

研究进展

金枪鱼常用保鲜方式及品质检测技术研究进展

肖蕾, 蓝蔚青, 孙晓红, 张皖君, 赵宏强, 谢晶
(上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: **目的** 对金枪鱼保鲜方式及品质检测技术的应用现状予以综述, 对金枪鱼产业的未来发展前景进行展望。**方法** 分析比较金枪鱼的常用保鲜方式及主要优缺点, 并对近年来的新型检测技术进行说明。**结果** 复合保鲜技术能有效延长金枪鱼的贮藏货架期, 低场核磁共振、差示扫描量热法与扫描电镜等新技术的出现实现了对金枪鱼样品品质的快速、高效与精准检测。**结论** 水产品保鲜方式的改进与检测技术水平的提升将为金枪鱼的远距离运输与品质评价提供理论参考。

关键词: 金枪鱼; 保鲜; 检测技术; 研究进展

中图分类号: S983 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0115-06

Research Progress in Commonly Used Preservation Methods and Quality Detection Techniques of Tuna

XIAO Lei, LAN Wei-qing, SUN Xiao-hong, ZHANG Wan-jun, ZHAO Hong-qiang, XIE Jing
(Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize the application status of preservation methods and quality detection techniques of tuna and speculate on the future development prospects of tuna industry. The commonly used methods used to preserve tuna, their major advantages and disadvantages were analyzed and the new detection techniques in recent years were illustrated. Compound preservation technology could effectively prolong the shelf life of tuna. Upon the emergence of new techniques, such as low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR), differential scanning calorimetry (DSC), scanning electron microscope (SEM) and so on, the fast, efficient and accurate detection of tuna sample quality could be achieved. The improvement of preservation methods and detection technology level of aquatic products will provide theoretical reference for the long-distance transportation and quality evaluation of tuna.

KEY WORDS: tuna; preservation; detection techniques; research progress

金枪鱼为硬骨鱼纲鲈形目鲭科大洋性高度洄游性鱼类, 主要分布于太平洋、大西洋和印度洋的温带、热带与亚热带水域, 大多在大洋上层栖息^[1]。金枪鱼素有“海底黄金”的美誉, 因其肉质滑嫩鲜美, 富含糖类、蛋白质、胆固醇、维生素、钙、磷、铁等元素, 尤其是其中的DHA和EPA等n-3多不饱和脂肪酸含量极高, 国际营养组织称之为绿色无污染的三大营养鱼类之一^[2-3]。

食用金枪鱼既美味又能补充人体所需氨基酸, 可谓营养全面。然而由于其为远洋捕捞鱼类, 极易腐败

变质, 故需在物流加工过程中采取适当方法对其进行贮藏, 并通过各种检测方式来评价其鲜度^[4]。文中主要结合前人的研究成果, 对金枪鱼的常用保鲜方式、品质变化规律及新型检测技术等进行了综述, 并对其产业的未来发展前景予以展望, 以期为金枪鱼保鲜研究与综合利用提供理论参考。

1 常用保鲜方式

金枪鱼肉中含有的大量肌红蛋白和血红蛋白易

收稿日期: 2016-08-23

基金项目: 2014年国家农业成果转化资金(2014GB2C000081); 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2015)第4-12号); 上海市科委工程中心能力提升项目(16DZ2280300)

作者简介: 肖蕾(1991—), 女, 上海海洋大学硕士生, 主攻水产品保鲜技术。

通讯作者: 蓝蔚青(1977—), 男, 博士, 上海海洋大学高级工程师, 主要研究方向为水产品保鲜技术。

被氧化,使鱼肉呈棕红色^[5]。同时,外界温度的变化也会导致鱼肉中的多不饱和脂肪酸氧化失活,使其发生褐变^[6]。此外,常温下金枪鱼肉中的脂肪会发生自溶,捕杀过程中鱼体挣扎会使肝糖转化为乳酸,产生酸臭味,导致变质,极易腐坏。为避免金枪鱼的品质劣变,保持肉质鲜美,延长货架期,通常会采用相应保鲜方式。金枪鱼的保鲜方法甚多,一般可分为物理保鲜、化学保鲜、生物源及酶类保鲜^[7-8],其对金枪鱼的保鲜效果也各有不同。

1) 物理保鲜。物理保鲜的常用方法为冷藏^[9]、冰藏^[10]、冰鲜^[11]、微冻^[12]、冻结^[13]、冰被膜冻结^[14]、CaCl₂盐水冻结、三组分盐水冻结^[14]、气调保鲜^[15]、CO熏制^[16]、流化冰保鲜^[17]、真空冷却红外线^[18]、超高压^[19]等。其优点是保藏效率高,可减少资源消耗,能有效保持食品的固有风味与新鲜度,操作简单,投资少,安全性高;其缺点是鱼肉色泽变暗、汁液流失严重等,导致鱼片口感等食用品质下降,货架期有限。

2) 化学保鲜。化学保鲜的常用方法为使用山梨酸钾^[20]、苯甲酸、丁基羟基茴香醚、硫酸钠等保鲜剂。其优点为能有效防腐杀菌,抑制细菌繁殖,设备投资小,节能降耗,简单易行。其缺点为部分保鲜剂的使用存在争议,有化学残留,会对人体健康带来不利影响。

3) 生物源及酶类保鲜。生物源及酶类保鲜的常用方法为使用茶多酚^[21]、壳聚糖^[22]、乳酸链球菌素、ε-聚赖氨酸、中草药提取物、金针菇提取液、双歧杆菌、溶菌酶、脂肪酶等。其优点为能有效抑制多种细菌和真菌的代谢繁殖,抑菌效率高,安全无毒等。其缺点为部分抑菌机理尚未明确,壳聚糖涂膜干燥难,味苦,应用领域有限,微生物及其代谢产物易受周围环境变化的影响,在水产品保鲜上的应用还未深入,酶制剂价格昂贵。

金枪鱼为远洋运输渔业产品,其腐败变质通常是多种因素共同作用的结果,单一保鲜方式虽具有一定的保鲜效果,但其各有利弊,应在低温贮藏、运输、加工、销售过程中,利用栅栏技术原理,协同使用不同保鲜方式来延长其货架期。Yaowapa等^[23]将酚类化合物丹宁酸与气调保鲜结合用于金枪鱼生鱼片的冻藏保鲜,发现该法能有效降低其肉质变色和脂肪氧化,使货架期延长至12 d;李双双等^[24]将茶多酚与冻藏技术结合用于金枪鱼保鲜,结果得出茶多酚处理组的保鲜效果明显优于对照组;Wu等^[25]分析了冷藏条件下石榴皮提取物和五倍子提取物对金枪鱼中副溶血弧菌和李斯特菌的抑菌作用,研究得到2种提取物对副溶血弧菌均有较好抑制效果,其中五倍子提取物仅对李斯特菌产生作用。

2 主要检测技术

金枪鱼在其鱼体死后,鱼肉会发生一系列不同的

化学及生物学变化,致使其产生不同程度的腐败变质,失去食用价值。随着金枪鱼品质评价工作的深入开展,其指标分析与检测方法均有较大突破。传统金枪鱼的鲜度评价指标主要有感官、物理化学特性(组胺、K值、持水力、高铁肌红蛋白、TVB-N值、TBA值、pH值、肌原纤维蛋白等)与微生物指标等部分。该法虽能在不同程度上反映金枪鱼的品质变化情况,但检测耗时、费力、步骤繁琐、药品试剂消耗量与实验误差大。随着现代科技的进步发展,新型检测技术现已广泛应用于水产品品质评价中,其快速、准确、高效、清晰、直观等优点极大地促进了金枪鱼产业的发展。

2.1 色差与质构分析

由于消费者选择生食作为金枪鱼的主要食用方式,故对金枪鱼的外观色泽要求严格。一般使用色差仪即可测定金枪鱼肉色的 L^* 、 a^* 和 b^* 值,通过CIE Lab系统获得的 a^* 值来反映肉色的变化情况^[26]。Neethling等^[27]分析了CO对解冻黄鳍金枪鱼肉在有氧及无氧下色泽的影响,发现CO能有效增加其红度值 a^* ,且无氧条件下的红度值更稳定。Mahmoud等^[28]使用不同的X射线处理不同温度下的金枪鱼生鱼片,通过色差计测定 L^* 、 a^* 和 b^* 值,分析得出X射线处理对金枪鱼颜色有显著影响。质构剖面分析法(TPA)用于研究食品的质构特性,该法具有客观、快速、结果可量化等特点,在水产品品质分析中日益受到青睐^[29]。Mousakhani-Ganjeh等^[30]由质构法分析了高压电场解冻后黄鳍金枪鱼的质构特性,结果得出解冻过程肌纤维蛋白的变性会对金枪鱼肉的质构产生影响。一般而言,在金枪鱼的感官分析中将色差与质构纳入评价指标,结果相对客观,也能使感官分析更具说服力。

2.2 低场核磁共振

目前应用较多的是以氢核为研究对象,低场核磁共振(LF-NMR)测定指标主要为横向弛豫时间^[31]。根据弛豫时间的大小可区分自由水、结晶水、结合水与不可移动水,还可反映自由水和不可移动水在贮藏过程中的化学渗透交换,因此,LF-NMR适用于肉和肉制品体系的多种指标测定。低场核磁共振在肉品科学研究中的应用主要集中在肉和肉制品中的保水性、肌原纤维蛋白凝胶性和变性、脂肪和质构特性测定等方面^[32]。食品行业中还能用其来检测肉制品中所添加的物质,如Kwamman等^[33]利用核磁共振检测技术研究金枪鱼油脂中水与油层间溶血卵磷脂和壳聚糖的关系,结果发现弛豫时间能检测金枪鱼肉中的水油关系。Scano等^[34]利用核磁共振检测技术分析盐渍与干燥金枪鱼卵中的脂质化合物与水溶性物质,检测出了组胺、尸胺、酪胺、苯乙胺和色胺等物质。

2.3 差示扫描量热法

差示扫描量热法(DSC)是在温度程序控制下, 测量输送给被测物质和参比物质的能量差值与温度间关系的技术, 可精确快速控制温度和进行热容、热焓值测定。DSC 可用于测定蛋白质热变性、组分分析、蛋白质和多糖的作用、食品中的水分含量、淀粉糊化、淀粉与蔗糖单酯的作用、脂类分析与玻璃态转变温度, 还可研究蛋白质-蛋白质相互作用、蛋白质-水相互作用、蛋白质的热变性动力学等^[35]。Ochiai 等^[36]利用 DSC 分析了黄鳍金枪鱼肌红蛋白的热变性, 在波谱图中发现肌红蛋白在 73 °C 下变性最剧烈。Mohammad 等^[37]利用 DSC 比较分析了黄鳍金枪鱼与哺乳动物的热特性, 测得黄鳍金枪鱼的玻璃转化温度较低。

2.4 扫描电镜

扫描电镜(SEM)是一个复杂系统, 它浓缩了电子光学技术、真空技术、精细机械结构及现代计算机控制技术, 现已广泛用于肌肉组织微观结构、肌纤维条理与胶凝状况等观察分析。扫描电镜直观清晰, 能通过微观结构准确分析金枪鱼品质变化情况。如 Zhang 等^[17]在流化冰对鲣鱼蛋白质功能特性的研究中, 利用其对片冰与流化冰保藏的金枪鱼肉肌原纤维组织结构进行比较, 分析得出流化冰处理组的纤维结构连接紧密。汤元睿等^[38]研究了不同冷链物流过程中的金枪鱼组织形态, 观察到温度变化导致肌纤维间的冰晶不断长大, 表现为肌纤维空隙与组织松散。

2.5 氨基酸分析技术

氨基酸分析仪专为氨基酸分析而设计, 其选择性强、分离度高、稳定性好, 现已广泛应用于水产品样品的氨基酸分析中。利用氨基酸分析仪, 能对金枪鱼营养价值进行评价, 便于结合其他品质评价指标分析其商业价值。刘书臣等^[39]利用氨基酸分析仪对大目金枪鱼不同部位肌肉的氨基酸组分进行分析, 发现金枪鱼赤身部位肌肉的氨基酸营养价值最高, 大腹部位肌肉次之, 中腹部位肌肉的氨基酸营养价值最低。Herpandi 等^[40]利用氨基酸分析仪研究了鲣鱼暗色肉水解产物中的氨基酸组成与含量, 结果发现其水解产物的营养价值高, 含 9 种必需氨基酸。

2.6 聚丙烯酰胺凝胶电泳技术

聚丙烯酰胺凝胶电泳技术(SDS-PAGE)现已被广泛用于评估金枪鱼贮藏过程中肌肉蛋白质的变化。分离蛋白时需要根据蛋白质的带电密度和被分离样品的相对分子质量大小设计相应浓度的分离胶。它在测定蛋白质相对分子质量、检测特异蛋白与鉴定菌株种属等方面具有操作简单、重复性好等优点^[41]。Oihane 等^[42]利用 SDS-PAGE 分析了黄鳍金枪鱼、大眼金枪

鱼与鲣鱼 3 种鱼肉蛋白质间的差异, 发现蛋白质相对分子质量在 43KD 处的条带能有效区分 3 种金枪鱼种。Sanmartín 等^[43]利用 SDS-PAGE 分析了金枪鱼罐头与新鲜金枪鱼副产品中的蛋白质, 发现能有效区分其中的收缩蛋白质类。

2.7 电子鼻技术

电子鼻作为一种新型智能感官设备, 是通过模拟人类嗅觉系统来实现针对检测对象的品质评价^[44]。金枪鱼的挥发性成分十分复杂, 可直接反映金枪鱼肉的新鲜度, 它不仅决定了消费者对金枪鱼的接受性, 而且还能表征鱼肉品质。新鲜的金枪鱼通常具有香醇的鱼香味, 随着新鲜度的下降, 鱼肉会出现氨味与腥臭味等明显异味, 达到腐败阶段。电子鼻因其测定快速、成本低、不损坏样品、应用范围广等优点, 在食品安全检测中得到了有效利用^[45]。王霞等^[46]利用电子鼻测定出黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分主要为醛类、烃类、醇类、酮类、呋喃类, 其协同作用构成了黄鳍金枪鱼肉的特征气味。

2.8 电子舌技术

电子舌是一种能分析和识别味道的味觉传感器, 其最大优点在于使用简单、响应速度快、灵敏度高、安全性好、可连续测定、结果客观, 对样品的处理中不会使用任何有损样品的化学试剂, 且能快速无损地对样品味觉特征做出客观、具有可重复性的检测辨识^[47]。电子舌可用于检测鱼肉的新鲜程度, 通过对不同的化学物质成分进行模式识别, 其在食品行业的质量控制、加工过程检测、新鲜度评价及货架期预测等方面已有涉足^[48]。李念文等^[49]研究了不同真空蒸汽解冻条件对金枪鱼感官品质的影响, 根据电子舌的主成分分析得出真空蒸汽解冻与新鲜解冻的鱼肉差异最小。

2.9 固相微萃取色谱-质谱联用技术

固相微萃取(SPME)是一种新型的无溶剂样品预处理技术, 其与气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)的共同使用, 主要用于检测一些沸点相对较低的挥发性或半挥发性有机物。因其灵敏度高、测量准确及操作简便等特点, 在食品及食品添加剂检验领域逐渐得到应用^[50]。Liu 等^[51]使用 SPME-GC-MS 对鲣鱼普通肉与暗色肉风味物质差异进行分析, 结果显示其个别风味成分差异明显。孙静等^[52]采用 SPME-GC-MS 比较生鲜及加热处理后大眼金枪鱼肉的主要风味物质, 从生鲜及热处理大眼金枪鱼肉中分别鉴定出 36 种与 47 种挥发性物质, 并检测金枪鱼脂肪氧化后的挥发性化合物^[53]。如 Edirisinghe 等^[54]将电子鼻与 SPME-GC-MS 相结合, 研究保存在-30 °C 及冰藏条件下黄鳍金枪鱼的挥发性成分与鱼体质量关系, 得出 3-甲基-1-丁醇和十五烷这 2 种风味物质可作为金枪鱼肉质量的指示物质。

2.10 红外光谱技术

红外光谱技术是利用化学物质在红外光谱区内的光学特性,快速测定样品中的化学成分含量和特性的一种分析技术。该技术具有分析速度快、分析效率高、测试重现性好、适用范围广、对样品无损伤等优点,在农产品及食品检测中应用较广。近年来,我国近红外光谱技术的热点集中在肉品感官品质(如嫩度、肉色及新鲜度等)评价,分析其蛋白质、脂肪与水分含量以及肉品的产地和品种的快速鉴定等领域^[55]。Khalil等^[56]分别使用传统化学测定方法与近红外光谱技术比较测定了金枪鱼肉的水分、蛋白质与脂肪含量,结果发现,近红外光谱技术更能快速准确地定量鱼肉中的化学组分。Wooa等^[57]利用傅里叶红外光谱分析发现了黄鳍金枪鱼鱼背与鱼皮氨基化合物的分布区域。

2.11 其他技术

目前的检测技术还有分光光度法、反相高效液相色谱法、离子色谱法、薄层色谱法、电化学法、重金属测定、毛细管电泳法、PCR技术、酶联免疫吸附法和比色法等,因检测技术的灵敏度、精密度、特异性各不相同,其实用性也有差别。然而,由于金枪鱼的肌肉组织成分复杂,即使同一条金枪鱼的不同部位也存在着显著差异,仅通过1~2个检测指标来判断金枪鱼的品质与新鲜度仍不准确,有必要通过多个指标进行综合评判。

3 结语

近年来,我国的金枪鱼消费量呈不断增长的态势,为满足消费者对金枪鱼生鱼片品质的要求,需采用合理有效的保鲜方法来延长其货架期,多种保鲜方式相结合的复合保鲜技术有着广阔的研究前景。此外,在进行金枪鱼贮藏保鲜的同时,新型检测技术的不断发展,更加快速高效的检测技术将逐渐取代传统方法。新型检测技术水平的提高能保证水产品品质得到高效精准、实时快速的检测,也能清晰直观表征其品质变化特征,还能对样品中的水分、蛋白质、脂肪等特性进行分析,功能性强。低场核磁共振技术、差示扫描量热仪、扫描电镜与红外光谱等智能设备与检测方法的引入,使金枪鱼的检测成本明显降低。几种检测技术的有机融合,将能更加准确客观地表征金枪鱼的综合品质,从而提高金枪鱼品质的检测效率,其在水产品检测与品质评价中的应用前景不可限量。

参考文献:

- [1] 苗振清,黄锡昌.世界金枪鱼渔业现状分析[J].浙江海洋学院学报,2002,21(4):307—310.
MIAO Zhen-qing, HUANG Xi-chang. Present Situation

- and Development of Worldwide Tuna Fisheries[J]. Journal of Zhejiang Ocean University, 2002, 21(4): 307—310.
- [2] 全晶晶,蔡江佳,郑平安,等.鲣鱼肌肉品质改良研究[J].中国食品学报,2013,13(7):122—128.
QUAN Jing-jing, CAI Jiang-jia, ZHENG Ping-an, et al. Research on the Muscle Quality Improvement of Skipjack[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(7): 122—128.
- [3] NAKAMURA Y N, ANDO M, SEOKA M, et al. Changes of Proximate and Fatty Acid Compositions of the Dorsal and Ventral Ordinary Muscles of the Full-cycle Cultured Pacific Bluefin Tuna *Thunnus Orientalis* with the Growth[J]. Food Chemistry, 2007, 103(1): 234—241.
- [4] 王峰,杨金生,尚艳丽,等.黄鳍金枪鱼营养成分的研究与分析[J].食品工业,2013,34(1):187—189.
WANG Feng, YANG Jin-sheng, SHANG Yan-li, et al. The Analysis of Nutrition Components in Yellow-Fin Tuna[J]. Food Industry, 2013, 34(1): 187—189.
- [5] 徐慧文,谢晶.金枪鱼保鲜方法及其鲜度评价指标研究进展[J].食品科学,2014,35(7):258—263.
XU Hui-wen, XIE Jing. Recent Progress in Preservation Methods and Freshness Evaluation Indexes for Tuna[J]. Food Chemistry, 2014, 35(7): 258—263.
- [6] 杨金生,尚艳丽,夏松养.不同冻藏温度对金枪鱼肉肉色变化的影响[J].食品工业,2012,33(1):39—41.
YANG Jin-sheng, SHANG Yan-li, XIA Song-yang. Effect of Different Frozen Storage on Color Change of Tuna[J]. Food Industry, 2012, 33(1): 39—41.
- [7] 王尊,谢晶.不同保鲜方法对三文鱼品质影响的研究进展[J].包装工程,2016,37(9):80—85.
WANG Zun, XIE Jing. Research Progress in Effects of Different Preservation Methods on Salmon Quality[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(9): 80—85.
- [8] 刘爱芳,谢晶.金枪鱼生物保鲜技术的研究进展[J].包装工程,2015,36(15):16—22.
LIU Ai-fang, XIE Jing. Progress of Biological Techniques for Tuna Preservation[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(15): 16—22.
- [9] 徐慧文,谢晶,汤元睿,等.冰藏和冷藏条件下金枪鱼品质变化的研究[J].食品工业科技,2014,35(13):321—326.
XU Hui-wen, XIE Jing, TANG Yuan-rui, et al. Study on the Quality Changes of Tuna at Ice and Refrigerated Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(13): 321—326.
- [10] WOOJ W, YU S J. Extraction Optimization and Properties of Collagen from Yellow Fin Tuna (*Thunnus Albacore*) Dorsal Skin[J]. Food Hydrocolloids, 2007, 22(5): 879—887.
- [11] LI J R, LU H X, ZHU J L, et al. Aquatic Products Processing Industry in China: Challenges and Outlook[J]. Trends in Food Science & Technology, 2009, 20(11): 73—77.
- [12] 杨金生,林琳,夏松养,等.超低温冻藏对金枪鱼肉质及生化特性机理研究[J].海洋与湖沼,2015,46(4):829—832.
YANG Jin-sheng, LIN Lin, XIA Song-yang, et al. Mechanism Study of Texture and Biochemical Characteristics of Tuna during Ultralow Temperature Storage[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 829—832.
- [13] 罗殷,王锡昌,刘源.金枪鱼保鲜方法极其对品质影

- 响的研究进展[J]. 水产科技情报, 2008, 35(3): 116—119.
- LUO Yin, WANG Xi-chang, LIU Yuan. Research Progress of Tuna Preservation Methods on Quality[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2008, 35(3): 116—119.
- [14] 陈贵良. 金枪鱼保鲜动态[J]. 制冷, 1997, 60(3): 78—80.
- CHEN Gui-liang. Developments in Freshing Tuna[J]. Refrigeration, 1997, 60(3): 78—80.
- [15] EMBORG J, LAUSEN B G, DALGAARD P. Significant Histamine Formation in Tuna (*Thunnus Albacores*) at 2 °C Effect of Vacuum and Modified Atmosphere-Packaging on Psychrotolerant Bacteria[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 101(3): 263—279.
- [16] CAPILLAS C R, MORAL A. Free Amino Acids and Biogenic Amines in Red and White Muscle of Tuna Stored in Controlled Atmospheres[J]. Amino Acids, 2004, 26(2): 125—132.
- [17] ZHANG B, DENG S G, GAO M, et al. Effect of Slurry Ice on the Functional Properties of Proteins Related to Quality Loss during Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) Chilled Storage[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(4): 695—702.
- [18] 张泓. 真空冷却红外线脱水保鲜技术在金枪鱼生鱼片加工中的应用[J]. 渔业现代化, 2004(3): 33—34.
- ZHANG Hong. Application of Vacuum Cooling Infrared Dehydration Technology in Tuna Sashimi[J]. Fishery Modernization, 2004(3): 33—34.
- [19] KAMALAKANTH CK, GINSON J, BINDU J, et al. Effect of High Pressure on K-value, Microbial and Sensory Characteristics of Yellowfin Tuna (*Thunnus Albacares*) Chunks in EVOH Films during Chill Storage[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011(12): 451—455.
- [20] 王超. 海胆保鲜技术及机理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- WANG Chao. Study on Preserving Technology and Mechanism of Sea Urchin Gonads[D]. Qingdao: China Ocean University, 2012.
- [21] 汪金林. 茶多酚对冷藏养殖大黄鱼品质影响的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013.
- WANG Jin-lin. Effect of Tea Polyphenol on Quality Change of Cultured Large Yellow Croaker during Refrigerated Storage[D]. Hangzhou: Gongshang University, 2013.
- [22] 李仁伟, 李双双, 夏松养. 壳聚糖对冻藏金枪鱼肉的保鲜效果研究[J]. 浙江海洋学院学报, 2013, 32(3): 233—237.
- LI Ren-wei, LI Shuang-shuang, XIA Song-yang. Research of Water-Soluble Chitosan Effect for Preserving Frozen Tuna[J]. Journal of Zhejiang Ocean University, 2013, 32(3): 233—237.
- [23] YAOWAPA T, SOOTTAWAT B, RICHARDS M P. Effect of Phenolic Compounds in Combination with Modified Atmospheric Packaging on Inhibition of Quality Losses of Refrigerated Eastern Little Tuna Slices[J]. Food Science and Technology, 2013, 50(1): 146—152.
- [24] 李双双, 夏松养, 李仁伟. 茶多酚对冻藏金枪鱼的保鲜效果研究[J]. 食品科技, 2012, 37(12): 126—129.
- LI Shuang-shuang, XIA Song-yang, LI Ren-wei. Effect on Preserving of Frozen Tuna for Tea Polyphenol[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(12): 126—129.
- [25] WU J, JAHNCKE M, EIFERT J D, et al. Pomegranate Peel (*Punica Granatum L*) Extract and Chinese Gall (*Galla Chinensis*) Extract Inhibit *Vibrio Parahaemolyticus* and *Listeria Monocytogenes* on Cooked Shrimp and Raw Tuna[J]. Food Control, 2016(9): 695—699.
- [26] MCKENNA D R, MIES P D, BAIRD B E, et al. Biochemical and Physical Factors Affecting Discoloration Characteristics of 19 Bovine Muscle[J]. Meat Science, 2005, 70(4): 665—682.
- [27] NEETHLING N E, HOFFMAN L C, BRITZA T J, et al. Influence of Carbonmonoxide on the Colour Stability of Defrosted Yellowfin Tuna (*Thunnus Albacares*) Muscle Stored under Aerobic and Anaerobic Conditions[J]. Journal of Science Food and Agriculture, 2015(5): 1605—1612.
- [28] MAHMOUD B, NANNAPANENI R, CHANG S, et al. Improving the Safety and Quality of Raw Tuna Fillets by X-ray Irradiation[J]. Food Control, 2016(6): 569—574.
- [29] 孙蕾蕾, 黄卉, 李来好, 等. 影响宰后鱼肉能量代谢和质构的酶及其活性测定方法研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 348—355.
- SUN Lei-lei, HUANG Hui, LI Lai-hao, et al. Enzymes Associated with Postmortem Energy Metabolism and Texture of Fish Muscle and Assays to Detect Them[J]. Food Science, 2014, 35(11): 348—355.
- [30] MOUSAKHANI-GANJEH A, HAMDAMI N, SOLTANIZADEH N. Impact of High Voltage Electric Field Thawing on the Quality of Frozen Tuna Fish (*Thunnus Albacares*)[J]. Journal of Food Engineering, 2015(6): 39—44.
- [31] HINRICHS R, GOTZ J, NOLL M, et al. Characterisation of the Water-Holding Capacity of Fresh Cheese Samples by Means of Low Resolution Nuclear Magnetic Resonance[J]. Food Research International, 2004, 37(7): 667—676.
- [32] 杨赫鸿, 李沛军, 孔保华, 等. 低场核磁共振技术在肉品科学研究中的应用[J]. 食品工业科技, 2012, 33(13): 400—405.
- YANG He-hong, LI Pei-jun, KONG Bao-hua, et al. Application of Low Field Nuclear Magnetic Resonance in Meat Science[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(13): 400—405.
- [33] KWAMMAN Y, YAOWAPA B, MAHISANUNT S, et al. Evaluation of Electrostatic Interaction between Lysolecithin and Chitosan in Two-Layer Tuna Oil Emulsions by Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy [J]. Food Bioprocess, 2016, 11(2): 165—175.
- [34] SCANO P, ROSA A, PISANO M B, et al. Lipid Components and Water Soluble Metabolites in Salted and Dried Tuna (*Thunnus Thynnus L.*) Roes[J]. Food Chemistry, 2013(8): 2115—2121.
- [35] 黄海. DSC 在食品中的运用[J]. 食品与机械, 2002, 88(2): 6—9.
- HUANG Hai. Application of DSC in Food[J]. Food & Machinery, 2002, 88(2): 6—9.
- [36] OCHIAI Y, WATANABE Y, OZAWA H, et al. Thermal Denaturation Profiles of Tuna Myoglobin[J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 2010, 74(8): 1673—1679.

- [37] MOHAMMAD S R, GHALIB S, NEJIB G. Thermal Characterisation of Gelatin Extracted from Yellowfin Tuna Skin and Commercial Mammalian Gelatin[J]. Food Chemistry, 2008(8): 472—481.
- [38] 汤元睿, 谢晶, 李念文, 等. 不同冷链物流过程对金枪鱼品质及组织形态的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 285—292.
TANG Yuan-rui, XIE Jing, LI Nian-wen, et al. Effects of Different Cold Chain Logistics Situations on Quality and Microstructure of Tuna (*Thunnus Obesus*) Fillets[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(5): 285—292.
- [39] 刘书臣, 李仁伟, 廖明涛, 等. 大目金枪鱼不同部位肌肉的营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 340—348.
LIU Shu-chen, LI ren-wei, LIAO Ming-tao, et al. Nutritional Components Analysis and Quality Evaluation of Different Muscle Parts of Bigeye Tuna[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(23): 340—348.
- [40] HERPANDI N H, AHMAD R, et al. Protein Quality of Hydrolyzed Dark Muscle Protein of Skipjack Tuna (*Katsuwonus Pelamis*)[J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2016(6): 177—186.
- [41] 高艳利, 杨思文, 樊凯奇, 等. SDS-PAGE电泳技术分析蛋白质的研究[J]. 辽宁化工, 2007, 36(7): 460—463.
GAO Yan-li, YANG Si-wen, FAN Kai-qi, et al. Development of SDS-PAGE in Protein[J]. Liaoning Chemical Industry, 2007, 36(7): 460—463.
- [42] OIHANE E, XABIER L, RAGNAR L O, et al. Comparative Study of Muscle Proteins in Relation to the Development of Yake in Three Tropical Tuna Species Yellowfin (*Thunnus Albacares*), Big Eye (*Thunnus Obesus*) and Skipjack (*Katsuwonus Pelamis*)[J]. Food Chemistry, 2016(1): 284—291.
- [43] SANMARTÍN E, ARBOLEYA J C, ILORO I, et al. Proteomic Analysis of Processing by-products from Canned and Fresh Tuna: Identification of Potentially Functional Food Proteins[J]. Food Chemistry, 2012(4): 1211—1219.
- [44] 王俊, 崔绍庆, 陈新伟, 等. 电子鼻传感技术与应用研究进展[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11): 160—167.
WANG Jun, CUI Shao-qing, CHEN Xin-wei, et al. Advanced Technology and New Application in Electronic Nose[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2013, 44(11): 160—167.
- [45] 杜利农, 柴春祥, 郭美娟. 电子鼻在水产品品质检测中的应用研究进展[J]. 电子检测技术, 2014, 37(5): 80—84.
DU Li-nong, CHAI Chun-xiang, GUO Mei-juan. The Application of Electronic Nose in Quality Detection of Aquatic Product[J]. Electronic Measurement Technology, 2014, 37(5): 80—84.
- [46] 王霞, 黄健, 侯云丹, 等. 电子鼻结合气相色谱—质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 268—272.
WANG Xia, HUANG Jian, HOU Yun-dan, et al. Analysis of Volatile Components in Yellowfin Tuna by Electronic Nose and GC-MS[J]. Food Science, 2012, 33(12): 268—272.
- [47] 张浩玉, 张柯, 黄星奕. 电子舌对不同品种醋的辨别研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(5): 1—4.
- ZHANG Hao-yu, ZHANG Ke, HUANG Xing-yi. Recognition of Various Vinegars Using Electronic Tongue[J]. China Condiment, 2011, 36(5): 1—4.
- [48] 王兴亚, 庞广昌, 李阳. 电子舌与真实味觉评价的差异性研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 213—216.
WANG Xing-ya, PANG Guang-chang, LI Yang. Research Progress of Difference between Electronic Tongue and Real Taste Evaluation[J]. Food & Machinery, 2016, 32(1): 213—216.
- [49] 李念文, 谢晶, 周然, 等. 不同真空蒸汽解冻条件对金枪鱼感官的影响[J]. 制冷学报, 2014, 35(5): 76—82.
LI Nian-wen, XIE Jing, ZHOU Ran, et al. Effects of Vacuum-steam Thawing on the Sense of Tuna[J]. Journal of Refrigeration, 2014, 35(5): 76—82.
- [50] 国金玲, 张朔生. 气相色谱-质谱联用技术在药品及食品分析中的应用[J]. 中国药事, 2016, 30(6): 560—563.
GUO Jin-ling, ZHANG Shuo-sheng. The Application of Gas Chromatography-Mass Spectrometry in Foods and Drugs Analysis[J]. Chinese Pharmaceutical Affairs, 2016, 30(6): 560—563.
- [51] LIU S L, LI X Y, ZHOU X X, et al. Comparative Study of Basic Characteristics of Ordinary and Dark Muscle in Skipjack Tuna (*Katsuwonus Pelamis*)[J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(5): 1397—1404.
- [52] 孙静, 黄健, 侯云丹, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析大眼金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2011, 32(22): 230—233.
SUN Jing, HUANG Jian, HOU Yun-dan, et al. Analysis of Volatile Compounds of Bigeye Tuna (*Thunnus Obesus*) Meat by Headspace Solid-Phase Microextraction Combined with Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Food Science, 2011, 32(22): 230—233.
- [53] O'DWYER S P, O'BEIRNE D, EIDHIN D, et al. Oxidative Stability of Tuna Fat Spreads (O/W/O Emulsions) Using Conventional Lipid Oxidation Methods, SPME-GC/MS and Sensory Analysis[J]. European Food Research and Technology, 2013(7): 385—398.
- [54] EDIRISINGHE R, GRAFFHAM A, TAYLOR S J. Characterization of the Volatiles of Yellowfin Tuna (*Thunnus Albacares*) during Storage by Solid Phase Microextraction and GC-MS and Their Relationship to Fish Quality Parameters[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2007, 42(10): 1139—1147.
- [55] 任瑞娟, 柴春祥, 鲁晓翔. 近红外光谱技术在水产品检测中的应用展望[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 361—364.
REN Rui-juan, CHAI Chun-xiang, LU Xiao-xiang. Prospects of Applying Near Infrared Spectroscopy in Aquatic Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 361—364.
- [56] KHALIL K, MARIA S S, SABINA J, et al. Chemical and Near-Infrared Determination of Moisture, Fat and Protein in Tuna Fishes[J]. Food Chemistry, 2007(2): 669—675.
- [57] WOOA J W, YUA S J, CHO S M, et al. Extraction Optimization and Properties of Collagen from Yellowfin Tuna (*Thunnus Albacares*) Dorsal Skin[J]. Food Hydrocolloids, 2008(2): 879—887.