作物学报 ACTA AGRONOMICA SINICA 2021, 47(11): 2290–2296 http://zwxb.chinacrops.org/
ISSN 0496-3490; CN 11-1809/S; CODEN TSHPA9 E-mail: zwxb301@caas.cn

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2021.04257

研究简报

甘蔗优良品种(系)对黑穗病的抗性评价

仓晓燕** 夏红明** 李文凤 王晓燕* 单红丽 王长秘 李 婕 张荣跃 黄应昆*

云南省农业科学院甘蔗研究所 / 云南省甘蔗遗传改良重点实验室, 云南开远 661699

摘 要: 甘蔗黑穗病是严重影响中国甘蔗产业发展的系统性真菌病害, 不同的甘蔗品种对甘蔗黑穗病的抗性不一, 筛选和种植抗病品种是防治甘蔗黑穗病最经济有效的措施。为明确近年中国育成的优良品种(系)对甘蔗黑穗病的抗性, 筛选抗黑穗病优良品种供生产上推广应用, 本研究选择云南元江甘蔗黑穗病高发区, 采用人工接种浸渍法, 对中国的 100 个优良品种(系)进行抗性鉴定评价。结果表明, 100 个优良品种(系)中 56 个表现高抗到中抗, 占 56%, 44 个表现为中感到高感 2, 占 44%。研究结果显示目前大面积种植和主推的闽糖 69-421、新台糖 22 号、柳城 03-182、柳城 03-1137、桂糖 42 号、粤甘 26 号、桂糖 02-351、云蔗 09-1601 等品种(系)高度感病, 而近年选育的福农 15 号、福农 36 号、福农 1110、福农 07-3206、福农 11-2907、闽糖 11-610、粤甘 39 号、粤甘 43 号、粤甘 48 号、粤甘 49 号、粤甘 50 号、粤糖 00-236、赣蔗 02-70、云蔗 99-596、云蔗 03-258、云蔗 04-241、云蔗 06-80、云蔗 07-2800、云蔗 08-2060、云蔗 10-2698、云蔗 13-1139、云瑞 10-701、德蔗 09-84、德蔗 12-88、桂糖 08-1589、中蔗 1 号等 26 个优良品种(系)高度抗病。建议低海拔河谷甘蔗黑穗病高发区, 应加大淘汰感病主栽品种和推广应用抗病优良品种力度, 以达到品种合理布局, 控制甘蔗黑穗病大发生流行, 为甘蔗产业高质量发展提供保障。

关键词: 甘蔗; 优良品种(系); 黑穗病; 人工接种; 抗性

Evaluation of natural resistance to smut in elite sugarcane varieties (lines)

CANG Xiao-Yan**, XIA Hong-Ming**, LI Wen-Feng, WANG Xiao-Yan*, SHAN Hong-Li, WANG Chang-Mi, LI Jie, ZHANG Rong-Yue, and HUANG Ying-Kun*

Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences / Yunnan Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan 661699, Yunnan, China

Abstract: Sugarcane smut is a systemic fungal disease that seriously affects the development of sugarcane industry in China. Different sugarcane varieties have various resistance to smut. Screening and planting resistant varieties are the most economical and effective measure to control smut disease. In order to determine the smut resistance of elite varieties (lines) bred in China in recent year and screen resistant varieties for application in production, the resistance of 100 Chinese elite sugarcane varieties (lines) were evaluated by artificial inoculation with the impregnation method in smut epidemic area Yuanjiang, Yunnan Province. The results revealed that 56 of the 100 elite varieties (lines) were highly resistant to moderately resistant, accounting for 56%, and 44 were moderately susceptible to highly susceptible 2, accounting for 44%. The results showed that current large-scale planted and promoted varieties (lines) Mintang 69-421, ROC 22, Liucheng 03-182, Liucheng 03-1137, Guitang 42, Yuegan 26, Guitang 02-351, and Yunzhe 09-1601 were highly susceptible. And the sugarcane varieties (lines) bred in recent years, Funong 15, Funong 36, Funong 1110, Funong 07-3206, Funong 11-2907, Mintang 11-610, Yuegan 39, Yuegan 43, Yuegan 48, Yuegan 49, Yuegan 50, Yuetang 00-236, Ganzhe 02-70, Yunzhe 99-596, Yunzhe 03-258, Yunzhe 04-241, Yunzhe 06-80, Yunzhe 07-2800, Yunzhe 08-2060,

本研究由国家现代农业产业技术体系(糖料)建设专项(CARS-170303), 云岭产业技术领军人才培养项目(2018LJRC56), 云南省技术创新人才培养对象项目(202005AD160012)和云南省现代农业产业技术体系建设专项资助。

This study was supported by the Sugar Crop Research System (CARS-170303), the Yunling Industry and Technology Leading Talent Training Program "Prevention and Control of Sugarcane Pests" (2018LJRC56), the Yunnan Province Technology Innovation Talent Training Object Project (202005AD160012) and the Yunnan Province Agriculture Research System.

* 通信作者(Corresponding authors): 黄应昆, E-mail: huangyk64@163.com; 王晓燕, E-mail: xiaoyanwang402@sina.com

** 同等贡献(Contributed equally to this work)

第一作者联系方式: 仓晓燕, E-mail: cangxiaoyan@126.com; 夏红明, E-mail: xiahm103@163.com

Received (收稿日期): 2020-11-25; Accepted (接受日期): 2021-04-26; Published online (网络出版日期): 2021-05-13.

URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20210513.1452.006.html

Yunzhe 10-2698, Yunzhe 13-1139, Yunrui 10-701, Dezhe 09-84, Dezhe 12-88, Guitang 08-1589, and Zhongzhe 1 were highly resistant to smut disease. It was suggested that in the high incidence area of sugarcane smut in low altitude valley, efforts should be carried out to eliminate the elite varieties susceptible to the disease and popularize and apply the superior varieties resistant to the disease in order to achieve the rational distribution of varieties, control the outbreak and epidemic of sugarcane smut, and provide guarantee for the high-quality development of sugarcane industry.

Keywords: sugarcane; elite varieties (lines); smut; artificial inoculation; resistance

甘蔗黑穗病是由甘蔗鞭孢堆黑粉菌[*Sporisorium scitamineum* (Syd.) M. Piependr., M. Stoll et Oberw.,]引起的一种世界性重要真菌病害[1-3]。此病最初于 1877 年在南非纳塔尔发现[3-4], 随后在阿根廷、印度、巴西、津巴布韦、路易斯安那、古巴、菲律宾等植蔗国家严重流行, 危及制糖工业[3-10]。现今广泛分布于中国各甘蔗种植区, 严重影响甘蔗生产, 并呈日趋加重态势, 尤其旱地及宿根蔗更为严重。感病品种宿根蔗病株率高达 50%以上, 严重的高达 80%~90%, 造成巨大经济损失[2, 11]。甘蔗黑穗病流行为害已成为现阶段严重影响我国甘蔗高产、稳产、优质的主要障碍因素之一。因此, 科学、有效防控好甘蔗黑穗病将是我国现代甘蔗产业提质增效和高质量发展的首要任务。

国内外公认, 选育和种植抗病品种是防治甘蔗黑穗病最为经济有效的途径。澳大利亚、印度、古巴、美国、巴西等都曾发生过甘蔗黑穗病流行, 给甘蔗生产造成了严重损失。通过加强抗病育种工作, 培育和选种抗病品种, 甘蔗黑穗病才得到了有效控制[3,11-13]。目前, 中国蔗区甘蔗黑穗病发生越来越普遍, 危害损失越来越严重。要解决这一问题, 最有效的途径就是加强抗病育种工作, 培育和筛选出抗黑穗病的优良甘蔗新品种, 供蔗农选择种植, 使品种推广做到合理布局, 才能从根本上控制甘蔗黑穗病发生流行。

本研究选择云南元江甘蔗黑穗病高发区, 采用人工接种浸渍法, 于 2018 年和 2019 年对中国育成的 100 个甘蔗优良品种(系)进行抗甘蔗黑穗病鉴定与评价, 以期明确甘蔗优良品种(系)对甘蔗黑穗病的抗性, 为生产用种选择和有效防控甘蔗黑穗病提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

供试材料为中国育成甘蔗优良品种(系) 100 个(表 1), 感病对照品种闽糖 69-421、新台糖 22 号、台糖 134 (感小种 2、抗小种 1)、NC_O310 (感小种 1、抗小种 2)4 个, 抗病对照品种粤糖 93-159、新台糖 20 号、新台糖 10 号(免疫小种 1 及小种 2)、NC_O376 (免疫小种 1 及小种 2)4 个[6,14]。

1.2　菌源采集与处理

分别于 2017 年和 2018 年的 5 月从云南元江蔗区感病品种新台糖 22 号采集黑穗病鞭子, 自然风干收集黑穗病菌孢子装于纸袋中, 凉干后密封于塑料袋内, 于 0℃下贮存备用。接种前, 把黑穗病菌孢子置于 1%琼脂糖培养基内, 在 28℃的恒温箱内培养 1 d 后, 用光学显微镜检查病菌孢子发芽情况, 计算孢子活力(3 个视野平均值), 孢子活力在 90%以上可用于接种。以 75 g 孢子兑水 1 kg, 配成 5×10^6 个 mL^{-1} (在 60 倍显微镜下, 一个视野有 40 个孢子)孢子的悬浮液。配孢子液时, 加入 0.02%稀盐酸混合以破坏表面离子膜[15]。

1.3　材料准备

各供试材料选取 10 条生长正常的上部蔗茎, 砍取 30 个双芽茎段供接种。

1.4　接种

采用浸渍法, 将 30 个双芽茎段装入网袋浸入配好的孢子悬浮液中 10 min, 取出后装入塑料袋内, 于 15~28℃下保湿 24 h。

1.5　种植

接种材料分别于 2018 年和 2019 年的 3 月种植于云南省元江县甘蔗站试验示范基地, 地块土质、肥力、灌溉、管理均一致。田间管理按当地常规进行。

1.6　试验设计

采用随机区组设计, 设 3 次重复, 单行区, 行长 5.0 m, 行距 1.0 m, 每行(区)每品种种植 20 个芽。

1.7　病情调查

分别在 6 月、7 月和 8 月各调查一次病情。每次调查记载每小区总株数和病株数, 并将病株拔除, 最后累计每小区总株数和病株数, 计算发病株率。

1.8　统计分析方法

采用 DPS 9.01 数据处理系统进行数据统计分析, 用 Duncan's 新复极差多重比较法进行差异显著性分析(P<0.05)。

1.9　抗性评价

参照文献[16]中的标准按 1~9 级分级进行抗性水平分类, 其中等级 1~9 分别表示高抗、抗病 1、抗病 2、中抗、中感、感病 1、感病 2、高感 1 和高感 2, 其发病株率范围相应为 0~3.0%、3.1%~6.0%、6.1%~9.0%、9.1%~12.0%、12.1%~25.0%、25.1%~35.0%、35.1%~50.0%、50.1%~75.0%和 75.1%~100%。

2　结果与分析

由表 1 可知, 感病对照品种闽糖 69-421 表现高感 2、新台糖 22 号表现感病 1、台糖 134 表现高感 1、NC_O310 表现感病 2, 抗病对照品种粤糖 93-159 和新台糖 20 号均表现高抗、新台糖 10 号和 NC_O376 均表现中感。100 个供

试优良品种(系)中，高抗至中抗的有 56 个，占 56%；中感到高感 2 的有 44 个，占 44%。其中福农系列 5 个、粤糖系列 6 个、云蔗系列 9 个、德蔗系列 2 个以及闽糖、赣蔗、桂糖、中蔗系列各 1 个共 26 个优良品种(系)表现高抗，占 26%；福农系列 2 个、粤糖系列 3 个、桂糖系列 3 个、云蔗系列 4 个、德蔗系列 3 个、柳城系列 1 个共 16 个优良品种(系)表现抗病，占 16%；福农系列 4 个、粤糖系列 2 个、云蔗系列 4 个、柳城系列 2 个和桂糖、中糖系列各 1 个共 14 个优良品种(系)表现中抗，占 14%；福农系列 3 个、闽糖系列 3 个、粤糖系列 3 个、云蔗系列 4 个、桂糖系列 5 个和柳城、中糖系列各 1 个共 20 个优良品种(系)表现中感，占 20%；福农系列 2 个、粤糖系列 5 个、云蔗系列 6 个、桂糖系列 3 个和中蔗、柳城、赣蔗系列各 1 个共 19 个优良品种(系)现感病，占 19%；云蔗系列 2 个、柳城系列 2 个和桂糖系列 1 个共 5 个优良品种(系)表现高感，占 5%。

表 1 甘蔗优良品种(系)对黑穗病的抗性

Table 1 Evaluation of resistance to smut in elite sugarcane varieties (lines)

品种(系) Variety (line)	发病株率 Disease incidence (%)	病级 Disease grade	抗性反应 Resistance response
福农 15 号 Funong 15	(0±0.0) z	1	高抗 HR
福农 36 号 Funong 36	(0±0.0) z	1	高抗 HR
福农 1110 Funong 1110	(2.9±0.1) wxyz	1	高抗 HR
福农 07-3206 Funong 07-3206	(2.7±0.1) wxyz	1	高抗 HR
福农 11-2907 Funong 11-2907	(0±0.0) z	1	高抗 HR
闽糖 11-610 Mintang 11-610	(0±0.0) z	1	高抗 HR
粤甘 39 号 Yuegan 39	(0±0.0) z	1	高抗 HR
粤甘 43 号 Yuegan 43	(1.5±0.0) z	1	高抗 HR
粤甘 48 号 Yuegan 48	(0±0.0) z	1	高抗 HR
粤甘 49 号 Yuegan 49	(1.6±0.0) z	1	高抗 HR
粤甘 50 号 Yuegan 50	(0±0.0) z	1	高抗 HR
粤糖 00-236 Yuetang 00-236	(0±0.0) z	1	高抗 HR
云蔗 99-596 Yunzhe 99-596	(0±0.0) z	1	高抗 HR
云蔗 03-258 Yunzhe 03-258	(0±0.0) z	1	高抗 HR
云蔗 04-241 Yunzhe 04-241	(1.5±0.0) z	1	高抗 HR
云蔗 06-80 Yunzhe 06-80	(0±0.0) z	1	高抗 HR
云蔗 07-2800 Yunzhe 07-2800	(0±0.0) z	1	高抗 HR
云蔗 08-2060 Yunzhe 08-2060	(2.3±0.1) yz	1	高抗 HR
云蔗 10-2698 Yunzhe 10-2698	(0±0.0) z	1	高抗 HR
云蔗 13-1139 Yunzhe 13-1139	(0±0.0) z	1	高抗 HR
云瑞 10-701 Yunrui 10-701	(3.0±0.1) wxyz	1	高抗 HR
德蔗 09-84 Dezhe 09-84	(2.8±0.1) wxyz	1	高抗 HR
德蔗 12-88 Dezhe 12-88	(0±0.0) z	1	高抗 HR
桂糖 08-1589 Guitang 08-1589	(0±0.0) z	1	高抗 HR
赣蔗 02-70 Ganzhe 02-70	(2.4±0.1) xyz	1	高抗 HR
中蔗 1 号 Zhongzhe 1	(0±0.0) z	1	高抗 HR
福农 0335 Funong 0335	(4.8±0.1) uvwxyz	2	抗病 1 R 1
粤甘 46 号 Yuegan 46	(5.9±0.2) tuvwxyz	2	抗病 1 R 1
粤糖 96-86 Yuetang 96-86	(5.0±0.1) uvwxyz	2	抗病 1 R 1
粤糖 00-318 Yuetang 00-318	(3.3±0.1) vwxyz	2	抗病 1 R 1
桂糖 02-901 Guitang 02-901	(3.2±0.1) vwxyz	2	抗病 1 R 1
桂糖 08-120 Guitang 08-120	(5.3±0.2) uvwxyz	2	抗病 1 R 1
柳城 05-136 Liucheng 05-136	(4.5±0.1) uvwxyz	2	抗病 1 R 1
云蔗 01-1413 Yunzhe 01-1413	(4.5±0.1) uvwxyz	2	抗病 1 R 1
云蔗 11-3898 Yunzhe 11-3898	(4.7±0.1) uvwxyz	2	抗病 1 R 1
福农 07-2020 Funong 07-2020	(7.0±0.2) stuvwxyz	3	抗病 2 R 2

(续表 1)

品种(系) Variety (line)	发病株率 Disease incidence (%)	病级 Disease grade	抗性反应 Resistance response
云蔗 10-1666 Yunzhe 10-1666	(6.6±0.2) stuvwxyz	3	抗病 2 R 2
云瑞 06-189 Yunrui 06-189	(6.4±0.2) stuvwxyz	3	抗病 2 R 2
德蔗 03-83 Dezhe 03-83	(8.5±0.2) rstuvwxyz	3	抗病 2 R 2
德蔗 06-24 Dezhe 06-24	(8.1±0.2) rstuvwxyz	3	抗病 2 R 2
德蔗 07-36 Dezhe 07-36	(8.9±0.3) rstuvwxyz	3	抗病 2 R 2
桂糖 31 号 Guitang 31	(7.6±0.2) stuvwxyz	3	抗病 2 R 2
福农 28 号 Funong 28	(11.9±0.3) nopqrstuvwxyz	4	中抗 MR
福农 39 号 Funong 39	(11.0±0.3) opqrstuvwxyz	4	中抗 MR
福农 09-12206 Funong 09-12206	(9.2±0.3) rstuvwxyz	4	中抗 MR
福农 09-6201 Funong 09-6201	(10.8±0.3) opqrstuvwxyz	4	中抗 MR
粤甘 34 号 Yuegan 34	(11.2±0.3) opqrstuvwxyz	4	中抗 MR
粤甘 40 号 Yuegan 40	(11.3±0.3) opqrstuvwxyz	4	中抗 MR
云蔗 03-194 Yunzhe 03-194	(10.4±0.3) opqrstuvwxyz	4	中抗 MR
云蔗 05-39 Yunzhe 05-39	(10.0±0.3) pqrstuvwxyz	4	中抗 MR
粤糖 93-159 Yuetang 93-159	(0±0.0) z	1	高抗 HR
新台糖 20 号 ROC 20	(0±0.0) z	1	高抗 HR
新台糖 10 号 ROC 10	(13.8±0.4) nopqrstuvwxyz	5	中感 MS
纳印 376 NC_O 376	(12.9±0.4) nopqrstuvwxyz	5	中感 MS
云蔗 05-51 Yunzhe 05-51	(11.7±0.3) nopqrstuvwxyz	4	中抗 MR
云瑞 10-187 Yunrui 10-187	(11.4±0.3) nopqrstuvwxyz	4	中抗 MR
桂糖 11-1076 Guitang 11-1076	(9.5±0.3) qrstuvwxyz	4	中抗 MR
柳城 05-129 Liucheng 05-129	(11.2±0.3) opqrstuvwxyz	4	中抗 MR
柳城 07-150 Liucheng 07-150	(10.9±0.3) opqrstuvwxyz	4	中抗 MR
中糖 1201 Zhongtang 1201	(11.1±0.3) opqrstuvwxyz	4	中抗 MR
福农 30 号 Funong 30	(16.2±0.5) jklmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
福农 38 号 Funong 38	(18.4±0.5) ijklmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
福农 08-3214 Funong 08-3214	(21.0±0.6) hijklmnopqrstuvwxy	5	中感 MS
闽糖 01-77 Mintang 01-77	(18.6±0.5) ijklmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
闽糖 02-205 Mintang 02-205	(14.7±0.4) lmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
闽糖 06-1405 Mintang 06-1405	(15.2±0.4) klmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
粤甘 24 号 Yuegan 24	(21.6±0.6) hijklmnopqrstuvwx	5	中感 MS
粤甘 35 号 Yuegan 35	(14.4±0.4) lmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
粤甘 47 号 Yuegan 47	(22.4±0.6) hijklmnopqrstuv	5	中感 MS
云蔗 99-91 Yunzhe 99-91	(13.1±0.4) nopqrstuvwxyz	5	中感 MS
云蔗 05-49 Yunzhe 05-49	(15.5±0.4) jklmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
云蔗 08-3208 Yunzhe 08-3208	(18.3±0.5) ijklmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
云瑞 07-1433 Yunrui 07-1433	(24.7±0.7) ghijklmnopqrst	5	中感 MS
桂糖 30 号 Guitang 30	(22.7±0.7) hijklmnopqrstu	5	中感 MS
桂糖 32 号 Guitang 32	(15.0±0.4) klmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
桂糖 97-69 Guitang 97-69	(19.2±0.6) ijklmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
桂糖 02-467 Guitang 02-467	(14.1±0.4) mnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
桂糖 06-2081 Guitang 06-2081	(21.7±0.6) hijklmnopqrstuvw	5	中感 MS
柳城 09-15 Liucheng 09-15	(18.2±0.5) ijklmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS
中糖 1202 Zhongtang 1202	(15.8±0.5) jklmnopqrstuvwxyz	5	中感 MS

(续表 1)

品种(系) Variety (line)	发病株率 Disease incidence (%)	病级 Disease grade	抗性反应 Resistance response
福农 40 号 Funong 40	(33.1±1.0) efghijklm	6	感病 1 S 1
福农 09-7111 Funong 09-7111	(25.6±0.7) fghijklmnopqrs	6	感病 1 S 1
粤甘 42 号 Yuegan 42	(27.0±0.8) efghijklmnopqr	6	感病 1 S 1
粤糖 55 号 Yuetang 55	(33.5±1.0) defghijkl	6	感病 1 S 1
海蔗 22 号 Haizhe 22	(34.6±1.0) defghij	6	感病 1 S 1
崖城 80-47 Yacheng 80-47	(29.5±0.9) efghijklmno	6	感病 1 S 1
云蔗 03-103 Yunzhe 03-103	(30.6±0.9) efghijklmn	6	感病 1 S 1
云蔗 06-407 Yunzhe 06-407	(28.5±0.8) efghijklmnopq	6	感病 1 S 1
云蔗 08-1095 Yunzhe 08-1095	(28.8±0.8) efghijklmnop	6	感病 1 S 1
桂糖 29 号 Guitang 29	(33.5±1.0) defghijkl	6	感病 1 S 1
桂糖 08-1180 Guitang 08-1180	(34.1±1.0) defghijk	6	感病 1 S 1
中蔗 10 号 Zhongzhe 10	(34.6±1.0) defghij	6	感病 1 S 1
粤甘 26 号 Yuegan 26	(37.1±1.1) defghi	7	感病 2 S 2
云蔗 03-422 Yunzhe 03-422	(35.6±1.0) defghi	7	感病 2 S 2
云蔗 11-1204 Yunzhe 11-1204	(38.6±1.1) defgh	7	感病 2 S 2
云瑞 11-450 Yunrui 11-450	(45.9±1.3) cde	7	感病 2 S 2
桂糖 02-351 Guitang 02-351	(44.4±1.3) cdef	7	感病 2 S 2
柳城 07-500 Liucheng 07-500	(39.0±1.1) defgh	7	感病 2 S 2
赣蔗 07-538 Ganzhe 07-538	(43.5±1.3) cdefg	7	感病 2 S 2
云蔗 09-1601 Yunzhe 09-1601	(58.6±1.7) bc	8	高感 1 HS 1
桂糖 42 号 Guitang 42	(61.6±1.8) bc	8	高感 1 HS 1
柳城 03-182 Liucheng 03-182	(71.3±2.1) ab	8	高感 2 HS 2
柳城 03-1137 Liucheng 03-1137	(82.9±2.4) a	9	高感 2 HS 2
云蔗 06-193 Yunzhe 06-193	(85.8±2.5) a	9	高感 2 HS 2
闽糖 69-421 Mintang 69-421	(86.4±2.5) a	9	高感 2 HS 2
新台糖 22 号 ROC 22	(34.6±1.0) defghij	6	感病 1 S 1
台糖 134 F 134	(52.7±1.5) bcd	8	高感 1 HS 1
纳印 310 NC_O 310	(44.0±1.3) cdef	7	感病 2 S 2

表中数据是 2018 年和 2019 年 3 次重复平均值±标准误。不同小写字母表示不同品种发病株率在 0.05 水平下差异显著。

HR: highly resistant; R 1: resistant 1; R 2: resistant 2; MR: moderately resistant; MS: moderately susceptible; S 1: susceptible 1; S 2: susceptible 2; HS 1: highly susceptible 1; HS 2: highly susceptible 2. The data in the table are means ± SEs of three duplicates in 2018 and 2019. Different lowercase letters indicate significant difference among disease incidence of different varieties at the 0.05 probability level.

3 讨论

云南是中国甘蔗野生资源重要的分布中心和世界野生甘蔗起源中心之一[17-18]，甘蔗野生资源是现代甘蔗育种中抗病基因的重要来源。研究显示中国甘蔗种质资源圃保存的野生种质资源和育种亲本中蕴藏着优良的抗病基因，是选育抗病甘蔗品种很有利用前景的抗源种质[19-23]。本研究评价筛选的抗黑穗病品种(系)，是选育抗黑穗病甘蔗品种具有应用潜力的育种材料，在大力推广应用的同时，可作为抗病亲本与野生抗源种质及育种亲本杂交，分析评价其抗病遗传力，并建立抗病种质基因库，进一步选育抗黑穗病品种，供生产上推广应用。

本研究结果显示，目前大面积种植和主推的闽糖 69-421、新台糖 22 号、柳城 03-182、柳城 03-1137、桂糖 42 号、粤甘 26 号、桂糖 02-351、云蔗 09-1601 等品种(系)高度感病，这是近年多数蔗区甘蔗黑穗病暴发成灾的主要诱因；而近年选育的福农 15 号、福农 36 号、福农 1110、福农 07-3206、福农 11-2907、闽糖 11-610、粤甘 39 号、粤甘 43 号、粤甘 48 号、粤甘 49 号、粤甘 50 号、粤糖 00-236、赣蔗 02-70、云蔗 99-596、云蔗 03-258、云蔗 04-241、云蔗 06-80、云蔗 07-2800、云蔗 08-2060、云蔗 10-2698、云蔗 13-1139、云瑞 10-701、德蔗 09-84、德蔗 12-88、桂糖 08-1589、中蔗 1 号等 26 个优良品种(系)高度抗病。建议低海拔河谷甘蔗黑穗病高发区，应加大淘汰感病主栽品种和推广应用抗病优良品种力度，以期达到品种合理布局，从根本上控制蔗区黑穗病的发生流行，为中国甘

蔗产业高质量发展提供保障。

本试验中, 感病对照主栽品种闽糖 69-421 表现高感、新台糖 22 号表现感病, 抗病对照主栽品种粤糖 93-159 和新台糖 20 号均表现高抗, 这与田间多年自然抗性表现相吻合, 可见鉴定结果准确、可靠, 真实反映了供试品种(系)抗性。而黑穗病菌生理小种鉴别寄主台糖 134 (感小种 2、抗小种 1)表现高感、NC_O310 (感小种 1、抗小种 2)表现感病, 新台糖 10 号和 NC_O376 (免疫小种 1 及小种 2)均表现中感, 表明云南蔗区甘蔗黑穗病菌存在不同的致病性及不同的生理小种, 这与沈万宽等[24]和陈双等[25]的研究结果基本一致。甘蔗黑穗病菌致病性和生理小种分化现象普遍存在, 美国夏威夷存在 A 和 B 2 个生理小种, 巴西至少存在 2 个小种, 巴基斯坦有 5 个小种[11-12]。目前该病菌在我国已有不同生理小种的报道, 据调查, 不同品种、同一品种不同生态区甘蔗黑穗病的发病率有明显差异[2,26]; 对澳大利亚引进的标准品种抗性测定结果与 Croft 等[27]测定结果存在差异, 表明我国甘蔗黑穗病菌与澳大利亚甘蔗黑穗病菌存在不同的致病性及不同的生理小种[11,28]; Shen 等[29]应用 SCoT 标记技术对中国大陆蔗区的 90 个甘蔗鞭黑粉菌交配型分离物进行遗传多样性分析表明, 这些分离物具有较高的遗传多样性, 且其遗传多样性与地理来源有关; Deng 等[30]在中国大陆蔗区鉴定出 3 个甘蔗鞭黑粉菌生理小种; 吴佳等[31]对 2 个不同致病力的甘蔗鞭黑粉菌转录组数据进行分析表明, 差异表达基因的 KEGG 代谢通路中最显著富集的信号通路是蔗糖与淀粉代谢通路和 ABC 转运蛋白, 推测甘蔗鞭黑粉菌吸收葡萄糖后, 可能通过糖酵解和 TCA 循环等途径为氨基酸合成提供碳骨架, 同时也可能作为一种小分子信号物质起着信息传递的作用。同时, ABC 转运蛋白可能参与甘蔗鞭黑粉菌有性配合信号分子的转运过程, 将信号分子从胞内运输到胞外, 促进甘蔗鞭黑粉菌的有性配合。我国蔗区生态环境复杂多样, 甘蔗黑穗病菌在种内或种间会发生杂交而变异, 因此, 目前迫切需求从分子水平上来明确我国蔗区甘蔗黑穗病菌生理小种类型、优势小种及其致病性分化, 这对今后有针对性地选育抗病品种和利用抗病品种有效控制该病害的发生流行具有非常重要意义。

References

[1] Rott P, Bailey R A, Comstock J C, Croft B J. A Guide to Sugarcane Diseases. Montpellier: CIRAD Publication Services, 2000. pp 181–185.

[2] Huang Y K, Li W F, Zhang R Y, Wang X Y. Color Illustration of Diagnosis and Control for Modern Sugarcane Diseases, Pests, and Weeds. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018. pp 5–9.

[3] 陈庆龙. 世界甘蔗病害. 北京: 农业出版社, 1982. pp 230–250.
Chen Q L. Sugarcane Diseases in the Dorld. Beijing: Agriculture Press, 1982. pp 230–250 (in Chinese).

[4] Mcmartin A. Sugar-cane smut: reappearance in Natal. *South Afr Sugar J*, 1945, 29: 55–57.

[5] Comstock J C, Heinz D J. A new race of culmicolous smut of sugarcane in Hawaii. *Sugar Pathol Newslett*, 1977, 19: 24–25.

[6] Hsieh W J, Li C H. Compatibility and pathogenicity of two races of *Ustilago scitaminea* Sydow in Taiwan. *Taiwan Sugar*, 1978, 25: 46–48.

[7] Sanguino A, Tokeshi H. Vacuum and *Ustilago scitaminea* changing bud development of sugarcane cuttings [Brazil]. *Brasil Acuc*, 1976, 87: 30–35.

[8] Gillaspie Jr A G, Mock R G, Dean J L. Differentiation of *Ustilago scitaminea* isolates in greenhouse tests. *Plant Dis*, 1983, 67: 373–375.

[9] Singh N, Somai B M, Pillay D. Smut disease assessment by PCR and microscopy in inoculated tissue cultured sugarcane cultivars. *Plant Sci*, 2004, 167: 987–994.

[10] Comstock J C, Ferreira S A, Tew T L. Hawaii's approach to control of sugarcane smut. *Plant Dis*, 1983, 67: 452.

[11] 黄应昆, 李文凤. 现代甘蔗病虫草害防治彩色图说. 北京: 中国农业出版社, 2016. pp 105–108.
Huang Y K, Li W F. Colored Atlas of Control on Diseases, Insect Pests and Weeds of Modern Sugarcane. Beijing: China Agriculture Press, 2016. pp 113–114 (in Chinese).

[12] 陈如凯. 现代甘蔗育种的理论与实践. 北京: 中国农业出版社, 2003. pp 205–234.
Chen R K. Theory and Practice of Modern Sugarcane Breeding. Beijing: China Agriculture Press, 2003. pp 205–234 (in Chinese).

[13] 郑加协. 美国路州甘蔗抗病育种. 甘蔗糖业, 1989, (4): 18–20.
Zheng J X. Sugarcane disease resistance breeding in Road States United States. *Sugar Canesugar*, 1989, (4): 18–20 (in Chinese with English abstract).

[14] Leu L S, Teng W S. Pathogenic strains of *Ustiliago scitaminea* Sydow. ISSCT *Sugar Pathol Newslett*, 1972, 8: 12–13.

[15] 蔡青, 范源洪. 甘蔗种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006. pp 45–46.
Cai Q, Fan Y H. Descriptors and Data Standard for Sugarcane (*Sacchrum officinarum* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2006. pp 45–46 (in Chinese).

[16] 阙友雄, 许莉萍, 林剑伟, 陈天生, 陈如凯, 李依龙. 甘蔗品种黑穗病抗性评价体系的建立. 植物遗传资源学报, 2006, 7: 18–23.
Que Y X, Xu L P, Lin J W, Chen T S, Chen R K, Li Y L. Establishment of evaluation system of smut resistance for sugarcane varieties. *J Plant Genet Resour*, 2006, 7: 18–23 (in Chinese with English abstract).

[17] 陈辉, 范源洪, 史宪伟, 蔡青, 张明, 张亚平. 甘蔗细茎野生种(*Saccharum spontaneum* L.)的遗传多样性与系统演化研究. 作物学报, 2001, 27: 645–652.
Chen H, Fan Y H, Shi X W, Cai Q, Zhang M, Zhang Y P. Research on genetic diversity and systemic evolution in *Saccharum spontaneum* L. *Acta Agron Sin*, 2001, 27: 645–652 (in Chinese with English abstract).

[18] 范源洪, 陈辉, 史宪伟, 蔡青, 张明, 张亚平. 甘蔗细茎野生种云南不同生态类型的 RAPD 分析. 云南植物研究, 2001, 23(3): 298–308.
Fan Y H, Chen H, Shi X W, Cai Q, Zhang M, Zhang Y P. RAPD analysis of *Saccharum spontaneum* from different ecospecific

colonies in Yunnan. *Acta Bot Yunnanica*, 2001, 23(3): 298–308 (in Chinese with English abstract).

[19] 李文凤, 王晓燕, 黄应昆, 张荣跃, 单红丽, 尹炯, 罗志明. 31份甘蔗野生核心种质资源褐锈病抗性鉴定及*Bru1*基因的分子检测. 作物学报, 2015, 41: 806–812.
Li W F, Wang X Y, Huang Y K, Zhang R Y, Shan H L, Yin J, Luo Z M. Identification of resistance to brown rust and molecular detection of *Bru1* gene in 31 wild core sugarcane germplasms. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 806–812 (in Chinese with English abstract).

[20] 黄忠兴, 周峰, 王勤南, 金玉峰, 符成, 胡后祥, 张垂明, 常海龙, 吉家乐, 吴其卫, 齐永文, 刘少谋. 国内外割手密资源农艺性状表型遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2012, 13: 825–829.
Huang Z X, Zhou F, Wang Q N, Jin Y F, Fu C, Hu H X, Zhang C M, Chang H L, Ji J L, Wu Q W, Qi Y W, Liu S M. Genetic diversity assessment of *Saccharum spontanuem* L. Native of domestic and overseas with phenotype agronomic traits. *J Plant Genet Resour*, 2012, 13: 825–829 (in Chinese with English abstract).

[21] 徐超华, 陆鑫, 刘洪博, 林秀琴, 刘新龙, 苏火生, 马丽, 毛钧, 李旭娟, 蔡青. 甘蔗近缘种滇蔗茅(*Erianthus rockii*)表型性状遗传多样性研究. 植物遗传资源学报, 2014, 15: 1369–1373.
Xu C H, Lu X, Liu H B, Lin X Q, Liu X L, Su H S, Ma L, Mao J, Li X J, Cai Q. Genetic diversity analysis of phenotypic traits in *Erianthus rockii* wild species. *J Plant Genet Resour*, 2014, 15: 1369–1373 (in Chinese with English abstract).

[22] Li W F, Wang X Y, Huang Y K, Shan H L, Luo Z M, Ying X M, Zhang R Y, Shen K, Yin J. Screening sugarcane germplasm resistant to *Sorghum mosaic virus*. *Crop Prot*, 2013, 43: 27–30.

[23] 李文凤, 王晓燕, 黄应昆, 张荣跃, 单红丽, 罗志明, 尹炯. 101份中国甘蔗主要育种亲本褐锈病抗性鉴定及*Bru1*基因的分子检测. 作物学报, 2016, 42: 1411–1416.
Li W F, Wang X Y, Huang Y K, Zhang R Y, Shan H L, Luo Z M, Yin J. Identification of resistance to brown rust and molecular detection of *Bru1* gene in 101 main sugarcane breeding parents in China. *Acta Agron Sin*, 2016, 42: 1411–1416 (in Chinese with English abstract).

[24] 沈万宽, 杨湛端, 刘福业. 甘蔗品种(品系)对黑穗病的抗性鉴定与评价. 华中农业大学学报, 2014, 33(5): 40–44.
Shen W K, Yang Z D, Liu F Y. Identification and evaluation of some sugarcane varieties or clones for smut resistance. *J Huazhong Agric Univ*, 2014, 33(5): 40–44 (in Chinese with English abstract).

[25] 陈双, 曾泽鉴, 沈万宽, 徐刚红, 吴夏明, 罗明珠, 陈培寿. 甘蔗亲本黑穗病抗性鉴定与评价. 华北农学报, 2016, 31: 432–437.
Chen S, Zeng Z J, Shen W K, Xu G H, Wu X M, Luo M Z, Chen P S. Identification and evaluation on sugarcane parents against smut. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2016, 31: 432–437 (in Chinese with English abstract).

[26] 罗霆, 段维兴, 唐仕云, 黄有总, 李毅杰, 王泽平, 林善海. 柳州和来宾蔗区黑穗病的发生及甘蔗品种抗性表现. 中国糖料, 2017, 39(2): 39–41.
Luo T, Duan W X, Tang S Y, Huang Y Z, Li Y J, Wang Z P, Lin S H. Occurrence and varieties resistance performance of sugarcane smut disease in Liuzhou and Laibin cities. *Sugar Crops China*, 2017, 39(2): 39–41 (in Chinese with English abstract).

[27] Croft B J, Magarey R C, Smith D J. Survey of Sugarcane in Eastern Australia for Sugarcane Smut. Queensland: Bureau of Sugar Experiment Stations, 2000. pp 16–17.

[28] 夏红明, 黄应昆, 吴才文, 范源洪, 赵培方, 崔杰. 澳大利亚甘蔗抗黑穗病鉴定体系在云南甘蔗抗病育种上的应用研究. 西南农业学报, 2009, 22: 1610–1615.
Xia H M, Huang Y K, Wu C W, Fan Y H, Zhao P F, Cui J. Application research on evaluation system for smut-resistance identification from Australia for disease-resistance breeding in Yunnan. *Southwest China J Agric Sci*, 2009, 22: 1610–1615 (in Chinese with English abstract).

[29] Shen W K, Xu G H, Luo M Z, Jiang Z D. Genetic diversity of *Sporisorium scitamineum* in Mainland China assessed by SCoT analysis. *Trop Plant Pathol*, 2016, 41: 288–296.

[30] Deng Q Q, Xu G H, Dou Z M, Shen W K. Identification of three *Sporisorium scitamineum* pathogenic races in mainland China. *Int J Agric Biol*, 2018, 20: 799–802.

[31] 吴佳, 李惠中, 邓权清, 陈健文, 沈万宽. 甘蔗鞭黑粉菌致病力差异菌株转录组分析. 华中农业大学学报, 2020, 39(3): 54–59.
Wu J, Li H Z, Deng Q Q, Chen J W, Shen W K. Analyzing transcriptome of *Sporisorium scitamineum* strains with different pathogenicity. *J Huazhong Agric Univ*, 2020, 39(3): 54–59 (in Chinese with English abstract).