

熊俊杰, 李金林, 钟比真, 等. 草鱼低温保鲜技术研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 466–474. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050075

XIONG Junjie, LI Jinlin, ZHONG Bizhen, et al. Research Progress on Low-temperature Preservation Technology of Grass Carp[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 466–474. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050075

· 专题综述 ·

草鱼低温保鲜技术研究进展

熊俊杰¹, 李金林¹, 钟比真¹, 胡明明¹, 涂宗财^{1,2}, 彭 斌^{1,*}

(1.江西师范大学生命科学学院国家淡水鱼加工技术研发专业中心, 江西南昌 330022;

2.南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047)

摘 要: 低温保鲜是草鱼重要的贮藏方式。低温虽然不能完全使草鱼体内源酶活性丧失, 但能显著抑制鱼体内酶的活性, 抑制微生物的生长繁殖, 从而延长鱼的保质期。储藏温度相对低时, 草鱼的品质、口味等不容易丢失, 从而延缓其腐败变质。此外, 为响应国家关于“十四五”冷链物流发展规划, 需要建立有效的保鲜技术, 降低草鱼储藏期间的品质劣化, 延长草鱼的货架期。本文概述了有关草鱼低温保鲜对微生物、酶活性的影响, 综述了草鱼常见的几种低温保鲜方式(冷却保鲜、冰温保鲜、微冻保鲜、冻藏保鲜、气调低温保鲜、复合保鲜以及新型保鲜技术)的作用原理、方式及其在草鱼保鲜中的应用、保鲜效果等, 旨在为草鱼低温保鲜提供参考, 寻找更实用、经济的草鱼保鲜方式。

关键词: 草鱼, 低温保鲜, 新型保鲜技术, 微生物, 酶活性

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)05-0466-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050075

本文网刊:



Research Progress on Low-temperature Preservation Technology of Grass Carp

XIONG Junjie¹, LI Jinlin¹, ZHONG Bizhen¹, HU Mingming¹, TU Zongcai^{1,2}, PENG Bin^{1,*}

(1.National Freshwater Fish Processing Technology Research and Development Center in College of Life Science of Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;

2.State Key Laboratory of Food Science and Technology in Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: Low-temperature preservation is an important storage method for grass carp. Although low temperature can not completely inhibit the activity of enzymes in fish, it can significantly decrease the activity of enzymes and inhibit the growth and reproduction of microorganisms in fish, thereby prolonging the shelf life of fish. When the storage temperature is relatively low, the quality and taste of grass carp are not easily lost, thereby delaying its spoilage. In response to the national development plan of the cold chain circulation in the "14th Five-Year Plan", it is necessary to delay the shelf life of grass carp and reduce the quality change of grass carp through effective preservation technology. This paper summarizes the effects of low-temperature preservation of grass carp on microbial and enzyme activities and reviews the principles and methods of several common low-temperature preservation methods of grass carp (cooling preservation, ice temperature preservation, micro-freezing preservation, frozen preservation, modified low-temperature preservation, compound preservation and new preservation technology), and their application in grass carp preservation, preservation effect. This study aims to provide a reference for low-temperature grass carp preservation and find a more practical and economical way of grass carp preservation.

Key words: grass carp; low-temperature preservation; new preservation technology; microorganism; enzyme activities

收稿日期: 2022-05-09

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-45); 江西省教育厅青年项目(GJJ210337); 国家重点研发项目(2018YFD0901101)。

作者简介: 熊俊杰(2001-), 男, 大学本科, 研究方向: 生命科学, E-mail: 2310789706@qq.com。

* 通信作者: 彭斌(1992-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 水产保鲜与脂质营养, E-mail: 18507001686@163.com。

淡水鱼是我国一类产量丰富的经济鱼类,其中以草鱼产量最高,2020 年高达 557.11 万吨,占我国淡水鱼养殖产量的 21.54%^[1]。作为可食用经济鱼类,草鱼鱼肉具有体表粘液多,含水量大,容易滋生微生物等特点,如不进行适宜的保鲜,将影响草鱼品质、风味等,食用后甚至会对人类生命健康安全造成威胁。

草鱼体表微生物生长繁殖速度和肌肉组织中酶的活性受到贮藏环境温度的直接影响。环境温度越低,酶反应速度和微生物的生长繁殖速度越慢。草鱼低温保鲜技术是指通过降低贮藏草鱼的环境温度,从而降低鱼体温度,使草鱼的原有品质在一定时间内得以保持的一种技术。当贮藏温度足够低($<-18\text{ }^{\circ}\text{C}$)时,不仅能抑制鱼体内酶的活性,而且能显著抑制微生物的生长繁殖,从而大大延缓鱼的保质期^[2]。鱼体在低温下贮藏仅能减弱或延缓鱼体体表微生物、酶活性和非酶作用引起的鱼肉变质,并不能完全防止鱼肉变质。随着低温保鲜时间的延长,体表微生物的生长繁殖、酶及非酶反应引起的变质等对肉类口感、营养等品质及食品安全造成隐患^[3],其所引起的经济损失和健康危害不可估量^[4]。因此,在草鱼低温保鲜技术的研究中,选取最适宜的草鱼低温保鲜方式,最大程度地维持鱼肉的鲜度和品质势在必行。本文综述了草鱼常见的七种低温保鲜方式,阐述了不同低温保鲜方式的作用原理及其在草鱼保鲜中的应用、保鲜效果等,旨在为草鱼低温保鲜提供理论参考,探寻效率高、效果好、经济环保的草鱼保鲜方式。

1 低温保鲜技术原理

低温环境贮藏保鲜主要影响鱼体体表微生物生长繁殖的速度和肌肉组织中酶的活性^[5],使各类生化代谢速率下降,从而达到贮藏保鲜的作用。采用低温保鲜技术,维持草鱼鱼肉品质,进而保证鱼肉的质量及安全。

1.1 低温对微生物的影响

每种微生物都有其最适宜的生长温度,根据微生物对生长环境温度的依赖性可分为嗜冷型、适冷型、中温型和嗜热型四大类^[6]。当环境温度低于微生物生长最低温度时,微生物的生长代谢均会受到抑制,而当环境温度高于微生物最高生长温度时,微生物受到热作用而影响生长,严重则会致死。

多数淡水鱼的肠道菌群以气单胞菌、假单胞菌和拟杆菌为主,肠杆菌科、微球菌、不动杆菌、梭菌属等含量次之^[7]。其中,乳球菌是草鱼中最常见的细菌,新鲜草鱼的微生物区系以不动杆菌和假单胞菌为主^[8],其优势菌群随温度的变化而变化。在冷藏过程中,优势腐败菌主要为草莓假单胞菌、乡间布丘氏菌、静止嗜冷杆菌、热杀索丝菌等^[9]。草鱼体表微生物以适冷菌为主要成分,而大多数适冷菌在冰点左右或冰点以上的环境温度下,生长繁殖缓慢,导致鱼体发生变质,而这很可能是冷藏保鲜期较短的原因之

一^[6]。由于低温时适冷菌对该温度的依赖^[10],低温贮藏过程中,通过控制此类适冷优势腐败菌的生长繁殖,可以有效地减缓低温贮藏草鱼鱼肉的品质变化,从而有根据地抑制鱼肉腐败,延长货架期。

1.2 低温对酶活性的影响

同样,温度是影响酶活性的重要因素。低温时会降低酶活性,但不会完全灭活,而在高温时导致酶活性丧失。一般来说,温度只有降低到 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,特别是 $-30\sim-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时才能有效地抑制酶活性,但是当温度升高到原来的温度后,酶活性会恢复,甚至高于冷却处理前的酶活性,从而使水产品变质加快。因此,在对一些水产品低温保鲜前,常常需要进行灭酶,有时也用壳聚糖基涂料处理,用以防止温度升高后产品质量的大幅下降^[11]。

在草鱼的低温保鲜中,影响较大的酶有内源组织蛋白酶 B、D、L 和内源钙激活蛋白酶等^[12]。草鱼中,组织蛋白酶在冷藏中与蛋白质水解以及鱼片的结构降解有很大关系,用碘乙酸溶液处理草鱼片,通过使草鱼组织蛋白酶失活,可以有效地抑制草鱼肉冷藏过程中的结构软化^[13]。因此,通过调节酶解温度来调节酶活性,对鱼片的长期低温贮藏很有必要。

2 低温保鲜技术在草鱼中的应用

低温保鲜,根据保鲜食品是否发生冻结,可以分为冷藏和冻藏两种方式,通过低温保鲜,最大程度地抑制酶活性及微生物的生长繁殖,从而最大化地保持鱼肉的品质和鲜度^[14]。尤其需要注意的是,鱼体一旦冷冻过度,解冻时会严重影响鱼类品质甚至危害人体健康,如水产品在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏后,必须保证在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的温度下解冻。如果解冻温度过高,水产品的汁液会加重流失,同时也会导致解冻后水产品中的微生物数量急剧增加、鲜度下降,甚至导致腐败变质和食物中毒^[15]。因此,选取合适的保鲜温度^[16]极其重要。草鱼低温保鲜技术可划分为冷却保鲜($0\sim5\text{ }^{\circ}\text{C}$)、冰温保鲜(冻结点 $\sim0\text{ }^{\circ}\text{C}$)、微冻保鲜($-5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim$ 冰结点)、冻藏保鲜($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以下)、气调低温保鲜和复合保鲜等,还有近年来随着新技术出现产生的新型低温保鲜技术。

2.1 冷却保鲜

冷却保鲜又称冰藏保鲜、冷藏保鲜,是一种在 $0\sim5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 储藏温度范围内对鱼类进行保鲜的方法^[17]。冷却保鲜又可分为淡水冷藏和冷海水保藏。温度降低后,草鱼经过冷却,导致附着在鱼体上的微生物生长代谢活动受到限制,进而延缓鱼体死后的生理指标变化,大大保持鱼体的鲜度^[18]。有氧冷藏肉中分离出的常见微生物包括希瓦氏菌、假单胞菌、不动杆菌和环丝菌,最主要的腐败微生物是嗜冷假单胞菌^[12]。一定程度上低温可以抑制草鱼中常见微生物的生长代谢,但是并不能完全抑制鱼体死后体内蛋白降解的过程和一些微生物的有害活动。因此,用冷却保鲜对草鱼进行保鲜,仅能保鲜 7~10 d 左右,往往不超过 2~3 周。

淡水鱼冷却保鲜种类大致可分为在空气中冷却淡水鱼保鲜和在冰环境中冷却淡水鱼保鲜两种。一般,淡水鱼如草鱼,在盐水或海水中会发生如色泽变化这类的不良变化,从而影响鱼体品质,因此草鱼冷却保鲜时不适宜用冷盐水或冷海水。研究发现,在紫外杀菌^[19]、Co⁶⁰ 辐射的减菌化处理^[20] 时进行冷却保鲜取得的效果更佳,因此在对草鱼进行低温保鲜前建议进行减菌化处理。草鱼 0℃ 碎冰中冷却保鲜保藏期 5 d 内为新鲜,保藏期 10 d 内为次新鲜^[21]。4℃ 贮藏条件下冷却保鲜草鱼贮藏周期为 6 d^[22]。故使用冷却保鲜操作简单,温度易控制,家庭、市场范围内广泛适用。

2.2 冰温保鲜

根据国标,0℃ 至冰点之间的温度范围称为冰温。草鱼的冰温保鲜即将草鱼的环境温度降低至接近体内液汁的冰点(草鱼体内液汁的冰点在-0.5~-2℃ 之间,草鱼片新鲜时冰点为-1.1℃,平常冰点为-1℃)但不冻结的加工工艺^[23]。冰温贮藏有两个特点:一是保持草鱼在冰温区的温度,可以维持其细胞的存活状态,既能增加草鱼风味,又可以有效地抑制草鱼体表微生物的生长代谢,还可以减少挥发性含氮物质的产生;其次,如果冰点较高,也可以人为添加一些有机和无机物质,以降低冰点,扩大冰温带。与其他保鲜技术相比,冰温保鲜可避免冰晶对组织的损伤,将水产品的贮藏期延长至冷却保鲜的 1~1.5 倍^[23]。

盐浸和冰温脱水结合可以降低草鱼冰点,新鲜草鱼片用 4% 盐水在-0.5℃ 下浸渍 10 h,然后冰温真空脱水至 60%±1% 含水率,冰点由新鲜草鱼片的-1.1℃ 降低到-4.2℃,-0.5℃ 与-3.5℃ 冰温贮藏的草鱼样品贮藏期分别为 50 和 60 d^[23]。降低冰温贮藏的温度,对草鱼片的腐败变质有显著的抑制效果,并能提升草鱼片的口感,贮藏温度越低,越能有效减缓草鱼片菌落总数、硫代巴比妥酸反应物值(TBRAS)和挥发性盐基氮(TVB-N)的上升速度,抑制脂肪氧化,显著延长贮藏期,同时也有利于游离氨基酸的生成,增强草鱼的风味^[24]。故使用冰温保鲜,对微生物生长抑制效果较冷却更好,使货架期达冷却保鲜的 1~1.5 倍。

2.3 微冻保鲜

微冻保鲜是将鱼体的环境温度降至低于冰点以下 1~2℃(冰结点~-5℃)的一种低温保鲜方法,又称过冷却或部分冻结冷藏保鲜技术。但是微冻保鲜有一定的局限性,比如,由于冰点的温度正好处于-5~-1℃ 之间,在冻结时,为了保持冻结过程最大的可逆性,鱼体温度应当迅速通过最大冰结晶生成带温度范围,即-5~-1℃。冷冻食品专家一致认为,在对鱼类进行冷却保鲜时,保鲜温度不能降到-1℃ 以下,尤其要注意避开-5~-1℃,以防止由于冰结晶的生成,使鱼的品质下降^[25]。鱼类的微冻保鲜主要有鼓风冷却微冻法、低温盐水微冻法和冰盐混合微冻法

三种类型,其中鼓风和冰盐混合微冻保鲜适用于淡水鱼及其制品^[26]。

与一般冷却保鲜相比,微冻保鲜的最大优势就是显著延长保鲜期。草鱼的微冻保鲜(-2.5±0.5℃ 冰盐混合物)保藏期 11 d 内为新鲜,保藏期 18 d 内为次新鲜。在草鱼微冻及更低温度条件下,大肠杆菌、沙门氏菌和弯曲菌属是常见的微生物^[12]。一般冷冻条件难以抑制草鱼体表嗜冷微生物的繁殖,但微冻保鲜比冷却保鲜更能有效地抑制微生物繁殖,使保藏期延长至冷却保鲜的 1.5~4.0 倍^[21]。在-3±0.1℃ 下微冻贮藏的草鱼鱼体感官变化很慢,即使贮藏 30 d,草鱼品质仍属感官 1 级^[27]。故在实验室研究草鱼鱼肉品质、微生物丰度等时,使用微冻保鲜性价比比较高。

2.4 冻藏保鲜

冷却保鲜、冰温保鲜和微冻保鲜贮藏草鱼时保鲜期较短,分别只有 7~10、10~15 和 15~40 d。为了延长草鱼的贮藏期,在低温贮藏草鱼时,必须先将鱼体温度降低至-18℃ 以下,并控制温度始终保持在-18℃ 以下,这类保鲜方法称之为冻藏保鲜。冻藏保鲜适用于所有水产品,不仅能用于保藏加工原料鱼,还能用于调理水产品和保藏初加工品^[28]。

在草鱼片的冻藏保鲜中,内源微生物及内源蛋白酶均起到下降剪切力的作用,其中内源蛋白酶起主要作用。在冻藏前,鱼肉内源组织蛋白酶 B、D 和组织蛋白酶 L 从溶酶体释放,活性先下降再上升,这一变化导致鱼肉中半胱氨酸蛋白酶抑制剂 cystatin 活性维持先下降再上升的趋势^[29]。冻藏半天后,内源钙激活蛋白酶迅速被激活,活性上升后下降再失活,失活后导致腐败微生物滋生,从而引起鱼肉变质,故通过快速调节冻藏温度,可以有效维持鱼肉内源酶的活性,延长货架期^[29]。对草鱼鱼体冻藏来说,只有通过快速降至-5~-0℃ 温度以下区间,并快速达到冻藏所需温度,才能确保解冻后的肌肉组织新鲜度高、品质好,而耗时较长易造成冰晶长大、汁液流失、干耗严重、脂肪氧化、色泽劣变等问题。因此,在使用冻藏保鲜这一技术时,快速降低草鱼鱼体温度是关键。草鱼冻藏后,在-18℃ 冻藏食用储藏期能达到 8 个月以上。而在-86℃ 超低温冷冻储存箱下保存的草鱼,体内游离氨基酸、核苷酸含量更加丰富,其肌肉中 K 值为 14.92%±0.90%,使得草鱼保存时间超过 1 年^[30]。因此冻藏保鲜更适用于草鱼的长期储存,不宜用于鱼肉的短期保鲜。

2.5 气调低温保鲜

气调低温保鲜,是指使用一定阻隔性的包装材料,对食品进行密闭低温贮藏,密闭环境中用不同于大气组成的混合性气体替换包装食品周围的空气,从而减缓甚至抑制酶促反应、微生物生长代谢及营养成分的氧化变质,以此来延长食品货架期的一种低温保鲜技术^[31]。空气主要由 21% O₂、78% N₂ 和 0.03%

CO₂ 等组成, CO₂ 对以适冷菌为代表的大多数霉菌、需氧细菌具有较强的抑制作用^[32]; N₂ 是惰性气体, 在气调低温保鲜中用作混合气体的充填气体, 防止汁液渗出或包装变形。因此, 降低 O₂ 含量、提高 N₂ 和 CO₂ 的含量, 可以有效抑制微生物的呼吸代谢及氧化代谢等生理化学反应。因为在对淡水鱼进行保鲜时, 采用一定比例的 N₂ 和 CO₂ 的混合气体来代替空气, 能更显著地抑制以假单胞菌为代表的需氧型微生物的生长繁殖, 从而减缓 Ca²⁺-ATP 酶活性的下降和肌原纤维蛋白的分解, 延长草鱼的货架期^[33]。

研究发现, 不同比例气体浓度包装方式对低温贮藏生鲜草鱼片影响不同, 与真空包装形成对照, 选取 30% CO₂+70% N₂、50% CO₂+50% N₂、70% CO₂+30% N₂ 三种不同比例的气体浓度包装方式进行贮藏, 对包装草鱼片的 K 值(鲜度指标: K 值越小, 鲜度越好)、细菌总数的变化、保鲜期进行对比分析, 数据表明 50% CO₂+50% N₂ 混合气体包装可以有效延缓草鱼中品质变化和细菌生长, 最终使草鱼片的保鲜期延长至 33 d^[34]。故气调低温保鲜不仅能防止包装变形或汁液流失, 保鲜效果也超过了一般低温保鲜的理想效果。

2.6 复合保鲜

与单一保鲜剂低温保鲜技术相比, 复合保鲜的保鲜效果更为显著, 也是市场上鱼体保鲜技术研发的总体趋势。复合保鲜是指将具有不同效益的从动植物和微生物中提取出的天然产物或利用生物工程技术培养而获得的对人体相对安全的生物保鲜剂^[35]进行复配, 协同形成更强、更高效、抗氧化、杀菌及降酶活性效果更好的复合保鲜剂, 并运用包埋、覆盖等不同处理技术组成的保鲜方法, 常见的复合保鲜方法有活性保鲜垫、复合精制保鲜液和复合涂膜技术^[36]。总的来说, 复合保鲜具有更强、更高效、更抗氧化的显著优势。

2.6.1 活性保鲜垫 较常见的活性保鲜垫是 β-环糊精-精油微囊活性保鲜垫, 其制备是利用包埋技术制备出 β-环糊精-精油及微胶囊, 以此作为抗菌剂消融在吸水垫中, 吸收充分的吸水垫即称保鲜垫。微胶囊中的精油经过稀释, 在 4±1 ℃ 的温度^[37]下冷藏, 可有效地延缓草鱼的变质及延长货架期 2~3 d。

2.6.2 复合精制保鲜液 在鱼类的储藏中, 往往需要在脱腥时运用保鲜液保鲜, 所以复合精制保鲜液常常具备脱腥的效用。常见的复合保鲜液有姜葱蒜—黄

酒复合脱腥保鲜液(又名天然香辛料液)、4% 植物乳杆菌 163 产品溶液、一定浓度的竹醋精制液^[38]。三者的作用侧重点不同, 如表 1 所示, 姜葱蒜—黄酒复合脱腥保鲜液侧重于通过延缓硫代巴比妥酸(TBA)值、鱼肉 pH、挥发性盐基氮(TVB-N)值的改变以及微生物菌落总数的升高来增强鱼肉的抗氧化性, 进而延缓鱼肉的腐败变质^[39]; 4% 植物乳杆菌 163 产品溶液侧重于通过控制菌落总数及挥发性盐基氮含量的升高来延缓鱼肉的腐败变质^[40]; 一定浓度的竹醋精制液侧重于通过抑制细菌生长繁殖, 降低 TBA 值、菌落总数(TBC)值和 TVB-N 值^[41]来延缓鱼肉的腐败变质。

2.6.3 复合涂膜技术 同复合精制保鲜液制备方法类似, 涂膜技术保鲜是将一类具有抗性的物质, 经过浸渍、涂布以及喷洒等方法结合成膜, 涂敷在食品表面, 使其表面形成一层可抑制食品内外气体、水分及阻碍腐生菌对食品侵害等作用的膜状物质, 从而达到延缓货架期、防止食品变质腐败的一种食品保鲜技术^[43]。复合涂膜已有苯甲酸根插层水滑石/果胶复合保鲜膜、壳聚糖抗菌复合膜、海藻酸钠涂膜、副干酪乳杆菌 H9 复合涂膜、鲢鱼皮改性明胶复合膜(含多肽锌)、植物精油-EVOH 活性包装膜、马兰头提取物复合膜共 7 种, 在草鱼保鲜的应用效果见表 2, 使用副干酪乳杆菌 H9 复合涂膜、植物精油-EVOH 活性包装膜、苯甲酸根插层水滑石/果胶复合保鲜膜等效果较为显著, 可以将货架期延长至 8 d 及以上。

2.6.4 防腐剂低温保鲜 防腐剂作为一类通过对以腐败物质为代谢底物的微生物生长代谢持续抑制, 进而抑制物质腐败的药剂, 和低温保鲜起协同作用, 更有效延长草鱼的贮藏期。在草鱼低温保鲜研究中, 常用的防腐剂为尼泊金酯类防腐剂, 主要有甲酯、乙酯、丙酯、丁酯、庚酯等, 以庚酯、乙酯 25%+丙酯 75%、丁酯+庚酯各 50%、丙酯+丁酯+庚酯各 33.3% 为参照, 综合比较单一的防腐抑菌剂及多种复配后的防腐抑菌剂可以知道, 基于微生物理论, 复配的抑菌剂效果更佳, 这主要是因为复配防腐抑菌剂扩大了抑菌剂本身的抑菌谱, 水溶性增强, 抑菌效应就增强, 其中丙酯+丁酯+庚酯各 33.3%^[53] 抑菌效应最强, 延长货架期至 436 d 左右。

2.7 新型保鲜技术

与上述 6 种传统保鲜技术相比, 草鱼的新型保鲜技术优势显著。草鱼的新型保鲜技术具有处理时

表 1 三种复合保鲜液在草鱼保鲜中的应用

Table 1 Application of three kinds of compound preservation liquid in grass carp preservation

贮藏温度(℃)	研究对象	复合保鲜液种类	保鲜效果	参考文献
4	草鱼块	姜葱蒜—黄酒复合脱腥保鲜液	仅能改变鱼肉在货架期内的品质, 但pH维持在7.0左右。TVB-N值14.85 mg/100 g, 显著低于对照组25.12 mg/100 g, 感官评分5.8分, 高于对照组2.6分	[39, 42]
4	草鱼块	4%植物乳杆菌163产品溶液	有良好的保鲜效果, 鱼片变质较对照组可延缓约2 d	[40]
3±1	草鱼块	5.0%竹醋精制液	鱼片变质较对照组可延缓约2 d	[41]

表 2 七种复合涂膜技术在草鱼保鲜中的应用

Table 2 Application of seven composite coating technologies in grass carp preservation

贮藏温度(℃)	研究对象	复合保鲜液种类	保鲜效果	参考文献
4	草鱼块	苯甲酸根插层水滑石/果胶复合保鲜膜	延长货架期8 d左右	[44]
4	草鱼块	壳聚糖抗菌复合膜	冷藏保存6 d后,与对照组相比,其感官评分更高,pH、细菌总数以及挥发性盐基氮更低	[45]
4	草鱼块	海藻酸钠涂膜	保鲜效果优于壳聚糖	[46-47]
4	草鱼块	副干酪乳杆菌H9复合涂膜	其保鲜期可长达11 d,比对照组延长4 d	[48]
4	草鱼块	鲑鱼皮改性明胶复合膜(含多肽锌)	在贮藏前6 d的保鲜效果明显比海藻酸钠复合多肽锌组更显著,一级及二级鲜度贮藏期均延长了3 d,添加多肽锌比未添加延长4 d	[49-50]
4±1	草鱼块	植物精油-EVOH活性包装膜	最佳保鲜效果达8 d	[51]
4	草鱼片	马兰头提取物复合膜	对比空白组,醇提物组冷藏鱼片可多贮存1 d,水提物组冷藏鱼片可多贮存2 d	[52]

间更短,处理方法更简洁,作用效果更明显的特点,能大大延长贮藏时间,更完整保留食品的营养成分和原有风味^[54]。常见的7种新型保鲜技术在草鱼低温保鲜上的应用分别是真空低温保鲜、超高压辅助保鲜、电磁辅助保鲜、冷等离子体杀菌、生物酶保鲜、脉冲电场处理保鲜和栅栏技术保鲜。

2.7.1 真空低温保鲜 真空低温保鲜能有效延缓草鱼中品质变化和细菌生长,致使40 h后的菌落数为 1.15×10^6 CFU/g^[34],可使生鲜草鱼片的冰温保鲜期延长至40 d。

2.7.2 超高压辅助低温保鲜 超高压辅助保鲜可以通过细胞膜的磷脂结晶化改变其通透性,使蛋白变性影响酶活性^[55],加上以草兰氏阴性杆菌为首的微生物对高压非常敏感,在改善食品质构及草鱼的低温保鲜中表现出特有的优势^[56],研究表明,用414 MPa、4℃^[57]处理肉类样品可以贮藏120 d。

2.7.3 电磁辅助低温保鲜 电磁辅助保鲜技术具有很好的应用前景,由于微生物对磁场同样具有感受效应,利用磁场产生的高能射线穿透物质,易产生抑菌效果^[12],从而保持草鱼低温保鲜后的品质及延长其货架期,而且在保鲜时无污染、耗能小,但还没有进行较全面的研究。

2.7.4 冷等离子体杀菌低温保鲜 冷等离子体杀菌保鲜作为新型保鲜技术,冷等离子体以继固液气后的第四种物质状态存在,操作简单、效果明显,利用活性氧ROS对生物膜进行氧化损伤,使化学键断裂导致微生物失去膜的保护^[58]。在对草鱼低温保鲜研究时,既不造成能源污染和浪费,又能达到杀菌的效果。

2.7.5 生物酶保鲜 生物酶具有高催化能力和高度专一性,使用生物酶对草鱼进行保鲜,可以抑制外界其他因素对鱼肉的不良影响,避免引起不必要的化学变化。同时酶的作用条件较温和,能很好保持鱼肉品质,同时有效抑制微生物及其氧化带来的影响,是一种不可多得的保鲜技术^[59]。常用的保鲜剂有溶菌酶、异淀粉酶、谷氨酰胺转氨酶、葡萄糖氧化酶、甘油三酯水解酶等^[60],以葡萄糖氧化酶^[61]为例,用该生

物酶保鲜可有效除去草鱼体腔内的残余氧气,并有效防止好氧细菌的生命代谢活动以及鱼肉氧化等,进一步延长货架期。

2.7.6 脉冲电场处理保鲜 脉冲电场处理保鲜技术是将草鱼置于高压电场中产生脉冲电场,大大抑制呼吸作用,从而减少草鱼中水分的流失,提高耐冷性^[62-63],进而影响鱼肉货架期。

2.7.7 栅栏技术保鲜 栅栏技术保鲜通过不同栅栏因子,如低温冷藏、防腐剂和降低水分活性等的相互作用,采用化学化妆品的原理^[64],形成一个栅栏屏障,来维持草鱼体表微生物安全稳定。该技术主要用于抑制鱼肉微生物的生长^[65-66],从而保证一定时间内鱼肉的保存完整及品质。

2.7.8 天然抗氧化剂(保鲜剂)低温保鲜 在草鱼鱼糜及鱼糜制品中,脂肪氧化和蛋白质氧化是影响其低温保鲜的重要氧化因素,而抗氧化剂可以有效抑制氧气的消耗及相关氧化过程。作为自由基受体,使用后能从根本上能抑制草鱼腥味的增加、氨基酸的降解以及由微生物引起的腐败变质等问题,从而在草鱼的低温保鲜中起到提高成品风味、质量及货架期等作用^[67]。在天然来源中获取的抗氧化剂被视为天然抗氧化剂,又称保鲜剂。在草鱼的低温保鲜中,常用的天然抗氧化剂有以植物酚类为代表的多酚类化合物等^[68]。番石榴多酚^[69]、茶多酚^[70-71]等由于具有羟基取代基的性质和芳香性,主要以没食子酸及其儿茶素衍生物形式^[72]存在,还可与其他的抗氧化剂发生协同,对各种活性氮、活性氧、Cl⁻具有强大的氧化清除活性,具有较明显的抗菌作用,常用来作为草鱼鱼肉的抗氧化保鲜剂,能有效延长货架期及减缓感官品质的下降,效果远比添加维生素类好。

上述理论表明,新型保鲜技术在草鱼低温保鲜中有着一定优越的背景与相当诱人的前景,也将是今后低温保鲜食品的一个趋势。

有关7种草鱼保鲜方式的优缺点对比如表3所示,目前冻藏保鲜的贮藏期最长,其次依次是气调低温保鲜、微冻保鲜、冰温保鲜和冷却保鲜。复合保鲜、新型保鲜技术贮藏期需具体而议,亟待研究。

表 3 七种草鱼低温保鲜方式的优缺点对比

Table 3 Comparison of the advantages and disadvantages of seven grass carp preservation methods at low temperatures

低温保鲜方式	储藏温度	货架期(d)	优点	缺点
冷却保鲜	0~5 ℃	7~10	操作简单, 家庭、市场广泛应用	货架期最短
冰温保鲜	冰结点~0 ℃	10~15	货架期约为冷藏的1~1.5倍	温度严格
微冻保鲜	-5 ℃~冰结点	15~40	货架期约为冷藏的1.5~4.0倍	温度极其严格, 容易形成冰晶
冻藏保鲜	-18 ℃及以下	240	长期贮藏	汁液流失, 品质降低
气调低温保鲜	气调+低温	33	防止包装变形或汁液流失	操作复杂, 气体条件严格
复合保鲜	保鲜剂+低温	/	更强、更高效、抗氧化	操作复杂, 渗透阻隔性不佳
新型保鲜技术	保鲜技术+低温	/	处理时间更短, 处理方法更简洁, 作用效果更明显	研究涉猎较少

注: “/”表示未确定。

3 结论与展望

在草鱼低温保鲜的研究中, 均取得了一定成效, 可延长草鱼货架期, 以复合保鲜和新型保鲜技术最为突出, 使用低温同保鲜剂或新型保鲜技术相协同的保鲜方法, 处理周期短、效益强、经济环保, 目前使用的新型保鲜技术可有效延长货架期至百余天。对比七种不同的保鲜方式, 发现草鱼低温保鲜中仍存在问题, 如复合保鲜使用的化学保鲜剂若不慎食用会严重影响人类健康、过度低温导致鱼类肉质不佳、有些新型保鲜技术还不成熟、对原理和作用条件了解尚不清楚等不足, 限制了其在草鱼保鲜中的实际应用。为了解决草鱼保鲜中存在的问题, 未来草鱼保鲜技术研究应着重关注保鲜技术的适用条件、保鲜效果、影响因素及作用机理, 尤其是长期保鲜后鱼肉被摄食后在人体中的安全性等, 进一步降低成本、节约能源、减少污染, 提高保鲜技术的利用率, 与经济节约、节能环保与科技创新技术充分融合, 打造环境友好型科学研究。同时, 探索多种保鲜技术协同使用, 以取得最佳保鲜效果, 是草鱼保鲜及水产品保鲜技术发展与改进的方向。

参考文献

[1] 国家大宗淡水鱼产业技术体系. 草鱼产业发展报告[J]. 中国水产, 2021(2): 27-37. [National bulk freshwater fish industry technology system. Grass carp industry development report[J]. China Fisheries, 2021(2): 27-37.]

[2] KYRANA V R, LOUGOYOIS V P, VALSAMIS D S. Assessment of shelf-life of maricultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*) stored in ice[J]. International Journal of Food Technology, 2010, 32(4): 339-347.

[3] ACHOUR M. A new method to assess the quality degradation of food products during storage[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75(4): 560-564.

[4] 吴明, 黄晓红, 杨勇, 等. 肉类低温保鲜技术研究进展[J]. 肉类研究, 2021, 35(5): 60-69. [WU M, HUANG X H, YANG Y, et al. A review of preservation technologies for meat products stored under low-temperature conditions[J]. Meat Research, 2021, 35(5): 60-69.]

[5] HALLARE A V, SCHIRLING M, LUCKENBACH T, et al. Combined effects of temperature and cadmium on developmental parameters and biomarker responses in zebrafish (*Danio rerio*) em-

bryos[J]. Journal of Thermal Biology, 2005, 30(1): 7-17.

[6] GRAM L, HUSS H H. Microbiological spoilage of fish and fish products[J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 33(1): 121-37.

[7] 王发祥, 王满生, 刘永乐, 等. 低温贮藏下草鱼肉优势腐败菌鉴定及其消长规律[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(2): 66-68. [WANG F X, WANG M S, LIU Y L, et al. The dominant spoilage bacteria and their growth and decline law in grass carp during low temperature preservation[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(2): 66-68.]

[8] KRUGLYAK N, WILLIAMS D E, CHEN H, et al. Leupeptatin, a highly modified tripeptide isolated from cultures of a *Streptomyces* sp. inhibits cathepsin K[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2017, 27(6): 1397-1400.

[9] WANG F X, WANG M S, LIU Y L, et al. The dominant spoilage bacteria and their growth and decline law in grass carp during low temperature preservation[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(2): 66-68.

[10] ZHANG J B, YAN L, LIU X C, et al. Characterization of the microbial composition and quality of lightly salted grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets with vacuum or modified atmosphere packaging[J]. International Journal of Food Microbiology, 2019, 293: 87-93.

[11] YU D, REGENSTEIN J M, ZANG J H, et al. Inhibitory effects of chitosan-based coatings on endogenous enzyme activities, proteolytic degradation and texture softening of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets stored at 4 ℃[J]. Food Chemistry, 2018, 262: 1-6.

[12] LIN W, ZENG Q, ZHU Z, et al. Relation between protein characteristics and tpa texture characteristics of crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Journal of Texture Studies, 2012, 43(1): 1-11.

[13] LI H, XU Y S, XIA W, et al. Differential role of endogenous cathepsin and microorganism in texture softening of ice-stored grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(9): 3233-3239.

[14] 高志立, 谢晶. 水产品低温保鲜技术的研究进展[J]. 广东农业科学, 2012, 39(14): 98-101. [GAO Z L, XIE J. Research progress on low-temperature preservation of aquatic products[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(14): 98-101.]

[15] BOKNAES N, OSTERBERG C, NIELSEN J, et al. Influence of freshness and frozen storage temperature on quality of

- thawed cod fillets stored in modified atmosphere packaging[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2000, 33(3): 244-248.
- [16] 王雅迪. 冷藏淡水鱼肉保鲜技术研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2020. [WANG Y D. The study of fresh-keeping technology of chilled fresh water fish[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2020.]
- [17] XU D K, BONCOEUR S, TAN G, et al. Energy saving potential of a fresh air pre-cooling system using radiative sky cooling[J]. *Building Simulation*, 2022, 15(2): 167-178.
- [18] 孙忱. 生鲜草鱼片的超高压保鲜加工工艺研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018. [SUN C. Ultra-high pressure process technology of fresh grass fish fillets[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.]
- [19] 周强, 谢诚山, 刘蒙佳, 等. 减菌化处理在草鱼冷藏保鲜中的应用研究[J]. 食品工业, 2017, 38(11): 103-108. [ZHOU Q, XIE C S, LIU M J, et al. Application of bacteria number reducing treatment in grass carp quality control during cold storage[J]. *The Food Industry*, 2017, 38(11): 103-108.]
- [20] 白婵, 耿胜荣, 徐晨, 等. 不同剂量率⁶⁰Co源与电子加速器对草鱼辐照保鲜效果影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(9): 333-338. [BAI C, GENG S R, XU C, et al. Effects of ⁶⁰Co γ-ray with different dosage rates and high energy beam on the fresh-keeping of grass carp[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(9): 333-338.]
- [21] 朱文广, 曹川, 郭云霞, 等. 草鱼微冻保鲜和冷却保鲜的比较研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(11): 267-269. [ZHU W G, CAO C, GUO Y X, et al. Research progress on low-temperature preservation of aquatic products[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(11): 267-269.]
- [22] 陈桂平. 草鱼低温贮藏期间质构及风味物质变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014. [CHEN G P. Study on the changes of texture and flavor substances of grass carp during low-temperature storage[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.]
- [23] 蔡广来, 万金庆, 童年, 等. 贮藏温度对草鱼片冰温保鲜的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(3): 380-385. [CAI G L, WAN J Q, TONG N. A review of preservation technologies for meat products stored under low-temperature conditions[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2020, 47(3): 380-385.]
- [24] RUIZ-CAPILLAS C, MORAL A. Changes in free amino acids during chilled storage of hake (*Merluccius merluccius* L.) in controlled atmospheres and their use as a quality control index[J]. *European Food Research & Technology*, 2001, 212(3): 302-307.
- [25] AHMED A, ANJUM M, AHMAD A, et al. Effects of hydrocolloids on partial baking and frozen storage of wheat flour chapatti[J]. *Food Science and Technology Research*, 2013, 19(1): 97-103.
- [26] 朱文广, 曹川, 郭云霞, 等. 草鱼微冻保鲜过程中品质的变化[C]//上海市制冷学会第八届会员代表大会暨2011年学术年会. 上海: 工程科技I辑, 2011: 188-190. [ZHU W G, CAO C, GUO Y X, et al. Changes in quality during the process of micro-freezing and preservation of grass carp[C]//The 8th Member Congress of Shanghai Refrigeration Society and the 2011 Academic Annual Conference. Shanghai: Engineering Technology Series I, 2011: 188-190.]
- [27] 熊光权, 程薇, 叶丽秀, 等. 淡水鱼微冻保鲜技术研究[J]. 湖北农业科学, 2007(6): 992-995. [XIONG G Q, CHENG W, YE L X, et al. Study on gentle frozen storage technology of fresh water fish[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2007(6): 992-995.]
- [28] HAMRE K, LIE O, SANDNES K. Development of lipid oxidation and flesh colour in frozen stored fillets of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.): Effects of treatment with ascorbic acid[J]. *Food Chemistry*, 2003, 82(3): 447-453.
- [29] 葛黎红. 内源蛋白酶在低温保鲜草鱼质构劣化中的作用与控制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017. [GE L H. Study on the role and control of endogenous proteases in the deterioration of the texture of low-temperature fresh-preserving grass carp[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.]
- [30] 陈剑岚, 施文正, 陈舜胜, 等. 不同贮藏温度对草鱼肉滋味和鲜度的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 329-333. [CHEN J L, SHI W Z, CHEN S S, et al. Effect of different storage temperature on freshness and taste of grass carp meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(5): 329-333.]
- [31] 高海. 红肉鱼与白肉鱼鱼肉的气调包装冷藏保鲜的比较研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017. [GAO H. Comparative research on the duck fish and white fish during chilled storage of modified atmosphere packaging[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.]
- [32] GILL L, TAN K H. Effect of carbon dioxide on growth of meat spoilage bacteria[J]. *Applied & Environmental Microbiology*, 1980, 39(2): 317-319.
- [33] 张晋. 草鱼低温保藏品质变化及绿色加工技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021. [ZHANG J. Study on low-temperature storage quality changes and green processing technology of grass carp[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021.]
- [34] 龚婷. 生鲜草鱼片冰温气调保鲜的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008. [GONG T. Study on cation fresh grass carp slices[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008.]
- [35] 赵海鹏, 谢晶. 生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用[J]. 吉林农业科学, 2009, 34(4): 60-64. [ZHAO H P, XIE J. Application of bio-preservative on preservation for aquatic products[J]. *Jilin Agricultural Sciences*, 2009, 34(4): 60-64.]
- [36] 田陈琳. 草鱼的复合保鲜技术及鱼丸加工工艺研究[D]. 厦门: 集美大学, 2017. [TIAN C D. Research on compound preservation technology of fresh keeping grass carp and fish ball processing technique[D]. Xiamen: Jimei University, 2017.]
- [37] 唐海兵, 杨春香, 任柏成, 等. β-环糊精-精油微囊活性保鲜垫对草鱼的保鲜效果[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(4): 770-776. [TANG H B, YANG C X, REN B C, et al. Effects of active fresh-keeping pad of β-cyclodextrin oil microcapsule on the preservation of grass carp[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(4): 770-776.]
- [38] 吴涛. 草鱼加工关键技术的研究与开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2008. [WU T. Research and development of the key techniques for grass carp processing[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.]
- [39] 吴涛, 茅林春. 天然复合脱腥保鲜液对草鱼的脱腥保鲜效果[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(10): 2543-2547. [WU T, MAO L

- C. Application of natural deodorant and preservative in the preservation of fresh grass carp[J]. *Hubei Agriculture Sciences*, 2009, 48(10): 2543-2547.]
- [40] 周艳, 曾维伟, 朱筱玉, 等. 植物乳杆菌 163 抑菌物质在草鱼鱼片保鲜中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(8): 1853-1858. [ZHOU Y, ZENG W W, ZHU X Y, et al. Application of antibacterial compounds produced by *Lactobacillus* 163 in grass carp fish fillet[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2018, 9(8): 1853-1858.]
- [41] 崔宇, 刘华巍, 谢晶, 等. 竹醋精制液对冷藏草鱼的保鲜作用[J]. *世界竹藤通讯*, 2012, 10(1): 5-8. [CUI Y, LIU H W, XIE J, et al. Preservation of grass carp using purified bamboo vinegar[J]. *World Bamboo and Rattan*, 2012, 10(1): 5-8.]
- [42] 刘蒙佳, 周强. 天然香辛料浸提液对草鱼块保鲜效果的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2013, 48(5): 141-145. [LIU M J, ZHOU Q. Preservation effects of natural spice liquids on grass carp[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2013, 48(5): 141-145.]
- [43] 邓泽新. 冷冻草鱼块涂膜处理及其品质研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014. [DENG Z X. The research of coating treatment and its quality of grass carp during frozen storage[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.]
- [44] 贵楚璇, 马占玲, 万峻菲, 等. 苯甲酸根插层水滑石/果胶复合保鲜膜对草鱼保鲜效果研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(8): 1887-1892. [BEN C X, MA Z L, WAN J F, et al. Bio-nano-hybrid coatings for grass carp preservation based on pectin and MgAl-benzoic acid-LDHs[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2018, 9(8): 1887-1892.]
- [45] 贾艳菊, 马同锁, 刘坤, 等. 不同壳聚糖抗菌膜对草鱼保鲜效果的比较[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(5): 337-340. [JIA Y J, MA T S, LIU K, et al. Comparison on preservation of grass carp with different chitosan coatings[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(5): 337-340.]
- [46] 贾艳菊, 刘坤, 马同锁, 等. 不同可食性膜对草鱼鱼片保鲜效果的比较[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(32): 88-91. [JIA Y J, LIU K, MA T S, et al. Effects of different edible films on the fresh keeping of grass carp fillet[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(32): 88-91.]
- [47] MOAYEDNIA N, EHSANI M R, EMAMDJOMEH Z, et al. A note on the effect of calcium alginate coating on quality of refrigerated strawberries[J]. *Irish Journal of Agricultural & Food Research*, 2010, 49(2): 165-170.
- [48] 刘丛丛, 纪凤娣, 姜良萍, 等. 副干酪乳杆菌 H9 复合涂膜技术对草鱼的生物保鲜作用[J]. *食品科技*, 2013, 38(11): 146-152. [LIU C C, JI F D, JIANG L P, et al. Bio-preservative effects of *Lactobacillus paracasei* H9 in sodium alginate coating on grass carp[J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(11): 146-152.]
- [49] 姜良萍, 李博, 罗永康, 等. 鲢鱼源多肽锌整合物对冷藏草鱼的保鲜作用[J]. *食品科技*, 2013, 38(12): 144-149. [JIANG L P, LI B, LUO Y K, et al. Effect of complexes of Zn^{2+} and peptides from silver carp proteins on the preservation of grass carp during cold storage[J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(12): 144-149.]
- [50] 张玲, 马月, 罗永康, 等. 鲢鱼皮改性明胶复合多肽锌对草鱼的保鲜作用[J]. *食品科学*, 2016, 37(14): 231-236. [ZHANG L, MA Y, LUO Y K, et al. Effect of modified gelatin from silver carp skin combined with peptide-Zn complex on preservation of grass carp[J]. *Food Science*, 2016, 37(14): 231-236.]
- [51] 杨辉, 杨福馨, 欧丽娟, 等. 植物精油-EVOH 活性包装膜对草鱼鱼肉保鲜效果的研究[J]. *食品科学*, 2014, 35(22): 320-324. [YANG H, YANG F X, OU L J, et al. Evaluation of active EVOH packaging films incorporated with essential oils for quality preservation of grass carp during cold storage[J]. *Food Science*, 2014, 35(22): 320-324.]
- [52] 姚宏亮, 高子寒, 闫明星, 等. 马兰头提取物抑菌作用及对冷藏草鱼鱼片保鲜效果研究[C]. //中国食品科学技术学会第十七届年会. 陕西: 工程科技 I 辑, 2020: 499. [YAO H L, GAO Z H, YAN M X, et al. Bacteriostatic effect of Maranthra extract on freshness effect on chilled grass carp fillets[C]. //The 17th Annual Conference of Chinese Society of Food Science and Technology. Shaanxi: Engineering Science and Technology Series I, 2011: 188-190.]
- [53] 孙红男. 草鱼粒休闲食品延长货架期的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009. [SUN H N. Study on prolonging the shelf life of a kind of leisure food based on grass carp tidbit[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.]
- [54] 胡晓亮, 周国燕. 新型保鲜技术在食品贮藏与保鲜中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2010, 31(12): 242-246. [HU X L, ZHOU G Y. Application of novel preservation technology in the preservation of food[J]. *Food Research and Development*, 2010, 31(12): 242-246.]
- [55] CAP M, PAREDES P F, FERNANDEZ D, et al. Effect of high hydrostatic pressure on *Salmonella* spp inactivation and meat-quality of frozen chicken breast[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 118: 108873.
- [56] JCC A, JC B. Effects of high pressure on meat: A review[J]. *Meat Science*, 1997, 46(3): 211-236.
- [57] 陈韬, 周光宏, 徐幸莲. 高压技术在肉制品加工中的作用[J]. *食品与发酵工业*, 2003(9): 64-68. [CHEN T, ZHOU G H, XU X L. The application of high pressure on meat and meat products[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2003(9): 64-68.]
- [58] 胡越, 陈倩, 刘骞, 等. 冷等离子体对微生物生物膜抑制作用的研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(11): 271-277. [HU Y, CHEN Q, LIU Q, et al. Recent progress in inhibition of microbial biofilm formation by cold plasma[J]. *Food Science*, 2021, 42(11): 271-277.]
- [59] 虞森, 励建荣. 酶制剂在食品加工保鲜与检测中的应用[J]. *保鲜与加工*, 2006(3): 37-39. [YU M, LI J R. Application of enzyme in food processing preservation and detection[J]. *Storage and Process*, 2006(3): 37-39.]
- [60] 张柏林. 现代食品加工新技术丛书: 生物技术与食品加工[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1. [ZHANG B L. Modern food processing new technologies series: Biotechnology and food processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 1.]
- [61] 盖伟东. 生物酶制剂在食品工业中的应用及发展前景[J]. *食品界*, 2017, 12(1): 140. [GAI W D. Application and development prospects of biological enzyme preparations in the food industry[J]. *Food Industry*, 2017, 12(1): 140.]
- [62] HUI G, RAO J. Effect of MA storage on postharvest physiol-

- ogy and enzymatic activity of nectarines[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(1): 200–265.
- [63] 朱海佩. 新型食品贮藏保鲜技术研究[J]. *现代食品*, 2017(5): 82–84. [ZHU H P. Study on new technology of food storage and preservation[J]. *Modern Food*, 2017(5): 82–84.]
- [64] YIM E, BAQUERIZO N, KATHERINE L, et al. Contact dermatitis caused by preservatives[J]. *Dermatitis*, 2014, 25(5): 215–231.
- [65] CLIFT V L, HARRIMAN K L, PETTYS R L, et al. Apparatus and method for detection of trace chemicals: US, US20090325300 A1[P]. 2009.
- [66] GORRIS L. Food preservation by hurdle technology[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 1995, 6(2): 41–46.
- [67] 吴季洪. 抗氧化剂在油脂食品中应用功能[J]. *粮食与油脂*, 1994(4): 31–34. [WU J H. Antioxidants apply functions in fatty foods[J]. *Cereals & Oils*, 1994(4): 31–34.]
- [68] 励建荣, 王忠强, 仪淑敏, 等. 天然抗氧化剂对鱼糜及鱼糜制品抗氧化能力及品质影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(21): 1–7. [LI J R, WANG Z Q, YI S M, et al. Progress in research on the effect of natural antioxidants on the antioxidant capacity and quality of surimi and surimi products[J]. *Food Science*, 2021, 42(21): 1–7.]
- [69] 谢甜, 孙琳, 范伟, 等. 番石榴结合态多酚对小鼠肠道菌群结构及多样性的影响研究[J]. *核农学报*, 2021, 35(11): 2589–2597. [XIE T, SUN L, FAN W, et al. Effect of bound polyphenols in psidium guajava on mice intestinal flora structure and diversity[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(11): 2589–2597.]
- [70] 杜荣茂, 刘梅森, 何唯平. 天然功能性食品添加剂茶多酚[J]. *中国食品添加剂*, 2004(2): 56–60. [DU R M, LIU M S, HE W P. Natural and functional food additive-tea polyphenol[J]. *China Food Additives*, 2004(2): 56–60.]
- [71] HWANG J H, LEE S S W, RHA S J, et al. Dietary green tea extract improves growth performance, body composition, and stress recovery in the juvenile black rockfish, *Sebastes schlegelii*[J]. *Aquaculture International*, 2013, 21(3): 525–538.
- [72] 朱香, 林剑军, 白卫东. 肉制品天然抗氧化剂的研究进展[J]. *农产品加工*, 2019(16): 53–56. [ZHU X, LIN J J, BAI W D. The research progress on natural antioxidants in meat products[J]. *China Food Additives*, 2019(16): 53–56.]