

贝类开壳技术与装备研究现状及发展趋势

欧阳杰, 张军文, 谈佳玉, 沈建*

(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 国家水产品加工装备研发分中心, 农业部远洋渔船与装备重点实验室,
上海 200092)

摘要: 开壳是贝类加工中必不可少的一项重要工序, 其效果直接影响着后续加工产品的品质。为了解目前国内外贝类开壳技术及装备的现状和存在的问题, 本文对人工开壳、热力开壳、超高压开壳和微波开壳等贝类开壳技术与装备的研究进展和应用现状进行分析, 对不同开壳方法的优缺点进行对比, 对存在的主要问题归纳总结, 并提出了解决方案, 同时对贝类开壳技术与装备的发展趋势进行了展望, 以期丰富贝类开壳加工理论基础, 为贝类开壳技术创新和设备研发提供一定的参考和借鉴。

关键词: 贝类; 开壳; 技术; 装备; 热力; 超高压; 微波

Current Status and Future Perspectives of Shellfish Shucking Technology and Equipment

OUYANG Jie, ZHANG Junwen, TAN Jiayu, SHEN Jian*

(Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Ocean Fishing Vessel and Equipment, Ministry of Agriculture, National R & D Branch Center For Aquatic Product Processing Equipment, Shanghai 200092, China)

Abstract: Shucking is an indispensable step for shellfish processing. The shucking efficiency directly affects the quality of the subsequent processing. In order to gain insights into the current status and problems for the development of shellfish shucking technology and equipment in China and abroad, this article reviews the current shellfish shucking technologies and equipment such as manual shucking, thermal shucking, ultrahigh pressure shucking and microwave shucking and compares their advantages and disadvantages. The main problems existing in this area are summarized and some possible solutions are proposed. Furthermore, future trends are discussed. It is expected that this review can enrich the theoretical basis of shellfish shucking and provide valuable information for technical innovation and new equipment development for shellfish shucking.

Keywords: shellfish; shucking; technique; equipment; heating; ultrahigh pressure; microwave

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201805011

中图分类号: S985.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2018) 05-0064-05

引文格式:

欧阳杰, 张军文, 谈佳玉, 等. 贝类开壳技术与装备研究现状及发展趋势[J]. 肉类研究, 2018, 32(5): 64-68. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201805011. <http://www.rlyj.pub>

OUYANG Jie, ZHANG Junwen, TAN Jiayu, et al. Current status and future perspectives of shellfish shucking technology and equipment[J]. Meat Research, 2018, 32(5): 64-68. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201805011. <http://www.rlyj.pub>

贝类肉质鲜嫩、营养丰富, 富含脂质、氨基酸及活性蛋白、糖类、微量元素等营养成分, 具有改善血脂、抗疲劳、提高免疫力等功效, 同时又较容易捕获, 因此早在渔猎时代就已成为人类的重要食材, 深受消费者的喜爱^[1]。2016年, 中国贝类总产量约1 529 wt, 占渔业总产量的22%, 是产量最大的大宗水产品之一。贝类的生产和销售具有较强的地域性和季节性, 呈沿海多内陆

少的分布模式, 90%以上的贝类分布在沿海地区, 以海水养殖居多, 其中以牡蛎、蛤类、扇贝和贻贝的产量最大, 占贝类总产量的80%以上, 而广大内陆地区贝类的产量很低, 只有淡水螺和珍珠蚌的养殖稍具规模^[2-4]。由于贝类常年生活在水中或滩涂等湿润环境中, 离水后存活时间较短, 鲜活流通与贮运难度大, 因此在贝类肉多肥美、集中上市的季节, 单纯依靠鲜销无法消耗其巨大

收稿日期: 2018-02-19

基金项目: 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所基本科研业务费资助项目(2017YJS003);

国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-49-06B)

第一作者简介: 欧阳杰(1983—), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为水产品加工技术与装备。E-mail: ouyangjie@fmiri.ac.cn

*通信作者简介: 沈建(1971—), 男, 研究员, 本科, 研究方向为水产品加工技术与装备。E-mail: shenjian@fmiri.ac.cn

的产量,需及时进行加工处理^[5-6]。目前,贝类加工产品主要有干制品和冷冻品,少数烟熏、加工成罐头和保健食品等,但无论加工成何种产品大多需要先进行开壳加工处理^[7-8]。由于贝类具有非常强健的闭壳肌,因此将贝肉从壳中取出并不容易,加之贝类种类繁多、形状及大小各异,且机械通用性差,研发贝类开壳新技术、研制贝类开壳新装备是实现贝类规模化加工必须要解决的主要问题^[9-10]。

本文对国内外贝类开壳加工技术与装备现状进行分析,对比传统开壳方法的优缺点,对开壳新技术进行了介绍,并对贝类开壳技术与装备的发展趋势进行了展望,以期丰富贝类开壳加工理论基础,为贝类开壳技术创新和设备研发提供参考和借鉴。

1 贝类开壳加工现状

贝类开壳按照原理主要分为机械强制剥离和松弛闭壳肌2种,机械强制剥离是通过刀具或简易设备强行将贝壳撬开取肉的方法,多依靠人工处理;松弛闭壳肌是通过热处理、压力、微波等刺激手段,使闭壳肌灭活、收缩或松弛,从而使壳张开的方法。贝类开壳技术主要有热力开壳、超高压开壳、微波开壳、激光开壳及电击开壳等^[11];应用较多的开壳装备主要有蒸汽开壳机和超高压开壳机。

1.1 传统开壳技术

1.1.1 人工开壳

人工开壳是指采用刀具或特制小工具沿着贝壳的缝隙切入,再用力将贝壳撬开,把贝肉从壳体中强制分离的方法。这种开壳方法的优点是能保持贝肉的生鲜状态,营养流失少,缺点是开壳效率低,且容易破坏边缘壳体,部分残壳混入贝肉中,影响其食用和后续加工。特别是对于牡蛎、扇贝等闭壳肌特别强健的大型贝类,人工开壳劳动强度大、效率较低,对工人的技巧性要求也较高;同时由于开壳工具和贝壳边缘比较锋利,容易划伤工人,存在一定的危险性;此外,手工开壳的贝肉完整性不高,安全卫生性也很难保证,不能满足规模化生产要求^[12]。随着人口老龄化的日趋严重,加工企业用工成本不断增加,人工开壳已经逐渐不能满足加工企业的发展要求,迫切需要采用机械来替代人工。

1.1.2 热力开壳

热力开壳是通过加热的方式使闭壳肌松弛或灭活而开壳的方法,主要包括蒸煮开壳和蒸汽直喷开壳2种方式^[13]。经加热处理的贝类不仅容易开壳,而且还能起到灭菌的作用,保证贝类的食用安全,是比较快速、效果较好的闭壳肌脱离方法;其缺点是蒸煮过程会导致部分营养和呈味物质流失、活性物质受到破坏、蛋白质变性及肌

肉缩水等,造成贝肉的品质和口感下降,影响其后续加工^[14-15]。开壳温度和时间是影响热力开壳效率和贝肉品质最重要的参数,温度太低、时间太短无法完成脱壳,温度太高、时间太长则会导致贝肉过度熟化。陈铮等^[16]的研究表明,当开壳温度达70℃时,牡蛎闭壳肌肌原纤维蛋白中约有80%的 α -螺旋结构被破坏。因此,采用热力开壳需严格控制加热时间和温度,尽量保持贝肉的生鲜度,避免贝肉熟化^[17]。张静等^[18]的研究表明,当蒸汽温度为120℃、喷射时间为5~10s时,扇贝的脱壳效果较好;刘志杰等^[19]研究认为牡蛎内部最终温度为38~50℃、喷射时间20s、加热总时间60s、喷射距离10cm时的开壳效果最佳;Martin等^[20-21]发明了一种先蒸汽加热再低温液氮快速冷却的牡蛎开壳方法,脱壳率超过85%。

关于热力开壳设备,美国在20世纪30年代发明了蒸汽贝类脱壳机;1969年发明了扇贝蒸汽脱壳机,通过蒸汽对扇贝进行喷射,然后利用振动筛将肉壳分离^[23]。日本研制的扇贝自动脱壳机采用过热蒸汽对扇贝进行快速加热,再用真空吸盘使扇贝强制开口,然后通过真空吸力将闭壳肌周边的脏器吸除,最后将扇贝壳及其他物质去除,仅留取闭壳肌。该设备能自动分离扇贝壳、闭壳肌、裙边及内脏,自动化程度高,但只适用于虾夷扇贝等壳面平整的大体型扇贝,不适用于小个体扇贝^[11]。中国于20世纪60年代研制成功了针对蛤类的脱壳机械,采用加热蒸煮开壳后通过机械振动、水流重力等原理进行壳肉分离^[24]。河北农业大学发明了一种蒸汽式扇贝开壳装置,可以实现扇贝开壳的连续加工^[25]。有专利公开了一种夹持式贝类蒸煮机,通过夹持蒸煮有效防止贝肉过早脱离贝壳,避免贝肉与贝壳间的反复摩擦,保证贝肉完整^[26-27];大连经济技术开发区正水设备厂发明了一种贝类蒸煮加工自动生产线,通过可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)控制,配合相应的传感器,可实现给料、蒸煮、出料、壳肉分离及漂洗等工序的全程自动化^[28]。

1.1.3 微波开壳

微波开壳是利用微波的穿透性和热效应,通过微波高频振荡使贝肉中的水分子无规则剧烈运动,摩擦产生大量的热量而使贝类的温度迅速升高,从而使闭壳肌受热变性与壳体分离的技术,本质上属于热力开壳^[29-31]。微波开壳研究始于20世纪60年代,最初的设备需首先对贝类闭壳肌进行定位,然后再将微波集中辐射到闭壳肌处,实现肉壳分离。随着技术的不断进步,发明了隧道式微波连续脱壳系统,无需进行定位,将贝类置于输送带上,输送带上方安装有微波发生器,利用产生的微波使贝肉受热开壳,实现连续自动化作业^[32]。

微波开壳的优点是加热时间短、升温速率快、开壳效率高,开壳率可达98%~100%;缺点是微波开壳后的

贝肉熟化程度高、汁液流失较多、缩水较严重,因此,采用微波进行开壳时需对微波的功率和时间进行优化,微波功率不宜太高,加热时间不宜过长。

1.2 前沿开壳技术

1.2.1 超高压开壳

超高压开壳法是将贝类放置在密闭的超高压容器中,利用超高压迫使贝类闭壳肌纤维和组织变性,致使肉与壳的结合紧密度下降,闭壳力受损,从而使闭壳肌从贝壳上脱落的开壳方法,可以在不借助外力的条件下实现贝的壳肉分离^[33-35]。He等^[36]的研究表明,在200 MPa以上的压力下加压2 min即可实现贝壳与贝肉的自动分离,脱壳完好,且不需太长的保压时间;经超高压处理后,贝肉的新鲜度、色泽、口感等均变化不大,且能有效降低贝肉中的微生物数量,延长新鲜贝肉的保质期^[37-42]。李学鹏等^[43]通过对脱壳效果、得肉率和贝肉品质进行研究,认为压力300 MPa、保压时间1 min为牡蛎开壳的最佳工艺条件;易俊洁等^[44]将鲍鱼在300 MPa的超高压下处理,100%完成开壳,比人工开壳节省72%的时间,同时经超高压处理的鲍鱼菌落总数显著降低,持水性明显提高;王敏^[45]将贻贝在300 MPa的压力下保压处理2 min,脱壳效果较好,且能改善贝肉的质构;芦新春等^[11]的研究表明,温度也是影响超高压开壳的因素,在适宜的温度条件下进行超高压加工可有效降低压力值、缩短保压时间。

按照压力产生的方式,超高压设备可分为间接加压设备和直接加压设备,贝类开壳一般采用间接加压,即将原料置于高压容器中,通过从外部管路泵入压力介质,使容器内压力增大,完成对物料的加压,压力介质一般为水或油^[46]。目前,超高压设备与技术日趋成熟,最高压力可达800~1 000 MPa,但存在连续化程度低、处理量少、设备昂贵等缺点,仅停留在实验室应用阶段,未实现规模化应用。

1.2.2 激光开壳

激光开壳法是将激光束直接对准闭壳肌,在激光的热作用下使闭壳肌完全从贝壳上脱落的方法。激光开壳对贝肉营养的破坏较小,开壳率高达100%,适用于扇贝、牡蛎等个体较大的贝类。芦新春等^[11]的研究表明,70 W激光辐射1 min左右就能使扇贝闭壳肌脱落^[11]。由于激光开壳需通过人工或机械视觉、图像处理等技术对闭壳肌进行定位,开壳效率较低,因此较难实现连续化与规模化,在实际生产中应用较少^[47-48]。

1.2.3 电击开壳

电击开壳是利用高压脉冲电压对贝类进行强刺激,导致贝类心脏因受电击瞬间停止跳动而死亡,从而使闭壳肌失去作用而开壳的技术^[49]。电击开壳可分为直接电击和导电液间接电击2种,直接电击是直接

将脉冲电源的正负极之间,直接通电开壳,优点是能使贝肉保持生鲜状态,缺点是需对闭壳肌进行定位,开壳效率低,操作时存在一定的安全隐患;导电液间接电击可以提高开壳效率,安全性方面也更可靠,但电击后的贝类开壳间隙通常较小,还需要借助其他工具或方法进一步开壳,较难实现连续开壳。

1.2.4 冷冻开壳

冷冻开壳时先将贝类冻结,然后放入转动的开孔滚筒中,经碰撞使贝类的后部韧带、闭壳肌与贝壳分离,在离心力的作用下使解冻的肉与壳分离,体积较小的贝肉从滚筒的开孔中掉入收集箱,壳从滚筒的另一端出来,实现连续开壳。冷冻开壳的缺点一是开壳率还有待提高,因为一部分贝类经碰撞转动无法实现壳肉分离;二是冷冻会造成贝肉蛋白质不同程度的变性,影响其口感,且不利于后续加工;三是开壳过程中会有部分碎壳混入贝肉中,需要进行进一步的壳肉分离^[50]。

1.2.5 化学溶液浸泡开壳

化学溶液浸泡开壳是利用一些化学溶液能够抑制动物的神经活动的原理,使贝类闭壳肌松弛而开壳的技术。将牡蛎浸渍于与海水相同渗透压的镁溶液中1 h后,40%的牡蛎开壳,2 h后开壳率达60%;将镁溶液的浓度提高1倍后,浸渍2 h后的开壳率可达80%;将开壳的牡蛎再浸泡于海水中,剥肉的牡蛎可收缩恢复原状^[51]。采用一定浓度的氢氧化钠或氢氧化钾处理扇贝时,由于氢氧化物处理会造成部分内脏和起连接作用的薄膜组织发生腐烂变质,因此后续脱壳会更容易、更有效。由于在化学溶液中浸泡的时间较长,因此怎样将渗透进贝肉中的化学物质排出、残留在贝肉中的化学物质是否对人体有不利影响等问题还有待继续深入研究。

不同开壳方法的开壳情况对比如表1所示。

表1 不同开壳方法开壳情况对比
Table 1 Comparison of different shellfish shucking methods

开壳方法	开壳效率	贝肉品质	开壳设备	适用性
人工开壳	开壳效率高,单个开壳时间10 s左右	贝肉生鲜,汁液流失少	简易工具,无需设备	牡蛎、扇贝等个体较大的贝类
热力开壳	开壳效率较高,批次开壳时间2~3 min,开壳率高	部分蛋白质热变性,贝肉轻微缩水	设备容易实现,造价低	所有贝类
微波开壳	开壳效率高,批次开壳时间30 s左右,开壳率高	部分蛋白质热变性,贝肉缩水,汁液流失较多	设备容易实现,造价低	所有贝类
超高压开壳	批次开壳时间1~2 min,开壳率较高	贝肉较生鲜,汁液流失较少	设备造价高,处理量小,生产不连续,存在一定温升	牡蛎、扇贝等个体较大的贝类
冷冻开壳	开壳效率低,需先冻结再开壳,开壳率较低	贝肉生鲜,存在一定冷冻变性	由冷冻设备和离心设备组合而成,无专用设备	所有贝类
激光开壳	开壳效率较高,单个开壳时间1 min左右,开壳率高	贝肉生鲜,汁液流失少	实验室阶段,无成熟设备,实际应用难度大	牡蛎、扇贝等个体较大的贝类
电击开壳	开壳效率高,批次开壳时间1 min左右,开壳率较高	贝肉生鲜,汁液流失少	中试试验阶段,无成熟设备	牡蛎、扇贝等个体较大的贝类
化学溶液浸泡开壳	开壳效率低,批次开壳时间2 h以上,开壳率低	贝肉生鲜,可能有金属离子残留	实验室阶段,无设备	牡蛎、扇贝等个体较大的贝类



2 贝类开壳技术与装备发展趋势

随着贝类加工比例的逐年增加以及消费者对脱壳贝肉新鲜度要求的不断提高,贝类加工企业对贝类开壳新技术和装备的需求进一步增长。未来贝类开壳技术与装备的发展将以生鲜开壳为目标,不断突破超高压、电击开壳等技术瓶颈,逐步取代热力开壳和微波开壳等传统开壳技术,研制可实现保持贝类生鲜、连续和智能开壳的设备,以满足产业发展需求^[52-55]。

2.1 生鲜开壳技术与装备

目前,可实现生鲜开壳的超高压、电击开壳等方法均还只停留在实验室阶段或小试阶段,处理能力比较低,距离产业化应用还需要较长时间。需在掌握贝类开壳机理的基础上,对超高压开壳、电击开壳等技术和工艺参数进行更进一步的研究,优化脱壳工艺和技术,研制生鲜开壳设备,开展中试实验并逐渐放大应用,最终实现生鲜快速开壳。

2.2 连续开壳技术与装备

连续开壳是实现贝类开壳工业化生产的前提。生鲜开壳后的贝类不像热力开壳后的贝类一样贝壳完全张开,而通常只是微微张开或开口较小,要实现连续开壳还需要经过一道或多道工序,使贝壳完全张开,再进行壳肉分离。在保证贝肉生鲜状态的前提下实现连续开壳是贝类开壳技术与装备产业化应用的难点与重点。

2.3 智能开壳技术与装备

现有脱壳设备的精准化和智能化程度较低,未来的发展趋势将是结合三维激光定位技术、多光谱视觉检测技术等高新技术,精准定位闭壳肌位置,并根据闭壳肌的特点自动选择适宜的刺激方式对闭壳肌进行精准刺激,通过机械视觉等技术自动判定开壳完成时间点,防止过度刺激,从而形成完整、精准、智能型开壳模式,研发可实现智能开壳的关键设备,并集成自动化生产线,使贝类脱壳达到规模化加工、自动化控制和智能化管理的先进水平。

3 结 语

创新贝类开壳技术、研发高效开壳装备是提高贝类加工水平、提升贝类加工效率、保持贝肉品质及保障贝类食用安全的重要途径。我国的贝类开壳技术与装备研究虽然取得了一定的进展和成果,但产业化应用还存在较大难度,尚不能满足加工企业的需求,需持续加大科研投入,注重技术革新,提高装备性能,促进贝类加工产业的发展。

参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 17-30.
- [2] 欧阳杰, 沈建, 郑晓伟, 等. 水产品加工装备研究应用现状与发展趋势[J]. 渔业现代化, 2017, 44(5): 73-78. DOI:10.3969/j.issn.1007-9580.2017.05.014.
- [3] 徐文其, 沈建. 中国贝类前处理加工技术研究进展[J]. 南方水产科学, 2013, 9(2): 76-80. DOI:10.3969/j.issn.2095-0780.2013.02.013.
- [4] 阙华勇, 张国范. 我国贝类产业技术的现状与发展趋势[J]. 海洋科学集刊, 2016, 51(11): 69-76. DOI:10.12036/hyxxjk20160725004.
- [5] 姜朝军. 我国贝类加工产业存在的主要问题与发展对策[J]. 渔业信息与战略, 2012, 27(2): 87-93. DOI:10.3969/j.issn.1004-8340.2012.02.001.
- [6] 沈建, 林蔚. 我国贝类加工现状与发展前景[J]. 中国水产, 2008(3): 73-75.
- [7] 欧阳杰, 沈建. 中国贝类加工装备应用现状与展望[J]. 肉类研究, 2014, 28(7): 28-31.
- [8] 倪锦, 傅润泽, 沈建. 高值贝类保鲜运输车与鲍鱼应用效果分析[J]. 渔业现代化, 2015, 42(6): 37-42. DOI:10.3969/j.issn.1007-9580.2015.06.008.
- [9] 段伟文, 罗伟, 段振华, 等. 贻贝的加工利用研究进展[J]. 渔业现代化, 2013, 40(3): 51-55. DOI:10.3969/j.issn.1007-9580.2013.03.011.
- [10] 储建军, 刘长军, 傅玲琳, 等. 鲜活贝类贮运控菌技术研究进展[J]. 食品科技, 2015, 40(9): 271-275.
- [11] 芦新春, 孙星钊, 王伟. 双壳贝类脱壳预处理技术现状及发展趋势[J]. 当代农机, 2015(9): 74-76. DOI:10.3969/J.ISSN.1673-632X.2015.09.07.
- [12] 高喜银, 吴红雷. 基于人机工程学的双壳贝类自动开壳设备设计[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 378-380.
- [13] 王继涛. 热处理对扇贝闭壳肌肌球蛋白生化性质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(2): 22-26.
- [14] 孔德刚, 弋景刚, 姜海勇, 等. 海湾扇贝开壳取贝柱工艺方案的研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2): 230-234.
- [15] 张馨丹, 王慧慧, 芦金石, 等. 贝类预煮加工设备结构设计及运动仿真[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 69-71.
- [16] 陈铮, 朱蓓薇, 李冬梅, 等. 热处理过程中牡蛎闭壳肌肌原纤维蛋白部分理化特性的变化[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(7): 53-57.
- [17] 弋景刚, 吴红雷, 姜海勇, 等. 蒸汽式扇贝开壳装置工作参数优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 70-77. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.18.009.
- [18] 张静, 弋景刚, 张海勇, 等. 蒸汽式扇贝柱脱壳技术优化[J]. 广东农业科学, 2013, 40(14): 120-122. DOI:10.3969/j.issn.1004-874X.2013.14.038.
- [19] 刘志杰, 周素珊. 牡蛎蒸汽开壳试验研究[J]. 福建农机, 2006(3): 46-49. DOI:10.3969/j.issn.1004-3969.2006.03.014.
- [20] MARTIN D E, SUPAN J, NADIMPALLI U, et al. Effectiveness of a heat/cool technique for shucking oysters[J]. Aquacultural Engineering, 2007, 37(1): 61-66. DOI:10.1016/j.aquaeng.2006.12.008.
- [21] MARTIN D E, SUPAN J, THERIOT J, et al. Development and testing of a heat-cool methodology to automate oyster shucking[J]. Aquacultural Engineering, 2007, 37(1): 53-60. DOI:10.1016/j.aquaeng.2006.12.006.
- [22] MEYER L. Means for processing scallops for the market: USA, 3465382[P]. 1969.
- [23] SNOW H E. Shucking of bivalves: USA, 3564648[P]. 1971.
- [24] 徐文达. 国内外水产品加工机械现状和发展[J]. 包装与食品机械, 1993, 11(1): 24-29.
- [25] 河北农业大学. 一种蒸汽式扇贝开壳装置: 中国, ZL201420027876.0[P]. 2014-01-17.
- [26] 李府谦. 一种夹持式贝类蒸煮机: 中国, 201210328474.X[P]. 2012-09-07.

- [27] 李秋实, 王家忠, 弋景刚, 等. 海湾扇贝闭壳肌剥离设备的发展现状与展望[J]. 广东农业科学, 2013(10): 198-201. DOI:10.3969/j.issn.1004-874X.2013.10.056.
- [28] 大连经济技术开发区正水设备厂. 一种贝类蒸煮加工自动生产线: 中国, 201110229295.6[P]. 2011-08-11.
- [29] 余炼, 颜栋美, 侯金东. 牡蛎微波干燥特性及动力学研究[J]. 食品科学, 2012, 33(11): 111-115.
- [30] 林向阳, 张丽晶, RUAN R, 等. 茶叶真空微波干燥特性及动力学模型[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22): 65-70.
- [31] TAYLOR L S. Method for shucking bivalve mollusks using microwave energy: USA, 4420492[P]. 1983-12-13.
- [32] VOISIN E A. Process of elimination of bacteria in shellfish and of shucking shellfish: USA, 6537601[P]. 2003-03-25.
- [33] 巩雪, 常江. 超高压技术在贝类脱壳加工中的应用[J]. 食品工业科技, 2016, 37(15): 394-396.
- [34] 鲍振东. 基于力学蚬贝超高压脱壳机理的分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2015: 2-10.
- [35] 巩雪, 常江, 孙智慧, 等. 扇贝超高压保鲜包装实验[J]. 包装工程, 2017, 38(7): 49-52.
- [36] HE H, ADAMS R M, FARKAS D F, et al. Use of high-pressure processing for oyster shucking and shelf-life extension[J]. Food Science, 2003, 67(2): 640-645. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb10652.x.
- [37] 陈少华, 胡志和, 吴子健, 等. 超高压技术对南美白对虾脱壳及加工性能的影响[J]. 食品科学, 2015, 35(22): 11-16. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201422003.
- [38] 刘蓄瑾, 胡志和, 刘军军, 等. 超高压和热杀菌对黄金贝可消化性和食用品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(7): 72-77. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201607014.
- [39] 孟辉辉, 曹荣, 刘淇, 等. 超高压处理在毛蚶脱壳和减菌化中的作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 291-296.
- [40] 贾莹, 胡志和, 王秀玲, 等. 超高压对虾蛄脱壳及加工性能的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(23): 47-52. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201523010.
- [41] DAVID H K, KEVIN C, SHEILA H, et al. High pressure inactivation of HAV within oysters: comparison of shucked oysters with whole-in-shell meats[J]. Food and Environmental Virology, 2009, 1(3): 137-140. DOI:10.1007/s12560-009-9018-5.
- [42] CAO Rong, ZHAO Ling, LIU Qi. High pressure treatment changes spoilage characteristics and shelf life of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) during refrigerated storage[J]. Journal of Ocean University of China, 2017, 16(2): 351-355. DOI:10.1007/s11802-017-3087-x.
- [43] 李学鹏, 周凯, 王祺, 等. 牡蛎超高压脱壳效果的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(15): 210-214.
- [44] 易俊洁, 董鹏, 丁国微, 等. 鲍鱼超高压脱壳工艺的优化及品质研究[J]. 高压物理学报, 2014, 28(2): 239-246. DOI:10.11858/gywxb.2014.02.017.
- [45] 王敏. 超高压对贻贝脱壳及品质的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 1-9.
- [46] 杨绮云, 鲍振东, 孟爽. 食品超高压设备对贝类脱壳机理的研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2015, 31(3): 291-294. DOI:10.3969/j.issn.1672-0946.2015.03.010.
- [47] 金超, 毕仲圆, 盛磊, 等. 基于激光辅助的红外热像的食品腐败检测[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 201-204. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201512037.
- [48] 魏学礼, 肖伯祥, 郭新宇, 等. 三维激光扫描技术在植物扫描中的应用分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 373-377.
- [49] 王锐. 电击开蚌机: 中国, 201110438291.9[P]. 2011-12-24.
- [50] 陆友来, 译. 用冷冻法开壳[J]. 渔业现代化, 1979, 6(4): 60.
- [51] 陆友来, 译. 牡蛎开壳的新方法[J]. 渔业现代化, 1995, 22(3): 22.
- [52] 徐静, 董雁. 组合式贻贝脱壳装置的研制[J]. 渔业现代化, 2006, 33(4): 35-36. DOI:10.3969/j.issn. 1007-9580. 2006.04.016.
- [53] 孙琛, 牛童童. 中国贝类产品的国际竞争力分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(20): 44-50.
- [54] 尹欣玲, 戈景刚. 成形刀撑开式扇贝开壳试验台设计[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 413-414.
- [55] 孔德刚, 弋景刚, 姜海勇, 等. 海湾扇贝开壳取贝柱工艺方案的研究[J]. 中国农机化, 2014, 35(2): 230-234.