

物流运输对鱼类肌肉品质影响研究进展

彭玲¹, 尤娟¹, 熊光权², 汪兰², 吴文锦², 张童昊¹, 黄琪琳¹, 杜红英¹, 尹涛^{1,*}
(1.华中农业大学食品科学技术学院, 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 湖北武汉 430070;
2.湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要:现代物流运输技术高速发展, 呈现智能化、信息化和高效化的趋势。通过物流运输可满足国内外消费者对鱼类产品多样性的需求, 实现渔业资源优化配置。肌肉是鱼体主要食用部分, 其品质直接影响产品加工适应性和经济价值。本文将鱼类产品分为鲜活、冰鲜和冷冻三大类, 首先概述鱼类物流运输的方式、网络图和特点; 其次, 从营养价值、组织结构、风味特点、感官品质及物理性质五方面对鱼肌肉品质进行评价, 并总结测定方法; 最后, 论述物流运输过程中温度、时间、包装等主要因素对鱼肌肉品质的影响。

关键词:物流运输; 肌肉品质; 鱼肉; 评价方法; 鱼类产品

Progress in Research on the Effects of Logistics and Transportation on the Quality of Fish Muscle

PENG Ling¹, YOU Juan¹, XIONG Guangquan², WANG Lan², WU Wenjin², ZHANG Tonghao¹, HUANG Qilin¹, DU Hongying¹, YIN Tao^{1,*}
(1.National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2.Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: Modern logistics and transportation technology is developing at a high speed and showing a tendency toward intelligentization, informationization, and high efficiency. Logistics and transportation can cater to the diverse demands of consumers around the world for fish products and enable optimal allocation of fishery resources. The muscle is the main edible part of the fish body, and its quality directly affects the processing adaptability and economic value of products. In this manuscript, we review recent progress in research on the effects of logistics and transportation on the quality of three categories of fish products: live fish, chilled fish, and frozen fish. First of all, an overview of the modes, networks and characteristics of logistics and transportation is outlined. Next, recent studies on the quality evaluation of fish muscle in terms of nutritional value, texture, microstructure, flavor characteristics, sensory quality, and physical properties, as well as the detection methods used in this area are summarized. Finally, the effects of the main factors such as temperature, time, and packaging on the quality of fish muscle during logistics and transportation are discussed.

Keywords: logistics; muscle quality; fish meat; evaluation methods; fish products

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210531-164

中图分类号: S981.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 12-0054-10

引文格式:

彭玲, 尤娟, 熊光权, 等. 物流运输对鱼类肌肉品质影响研究进展[J]. 肉类研究, 2021, 35(12): 54-63. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210531-164. <http://www.rlyj.net.cn>

PENG Ling, YOU Juan, XIONG Guangquan, et al. Progress in research on the effects of logistics and transportation on the quality of fish muscle[J]. Meat Research, 2021, 35(12): 54-63. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210531-164. <http://www.rlyj.net.cn>

鱼是我国水产渔业中最重要的一类, 2020年产量为 521.02 万 t, 约占水产品总量的53.76%^[1]。鱼体由头、躯干、尾、鳍4部分组成, 肌肉是主要食用部分^[2]。鱼肌肉品质可分为营养价值、组织结构、风味特点、

收稿日期: 2021-05-31

基金项目: 湖北省重点研发计划项目(2020BBA048); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-45-28)

第一作者简介: 彭玲(1998—)(ORCID: 0000-0003-1474-0512), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工及贮藏工程。

E-mail: pengling@webmail.hzau.edu.cn

*通信作者简介: 尹涛(1986—)(ORCID: 0000-0001-7797-6886), 男, 副教授, 博士, 研究方向为水产品加工及贮藏工程。

E-mail: yintao@mail.hzau.edu.cn

感官品质和物理性质。鱼肉的基本营养成分为水分含量65%~80%、蛋白质含量15%~20%、脂肪含量5%~20%、灰分含量0.5%~2.0%^[3]。鱼肉中蛋白属于优质蛋白,蛋氨酸、赖氨酸等必需氨基酸含量较高,可平衡谷物蛋白中该类氨基酸的缺乏;鱼肉肌纤维较短、组织结构松软、消化吸收利用率高;鱼肉的鲜味特征明显,主要滋味活性物质由游离氨基酸、核苷酸及其衍生物和肽类组成^[4];鱼肉气味平淡,部分淡水鱼有明显的土腥味。质构、色泽和持水性是鱼肉重要物理性质,影响肉色、口感等食用品质^[5];高品质鱼肉一般应具备有光泽、洁白、嫩滑、纤维紧致、有弹性和鲜味浓等感官特征^[6]。目前,已报道的文献综述主要是关于鱼类的生长过程、养殖环境、加工和贮藏方式对鱼肌肉品质的影响。例如,文玲梅等^[7]综述鱼的生长阶段、饲料成分、养殖模式和养殖水环境因子等因素对肌肉品质的影响;李敬等^[8]综述加热、冷冻、盐渍和烟熏等不同加工方式对鱼肌肉品质的影响;何燕富等^[9]综述低温贮藏对鱼肌肉品质的影响。

北海(黄海和渤海)、东海和南海三大海域,是我国捕捞和养殖海水鱼的主要场所^[10],其2020年海水鱼总产量为823.75万t^[1]。福建、广东、浙江、江苏和山东等沿海省份海水资源丰富,易于获得海水鱼资源。我国是世界上淡水鱼养殖量最大的国家,2020年总产量为2697.27万t^[1]。内陆省份,如湖北省、湖南省和江西省为淡水鱼主要产地,而西藏、甘肃、山西和北京等省市的渔业产量不足5万t^[1]。我国渔业资源地域分布不均,需要物流运输解决渔业资源缺乏和过剩的问题,从而实现资源优化配置。而通过国际物流运输可满足不同国家消费者对不同水产品的需求,实现贸易经济的增长。水产品物流运输是我国经济实现国内、国际双循环相互促进的一个重要方面。

鱼类运输的种类主要包括鲜活、冰鲜和冷冻鱼类运输。在鱼类物流运输过程中,运输方式的选择主要取决于运输距离、鱼的种类、鲜活程度和经济效益。目前,国内外学者主要研究和综述了运输方式对鱼类存活率和应激反应的影响。例如,张成林等^[11]综述鲜活水产品的运输方式,将运输的主要方式分为有水、无水 and 循环水运输;Wang Wensheng等^[12]研究表明,无水运输可以极大提高鱼成活率,并且对无水运输期间环境参数进行了优化;Sampaio等^[13]综述鱼在运输过程中会受到的应激反应,并且讨论了减轻鱼类应激反应的处理方式。

鱼肌肉品质对产品的原料、加工特性和贮藏特性有决定性影响,并最终影响消费者的接受程度,然而目前关于物流运输对鱼肌肉品质影响的综述报道较少。因此,本文介绍鱼类常见的物流运输方式,归纳总结鱼肌肉品质的评价方法,论述物流运输过程中影响鱼肌肉品质

质的因素,以期为提高鱼类经济价值和加工适用性提供参考依据。

1 鱼类物流运输方式

我国修订的《物流术语》中物流的定义为:物品从供应地到接收地的实体流动过程,根据实际需要,将运输、贮存、装卸、搬运、包装、流通、加工、配送和信息处理等基本功能实施有机结合^[14]。

我国渔业资源丰富,2020年海水鱼养殖总产量达到174.98万t,淡水鱼养殖总产量达到2586.38万t^[1]。但是,我国渔业资源还存在地域分布不均的问题。目前我国出口水产品的主要品种有对虾、贝类、鳗鱼、罗非鱼、大黄鱼、小龙虾及斑点叉尾鲴等;进口水产品的主要品种有海参斑、长寿鱼、冰鱼、比目鱼、鳕鱼、红鱼、三文鱼及金枪鱼等。不同国家、地区的鱼类产量、种类、人口数量和需求都不尽相同,促进了鱼类物流运输的发展。

1.1 鲜活鱼类物流运输

在中国传统文化中,人们认为新鲜宰杀的鱼营养更好,并且风味更佳^[15]。烹制一道色、香、味俱佳的鱼类美食,活鱼是最佳原料。鲜活鱼的特点为具有生命特征,在运输过程中易受环境影响,易产生应激反应,运输时间一般为2~24h。需要进行保活运输的鱼类中,主要大宗淡水鱼有鳊鱼、鲤鱼、团头鲂和罗非鱼等,主要海水鱼有多宝鱼和大鳍礁鲈等(表1)。物流运输过程为:养殖或野生区捕捞→称质量→装车→活鱼车运输至大型水产市场/加工厂/小型农贸市场/商超等→到达餐桌(图1)。目前,常用的活鱼贮运方法主要有机械、低温、充氧、麻醉和休眠5种运输形式。运输方式的选择主要是依据鱼的种类、规格和体质、经济价值及运输距离等(表1)。

表1 鲜活鱼类运输的主要方式
Table 1 Main ways of transporting live fish

鱼运输方式		鱼种类	参考文献
有水运输	活鱼运输袋运输	哲罗鲑、鳊鱼、元江鲤、鳙鱼、青鱼、鲢鱼、鳊鱼、鲂鱼、金鲳、稚鲈、翘嘴红鲌、白鲢鱼、大梭子鱼等	[16-23]
	活鱼车运输	鳊鱼、罗非鱼、鳊鱼、鲢鱼、鳙鱼、巴西鲷、鲟鱼等	[24-26]
	低温休眠	大菱鲆、半滑舌鳎、彭泽鲫、珍珠龙胆石斑鱼、金枪鱼、鲟鱼、北极茴鱼、天然比目鱼等	[27-32]
无水运输	电击	鲫鱼、斑点杜父鱼、鲟鱼、施氏鲟幼鱼等	[33-36]
	CO ₂	罗非鱼、白斑狗鱼、金鲳鱼、大鳍礁鲈、白线鲈、三线鸡鱼等	[37-40]
	化学麻醉	草鱼、黄腊鲶、鲤鱼、银鲛鱼、缺帘鱼等	[41-44]
	MS-222	虹鳟、加州鲈鱼、金鲳、鲈鱼、美洲鲈等	[45-49]
混合运输	电击+低温	大菱鲆等	[50]
	CO ₂ +充氧包装	鲫鱼等	[51]
	活鱼车+MS-222麻醉	大西洋鲑等	[52]

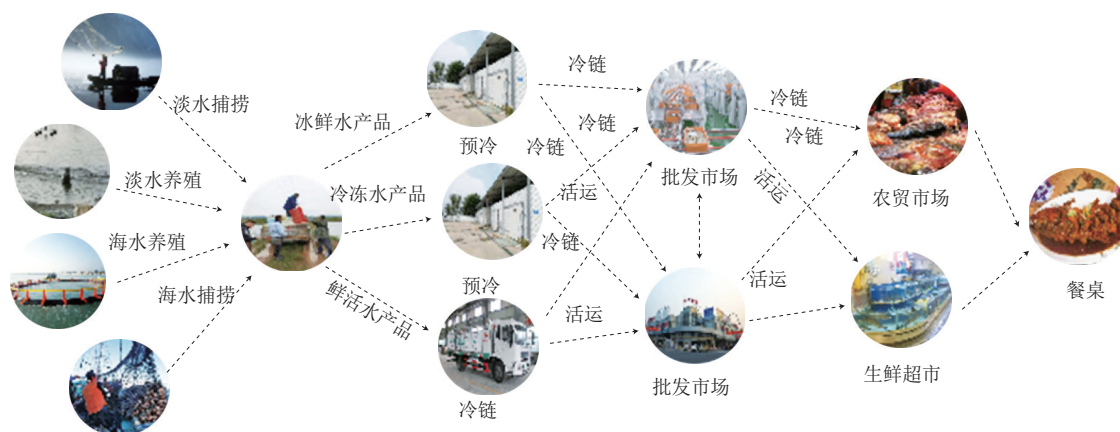


图1 水产品物流运输网络图

Fig. 1 Network map of aquatic products logistics and transportation

1.2 冰鲜鱼类物流运输

对于离开水后难以存活的鱼类，如翘嘴鲌、带鱼、金枪鱼、三文鱼等，常采用冰鲜方式来保持品质。冰鲜是最常用的保鲜方法，它可以较大程度地保持鱼肌肉的原始特征，维持较好的口感，但其处理量较少，且需占用较大空间。冰鲜鱼的特点为无生命特征，低温保藏（0~4℃），保鲜时间一般不超过72 h，不冻结以防止产生冰晶而降低鱼肉品质^[53]。常见冰鲜鱼类有大鲁子鱼、三文鱼、安康鱼、沙丁鱼、黄花鱼和鲆鱼。物流运输过程为养殖或野生区捕捞→称质量→装车→预冷→冷链车/飞机运输/轮船运输至大型水产市场/加工厂/小型农贸市场/商超等→到达餐桌（图1）。运输过程中的制冷方式有机械制冷、半导体制冷及液氮制冷等。

1.3 冷冻鱼类物流运输

冷冻是使用最广泛的保存方法，全球所有鱼类产品中有30%在出售之前经过冷冻处理，特别是需进行长距离运输的原料鱼类和加工的鱼类制品。鱼类经过冻藏后虽保鲜时间延长，但冻藏能耗高、样品解冻后不能完全保持原有特征且冻藏期间会发生氧化劣变。冷冻鱼的特点为无生命特征，冷冻温度-18、-55℃，冻藏时间超过72 h^[54]。采用冷冻保存的常见鱼类包括三文鱼、金枪鱼、龙利鱼和罗非鱼等，这些鱼类多数需要预处理、渡冰衣和包装，产品形式主要为冷冻鱼块或鱼片。物流运输过程为养殖或野生区捕捞→称质量→装车→预冷→加工→冻藏72 h→冷链车/飞机运输/轮船运输至一些大型水产市场/加工厂/小型农贸市场/商超等→到达餐桌（图1）。国内运输时间较短，一般为2~72 h，而国际海运时间较长，一般为12~60 d。速冻方式有速冻隧道内冷冻、低温平板冷冻、低温液体浸泡与喷淋，运输过程中制冷方式主要为机械制冷。

2 鱼肌肉品质及其评价方法

肌肉组织是鱼类的主要食用部位^[2]，其品质直接影响

产品加工适应性和经济价值。评价鱼类肌肉品质的指标包括营养价值、组织结构、风味特征、感官品质及物理性质（图2）。



图2 肌肉品质及其评价方法

Fig. 2 Evaluation methods for muscle quality

2.1 营养价值

鱼肉中的水分主要可分为自由水和结合水，约占鱼体质量的75%~80%，鱼肌肉水分含量及其存在状态不仅影响蛋白质等高分子的结构和行为功能，而且影响肌肉中的微生物生长和生化反应。鱼肌肉中粗蛋白含量为15%~25%，通常按蛋白质溶解性可分为水溶性、盐溶性和水不溶性蛋白三大类。鱼类蛋白质的生理价值和净利用率为75%~90%，与肉类相同，但其蛋白质消化率达到97%~99%，高于肉类^[55]，具有较高的营养价值。鱼肌肉中脂肪含量为0.5%~30.0%，其中主要的脂肪酸有 α -亚油酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸等，它们具有防治心脑血管疾病和促进生长发育等功效；鱼肉中

糖类含量较低,在1%以下,主要为肌糖原,它是鱼体能量来源;鱼肉中矿物质主要为钙、铁、锌,含量分别为60~1 500、5~30、11 mg/kg。鱼肉中含有多种人体营养所需的维生素,海水鱼组织中的VA₁含量较高,淡水鱼中VA₂含量较高,鱼肌肉中VE含量为0.005~0.010 mg/g^[56]。

鱼类基本营养成分,如水分、蛋白质和氨基酸、脂肪(总脂肪和脂肪酸组成)、糖类、矿物质(总灰分和矿物质组成)和维生素的测定方法均可参考国标中的方法(表2)。近年来,近红外、核磁共振法、X射线吸收等方法也用于以上营养成分的测定,其优点为无损、快速、试样消耗量少,缺点为设备昂贵、需要建模、精确度相对较低。

表2 鱼肉基本营养成分测定方法

Table 2 Evaluation methods for nutrients in fish meat

营养成分	主要方法	来源
水分	直接干燥法、减压干燥法、蒸馏法、卡尔-费休法	GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》
粗蛋白	微量凯氏定氮(换算系数6.25)、分光光度法、燃烧法	GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》
氨基酸组成	氨基酸分析仪、高效液相色谱仪、甲醛滴定法、气相色谱法	GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》
粗脂肪	索氏提取、酸水解法、碱水解法、盖勃法	GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》
脂肪酸组成	气相色谱法(内标法、外标法、归一化法)	GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》
粗灰分	干法消化、湿法消化	GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》
K、Na	火焰原子吸收光谱法、火焰原子发射光谱法	GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》
Ca	火焰原子吸收光谱法	GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》
Fe	火焰原子吸收光谱法	GB 5009.90—2016《食品安全国家标准 食品中铁的测定》
Zn	火焰原子吸收光谱法、二硫腈比色法	GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》
K、Na、Ca、Fe、Zn	电感耦合等离子体-发射光谱法、电感耦合等离子体-质谱法	GB 509.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》
VA、VE	反相高效液相色谱法	GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素A、D、E的测定》
VD	高效液相色谱法	
糖类	比色法	[57]

2.2 组织结构

鱼类肌肉由肌纤维构成,其肌纤维组织结构的变化会对肉的嫩度、保水性和多汁性产生重要影响^[58]。鱼肌肉属于横纹肌中的骨骼肌,其横断面呈现同心圆排列,由多个肌纤维的肌束组成。每个肌纤维都是一个肌细胞,一般呈纺锤形,里面充满了肌原纤维和肌浆^[59]。鱼肉肌纤维的长度为几毫米到十几毫米,直径50~60 μm。肌原纤维由粗丝和细丝排列而成,其中粗丝和细丝交错重叠的部分为暗带(A带),细丝组成的部分较明亮,被称为明带(I带)。暗带中央仅有粗丝部分且稍明亮的一段为H区,H区的中央有1条M线,明带的中央有1条Z线,两侧的细丝都附着在上面,2条Z线之间

的部分为1个肌节,即由1/2 I带+A带+1/2 I带构成,肌肉细胞结构可采用苏木精-伊红染色后用光学显微镜观测^[60],超微结构可用透射电镜观测^[61]。

通过测定肌纤维密度、直径和肌束内肌纤维的根数,来评定肉品嫩度^[62]。肌纤维直径是描述肌肉特征的重要参数^[63],肌纤维细而密度大的鱼类,其肌肉脂肪的沉积量多于肌纤维粗而密度低的鱼类,口感也更好^[64]。肌纤维密度即单位面积内肌纤维的数量^[65],肌纤维密度越大,肌肉硬度越大^[66]。肌原纤维小片化指数(myofibril fragmentation index, MFI)是反映肌细胞内部肌原纤维及其骨架蛋白完整程度的指标^[67]。MFI越大,肌原纤维内部结构完整性受到的破坏程度越大,有利于提高肉的嫩度^[68]。肌纤维直径和密度可通过将肌肉组织块染色后用光学显微镜观察并用DP2-BSW 2.2软件计算^[69],MFI可采用调节蛋白浓度法测定^[68]。

2.3 风味特点

鱼类的风味成分由滋味成分和气味成分两部分组成。滋味成分由非挥发性物质构成,而气味成分由挥发性风味化合物构成^[70]。

主要滋味成分包括脂肪酸、游离氨基酸、水溶性蛋白、核苷酸及其代谢产物、有机酸、矿物质等。滋味成分分析方法:核苷酸类和有机酸常用高效液相色谱法;氨基酸采用氨基酸自动分析仪和高效液相色谱法;无机离子采用原子吸收法、电感耦合等离子体-质谱法及电感耦合等离子体-发射光谱法。陈周等^[6]用高效液相色谱法测定不同微流水处理时间后草鱼的鲜度变化。尹涛等^[71]利用超高效液相色谱法测定鲢鱼肉中核苷酸及其降解产物,采用氨基酸自动分析仪测定鲢鱼肉中的氨基酸,采用电感耦合原子发射光谱法测定鲢鱼肉中矿物质含量。郭全友等^[72]采用电子舌测定大黄鱼滋味成分,分析不同养殖阶段大黄鱼肌肉滋味特征及滋味物质含量的差异,并确定了合适的养殖时间。

气味主要成分为醇类、烃类和酮类,可采用气味分析仪-电子鼻/顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分析鱼类的气味特征和挥发性风味物质组成及含量^[73]。李楠^[74]分别用溶剂辅助风味蒸发和顶空固相微萃取法测定华绒蟹肉中的气味组分,结果表明,顶空固相微萃取法富集检出的挥发性风味物质显著多于溶剂辅助风味蒸发法;胡静等^[75]采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分离鉴定了鳊鱼肌肉的挥发性风味物质。目前,气味分析主要采用的仪器电子鼻可以模拟动物的嗅觉,是分析食品气味特征的一种有效方法^[76]。柯泽华等^[77]采用电子鼻和气相色谱-质谱法对臭鳊鱼滋味物质进行了分析。

2.4 感官品质

感官评定是一种测量、分析、解释由食品与其他物质相互作用所引发的,能通过人的味觉、触觉、视觉、嗅

觉和听觉进行评价的一门科学。感官评定涉及人的五大感觉器官,包括味觉、触觉、视觉、嗅觉和听觉评定^[6]。

2.5 物理性质

鱼肉重要的物理性质包括质地、色泽和持水性等。质构仪又称物性测试仪,是通过模拟人口腔对食物的咀嚼运动,采用力学量化的方式来反映食品质地特性的仪器,相比感官评定而言具有更强的灵敏性和准确性^[78]。质构仪TPA模式可用于鱼肉的质构参数,如硬度、弹性、咀嚼性、凝聚性、胶黏性、黏性和回复性等测定^[79]。徐文杰等^[79]测定草鱼鱼肉的质构特性,设置基本参数为:选用探头型号P/36R,样品压缩距离50%,探头速率1 mm/s,压缩2次。鱼的种类不同,其样品制备和参数设置也不尽相同^[60]。鱼肉的色泽也是肌肉品质的一个重要指标,鱼类产品进入消费市场时,较好的外观与色泽直接影响消费者的选择与购买。色差分析法测定水产品的白度(W),可以更客观地分析产品的色泽;色泽参数包括 W 、亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*),而 W 与 L^* 、 a^* 和 b^* 三者都相关;色度计已用于评价水产品运输过程中鱼肉品质评价,鱼肉的 L^* 和 W 越大,感官视觉越好^[60]。持水性是肌肉品质又一个重要指标,高持水能力通常意味着肌肉组织完好^[80],常采用离心失水法测定^[60]。

3 物流运输对鱼类肌肉品质的影响

目前,活鱼的主要运输方式仍以有水运输为主^[81],冰鲜和冷冻鱼类制品多为冷链物流运输^[82]。影响运输过程中活鱼肌肉品质的主要因素为氧气、运输时间、运输温度和运输密度等。运输过程中鱼体处于高密度、缺氧环境下,并且长时间运输容易产生剧烈振荡,活鱼易产生应激反应,代谢旺盛,影响鱼肌肉品质^[83]。

活鱼在死亡后肌肉组织会发生变化,即早期生化变化、僵硬与解僵、腐败3个阶段。鱼类处于5℃和10℃温度条件下,僵直持续的时间较长;鱼类处于较低温度下,代谢缓慢,微生物难以繁殖,因此贮藏期延长,肌肉品质下降较慢。鱼类的糖原贮藏在肌肉或肝脏中,是一种重要贮能物质。鱼死后停止呼吸,糖原被分解生成乳酸,鱼肌肉pH值下降,肌质网结构破坏,钙离子释放,肌节断开、肌肉松弛变软。对于冰鲜和冷冻食品而言,需尽可能保持全程冷链,温度波动对品质不利^[84]。影响冰鲜和冷冻鱼类肌肉品质的内在因素主要包括鱼类与加工产品的生化特性、酶含量、脂肪含量和其他代谢产物等;外在因素为冷链过程温度波动、氧气浓度等。除以上因素外,冷冻鱼类的肌肉品质还与冰晶的形成速率和大小有关^[85],周鹏程等^[86]报道,冰晶生长、蛋白质降解和脂肪氧化是冷冻鱼类品质的重要影响因素。

3.1 运输温度

3.1.1 运输温度对鲜活鱼类肌肉品质的影响

鱼类处于较高的温度条件下,新陈代谢加强、耗氧量增加、存活率降低,因此在保活运输过程中会采取降温措施。低温环境会减弱鱼体呼吸代谢强度和活动量,抑制氨氮、乳酸等的生成和微生物的生长,使其保持良好的肌肉品质^[87]。

王利娟等^[88]研究运输过程中加州鲈鱼在4、10、15、20℃温度条件下肌肉品质的变化,结果表明,随着温度的升高,肌肉中糖原、脂肪、蛋白质含量逐渐降低。孙项丽等^[89]研究贮藏温度4℃和20℃对鲢鱼肌肉品质的影响,结果表明,随着温度的升高,鲢鱼肉中微生物数量、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量和K值均增加,感官品质下降。周倩倩等^[90]研究鲈鱼在-3、0、4、10、15℃温度条件下肌肉品质的变化,结果表明,随着温度的升高,硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substance, TBARs)值、TVB-N含量增加,持水性下降,鱼背部肌肉细胞间隙增大,肌纤维明显断裂,组织结构模糊。范秀萍等^[91]研究运输过程中石斑鱼在15、20、25℃温度条件下肌肉品质的变化,结果表明,随着温度的升高,肌肉中粗蛋白、粗脂肪、糖原含量和pH值下降。

3.1.2 运输温度对冰鲜鱼类肌肉品质的影响

温度对运输过程中冰鲜鱼类肌肉品质有显著影响。随着温度的升高,微生物的繁殖速度加快,生理生化反应加快,使得鱼肉品质劣变加速。Zheng Ruihang等^[92]研究3℃和0℃温度条件对鲢鱼肌肉品质的影响,结果表明,随着温度的升高,TVB-N含量、TBARs值增加、感官品质下降。杨金生等^[93]研究4℃和20℃温度条件对金枪鱼肌肉品质的影响,结果表明,随着温度升高,肌肉 a^* 、pH值和感官品质下降,TVB-N含量和K值增加。

王一帆等^[94]研究微小温度波动对于三文鱼片品质的影响,结果表明,微小温度波动对TVB-N含量、pH值无显著影响,但是对色差值有显著影响。张宁等^[95]研究表明,经过温度波动的三文鱼肉pH值、失重率、TVB-N含量、K值均上升,感官品质下降。黄文博等^[96]研究表明,经过温度波动的美国红鱼汁液流失率和碱性挥发性物质含量增加,感官品质下降,肌肉组织结构被破坏,新鲜度下降。肖蕾^[84]研究表明,经过温度波动的金枪鱼硬度、咀嚼性均增大,pH值下降。

3.1.3 运输温度对冷冻鱼类肌肉品质的影响

冷冻鱼类所处的环境温度发生波动时,会影响肌肉中形成的冰晶大小^[97],导致肌肉组织内部发生变化,脂类水解和脂肪氧化反应增加,降低肌肉品质^[98]。刘小莉等^[99]研究斑点叉尾鲴鱼在-20、-30、-40℃温度条件下肌肉品质的变化,结果表明,随着温度的升高,pH值、

硬度、弹性、咀嚼性下降幅度增大,肌纤维越来越松散,断裂情况越来越明显,肌纤维结构破坏程度越来越大。董浩等^[100]研究-18、-60℃温度条件对三文鱼肌肉品质的影响,结果表明,随着温度的升高,TBARs值升高、肌原纤维蛋白含量、感官品质均下降,肌纤维结构明显被破坏,肌纤维束之间充满较大孔洞。章蔚等^[101]研究表明,不同电商物流终止温度(0、4、8℃)对鲷鱼冻藏品质有显著影响,0℃终止温度下鱼片的三甲胺含量、TBARs值、TVB-N含量及K值最低。朱轶群等^[102]研究表明,经过温度波动后三文鱼的TVB-N含量和K值均升高,持水力下降。

3.2 运输时间

物流运输时间也是影响鱼肌肉品质的重要因素。鱼类在保活贮运中,环境所产生的声音、挤压和振动都会引起鱼体不同程度的应激反应。鱼类对声波的刺激反应因品种和个体大小的不同而异,机械振动、声振动、次声振动和超声振动都可以引起鱼的应激反应。在运输过程中,由于车辆的转弯、颠簸所产生的挤压、振动及相互摩擦,不仅会使鱼鳞脱落、鱼体损伤,而且也会引起鱼体强烈的应激反应。鳙鱼^[103]、黄颡鱼^[104]、加州鲈^[105]、冰鲜带鱼^[106]、黑尾近红鲷^[107]等鱼类长时间运输会对其肌肉品质不利,冰鲜和冷冻鱼类肌肉品质在运输过程中随时间的变化与冷藏和冻藏过程中相似,会发生脂肪氧化、微生物繁殖、蛋白质变性等^[97]。

3.2.1 运输时间对鲜活鱼类肌肉品质的影响

随着鲜活鱼类运输时间的延长,运输箱中水质愈发恶劣,氧气浓度下降,鱼类应激加强,鱼通过糖酵解产生大量乳酸,肌糖原大量减少^[56],肌肉品质下降。田兴等^[104]研究表明,在约11℃温度条件下,随着运输时间的延长,黄颡鱼肌肉的硬度、弹性、胶黏性、凝聚性、咀嚼性、回复性等质构特性指标均显著降低;李佩等^[107]研究29℃温度条件下黑尾近红鲷运输2、4、6、8、10 h对其肌肉品质的影响,结果表明,随着运输时间延长,乳酸含量显著升高,糖原含量显著降低;张玉平等^[108]研究表明,在26.3℃温度条件下,随着运输时间延长到4 h,异育银鲫背部肌肉L*和b*显著降低,内聚性、咀嚼性和回复性等质构指标均下降,pH值先下降后升高;朱乾峰^[29]在15℃温度条件下运输珍珠龙胆石斑鱼0、8、16、24、48、72 h,随着运输时间的延长,水分含量显著下降、基本营养成分(粗蛋白质、粗脂肪)含量下降缓慢、苦味氨基酸含量升高、乳酸含量先降低后升高、甜菜碱含量下降、无机离子含量变化不大。

3.2.2 运输时间对冰鲜鱼类肌肉品质的影响

Shi Liu等^[60]研究表明,在4℃温度条件下,随着运输时间的延长,叉尾鲷肌肉组织逐渐变得松散,纤维形状变得不规则,尺寸变得不均匀。杨胜平等^[106]研究

表明,在2℃温度条件下,随着运输时间的延长,冰鲜带鱼的K值、TVB-N含量增加,外观和鲜度品质下降;Prost等^[109]研究表明,在4℃温度条件下,随着运输时间的延长,2-甲基丙醇、(E)-2-戊烯醛、1-戊烯-3-醇和1-戊醇含量增加,感官品质下降。

3.2.3 运输时间对冷冻鱼类肌肉品质的影响

Shi Liu等^[60]研究表明,在-18℃温度条件下,随着运输时间的延长,鲷鱼肉的剪切力、持水性、W和pH值先增加后降低,TVB-N含量和TBARs值增加。章蔚等^[101]研究发现,不同电商物流终止温度的鲷鱼片在冻藏5个月过程中,随着冻藏时间的延长,鱼肉持水性下降,肉质变硬,蛋白变性程度升高,新鲜度下降,加工品质大大降低。

3.3 包装

为保持鱼肉的鲜味及新鲜度,常通过包装来防止水分的蒸发和细菌的二次污染,减少脂肪氧化、防止产品滴汁和气味污染等。鲜活鱼类,如鳊鱼、青鱼、鳙鱼等常采用聚酰胺(polyamide, PA)尼龙/聚乙烯(polyethene, PE)复合材质鱼袋、PA袋包装;冰鲜鱼,如沙丁鱼和秋刀鱼等常放在盘中,用PE塑料薄膜包装。冷冻鱼类包装复合材料都是以一层PE薄膜为基本材料,再与另一层材料复合。常见的包装技术有袋装、真空包装和气调包装,运输过程中包装方式、材料的选择也会对鱼肌肉品质造成影响。

3.3.1 包装对鲜活鱼类肌肉品质的影响

鲜活鱼类在运输中会使用PA袋、PE薄膜袋等进行独立包装,避免鱼体相互碰撞,常用的PA袋厚0.1 mm,袋中鱼质量、水质量、氧气浓度比例为1:1:4,活鱼存活率80%以上^[81]。丁晓彤等^[110]研究表明,最适合无水鱖鱼(泥鳅)的包装材料是抑菌抗氧包装袋。独立包装可减缓鱼体相互碰撞和应激反应,进而可能减缓肌肉品质下降速率,但是相关报道还很少。

3.3.2 包装对冰鲜鱼类肌肉品质的影响

姜晓娜^[111]研究冷链物流中包装材料对黄鳍金枪鱼品质的影响,发现在4℃冷链物流中PE包装材料和纳米包装材料均可减缓黄鳍金枪鱼品质劣化,其中纳米包装材料的效果比PE包装材料好。周明珠等^[112]研究表明,在4℃温度条件下,随着时间的延长,空气包装鲷鱼冷藏过程中醛类与1-辛烯-3-醇含量呈上升趋势,真空包装鲷鱼醛类总量逐渐降低,1-辛烯-3-醇含量变化不大。

3.3.3 包装对冷冻鱼类肌肉品质的影响

王佳媚等^[113]研究表明,金鲳鱼采用复合包装(壳聚糖和乳酸链球菌素、壳聚糖和聚赖氨酸)能减少菌落总数和嗜冷菌总数,较好保持鱼肉色泽,TVB-N含量较低,但是感官品质、理化指标和微生物数量无显著变化。倪晓锋^[114]研究表明,蒸煮袋包装竹夹鱼的组胺含

量高于船用包装，且船用包装竹夹鱼的TVB-N含量、TBARs值均较低。

3.4 其他

除以上因素外，运输过程中还有许多因素会对鱼肌肉品质产生影响，如运输密度^[115]、保水剂^[116]、保鲜剂^[117]等。运输时鱼体所处的空间十分狭小，鱼体密度显著增大。鱼体之间为空间、溶氧等发生竞争，会导致鱼体发生相应的应激反应，耗氧量急剧增加，水中溶氧快速消耗而出现缺氧现象。拥挤的运输条件会使鱼的肌肉长时间紧张，乳酸大量积累，导致肌肉pH值下降。彭士明等^[115]研究表明，在运输过程中随着运输密度的提高，银鲈鱼肌肉中糖原含量降低。Cakli等^[119]研究表明，与片状冰相比，浆状冰能更好地保持海鲈的质量并延长其保质期。王宁等^[116]研究表明，复合保水剂（山梨糖醇、柠檬酸钠）能有效抑制冰鲜大黄花鱼肉持水性的下降，减少硬度变化。白婵等^[120]研究表明，复配生物保鲜剂（葡萄籽提取物、茶多酚、大蒜素）对大口黑鲈肌肉具有延缓脂质氧化和汁液流失的效果。

物流运输对鱼类肌肉品质影响的部分研究如表3所示。

表3 物流运输对鱼类肌肉品质影响的部分研究
Table 3 Selected studies on the effect of logistics and transportation on the quality of fish muscle

影响因素	鱼体状态	鱼种类	对鱼类肌肉品质的影响	参考文献
温度	鲜活	加州鲈鱼	运输过程中，肌肉中糖原、脂肪、蛋白质含量随着温度的升高逐渐降低	[88]
		金枪鱼	4℃运输4h后，肌肉颜色、鲜度、感官评定均优于20℃	[93]
		石斑鱼	运输过程中，肌肉中粗蛋白、粗脂肪、糖原含量和pH值随着温度的升高逐渐下降	[91]
		金枪鱼	运输过程中，温度波动较大导致肌肉硬度、咀嚼性增大，pH值下降	[84]
	冰鲜	三文鱼	运输过程中，温度波动较大导致肌肉pH值、失重率、TVB-N含量、K值显著上升，感官品质下降	[95]
		美国红鱼	运输过程中，温度波动较大导致肌肉汁液流失率和碱性挥发性物质含量增加，感官品质下降，肌肉组织结构被破坏，新鲜度下降	[96]
		冷冻 鲷鱼	不同电商物流终止温度（0、4、8℃）对鲷鱼冻藏品质有显著影响，终止温度0℃条件下，三甲胺含量、TBARs值、TVB-N含量及K值最低	[101]
		黄颡鱼	运输过程中，肌肉硬度、弹性、胶黏性、凝聚性、咀嚼性、回复性均随着运输时间延长而显著降低	[104]
	鲜活	黑尾近鲷	运输过程中，乳酸含量随着运输时间延长显著升高，糖原含量显著降低	[107]
		异育银鲫	运输过程中，肌肉L*和b*在运输4h后显著降低，内聚性、咀嚼性和回复性均下降，pH值先下降后升高	[108]
时间	珍珠龙胆石斑鱼	珍珠龙胆石斑鱼	运输过程中，随着运输时间延长，水分含量显著下降、基本营养成分（粗蛋白质、粗脂肪）含量下降缓慢、苦味氨基酸含量升高、乳酸含量先降低后升高、甜菜碱含量下降、无机离子含量变化微小	[29]
			运输过程中，冰鲜带鱼的K值、TVB-N含量随着运输时间延长增加，外观和鲜度品质下降	[106]
	冷冻	鲷鱼	不同电商物流终止温度的鲷鱼在冻藏5个月过程中，随着冻藏时间的延长，鱼肉持水性下降，肉质变硬，蛋白变性程度升高，新鲜度下降，加工品质大大降低	[101]

续表3

影响因素	鱼体状态	鱼种类	对鱼类肌肉品质的影响	参考文献
包装	冰鲜	黄鳍金枪鱼	PE包装材料和纳米包装材料对黄鳍金枪鱼品质的劣化均有缓冲作用，其中纳米包装材料的效果优于PE包装材料	[111]
	冷冻	竹夹鱼	蒸煮袋包装样品的组胺含量、TVB-N含量、TBARs值高于船用包装	[114]
密度	鲜活	银鲈鱼	运输密度提高，肌肉中糖原含量降低	[115]
其他	冰鲜	鲈鱼	与碎冰组相比，流化冰能较好保持鲈鱼物流运输期间的感官品质和质构特性，抑制TBARs值、pH值与菌落总数的升高，有效延缓蛋白质分解与肌肉组织降解速率	[121]
	冷冻	珍珠龙胆石斑鱼	不冻液处理可保持石斑鱼鱼肉的新鲜口感	[117]

4 结 语

鱼的肌肉品质会直接影响其经济价值和加工适应性。目前已经建立了比较完备的鱼体肌肉品质评价体系，可从营养价值、组织结构、风味特点、感官品质及物理性质五方面开展品质评价。物流运输过程中鱼肌肉品质主要受鱼的种类、运输方式、运输温度、运输时间、包装、密度及保鲜剂等影响，其中最主要的因素为运输温度和运输时间。对于鲜活鱼，随着运输温度的升高，鱼类呼吸加快、耗氧量增加、新陈代谢速率加快，水中二氧化碳、氨含量增加，鱼肉中乳酸等生成量增加，鱼肉品质下降；随着运输时间的延长，车辆的转弯、颠簸会产生挤压、振动及相互摩擦，使得水质劣变，溶解氧含量下降，鱼类应激加强，鱼肉品质下降。对于冰鲜和冷冻鱼及其加工产品，随着运输过程中温度的升高或运输时间的延长，微生物的总量增加，脂质氧化和蛋白质变性程度增加，鱼肉品质下降。目前，对于鲜活鱼类研究主要集中在减少鱼类产生应激反应方面，提高存活率，而对于肌肉品质方面的研究较少。对于冰鲜和冷冻鱼类在贮藏期间肌肉品质的变化已有大量报道，而关于物流运输对2类鱼制品肌肉品质影响的研究较少。可以借鉴冰鲜和冷冻鱼类贮藏过程中的品质变化来推测在相似温度条件下物流运输对2类鱼肌肉品质的影响。尽管温度相同，但是物流运输与贮藏对鱼肌肉品质的影响可能不同，因为物流运输的时间相对较短（4h~60d），运输过程中可能发生冷链断链、温度波动、颠簸震动等状况。今后，有必要进一步开展物流运输对鱼肌肉品质影响方面的研究，为经物流运输后的鱼肉品质提升提供理论依据。

参考文献：

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2021中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [2] PERIAGO M A J, AYALA M A D, LOPEZ A O, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L.[J]. Aquaculture, 2005, 249(1): 175-188. DOI:10.1016/j.aquaculture.2005.02.047.



- [3] KHALILI S T, SABINE S. Nutritional value of fish: lipids, proteins, vitamins, and minerals[J]. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 2018, 26(2): 243-253. DOI:10.1080/23308249.2017.1399104.
- [4] 邓捷春, 王锡昌, 刘源. 鱼肉风味研究进展[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(6): 375-378; 383. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2010.06.046.
- [5] 张纹, 苏永全, 林燕, 等. 鱼肉理化特性与品质研究的初探[C]//国家“863”计划资源环境技术领域第三届海洋生物高技术论坛论文集. 厦门: 中国21世纪议程管理中心, 2005: 786-789.
- [6] 陈周, 胡杨, 安玥琦, 等. 短时间微流水处理对池塘养殖草鱼鱼肉品质的提升作用[J]. *水产学报*, 2020, 44(7): 1198-1210. DOI:10.11964/jfc.20191012021.
- [7] 文玲梅, 赵伟. 鱼类肌肉品质评价研究进展[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(增刊1): 174-176. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2020.S1.047.
- [8] 李敬, 韩冬娇, 刘红英. 不同加工方式对鱼肉组织质地影响的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(10): 3964-3969. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2015.10.033.
- [9] 何燕富, 黄卉, 李来好, 等. 低温贮藏的鱼肉品质变化及其影响因素的研究进展[J]. *大连海洋大学学报*, 2017, 32(2): 242-247. DOI:10.16535/j.cnki.dlhyxb.2017.02.020.
- [10] 卢昆, 高晶晶, 郝平. 我国海水养殖资源开发评价及其支持政策分析[J]. *农业经济问题*, 2016, 37(3): 95-103; 112. DOI:10.13246/j.cnki.iae.2016.03.012.
- [11] 张成林, 管崇武, 张宇雷. 鲜活水产品主要运输方式及发展建议[J]. *中国水产*, 2016(11): 106-108. DOI:10.3969/j.issn.1002-6681.2016.11.053.
- [12] WANG Wensheng, ZHANG Yongjun, LIU Yan, et al. Effects of waterless live transportation on survivability, physiological responses and flesh quality in Chinese farmed sturgeon (*Acipenser schrenckii*) [J]. *Aquaculture*, 2020, 518: 734834. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.734834.
- [13] SAMPAIO F D F, FREIRE C A. An overview of stress physiology of fish transport: changes in water quality as a function of transport duration[J]. *Fish and Fisheries*, 2016, 17(4): 1055-1072. DOI:10.1111/faf.12158.
- [14] 中国物流与采购联合会, 中国物流技术协会, 全国物流标准化技术委员会秘书处, 等. 物流术语: GB/T 18354—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [15] NIE X B, LEI J L, CHEN S X, et al. Physiological, proteomic, and gene expression analysis of turbot (*Scophthalmus maximus*) in response to cold acclimation[J]. *Aquaculture*, 2018, 495: 281-287. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.05.054.
- [16] 包玉龙, 张涛, 刘圣聪. 大规模哲罗鲑活鱼运输的研究[J]. *安徽农学通报*, 2017, 23(18): 87-89. DOI:10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2017.18.036.
- [17] 陈玲, 郑华, 李航宇, 等. 充氧包装方式对鳊CO₂麻醉和运输存活的研究[J]. *食品工业*, 2019, 40(2): 173-176.
- [18] 钟水明. 翘嘴红鲌苗种活体运输[N]. 2014-11-24. DOI:10.28152/n.cnki.ncyeb.2014.001261.
- [19] 卢森堡. 尼龙袋充氧运输鳊鱼的技术[J]. *水产养殖*, 1989(1): 20-21.
- [20] 李金荣. 金鱼充氧袋运法[J]. *新农村*, 1995(2): 19-20.
- [21] 赵虎, 牛文利, 邓捷, 等. 稚鲢运输技术研究[J]. *水产科技情报*, 2016, 43(4): 207-210. DOI:10.16446/j.cnki.1001-1994.2016.04.010.
- [22] 刘振华, 芮金兵. 翘嘴红鱼白苗种活体运输实用技术[J]. *科学养鱼*, 2008(11): 78.
- [23] CLARK C F. Experiments in the transportation of live fish in polyethylene bags[J]. *The Progressive Fish-Culturist*, 2011, 21(4): 177-182. DOI:10.1577/1548-8659(1959)21[177:EITOL]2.0.CO;2.
- [24] 史国经. 鳊鱼鱼种的暂养及其运输技术[J]. *农民致富之友*, 2017(16): 239.
- [25] 林清友. 箱式液氧活鱼车运输鱼种的应用技术[J]. *海洋与渔业*, 2018(7): 78-79.
- [26] 万年春, 王胜望. 鲟鱼运输实用技术[J]. *渔业致富指南*, 2010(21): 37-39.
- [27] 吕福明. 活鱼无水运输技术获突破[J]. *农产品加工*, 2012(12): 44-45.
- [28] 秦旭. 彭泽鲫的低温休眠保活运输技术研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018: 23-31.
- [29] 朱乾峰. 珍珠龙胆石斑鱼低温保活运输技术研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2018: 16-28.
- [30] 陈坚, 朱富强, 吴稼乐, 等. 金枪鱼低温运输技术[J]. *制冷*, 2004(4): 66-68. DOI:10.3969/j.issn.1005-9180.2004.04.017.
- [31] 向伟, 曹恭. 野生北极茴鱼的捕捞及运输技术[J]. *中国水产*, 2010(11): 59-60. DOI:10.3969/j.issn.1002-6681.2010.11.031.
- [32] NORIHITO K, DAISUKE K, KUNIHICO H. Application of hypothermic anesthesia for transportation of live fish without seawater[J]. *Cryobiology and Cryotechnology*, 2012, 58(2): 201-205. DOI:10.20585/cryobolcryotechnol.58.2.201.
- [33] 蔡厚才, 吕炜泓, 钱小荣, 等. 鲫鱼在强直流电场中的行为初探[J]. *浙江水产学院学报*, 1994(4): 282-286.
- [34] BARRETT J C, GROSSMAN G D. Effects of direct current electrofishing on the mottled sculpin[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2011, 8(1): 112-116. DOI:10.1577/1548-8675(1988)008<0112:EODCEO>2.3.CO;2.
- [35] HENYEY E, KYNARD B, ZHUANG P. Use of electronarcosis to immobilize juvenile lake and shortnose sturgeons for handling and the effects on their behavior[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2002, 18(4/6): 502-504. DOI:10.1046/j.1439-0426.2002.00425.x.
- [36] 徐滨, 庄平, 章龙珍, 等. 电麻醉与化学麻醉对施氏鲟幼鱼麻醉效果的比较[J]. *上海水产大学学报*, 2008(5): 539-546.
- [37] 周翠平, 钟赛意, 秦小明, 等. CO₂麻醉无水保活过程中罗非鱼主要呈味成分的变化[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(5): 247-254. DOI:10.16429/j.1009-7848.2017.05.032.
- [38] 金一春, 胡萍华, 曲学伟, 等. 二氧化碳麻醉对白斑狗鱼的影响[J]. *湖南农业科学*, 2009(12): 138-140. DOI:10.16498/j.cnki.hnnykx.2009.12.034.
- [39] 陈名帅. 宰前二氧化碳处理对罗非鱼和金鲳鱼肉品质及应激性的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2014: 11-24.
- [40] KENJI K, SHIZUKA T, YUKO H, et al. Long-duration carbon dioxide anesthesia of fish using ultra fine (nano-scale) bubbles[J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): 1-9. DOI:10.1371/journal.pone.0153542.
- [41] 谢晶, 曹杰. 渔用麻醉剂在鱼类麻醉保活运输中应用的研究进展[J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(1): 189-196. DOI:10.12024/jsou.20200202926.
- [42] MAZANDARANI M, HOSEINI S M. Menthol and 1,8-cineole as new anaesthetics in common carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758)[J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(6): 3041-3051. DOI:10.1371/journal.pone.0153542.
- [43] BECKER A G, PARODI T V, HELDWEIN C G, et al. Transportation of silver catfish, *Rhamdia quelen*, in water with eugenol and the essential oil of *Lippia alba*[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2012, 38(3): 789-796. DOI:10.1007/s10695-011-9562-4.
- [44] INOUE L, AFONSO L, IWAMA G, et al. Effects of clove oil on the stress response of matrinxã (*Brycon cephalus*) subjected to transport[J]. *Acta Amazonica*, 2005, 35(2): 289-295. DOI:10.1590/S0044-59672005000200018.
- [45] 康玉军, 段欢欢, 沈娟娟, 等. MS-222对1龄虹鳟的麻醉效果研究[J]. *科学养鱼*, 2016(4): 50-51. DOI:10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2016.04.027.

- [46] 王利娟, 程守坤, 张饮江, 等. MS-222在加州鲈鱼模拟运输中的麻醉效果[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(2): 235-241.
- [47] 韩芳. 鲈鱼贮藏过程中理化和质构变化的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 44-61.
- [48] 周文, 白婵, 王炬光, 等. 无水保活运输温度对史氏鲟氧化应激的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(7): 32-37. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210408-095.
- [49] 杜浩. 美洲鲈(*Alosa sapidissima*)人工孵化、养殖及转运关键技术的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005: 22-30.
- [50] 刘伟东. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)保活的基础研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 26-29.
- [51] 张恒, 汪玉祥, 冒森莉, 等. 淡水鱼碳酸休眠法无水保活运输技术[J]. 水产科技情报, 2008, 35(5): 236-240. DOI:10.3969/j.issn.1001-1994.2008.05.012.
- [52] 陈娟, 张黎黎, 刘淑兰, 等. 一种大西洋鲑的活鱼运输方法[J]. 科学养鱼, 2018(9): 47.
- [53] 邹佳, 蔡婷, 罗永康, 等. 冰鲜鱼和解冻鱼快速无损物理检测技术研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 47-49. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2010.02.023.
- [54] 沈慧星, 张连娣, 戴允珍, 等. 冰鲜和解冻鲫鱼的导电特性[J]. 中国农业大学学报, 2004(5): 42-44. DOI:10.11841/j.issn.1007-4333.2004.05.127.
- [55] DONALDS M. The great protein fiasco[J]. The Lancet, 1974, 304: 93-96. DOI:10.1016/S0140-6736(74)91649-3.
- [56] 夏文水, 罗永康, 熊善柏, 等. 大宗淡水鱼贮藏保鲜与加工技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 27-65.
- [57] 王维政, 曾泽乾, 黄建盛, 等. 低氧胁迫对军曹鱼幼鱼抗氧化、免疫能力及能量代谢的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(5): 12-18. DOI:10.3969/j.issn.1673-9159.2020.05.002.
- [58] MALTIN C A, WARKUP C C, MATTHEWS K R, et al. Pig muscle fibre characteristics as a source of variation in eating quality[J]. Meat Science, 1997, 47(3): 237-248. DOI:10.1016/S0309-1740(97)00055-7.
- [59] OFFER G, KNIGHT P. Structural basis of water-holding in meat. 1. General principle and water uptake in meat processing[J]. Developments in Meat Science, 1998, 4: 63-171.
- [60] SHI Liu, YIN Tao, WANG Lan, et al. Effect of pre-chilling time on the physicochemical properties of channel catfish during frozen storage[J]. International Journal of Refrigeration, 2020, 115: 56-62. DOI:10.1016/j.jrefrig.2020.01.015.
- [61] WANG Zhenyu, XU Weiwei, KANG Ning, et al. Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining[J]. Meat Science, 2016, 113: 132-138. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.11.015.
- [62] 王丽莎, 王航, 李侠, 等. 不同部位猪肉肌纤维类型组成与品质特性比较研究[J]. 肉类研究, 2020, 34(6): 1-7. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200316-073.
- [63] JOHNSTON I A, ALDERSON R, SANDHAM C, et al. Patterns of muscle growth in early and late maturing populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture, 2000, 189(3/4): 307-333. DOI:10.1016/S0044-8486(00)00372-0.
- [64] RIVERO J L, TALMADGE R J, EDGERTON V R. Fibre size and metabolic properties of myosin heavy chain-based fibre types in rat skeletal muscle[J]. Journal of Muscle Research and Cell Motility, 1998, 19(7): 733-742. DOI:10.1023/A:1005482816442.
- [65] JOHNSTON I A, MANTHRI S, ALDERSON R, et al. Freshwater environment affects growth rate and muscle fibre recruitment in seawater stages of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. The Journal of Experimental Biology, 2003, 206: 1337-1351. DOI:10.1242/jeb.00262.
- [66] JOHNSTON I A, ALDERSON R, SANDHAM C, et al. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture, 2000, 189(3/4): 335-349. DOI:10.1016/S0044-8486(00)00373-2.
- [67] 罗欣, 周光宏. 电刺激和延迟冷却对牛肉食用品质的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 188-194. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2008.01.025.
- [68] 罗欣. 电刺激和延迟冷却对牛肉食用品质的影响及其作用机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006: 36-46.
- [69] 王春青, 李侠, 张春晖, 等. 肌原纤维特性与鸡肉原料肉品质的关系[J]. 中国农业科学, 2014, 47(10): 2003-2012.
- [70] 莫意平, 姜永江, 薛长湖. 水产品风味研究综述[J]. 水利渔业, 2005(1): 82-84.
- [71] 尹涛, 刘敬科, 赵思明, 等. 冷藏和热加工对鲢肌肉主要滋味活性物质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(1): 108-114. DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2015.01.018.
- [72] 郭全友, 张秀洁, 姜朝军. 大黄鱼成鱼养殖阶段滋味物质分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 222-229. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.4.030.
- [73] 谢诚, 欧昌荣, 曹锦轩, 等. 全二维气相色谱-飞行时间质谱法分析糟带鱼挥发性风味成分[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 234-243. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.02.002.
- [74] 李楠. 水溶性风味前体物质对蒸制中华绒螯蟹体肉香气的作用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 16-29.
- [75] 胡静, 张凤桦, 刘耀敏, 等. 顶空固相微萃取-气质联用法测定鳊鱼肌肉中的挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17): 313-316. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.17.041.
- [76] YANG Wenjian, YU Jie, PEI Fei, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chemistry, 2016, 196(1): 860-866. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.097.
- [77] 柯泽华, 刘贵巧, 陈佳悦, 等. 基于电子鼻和气相色谱-质谱法对市场臭鳊鱼风味物质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(24): 9533-9540. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.24.079.
- [78] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. TPA质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术, 2007(2): 1-4. DOI:10.3969/j.issn.1672-4550.2007.02.001.
- [79] 徐文杰, 洪响声, 熊善柏. 近红外光谱技术分析草鱼的质构特性[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 136-142.
- [80] LEE J, PARK J W. Pacific whiting frozen fillets as affected by postharvest processing and storage conditions[J]. Food Chemistry, 2016, 201(15): 177-184. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.01.083.
- [81] 刘骁, 谢晶, 黄硕琳. 鱼类保活运输的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 255-260. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201508048.
- [82] 许波, 张丽云. 我国调理食品冷链配送技术应用现状与展望[J]. 物流科技, 2020, 43(9): 155-157. DOI:10.13714/j.cnki.1002-3100.2020.09.037.
- [83] 许源剑, 孙敏. 应激胁迫对鱼类运输的影响及其应对措施[J]. 科学养鱼, 2010(11): 16-17.
- [84] 肖蕾. 流通过程中的温度波动对大目金枪鱼品质变化及微生物多样性的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018: 22-34.
- [85] THEOFANIA N T, NIKOLAOS G S, PETROS S T. Quality and shelf-life modeling of frozen fish at constant and variable temperature conditions[J]. Foods, 2020, 9(12): 1-17. DOI:10.3390/foods9121893.
- [86] 周鹏程, 谢晶. 影响冻结贮藏过程鱼类品质变化因素的研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(13): 1-7. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.13.001.
- [87] 张晓林, 王秋荣, 刘贤德. 鱼类保活运输技术研究现状及展望[J]. 渔业现代化, 2017, 44(1): 40-44. DOI:10.3969/j.issn.1007-9580.2017.01.008.



- [88] 王利娟, 程守坤, 张饮江, 等. 水温对加州鲈鱼保活运输的影响[J]. 渔业现代化, 2014, 41(2): 23-27; 37. DOI:10.3969/j.issn.1007-9580.2014.02.005.
- [89] 孙项丽, 王联珠, 郭莹莹, 等. 不同储藏温度下鲢鱼组胺含量与其品质变化的关系[J]. 南方农业学报, 2020, 51(8): 2005-2012. DOI:10.3969/j.issn.2095-1191.2020.08.028.
- [90] 周倩倩, 谢晶. 不同温度贮藏过程中海鲈鱼品质变化和货架期预测模型的建立[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(3): 457-466. DOI:10.12024/j.issn.20190602698.
- [91] 范秀萍, 秦小明, 章超桦, 等. 温度对有水保活石斑鱼代谢与鱼肉品质的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(14): 241-248. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2018.14.031.
- [92] ZHENG Ruihang, XU Xiaorong, XING Jiali, et al. Quality evaluation and characterization of specific spoilage organisms of spanish mackerel by high-throughput sequencing during 0 °C cold chain logistics[J]. Foods, 2020, 9(3): 1-16. DOI:10.3390/foods9030312.
- [93] 杨金生, 尚艳丽, 霍健聪, 等. 不同模拟运输条件对金枪鱼品质的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(2): 162-164.
- [94] 王一帆, 宋晓燕, 刘宝林. 冷藏期间温度波动对三文鱼片品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(1): 24-27; 32. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2016.01-005.
- [95] 张宁, 谢晶, 李志鹏, 等. 冷藏物流过程中温度变化对三文鱼品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(10): 186-190. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201510035.
- [96] 黄文博, 谢晶, 罗超, 等. 冷链物流中温度波动对美国红鱼品质变化的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 268-274. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618043.
- [97] ALEX A G. Handbook of meat, poultry and seafood quality[M]. 2nd. New York: John Wiley & Sons, 2012: 510-545.
- [98] PAULINA E R, MARIA G, MAGNEA G K, et al. Stability of frozen Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) as affected by temperature abuse during transportation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 83: 275-282. DOI:10.1016/j.lwt.2017.05.024.
- [99] 刘小莉, 彭欢欢, 李莹, 等. 冻藏温度对斑点叉尾鲴鱼片蛋白质特性和感官品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 141-147. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.01.019.
- [100] 董浩, 周晓东, 鞠晓晨, 等. 三文鱼在冰箱-18 °C、-60 °C条件下的冻藏品质变化研究[J]. 家电科技, 2020(增刊1): 170-174. DOI:10.19784/j.cnki.issn1672-0172.2020.99.041.
- [101] 章蔚, 徐云强, 周俊鹏, 等. 不同电商物流终止温度对鲷鱼冻藏品质变化的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(17): 55-64. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.008.
- [102] 朱铁群, 杨永安, 刘建福, 等. 冻藏的温度波动对三文鱼化学指标值及持水力的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 294-300. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020100250.
- [103] 谢雅雯. 生鲜运输时间对鲷鱼头品质及风味变化的影响[D]. 南昌: 江西师范大学, 2019: 8-18.
- [104] 田兴, 马玲巧, 李大鹏, 等. 运输对养殖黄颡鱼血液生化 and 肌肉物性分析指标的影响[J]. 淡水渔业, 2016, 46(3): 87-91; 98. DOI:10.13721/j.cnki.dsyy.2016.03.015.
- [105] 王彩霞, 白嫚, 李宁, 等. 不同降温速率休眠的加州鲈无水保活品质比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 129-137; 141. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.5.018.
- [106] 杨胜平, 谢晶, 高志立, 等. 冷链物流过程中温度和时间对冰鲜带鱼品质的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 302-310. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.24.039.
- [107] 李佩, 陈见, 余登航, 等. 运输密度和时间对黑尾近红鲷皮质醇、乳酸、糖元含量的影响[J]. 水生生物学报, 2020, 44(2): 415-422. DOI:10.7541/2020.050.
- [108] 张玉平, 刘昊昆, 金俊琰, 等. 模拟运输对异育银鲫血液生理生化指标、体色和肉质的影响[J]. 水生生物学报, 2019, 43(1): 86-93. DOI:10.7541/2019.011.
- [109] PROST C, HALLIER A, CARDINAL M, et al. Effect of storage time on raw sardine (*Sardina pilchardus*) flavor and aroma quality[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(5): S198-S204. DOI:10.1111/j.1365-2621.2004.tb10732.x.
- [110] 丁晓彤, 杨福馨, 朱迪, 等. 无鳞河鱼(泥鳅)无水保活运输包装研究[J]. 上海塑料, 2017(4): 55-60.
- [111] 姜晓娜. 模拟物流过程中黄鳍金枪鱼品质变化的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018: 9-26.
- [112] 周明珠, 熊光权, 乔宇, 等. 鲷鱼冷藏过程中气味和新鲜度的变化及相关性[J]. 肉类研究, 2020, 34(3): 68-74. DOI:10.7506/rljy1001-8123-20191223-309.
- [113] 王佳媚, 符腾飞, 刘雅夫. 不同气调包装组分协同壳聚糖基复合涂膜对金鲳鱼冷藏品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(1): 59-65. DOI:10.7506/rljy1001-8123-20210118-011.
- [114] 倪晓锋. 智利竹筴鱼船上冻品贮藏稳定性与品质控制技术研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2013: 30-36.
- [115] 彭士明, 施兆鸿, 李杰, 等. 运输胁迫对银鲱血清皮质醇、血糖、组织中糖元及乳酸含量的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(6): 831-837. DOI:10.3724/SP.J.1231.2011.17242.
- [116] 王宁, 李亮, 毕凯媛, 等. 复合保水剂对冻藏大黄花鱼持水性及质构特性的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 228-232; 238. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.09.040.
- [117] 吴燕燕, 张涛, 李来好, 等. 不冻液处理对石斑鱼在常温物流过程中的品质和货架期的影响[J]. 水产学报, 2019, 43(12): 2574-2583. DOI:10.11964/jfc.20181011509.
- [118] 管维良, 刘天天, 梁中永, 等. 活鱼运输的研究进展[J]. 轻工科技, 2016, 32(6): 3-5.
- [119] CAKLI S, KILINC B, DINCER T, et al. Effects of using slurry ice during transportation on the microbiological, chemical, and sensory assessments of aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored at 4 °C[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2006, 46(6): 453-458. DOI:10.1080/10408390500295425.
- [120] 白嫚, 许萍, 黄敏, 等. 复配生物保鲜剂对大口黑鲈冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(2): 103-111. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2021.02.017.
- [121] 张皖君. 流化冰处理对鲈鱼流通期间品质及微生物菌群变化影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018: 11-20.