

冰温保藏技术在生鲜肉保藏中的应用

付郑旭¹, 杨浩¹, 孟凡冰¹, 李云成^{1,2*}, 刘达玉²

(1. 成都大学食品与生物工程学院, 成都 610106; 2. 肉类加工四川省重点实验室, 成都 610106)

摘要: 生鲜肉营养丰富,但在加工、运输和储存过程中易受微生物和外界环境的影响发生腐败变质,因此保鲜方式极其重要。冰温保藏较传统冷藏技术可更加有效地延长产品的货架期,同时也不会因冻结而造成产品品质下降,因此近年来在生鲜肉的保藏逐渐受到关注。目前对冰温保藏技术在生鲜肉的应用还缺乏全面的综述,因此,本文以冰温保藏技术为研究对象,阐述了其原理以及在禽肉、畜肉、水产品保鲜中的应用研究进展,论述了冰温保藏技术在生鲜肉保藏中的应用前景,介绍了冰温保藏技术与真空、气调和生物保鲜剂相结合的保藏方式在生鲜肉中的应用研究进展,为冰温保藏技术能更好地应用于生鲜肉中提供一些思路和研究方向,以为冰温保藏技术的推广应用提供参考。

关键词: 保藏技术; 冰温保藏; 肉制品

Ice temperature preservation technology and its application in fresh meat preservation

FU Zheng-Xu¹, YANG Hao¹, MENG Fan-Bing¹, LI Yun-Cheng^{1,2*}, LIU Da-Yu²

(1. School of Food and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China;
2. Key Laboratory for Meat Processing in Sichuan Province, Chengdu 610106, China)

ABSTRACT: Fresh meat is rich in nutrition, but in the process of processing, transportation and storage, it is susceptible to the influence of microorganisms and the external environment, so the preservation method is very important. Compared with traditional cold storage technology, ice temperature preservation can prolong the shelf life of products more effectively, and at the same time, it will not cause the quality of products to decline due to freezing, so it has gradually attracted attention in the preservation of raw meat in recent years. At present, there is still a lack of comprehensive review on the application of ice temperature preservation technology in fresh meat. Therefore, this paper took the ice temperature preservation technology as the research object, expounded its principle and the application research progress in the preservation of poultry meat, livestock meat and aquatic products, and discussed the application prospect of ice temperature preservation technology in fresh meat preservation, and introduced that the application research progress in the combination of ice temperature preservation and vacuum, gas conditioning and biological preservative. To provide some ideas and research directions for better application of ice temperature preservation technology in fresh meat, and in order to provide reference for the popularization and application of ice temperature preservation technology.

KEY WORDS: preservation technology; ice temperature preservation; meat products

基金项目: 四川省重点研发项目(2023YFN0014、2022YFN0014、2022YFN0052)、宜宾市科技计划项目(2022ZYD007)

Fund: Supported by the Sichuan Province Key Research and Development Project (2023YFN0014, 2022YFN0014, 2022YFN0052), and the Yibin City Science and Technology Plan Project (2022ZYD007)

*通信作者: 李云成, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品质量安全与营养。E-mail: liyunchengs@126.com

*Corresponding author: LI Yun-Cheng, Ph.D, Associate Professor, School of Food and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China. E-mail: liyunchengs@126.com

0 引言

随着人们对生鲜肉品质的追求越来越高, 维持生鲜肉的品质成为一大挑战, 目前低温保鲜是生鲜肉常用且简单易行的保鲜方式, 常用的低温保鲜包括冷藏技术、冷冻技术和冰温保藏技术。传统冷藏温度一般控制在 1~4℃, 在不借助其他手段条件下保藏时间仅 2~4 d; 冻结保藏虽然保藏时间长, 但因冰晶损伤, 容易导致汁液流失、蛋白质变性等问题而降低产品的食用品质。随着精准控温技术的发展, 研究者提出了一种新型的低温保藏技术, 即控制保藏温度在产品的冰点以上且在 0℃以下, 称之为冰温保藏技术。

相较于冷藏和冻藏, 冰温保藏可以更加有效地保持食品的色、香、味(表 1), 因此冰温保藏技术也被广泛研究并尝试应用在各种农产品保鲜上。冰温保藏技术以其优越的保藏能力在美、日、韩等国得到了稳定的发展和实施。通过查阅国内外文献发现, 关于冰温保藏技术的研究多集中在水果和蔬菜类产品^[3], 关于畜禽肉和水产品方面的研究成果相对较少。本文对冰温保藏技术在生鲜肉保鲜中的应用进行综述, 以期对未来冰温保藏技术在生鲜肉保鲜中的应用提供参考。

1 生鲜肉制品劣变的原因

生鲜肉的腐败变质是由于受到外界环境的影响, 特别是微生物的污染, 使生鲜肉的营养成分和感官特征发生变化, 从而对人体造成潜在危害, 与微生物的种类、温度、湿度、pH 等因素有关。生鲜肉的变质主要是由其表层的微生物与其内在的成分的作用而造成的, 生鲜肉的主要成分是水、蛋白质、碳水化合物、脂肪等, 在保藏过程中, 有些细菌和真菌, 会分泌一种酶类, 例如蛋白脲酶和蛋白质水解酶等, 致使蛋白质变质分解产生胺类, 会散发出一种挥发性和特有的臭味, 例如鸟氨酸会生成腐胺, 精氨酸会生成色胺从而分解为吲哚, 含硫氨基酸分解会生成硫化氢、氨及乙硫醇等, 它们都是蛋白质变质主要臭味物质的

来源^[4]。碳水化合物变质一般表现为酸性增加, 同时由于食物品种的差异, 还会产生糖、醇、醛、酮、或大量的二氧化碳, 偶尔还会产生一些特殊的风味。生鲜肉在变质过程中, 会分泌脂肪酶将脂肪分解成脂肪酸、甘油、醛酮等物质, 导致生鲜肉品质劣变, 并伴有刺鼻的哈喇味, 通常被称作“酸败”。生鲜肉在保藏过程中, 当细菌在生鲜肉表面繁殖时, 肉类表面就会生成一种粘稠的液体, 这些液体拉出表现为丝状, 且带有刺鼻的恶臭味, 这种液体一般是由假单胞菌、乳酸菌和热杀索丝菌所生成。

2 鲜肉制品常用保藏方法

生鲜肉的保鲜主要关注 3 个方面: 一是控制生鲜肉表面的微生物数量, 防止其生长繁殖; 二是控制生鲜肉本身的自我溶解, 其取决于肉类中内源性蛋白酶的活力; 三是抑制氧化反应, 生鲜肉中的脂质等成分容易被氧化, 从而降低生鲜肉的品质。目前, 国内外主要使用的保鲜技术主要有低温保鲜、真空包装、气调包装、生物保鲜、辐射保鲜、高压保鲜等。

2.1 真空包装

真空包装, 又称减压包装, 是将生鲜肉放在金属或塑料袋中, 并用抽气设备将袋内气体全部抽走, 保持容器内部气压较大, 空气稀薄, 不利于微生物的生长, 从而实现食品的保鲜^[5]。目前已有大量关于真空包装的研究, 如 MAQSOOD 等^[6]研究了不同包装条件空气、真空和保鲜膜包装对驼肉冷藏期间各品质的影响。ORKUSZ 等^[7]研究了鹅肉在真空包装和由 80%氧气, 20%二氧化碳组成混合气氮条件下的品质变化, 并在 4℃的冷藏条件下保存, 研究结果均显示, 真空包装可以延缓生鲜肉品质变化。真空包装是一种常用的食品保藏方式, 可以有效地延长生鲜肉的保质期, 同时也保证了在运输和贮存过程中的产品的卫生。但当使用包装袋包装时, 因袋中的气压低于外部气压, 肉块被压紧, 因此肉汁流失较多, 同时, 因无氧或氧分压过低, 肌肉中的肌红蛋白不能转化为氧合肌红蛋白, 从而导致肉的颜色黯淡, 不受欢迎。

表 1 冰温保藏技术与冷冻冷藏技术对比

Table 1 Comparison of ice temperature preservation techniques with frozen storage and refrigerate techniques

低温保藏技术	温度条件	原理	特点
冷藏	8℃以下, 0℃点以上	通过降低生化反应速率和导致微生物变化的速率, 来延长保藏货架期	保藏货架期约 6~10 d, 腐败变质较快 ^[1] , 会发生冷害现象
冰温保藏	0℃到冻结点以下	将食品的保藏温度控制在冰温带范围内, 维持细胞组织的活体状态 ^[2] , 显著抑制生鲜肉中的糖酵解酶活力, 减缓乳酸的积累, 抑制储藏过程中的品质恶化	保藏货架期约 20~24 d, 延长保质期的同时保持食品良好的品质, 可维持其细胞处于活体状态, 有效抑制酶活性变化
冻藏	-18℃左右	将食品冻藏, 使水形成冰晶体, 降低自由水的含量, 抑制微生物生长	保藏货架期约 90 d, 解冻后食品营养价值及品质受损严重, 汁液损失较大

2.2 气调包装

气调保鲜法是一种通过调节周围的空气成分而提高生鲜肉保质期的方法。其基本原理是：在一个密闭系统内，利用多种方法进行调控，使之与常规大气成分有所不同，从而抑制肉制品自身的生化反应，并能有效地抑制微生物的生长和繁殖^[8]。GURUNATHAN 等^[9]研究了有氧包装和气调包装对鸡肉品质和货架期的影响，该研究验证了气调包装能够延长生鲜肉的保质期。气调保鲜法是一种较成熟的保鲜技术，其贮存条件容易达成且不需要复杂的预处理，同时在一定程度上能保证产品的天然质量，并能延长贮存期。肉类气调中通常含有氧气、二氧化碳和氮气，但二氧化碳溶解于生鲜肉中的水，生成碳酸会降低生鲜肉的酸碱度，从而降低微生物的活性，降低其本身的蛋白酶活力，但若二氧化碳含量过高，会使生鲜肉产生一种酸味，从而影响口感。

2.3 保鲜剂保鲜

保鲜剂，是一种为了延长生鲜肉保质期和抑制微生物生长繁殖而添加到生鲜肉中的化学物质或天然物质，目前应用的较多的是天然生物保鲜剂^[10]。保鲜剂主要是通过抑制产品中致病菌的生长，从而延长生鲜肉的货架期^[11]。KANATT 等^[12]研究了壳聚糖-薄荷混合物作为保鲜剂在生鲜肉中的应用，XU 等^[13]研究了将含有乳酸菌属的保鲜剂和一种含有葡萄球菌和乳酸菌属的保鲜剂应用于羊肉中，结果均验证了保鲜剂在生鲜肉中的保鲜效果。尽管保鲜剂具有良好的抗菌效果，但是在长期的研究和应用中，一些保鲜剂并非完全无害，一旦加入过量，就会对身体产生伤害。

2.4 辐射保鲜

食物辐射是一种节能、非热、非化学和物理的方法^[14]。辐射保鲜可以直接控制微生物，从而达到保鲜生鲜肉，由于放射线能杀灭细菌，因此辐射处理能保持食物的新鲜。研究发现，辐照对微生物有明显的杀灭效果，CONDÓN-ABANTO 等^[15]研究了电子束电离辐射对从即食褐蟹中分离的 3 种嗜冷芽孢杆菌的灭活作用。因此，可以按需调整剂量，但在这种方法中，食品暴露于各种电离和非电离辐射中，因此辐照后的生鲜肉中的维生素损失大，而且辐照技术所需的条件较高、成本高。

2.5 高压保鲜

食品超高压加工是一种非热加工技术，其原理是在高压下，以水或矿物油作为传压介质，通过施加高压(100~1000 MPa)在常温或较低温度(低于 100℃)下维持一定时间，使食物在高压下发生酶失活、蛋白质变性、淀粉糊化、微生物失活等物理化学和生物作用^[16]。SHAO 等^[17]研究了超高压处理对去壳红沼泽螯虾肉性质的影响；

YANG 等^[18]研究了 100~400 MPa 高压处理 2 min 对低脂低盐肉糜稳定性的影响。相关研究结果均表明，高压处理能够有效延长生鲜肉的保质期，虽然高压处理是一种很好的抑菌方法，但在高压下很难杀灭或者抑制细菌的芽孢和一些抗高压的酶，因此，单纯的高压处理很难达到理想的效果。在高压加工中，食品通常暴露在 400~1000 MPa 的压力，需要一定量的水分，作为一种介质来传递压力，使其应用于半湿润和潮湿的食品，而且食品中营养细胞在 400~600 MPa 的压力下会被灭活，因此高压还会对生鲜肉的品质造成一定的影响。

2.6 低温保鲜

低温保鲜是一种常见的生鲜肉保鲜方法，其原理主要是通过降低温度来延缓或抑制生鲜肉中微生物的生长和繁殖，相对其他保鲜方式，低温保鲜可以在一定时间内保持其原有质量的同时延长其保质期，低温保藏主要包括冷藏、冻藏以及冰温保藏，但是冷藏冻藏有一定的局限性，例如 LEE 等^[19]研究了与传统低温保藏方式相比，冰温保藏对牛肉的影响，该实验结果表明，相比于冷藏和冻藏，冰温保藏可以延长牛肉的货架期，并最大限度地减少由冷冻诱导的冰晶形成造成的物理损伤。

3 冰温保藏技术原理及特点

冰温保藏技术是日本山根昭美博士在实验总结中于 20 世纪 70 年代开创的，是继冷藏和气调保藏后的第三代技术。随着对这一技术的深入研究，冰温保藏技术已经在日本、美国、韩国、英国等多个国家及地区推广使用；相比之下，我国冰温技术仅处于研究阶段，产业化应用仍较少^[20]。

食物中含有蛋白质、盐、酸等物质，能使食物的冷冻温度在 0℃以下，所以在 0℃以下时，它们仍然能维持其细胞的活性。在接近冻结点的时候，动物和植物为了防止身体里的冰晶凝结，会不断地从身体里分泌出大量的不冻液来降低结冰，而在这个时候，蛋白质就会被释放出来，或者被分解成糖^[21]。因此，冰温保藏的机制主要包括：①在冰温带条件下保藏食物，使其细胞保持活性；②在食物本身冰点高的情况下，如果加入适量的冰点调节剂，就能使食品的结冻温度降低，并扩展其冰温区进行储藏。冰温保藏是目前国际上比较先进的一项保鲜技术^[22]。过去几十年的研究显示，将食品保藏在结冰点具有以下优势：①保藏过程中，细胞不受损伤，能使细胞保持活性；②长期在低温下，某些有害的微生物和细菌的活动会被抑制，从而有效地抑制了多种酶的活力；③可以延缓腐烂，延长保质期，防止冻害，延长储存期；④生物在保藏期间，产生的葡萄糖、氨基酸等质能提高食物的香味，显著提高多种食品的食品品质。

但是冰温保藏也存在局限性，其工作温度区间过窄，通常在-0.5~2.0℃，因此很难控制温度带；另外，该技术

的研发要求设备能够精准控温, 因此对设备的要求高, 导致生产成本的提高。

4 冰温保藏技术在生鲜肉保藏中的应用

生鲜肉主要有生鲜畜肉、生鲜禽肉和新鲜水产品。畜肉类指猪、牛、羊等牲畜, 因畜肉类血红素含量较高, 在煮制过程中呈红色或暗红色, 素有“红肉”之称, 畜肉类富含铁、锌、蛋白质、脂肪、矿物质和维生素。禽肉类包括鸡、鸭、鹅、鱼等, 由于禽肉类与水产品中血红素含量较少, 肉色较浅, 呈白色, 又有“白肉”之称, 禽肉类的营养价值与畜肉类相似, 可为人体提供蛋白质、脂肪、矿物质和维生素^[5]。水产品包括鱼类、甲壳类和软体动物类, 鱼类相比畜肉类蛋白质的利用率稍低。在冰温保藏过程中, 畜肉类和禽肉类的处理方式大致相似, 大部分畜禽肉在试验前需要进行排酸处理, 水产品则不需要^[4]。相比于畜禽肉, 水产品品质评价指标也有所不同, 畜禽肉一般是测感官评定、pH、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)等指标, 而水产品则通过检测它的感官评定、组织状态、水分含量、以核苷酸分解产物次黄嘌呤及次黄嘌呤核苷占总分解产物的比值(K 值)等来判断其新鲜度。

4.1 冰温保藏技术在畜肉保藏中的应用

相比于禽肉, 畜肉中含有更多的脂肪, 尤其是饱和脂

肪酸^[23], 过氧化氢通过吸收氧气和随后生成的羰基化合物副产物, 引发和促进脂质的自氧化和酸败。因此, 通常用过氧化值(peroxide value, POV)来反映高脂肪食品的氧化程度, SUN 等^[20]系统评价了牦牛肉在冷藏(0℃)和冰温(-2℃)保藏期间的理化性质, 包括 TVB-N 值、pH、POV 值和挥发性风味。该研究结果显示, 牦牛肉样品的初始 POV 为 0.30 g/100 g, 在-2℃保藏 24 d 时逐渐增加到 0.84 g/100 g, 而在 0℃保藏 24 d 时迅速增加到 1.22 g/100 g, 因此在冰温条件下保藏的牦牛肉比在冷藏温度下保藏的牦牛肉的脂肪氧化率和蛋白质分解率要慢。TAO 等^[24]研究了不同低温保藏条件下氧化蛋白对滩羊肉色和持水性的影响, 以及氧化蛋白与肉质的相关性。结果显示, 低温保藏后羊肉的持水能力有所下降, 其中-18℃条件下的羊肉持水能力下降得最快, 其次是冰温条件下的羊肉, 持水能力下降的最缓慢的是 4℃条件下的羊肉。持水力下降原因可能是, 在羊肉的冷冻过程中, 水变成了冰晶, 这可能会破坏肌肉组织结构, 导致肌纤维空间扩张和肌内水迁移的变化。因此, 虽然冷冻保藏的保质期更长, 但是对羊肉的持水能力影响较大, 冷藏对羊肉持水能力的影响较小, 但保质期较短, 综上所述, 冰温保藏能更加有效地保藏羊肉。

其他关于畜肉冰温保藏的研究, 如表 2 所示, 研究者们主要从微生物分析、色泽、pH、TVB-N 值、TBARS 值、质构等方面对生鲜畜肉保藏过程中的品质进行了评估。

表 2 冰温保藏技术在畜肉中的研究现状
Table 2 Research status of ice temperature preservation technology in livestock meat

样品	保藏温度	保藏时间	指标测定	保藏效果	参考文献
小尾寒羊 8~12 月龄去势公羊	-1.2℃	28 d	菌落总数、色泽、pH、TVB-N 值、剪切力	羊肉在冰温保藏过程中的货架寿命期可延长到 21~28 d	[25]
新鲜猪后腿肉	4~5℃(冷藏对照组) -1℃(冰温)	14 d	感官评价、pH、脂质氧化、TVB-N 值、菌落总数	在 14 d 保藏期末, 冰温组的各项感官指标均达到了国家一级新鲜肉类的标准; 对照组于第 8 d 发生变质	[26]
宰后 12 h 内猪排酸后腿肉	稳定-1℃(冰温①) 波动-1℃(冰温②) 4℃(冷藏) -18℃(冷冻)	20 d	pH、TVB-N 值、汁液流失率、菌落总数、感官评价	在-1℃的稳定温度下, 猪肉新鲜期可以维持 19 d, 而波动的-1℃仅为 12 d, 4℃仅 4 d	[27]
西门塔尔牛的腰背最长肌	-2~0℃(标准冰温) -4~4℃(商业冰温)	20 周	pH、色泽、TBARS 值、TVB-N 值、菌落总数、感官评价	冰温环境下的保藏效果更好, 按照国家标准规定, 标准冰温、商业冰温保藏牛肉的保藏时间大约为 12 周和 9 周	[28]
牛排	冰温(-4℃)、冷藏(4℃)、冷冻(SF, -10℃)、冷冻(RF, -20℃)	14 d	汁液损失、色泽、TBARS 值、华纳-布拉茨勒剪切力、微观分析	冰温样品在 14 d 后, 冰温样品的 TBARS 显著低于冷藏和冷冻样品, 冰温保藏可以在保持牛肉新鲜度的同时延长其货架期	[22]
牦牛肉(西藏牦牛)	冷藏(0℃)、控制冰点(-2℃)	24 d	pH、POV 值、TVB-N 值、挥发性成分的气相质谱分析、肉质劣化动态分析的数学模型	与传统的 0℃冷藏相比, -2℃冷藏条件下, 优质牦牛肉的保质期可延长 5~7 d	[20]
牛肉的上侧肌和三角肌	冷冻(-18℃±0.5℃)、冷藏(3℃±0.5℃)和冰温(-2℃±1℃)	28 d	菌落总数、肌纤维直径、汁液损失、持水力、颜色、组织剖面分析、pH	与冷藏相比, 冰温(-2℃)保藏可以延长牛肉的货架期, 此外, 冰温最大限度地减少了冰晶形成和酶基变质	[19]

表 2(续)

样品	保藏温度	保藏时间	指标测定	保藏效果	参考文献
西门塔尔牛的牛背最长肌	4℃冷藏、-4℃冰温保藏、冰温(-4℃)结合磁场辅助	9 d	汁液损失、离心损失、蒸煮损失、低场核磁共振、肌原纤维蛋白的理化性质	与传统冷藏相比,冰温保藏加磁场辅助可以降低牛肉水分迁移的速率和蛋白质变性的程度	[29]
西门塔尔牛的牛背最长肌	冷藏(4℃)、冰温(-4℃)、冷冻(-18℃)、冰温(-4℃)结合磁场辅助	14 d	汁液损失、蒸煮损失、色泽、剪切力、pH、TVB-N 值、TBARS 值、肌纤维显微结构	与传统冷藏和冷冻相比,冰温保藏的牛肉在色泽和嫩度方面更接近新鲜样品	[30]
牛排	冷藏(4℃)、冰温(-4℃,用脉冲电场和振荡磁场维持)	7 d	热物理性质、电导率、电流密度和电热特性、汁液损失、色泽	与传统冷藏的牛排相比,冰温保藏的牛排的各方面品质高于传统冷藏	[31]
羊肉(6 个月龄公滩羊)	冷藏(4℃)、冰温(-2℃)、冷冻(-18℃)	7 d	pH、汁液损失、蒸煮损失、离心损失	在-2℃条件下保藏的羊肉肌肉中氧化位点的数目远高于-18℃和 4℃条件下保藏的羊肉肌肉,品质更高	[24]
猪腿肉	传统冷藏(3.5℃)、冰温(-2℃)	16 周	微生物分析、感官分析、pH、汁液损失	与传统的 3.5℃冷藏相比,烤猪肉在-2.0℃下的冰温保藏显著提高了货架期,在整个保藏过程中保持了良好的感官品质	[32]

4.2 冰温保藏技术在禽肉保藏中的应用

近年来,禽肉的消费量持续增加^[33],相比于畜肉,禽肉的脂肪含量相对较少,肌肉的肉色较浅,肌纤维相对较细,肉质更嫩滑,因此更受消费者的欢迎,禽肉消费量的上升也提高了消费者对生鲜禽肉品质的追求。通过 JI 等^[34]的研究发现,与 4℃保藏样品相比,4℃保存 8 d 的鸡肉盐溶蛋白的二硫键含量和表面疏水性分别增加了 63.5%和 58.3%,而-1.5℃保存 8 d 的鸡肉盐溶蛋白的二硫键含量和表面疏水性分别增加了 28.0%和 22.3%,冰温保藏可以有效地延缓鸡肉盐溶蛋白结构和功能特性的变化,用-1.5℃储存的样品制备的凝胶具有更高的持水量,更低的蒸煮损失,更好的弹性,综上所述,冰温保藏对鸡肉的保鲜效果优于冷藏。

目前国内外已经有一些关于生鲜禽肉冰温保藏的研究,主要的研究对象集中在鸡肉和鸭肉,如表 3 所示。

4.3 冰温保藏技术在水产品保藏中的应用

新鲜水产品相比于畜禽肉具有独特的鲜味,而鲜活水产品受运输时间长、成本高的影响。冻藏为水产品的主要保藏方法,然而,在解冻过程中,水产品的质量会发生变化,包括蛋白质变性、脂质氧化和冰晶重结晶等,因此呈现出较低的凝胶性、新鲜度和风味^[3]。冰温保藏可以在延长水产品保质期的同时,减少冰晶形成对生物组织的损害,抑制脂质氧化和延缓蛋白质变性,保持原有的新鲜度和味道。GALLART-JORNET 等^[3]研究了大西洋鲑鱼在冷藏(4℃)、冰温保藏(-1℃)和冻藏(-40℃)不同条件下的理化性质变化,研究发现鱼体内的盐溶性蛋白含量随保藏时间的延长而降低,但是-1℃的冰温条件下可以延长保质期,

还可以延缓盐溶性蛋白的降低。ANDO 等^[41]利用天然对虾,进行了冰温(-2℃)和冷藏(5℃)两种保藏方式对虾肉保鲜效果的对比研究,结果显示,水产品会随着新鲜度的降低而变软,然而通过冰温保藏可以抑制虾肉在保藏过程中的软化,造成这种软化现象的原因是由于冷藏过程中内源性蛋白酶分解胶原蛋白或连接蛋白,因此冰温保藏可以有效减少水产品中蛋白质的流失。目前国内外已经有一些关于水产品冰温保藏的研究,如表 4 所示。

5 冰温保藏技术结合其他技术在生鲜肉中的应用

对生鲜肉而言,冰温保藏条件下微生物、酶活和生化反应不能被彻底抑制,微生物繁殖和生化反应仍会缓慢进行,导致脂肪水解、蛋白质变性、脂肪酸氧化等,从而降低生鲜肉的质量,缩短其保质期。因此,为了进一步延长货架期,在冰温保藏过程中,一般也会与气调包装、真空包装、保鲜剂等其他保藏技术相结合。

5.1 冰温保藏技术结合真空包装

真空包装是一种利用低氧透气率和良好阻隔性能的包装材料,通过真空的方式对食物进行保藏、运输和销售,从而延长产品的保质期。在真空条件下,好氧性微生物的生长速度受到抑制作用,生鲜肉蛋白质降解和油脂氧化的速率也显著减缓^[46]。此外,低氧环境有利于肉类中的厌氧菌(如乳酸菌)的增殖,从而将 pH 降到 5.6~5.8,而低 pH 对其他细菌的生长起到了抑制作用,同时还能有效地抑制生鲜肉中的蛋白质分解和油脂的氧化,从而延长生鲜肉的保质期。但是,真空包装会导致生鲜肉水分的损失。另外,由于缺乏氧气,生鲜肉的颜色也会变得暗淡,近年来,我

表 3 冰温保藏技术在禽肉中的研究现状
Table 3 Research status of ice temperature preservation technology in poultry meat

试验样品	保藏温度	保藏时间	指标测定	保藏效果	参考文献
新鲜鸡肉	5°C(冷藏) -3~-2°C(冰温)	27 d	感官评价、pH、TVB-N 值、 菌落总数	冷藏组鸡肉其保藏期为 8 d。冰温组 保藏期延长至 20 d 以上	[35]
日龄为 40~45 d 的白 羽鸡肉	4°C(冷藏) -1.5°C(冰温)	20 d	色泽、汁液流失率、硬度和弹性、 TBARS 值、TVB-N 值、 菌落总数、NMR 自旋-自旋弛 豫时间、微观结构	在-1.5°C下, 鸡肉的各质量指标变化 相比 4°C时有显著提高。鸡肉在 4°C 条件下的保藏期为 4 d, 而在-1.5°C 条件下的保藏期为 16 d	[36]
红嘴鸭的鸭 胸肉	4°C(冷藏) -1°C(冰温)	20 d	感官评价、TVB-N 值、pH、 色泽、汁液流失率、剪切力、 菌落总数	鸭胸肉在 4°C保藏 5 d, -1°C保藏 20 d	[37]
40~45 日龄 白羽鸡肉	-1.5°C(冰温)和 4°C(冷藏)	8 d	蛋白质的溶解度分析、表面疏 水性、蛋白质中二硫键和巯基 含量、蒸煮损失、质构、动态 流变、低场核磁共振	与 4°C冷藏相比, 冰温保藏能有效延 长鸡肉的保藏期	[34]
鸡胸肉	4°C(冷藏)和-0.7°C(冰 温)	16 d	保水性、动态流变性、NMR 自旋-自旋弛豫时间	与冷藏相比, 在冰温条件下, 肌肉纤 维蛋白具有较好的热致凝胶特性, 因 而能够确保其加工质量	[38]
活草鸭肉	5°C(冷藏)、5°C(±1°C波 动)、-3°C、-3°C(±1°C 波动)、-3°C(±2°C波动)	33 d	感官评定、菌落总数、pH、 TVB-N 值	冰温能明显抑制细菌的生长, 降低酶 活性, 并能延迟蛋白质的分解。好于 冷藏效果	[39]
鸡脯肉	冻藏(-18°C)、冰温 (-1.5°C)、冷藏(4°C)、 常温(15°C)	20 d	水分含量、粗蛋白质含量、粗 脂肪含量、灰分含量、可溶性 固形物含量、菌落总数、总酸 度、TVB-N 值、pH、汁液损 失、持水力、TBARS 值、剪 切力、感官评定、脂肪酸	相比于常温、冷藏和冻藏, 冰温在一 定程度上能更有效减缓鸡肉的品质 变化并且延长保藏期	[40]

表 4 冰温保藏技术在水产品中的研究现状
Table 4 Research status of ice temperature preservation technology in aquatic products

样品	保藏温度	保藏时间	指标测定	保藏效果	参考 文献
大西洋 鲑鱼	冷藏(4°C)、冰温 (-1°C)、-40°C	30 d(-40°C)、2 d (4°C)、9 d 和 16 d (-1°C)	质地、蛋白质溶解度、游离氨基酸、电 泳、酶活性、盐含量、脂肪含量、水分 活度、pH、持水性	冰温保藏洋鲑鱼硬度、蛋白质 溶解度和游离氨基酸等方面均 优于冷藏的洋鲑鱼	[3]
活剑尖 鱿鱼	冰温(-2°C)、冷藏 (5°C)、	50 h	K 值、游离氨基酸、菌落总数、水溶性 和不溶性蛋白质、聚丙烯酰胺凝胶电泳 和电泳	冰温保藏可以延长鱿鱼的保藏 期, 并保持比冷藏更高的品质	[42]
天然对虾	冰温(-2°C)和冷 藏(5°C)	3 d	游离氨基酸含量、水溶性和不溶性蛋白 质、聚丙烯酰胺凝胶电泳	与传统冷藏相比, 冰温保藏可 以更好地保持对虾的色泽和肉 质的物理特性	[41]
黄尾鱼	冰温(-1°C)	13 d	断裂强度、组织学观察、聚丙烯酰胺凝 胶电泳	在冰温状态下, 鱼肉的软化可 能被推迟, 并且延长鱼肉的保 藏期	[43]
鹰爪虾	冰温(-1~0°C)、冷 藏(4°C)	13 d	pH、K 值、TVB-N 值、菌落总数、质 构、总巯基、钙激活三磷酸腺苷酶活性	与冷藏组相比较发现, 样品用 冰温保藏技术进行保藏, 能有 效地延长虾肉的保质期, 延长 了约 5 d	[44]
淡水鲤鱼	冰温(-2°C)、冷藏 (4°C)	12 d	水分迁移、质构	与冷藏相比, 在-2°C下, 能较 好地保藏鱼肉的感官质量, 使 鱼肉的色泽和挥发性物质发生 改变, 使其弹性和硬度指数的 变化更加平稳	[45]

国生鲜肉真空包装贸易迅速发展,变色等问题越来越严重。有些时候必须在现有技术的基础上,将冷藏、冰温、高压加工、腌制等多种保鲜技术相结合,以改善生鲜肉的保藏质量。

冰温保藏是控制温度在食品冰点前的一种保藏方式,而真空包装保藏是将食品包装在一种阻隔性好的包装材料内来对食品进行保藏的方法。冰温结合真空包装的保藏技术是一种新颖的保藏技术,岳喜庆等^[47]研究发现,在保藏牛肉上,冰温结合真空包装要比单纯的用冰温保藏效果要好。CHAN等^[46]研究了将这两种结合保藏技术用在保藏鱼肉上,通过测定鱼肉中的pH、滴水损失、持水性、色泽、质地和微生物生长等指标,发现两种保藏方法相结合要比单一使用真空包装的效果要出色。因此可以认为这种结合的保藏方法要比单一的保藏方法的效果要好,但是使用结合的保藏方法也有个十分明显的问题就是成本升高,对此寻找一个相对平衡的保藏方式还需要科研工作者的共同努力。

5.2 冰温保藏技术结合气调包装

气调包装是用高阻隔的包装材料,将包装中的空气抽出,向其中注入一定比例的气体,将食物置于事先设定的气态环境中,以延缓食物的氧化,使生鲜肉的生化反应速度下降,有害的微生物生存环境受到破坏,抑制微生物的生长、繁殖、阻止酶的反应,从而延长生鲜肉的保质期。但是气调保鲜需要注意保藏的温度,因为温度会影响包装材料的阻隔性,温度越高,包装材料的阻隔性越差,微生物与酶的作用就会越活跃,最后导致食品的腐败变质,但冰温保藏结合气调保鲜就有效解决了该问题,李来好等^[48]将冰温保藏与气调保鲜相结合用于保藏罗非鱼,发现两者结合能够很大程度地延长罗非鱼的保质期且肌肉弹性及色泽良好,BELLÉS等^[8]利用羊肉进行的研究也得到了类似的结果。说明冰温保藏结合的气调保藏是比使用单一的保藏技术的效果要好,冰温保藏技术结合气调包装是未来发展的重要方向。

5.3 冰温保藏技术结合保鲜剂

保鲜剂有生物保鲜和化学保鲜两大类。生物保鲜剂来自大自然、安全无公害,能提高消费者对食物品质的信任感和安全感^[49]。化学保鲜剂是在生鲜肉中加入化学合成药剂,能有效抑制肉制品中的微生物和酶的活性,使生鲜肉的保质期得以延长。郭芳等^[50]通过从微生物、理化、感官等方面研究壳聚糖复合涂膜结合冰温技术对中国对虾品质的影响,以及HE等^[51]从干丁香芽中获得丁香精油,用精油结合冰温保藏方式来保藏新鲜海鲈鱼,分别用0.1%、0.2%和0.3%(V:V)的丁香精油溶液在0℃下浸泡新鲜海鲈鱼样品,形成一层可食用涂层,结果均表明,用保鲜剂处理的虾和鱼肉在冰温条件下保存能更加有效地延长虾和鱼肉的保藏期。生物保鲜剂提取工艺相对复杂且一定剂量下

无毒副作用,结合冰温保藏技术,可以适当减少其用量,起到相辅相成的作用。

6 展望

冰温保藏既能保证生鲜肉组织和细胞的完整,又能降低其的汁水流失和蒸煮损耗,不仅能使生鲜肉的颜色、嫩度更接近生鲜品,同时也能使生鲜肉的保质期得到延长。因此,冰温保藏技术是保藏生鲜肉原有风味、口感和新鲜性的有效手段,是一种新型生鲜肉保鲜方法,对改善食品结构、延长产品货架期具有重要作用,同时也拓展了制冷新领域;冰温保藏技术是一场革命性的技术革命,它不仅可以用于生鲜肉的生产、储存,还可以用于熟制品、即食动物食品的保鲜。

与国外比较,国内在冰温保藏技术方面的研究与应用不够成熟,今后要做好冰冻保藏技术的开发工作,使其理论与实际相结合。未来冰温保藏技术的发展方向:①在冰温保藏过程中,很难避免温度的波动。因此,要想将冰温保藏技术用于生鲜肉,就必须建立准确的温度控制系统,开发高精度且高效的储藏设备。②冰温保藏能延长保藏时间,但是不同的生鲜肉其冰点温度范围不同,造成冰点温度不同的机制目前研究较少,未来需进一步阐释。③单独冰温保藏虽然可以显著延长肉制品的货架期,但由于受温度波动等影响,产品品质的稳定性无法保障,将冰温保藏与其他保藏技术相结合,如真空包装、生物保鲜剂等,是未来发展的重要方向。总之,冰温保藏技术是一项具有广阔应用前景的生鲜肉保鲜技术,但目前冰温保藏技术尚处在起步阶段,无论是保藏技术还是设备,都需要开展进一步的研究。

参考文献

- [1] 施晓予,刘雪,刘少伟,等.低温贮藏对鸡胸肉肌原纤维蛋白结构及热诱导凝胶性能的影响[J].食品安全质量检测学报,2022,13(8):2594-2601.
SHI XY, LIU X, LIU SW, et al. Effects of low temperature storage on the structure and heat-induced gel properties of chicken breast myofibrillar protein [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(8): 2594-2601.
- [2] PAN C, CHEN S, HAO SX, et al. Effect of low-temperature preservation on quality changes in pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: A review [J]. J Sci Food Agric, 2019, 99(14): 134-139.
- [3] GALLART-JORNET L, RUSTAD T, BARAT JM, et al. Effect of superchilled storage on the freshness and salting behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets [J]. Food Chem, 2007, 103(4): 1268-1281.
- [4] LIU Z, YANG W, WEI H, et al. The mechanisms and applications of cryoprotectants in aquatic products: An overview [J]. Food Chem, 2023, 408: 135202.
- [5] TOOMIK E, ROOD L, BOWMAN JP, et al. Microbial spoilage mechanisms of vacuum-packed lamb meat: A review [J]. Int J Food Microbiol, 2023, 387: 110056.

- [6] MAQSOOD S, HADDAD NAA, MUDGIL P. Vacuum packaging as an effective strategy to retard off-odour development, microbial spoilage, protein degradation and retain sensory quality of camel meat [J]. *LWT*, 2016, 72: 55–62.
- [7] ORKUSZ A, HARAF G, OKRUSZEK A, *et al.* Lipid oxidation and color changes of goose meat stored under vacuum and modified atmosphere conditions [J]. *Poultry Sci*, 2017, 96(3): 731–737.
- [8] BELLÉS M, ALONSO V, RONCALÉS P, *et al.* The combined effects of superchilling and packaging on the shelf life of lamb [J]. *Meat Sci*, 2017, 133: 126–132.
- [9] GURUNATHAN K, TAHSEEN A, MANYAM S. Effect of aerobic and modified atmosphere packaging on quality characteristics of chicken leg meat at refrigerated storage [J]. *Poultry Sci*, 2022, 101(12): 102170.
- [10] SILVA BD, BERNARDES PC, PINHEIRO PF, *et al.* Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils: Natural preservative and limitations of use in meat products [J]. *Meat Sci*, 2021, 176: 108463.
- [11] CEN S, FANG Q, TONG L, *et al.* Effects of chitosan-sodium alginate-nisin preservatives on the quality and spoilage microbiota of *Penaeus vannamei* shrimp during cold storage [J]. *Int J Food Microbiol*, 2021, 349: 109227.
- [12] KANATT SR, CHANDER R, SHARMA A. Chitosan and mint mixture: A new preservative for meat and meat products [J]. *Food Chem*, 2008, 107(2): 845–852.
- [13] XU MM, KAUR M, PILLIDGE CJ, *et al.* Effect of protective cultures on spoilage bacteria and the quality of vacuum-packaged lamb meat [J]. *Food Biosci*, 2022, 50: 102148.
- [14] BISHT B, BHATNAGAR P, GURURANI P, *et al.* Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables—a review [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2021, 114: 372–385.
- [15] CONDÓN-ABANTO, PEDRÓS-GARRIDO, CEBRIÁN, *et al.* Crab-meat-isolated psychrophilic spore forming bacteria inactivation by electron beam ionizing radiation [J]. *Food Microbiol*, 2018, 76: 374–381.
- [16] WANG J, CHEN J, SUN Y, *et al.* Ultraviolet-radiation technology for preservation of meat and meat products: Recent advances and future trends [J]. *Food Control*, 2023, 148: 109684.
- [17] SHAO Y, XIONG G, LING J, *et al.* Effect of ultra-high pressure treatment on shucking and meat properties of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*) [J]. *LWT*, 2018, 87: 234–240.
- [18] YANG H, TAO F, CAO G, *et al.* Stability improvement of reduced-fat reduced-salt meat batter through modulation of secondary and tertiary protein structures by means of high pressure processing [J]. *Meat Sci*, 2021, 176: 108439.
- [19] LEE HJ, KWON JA, KIM M, *et al.* Effect of supercooling on storage ability of different beef cuts in comparison to traditional storage methods [J]. *Meat Sci*, 2023, 199: 109137.
- [20] SUN S, ZHAO J, LUO Z, *et al.* Systematic evaluation of the physicochemical properties and the volatile flavors of yak meat during chilled and controlled freezing-point storage [J]. *J Food Sci Tech Mys*, 2020, 57(4): 1351–1361.
- [21] BELAY ZA, CALEB OJ, OPARA UL. Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for fresh produce: A review [J]. *Food Packag Shelf*, 2016, 10: 1–15.
- [22] YOU Y, HER JY, SHAFEL T, *et al.* Supercooling preservation on quality of beef steak [J]. *J Food Eng*, 2020, 274: 109840.
- [23] HOCQUETTE JF. Consumer perception of livestock production and meat consumption; an overview of the special issue “perspectives on consumer attitudes to meat consumption” [J]. *Meat Sci*, 2023, 200: 109163.
- [24] TAO Y, MA L, LI D, *et al.* Proteomics analysis to investigate the effect of oxidized protein on meat color and water holding capacity in tan mutton under low temperature storage [J]. *LWT*, 2021, 146: 111429.
- [25] 王守经, 王维婷, 胡鹏, 等. 羊肉冰温贮藏技术研究[J]. *山东农业科学*, 2017, 49(4): 124–128.
- WANG SJ, WANG WT, HU P, *et al.* Study on the technology of mutton ice temperature storage [J]. *Shandong Agric Sci*, 2017, 49(4): 124–128.
- [26] 张瑞宇, 殷翠茜. 新鲜猪肉冰温保鲜的研究[J]. *食品科技*, 2006, (2): 113–116.
- ZHANG RY, YIN CQ. Study on preservation of fresh pork at ice temperature [J]. *Food Sci Technol*, 2006, (2): 113–116.
- [27] 李建雄, 谢晶, 潘迎捷. 冰温对猪肉的新鲜度和品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(9): 67–70.
- LI JX, XIE J, PAN YJ. Effect of ice temperature on freshness and quality of pork [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2009, 30(9): 67–70.
- [28] 陈雪, 罗欣, 梁荣蓉, 等. 不同冰温条件对长期贮藏牛肉品质和货架期的影响[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(23): 305–311.
- CHEN X, LUO X, LIANG RR, *et al.* Effects of different ice temperature conditions on the quality and shelf life of beef stored for a long time [J]. *Transact Chin Soc Agric Eng*, 2019, 35(23): 305–311.
- [29] LIN H, HE X, LIU C, *et al.* Static magnetic field-assisted supercooling preservation enhances water-holding capacity of beef during subzero storage [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2022, 80: 103106.
- [30] LIN H, ZHAO S, HAN X, *et al.* Effect of static magnetic field extended supercooling preservation on beef quality [J]. *Food Chem*, 2022, 370: 131264.
- [31] KANG T, LEE D, KO Y, *et al.* Effects of pulsed electric field (PEF) and oscillating magnetic field (OMF) on supercooling preservation of beef at different fat levels [J]. *Int J Refrig*, 2022, 136: 36–45.
- [32] DUUN AS, HEMMINGSEN AKT, HAUGLAND A, *et al.* Quality changes during superchilled storage of pork roast [J]. *LWT*, 2008, 41(10): 2136–2143.
- [33] GÜRBÜZ M, KORKMAZ BİO. The anti-campylobacter activity of eugenol and its potential for poultry meat safety: A review [J]. *Food Chem*, 2022, 394: 133519.
- [34] JI H, HOU X, ZHANG L, *et al.* Effect of ice-temperature storage on some properties of salt-soluble proteins and gel from chicken breast muscles [J]. *Cyta-J Food*, 2021, 19(1): 521–531.
- [35] 姜长红, 万金庆, 王国强. 冰温贮藏鸡肉的试验研究[J]. *食品与机械*, 2008, (1): 63–66.
- JIANG CH, WANG JQ, WANG GQ. Experimental study on chicken stored in ice temperature [J]. *Food Mach*, 2008, (1): 63–66.
- [36] 李莎莎, 计红芳, 张令文, 等. 冰温保鲜过程中鸡肉品质及微观结构的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(16): 201–207.
- LI SS, JI HF, ZHANG LW, *et al.* Changes of chicken quality and microstructure during ice temperature preservation [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(16): 201–207.

- [37] 许立兴, 荆红彭, 赵菲, 等. 冰温贮藏对鸭胸肉品质变化的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 222–227.
XU LX, JING HP, ZHAO F, *et al.* Effect of ice temperature storage on the quality of duck breast [J]. Food Sci, 2015, 36(14): 222–227.
- [38] 栗俊广, 柳红莉, 何菲, 等. 冰温和冷鲜贮藏对鸡肉肌原纤维蛋白凝胶性能和水分状态的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 236–240.
LI JG, LIU HL, HE F, *et al.* Effects of ice temperature and cold fresh storage on the properties and moisture status of chicken myofibrillar protein gel [J]. Food Sci, 2017, 38(19): 236–240.
- [39] 陈秦怡, 万金庆, 王国强. 冷藏与冰温贮藏鸭肉实验比较[J]. 食品工业科技, 2008, (6): 271–273.
CHEN QY, WAN JQ, WANG GQ. Experimental comparison between cold storage and ice temperature storage of duck meat [J]. Food Ind Technol, 2008, (6): 271–273.
- [40] 邵磊. 鸡脯肉冰温贮藏性能和贮藏品质动力学研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011.
SHAO L. Study on the ice temperature storage performance and storage quality dynamics of chicken breast [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2011.
- [41] ANDO M, NAKAMURA H, HARADA R, *et al.* Effect of super chilling storage on maintenance of freshness of Kuruma Prawn [J]. Food Sci Technol Res, 2004, 10(1): 159–258.
- [42] ANDO M, TAKENAGA E, HAMASE S, *et al.* Effect of super-chilling storage on maintenance of quality and freshness of swordtip squid *Loligo edulis* [J]. Food Sci Technol Res, 2005, 11(3): 238–250.
- [43] FUKUMA, YAMANE, ITOH, *et al.* Application of supercooling to long-term storage of fish meat [J]. Fish Sci, 2012, 78(2): 1206–1237.
- [44] 秦求思, 李思敏, 孟粉, 等. 冰温贮藏对鹰爪虾鲜度及蛋白质特性的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(17): 46–54.
QIN QS, LI SM, MENG F, *et al.* Effect of ice temperature storage on freshness and protein characteristics of crayfish [J]. Packag Eng, 2020, 41(17): 46–54.
- [45] 朱丹实, 王立娜, 吴晓菲, 等. 冰温及冷藏对鲤鱼水分迁移及质构的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(10): 152–159.
ZHU DS, WANG LN, WU XF, *et al.* Effects of ice temperature and cold storage on water migration and texture of carp [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2017, 17(10): 152–159.
- [46] CHAN SS, ROTABAKK BT, LØVDAL T, *et al.* Skin and vacuum packaging of portioned Atlantic salmon originating from refrigerated seawater or traditional ice storage [J]. Food Packag Shelf Life, 2021, 30: 100767.
- [47] 岳喜庆, 张秀梅, 孙天利, 等. 冰温结合真空包装牛肉的品质变化[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(6): 225–229.
YUE XQ, ZHANG XM, SUN TL, *et al.* Quality change of beef in vacuum packaging combined with ice temperature [J]. Food Ferment Ind, 2013, 39(6): 225–229.
- [48] 李来好, 彭城宇, 岑剑伟, 等. 冰温气调贮藏对罗非鱼片品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 439–443.
LI LH, PENG CY, CHEN JW, *et al.* Effect of ice temperature and air conditioning storage on quality of tilapia fillets [J]. Food Sci, 2009, 30(24): 439–443.
- [49] DURAN A, KAHVE HI. The effect of chitosan coating and vacuum packaging on the microbiological and chemical properties of beef [J]. Meat Sci, 2020, 162: 107961.
- [50] 郭芳, 周铭懿, 张抒爱, 等. 冰温技术结合生物保鲜剂对中国对虾品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 274–280.
GUO F, ZHOU MY, ZHANG YAI, *et al.* Effects of ice temperature technology combined with biological preservative on quality of *Penaeus chinensis* [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(15): 274–280.
- [51] HE Q, GONG B, HE JP, *et al.* A novel superchilling storage-ice glazing (SS-IG) approach using anti-oxidative and antimicrobial essential oil (EO) for freshness-keeping of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aqua, 2019, 500: 243–249.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



付郑旭, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品质量安全与营养。
E-mail: 1073813387@qq.com



李云成, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品质量安全与营养。
E-mail: liyunchengs@126.com