

## 贻贝壳肉分离技术与装备的应用现状及发展趋势

申屠留芳<sup>1,2</sup>, 刘涵<sup>2</sup>, 吴旋<sup>2</sup>, 孙星钊<sup>3</sup>

(1. 江苏海洋大学艺术设计学院, 江苏连云港 222005; 2. 江苏海洋大学机械工程学院, 江苏连云港 222005; 3. 连云港市元天农机研究所, 江苏连云港 222006)

**摘要** 壳肉分离是贻贝加工中必不可少的一道工序, 壳肉分离的效率最终影响着后续加工的品质。对现有壳肉分离技术与装备的应用现状进行分析, 对不同壳肉分离方法的优缺点进行比较, 总结我国目前贻贝壳肉分离技术存在的问题, 并提出了拟解决方案, 同时对贻贝壳肉分离技术与装备的发展趋势进行了展望, 以期丰富贻贝壳肉分离理论基础, 为我国贻贝壳肉分离技术创新和设备研发提供一定的参考和借鉴。

**关键词** 贻贝; 壳肉分离; 技术; 装备; 应用现状

**中图分类号** TS254.3 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)05-0008-04

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.05.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Application Status and Development Trend of Mussel Shell Meat Separation Technology and Equipment

SHENTU Liu-fang<sup>1,2</sup>, LIU Han<sup>2</sup>, WU Xuan<sup>2</sup> et al (1. College of Art Design, Jiangsu Ocean University, Lianyungang, Jiangsu 222005;

2. College of Mechanical Engineering Jiangsu Ocean University, Lianyungang, Jiangsu 222005)

**Abstract** Shell and meat separation is an indispensable process in mussel processing, and the efficiency of shell and meat separation ultimately affects the quality of subsequent processing. This article analyzes the application status of existing shell meat separation technology and equipment, compares the advantages and disadvantages of different shell meat separation methods, summarizes the problems existing in the current mussel shell meat separation technology in China, and proposes a proposed solution. The development trend of shell meat separation technology and equipment is prospected, in order to enrich the theoretical basis of mussel shell meat separation, and provide a certain reference for China mussel shell meat separation technology innovation and equipment research and development.

**Key words** Mussels; Shell and flesh separation; Technology; Equipment; Application status

我国海洋渔业资源得天独厚, 拥有超过 1.8 万 km 的黄金海岸线, 我国也是世界贻贝养殖大国, 2019 年贻贝养殖面积为 47 155 hm<sup>2</sup>, 贻贝养殖产量达 870 652 t<sup>[1-2]</sup>。贻贝养殖产量占海水贝类养殖总产量的 6%, 是海水养殖业的重要组成部分<sup>[3]</sup>。我国贻贝养殖产量、产品价格等与其他国家相比具有较强的优势, 加工保鲜也具有一定的水平。由此可知, 合理的开发利用海洋贻贝资源对促进我国海洋经济发展具有重大的意义<sup>[4]</sup>。

我国贻贝养殖发展迅猛、产量大, 但由于生鲜食品不易保存, 易发生腐败变质, 故将贻贝脱壳去肉进行加工以达到长期贮藏的目的。该研究拟对贻贝结构及贻贝壳肉分离技术进行综述, 并对其发展前景进行初探, 以期为我国海洋贻贝壳肉分离技术的发展提供参考。

## 1 贻贝概述

贻贝又名“壳菜”“海虹”, 是我国重要的养殖贝类之一。贻贝科的种类很多, 仅我国沿海就有 30 多种, 其中 10 种具有较高经济价值, 贻贝生命力强, 易于人工养殖<sup>[5]</sup>。我国山东、辽宁、浙江、福建、广东、海南等沿海省份都有广阔的养殖海域<sup>[6]</sup>。贻贝肉具有免疫调节及抗肿瘤、抗氧化、抗衰老、降压活性等<sup>[7]</sup>。李江滨等<sup>[8]</sup>研究了翡翠贻贝多糖(PVPS)对 D-半乳糖致衰老模型小鼠的抗氧化和免疫功能调节作用, 结果显示注射翡翠贻贝多糖后衰老模型小鼠血清和脑组织 SOD、GSH-PX 血清 IL-2、IFN- $\gamma$  和脾淋巴细胞增殖反应率

显著降低, 表明 PVPS 具有抗衰老作用。

**1.1 贻贝的结构组成** 贻贝在贝类分类学上隶属于软体动物门, 瓣鳃纲, 异柱目, 贻贝族, 贻贝科, 是一种营足丝附着生活的双壳类软体动物<sup>[9]</sup>。贻贝生理机构如图 1 所示, 贻贝壳皮颜色主要为黑色, 壳内面呈灰蓝色, 具有珍珠光泽由背部韧带向下绕壳后缘至腹后缘末端有一宽灰黑色边缘壳表的壳皮绕腹缘卷向内缘, 贻贝腹部靠近壳顶的部分生长足丝, 足丝较为细长且呈现金黄色<sup>[10-11]</sup>。养殖贻贝依靠足丝群固在苗绳上, 故捕获后的贻贝大多聚结在一起, 聚结贻贝的个体分离也是贻贝壳肉分离的重要工序之一。

**1.2 贻贝开壳概述** 贻贝壳肉分离分为依靠机器强制剥离和松弛闭壳肌 2 种方法<sup>[12]</sup>。机器强制分离是通过刀具或开壳设备打开贝壳取出贝肉, 早在 1907 年, Torsh 等<sup>[13]</sup>就首次申请了贝类自动脱壳机专利。该机器可以打开贝壳, 还可将壳肉分离。但是, 此机器切割贝肉时不能准确判断闭壳肌位置, 从而造成大量贝肉浪费, 并且无法保证食品安全, 不适应目前贻贝产业的发展。松弛闭壳肌是通过高温、高压、微波等方法使闭壳肌脱落, 从而实现贻贝的壳肉分离。与发达国家相比, 我国贻贝壳肉分离技术和设备存在较大差距, 壳肉分离理论匮乏, 加工机械化水平低<sup>[14]</sup>。为了促进贻贝产业经济效益的提高和产业规模的扩大, 研制价格适当、壳肉分离效率高的设备对我国贻贝产业的发展具有重大意义。

## 2 贻贝壳肉分离技术

### 2.1 传统壳肉分离技术

**2.1.1 人工壳肉分离。**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<sup>[15]</sup>。如图 2 所示, 该图片展示的是江苏省

**基金项目** 江苏省集成创新项目(NJ2020-22)。

**作者简介** 申屠留芳(1965—), 女, 浙江东阳人, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事产品结构设计、农业装备设计与制造研究。

**收稿日期** 2021-06-15

连云港市宋庄村村民给生蚝进行壳肉分离作业的场景。这种开壳方法能保持贝肉的生鲜状态,营养流失少,但开壳效率低,由于开壳刀具和贝壳边缘比较锋利,工人易受伤害,存在一定的危险性,给开壳取肉带来不便<sup>[16]</sup>,食品卫生也很难

保证。特别是对于贻贝闭壳肌较为紧凑的贝类,在不受伤的同时需要工人有较高的技巧。另外,贝类手工脱壳是劳动密集型产业,随着劳务费的增加,人工开壳已经不能满足加工企业的需求,迫切需要采用机械来代替人工。

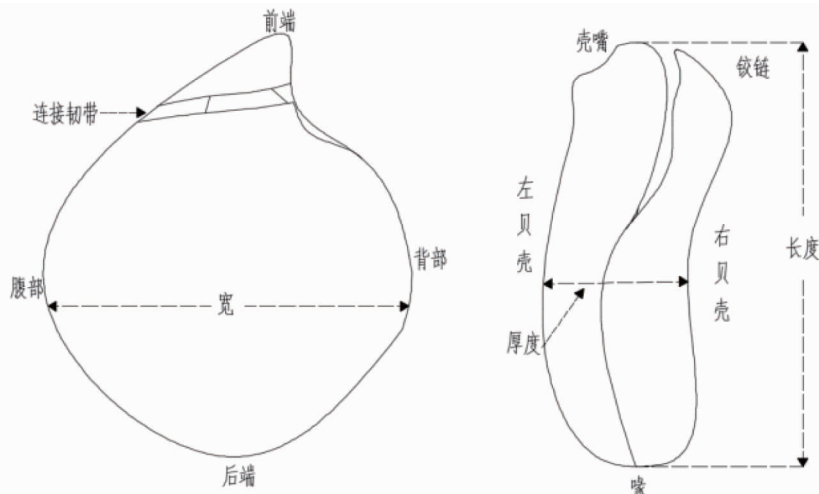


图 1 双壳贝类结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of bivalve shell structure



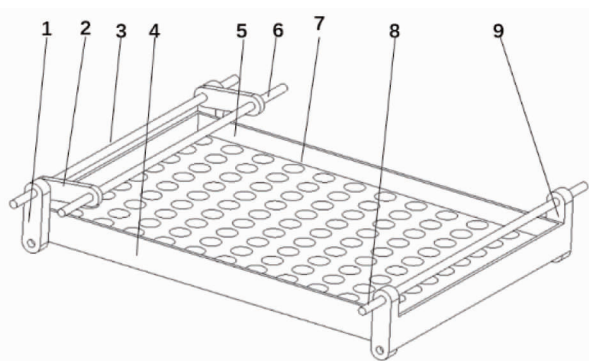
图 2 生蚝人工壳肉分离作业

Fig. 2 Manual separation of oysters

**2.1.2 热力壳肉分离。**热力开壳通过加热使闭壳肌松弛或灭活,主要包括蒸煮开壳和蒸汽直喷开壳 2 种方式<sup>[17]</sup>。加热处理的方式不仅使贻贝容易开壳,而且还能起到灭菌的作用,保证贻贝的食用安全。Martin 等<sup>[18]</sup>设计出利用高压蒸汽实现牡蛎自动化脱壳的装置,但该装置分离后的壳肉仍然混合在一起。杨炬等<sup>[19]</sup>设计了一种新型贻贝壳肉分离设备,该设备新增了震荡装置(图 3),开壳后的贻贝经过震荡装置的筛选,使得贻贝肉掉入底板而贻贝壳停留在筛板上,贝肉经传送装置可送入收集筐中,最终实现贻贝的壳肉分离。但最终得到的贻贝肉为熟制品,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 & 肌肉缩水等,造成贝肉的品质和口感下降,影响后续加工<sup>[20-21]</sup>。

**2.2 前沿开壳技术**

**2.2.1 超高压壳肉分离。**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壳体的黏连组织在压力作用下松懈,致使肉与壳之间的蛋白质明胶化,失去弹性和束缚,从而达到脱壳的目的<sup>[22-24]</sup>。该方



注:1. 出壳导板,2. 接柄,3. 摇杆,4. 底板,5. 挡板,6. 后摇杆轴,7. 筛板,8. 前摇杆轴,9. 摇臂

Note: 1. Outlet, 2. Handle, 3. Joystick, 4. Bottom plate, 5. Baffle, 6. Rear rocker shaft, 7. Sieve plate, 8. Front rocker shaft, 9. Rocker

图 3 贻贝壳肉震荡装置

Fig. 3 Mussel shelling and shaking device

法在解决贝类脱壳的同时消灭贝肉中携带的有害微生物<sup>[25]</sup>。He 等<sup>[26]</sup>对超高压脱壳技术做了进一步研究,确定将

牡蛎置于 310 MPa 的超高压下,脱壳率达到 100%。宁波大学罗华彬等<sup>[27]</sup>设计出一种瞬时压缩、作用均匀、操作安全、耗能低的贝类超高压脱壳设备,可将脱壳后的壳肉进行分离。日本 NC Hyperbari 公司研发的超高压扇贝壳肉分离设备,对扇贝施压 600 MPa、保压 3 min 即可实现扇贝的壳肉分离。但由于超高压设备成本高,大多停留在实验室应用阶段,难以实现规模化应用(图 4)。



图 4 超高压扇贝加工设备

Fig. 4 Ultra-high pressure scallop processing equipment

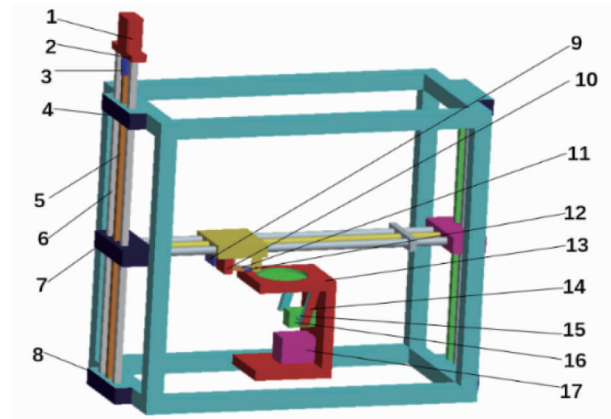
**2.2.2 激光开壳。**激光开壳法是将激光束直接对准闭壳肌,闭壳肌在高能量的激光束照射下从贝壳表面脱落<sup>[28]</sup>。该方法开壳率高、切面平整、对贝肉营养的破坏较小,在食品加工方面具有很高的实用价值<sup>[29]</sup>。芦新春等<sup>[12]</sup>的研究表明,70 W 激光辐射 1 min 左右就能使扇贝闭壳肌脱落。由于机械视觉、图像处理等技术在贻贝开壳领域运用并不成熟,闭壳肌无法被准确识别,开壳效率较低,且在贻贝开壳后,无法将开壳后的贻贝肉与贻贝壳进行有效地集中分离,因此较难实现壳肉分离的连续化与规模化,在实际生产中应用较少<sup>[30-31]</sup>。

**2.2.3 水射流壳肉分离。**水射流脱壳是利用高速水流对贝类指定位置进行冲击,由于壳肉密度不同,最终利用水流作用将脱壳的贻贝肉与贻贝壳进行分离收集。Sugiyama<sup>[32]</sup>在其发明的负压吸附法剥离海湾扇贝柱试验的样机中采用高压水射流将扇贝的壳肉进行分离(图 5)。解秋阳<sup>[33]</sup>对水射流剥离贝柱进行试验设计分析,发明了以水射流剥离为原理的海湾贝柱脱壳样机。

### 3 贻贝壳肉分离存在的问题及拟解决方案

**3.1 贻贝足丝的切割及分离技术** 从目前的研究及运用效果来看,应进一步加强贻贝壳肉分离预处理技术的研究,捕捞后的贻贝在尾部足丝的作用下紧紧缠绕在一起,目前多采用人工对其进行个体分离,作业环境艰苦、作业效率低下,过短足丝可能无法完全清除,这对后续的壳肉分离作业带来极大的隐患。

**3.2 贻贝壳肉分离后鲜贝肉的获取** 迄今为止,对贻贝冷加工壳肉分离的研究及相关设备较少。目前国内在贻贝壳肉分离流程中对其开壳工艺主要采用热处理加工的方式进行全剥壳,例如加热脱壳、微波脱壳、红外脱壳等,但这些技术最终得到的是蒸熟的肉质,不能得到新鲜的贝肉,这与许多国家的饮食习惯相悖,让消费者产生抗拒心理<sup>[34]</sup>,不利于促进贻贝加工技术的多元化。



注:1. 电机,2. 机座,3. 联轴器,4. 支撑座,5. 丝杠,6. 导柱,7. 纵向丝杠螺母,8. 纵向底座,9. 摩擦轮驱动电机,10. 喷嘴转动轴,11. 喷嘴夹扣,12. 喷嘴,13. 基体,14. 夹爪,15. 支撑柱,16. 顶块,17. 气缸

Note: 1. Motor, 2. Base, 3. Coupling, 4. Support base, 5. Screw, 6. Guide column, 7. Longitudinal screw nut, 8. Longitudinal base, 9. Friction wheel drive motor, 10. Nozzle rotating shaft, 11. Nozzle clamp, 12. Nozzle, 13. Hypokeimenon, 14. Gripper, 15. Support column, 16. Top block, 17. Cylinder

图 5 水射流剥离海湾扇贝柱试验样机

Fig. 5 Water jet stripping bay scallop shell test prototype

**3.3 贻贝肉大小等级筛选装置的缺乏** 目前现有壳肉分离设备的智能化程度较低,对于不同品种贻贝的壳肉分离作业,仍需对贻贝个体分离及脱壳装置进行单独设计。同时,还需人工对脱壳后不同大小等级的贝肉进行反复筛选,再进行包装出售,分离效率低、人力成本高,不利于贻贝壳肉分离产业化发展。

### 4 贻贝壳肉分离技术与装备的发展趋势

**4.1 贻贝壳肉分离的全程自动化** 贻贝壳肉分离可分为预处理、开壳、贝肉脱壳、壳肉分开、贝肉筛选等环节。目前我国贻贝壳肉分离作业呈现局部机械化、整体人工化的局面,难以实现作业的标准化、机械化、连续化。要全面实现机械化,要在各个环节必须采取机械代替人工,优化开壳技术与工艺,研发出成套设备进行集中控制,实现贻贝连续化壳肉分离作业,满足贻贝大批量加工需要。

**4.2 新鲜贝肉的获取及单边脱壳装置的研发** 很多国家由于饮食习惯有所差异,需要得到新鲜贝肉或留于半壳上的贝肉,而目前获得新鲜半壳贻贝肉的主要方式为人工开壳,目前可实现生鲜开壳的超高压、水射流开壳技术仍处于试验阶段,由于技术、价格等原因难以在市场中推广。因此应结合贻贝生理结构,加强射流开壳法中射流喷嘴的研制及国外主流生鲜开壳技术的研究,研发出技术成熟、价格适宜的生鲜壳肉分离设备。

**4.3 贻贝智能化壳肉分离技术与设备的研究** 目前贻贝壳肉分离流程精准化、智能化程度较低,衔接度不高,各项装置需要单独控制。未来随着 PLC 技术的不断成熟,贻贝壳肉分离装备将与三维激光、红外定位、计算机视觉等技术相结合,由控制模块进行自动控制,同时降低成本,满足贻贝产品卫

生要求,形成完整、精准、智能型开壳模式,最终使贻贝壳肉分离达到规模化加工、自动化控制、智能化管理的先进水平。

## 5 结语

创新贻贝壳肉分离技术、研发高效壳肉分离设备是提升贻贝海产品加工核心竞争力的必然选择,是实现贻贝产业现代化的重要组成部分。我国贻贝壳肉分离技术与装备研究虽然取得了一定进展与成果,但相比国外起步较晚、技术落后、设备单一,未形成系统化理论体系,产业应用还存在较大问题。当前我国在引进国外技术的同时,仍要加强对贻贝壳肉分离机理的研究,加大对贻贝壳肉分离产业的科研投入,研发属于我国特有的智能化壳肉分离装备,进而提升贻贝的产业价值。

## 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. 2020 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2020:19-22.
- [2] 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. 2019 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2019:19-23.
- [3] 胡静艳,谭锦凌,李振华. 水射流贻贝单边脱壳装备喷嘴内流场数值仿真研究[J]. 机电工程,2018,35(8):828-832.
- [4] 刘媛,王健,孙剑峰,等. 我国海洋贝类资源的利用现状和发展趋势[J]. 现代食品科技,2013,29(3):673-677.
- [5] 沈军樑. 贻贝热压脱壳及其品质控制技术研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2015.
- [6] 徐林通,郝俊,郑艳坤,等. 中国贝类资源现状及及管理问题探讨[J]. 科技创新导报,2018,15(16):201,203.
- [7] 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.
- [8] 李江滨,侯敢. 翡翠贻贝多糖对衰老模型小鼠的抗氧化和免疫功能调节作用[J]. 检验医学与临床,2010,7(12):1153-1154,1156.
- [9] 刘焕亮. 水产养殖生物学[M]. 北京:科学出版社,2014:171-177.
- [10] 张义浩. 浙江沿海贻贝种类形态比较研究[J]. 渔业经济研究,2009(2):14-20.
- [11] MARTIN D E, HALL S G. Oyster shucking technologies: Past and present [J]. International journal of food science & technology, 2006, 41(3): 223-232.
- [12] 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.
- [13] TORSH E L, PARKER R J H. Process of shucking oysters; US848608

[P]. 1907-03-26.

- [14] 沈建,林蔚,郁蔚文,等. 我国贝类加工现状与发展前景[J]. 中国水产, 2008(3):73-75.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 王继涛,朱蓓薇,董秀萍,等. 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.
- [18] 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.
- [19] 杨炬,付宗国,于晓龙,等. 新型贻贝加工设备设计研究[J]. 机械工程师,2016(2):95-98.
- [20] 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.
- [21] 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):69-71,201.
- [22] 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.
- [23] 鲍振东. 基于力学观贝超高压脱壳机理的分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨商业大学,2015.
- [24] 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.
- [25] 谭锦凌. 厚壳贻贝脱壳装置的研发[D]. 舟山:浙江海洋大学,2019.
- [26] HE H, ADAMS R M, FARKAS D F, et al. Use of high-pressure processing for oyster shucking and shelf-life extension[J]. Journal of food science, 2002, 67(2):640-645.
- [27] 罗华彬,张进杰,杨文鸽,等. 一种方便壳肉分离的贝壳超高压脱壳设备:CN201921067739.9[P]. 2020-08-21.
- [28] SINGH G. Laser modernizes oyster shucking[J]. Food technology, 1972, 26:60-61.
- [29] 张林泉. 激光技术在食品加工中的应用[J]. 现代农业装备,2013(3):42-44.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] SUGIYAMA H. Shell processing method and shell processing device used in the method; US09787425[P]. 2004-05-18.
- [33] 解秋阳. 水射流剥离海湾扇贝闭壳肌的试验研究与样机设计[D]. 保定:河北农业大学,2015.
- [34] 胡静艳,李振华,顾平灿,等. 关于贻贝脱壳方法的研究进展(上)[J]. 科学养鱼,2017(5):73-74.

(上接第7页)

- [22] KEIZERWEERD A T, CHANDRA A, GRISHAM M P. Development of a reverse transcription loop-mediated isothermal amplification (RT-LAMP) assay for the detection of *Sugarcane mosaic virus* and *Sorghum mosaic virus* in sugarcane[J]. J Virol Methods, 2015, 212:23-29.
- [23] 陈海,申亚南,吕文竹,等. 甘蔗高粱花叶病毒 RT-LAMP 快速检测方法的建立及评价[J]. 分子植物育种, 2020, 18(10):3282-3287.
- [24] 李战彪,谢慧婷,崔丽贤,等. 甘蔗线条花叶病毒 RT-LAMP 检测方法的建立及应用[J]. 广东农业科学, 2020, 47(4):92-98.
- [25] 李文凤,单红丽,张荣跃,等. 我国新育成甘蔗品种(系)对甘蔗线条花叶病毒和高粱花叶病毒的抗性评价[J]. 植物病理学报, 2018, 48(3):389-394.
- [26] 吴小斌,王勤南,凌秋平,等. 甘蔗与斑茅 BC<sub>1</sub> 分子鉴定、抗黑穗病和花叶病初步评价[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(1):45-52.
- [27] 张文龙,陈志伟,杨文鹏,等. 分子标记辅助选择技术及其在作物育种上的应用研究[J]. 种子, 2008, 27(4):39-43.
- [28] XU M L, MELCHINGER A E, XIA X C, et al. High-resolution mapping of loci conferring resistance to sugarcane mosaic virus in maize using RFLP, SSR, and AFLP markers[J]. Mol Gen Genet Mgg, 1999, 261(3):574-581.
- [29] MING R, BREWBAKER J L, PRATT R C, et al. Molecular mapping of a major gene conferring resistance to maize mosaic virus [J]. Theor Appl Genet, 1997, 95(1/2):271-275.
- [30] SMITH G R, GAMBLEY R L. Progress in development of a sugarcane meristem transformation system and production of SCMV-resistant transgenics[J]. Proceedings of the Australia society of sugar cane technologists, 1994, 15:237-243.

- [31] 姚伟. *SCMV-CP* 基因克隆及遗传转化甘蔗研究[D]. 福州:福建农林大学,2004.
- [32] GILBERT R A, GALLO-MEAGHER M, COMSTOCK J C, et al. Agronomic evaluation of sugarcane lines transformed for resistance to *Sugarcane mosaic virus* strain E [J]. Crop Sci, 2005, 45(5):2060-2067.
- [33] 傅云霞. 转 *SrMV-P<sub>1</sub>* 基因甘蔗的土壤环境安全性研究[D]. 福州:福建农林大学,2008.
- [34] 杨川毓. 转 *SrMV-P<sub>1</sub>* 基因甘蔗的遗传稳定性评价及抗病的生理基础研究[D]. 福州:福建农林大学,2010.
- [35] 张铃. 转 *SrMV-P<sub>1</sub>* 基因甘蔗的环境安全性评价[D]. 福州:福建农林大学,2011.
- [36] 杨川毓,张铃,郭莺,等. 抗花叶病转 *SrMV-P<sub>1</sub>* 基因甘蔗的产量和糖分分析[J]. 热带作物学报, 2012, 33(5):843-847.
- [37] 杨川毓,施尚莹,张铃,等. 抗花叶病转 *SrMV-P<sub>1</sub>* 基因甘蔗的活性氧代谢分析[J]. 热带作物学报, 2012, 33(6):1101-1106.
- [38] 陈利平,陈平华,陈忠伟,等. 甘蔗黄叶病毒与花叶病毒 *CP* 基因 RNAi 载体构建与转化甘蔗研究[J]. 热带作物学报, 2016, 37(1):99-106.
- [39] 徐景升,杨永庆,程光远,等. 利用 RNAi 沉默翻译起始因子基因培育抗花叶病甘蔗的方法:CN201510570201.X[P]. 2019-07-12.
- [40] 梁姗姗. *SCSMV-P1* 蛋白抑制 RNA 沉默的关键结构域及氨基酸定位[D]. 福州:福建农林大学,2018.
- [41] GONALVES M C, PINTO L R, SOUZA S C, et al. Virus diseases of sugarcane A constant challenge to sugarcane breeding in Brazil [J]. Functional plant science & biotechnology, 2012, 6:108-116.
- [42] GONZÁLEZ-ARNAO M T, MÉNDEZ-CHÁVEZ M, VÁSQUEZ-HERNÁNDEZ S, et al. Osmo-and cryotherapy of sugarcane (*Saccharum* spp. L.) shoot-tips infected with sugarcane mosaic virus (SCMV) [J]. VirusDis-ease, 2020, 31(4):497-502.