

甘蔗花叶病及其防控策略研究进展

邹程^{1,2}, 商贺阳^{1,2}, 段真珍^{1,2,3}, 张木清^{1,2,3}, 姚伟^{1,2,3*}

(1. 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 广西南宁 530004; 2. 广西甘蔗生物学重点实验室, 广西南宁 530004; 3. 广西大学农学院, 广西南宁 530004)

摘要 甘蔗花叶病(Sugarcane mosaic disease)是甘蔗叶部病害,被侵染后病毒能分布病蔗全身,该病是一种传播极强的病毒性病害,在世界上主要的甘蔗生产国和地区肆虐,影响甘蔗的正常生长,降低蔗糖的含量及产量,造成严重的经济损失。因此,对甘蔗花叶病的病症及危害、甘蔗花叶病病原生物学特征、病毒的寄主与传播、病原的鉴定与检测、对甘蔗花叶病的防控等进行综述,并对未来研究做出展望,以期对相关研究提供借鉴。

关键词 甘蔗;甘蔗花叶病;病毒;鉴定检测;防控

中图分类号 S435.661 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)05-0005-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.05.002



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Advance of Sugarcane Mosaic and Its Prevention Strategy

ZOU Cheng^{1,2}, SHANG He-yang^{1,2}, DUAN Zhen-zhen^{1,2,3} et al (1. State Key Lab of Conservation and Utilization of Agric-Biological Resources, Nanning, Guangxi 530004; 2. Guangxi Key Lab of Sugarcane Biology, Nanning, Guangxi 530004; 3. Department of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004)

Abstract Sugarcane mosaic disease is a leaf disease of sugarcane. After infected the virus can be distributed throughout the infected cane. The disease is a highly contagious viral disease that ravages the world's major sugarcane producing countries and regions. It affects the normal growth of sugarcane, reduces the content and yield of sucrose, and causes serious economic losses. Therefore, the disease and harm of sugarcane mosaic disease, pathogenic biological characteristics of sugarcane mosaic disease, host and transmission of virus, pathogen identification and detection, prevention and control of sugarcane mosaic disease and other aspects were summarized, and the prospect of future research was made, hoping to provide reference for related research.

Key words Sugarcane; Sugarcane mosaic disease; Virus; Identification testing; Prevention and control

甘蔗在世界上很多地方都有种植,是制造食糖,生产乙醇——生物质燃料和纤维素物质的重要农作物。在我国,用甘蔗作为原料生产的食用糖占糖总量的90%以上^[1-2]。甘蔗花叶病是由一类单一或复合病毒引起的系统性传染病害。被病毒侵染甘蔗的病害症状表现大多相同,难以确定病原病毒的种类,而且同一感病植株存在单一或多种病毒、不同株系复合侵染的现象^[3]。在我国,各蔗区甘蔗生长环境复杂多样。近年来,为了研究需要各甘蔗产区之间互调种质资源,或者从国外引进种源,导致一些危害较大的甘蔗病虫害在各甘蔗种植区传播流行。甘蔗花叶病也随着带病种质的流动,在我国各蔗区流行开来成为普遍发病,发展为危害较大的甘蔗病害^[4]。为了进一步加深对甘蔗花叶病害的了解,该研究对甘蔗花叶病的病症及危害、甘蔗花叶病病原生物学特征、病毒的寄主与传播、病原的鉴定与检测、甘蔗花叶病的防控等方面做出综述,并对未来研究做出展望。

1 花叶病的病状及危害

甘蔗花叶病病症主要出现在叶片部位,病毒会遍及全株,能使整丛甘蔗感病。感染该病后甘蔗的叶绿素被破坏,在叶片上出现黄色或浅绿色的短条纹或斑驳,与叶脉平行布满整个叶片,与正常的部分参差间隔成花叶症状,有时会出现不同程度的变红、坏死,尤其在幼叶的基部病症最为明

显^[5]。甘蔗被侵染后,会导致发育缓慢、生长不良、植物矮小、分蘖减弱主茎数量少、汁液减少,使糖蔗的产量及质地受到严重影响^[6]。当发病严重时,甘蔗的榨汁中还原糖成分增加,蔗糖结晶率下降,产量下降5%~50%^[7-8]。病毒与宿主的共同进化和致病性分化是常见的。现代甘蔗品种遗传基础有限,现有抗病基因能利用的较少,病毒易发生突变,病毒新变异株易突破对寄主的抗性,该病大规模爆发的可能性增加。我国甘蔗主产区甘蔗品种栽培严重单一,主要品种抗花叶病能力减弱,导致福建、台湾、两广地区、海南、云南等主要甘蔗种植区甘蔗花叶病发病日益加重,造成大量的经济损失,给甘蔗产业带来一定的影响。

2 甘蔗花叶病病原生物学特性

甘蔗花叶病病原有甘蔗花叶病毒(SCMV)、高粱花叶病毒(SrMV)、玉米矮花叶病毒(MDMV)、约翰逊草花叶病毒(JGMV)、玉米花叶病毒(ZeMV)和甘蔗条纹病毒(SCSMV)6种病毒。在我国造成危害较大及流传范围较广的甘蔗花叶病的病原主要有SCMV、SCSMV和SrMV,三者都属于马铃薯Y病毒科Potyviridae,SCMV和SrMV是马铃薯Y病毒属(Potywinus)成员,SCSMV属于禾本科病毒属(Poacevirus)的成员^[3,9]。依据6K1-CP序列的系统进化树分析,SCMV、SrMV与另外5种病毒种被划归到甘蔗花叶病毒亚组(SCMV subgroup)^[9-10],SCMV、SrMV和SCSMV三者是无膜包裹的卷曲线状的病毒颗粒,病毒有1条被外壳蛋白(coat protein, CP)包裹着作为遗传物质的正义单链RNA^[9]。SCMV和SrMV沉降常数范围是160~175S,浮力密度则为1.285~1.342g/mL,(630~770)nm×(13~15)nm的大小,稀释限制

基金项目 国家自然科学基金(32001603,31760413);广西自然科学基金(2018JJA130113)。

作者简介 邹程(1993—),男,湖北随州人,硕士研究生,研究方向:甘蔗抗病育种。*通信作者,副教授,硕士生导师,从事甘蔗遗传育种研究。

收稿日期 2021-05-27

点为 $10^{-3} \sim 10^{-5}$; SCMV 的钝化温度范围为 $50 \sim 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$, SrMV 钝化温度为 $49 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [10], SCSMV 病毒大小是 $890 \text{ nm} \times 15 \text{ nm}$, 稀释限制点为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$, 钝化的温度范围在 $55 \sim 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 在室温下能存活 1~2 d, 放置 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱存活 8~9 d [11]。

3 病毒的寄主与传播

甘蔗花叶病病毒的寄主有甘蔗、玉米、高粱等作物及一些田间禾本科杂草等 [12]。该病主要通过引进携带病毒蔗种、虫媒、农具传播。得病蔗种及田间病蔗是该病的初代传染源, 甘蔗种植过程中, 种苗携带病毒的问题十分突出, 常采用蔗茎为种源材料。多年轮作会促进花叶病病毒体内积累及传播。在自然条件下, 昆虫为传播媒介对该病进行传播。主要是蚜虫例如黑豆蚜、玉米蚜、桃蚜等。蚜虫吸食带病甘蔗后再移动到健康甘蔗叶上取食, 该过程极易将病毒转移到正常蔗株中, 使其感病。但是在实际生产中, 无论是人工还是机械收割, 刀具都不会进行消毒处理, 多次交叉使用, 造成病毒多次侵染 [12-15]。

4 病原的鉴定与检测

甘蔗花叶病的鉴定检测得到快速的发展, 各种高敏度检测技术相继出现。一般在野外调查观察田间甘蔗叶部表现出的病症是最快最直接的方式。然而, 病蔗田间症状的相似性很容易让观察者误诊和漏诊。现阶段, 血清学检测甘蔗花叶病的技术手段比较成熟, 方法有双抗体夹心法、抗原直接包被间接酶联免疫测定技术、酶联免疫斑点杂交法等。血清学检测法能简单、迅速地应对田间大批量样品的检测; 但需要针对抗原的特定抗异血清, 与分子检测技术比灵敏度低 [16-17]。随后多种分子检测技术应用于病毒的鉴定, 主要有 RT-PCR、荧光定量 PCR、免疫捕捉 RT-PCR (IC-RT-PCR) 和双重免疫捕捉 RT-PCR (D-IC-RT-PCR)。一步多重法 RT-PCR 和环介导等温扩增技术 LAMP 等, 这些分子技术具有特异性强和灵敏度高的特性。1997 年, Yang 等 [18] 通过 PCR-RFLP 技术快速地鉴别出 SrMV 和 SCMV; 2003 年, Hema 等 [19] 采用免疫捕捉反转录聚合酶链式反应 (IC-RT-PCR) 方法检测 SCSMV 比酶联免疫吸附法更加灵敏。2009 年, Xie 等 [20] 运用一步多重 RT-PCR 方法, 能同时检测多种类型的病毒 SCMV、SrMV 和 SCSMV。2015 年, Fu 等 [3] 运用实时荧光定量 RT-PCR (qPCR) 技术, 快速灵敏的检测 SC-SMV, 比常规 RT-PCR 灵敏度高出 10^{-2} 倍; 随着检测技术不断加强, 环介导等温扩增技术 (LAMP) 也被用于检测甘蔗中花叶病, 该法比 qPCR 的灵敏度更高 [21-23]。李战彪等 [24] 成功建立了一种简单、迅速、精确度高的 RT-LAMP 检测方法, 用来检测甘蔗条纹病毒, 并且用于病蔗样品的检测。

5 甘蔗花叶病的防控策略

5.1 挖掘和创制抗病种质资源 甘蔗花叶病是一种系统性病毒感染病害, 流行该病的蔗区会多年受到该病的影响从而造成一定程度的经济损失。抗病育种通过筛选、评价和利用抗病品种和优良种质资源, 是防治甘蔗病害的一种有效途径。李文凤等 [25] 用人工切茎接种法接种甘蔗花叶病毒, 两年间多次对 71 个甘蔗新品种 (系) 进行了双抗高粱花叶病毒

和甘蔗条纹病毒的抗性鉴定与评价。筛选出 15 个优良的双抗甘蔗新品种 (系)。2019 年, 吴小斌等 [26] 以抗病甘蔗与斑茅 (*Erianthus arundinaceus*) 为亲本杂交产生后代 BC1, 发现 BC1 中大部分都能抗甘蔗花叶病, 但抗黑穗病却出现分离。这些研究表明, 从大量的野生甘蔗种质资源中存在许多抗花叶病基因的优良品种, 通过人工筛选得到利用; 用远缘杂交方法, 导入抗病基因, 是扩大获取抗病创新种质的途径。此外, 甘蔗花叶病产生可能是由多种病毒引起的。重视甘蔗杂交育种, 促使抗花叶病亲本基因重组, 从而选育出双抗或广谱抗花叶病的品种。

5.2 培育和利用抗病优良新品种

5.2.1 分子标记辅助选择技术。现代分子生物学技术的迅速发展, 分子标记辅助育种选择技术 (MAS) 也越来越多地应用到作物的选育过程中。由于所要获得的基因与分子标记紧密连锁, 因此能快速准确地找到有目标性状带有目的基因的植株, 缩短育种年限, 加快育种进程 [27]。1999 年, Xu 等 [28] 采用多种分子标记技术, 发现位于玉米第 6 和第 3 条染色体上的抗花叶病基因: *Scm1* 和 *Scm2*。Ming 等 [29] 将抗玉米花叶病毒基因 *MV1* 定位在第 3 染色体上, 随后用 PFLP 标记成功地将 *MV1* 基因转移到感病品种中, 获得所需的抗花叶病玉米品种。随后关于 MAS 技术应用于玉米抗 SCMV 的研究报道越来越多。由于甘蔗遗传特性比较复杂, 目前没有关于应用该技术选育出抗花叶病甘蔗品种的报道。

5.2.2 转基因抗病分子育种。目前, 在国内外许多成功获得抗花叶病转基因甘蔗的研究被报道。一般将病毒的相关基因 (其中用的最多的是病毒的 CP 基因) 导入受体植物细胞中, 筛选获得抗病品种是早期经常使用的抗病毒转基因分子育种方法。1993 年, Smith 等 [30] 首次用基因枪将 SCMV 的 CP 基因打入甘蔗的分生或愈伤组织的细胞内, 随后发现转基因甘蔗体内 CP 基因表达不稳定。2004 年, 姚伟 [31] 采用同样的导入方法, 将含有 SCMV-CP 的基因载体导入易感花叶病 Badila 的愈伤组织中, 经筛选获得 SCMV 无法在 Badila 体内复制繁殖的抗花叶病新品种。Gilbert 等 [32] 将 SCMV-E 株系的甘蔗花叶病外壳基因导入蔗株体内。田间评价发现一些转基因品种糖产量显著增加, 一些品系甘蔗花叶病的发病率明显降低。随后, 人们用基因枪法将 *SrMV-P₁* 基因导入到受体材料中, 经筛选获得抗花叶病转 *SrMV-P₁* 甘蔗 [33]; 并对该转基因甘蔗的遗传稳定性和环境安全做出一定的评价, 以及对其产量、糖分和活性氧做出相应的分析; 试验结果表明: 转 *SrMV-P₁* 基因甘蔗的抗病能力显著提高, 所转 *SrMV-P₁* 基因能在甘蔗体内能稳定遗传表达, 生长速度明显提高; 甘蔗在逆境条件下, 抗逆生存能力提高; 甘蔗产量明显增加, 蔗糖分得到一定提高; 在较高病毒剂量胁迫下, 转基因甘蔗通过对活性氧代谢相关变化作用来应激病毒侵染 [34-37]。

5.2.3 RNA 沉默。RNA 沉默即基因沉默, 一直是生命科学研究的热点方向。生物在长期生长进化过程中, 体内 RNA 沉默是其病毒防御机制, 而 RNA 沉默抑制子 (RSS) 则是病毒对寄主的反防御机制, 二者之间存在拮抗作用关系。RNA

干扰技术是通过特异性诱导寄主的基因沉默机制引发的相应的 mRNA 降解,用该技术可获得更高效、广谱的抗病毒转基因植物。陈利平等^[38]将 CP 基因中的保守序列作为干扰载体,获得甘蔗花叶病毒和甘蔗黄叶病毒双价 RNA 干扰载体;用基因枪法导入福农 15 号,经筛选获得抗病再生植株体。徐景升等^[39]发明了一种利用 RNA 干扰技术沉默病毒翻译起始因子,从而获得同时抗 SCMV、SrMV、SCSMV 3 种花叶病毒的广谱抗性甘蔗,摆脱了对抗性基因的依赖,缩短了育种年限。用 RNA 干扰技术靶向病毒编码的 RSS 抑制其作用及利用植物本身的基因沉默机制培育出高效、持久、广谱的抗病转基因品种,提供一种针对甘蔗抗病极高潜在价值的分子育种方法^[40]。

5.3 推广和应用脱毒健康种苗 在实际生产中,为了经济效益和种植方便,甘蔗多采用无性繁殖,经过多年连续耕作容易被传播的病原体多次侵染,导致种质的种性退化抗逆能力减弱,宿根种植年限减少。生产和推广健康种苗的种植,有利于带病蔗种脱毒从而有效的防控该病原传播。使用脱毒苗同样也能达到增加产量的效果。Gonalves 等^[41]结合热处理和组织培养技术去除病毒。2020 年, González - Arnao 等^[42]采用冷冻渗透法和组织培养,除去病蔗体内 SCMV 获得无毒苗。国外许多甘蔗产区建立了甘蔗专用种质资源圃,用来生产健康种苗,将其作为防治甘蔗病害及增强甘蔗的产量和品质的手段。建议国家加强对甘蔗脱毒健康种质市场的监管力度,建立健全甘蔗脱毒健康甘蔗种质的质量标准体系。这将更有利于甘蔗脱毒后健康种质在其他蔗区的应用和推广,促进甘蔗产业的发展。

5.4 加强田间管理与引种检疫 加强对蔗田的田间管理及引种时的检测检疫,有利于遏制病毒的传播,提高糖蔗的抗病能力等。在苗期,发现病蔗应及时处理,杂草作为中间寄主要及时清理。合理的施肥和灌溉有利于糖蔗的生长,增强其抗逆能力。我国各蔗区甘蔗的条件、品种类型及抗病能力、引起病害的病毒种类各不相同。需要建立病害预警检测体系,加快研发推广便捷、准确、灵敏度高的试剂盒及其他检疫方法,阻断病毒远距离传播。加强隔离检疫,在检疫过程中,检测出新病的毒株(系)进行风险评估预测,防止新的病毒株(系)通过种蔗携带在各蔗区内传播扩散,从而对甘蔗的生产和蔗农的经济造成损失。

6 展望

甘蔗花叶病在全球各个种植甘蔗的国家和地区广泛流行,造成严重危害。多年的宿根蔗为病毒的积累创造了良好条件。引起甘蔗花叶病的病原有多种,实际调查发现存在多种病毒混合侵染甘蔗的现象,因此需要培育出双抗或多抗的抗病品种。在生产脱毒苗的过程中,会产生大量的弱毒苗,要合理的使用弱毒苗,避免大量的资源浪费。合理地利用 RNA 干扰技术,有利于培育出持久、广谱的抗花叶病转基因甘蔗。鉴定和测定各蔗区甘蔗花叶病病原的种类、病毒群体遗传结构特性和动态演变规律,探索病毒与寄主甘蔗之间的作用机理,加强对甘蔗病害流行学的监察和生态防控。借助

现代分子生物学手段,通过转基因和定向基因编辑的技术,定向改良感病品种,缩短甘蔗抗花叶病的育种周期,获得持续、高效、广谱性抗甘蔗花叶病新品种(系)甘蔗。

参考文献

- [1] ZHANG M Q, ZHUO X L, WANG J H, et al. Effective selection and regeneration of transgenic sugarcane plants using positive selection system[J]. *Vitro Cell Dev Biol Plant*, 2015, 51(1): 52-61.
- [2] DE MORAIS L K, DE AGUIAR M S, DE ALBUQUERQUE SILVA P, et al. Breeding of sugarcane [M]//CRUZ M V, DIERIG D A. *Industrial crops*. New York: Springer, 2015.
- [3] FU W L, SUN S R, FU H Y, et al. A one-step real-time RT-PCR assay for the detection and quantitation of *Sugarcane streak mosaic virus* [J]. *BioMed Res Int*, 2015, 2015: 1-9.
- [4] 王伯辉. 我国甘蔗病害的发生现状与研究进展[J]. *中国糖料*, 2007, 29(3): 48-51.
- [5] RICAUD C, EGAN B T, GILLASPIE A G JR, et al. *Diseases of sugarcane: Major diseases* [M]. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1989.
- [6] SINGH M, SINGH A, UPADHYAYA P P, et al. Transmission studies on an indian isolate of sugarcane mosaic potyvirus [J]. *Sugar Tech*, 2005, 7(2/3): 32-38.
- [7] VISWANATHAN R, BALAMURALIKRISHNAN M. Impact of mosaic infection on growth and yield of sugarcane [J]. *Sugar Tech*, 2005, 7(1): 61-65.
- [8] 陈宇航, 周仲驹, 林奇英, 等. 甘蔗花叶病毒株系研究初报[J]. *植物病理学报*, 1988, 18(2): 92.
- [9] ADAMS M J, LEFKOWITZ E J, KING A M Q, et al. Ratification vote on taxonomic proposals to the International Committee on Taxonomy of Viruses (2016) [J]. *Arch Virol*, 2016, 161(10): 2921-2949.
- [10] SHUKLA D D, FRENKEL M J, MCKERN N M, et al. Present status of the sugarcane mosaic subgroup of potyviruses [J]. *Arch Virol Suppl*, 1992, 5: 363-373.
- [11] HEMA M, SAVITHRI H S, SREENIVASULU P, et al. Sugarcane streak mosaic virus: Occurrence, purification, characterization and detection [C]//DING Q, KATENKA N, BARFORD P, et al. *Intrusion as (anti) social communication: Characterization and detection*. New York: Association for Computing Machinery, 2012.
- [12] KOIKE H, GILLASPIE A G JR. Mosaic [M]//RICAUD C, EGAN B T, GILLASPIE A G JR, et al. *Disease of sugarcane major disease*. Amsterdam: Elsevier Science Publisher, 1989: 301-322.
- [13] SRINIVAS K P, SUBBA REDDY C V, RAMESH B, et al. Identification of a virus naturally infecting sorghum in India as *Sugarcane streak mosaic virus* [J]. *Eur J Plant Pathol*, 2010, 127(1): 13-19.
- [14] SINGH D, RAO G P. Sudan grass (*Sorghum sudanense* Stapf): A new sugarcane streak mosaic virus mechanical host [J]. *Guangxi agricultural sciences*, 2010, 41(5): 436-438.
- [15] PUTRA L K, KRISTINI A, ACHADIAN E M, et al. Sugarcane streak mosaic virus in Indonesia: Distribution, Characterisation, Yield Losses and Management Approaches [J]. *Sugar Tech*, 2014, 16(4): 392-399.
- [16] HEMA M, SAVITHRI H S, SREENIVASULU P. Antibody and nucleic acid probe-based techniques for detection of sugarcane streak mosaic virus causing mosaic disease of sugarcane in India [J]. *Curr Sci*, 2001, 81(8): 1105-1108.
- [17] GAUR R, SINGH M, SINGH A P, et al. Screening of sugarcane mosaic potyvirus (SCMV) from cane stalk juice [J]. *Sugar Tech*, 2002, 4(3/4): 169-171.
- [18] YANG Z N, MIRKOV T E. Sequence and relationships of sugarcane mosaic and sorghum mosaic virus strains and development of RT-PCR-based RFLPs for strain discrimination [J]. *Phytopathology*, 1997, 87(9): 932-939.
- [19] HEMA M, KIRTHI N, SREENIVASULU P, et al. Development of recombinant coat protein antibody based IC-RT-PCR for detection and discrimination of sugarcane streak mosaic virus isolates from Southern India [J]. *Arch Virol*, 2003, 148(6): 1185-1193.
- [20] XIE Y J, WANG M Q, XU D L, et al. Simultaneous detection and identification of four sugarcane viruses by one-step RT-PCR [J]. *Journal of virological methods*, 2009, 162: 64-68.
- [21] VISWANATHAN R, GANESH KUMAR V, KARUPPAIAH R, et al. Development of duplex-immunocapture (Duplex-IC) RT-PCR for the detection of *Sugarcane streak mosaic virus* and *Sugarcane mosaic virus* in sugarcane [J]. *Sugar Tech*, 2013, 15(4): 399-405.

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 BC₁ 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-P₁* 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-P₁* 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-P₁* 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-P₁* 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,施肖莹,张铃,等. 抗花叶病转 *SrMV-P₁* 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.