

广东湛江蔗区甘蔗白条病的分子检测与鉴定

田夏红¹, 赵建英², 傅华英², 施 扬², 苏俊波³, 刘建荣¹

(¹ 广东省湛江农垦科学研究所, 湛江 524086; ² 福建农林大学国家甘蔗工程技术研究中心, 福州 350002;

³ 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东湛江 524091)

摘要: 为明确粤西蔗区甘蔗白条病的病原类型, 对 27 份新引进的甘蔗品种进行田间病害调查, 并对 15 份疑似发病植株的蔗茎样品进行病菌分离和 PCR 检测鉴定。2019 年和 2020 年田间调查结果显示, 种植的 11 个甘蔗品种出现典型的白条病症状, 其中桂糖 08-1589、德蔗 12-88、福农 11-2907 和福农 09-7111 在新植蔗和宿根蔗上均有发生, 自然发病率为 0.2%~9.4%。利用白条黄单胞菌 *Xanthomonas albilineans* 特异性引物 XAF1/XAR1, 对 15 份病样分离出来的病原细菌进行 PCR 检测, 均可获得 608 bp 的特异性扩增片段, 所得序列完全一致, 与来自中国福建、美国佛罗里达州和法国瓜德罗普岛的白条黄单胞菌一致性为 100%, 在系统进化树中处于同一分支, 属于 PFGE-B 型基因型。本研究证实湛江地区 11 个甘蔗品种发生的白条病是由白条黄单胞菌引起。

关键词: 甘蔗; 白条病; 田间症状; 分子检测; 序列分析

Molecular Detection and Identification of *Xanthomonas albilineans* Causing Leaf Scald of Sugarcane in Zhanjiang, Guangdong Province of China

TIAN Xia-hong¹, ZHAO Jian-ying², FU Hua-ying², SHI Yang², SU Jun-bo³, LIU Jian-rong¹

(¹Scientific Research Institute of Zhanjiang State Farms, Zhanjiang 524086; ²National Engineering Research Center for

Sugarcane, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002; ³South Subtropical Crops Research Institute,

Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Guangdong Zhanjiang 524091)

Abstract: To clarify the bacterial pathogen causing sugarcane leaf scald in west of Guangdong province, we conducted field surveys of leaf scald regarding 27 newly-introduced sugarcane varieties in two calendar years (2019 and 2020). For 15 sugarcane stalk samples of suspected diseased plants, isolating the pathogen(s) and molecular identification by PCR were further performed. Based on the results of field trials, eleven sugarcane varieties were found with the typical symptom of leaf scald. Among them, the diseased plants from four varieties GT08-1589, DZ12-88, FN11-2907, and FN09-7111 were found in both the plant cane and ratoon cane, with incidence rates from 0.2% to 9.4%. The bacteria isolated from 15 diseased stalks were detected by PCR with the specific primers XAF1/XAR1 of *Xanthomonas albilineans*. These fragments are 608 bp in length and share 100% sequence identity to the published nucleotide sequences of *X. albilineans* isolates in China, USA, and France. These isolates were clustered in the same clade (PFGE-B). Altogether, our results confirmed that leaf scald occurred in 11 cultivars from Zhanjiang sugarcane-planting region was caused by *X. albilineans*.

Key words: sugarcane; leaf scald; field symptom; molecular detection; sequence analysis

收稿日期: 2021-11-12 修回日期: 2021-11-22 网络出版日期: 2021-12-08

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20211112001>

第一作者主要从事甘蔗育种、栽培、植保等研究, E-mail: tianxiahong001@163.com; 赵建英为共同第一作者

通信作者: 刘建荣, 主要从事作物栽培研究, E-mail: 1637586483@qq.com

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(糖料)建设专项(CARS-170302、CARS-170708)

Foundation project: Earmarked Fund for the China Agricultural Research System of MOF and MARA (CARS-170302, CARS-170708)

甘蔗白条病 (Sugarcane leaf scald) 是一种细菌性维管束病害,其病原为白条黄单胞菌 [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson]^[1]。该病害于 1911 年在爪哇、澳大利亚和斐济首次发现^[2,3],目前已在全球近 70 个国家和地区发生,给当地甘蔗糖业造成了巨大影响^[2,4,5]。20 世纪 80 年代,我国广东、福建、江西、台湾等蔗区零星发现甘蔗白条病^[6-7]。近年,该病在我国广西、云南、广东、海南、福建、浙江等蔗区种植的原料蔗和果蔗中均有发生^[3,8-9],部分发病严重田块的一些甘蔗品种白条病自然发病率达 96%~100%^[5]。白条黄单胞菌被列入 2007 年及历次修订的《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》,甘蔗白条病成为我国甘蔗检疫性病害之一^[3]。甘蔗白条病在田间主要通过种苗或砍蔗工具传播蔓延^[4],此外,还可以通过植株叶与叶、根与根的接触以及土壤、气流进行传播^[10-11]。在不同气候因子影响下,病菌通过气孔或伤口进入叶片,在木质部扩展,蔗叶出现白色条纹、白化症状,甘蔗侧芽增多且侧芽出现甘蔗白条病症状^[4,12]。

广东是我国第三大甘蔗种植省份,蔗区主要分布在湛江市,甘蔗是当地重要的农业支柱产业。广东省常年种植原料蔗面积约 13 万 hm^2 , 2019/2020 榨季产糖量为 70.91 万 t,占全国食糖总产量的 6.81%^[13]。虽然甘蔗白条病早在 20 世纪 80 年代在广东中山、阳江、雷州蔗区已有发生,但是这些研究结果是基于田间病害诊断^[14]。有的甘蔗品种感染了白条病未表现出典型的症状,且具有潜伏期,因此,常规症状学诊断方法存在局限,容易造成误诊和漏诊。目前,应用于甘蔗白条病检测和鉴定的方法有酶联免疫 (ELISA, enzyme linked immunosorbent assay)、组织印迹 (TBIA, tissue blot immunoassay) 等血清学技术和常规 PCR、巢式 PCR、荧光定量 PCR、环介导等温扩增反应 (LAMP, loop mediated isothermal amplification) 等分子检测鉴定技术^[3],其中常规 PCR 扩增与 PCR 产物克隆和测序相结合是甘蔗白条病病原检测鉴定的主要方法^[15]。为此,本研究在对湛江蔗区新引进的甘蔗新品种进行田间调查的基础上,采集了具有疑似白条病症状的植株,进行了病原菌分离,结合病原菌形态、PCR 分子检测和测序等方法,进行病原鉴定,以期明确湛江蔗区白条病病原菌种类,为甘蔗白条病的科学有效防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为德蔗 12-88、福农 08-3214、福农 09-

12206、福农 09-6201、福农 09-7111、福农 10-0574、福农 10-14405、福农 11-2907、桂糖 08-1589、桂糖 10-701、桂糖 11-1076、桂糖 13-386、海蔗 28 号、柳城 09-15、柳城 09-19、粤甘 51 号、粤甘 52 号、粤甘 53 号、粤甘 49 号、云瑞 12-263、云蔗 10-1666、云蔗 11-1074、中糖 1201、中糖 13-01、中蔗 13 号、中蔗 1 号和中蔗 6 号,共 27 个甘蔗品种。

1.2 试验方法

1.2.1 田间调查及采样 2018-2020 年,广东省湛江农垦科学研究所从国内各育种单位引进新选育的 27 个甘蔗新品种,在湛江市遂溪县城月镇试验基地进行试种,每个品种种植面积约 150 m^2 。在甘蔗收获前调查新植蔗和宿根蔗的有效茎数和白条病株数,计算白条病发病率。新植蔗调查时间:2019 年 3 月;宿根蔗调查时间:2020 年 1 月。调查方法是每个甘蔗品种随机抽取相邻的 5 行植株,每行调查 10 m。另外,砍取具有典型白条病症状的甘蔗植株中部蔗茎,供致病菌分离和检测。

1.2.2 病原菌分离和纯化 在无菌条件下,将疑似病样的蔗茎用 75% 酒精表面消毒 2~3 次后,用无菌修枝剪截取大约 1 cm 长的蔗茎,移至无菌培养皿中,用无菌解剖刀去除表皮,切成 0.5~1 cm^3 大小的蔗肉组织,加入 500 μL 无菌水,用解剖刀充分切碎,静置 1 h 使病原菌充分释放。吸取 25 μL 浸提液均匀涂布在 XAS 培养基上,置于 28 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱内恒温培养 4~7 d 后,挑取形态相似的单菌落进行纯化鉴定。XAS 培养基配制参考 Davis 等^[16]方法。

1.2.3 菌液和蔗汁 DNA 提取 病原菌基因组 DNA 提取按照细菌基因组 DNA 提取试剂盒 (天根生化科技有限公司,中国北京)说明书完成。蔗汁总 DNA 提取采用 CTAB 法,具体步骤参考 Shi 等^[17]方法,即蔗茎去除表皮后,切成小方块,用取汁器榨取蔗汁 1.5 mL,随后按常规的 CTAB 法提取蔗汁总 DNA。DNA 质量和浓度分别通过 1.0% 琼脂糖凝胶电泳和 BioTek ELx800 酶标仪进行评估。所有 DNA 样本浓度用无菌水调整到 100 $\text{ng}/\mu\text{L}$ 后用于 PCR 检测。

1.2.4 常规 PCR 扩增 甘蔗白条病特异性引物参考王中康等^[18],上游引物 XAF1: 5'-CCTGGTGATGACGCTGGGTT-3' 和下游引物 XAR1: 5'-CGATCAGCGATGCACGCAGT-3'。该对引物靶标白条黄单胞菌基因组的三磷酸腺苷结合盒 (ABC, adenosine triphosphate-binding cassette) 转运蛋白基因 *abc*, 基因编号为 XALc_1791^[3]。PCR 反应体系: 12.5 μL Ex Taq Buffer, 9.5 μL ddH₂O, 1.0 μL XAF1 引物,

1.0 μL XAR1 引物, 1.0 μL 模板 DNA, 总体积为 25 μL 。PCR 产物目的条带大小为 608 bp。PCR 反应程序: 94 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 1 min; 94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 30 s, 56 $^{\circ}\text{C}$ 退火 1 min, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 30 s, 35 个循环; 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 5 min。采用 1.0% 琼脂糖凝胶对 PCR 反应产物进行电泳检测。国家甘蔗工程技术研究中心保存的甘蔗白条病菌菌株 Xa-FJ1 DNA 作为阳性对照^[19], 健康蔗株蔗汁 DNA 作为阴性对照, 无菌水为空白对照。

1.2.5 PCR 产物克隆和测序 将 PCR 产物电泳, 通过凝胶成像仪观察 PCR 产物条带。分别收集与阳性对照大小一致的条带, 进行胶回收, 根据胶回收试剂盒(天根生化科技有限公司, 北京)说明书纯化 PCR 产物, 将纯化的 DNA 连接到 pMDTM19-T 载体(Takara 公司, 中国大连)上, 然后转化到大肠杆菌 DH5 α 。随机挑取单菌落, 使用特异性引物 XAF1/XAR1 进行菌液 PCR 检测, 阳性单菌落菌液送至铂尚生物技术(上海)有限公司进行测序。

1.2.6 序列比对与分析

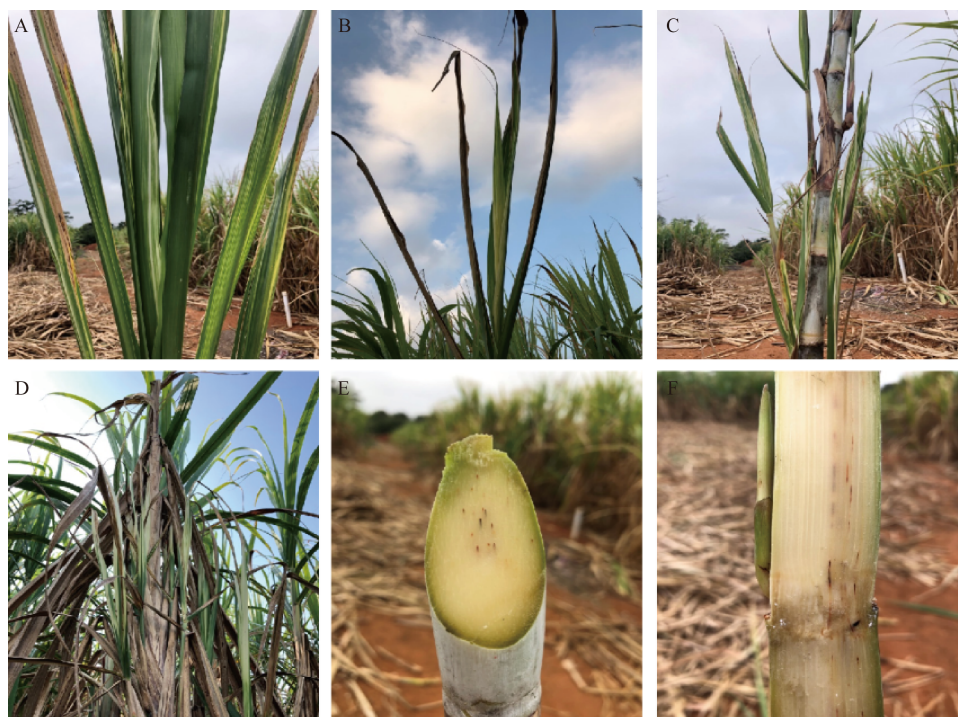
利用美国国家生物信息中心(NCBI)在线 BLASTn 程序对上述测序结果进行 DNA 序列比对, 判断是否为白条黄单胞菌。将本研究获得白条黄单胞菌菌株靶标基因序列连同 GenBank 数据

库 13 个来自不同国家菌株的序列组成序列集, 通过 MEGA7 软件附带的 ClustalW 算法进行对齐, 然后利用邻接法(Neighbour-Joining)构建进化树。自展法系数(Bootstrap)设置 1000 次重复检验, 进化分支节点仅显示大于 60% 的自展法系数值。根据已报道的白条黄单胞菌菌株脉冲场凝胶电泳(PFGE, pulsed field gel electrophoresis)基因型, 分别为 PFGE-A~PFGE-J^[20], 对本研究获得的 15 个菌株进行基因型鉴定。使用 BioEdit 7.1.9 分析序列一致性, 并通过 SDT 1.251 完成一致性热图。

2 结果与分析

2.1 田间症状观察

甘蔗白条病的田间症状主要表现为植株叶片出现白色至黄色褪绿条纹, 呈铅笔线状, 与叶脉平行, 边缘整齐, 有些发病较重的植株从叶尖至叶缘逐渐干枯, 叶片褪绿后枯萎, 向内卷曲(图 1A、B); 成熟甘蔗常见症状是蔗茎中下部芽容易长出许多侧枝, 茎基部出现纤弱的分蘖, 侧枝和分蘖的叶片出现与主茎叶片相似的症状, 出现白色条纹和褪绿, 发病严重的植株枯死(图 1C、D); 发病植株蔗茎成熟节维管束变红, 坏死的维管束贯穿整个节间(图 1E、F)。



A~C: 叶部和侧枝出现褪绿白化; D: 严重发病植株枯死; E~F: 蔗茎横切和纵切面出现维管束变红
A-C: leaf bleaching on top leaf and side shoot, D: Plant death of serious symptom, E-F: Orange-red discoloration of the vascular bundles at transverse and longitudinal sections of stem

图 1 甘蔗白条病田间症状

Fig.1 Disease symptom of sugarcane leaf scald in the field

2.2 田间自然发病率

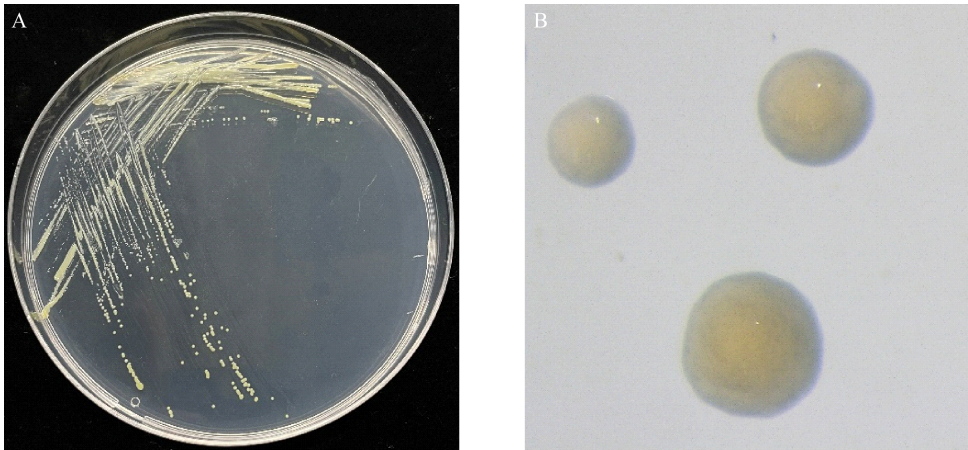
通过两年的田间自然发病率调查,发现在 27 个品种中,11 个品种出现典型的白条病症状,发病率最高达 9.4%。桂糖 08-1589、德蔗 12-88、福农 11-2907、福农 09-7111 等品种在新植和宿根蔗中均有白条病发生,这 4 个品种宿根蔗发病率均高于新植蔗;粤甘 49 号、海蔗 28 号、福农 10-14405 等品种新植蔗未发病,而宿根蔗有白条病发生;中蔗 1 号、福农 09-12206、云蔗 11-1074、桂糖 13-386 品种新植蔗有白条病发生,而宿根蔗没有发现白条病(表 1)。以上结果表明不同作物季甘蔗白条病的自然发病率有较大差异。

2.3 病原菌落形态特征及序列分析

从 11 个有白条病症状的甘蔗品种(表 1)取一块蔗茎组织,新植和宿根蔗蔗茎样品共计 15 份样品。采用平板涂布法成功分离出疑似白条病菌单菌落,经纯化后获得形态特征一致的单菌落。在 XAS 固体培养基上,这些菌株的单菌落呈蜡黄色,圆形,微隆起,有光泽、全缘,黏稠(图 2)。

表 1 甘蔗品种白条病自然发病率
Table 1 Natural incidence of leaf scald in sugarcane varieties

品种 Variety	发病率(%) Incidence rate	
	新植 Plant cane	宿根 Ratoon cane
桂糖 08-1589 Guitang 08-1589	2.9	9.4
德蔗 12-88 Dezhe 12-88	1.4	3.1
中蔗 1 号 Zhongzhe 1	0.8	0
福农 09-12206 Funong 09-12206	0.5	0
福农 11-2907 Funong 11-2907	1.5	1.9
福农 09-7111 Funong 09-7111	0.2	1.7
粤甘 49 号 Yuegan 49	0	4.4
福农 10-14405 Funong 10-14405	0	1.7
海蔗 28 号 Haizhe 28	0	2.9
云蔗 11-1074 Yunzhe 11-1074	2.0	0
桂糖 13-386 Guitang 13-386	2.7	0

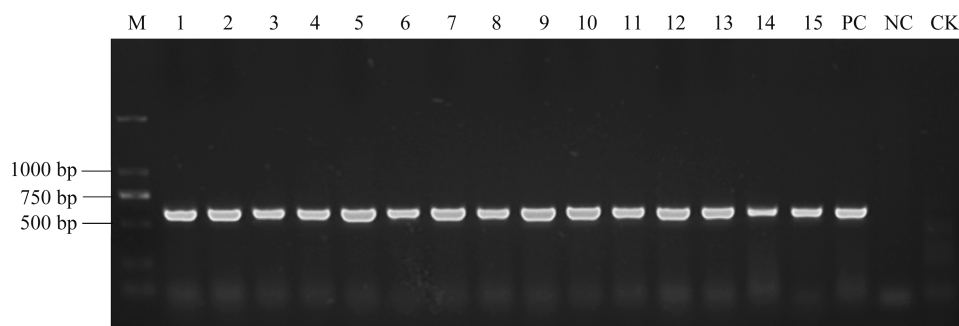


A: 平板上单菌落形态图; B: 光学显微镜下单菌落形态图(Leica M80 体式显微镜 60 倍下拍照)
A: Single colony morphology on XAS medium, B: Colony morphology observation under the Leica M80 microscope (60 x)

图 2 *X. albilineans* 单菌落形态图
Fig.2 Colony morphology of *X. albilineans*

对 15 份蔗茎样品提取菌株基因组 DNA 和蔗汁总 DNA,样品清单见表 1。以这 2 套 DNA 样本为模板,利用 XAF1 和 XAR1 检测引物进行 PCR 扩增,结果显示这 2 套模板均能扩增出目的条带大小为 608 bp,其中菌落 DNA 为模板的 PCR 电泳图如图 3 所示。测序结果表明这些目的条带的序列一致性为 100%,通过 NCBI 在线 BLASTn 程序进行比对,证实为白条黄单胞菌。随后,结合 NCBI

数据库上现有的白条黄单胞菌基因组上对应的序列进行一致性分析,结果表明本研究获得的 15 个菌株序列与来自中国福建 Xa-FJ1 菌株,法国瓜德罗普岛的 GPE PC73、GPE PC17、GPE PC86 和 MTQ032 菌株,美国佛罗里达州的 XaFL07-1 菌株的同源性最高,达 100%。系统进化分析表明,这些菌株划分在同一个进化分支上,为 PFGE-B 组群(图 4)。



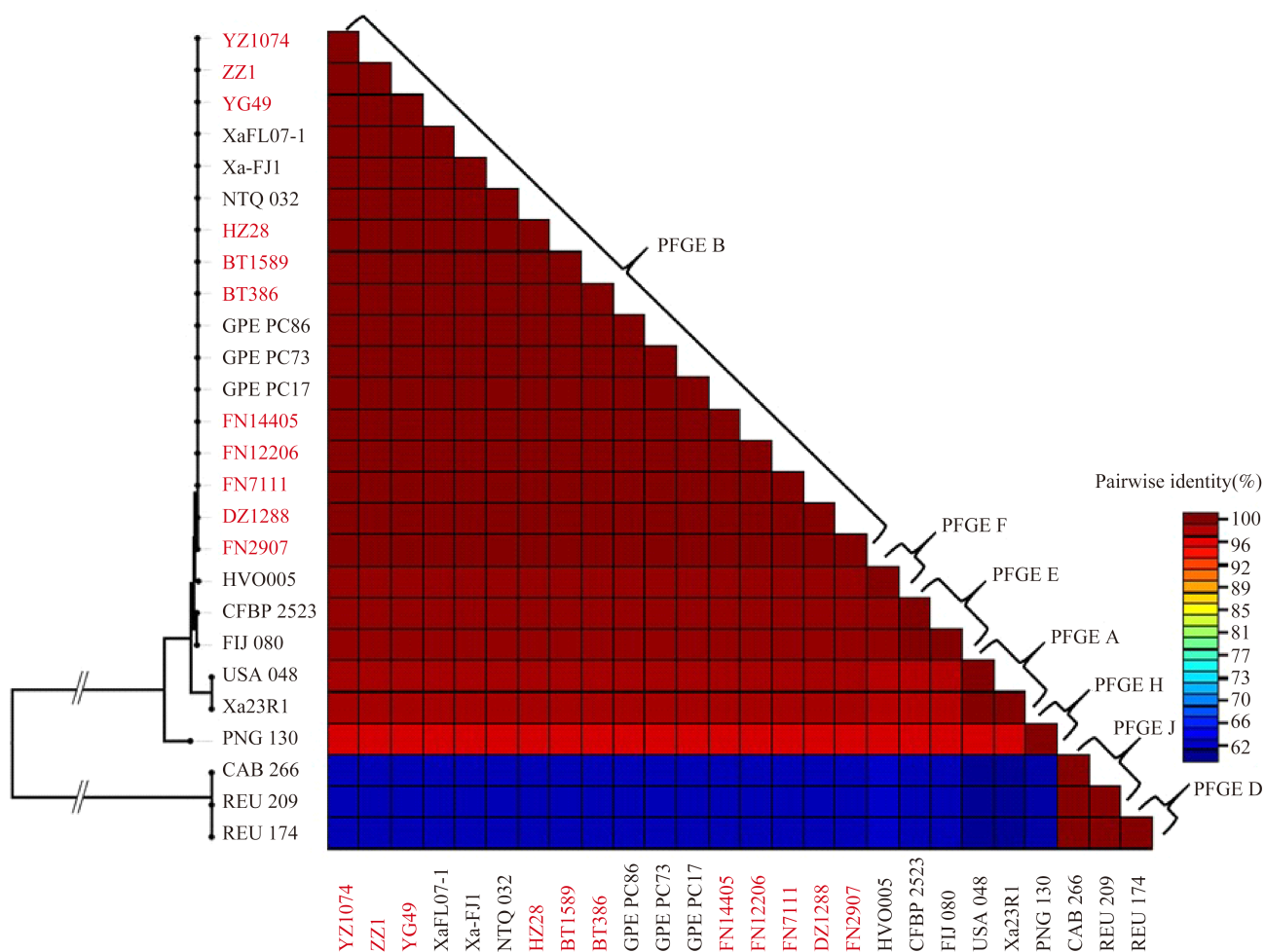
M: 2000 bp DNA Ladder; 1~15: 分离获得的白条黄单胞菌菌株; PC: Xa-FJ1 菌株阳性对照;

NC: 健康植株蔗汁 DNA 样品阴性对照; CK: 无菌水空白对照

M: 2000 bp DNA Ladder, 1-15: *X. albilineans* strains, PC: Xa-FJ1 strain (positive control),
NC: Total DNA of juice from healthy plant (negative control), CK: Sterile water (blank control)

图 3 从甘蔗白条病样品分离获得的菌株 PCR 检测

Fig.3 PCR detection of *X. albilineans* strains isolated from leaf samples of sugarcane leaf scald



左: 系统进化树; 右: 一致性矩阵; 本研究获得的序列用红色标注

Phylogenetic tree (leaf panel) and heat map (right panel). The sequences obtained in this study are showed with red

图 4 基于 *X. albilineans* 菌株基因组编码的三磷酸腺苷结合盒转运蛋白基因 (*abc*) 序列构建系统进化树和一致性热图

Fig.4 Phylogenetic tree and heat map based on a putative ATP-binding cassette (ABC)
transporter gene (*abc*) sequences of *X. albilineans* strains

3 讨论

白条病是甘蔗三大细菌性病害之一,是一种寄生在甘蔗维管组织的系统性细菌病害^[21]。该病害的发生与蔗田地势、土壤、栽培管理等因素有关,但大面积种植感病品种则是引起该病流行爆发的主要因素^[3]。由于甘蔗是无性繁殖作物,甘蔗白条病菌通过带病种茎长距离传播是病害主要的传播途径,通过砍收工具在不同田块之间传播也是一个重要传播途径^[12]。甘蔗白条病还具有侵染潜伏期特点,表现为植株可耐受病原菌数周甚至数年,一旦外部条件合适即可发病^[3]。因此,甘蔗白条病的流行监测与防控对甘蔗产业健康发展十分重要。本研究通过田间调查发现,在自然发病条件下有3个品种的新植蔗没有白条病发生,而宿根蔗有发病;另有4个品种新植蔗有白条病发生,而宿根蔗没有发病,这表明甘蔗品种在不同作物季或不同年份的白条病抗性存在差异,与前人结果类似^[7]。在自然发病条件下通过田间病害症状诊断容易产生漏诊,而且甘蔗白条病具有潜伏侵染的特性,因此,利用分子检测技术开展病害诊断和监测是不可忽略的重要手段。此外,建立精准、快速的甘蔗新品种白条病人工接种抗性鉴定与评价技术体系十分必要^[22]。

本研究通过田间调查结合 PCR 分子检测手段,对湛江地区近年来新引进的甘蔗新品种进行白条病筛查鉴定,证实 11 个甘蔗品种感染白条病菌。由于这些品种还处于引种观察期,种植面积不大,对发现的感病植株进行烧毁和处理,不会对当地甘蔗生产造成影响。在今后的科研和生产中,应注意以下几个方面:一是在引种时严格做好检疫工作,发现感病品种要及时淘汰;二是在蔗种跨区域调运前要进行检疫,杜绝带病蔗种流入蔗区;三是建议生产上尽量使用脱毒健康种苗,切断病害传播主要途径;四是加强栽培管理,增施有机肥,与其他作物进行间套作或轮作,收获后对病株残叶进行处理,可以有效控制甘蔗白条病发生。

本研究发现湛江蔗区甘蔗白条病菌属白条黄单胞菌 PFGE-B 组群,该组群不仅是我国其他蔗区主要的流行株系^[15],也是美国、墨西哥、多米尼加共和国以及加勒比海东部的瓜德鲁普岛的流行株系^[3,23]。为此,该病害在我国蔗区存在暴发流行的风险,应当引起各地方政府和糖厂高度重视,加强病害发生流行规律及监测防控技术的研究。选育抗病品种是防控作物病害最经济有效的措施,为此,建议

在容易发病的蔗区加大推广应用抗白条病甘蔗优良新品种的力度^[23]。

参考文献

- [1] 韦金菊,魏春燕,宋修鹏,覃振强,谭宏伟,张荣华,庞天,王伦旺,刘璐,李杨瑞. 广西北海蔗区甘蔗白条病发生情况调查. 南方农业学报, 2018, 49(2): 264-270
Wei J J, Wei C Y, Song X P, Qin Z Q, Tan H W, Zhang R H, Pang T, Wang L W, Liu L, Li Y R. Sugarcane leaf scald disease in sugarcane planting areas of Beihai, Guangxi. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(2): 264-270
- [2] Rott P, Davis M J. Leaf scald//Rott P, Bailey R A, Comstock J C, Croft B J, Saumtally S. A guide to sugarcane diseases. Montpellier, France: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)/ International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT), 2000: 38-44
- [3] 孟建玉,张慧丽,林岭虹,黄宏阳,高三基. 甘蔗白条病及其致病菌 *Xanthomonas albilineans* 研究进展. 植物保护学报, 2019, 46(2): 257-265
Meng J Y, Zhang H L, Lin L H, Huang H Y, Gao S J. Research advances in sugarcane leaf scald disease and its causal agent *Xanthomonas albilineans*. Journal of Plant Protection, 2019, 46(2): 257-265
- [4] 仓晓燕,李文凤,王晓燕,张荣跃,单红丽,黄应昆. 检疫性病害甘蔗白条病的发生危害与防控对策. 中国糖料, 2017, 39(3): 69-71, 75
Cang X Y, Li W F, Wang X Y, Zhang R Y, Shan H L, Huang Y K. Damage of quarantine disease sugarcane leaf scald disease and its control countermeasures. Sugar Crops of China, 2017, 39(3): 69-71, 75
- [5] 李文凤,单红丽,张荣跃,仓晓燕,王晓燕,尹炯,罗志明,黄应昆. 广西蔗区检测发现检疫性病害甘蔗白条病. 中国农学通报, 2018, 34(13): 144-149
Li W F, Shan H L, Zhang R Y, Cang X Y, Wang X Y, Yin J, Luo Z M, Huang Y K. Sugarcane leaf scald disease found in Guangxi sugarcane region. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(13): 144-149
- [6] 王鉴明. 中国甘蔗栽培学. 北京: 农业出版社, 1985: 431-432
Wang J M. Science of sugarcane cultivation in China. Beijing: Agricultural Press, 1985: 431-432
- [7] 黄鸿能. 我国大陆植蔗省(区)(部分)甘蔗病害种类调查初报. 甘蔗糖业, 1991(1): 1-8
Huang H N. The preliminary report of sugarcane disease investigation in the sugarcane planting provinces (partly), Mainland China. Sugarcane and Cane sugar, 1991(1): 1-8
- [8] 魏春燕,韦金菊,张小秋,张保青,宋修鹏,李德伟,覃振强,李杨瑞. 广西甘蔗白条病病原菌的分离鉴定. 植物检疫, 2019, 33(1): 19-23
Wei C Y, Wei J J, Zhang X Q, Zhang B Q, Song X P, Li D W, Qin Z Q, Li Y R. Isolation and identification of the pathogens causing sugarcane leaf scald in Guangxi province, China. Plant Quarantine, 2019, 33(1): 19-23
- [9] Duan Y Y, Zhang Y Q, Xu Z X, Lin Y, Mao L R, Wang W H, Deng Z H, Huang M T, Gao S J. First report of *Xanthomonas albilineans* causing leaf scald on two chewing cane clones in Zhejiang province, China. Plant Disease, 2021, 105(2): 485

- [10] Klett P, Rott P. Inoculum sources for the spread of leaf scald disease of sugarcane caused by *Xanthomonas albilineans* in Guadeloupe. *Journal of Phytopathology*, 1994, 142 (3): 283-291
- [11] Daugrois J H, Dumont V, Champoiseau P, Costet L, Boisen-Noc R, Rott P. Aerial contamination of sugarcane in Guadeloupe by two strains of *Xanthomonas albilineans*. *European Journal of Plant Pathology*, 2003, 109 (5): 445-458
- [12] Ricaud C, Ryan C C. Leaf scald/Ricaud C, Egan B T, Gillaspie A G, Hughes C G. Disease of sugarcane: Major diseases. New York, USA: Elsevier, 1989: 39-58
- [13] 白晨. 强化科技支撑, 推进糖料产业高质量绿色发展. *中国糖料*, 2021, 43 (1): 66-70
Bai C. Strengthen scientific and technological support and promote the high-quality green development of sugar industry. *Sugar Crops of China*, 2021, 43 (1): 66-70
- [14] 黄鸿能. 广东蔗区甘蔗病害种类和分布的调查及其主要病害的防治. *甘蔗糖业*, 1987 (5): 50-52
Huang H N. Investigation on the types and distribution of sugarcane diseases and control of main diseases in Guangdong sugarcane region. *Sugarcane and Canesugar*, 1987 (5): 50-52
- [15] Ntambo M S, Meng J Y, Rott P C, Royer M, Lin L H, Zhang H L, Gao S J. Identification and characterization of *Xanthomonas albilineans* causing sugarcane leaf scald in China using multilocus sequence analysis. *Plant Pathology*, 2019, 68 (2): 269-277
- [16] Davis M J, Rott P, Baudin P, Dean J L. Evaluation of selective media and immunoassays for detection of *Xanthomonas albilineans*, causal agent of sugarcane leaf scald disease. *Plant Disease*, 1994, 78 (1): 78-82
- [17] Shi Y, Zhao J Y, Zhou J R, Ntambo M S, Xu P Y, Rott P C, Gao S J. Molecular detection and quantification of *Xanthomonas albilineans* in juice from symptomless sugarcane stalks using a real-time quantitative PCR assay. *Plant Disease*, 2021, DOI: 10.1094/PDIS-03-21-0468-RE
- [18] 王中康, 殷幼平, 成萍. 甘蔗白条病 (*Xanthomonas albilineans*) PCR 检验技术研究. *西南农业大学学报*, 1998 (4): 3-5
Wang Z K, Yin Y P, Cheng P. Identification and detection of sugarcane leaf scald with polymerase chain reaction. *Journal of Southwest University*, 1998 (4): 3-5
- [19] Zhang H L, Ntambo M S, Rott P C, Chen G, Chen L L, Huang M T, Gao S J. Complete genome sequence reveals evolutionary and comparative genomic features of *Xanthomonas albilineans* causing sugarcane leaf scald. *Microorganisms*, 2020, 8 (2): 182
- [20] Davis M J, Rott P, Warmuth C J, Chatenet M, Baudin P. Intraspecific genomic variation within *Xanthomonas albilineans*, the sugarcane leaf scald pathogen. *Phytopathology*, 1997, 87 (3): 316-324
- [21] Royer M, Pieretti I, Cociancich S. Recent progress in understanding three major bacterial diseases of sugarcane: Gumming, leaf scald and ratoon stunting//Rott P. Achieving sustainable cultivation of sugarcane volume 2: Breeding, pests and diseases. Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing, 2018: 311-336
- [22] 傅华英, 张婷, 彭文静, 段瑶瑶, 许哲昕, 林艺华, 高三基. 甘蔗新品种 (系) 苗期白条病人工接种抗性鉴定与评价. *作物学报*, 2021, 47 (8): 1531-1539
Fu H Y, Zhang T, Peng W J, Duan Y Y, Xu Z X, Lin Y H, Gao S J. Identification of resistance to leaf scald in newly released sugarcane varieties at seedling stage by artificial inoculation. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47 (8): 1531-1539
- [23] Lin L H, Ntambo M S, Rott P C, Wang Q N, Lin Y H, Fu H Y, Gao S J. Molecular detection and prevalence of *Xanthomonas albilineans*, the causal agent of sugarcane leaf scald, in China. *Crop Protection*, 2018, 109: 17-23