

水产品活性包装和智能包装技术的研究进展

杨方¹, 胡方园², 景电涛¹, 夏文水^{1*}

(1. 江南大学食品学院, 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 无锡 214122; 2. 利乐包装(昆山)有限公司, 上海 201315)

摘要: 水产品贮藏品质对加工保藏技术的要求以及国内消费者对水产品加工食品质量安全的存疑促进了水产品活性包装和智能包装技术的发展。活性包装技术通过包装材料吸收不利保藏的成分, 或释放有利保藏的成分, 或发挥涂膜抗菌、抗氧化作用, 对水产品起到防腐保鲜的作用。智能包装技术通过标签指示剂、信息溯源提高产业链管理效率以及减少消费者对水产品品质和安全的担心。虽然国内外在水果、蔬菜、奶制品等食品上已有新包装技术的应用, 但是我国水产品活性包装和智能包装的工业化尚在起步阶段。本文总结了主要的活性包装和智能包装技术, 并总结了新包装技术在国外水产品上的应用, 以期为我国未来水产品新包装的发展提供借鉴参考。

关键词: 水产品; 活性包装; 智能包装

Research advance of active packaging and intelligent packaging technologies for aquatic food products

YANG Fang¹, HU Fang-Yuan², JING Dian-Tao¹, XIA Wen-Shui^{1*}

(1. School of Food Science and Technology, State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University; Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Wuxi 214122, China; 2. Tetra Pak (Kunshan) Co., Ltd., Shanghai 201315, China)

ABSTRACT: The requirement of processing and preservation for high-quality aquatic food products in storage and the worries of consumers about safety and quality of aquatic food products lead to the development of active packaging (AP) and intelligent packaging (IP). AP techniques can preserve aquatic products by absorption of detrimental components, emission of beneficial components for preservation or antimicrobial and antioxidant coating. IP techniques can improve management efficiency in industry chain and decrease consumers' worries about safety and quality of aquatic food through label indicators and information tracing. Although new packaging technologies have been applied in fruit, vegetable and dairy food, etc, domestically and abroad, these for industrial aquatic food products in our country are still rare. This article summarized the main active and intelligent packaging technologies and their applications in aquatic food product in developed countries, aiming at providing guidance for the development in new packaging of aquatic food products in China.

KEY WORDS: aquatic food product; active packaging; intelligent packaging

基金项目: 国家大宗淡水鱼类产业技术体系项目(CARS-46)、“江苏省食品安全与质量控制协同创新中心”项目

Fund: Supported by Countries Freshwater Fish Industry Technology System Project (CARS-46) and Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province

*通讯作者: 夏文水, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水产品加工, E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn

*Corresponding author: XIA Wen-Shui, Professor, Doctoral Supervisor, School of Food Science and Technology, State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Wuxi 214122, China. E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn

1 引 言

水产品中水分含量高, pH 在中性范围, 离水宰杀后, 鱼体内含有的大量耐冷细菌遇到陆上适宜的温暖环境会大量繁殖, 造成水产品的腐败; 水产品自身含有丰富的内源蛋白酶系(胶原蛋白酶、组织蛋白酶、钙蛋白酶和丝氨酸蛋白酶等), 肉质柔嫩组织疏松, 容易降解导致结构劣化; 水产品不饱和脂肪酸较多, 容易氧化酸败产生不良气味, 品质下降。由微生物、酶、理化作用共同导致的水产品腐败变质, 不仅造成水产品食用品质和营养价值的下降, 而且还会带来食品安全问题。因此通过加工和保藏技术保证水产品的食用品质和安全是水产品加工行业重点关心的问题。传统的思路主要是采用高温的方法杀灭致病菌和腐败菌、钝酶以及熟化, 这一过程会造成一些热敏性营养成分的损失, 以及某些感官特性的下降(例如质地、色泽、风味、气味); 或采用冻藏、冰藏技术手段, 但对流通、销售环节冷链的要求较高。提高包装在防腐保鲜中的作用, 应用栅栏技术原理降低前期杀菌强度或降低后期对贮藏条件的要求, 能减少水产品营养损失和感官品质下降, 并保障食用安全^[1]。

加工行业关注水产品的保鲜保质, 消费者同样也很关心这一问题。在我国, 消费者倾向于购买鲜活的水产品, 体现了对水产品加工业信心的不足^[2]。问题的产生主要是由于消费者对水产品加工食品的来源、加工情况、流通情况未知造成的, 一旦出现水产品加工食品负面新闻的曝光, 消费者会出现恐慌心理从而排斥购买水产加工食品。指示剂、无线射频技术等新材料、新包装技术在水产加工食品上的应用^[3,4], 可以加强养殖-加工-销售链的管理, 并提供给消费者可视化的管理信息和食品品质信息, 让消费者来源放心、加工放心、销售放心, 消费者会倾向于购买比鲜活水产品食用更加快捷方便的水产品加工食品。

食品包装不仅提供产品信息, 宣传品牌价值, 通过视觉体验唤起消费者购买欲望, 还在食品的贮藏、运输、销售中起到对食品的防护作用。传统的食品包装主要起到物理阻隔和抗外界机械作用力的作用, 随着新技术和新材料的发展, 食品包装增添了很多新的功能特性, 比如控湿、气调、抗菌、抗氧化及智能指示等^[3-6]。抗菌种类可以降低食物配方中防腐剂的含量甚至可以做到零添加; 智能标签提高了产品的溯源性、消费者的互动性, 减少了消费者对食品安全的担心, 还可以向食品工业行内人员及时提供市场动态信息, 减少了食品资源的浪费。这些新兴的食品包装技术在国外的肉品、果蔬等食品上已有广泛应用, 主要是活性包装(active packaging, AP)和智能包装(intelligent packaging, IP)^[7](见图 1), 但我国食品新包装技术的发展还不够完善, 很多技术尚处在实验室研发阶段, 涉及到水产品新包装的研究更加少见。因此本文对活性和智能包装

技术及国内外水产品新包装技术成功案例进行总结综述, 旨在对我国未来水产品新包装的研发制备提供借鉴参考。

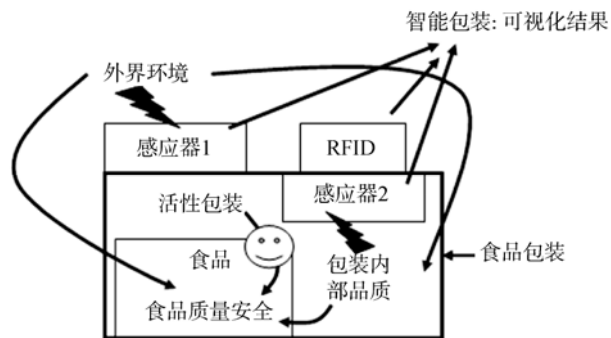


图 1 食品新包装技术

Fig. 1 New food packaging technologies

注: RFID 为无线射频识别标签

Note: RFID is short for radio frequency identification

2 活性包装技术

活性包装技术是指在包装材料或食品包装空隙中添加辅助物用以提高包装性能的技术, 这项技术可以提高食品安全, 保障食品品质, 延长食品货架期。活性包装依据对影响保藏的因素的控制方法可以分为吸收型、释放型和涂膜型; 但也有文献^[6,8]是按照控制成分来进行分类, 比如控制氧气、CO₂、乙烯、湿度、微生物及气味等, 本文采取的是前一种分类方法。

2.1 吸收型活性包装

吸收型活性包装主要有吸收氧气、CO₂和乙烯、降低湿度以及去除异味等类型。

去除包装中顶空氧的技术如热灌装技术、液氮灌装技术、排气技术、气调包装技术、真空包装技术, 并不能去除包装中的所有氧气, 充气包装约有 2.0%~5.0%的氧气残留, 真空包装或压缩包装约有 0.3%~3%的氧气残留, 而氧含量小于 0.1%才能有效控制保质期内由酶促反应、微生物滋生、以及生化反应导致的食物变质^[9]; 且去除保质期内透过包装材料的氧气也是必须要考虑的因素, 因而需要通过氧气吸收剂来清除贮藏期间食品包装中的残余氧气。水产品由于蛋白质含量丰富, 且脂肪主要以不饱和脂肪酸形式存在, 极易产生氧化, 不仅会产生不愉悦的气味, 还会产生有毒有害的物质, 在水产品包装中放置脱氧剂, 可以减少包装内氧气浓度或分压, 延缓水产品因氧化导致的产品劣化。

Gómez-Estaca 等^[10]在包装材料聚乙烯膜内添加抗氧化剂 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(butylated hydroxytoluene, BHT)或丁基羟基茴香醚(butylated hydroxyanisole, BHA), 可以延缓包括鱼制品在内的食品中脂肪的氧化速率;

Mohan 等^[11]研究了包装内放置的脱氧剂对马鲛鱼品质的影响,结果表明脱氧剂可以将产品保质期从 12 d 延长至 20 d, 产品的挥发性盐基态氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)和三甲胺氮(trimethylamine nitrogen, TMA-N)含量也有所下降,肌苷酸 IMP 下降和次黄嘌呤 Hx 上升速率显著减缓,平均 K 值、 K_1 值、 P 值、 H 值、 F_r 值和 G 值显著优于空气包装组。近些年由于人们对人工合成抗氧化剂的存疑,促进了天然抗氧化剂的使用,例如生育酚、茶多酚、植物提取物和中草药精油等^[12-14]。Barbosa-Pereira 等^[15]研究了 5 种含有茶多酚的天然化合物添加到聚乙烯膜内后对新鲜三文鱼的抗氧化效果,结果表明这些改性聚乙烯膜都对脂质氧化起到抑制作用,其中最好的一种改性包装塑料膜能减少鱼肉 30%~35%的脂质氧化。现在国内水产品消费市场没有直接将抗氧化剂添加到包装材料(包装膜、包装袋)中的水产食品,但有包含脱氧剂小袋的水产食品,脱氧剂主要为铁粉及其化合物,主要应用在油脂含量高的水产食品中。

包装中对湿度的控制主要针对易于吸湿的干制品,以及贮藏期内会发生水分迁移而造成其腐败变质的食品。将干燥剂密封于小袋内并置于包装中用以吸收多余水分是很成熟的技术,常用的干燥剂有硅胶、蒙脱土、膨润土、氧化钙、硫酸钙和分子筛等,国内超市售卖的鱿鱼丝、烤鱼片、渔趣海苔和鱼柳夹心牛肉粒等水产干制品就是通过干燥剂的使用来降低食品包装内湿度。相比而言,现在国外有将干燥剂成分直接添加到铝箔复合材料或包装袋中的工艺(英国 Baltimore Innovations 公司生产的 SuperDryFoil™ 包装材料,美国 Multisorb Technologies 公司生产的 DesiMax®SLF 包装材料,美国 CSP Technologies 公司生产的 Activ-Blister® 包装材料等);还有一类产品是国外超市比较常见而国内不多见的冷藏调理水产品,比如冷藏鳕鱼、冷藏三文鱼等,针对这类产品,国外采用包装垫或吸水垫用以去除冷藏期间水产品渗出的汁水^[16,17],包装垫及吸水垫多采用粉状或颗粒状聚合物如聚丙烯酸盐、淀粉接枝共聚物、高吸湿纸铺于微孔或无纺布聚合物夹层间。

一些发酵产品产生的 CO_2 会使包装膨胀或破裂,因此研究 CO_2 去除体系的使用十分必要。韩国 Lee 等^[18]研究了贮运流通环节发酵仍在进行的泡菜成熟动力学,这一研究对我国传统发酵酸鱼的包装有一定借鉴作用。我国的传统酸鱼因其酸香适口,发酵风味浓郁,深受湖南湘西、贵州黔东南等地区当地少数民族消费者的喜爱,但由于缺乏工业化、标准化,销售半径小,产品质量不稳定^[19]。如果将 CO_2 去除体系包装引入传统酸鱼的工艺中去,可以加快这种中国传统水产食品的工业化进程。 CO_2 吸收材料包括经 Na_2CO_3 或 KOH 处理过的活性炭无纺布^[20]和 Na_2CO_3 的琼脂基薄膜^[21]。

2.2 释放型活性包装

释放型活性包装主要有释放乙醇、 CO_2 、生物抗菌活

性物质等类型。

释放 CO_2 的包装可以克服一些脱氧包装产生的塌陷问题。高浓度的 CO_2 不仅可以抑制食品氧化,还由于其是酸性气体可以起到抑菌作用(好氧菌、革兰氏阳性菌,例如假单胞菌)。但是对于酵母、乳酸菌,高浓度 CO_2 具有促进生长的作用;且一些厌氧致病菌如肉毒杆菌、产气荚膜梭菌、李斯特菌不能被 CO_2 有效地抑制,在加工过程中还需要采取其他辅助手段加以控制。Hansen 等^[22]研究了 CO_2 释放剂对鳕鱼背肌块贮藏期的影响,结果发现 CO_2 的释放不能影响优势菌群的分布,发光细菌仍是优势菌群,但将 CO_2 释放剂与气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)相结合,可以将保质期从真空包装的 7 d 延长至 13 d。 CO_2 释放材料有碳酸氢钠/抗坏血酸体系(法国 SARL Codimer 公司的 Verifrais® package 产品),还有柠檬酸/碳酸氢钠体系(美国 CO_2 Technologies 公司的 CO_2 Fresh-Pads 产品)。

二氧化硫、二氧化氯、乙醇的释放具有有效的杀菌活性。在水产品中,用 ClO_2 减菌消毒的情况比较常见^[23],它主要通过改变细胞膜通透性杀死微生物,是一种广谱杀菌剂,其也可用作异味消除剂。美国 MicroActive Corp 公司的 Microsphere® 系统以及美国西南研究院发明的 Microgarde® 产品采用含有氯离子的芯材,通过酸酐水解进行控制,将 ClO_2 缓释到水产品包装内环境中^[3]。Shin 等^[24]和 Olgunoğlu 等^[25]研究了 ClO_2 缓释系统对包括水产品在内的肉制品品质影响,结果表明 ClO_2 可以显著抑制这些食品中沙门氏菌和李斯特菌的生长。乙醇是一种更加理想的食品杀菌剂,它的毒性比前两者更低,杀菌效果好,将乙醇杀菌袋放入包装内,通过贮藏期内乙醇蒸汽的缓释可以杀死霉菌、细菌、酵母菌。Appendini 等^[26]提到乙醇缓释包装可运用到鱼制品中,乙醇发生器是吸附或吸收乙醇的材料载体,并密封于聚合物袋子内,在保藏期内乙醇释放到包装顶部空间,这类产品仅要求加工食品的水分活度 $A_w < 0.92$ 即可,缺点是产品会有乙醇的异味。

2.3 涂膜型活性包装

涂膜型活性包装通常具有抗菌功能,通过抑制微生物的生长达到延长保质期的目的;有的抗菌剂还兼有抗氧化化的作用。食品腐败变质最主要的原因是其表面微生物的大量繁殖,因此通过抗菌材料与食品表面的直接接触,可以起到微生物抑制甚至杀灭的作用^[27]。抗菌剂一般有化学型和生物型,化学型抗菌剂一般热稳定,例如银代沸石、锌代沸石、氧化金属材料、有机酸(山梨酸、苯甲酸、丙酸及其盐类),生物型抗菌剂一般热不稳定,是由天然植物或动物中提取,例如酶类(溶菌酶、乳过氧化物酶、葡萄糖氧化酶)、精油、抗菌素(乳酸链球菌素、枯草杆菌肽、纳他霉素等)、壳聚糖和噬菌体等^[26,28]。与食品相接触的薄膜(coating, or film)一定要符合食品添加剂标准^[26]。

Gómez-Estaca 等^[28]研究了植物提取物涂膜以及壳聚糖涂膜对冷熏沙丁鱼保藏品质的影响, 发现植物提取物和壳聚糖均有好的抑菌效果, 其中牛至和迷迭香除抑菌效果外, 还具有延缓脂肪氧化的作用; 壳聚糖抑菌性最好, 可显著降低菌落总数和硫酸盐还原细菌总数, 在这些涂膜保鲜的水产品中, 均没有检测出发光细菌和大肠杆菌。

3 智能包装技术

智能包装技术是指具有人工智能功能的包装技术, 例如检测、感应、记录、追踪、反馈、货架期智能调控、警告等。智能包装主要有指示剂型、信息型。智能包装技术在我国水产品市场尚处在起步阶段, 如能将应用于其他食品的成功案例以及国外水产品智能包装加以借鉴, 对我国未来水产品行业的创新发展将会有很强的促进作用。

3.1 指示剂型智能包装

一种氧气指示剂采用光敏材料(例如二氧化钛)、还原染料(例如亚甲蓝)和自由电子供体(例如甘油)联合指示包装内的氧气。光敏材料先吸收紫外被触发, 产生电子-空穴对, 光敏空穴快速与自由电子供体反应, 剩下光敏电子; 若体系内含有一定浓度的氧气, 可以和还原型染料反应, 生成染料的氧化形式, 氧化型染料与光敏电子结合, 可以灵敏地呈现不同颜色^[29]。Khankaew 等^[30]将这项技术改良后, 应用到新鲜、冷藏食品包装中的氧气监测上, 含有雷马素艳兰的光敏指示剂在紫外照射下呈现黄色, 在有氧气的情况下会变为绿色, 而在缺氧条件下, 会变成蓝色。这些技术同样也可以运用到水产品真空包装和气调包装中 O₂ 含量的监测中, 从而获知气体是否泄漏, 包装是否完整^[31]。

食品被微生物的污染程度可通过包装材料中的 pH 敏感染料-光学传感器指示, 通过气体与指示剂的作用, 可以指示食品腐败情况^[32]。Pacquit 等^[33]将这项技术应用到鱼肉腐败(2 种鳕鱼)的检测中, 发现 pH 指示剂可以通过指示 TVB-N 产生情况反映鱼肉腐败情况, 研究者还发现这个指示剂同样还可以检测活菌数以及假单胞菌总数。

pH 敏感染料-光学传感器指示剂还可以用于监测脂肪氧化情况。脂肪氧化会导致肉类产品产生异味, 酸值提高, 硫代巴比妥酸法(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)是常用的测定脂肪二级氧化产物(醛类、羰基化合物、烃类)的方法^[34,35]。Vo 等^[36]研发了可以检测挥发性醛类的 pH 指示剂, 将亚甲红溶解于碱性甲醇溶液中固化在纤维素板上, 当食品发生氧化酸败时, 指示剂会从黄色变为红色。腌鱼、腊鱼在保藏过程中若存储不当, 会产生耗败味、哈喇味^[37,38], 运用脂肪氧化指示标签, 可以不用拆开包装就能获知产品是否变质。

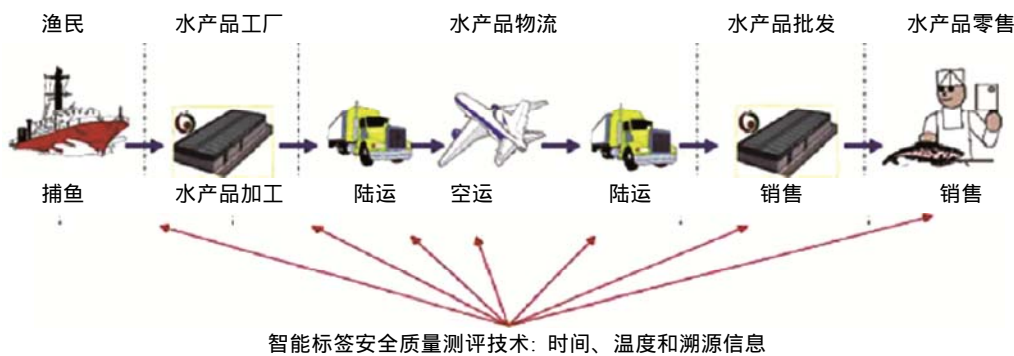
3.2 信息型智能包装

时间-温度标签(time-temperature indicator, TTI)智能包装可以将加工食品从出厂-运输-出售整个产业链中的温度影响记录在标签上, 便于消费者对食品的品质有直观的精准确断。由于这种标签也是一些指示剂材料根据不同环境变化做出的响应, 因此也有文献把它归为指示型包装技术^[39]。典型的此类包装产品有 3M Monitor Mark®、TRACEO®和 PDA/SiO₂ 纳米材料等。3M Monitor Mark®是蓝色酯类染料, 根据温度变化染料的熔化状态发生变化, 从而造成颜色变化; TRACEO®是基于微生物体系, 当产品经历过不当的高温放置, 体系会产生不可逆的粉色^[40]; PDA/SiO₂ 体系是根据活化能值计算温度的体系, 纯的 PDA(polydiacetylene, 聚双炔)和 PDA/SiO₂ 纳米材料的活化能 E_a 值分别为 79.46 和 96.29 kJ/mol, 根据 E_a 值和数学模型可以实时精准监测冷链上的食品温度变化^[41]; 除此之外, 还有一些基于化学反应的 TTI 标签, 例如应用了 Maillard 反应的化学指示 TTI 标签^[42]。Giannakourou 等^[43]评估了冷链中金头鲷的 TTI 包装技术, 强调了这项技术对冷链管理的重要性, 通过 TTI 获知时间-温度信息, 然后将基于酶学反应的 TTI 标签信息与鱼体表面优势菌群假单胞菌和腐败菌建立数学模型, 通过特殊算法可以分析鱼肉新鲜程度。Ellouze 等^[44]运用 TTI 标签研究了烟熏三文鱼的品质, 重点预测了李斯特菌落总数以及其对水产品安全的影响。然而, 这项技术也存在一定的缺陷, 它只能反映加工后的水产品品质变化信息, 不能获知源头的水产品品质信息, 将 TTI 标签和无线射频识别标签(radio frequency identification, RFID)相结合可以改善这一缺点。

RFID 可以获取并存储信息, 不需要人工操作即可获得准确、实时信息。这项技术的应用可以实时更新食品的物流信息, 提高了物流链的管理效率; 而且对标签食品有溯源性, 对于收回某一批次不合格食品有精确性和高效性。虽然用到了高新技术, RFID 的成本却在下降以提高其市场竞争力, 仅有 6~8 欧分^[45]。Abad 等^[3]探讨了 RFID 在跨洲际的鲜鱼冷链运输中的示范作用, 提出了这项技术可以用于实时监控和追踪: RFID 系统主要有智慧标签和商业阅读器, 智慧标签综合了光、温度、湿度感应器、微处理器、记忆芯片、低功率电池和天线, 传感器收集信息后记录于芯片中, 遇到商业阅读器后, 会将存储信息上传。图 2 说明 RFID 在鲜鱼打捞、加工、物流、批发商、零售商整个过程中都起到了信息跟踪作用。Smits 等^[46]运用 RFID 记录温度、湿度和挥发胺类化合物, 获知了鳕鱼的新鲜度。

4 水产品新包装开发面临的挑战和发展趋势

水产品新包装主要面临的挑战有包装材料的污染问题和新包装技术改良问题。

图 2 RFID 在洲际鲜鱼运输中的应用^[3]Fig. 2 Application of RFID in international transportation of fresh fish^[3]

污染问题是整个食品包装行业主要考虑的问题, 主要涉及包装材料废弃后对环境的污染, 以及在食品保藏期内向食品发生物质迁移带来的食品安全问题, 例如不可生物降解的塑料加重了环境负担; 聚碳酸酯材料 (poly carbonate, PC) 中释放的双酚 A 会导致人体内分泌失调^[47]; 微波、高压和辐照加工操作会导致包装材料中的长链直链烷烃、苯化合物、抗氧化剂向食品中发生迁移, 而这些物质在食用超过一定剂量后会对人体造成伤害^[48-50]。因此开发可生物降解、对人体无毒无害的新型包装将是未来发展趋势。

在确保水产品包装对水产制品安全的基础上, 需要对新包装技术进行进一步的提升: (1) 需要考虑到一些新型天然生物材料的物理化学性能的改性。因为这些生物材料的机械性能、热稳定性、阻隔性一般不如人工合成材料, 通过物理化学改性技术、纳米技术可以弥补这些新型生物材料性能的不足^[51-53], 未来可以考虑运用新的物理、生物手段提高生物材料性能而又能保证其安全性。(2) 现有的一些活性包装由于添加了很多成分, 使之有颜色、气味; 加之消费者对这种包装形式认知和接受程度低; 而且由于技术限制, 成本高, 会造成新包装水产品市场销售的困难^[5], 需要加强活性包装的宣传及普及, 加快技术创新和降低成本, 促进水产品新包装的发展。(3) 智能标签可以在水产品无损检测技术的理论上作进一步发展^[54]。通过无损检测技术, 可以在不破坏水产品样品的前提下获得产品质量的精准数据。

5 结 语

我国水产品新包装技术研究还在起步萌芽阶段, 通过借鉴国外先进思路以及我国对水产品加工和保藏技术的研究基础, 可以开发适用于我国特色大宗水产品的绿色环保、创新、智慧的水产食品新包装。未来扩大活性包装和智能包装在我国水产品加工中的应用范围, 可以丰富我国

水产食品形式, 促进我国水产品加工业的发展; 并能辅助水产品质量安全监督管理, 加强我国消费者对加工水产食品安全品质的信心, 从而形成水产加工业的良性循环。

参考文献

- [1] 夏文水. 食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
Xia WS. Food technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009.
- [2] 戈贤平. 中国现代农业产业可持续发展战略研究-大宗淡水鱼分册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
Ge XP. China agriculture research system-fresh water fish in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [3] Abad E, Palacio F, Nuin M, *et al.* RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain [J]. *J Food Eng*, 2009, 93(4): 394-399.
- [4] Rukchon C, Nopwinyuwong A, Trevanich S, *et al.* Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast [J]. *Talanta*, 2014, 130: 547-554.
- [5] Realini CE, Marcos B. Active and intelligent packaging systems for a modern society [J]. *Meat Sci*, 2014, 98(3): 404-419.
- [6] Mohan CO, Ravishankar CN, Gopal TKS. Active packaging of fishery products: a review [J]. *Soc Fish Technol Cochin*, 2010, 47(1): 1-18.
- [7] 许文才, 付亚波, 李东立, 等. 食品活性包装与智能标签的研究及应用进展[J]. *包装工程*, 2015, 36(5): 1-10.
Xu WC, Fu YB, Li DL, *et al.* Research and application progress of food active packaging and smart labels [J]. *Pack Eng*, 2015, 36(5): 1-10.
- [8] Ozdemir M, Floros JD. Active food packaging technologies [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2004, 44(3): 185-193.
- [9] Zhang M, Meng X, Bhandari B, *et al.* Recent developments in film and gas research in modified atmosphere packaging of fresh foods [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2016, 56(13): 2174-2182.
- [10] Gómez-Estaca J, López-De-Dicastillo C, Hernández-Muñoz P, *et al.* Advances in antioxidant active food packaging [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2014, 35(1): 42-51.
- [11] Mohan CO, Ravishankar CN, Srinivasa Gopal TK, *et al.* Nucleotide breakdown products of seer fish (*Scomberomorus commerson*) steaks

- stored in O₂ scavenger packs during chilled storage [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2009, 10(2): 272–278.
- [12] Granda-Restrepo DM, Soto-Valdez H, Peralta E, *et al.* Migration of α -tocopherol from an active multilayer film into whole milk powder [J]. *Food Res Int*, 2009, 42(10): 1396–1402.
- [13] Dopico-García MS, Castro-López MM, López-Vilariño JM, *et al.* Natural extracts as potential source of antioxidants to stabilize polyolefins [J]. *J Appl Polymer Sci*, 2011, 119(6): 3553–3559.
- [14] Uçak İ, Özogul Y, Durmuş M. The effects of rosemary extract combination with vacuum packing on the quality changes of Atlantic mackerel fish burgers [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2011, 46(6): 1157–1163.
- [15] Barbosa-Pereira L, Cruz JM, Sendón R, *et al.* Development of antioxidant active films containing tocopherols to extend the shelf life of fish [J]. *Food Control*, 2013, 31(1): 236–243.
- [16] Dobrucka R, Cierpiszewski R. Active and intelligent packaging food-research and development-a review [J]. *Polish J Food Nutr Sci*, 2014, 64(1): 7–15.
- [17] Oluwole AO. Modified atmosphere packaging and quality of fresh Cape hake (*Merluccius capensis*) fish fillets [D]. Stellenbosch: Stellenbosch Stellenbosch University, 2014.
- [18] Lee HL, An DS, Lee DS. Effect of initial gas flushing or vacuum packaging on the ripening dynamics and preference for Kimchi, a Korean fermented vegetable [J]. *Pack Technol Sci*, 2016, 29(8–9): 479–485.
- [19] Zeng X, Xia W, Jiang Q, *et al.* Chemical and microbial properties of Chinese traditional Low-Salt fermented whole fish product Suanyu [J]. *Food Control*, 2013, 30(2): 590–595.
- [20] Liu BT, Shui YH, Zhu GY. Adsorption of a non-woven fabric with activated carbon for CO₂ [J]. *Adv Mater Res*, 2012, 518: 683–686.
- [21] Wang HJ, Jo YH, An DS, *et al.* Properties of agar-based CO₂ absorption film containing Na₂CO₃ as active compound [J]. *Food Pack Shelf Life*, 2015, 4: 36–42.
- [22] Hansen AA, Moen B, Rødbotten M, *et al.* Effect of vacuum or modified atmosphere packaging (MAP) in combination with a CO₂ emitter on quality parameters of cod loins (*Gadus morhua*) [J]. *Food Pack Shelf Life*, 2016, 9: 29–37.
- [23] Véronique C. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products [J]. *Meat Sci*, 2008, 78(1): 90–103.
- [24] Shin J, Harte B, Selke S, *et al.* Use of a controlled chlorine dioxide (ClO₂) release system in combination with modified atmosphere packaging (MAP) to control the growth of pathogens [J]. *J Food Qual*, 2011, 34(3): 220–228.
- [25] Olgunoğlu İA. *Salmonella* in fish and fishery products - A dangerous foodborne pathogen [D]. Mississippi: Mississippi State University, 2012.
- [26] Appendini P, Hotchkiss JH. Review of antimicrobial food packaging [J]. *Innovat Food Sci Emerg Technol*, 2002, 3(2): 113–126.
- [27] Gouvêa DM, Mendonça RCS, Lopez MES, *et al.* Absorbent food pads containing bacteriophages for potential antimicrobial use in refrigerated food products [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2016, 67: 159–166.
- [28] Gómez-Estaca J, Montero P, Giménez B, *et al.* Effect of functional edible films and high pressure processing on microbial and oxidative spoilage in cold-smoked sardine (*Sardina pilchardus*) [J]. *Food Chem*, 2007, 105(2): 511–520.
- [29] Mills A, Hazafy D. A solvent-based intelligence ink for oxygen [J]. *Analyst*, 2008, 133(2): 213–218.
- [30] Khankaew S, Mills A, Yusufu D, *et al.* Multifunctional anthraquinone-based sensors: UV, O₂ and time [J]. *Sensors Actuators B: Chem*, 2017, 238: 76–82.
- [31] Nosedá B, Vermeulen A, Ragaert P, *et al.* Packaging of fish and fishery products, in seafood processing [M]. Oxford: Wiley, 2014.
- [32] Puligundla P, Jung J, Ko S. Carbon dioxide sensors for intelligent food packaging applications [J]. *Food Control*, 2012, 25(1): 328–333.
- [33] Pacquit A, Frisby J, Diamond D, *et al.* Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage [J]. *Food Chem*, 2007, 102(2): 466–470.
- [34] Frank F, Xu Y, Xia W. Protective effects of garlic (*Allium sativum*) and ginger (*Zingiber officinale*) on physicochemical and microbial attributes of liquid smoked silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) wrapped in aluminium foil during chilled storage [J]. *Afr J Food Sci*, 2014, 8(1): 1–8.
- [35] Li X, Luo Y, You J, *et al.* Stability of papain-treated grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) protein hydrolysate during food processing and its ability to inhibit lipid oxidation in frozen fish mince [J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(1): 542–548.
- [36] Vo E, Murray DK, Scott TL, *et al.* Development of a novel colorimetric indicator pad for detecting aldehydes [J]. *Talanta*, 2007, 73(1): 87–94.
- [37] Moretti VM, Vasconi M, Caprino F, *et al.* Fatty acid profiles and volatile compounds formation during processing and ripening of a traditional salted dry fish product [J]. *J Food Process Preserv*, 2016, (just accepted).
- [38] Zhang H, Li Y, Xu K, *et al.* Microbiological changes and biodiversity of cultivable indigenous bacteria in Sanbao larger yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*), a Chinese salted and fermented seafood [J]. *J Food Sci*, 2015, 80(4): 776–781.
- [39] Heising JK, Dekker M, Bartels PV, *et al.* Monitoring the quality of perishable foods: opportunities for intelligent packaging [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2014, 54(5): 645–654.
- [40] Hogan SA, Kerry JP. Smart packaging of meat and poultry products, in smart packaging technologies [M]. Oxford: Wiley, 2008.
- [41] Nopwinyuwong A, Nandhivajrin C, Boonsupthip W, *et al.* Response modelling of time-temperature indicator based on polydiacetylene/silica nanocomposite [C]. Iapri World Conference on Packaging, 2014.
- [42] Rokugawa H, Fujikawa H. Evaluation of a new maillard reaction type time-temperature integrator at various temperatures [J]. *Food Control*, 2015, 57: 355–361.
- [43] Giannakourou MC, Koutsoumanis K, Nychas GJE, *et al.* Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain [J]. *Int J Food Microbiol*, 2005, 102(3): 323–336.
- [44] Ellouze M, Gauchi JP, Augustin JC. Use of global sensitivity analysis in quantitative microbial risk assessment: Application to the evaluation of a biological time temperature integrator as a quality and safety indicator for cold smoked salmon [J]. *Food Microbiol*, 2011, 28(4): 755–769.
- [45] Regattieri A, Gamberi M, Manzini R. Traceability of food products: General framework and experimental evidence [J]. *J Food Eng*, 2007,

- 81(2): 347–356.
- [46] Smits E, Schram J, Nagelkerke M, *et al.* Development of printed RFID sensor tags for smart food packaging [C]. 14th International Meeting on Chemical Sensors, 2012.
- [47] Maia J, Cruz JM, Sendón R, *et al.* Effect of amines in the release of bisphenol A from polycarbonate baby bottles [J]. *Food Res Int*, 2010, 43(5): 1283–1288.
- [48] Tang Y, Lu L, Zhao W. Comparative effects of microwave and water bath on the packing films of milk [J]. *Int J Food Eng*, 2011, 7(5): 1183–1194.
- [49] Rivas-Cañedo A, Fernández-García E, Nuñez M. Volatile compounds in fresh meats subjected to high pressure processing: Effect of the packaging material [J]. *Meat Sci*, 2009, 81(2): 321–328.
- [50] Jeon DH, Park GY, Kwak IS, *et al.* Antioxidants and their migration into food simulants on irradiated LLDPE film [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2007, 40(1): 151–156.
- [51] Elsabee MZ, Abdou ES. Chitosan based edible films and coatings: A review [J]. *Mater Sci Eng C*, 2013, 33(4): 1819–1841.
- [52] Srinivasa PC, Ramesh MN, Tharanathan RN. Effect of plasticizers and fatty acids on mechanical and permeability characteristics of chitosan films [J]. *Food Hydrocolloids*, 2007, 21(7): 1113–1122.
- [53] Xu Y, Ren X, Hanna MA. Chitosan/clay nanocomposite film preparation and characterization [J]. *J Appl Polymer Sci*, 2006, 99(4): 1684–1691.
- [54] 杨方, 胡方园, 夏文水, 等. 无损检测技术在鱼类及其产品监测中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(3): 651–657.
- Yang F, Hu FY, Xia WS, *et al.* Non-destructive techniques for quality evaluation and safety assessment of fish and fish products-a review [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(3): 651–657.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



杨 方, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为水产品加工与贮藏。
E-mail: yangfang_8_9@126.com



夏文水, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水产品加工。
E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn