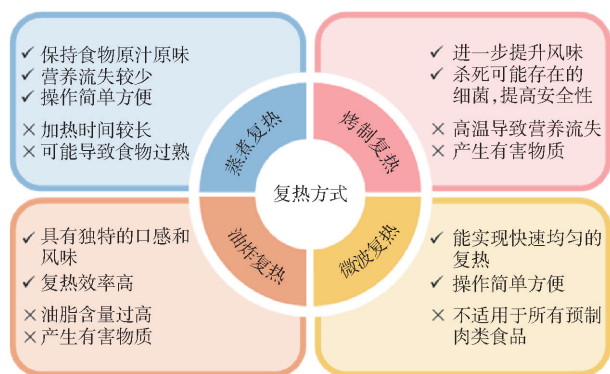


图3 常见复热方式对预制肉类食品品质的影响

Fig. 3 Influence of common reheating methods on quality of precooked meat products

的质地、水分状态和感官特性的影响,结果表明:与干燥空气加热相比,蒸汽煮熟的火鸡胸肉具有较高的水分含量和较低的水迁移率,水被更紧密地保留,同时由于蛋白质的适度变性,产品具有更高的嫩度。Yan 等^[38]研究了蒸煮时间对草鱼肉感官品质的影响,发现加热 3 min 时产品的感官评价分值最低,在 6 min 时升高而在 9 min 时又明显降低,这是因为在复热 3 min 时鱼肉仍处于相对僵硬的状态,而加热时间过长,水溶性成分和风味物质的损失增加,同时蛋白质过度变性会导致口感降低。此外,煮制可以有效杀灭贮藏过程中增长的细菌。研究表明,在 94 ℃ 下加热 1 min 可将法兰克福香肠上的单核增生乳杆菌污染水平由小于等于 2 lg CFU/cm² 降至低于检测水平(-0.4 lg CFU/cm²)。然而,当病原体数量由于储存条件增加到 4 lg CFU/cm² 以上时,需要更长时间的加热(94 ℃ 至少 300 s)^[39]。因此适当的蒸煮时间对于维持良好的产品品质至关重要。

2.2 烤制复热的影响

烤制复热方式在调理肉串等预制食品中应用较多。Wang 等^[40]研究了烤制复热对预制红酥鸡品质的影响,结果表明:由于加热过程导致的水分和肌肉碎片流失以及脂肪和部分游离脂肪酸挥发,产品出现了 13.73% 的失重率,这导致质地变硬和风味下降;但在颜色方面,样品呈现出的诱人金黄色能够增加消费者的食欲。另一方面, Rabeler 等^[41]建立了对流烤箱中烤鸡胸肉的传热传质机理模型,预测了鸡肉内部的质地变化,同时结合实验发现在烤制过程中鸡肉样品内部的温度分布不均匀,导致鸡肉的质地分布不均匀。近年来,空气炸锅作为一种家用

电器变得越来越流行。其工作原理是通过高速循环的热空气来加热食物,本质上与传统烤制方式相似。研究发现,空气炸锅加热不仅均匀程度更高,而且能够产生更多的非挥发性化合物和更高的等效鲜味浓度(特别是鲜味氨基酸)^[42]。然而,需要注意的是,烤制复热因其加热温度较高,易导致杂环芳香胺(heterocyclic aromatic amines, HAAs)和晚期糖基化终末产物(advanced glycation end products, AGEs)等化合物的生成,这些物质对人体健康有潜在的危害^[43]。

2.3 油炸复热的影响

油炸食品因其独特的口感和风味深受消费者喜爱,二次油炸作为一种常见的复热方式不仅能够有效恢复预制肉类食品的酥脆口感,还能在多个方面提升其食用品质。在油炸复热的过程中,产品的含水量显著降低,而水分的逸出和蒸发会在肌肉中留下孔隙和通道,油携带的热流通过这些孔隙和通道从肉片的表面传递到深层,从而增加其内部的热变性程度,改变蛋白质结构进而影响肉片的质构特性^[44]。Xu 等^[45]从水分状态、微观结构等方面阐述了油炸对猪肉片嫩度影响的机制。他们指出相比于低功率油炸,高功率油炸能够快速消除油和肉之间的温差,极大程度地缩短复热所需的时间。一方面,能够更早期在产品表面形成外壳,减少炸制过程中的水分损失;另一方面,能够有效地避免肉蛋白结构从有序交联到无序聚集的转变,从而降低炸制过程中产品嫩度的损失。然而,研究表明在高温油炸的肉类中发现了较高含量的 HAAs,且随着油炸温度 and 时间的增加 HAAs 含量逐渐增加。与在 200 ℃ 下油炸的猪肉相比,在 250 ℃ 下油炸的猪肉样品中发现的 HAAs 多 2 ~ 8 倍^[46]。因此,推荐采用低于 175 ℃ 的油炸温度,并将炸制时间控制在 1.5 ~ 2.0 min,以此作为最佳的油炸复热参数,从而有效减少 HAAs 的产生,保障肉制品的食用安全。此外,油炸过程中油和肉制品之间会发生快速的脂质交换,不同类型的炸制油会使产品的脂质组成出现明显差异^[47]。

2.4 微波复热的影响

微波是预制肉类食品复热的常用方法,其复热时间短、耗能少、复热率高,可以提供更好的感官和营养品质。与传统复热方式从外到内的加热不同,食品可以从微波磁场中吸收能量,经过分子极化和离子导电反应转换成热能,实现内外同时受热^[48]。

Luo 等^[49]对比了微波复热与传统蒸煮复热对鱼糜凝胶风味的影响,结果表明:微波复热组的气味和滋味特征与蒸煮复热组具有显著差异,且微波复热鱼糜的感官评分高于蒸煮复热;通过分析不同复热方式的风味化合物含量发现,微波复热鱼糜的核苷酸总含量下降了 0.75%,而水煮复热和蒸汽复热鱼糜的核苷酸总含量分别下降了 11.86% 和 2.64%,说明微波复热能够最大限度地保留风味物质。此外,微波复热鱼糜游离氨基酸含量呈增加趋势,这进一步改善了鱼糜凝胶的整体口感。值得一提的是,在微波复热期间,食品表面的水分不断蒸发,表面温度低于内部温度,加速了食品内部水分向表面的迁移,使表面仍保持较高的湿度,有利于食品中风味化合物的释放^[50]。有研究表明微波复热时,脂肪氧化占主导,促进预制肉类食品在加热后再次加热时特有的过熟味(warmed-over flavor, WOF)生成,而随着微波时间的延长,TBARs 值逐渐下降,WOE 关键风味因子含量也显著降低,这可能是由于较长时间的微波加热导致脂肪氧化终产物在高温下发生聚合形成新产物或受热挥发扩散到空气中^[51-52]。此外,与其他复热方式相比,微波复热所需时间较

短,食品中水分的留存率较高,是一种更为安全、健康的复热选择。

3 预制肉类食品品质提升策略

3.1 天然抗氧化剂

在预制肉类食品的生产过程中,为了防止蛋白质和脂肪过度氧化对产品品质造成不良影响,常添加抗氧化剂来抑制氧化反应。根据 GB 2760—2014,允许应用于肉制品加工的抗氧化剂共有 11 种,分别是:D-异抗坏血酸及其钠盐、丁基羟基茴香醚、二丁基羟基甲苯、特丁基对苯二酚、没食子酸丙酯、山梨酸及其钾盐、茶多酚、迷迭香提取物、竹叶抗氧化物、甘草抗氧化物、植酸及植酸钠。近年来,随着“清洁标签”概念逐渐深入人心,消费者更倾向于选择天然、健康和无化学添加的食品。因此,天然来源的抗氧化剂成为了研究热点,其中植物提取物因富含多酚而具有良好的抗氧化性,且来源广泛、成分安全,在预制肉类食品中的应用前景非常广阔。表 1 总结了植物提取物作为抗氧化剂在预制肉类食品中的应用情况^[53-57]。

表 1 植物提取物抗氧化剂在预制肉类食品中的应用
Tab. 1 Application of plant extracts as antioxidants in precooked meat products

天然抗氧化剂	w(添加量)	作用产品	作用效果	参考文献
茶多酚	0.03%	冷藏炖牛肉	4℃贮藏 10 d 期间,TBARs 值无显著变化,说明茶多酚明显抑制了脂肪氧化	[53]
马铃薯提取物	2%	冷冻预煮牛肉饼	马铃薯提取物具有明显的抗氧化活性,可维持良好的感官特性,延长零售货架期	[54]
金莓提取物	0.53% 0.795% 1.06%	冷藏博洛尼亚香肠	在冷藏 90 d 后,添加金莓粉的样品与不添加抗氧化剂的对照组相比 TBARs 值降低了近 2 倍	[55]
甜叶菊叶提取物	2%	冷藏鲶鱼片	w=2% 甜叶菊叶提取物处理鱼片可显著降低鱼片的一次脂质氧化和二次脂质氧化、总挥发性碱性氮值,并保持感官品质至 16 d	[56]
阿萨伊浆果提取物	250 mg/kg 500 mg/kg 750 mg/kg	冷藏猪肉馅	阿萨伊浆果提取物可用作天然抗氧化剂,取代异抗坏血酸钠,且不改变产品颜色参数,提供了最佳的质构特性	[57]

3.2 包装方式

预制肉类食品的包装方式对维持良好的产品品质具有重要作用。合理的包装方式可以有效延缓预制肉类食品的品质劣变,保持其新鲜度和口感。常用的包装方式有真空包装、气调包装等。近年来,新型包装技术也不断涌现,如活性包装和智能包装等。各种包装方式具有不同的特点,详细的比较见表 2^[58-63]。

3.3 新型非热杀菌技术

在预制肉类食品生产过程中,杀菌是必不可少的环节。通过杀菌可以有效消除产品中的致病微生物,如沙门氏菌、大肠杆菌等,从而降低食品安全风险。杀菌技术主要分为热杀菌和非热杀菌两大类。热杀菌是利用高温热效应杀灭微生物、使酶失活,但这种杀菌技术对食物中的营养物质和感官品质造成

破坏,且热杀菌的高温容易产生 WOF,对预制肉类食品的品质具有消极影响^[64]。相比之下,非热杀菌技术则可以避免热杀菌的缺陷,它是利用非热效应,如空化效应、射线、高压等,对微生物的细胞壁或细

胞膜进行破坏,使细胞内的物质外泄而导致微生物的细胞结构受损,从而起到灭菌或抑菌的作用。新型非热杀菌技术种类较多,主要包括超高压杀菌、辐照杀菌、超声杀菌和光动力灭活等,见表 3^[65-70]。

表 2 不同包装方式在预制肉类食品中的应用优势及局限性

Tab. 2 Application advantages and limitations of different packaging methods in precooked meat products			
包装方式	应用原理和优势	局限性	参考文献
真空包装	真空包装能去除包装中的空气,创造无氧环境,避免氧化反应的发生;抑制需氧微生物的生长繁殖;包装体积较小,便于运输	真空包装可能会导致食品受到压力,进而影响其口感;对含有汁液的预制肉类食品不适用;传统的真空包装材料阻隔效果不佳,可能导致产品的品质劣变	[58-59]
气调包装	气调包装通过调整包装内的气体比例,可以有效抑制微生物繁殖,延缓生鲜肉腐败变质,且有利于保持肉类的色泽、风味和营养品质	不同预制肉类食品需要的气调包装气体比例不同,精确配比比较困难	[60-61]
活性包装	活性包装将抗氧化剂、抗菌剂、异味消除剂、水分和 CO ₂ 控制剂等与包装材料相结合,这些成分可减缓化学反应进程、抑制微生物生长、延缓氧化变质和酶促反应	活性包装的生产成本高,技术复杂;包装膜中功能性物质的释放过程难以控制;部分活性物质可能对环境造成污染	[62]
智能包装	在传统包装基础上,融合生物、电子、传感器和物联网等先进技术,能够实现多元智能功能(如检测、传感、记录、跟踪、沟通等)的包装系统	智能包装设备、材料及先进技术的使用导致其应用成本过高;国内缺乏权威性立法来确保智能包装的流通和检测的安全性	[63]

表 3 新型非热杀菌技术在预制肉类食品中的应用

Tab. 3 Application of new non-thermal sterilization technology in precooked meat products			
新型非热杀菌技术	原理	作用效果	参考文献
超高压杀菌	利用超高压破坏微生物细胞结构,改变其蛋白质的构象与活性而使微生物失活	600 MPa 的超高压处理 2 min 对预煮鸡肉片的质构、颜色等无明显影响,但能够显著抑制细菌生长,延长货架期	[65-66]
辐照杀菌	利用 ⁶⁰ Co、 ¹³⁷ Cs 等辐射源释放的射线,使食品中的微生物发生物理或化学反应,从而抑制或杀灭它们	低能电子束辐射(0.2 MeV,8 kGy)可以增强冷藏猪排的颜色,减少异味的形成,保持猪肉的质地,并灭活致病菌,从而将保质期延长到至少 30 d	[67-68]
超声杀菌	利用空化效应,当气泡迅速破裂时会产生具有强大冲击力的微射流,在局部形成极端高压区域,致使细胞膜被破坏、多种酶失活等	以冷藏贮存的五香牛肉为研究对象,不经灭菌处理的对照组第 0 天的总活菌数为 0.94 lg CFU/g,贮藏 28 d 时显著增加至 4.71 lg CFU/g,而各超声组(400、600、800 W)贮藏期间总活菌数均小于 0	[69]
光动力灭活	光动力灭活能破坏微生物结构和功能、氧化细胞内大分子物质、抑制群体感应、弱化毒力因子和破坏生物膜结构	光动力灭活对对虾体内的细菌具有明显的灭活作用。同时,有效降低了对虾内源酶活性、总挥发性碱性氮和丙二醛的产生。保持了肌纤维的完整性和弹性,还减少了肌原纤维中的水分损失	[70]

3.4 辅助冷冻技术

传统冷冻技术主要依赖于低温环境,使食品中的水分形成冰晶,从而达到冷冻保藏的目的。然而,这种方法易造成细胞内外的冰晶大小不一,并产生“冰晶刺穿”效应,破坏食品细胞,影响食品

的口感和营养价值。因此,近年来,研究者们开发了多种辅助冷冻技术,以提高冷冻效率、改善冷冻食品的品质。目前常见的辅助冷冻技术有高压辅助冷冻、超声辅助冷冻和电场辅助冷冻,技术对比见表 4^[71-77]。

表 4 辅助冷冻技术在预制肉类食品中的作用效果及局限性

Tab. 4 Effectiveness and limitations of assisted freezing techniques in precooked meat products

辅助冷冻技术	原理	作用效果	局限性	参考文献
高压辅助冷冻	液态水的冰点在受到外界压力时会降低到 0℃ 以下,然后迅速降低压力,因而能形成较大的超冷度,提高冰核形成速率,促进小冰晶的形成	冻结效率显著提高,能更好地保持样品的水分状态和色泽,肌原纤维蛋白性质稳定	设备成本高;高压易诱导肌原纤维蛋白变性,可能导致产品的持水性 and 口感变差	[71]
超声辅助冷冻	在超声波作用下,肉制品的冰晶核被加速形成,同时使大冰晶破裂,提高冻结速率,达到理想冷冻效果	超声辅助冷冻的肌肉组织的显微结构比空气冷冻更均匀致密,冰晶尺寸更小、更规则。此外,超声并未引起肌原纤维蛋白过度氧化,而是显著延缓了鱼类肌肉的脂质氧化	超声波可能会破坏肉制品中的营养成分,导致其营养价值降低;超声波设备在工作时会产生噪声和振动,且设备成本高昂	[71-74]
电场辅助冷冻	在电场中形成离子流,提高传热速率,同时加大水分子的极化作用,从而加速细小冰晶的形成	整个贮藏期间冰晶的分布更加均匀和细小,水状态较稳定,组织结构更为完整,蛋白质降解和脂质氧化程度受到抑制	不同类型的电场(如振荡电场和静电场)对冷冻过程的影响不同,选择合适的电场类型和强度可能需要大量的实验和研究	[75-77]

4 结 论

随着生活节奏的加快和食品科技的不断发展,预制肉类食品的市场规模不断扩大。然而,在贮藏和复热过程中,预制肉类食品的持水性、质构特性、色泽、风味和营养成分都发生了不同程度的变化,直接影响产品的营养价值、安全性和消费者的接受度。为了解决这类问题,研究人员提出通过添加天然抗氧化剂、升级包装方式、应用新型非热杀菌技术和辅助冷冻技术来减少预制肉类食品在贮藏和复热过程中的品质劣变。但在目前的实际生产中,还存在着一些亟待解决的问题。首先,我国预制菜食品安全标准不完善、执法模式落后、社会监管力度不足,导致行业内混现象频发,消费者信心受损。因此,作为食品行业人员应推动预制菜标准的制定和完善。其次,虽然已有多种有效的品质提升策略,但对其作用机制研究的深度和广度还有不足。未来研究可更深入探究这些策略作用的分子机制。最后,对于多种提升策略联合应用的研究还比较匮乏,在未来的研究中,可考虑探索两种或多种提升策略的协同效应,以扩展其在预制肉类食品领域的应用。

参考文献:

[1] 国家统计局. 国家数据[EB/OL]. [2024-03-29]. <https://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E8%82%89%E7%B1%BB%E6%B6%88%E8%B4%B9%E6%80%BB%E9%87%8F>.

[2] 人民网研究院. 预制菜行业发展报告[EB/OL]. [2023-07-11]. <http://yjy.people.com.cn/n1/2023/0710/c440911-40031856.html>.

[3] BELDARRAIN L R, MORÁN L, SENTANDREU M Á, et al. Effect of ageing time on the volatile compounds from cooked horse meat[J]. Meat Science, 2022, 184: 108692.

[4] CHEN X, DONG P C, LI K, et al. Effect of the combination of superchilling and super-chilled storage on shelf-life and bacterial community dynamics of beef during long-term storage[J]. Meat Science, 2022, 192: 108910.

[5] DONG K, LUO X, LIU L, et al. Effect of high-pressure treatment on the quality of prepared chicken breast[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(4): 1597-1607.

[6] AN Y Q, LIU N, XIONG J, et al. Quality changes and shelf-life prediction of pre-processed snakehead fish fillet seasoned by yeast extract: Affected by packaging method and storage temperature[J]. Food Chemistry Advances, 2023, 3: 100418.

[7] CHOI J, SHAKERI M, KIM W K, et al. Water properties in intact wooden breast fillets during refrigerated storage[J]. Poultry Science, 2024, 103(3): 103464.

[8] LU X, ZHANG Y M, ZHU L X, et al. Effect of super-chilled storage on shelf life and quality characteristics of *M. longissimus lumborum* from Chinese Yellow cattle[J]. Meat Science, 2019, 149: 79-84.

[9] TEUTEBERG V, KLUTH I K, PLOETZ M, et al. Effects of duration and temperature of frozen storage on

- the quality and food safety characteristics of pork after thawing and after storage under modified atmosphere[J]. *Meat Science*, 2021, 174: 108419.
- [10] XIONG Y, ZHANG P Z, WARNER R D, et al. Effect of sorghum bran incorporation on the physicochemical and microbial properties of beef sausage during cold storage[J]. *Food Control*, 2022, 132: 108544.
- [11] CROPOTOVA J, MOZURAITYTE R, STANDAL I B, et al. Superchilled, chilled and frozen storage of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) fillets-changes in texture, drip loss, protein solubility and oxidation[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2019, 54(6): 2228–2235.
- [12] TAO Y, GUO Y P, LI J W, et al. Effect of temperature fluctuation during superchilling storage on the microstructure and quality of raw pork[J]. *Meat Science*, 2023, 198: 109096.
- [13] FAN X J, LIU S Z, LI H H, et al. Effects of *Portulaca oleracea* L. extract on lipid oxidation and color of pork meat during refrigerated storage[J]. *Meat Science*, 2019, 147: 82–90.
- [14] CHOE J, LEE J R, JO K, et al. Application of winter mushroom powder as an alternative to phosphates in emulsion-type sausages[J]. *Meat Science*, 2018, 143: 114–118.
- [15] FERNANDES C M, SVEINSDÓTTIR H I, TÓMASSON T, et al. Impact of frozen storage on quality and cold storage stability of smoked deep-skinned fillets from well-fed Atlantic mackerel[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2024, 125: 105771.
- [16] NAWAZ A, IRSHAD S, ALI KHAN I, et al. Protein oxidation in muscle-based products: effects on physicochemical properties, quality concerns, and challenges to food industry[J]. *Food Research International*, 2022, 157: 111322.
- [17] XIA C, WEN P P, YUAN Y M, et al. Effect of roasting temperature on lipid and protein oxidation and amino acid residue side chain modification of beef patties[J]. *RSC Advances*, 2021, 11(35): 21629–21641.
- [18] LU Q, SUN J X, HUANG M, et al. Effect of storage temperatures and duration on quality of prepared chicken breast with paprika oleoresin[J]. *Animal Science Journal*, 2019, 90(2): 280–287.
- [19] GAO S, ZHUANG S, ZHANG L T, et al. Proteomic evidence of protein degradation and oxidation in brined bighead carp fillets during long-term frozen storage[J]. *Food Chemistry*, 2024, 433: 137312.
- [20] SHEN H, STEPHEN ELMORE J, ZHAO M M, et al. Effect of oxidation on the gel properties of porcine myofibrillar proteins and their binding abilities with selected flavour compounds[J]. *Food Chemistry*, 2020, 329: 127032.
- [21] HELLWIG M. The chemistry of protein oxidation in food[J]. *Angewandte Chemie (International Ed in English)*, 2019, 58(47): 16742–16763.
- [22] WANG Z M, TU J C, ZHOU H, et al. A comprehensive insight into the effects of microbial spoilage, myoglobin autooxidation, lipid oxidation, and protein oxidation on the discoloration of rabbit meat during retail display[J]. *Meat Science*, 2021, 172: 108359.
- [23] CHENG J H, SUN J, XU M, et al. Nondestructive detection of lipid oxidation in frozen pork using hyperspectral imaging technology[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2023, 123: 105497.
- [24] SONG Y, ZHANG H D, HUANG F, et al. Changes in eating quality and oxidation deterioration of pork steaks cooked by different methods during refrigerated storage[J]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2022, 29: 100576.
- [25] LV J X, MA J J, LIU Y, et al. Lipidomics analysis of Sanhuang chicken during cold storage reveals possible molecular mechanism of lipid changes[J]. *Food Chemistry*, 2023, 417: 135914.
- [26] ZAREIAN M, TYBUSSEK T, SILCOCK P, et al. Interrelationship among myoglobin forms, lipid oxidation and protein carbonyls in minced pork packaged under modified atmosphere[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2019, 20: 100311.
- [27] LI B B, XU Y, LI J, et al. Effect of oxidized lipids stored under different temperatures on muscle protein oxidation in Sichuan-style sausages during ripening[J]. *Meat Science*, 2019, 147: 144–154.
- [28] SHAO L T, CHEN S S, WANG H D, et al. Advances in understanding the predominance, phenotypes, and mechanisms of bacteria related to meat spoilage[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 118: 822–832.
- [29] PELLISSERY A J, VINAYAMOHAN P G, AMALARADJOU M A R, et al. Spoilage bacteria and meat quality[M] // *Meat Quality Analysis*. Amsterdam: Elsevier, 2020: 307–334.
- [30] TOMASEVIC I, DJEKIC I, FONT-I-FURNOLS M, et al. Recent advances in meat color research[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 41: 81–87.

- [31] ZHANG W D, NI Y S, MA Y H, et al. *Pseudomonas welihenstephanensis* through the iron metabolism pathway promotes *in situ* spoilage capacity of prepared beef steaks during cold storage[J]. Food Microbiology, 2024, 120: 104466.
- [32] KIM A N, LEE K Y, HAN C Y, et al. Effect of different vacuum levels for beef brisket during cold storage: a microbiological and physicochemical analysis[J]. Food Microbiology, 2023, 114: 104287.
- [33] WEI H M, GOLAM RASUL M, SUN Z Q, et al. Study on nucleotide, myofibrillar protein biochemical properties and microstructure of freeze-dried scallop striated muscle during storage and rehydration[J]. Food Research International, 2022, 158: 111461.
- [34] ZHOU T, DING Y X, BENJAKUL S, et al. Characterization of endogenous enzymes in sword prawn (*Parapenaeopsis hardwickii*) and their effects on the quality of muscle proteins during frozen storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 177: 114563.
- [35] REN C, BAI Y Q, SCHROYEN M, et al. Phosphofructokinase mainly affects glycolysis and influences meat quality in postmortem meat[J]. Food Bioscience, 2024, 58: 103776.
- [36] LUO X, DONG K, LIU L, et al. Proteins associated with quality deterioration of prepared chicken breast based on differential proteomics during refrigerated storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(8): 3489–3499.
- [37] MORA B, CURTI E, VITTADINI E, et al. Effect of different air/steam convection cooking methods on Turkey breast meat: physical characterization, water status and sensory properties[J]. Meat Science, 2011, 88(3): 489–497.
- [38] YAN G W X, SHI W Z, ZHOU S N, et al. Research on the changes of water-soluble flavor substances in grass carp during steaming[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(11): e12993.
- [39] RODRÍGUEZ-MARVAL M, KENDALL P A, BELK K E, et al. Inactivation of *Listeria monocytogenes* during reheating of frankfurters with hot water before consumption[J]. Food protection trends, 2010, 30: 16–24.
- [40] WANG J Y, ZHANG M, FAN K, et al. Effects of reheating methods on the product quality of Hongsu chicken dish[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(11): e13823.
- [41] RABELER F, FEYISSA A H. Modelling the transport phenomena and texture changes of chicken breast meat during the roasting in a convective oven[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 237: 60–68.
- [42] LIU H, MA J R, PAN T, et al. Effects of roasting by charcoal, electric, microwave and superheated steam methods on (non) volatile compounds in oyster cuts of roasted lamb[J]. Meat Science, 2021, 172: 108324.
- [43] LU J N, LI M Y, HUANG Y S, et al. A comprehensive review of advanced glycosylation end products and *N*-nitrosamines in thermally processed meat products[J]. Food Control, 2022, 131: 108449.
- [44] YANG D, WU G C, LI P Y, et al. Comparative analysis of the oil absorption behavior and microstructural changes of fresh and pre-frozen potato strips during frying via MRI, SEM, and XRD[J]. Food Research International, 2019, 122: 295–302.
- [45] XU Y, WEI W S, LIN H X, et al. Mechanism underlying the tenderness evolution of stir-fried pork slices with heating rate revealed by infrared thermal imaging assistance[J]. Meat Science, 2024, 213: 109478.
- [46] WANG B, LI H J, HUANG Z B, et al. Dynamic changes in the qualities and heterocyclic aromatic amines of roasted pork induced by frying temperature and time[J]. Meat Science, 2021, 176: 108457.
- [47] SHAZIYA M, MASOODI F A, RUBIYA R. Influence of food type, oil type and frying frequency on the formation of trans-fatty acids during repetitive deep-frying[J]. Food Control, 2023, 147: 109557.
- [48] GUO Q S, SUN D W, CHENG J H, et al. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 67: 236–247.
- [49] LUO X Y, XIAO S T, RUAN Q F, et al. Differences in flavor characteristics of frozen surimi products reheated by microwave, water boiling, steaming, and frying[J]. Food Chemistry, 2022, 372: 131260.
- [50] RISCHE S, LEAKE R B L. Flavors and colors for microwave foods [M] // ERLE U, PESHECK P, LORENCE M. Development of packaging and products for use in microwave ovens. Amsterdam: Elsevier, 2020: 333–348.
- [51] BAKAR J, RAHIMABADI E Z, CHE MAN Y B. Lipid characteristics in cooked, chill-reheated fillets of Indo-Pacific king mackerel (*Scomberomorous guttatus*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2144–2150.
- [52] ZHAO L, LIANG N, LANG D, et al. Heating methods generate different amounts of persistent free radicals from

- unsaturated fatty acids [J]. *The Science of the Total Environment*, 2019, 672: 16–22.
- [53] YANG X D, ZHANG S S, LEI Y H, et al. Preservation of stewed beef chunks by using calcium propionate and tea polyphenols [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2023, 176: 114491.
- [54] COLLE M C, RICHARD R P, SMITH D M, et al. Dry potato extracts improve water holding capacity, shelf life, and sensory characteristics of fresh and precooked beef patties[J]. *Meat Science*, 2019, 149: 156–162.
- [55] BIASI V, HUBER E, GOLDONI T S H, et al. Golden-berry flour as a natural antioxidant in Bologna-type mortadella during refrigerated storage and *in vitro* digestion [J]. *Meat Science*, 2023, 196: 109041.
- [56] KUNDU A Y, CHAKMA A, DULAL M A, et al. Effects of *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaf extracts on the quality and shelf life of refrigerated catla (*Gibelion catla*) fillets[J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2024, 15: 101058.
- [57] BELLUCCI E R B, DOS SANTOS J M, CARVALHO L T, et al. Açai extract powder as natural antioxidant on pork patties during the refrigerated storage [J]. *Meat Science*, 2022, 184: 108667.
- [58] LORENZO J M, GÓMEZ M. Shelf life of fresh foal meat under MAP, overwrap and vacuum packaging conditions [J]. *Meat Science*, 2012, 92(4): 610–618.
- [59] ZHANG S S, CHEN X, DUAN X X, et al. The retail color characteristics of vacuum-packaged beef *M. longissimus lumborum* following long-term superchilled storage [J]. *Meat Science*, 2023, 196: 109050.
- [60] WANG Q, ZHANG K D, LI M, et al. Bioprotective potential of *Latilactobacillus sakei* and *Latilactobacillus curvatus* in smoked chicken legs with modified atmosphere packaging[J]. *Food Control*, 2024, 164: 110558.
- [61] HOU X, ZHAO H, YAN L, et al. Effect of CO₂ on the preservation effectiveness of chilled fresh boneless beef knuckle in modified atmosphere packaging and microbial diversity analysis [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2023, 187: 115262.
- [62] AHMED M W, HAQUE M A, MOHIBULLAH M, et al. A review on active packaging for quality and safety of foods: current trends, applications, prospects and challenges[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2022, 33: 100913.
- [63] DU H Y, SUN X L, CHONG X N, et al. A review on smart active packaging systems for food preservation: applications and future trends[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, 141: 104200.
- [64] AHN H S, YU S S, KIM C Y, et al. Heat penetration and quality attributes of superheated steam sterilization (SHS) home meal replacement (HMR) meat products stew [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2024, 191: 115621.
- [65] SONG Q S, LI R J, SONG X, et al. The effect of high-pressure processing on sensory quality and consumer acceptability of fruit juices and smoothies: a review[J]. *Food Research International*, 2022, 157: 111250.
- [66] DANG T T, RODE T M, SKIPNES D. Independent and combined effects of high pressure, microwave, soluble gas stabilization, modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and physicochemical shelf life of precooked chicken breast slices[J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 292: 110352.
- [67] YANG J, ZHANG Y J, SHI H, et al. Influence of low-energy electron beam irradiation on the quality and shelf-life of vacuum-packaged pork stored under chilled and superchilled conditions[J]. *Meat Science*, 2023, 195: 109019.
- [68] MUNIR M T, FEDERIGHI M. Control of foodborne biological hazards by ionizing radiations[J]. *Foods*, 2020, 9(7): 878.
- [69] ZHANG J, ZHANG Y Q, ZOU Y H, et al. Effects of ultrasound-assisted cooking on quality characteristics of spiced beef during cold storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 136: 110359.
- [70] LI Y F, TAN L J, LIU F Y, et al. Effects of soluble Antarctic krill protein-curcumin complex combined with photodynamic inactivation on the storage quality of shrimp[J]. *Food Chemistry*, 2023, 403: 134388.
- [71] CHENG L N, SUN D W, ZHU Z W, et al. Effects of high pressure freezing (HPF) on denaturation of natural actomyosin extracted from prawn (*Metapenaeus ensis*) [J]. *Food Chemistry*, 2017, 229: 252–259.
- [72] ZHANG C, LI Y X, XIA X F, et al. Changes in protein oxidation, structure, and thermal stability of chicken breast subjected to ultrasound-assisted immersion freezing during frozen storage [J]. *Food Chemistry*, 2023, 398: 133874.
- [73] CHEN X Q, LIU H Y, LI X X, et al. Effect of ultrasonic-assisted immersion freezing and quick-freezing on quality of sea bass during frozen storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 154: 112737.
- [74] LI J G, MA X Y, ZHANG J W, et al. Insight into the mechanism of the quality improvement of porcine after

ultrasound-assisted immersion freezing[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2022, 57(8): 5068–5077.

[75] SUN Q X, ZHANG H H, YANG X Q, et al. Insight into muscle quality of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) frozen with static magnetic-assisted freezing at different intensities[J]. Food Chemistry: X, 2022, 17: 100518.

[76] WEI Q H, SUN Q X, DONG X P, et al. Effect of static

magnetic field-assisted freezing at different temperatures on muscle quality of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. Food Chemistry, 2024, 438: 138041.

[77] YANG B, YANG L, XU R H, et al. Effects of static magnetic field (SMF) and alternating magnetic field (AMF) assisted freezing on the microstructure and protein properties of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillet[J]. Food Chemistry, 2024, 434: 137509.

Research Progress on Quality Changes During Storage and Reheating of Precooked Meat Products

LIU Qian, ZHANG Jingming, KONG Baohua, CAO Chuan'ai, SUN Fangda, ZHANG Hongwei
(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: With the increasing pace of modern life and alternation in dietary habits, precooked meat products were increasingly favored by consumers for their convenience and variety. Storage and reheating were two crucial stages in the production, marketing, and consumption of precooked meat products. This paper mainly discussed the quality changes of precooked meat products during storage and reheating. Precooked meat products often experienced quality deterioration during storage due to various factors, including reduced water holding capacity, diminished textural properties, color deterioration, and fat or protein oxidation. These changes not only affected the taste and nutritional value but could also led to food safety concerns, which resulted in decreased consumer purchase intention. During the reheating process, different reheating methods had different impacts on the quality of precooked meat products. While traditional reheating methods such as steaming, roasting, and frying were commonly employed, they might result in flavor and texture loss. Microwave reheating offered a quicker, more uniform heating process, however, it could also lead to some quality deterioration. Strategies for quality improvement were proposed, including the addition of natural antioxidants, the improvement of packaging technologies, and the adoption of novel sterilization and assisted freezing technologies. These strategies aimed to promote innovation and sustainable development in the precooked meat product industry.

Keywords: precooked meat products; storage; reheating; quality changes; upgrade strategy

(责任编辑:李 宁)