

331 份玉米自交系对丝黑穗病的抗性鉴定与评价

周天旺^{1,2}, 王春明^{1,2}, 洪流^{1,2}, 李丽君³, 郭成^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 兰州 730070; 2. 农业农村部天水作物有害生物科学观测实验站, 甘肃 天水 741200;

3. 内蒙古自治区农牧业技术推广中心, 呼和浩特 010020)

摘要: 2020–2021 年通过田间人工接种对 331 份玉米自交系进行抗丝黑穗病鉴定。结果表明, 4 份材料冀资 13W154、RA461、18-QTL-18 和 F2644 表现高抗(HR), 占鉴定总数的 1.21%; 5 份材料 55438-1、18-QTL-14、HA746、B6 和 T7308 表现抗病(R), 占鉴定总数的 1.51%; 冀资 S225、F3814、18-HDY-25 等 61 份材料表现中抗(MR), 占鉴定总数的 18.43%; B317、冀资 S516、T5863 等 185 份材料表现感病(S), 占鉴定总数的 55.89%; 冀资 H631、CNHS17013、55444-1 等 76 份材料表现高感(HS), 占鉴定总数的 22.96%。中抗(MR)以上材料黑龙江省 14 份、内蒙古自治区 50 份、河北省 6 份, 分别占其本省鉴定数量的 29.79%、23.15%、8.82%, 来自河北的种质整体抗丝黑穗病水平低于黑龙江和内蒙古。

关键词: 玉米; 自交系; 丝黑穗病; 抗性鉴定

中图分类号: S435.131

文献标识码: A

Identification and Evaluation of 331 Maize Germplasm Resistance to *Sporisorium reilianum* Causing Head Smut

ZHOU Tian-wang^{1,2}, WANG Chun-ming^{1,2}, HONG Liu^{1,2}, LI Li-jun³, GUO Cheng^{1,2}

(1. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070;

2. Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Tianshui, Ministry of Agriculture, Tianshui 741200;

3. Inner Mongolia Technology Extension Center of Agriculture and Animal Husbandry, Hohhot 010020, China)

Abstract: From 2020 to 2021, the resistance of 331 maize inbred lines to *Sporisorium reilianum* was identified by artificial inoculation in the field. The results showed that Jizi 13W154, RA461, 18-QTL-18, and F2644 exhibited high resistance(HR), accounting for 1.21% of the total identified. Additionally, 55438-1, 18-QTL-14, HA746, B6, and T7308 displayed resistance(R), accounting for 1.51% of the total identified. Moreover, 61 materials, including Jizi S225, F3814 and 18-HDY-25, demonstrated moderate resistance(MR), accounting for 18.43%. On the other hand, 185 materials, including B317, Jizi S516, and T5863, showed susceptible(S), accounting for 55.89%. Furthermore, Jizi H631, CNHS17013, 55444-1 and other 76 materials showed high susceptibility(HS), accounting for 22.96% of the total number of identifications. The overall level of resistance of germplasm from Hebei to HS was lower than that of Heilongjiang and Inner Mongolia, with 14 materials from Heilongjiang, 50 materials from Inner Mongolia, and 6 materials from Hebei, accounting for 29.79%, 23.15%, and 8.82% of the total number of identifications in their provinces, respectively. The overall resistance level of Hebei germplasm against HS was lower than that of Heilongjiang and Inner Mongolia.

Key words: Maize; Inbred line; Head smut; Resistance identification

录用日期: 2023-07-20

基金项目: 农业部作物种质资源保护项目(NWB030-14)、嘉峪关市科技计划项目(22-26)

作者简介: 周天旺(1967-), 甘肃榆中人, 副研究员, 从事作物病害及抗病性鉴定研究。Tel: 15293169212

E-mail: 156742949@qq.com

郭成为本文通信作者。 E-mail: gsguoch@126.com

玉米(*Zea mays*)是我国第一大粮食作物, 在农业发展中占据着举足轻重的作用。近年来, 我国玉米种植面积和总产量出现下降趋势^[1], 玉米价格不断上涨, 产需缺口和进口压力不断增大, 我国玉米国际竞争力持续下降^[2]。解决该问题的关键在优化国家调控政策的基础上, 不仅要提高玉米单产水平, 同时也要降低生产成本^[3], 其主要手段就是培育高产稳

产和抗逆性强的玉米新品种。玉米病害长期以来严重制约着玉米产业的发展,我国玉米生产上每年因病害造成的产量损失约10%左右,同时也造成品质降低^[4]。我国最早于1919年在东北发现玉米丝黑穗病(Maize head smut)^[5],该病害是由担子菌亚门的丝孢堆黑粉菌(*Sporisorium reilianum*)侵染玉米幼苗而引起的真菌性病害,是世界玉米产区主要的土传病害之一^[6]。玉米植株被病菌侵染后主要导致果穗抽穗后变成黑褐色菌瘿,病株率每增加1%,约减产100.6 kg/hm²^[7]。20世纪70年代,玉米丝黑穗病在我国吉林、黑龙江、辽宁、内蒙古、河北、山西、陕西、四川、广西等省区危害,导致每年减产超过3亿kg^[8]。80年代由于抗病品种的选育和推广种植,该病害得到了有效遏制。90年代后,由于多年连作以及感病品种的大范围种植导致该病害再度暴发流行,造成严重减产^[9~11]。

培育抗病品种是玉米抗病育种的目标导向,抗病性鉴定与评价是抗病育种工作的重要环节,可为抗病品种的选育提供核心抗源。国内很多学者在玉米种质抗源鉴定方面做了大量工作,从近1万多份国内外种质资源中鉴定筛选出了一批高抗自交系和农家种,如辽1311、香河白磁、金顶子、黄火玉米、白火玉米、吉992、吉1037、齐319、J622、4F1、F349、太4115、哲341、哲357、HR36、LM49、丹599、L91073、C649、SH15等^[12~23]。以上鉴定结果为抗丝黑穗病育种提供了可利用的抗源材料,筛选出的抗病材料占比较少,高抗(HR)材料仍然匮乏,成为制约新品种培育的限制性因素。因此,本试验于2020–2021年对国家种质资源库331份玉米种质进行抗丝黑穗病鉴定和评价,明确其抗性差异,为抗病育种提供新的抗病核心材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为中国农业科学院作物科学研究所2020年提供的331份国内玉米自交系,其中,内蒙古自治区216份、河北省68份、黑龙江省47份。2021年仅对2020年鉴定出的表现中抗(MR)以上的材料进行重复鉴定。供试丝黑穗病冬孢子由甘肃省农业科学院植物保护研究所采集并保存。

1.2 试验方法

1.2.1 鉴定圃设计和播种

鉴定圃设在甘肃省农业科学院榆中县园艺场试验基地,该地属温带半干旱气候,海拔1970 m,年均气温约6.7℃,降水量约400 mm,无霜期约120 d。鉴

定圃为水浇地,播前施尿素75 kg/hm²以及二铵150 kg/hm²,试验期间灌水3次。2020、2021年的4月中旬播种,每个品种人工穴播两行,行长5 m,株行距20 cm×60 cm,每穴2~4粒,设已知抗感对照Mo17(抗病)和黄早四(高感)4组。鉴定圃周围设保护行。

1.2.2 调查方法与抗性评价

调查方法与抗性标准参照行业标准NY/T 1248.3–2006^[24]。以发病株率确定其抗性水平。抗性评价标准:发病株率0~1.0%,高抗(HR);发病株率1.1%~5.0%,抗(R);发病株率5.1%~10.0%,中抗(MR);发病株率10.1%~40.0%,感(S);发病株率40.1%~100.0%,高感(HS)。2021年仅对2020年筛选出的121份中抗以上材料进行重复鉴定,最终抗性以2年间发病株率最高者确定。

2 结果与分析

2.1 对照材料抗性评价

抗病对照Mo17在2020、2021年平均发病株率分别为7.9%、9.0%,均表现中抗(MR);感病对照黄早四两年平均发病株率分别为61.0%、77.6%,均表现高感(HS),说明该鉴定结果有效。

2.2 种质资源的抗性评价

抗性鉴定结果表明,331份供试自交系材料中,有4份材料冀资13W154、RA461、18-QTL-18和F2644表现高抗(HR),占鉴定总数的1.21%;5份材料55438-1、18-QTL-14、HA746、B6和T7308表现抗病(R),占鉴定总数的1.51%;冀资S225、F3814、18-HDY-25等61份材料表现中抗(MR),占鉴定总数的18.43%;B317(黄改)、冀资S516、T5863等185份材料表现感病(S),占鉴定总数的55.89%;冀资H631、CNHS17013、55444-1等76份材料表现高感(HS),占鉴定总数的22.96%(表1、图1)。

2.3 不同省份来源的玉米种质对丝黑穗病抗性评价

对来自不同省份的玉米种质抗性水平进行分析,来自内蒙古的材料共216份,其中,3份材料RA461、18-QTL-18和F2644表现高抗(HR);2份材料55438-1和18-QTL-14表现抗病(R);F3814、18-HDY-25、YJY-3等45份材料表现中抗(MR);B317(黄改)、18-QTL-09、18-QTL-01等119份材料表现感病(S);55444-1、F314、64162等47份材料表现高感(HS),分别占本省鉴定材料的1.39%、0.93%、20.83%、55.09%、21.76%。来自河北的材料共68份,其中,1份材料冀资13W154表现高抗(HR);无抗病

表1 玉米自交系对玉米丝黑穗病的抗性类型
Table 1 Resistance types of inbred lines to maize head smut

抗性类型 Resistance type	发病株率 Disease incidence	自交系 Inbred line
高抗 HR	0	冀资 13W154(OL030600)、RA461(OL051240)、18-QTL-18(OL051348)、F2644(OL051397)
抗病 R	2.7% ~ 5.0%	55438-1(OL051346)、18-QTL-14(OL051373)、HA746(OL080819)、B6(OL080811)、T7308(OL080783)
中抗 MR	5.3% ~ 10.0%	冀 资 S225(OL030617)、F3814(OL051290)、18- HDY- 25(OL051415)、1058- 1(OL080814)、YJY- 3(OL051215)、18-HDY-09(OL051400)、2015-M-26(OL051401)、385-1(OL080813)、HB450(OL080816)、18-HDY-20(OL051407)、合 M(OL080807)、中 7490 选(OL051310)、18-YJY- 13(OL051372)、17405-1(OL051282)、FH1(OL080797)、T23923(OL080788)、南 E(OL080805)、RA417(OL051231)、DS2168(OL051255)、55442- 1(OL051345)、18- QTL- 04(OL051396)、HMYL- 19(OL051280)、HY01(OL051228)、HY07(OL051264)、PA180(OL051302)、18- QTL- 08(OL051315)、18- YJY- 07(OL051317)、18- HDY- 27(OL051344)、18- HDY- 28(OL051377)、RA412(OL051210)、冬 17- 1- 71(OL051325)、18- MYL- 09(OL051383)、T23797(OL080787)、冀 资 13W190(OL030603)、冀 资 H674(OL030627)、CNHS17005(OL030646)、DK127(OL051195)、RA465(OL051263)、DK705(OL051265)、18- QTL- 29(OL051319)、55435- 1(OL051347)、T33162(OL080784)、HA549(OL080817)、CNHS17014(OL030655)、F613(OL051314)、18-HDY-29(OL051421)、呈 2843(OL051217)、18-YJY-00(OL051367)、79687(OL051343)、96287(黄改)(OL051243)、冬 17- 1- 64(OL051384)、CFNKY- 5(OL051059)、DS1467(OL051233)、CFNKY- 1(OL051254)、64188(OL051266)、DK603(OL051270)、CFNKY- 4(OL051304)、18- YJY- 02(OL051354)、55235(OL051364)、BERD- 36(OL051404)、FH2(OL080798)
感病 S	10.3% ~ 40.0%	B317(黄改)(OL051220)、冀 资 S516(OL030621)、T5863(OL080776)、18-QTL-09(OL051382)、T33685(OL080794)、冀 资 8338(OL030613)、18- QTL- 01(OL051376)、18- HDY- 03(OL051414)、18- MYL- 04(OL051322)、79705(OL051341)、T6903(OL080779)、18- HDY- 14(OL051426)、冀 资 13NB78(OL030605)、18- MYL- 01(OL051365)、冬 17- 2- 12(OL051419)、加 44(OL080800)、891216(OL080808)、CNHS17003(OL030644)、DK76(OL051208)、DF1089- 2(OL051230)、HMYL- 13(OL051257)、2637(OL051276)、64159(OL051279)、64366(OL051288)、DS2108(OL051295)、79719(OL051326)、18- YJY- 11(OL051356)、冀 资 C36(OL030628)、18- YJY- 15(OL051352)、DK699(OL051285)、T5121(OL080773)、18- HDY- 05(OL051399)、CFNKY- 3(OL051273)、55440- 1(OL051351)、冀 资 C80(OL030630)、冀 资 C167(OL030635)、HMYL- 12(OL051245)、DK741(OL051291)、A83(F83)(OL051303)、M67(OL051309)、冬 17- 2- 3(OL051324)、17- 001(OL051337)、18- QTL- 25(OL051361)、冬 17- 2- 8(OL051411)、T7131(OL080782)、HB10(OL080815)、15- LH- 5(OL051202)、18- YJY- 17(OL051331)、64982(OL051395)、T3021(OL080795)、18- YJY- 19(OL051353)、HMYL- 7(OL051306)、18- QTL- 13(OL051371)、冀 资 14L85(OL030606)、18- HDY- 26(OL051423)、T7088(OL080780)、18- QTL- 20(OL051381)、M41(OL030593)、白 玉 米 (OL030641)、HMYL- 20(OL051311)、18- MYL- 10(OL051392)、18- QTL- 03(OL051408)、T5956(OL080777)、1187(OL080812)、55437- 1(OL051369)、冀 资 S220(OL030616)、T5711(OL080775)、18-QTL-02(OL051425)、冀 资 13W63(OL030599)、绥 系 605(OL080802)、18- QTL- 23(OL051318)、绥 系 607(OL080803)、KL1(OL080810)、HA608(OL080818)、18- YJY- 18(OL051338)、F319(OL051234)、18- YJY- 16(OL051363)、冀 资 156271(OL030609)、冀 资 4053(OL030610)、意黑糯-8(OL030638)、CNHS17010(OL030651)、HMYL- 11(OL051198)、BERD- 31(OL051212)、F220(OL051223)、RA413(OL051236)、2506(OL051268)、LA011(OL051296)、18- YJY- 23(OL051330)、18- MYL- 03(OL051349)、18-MYL-05(OL051360)、18-YJY-24(OL051379)、18-QTL-10(OL051403)、18-MYL-14(OL051420)、6417(OL051249)、18- YJY- 20(OL051342)、KL6(OL080809)、冀 资 14L154(OL030604)、64160(OL051312)、18- HDY- 32(OL051410)、18- YJY- 03(OL051380)、冀 资 C117(OL030631)、冀 资 C166(OL030634)、Z5848(OL030595)、奥 引 (OL051196)、V1774(OL051205)、LA061(OL051307)、18- QTL- 12(OL051394)、CNHS17001(OL030642)、8628(R×H)(OL051235)、18- MYL- 13(OL051391)、冀 资 H672(OL030626)、CNHS17017(OL030658)、64964(OL051068)、F2564(OL051206)、RA416(OL051211)、HMYL- 15(OL051219)、LA016(OL051222)、64984(OL051227)、HMYL- 8(OL051248)、PA013(OL051308)、55445- 1(OL051339)、55446- 1(OL051350)、18- QTL- 06(OL051416)、18- QTL- 05(OL051418)、T23942(OL080789)、CNHS17015(OL030656)、HMYL- 14(OL051272)、18- YJY- 10(OL051333)、CNHS17009(OL030650)、巴 系 14- 04(OL051402)、18- YJY- 01(OL051388)、PT351- 1(OL030592)、BERD- 2(OL051386)、T7089(OL080781)、T1373(OL080796)、18- QTL- 27(OL051374)、LIMA51(OL080801)、冀 资 14L109(OL030608)、79611(OL051336)、冀 资 S560(OL030622)、冀 资 S320(OL030618)、CL020(OL051197)、YJY- 4(OL051201)、16628- 2(OL051412)、CFNKY- 2(OL051256)、加 9(OL080799)、西 R59(R×P)(OL051289)、F1860(OL051413)、T5695(OL080774)、18- QTL- 11(OL051422)、18- YJY- 21(OL051385)、

续表 1 Continued 1

抗性类型 Resistance type	发病株率(%) Disease incidence	自交系 Inbred line
感病 S	10.3% ~ 40.0%	LA070(OL051313)、CNHS17016(OL030657)、T33465(OL080792)、冀资 H601(OL030624)、冀资 4093(OL030611)、DK1372(OL051214)、CNHS17018(OL030659)、冀 资 13L482(OL030602)、CNHS17008(OL030649)、H104(OL051239)、PA030(OL051262)、DK48(OL051287)、55441-1(OL051327)、79615(OL051335)、17-045(OL051368)、18-QTL-16(OL051387)、T23647(OL080786)、T33282(OL080790)、18-QTL-28(OL051355)、冀资 S573(OL030623)、冀资 5158(OL030598)、冀资 S413(OL030620)、17-040(OL051332)、18-YJY-09(OL051362)、冬 17-1-69(OL051393)、冀资 C170(OL030636)、HMYL-10(OL051247)、DS920(OL051258)、C632(OL051275)、79792(OL051378)、DS2257(OL051286)、F382(OL051293)、Q006(OL051300)、79781(OL051370)
高感 HS	40.7% ~ 100.0%	冀 资 H631(OL030625)、CNHS17013(OL030654)、55444-1(OL051334)、冀 资 R90(OL030615)、冀 资 S338(OL030619)、F314(OL051238)、冀 资 C148(OL030632)、64162(OL051281)、18-YJY-06(OL051329)、HMYL-16(OL051232)、BERD-35(OL051406)、冀资 14L92(OL030607)、HY08(OL051252)、55448-1(OL051366)、18-MYL-06(OL051357)、冀 资 8138(OL030612)、冀 资 C155(OL030633)、山 东 糯 (OL030639)、CNHS17011(OL030652)、CNHS17012(OL030653)、HMYL-17(OL051200)、YJY-1(OL051209)、15-LH-23(OL051221)、DK1398(OL051253)、F560(OL051294)、55434(OL051375)、冬 17-1-61(OL051424)、KL2(OL080793)、94YRK22(OL080806)、LA012(OL051224)、冀 资 C38(OL030629)、BERD-33(OL051398)、CNHS17007(OL030648)、55449-1(OL051328)、18-YJY-12(OL051358)、F3960(OL051251)、冀资 13W169(OL030601)、冀资 8827(OL030614)、55436(OL051340)、意黑糯-6(OL030637)、BERD-30(OL051213)、DK95(OL051226)、64158(OL051242)、PA029(OL051301)、绥系 2248(OL080804)、18-QTL-07(OL051405)、R5(OL030596)、DK167(OL051277)、CNHS17006(OL030647)、T33319(OL080785)、18-MYL-11(OL051409)、BERD-13(OL051323)、通 系 08229(OL051199)、2649(OL051204)、冬 17-2-25(OL051390)、CNHS17002(OL030643)、15-金创 54(OL051207)、V2166(OL051244)、2516(OL051271)、64978(OL051417)、T33400(OL080791)、长 727(白)(OL051225)、昌 58(OL030597)、DK173(OL051261)、55240-1(OL051359)、15-LH-1(OL051218)、DF1280(OL051269)、DK1137(OL051299)、YH-3(OL030594)、白 玉 米 (OL030640)、CNHS17004(OL030645)、HMYL-4(OL051229)、群 105(OL051267)、YJY-2(OL051278)、18-MYL-12(OL051389)、T6897(OL080778)

注:表中括号内为国家种质资源库统一编号。
Note: Number from the National Germplasm Repository is given in brackets.

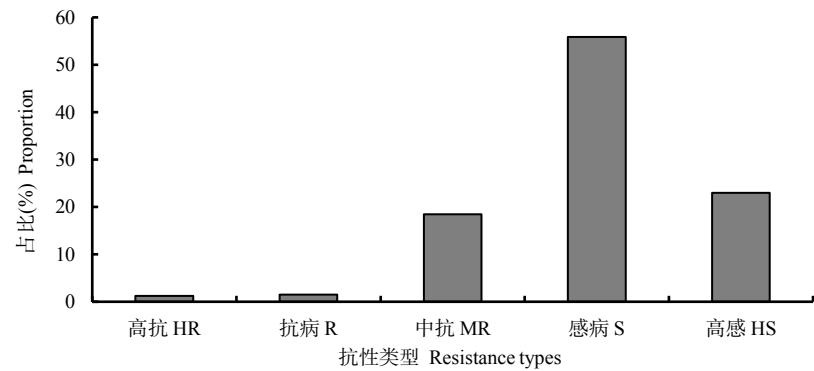


图 1 不同抗性类型玉米品种所占比例

Fig.1 The proportion of different resistance types of maize varieties

(R) 材料; 5 份材料冀资 S225、冀资 13W190、冀资 H674、CNHS17005 和 CNHS17014 表现中抗 (MR);冀资 S516、冀资 8338、冀资 13NB78 等 39 份材料表现感病(S);冀资 H631、CNHS17013、冀资 R90 等 23 份材料表现高感(HS), 分别占本省鉴定材料的 1.47%、0.7.35%、57.35%和 33.82%。来自黑龙江的

材料共 47 份, 其中, 无高抗(HR)材料; 3 份材料 HA746、B6 和 T7308 表现抗病(R); 1058-1、385-1、HB450 等 11 份材料表现中抗(MR); T5863、T33685、T6903 等 27 份材料表现感病(S); KL2、94YRK22、绥系 2248 等 6 份材料表现高感(HS), 分别占本省鉴定材料的 0.6.38%、23.40%、57.44%和 12.77%(图 2)。

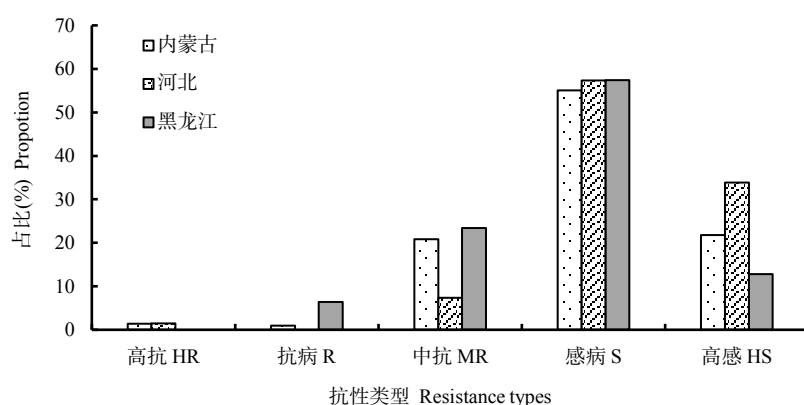


图2 不同省份不同抗性类型玉米品种所占比例

Fig.2 The proportion of different resistance types of maize varieties from different provinces

3 结论与讨论

本研究通过田间人工接种鉴定,从331份自交系中鉴定出4份高抗(HR)、5份抗病(R)、61份中抗(MR)、185份感病(S)和76份高感(HS)材料,分别占鉴定总数的1.21%、1.51%、18.43%、55.89%和22.96%。中抗(MR)以上材料占21.15%,感病(S)和高感(HS)材料占78.85%。以上结果表明,不同材料间的抗病性差异明显。鉴定结果表明,国内自交系中有比较丰富的抗丝黑穗病种质,高抗种质依旧匮乏。通过比较来自不同省份玉米种质的抗性水平,发现各省份间种质对丝黑穗病抗性差异明显,其中,黑龙江、内蒙古和河北3个地区中抗(MR)以上材料分别占各省供试材料的29.79%、23.15%和8.82%。结果表明,河北省玉米种质抗丝黑穗病的水平低于黑龙江和内蒙古,本研究筛选出一批抗病自交系可为抗病育种提供新的抗源材料。

加强种质资源的搜集和鉴定,从中筛选出具有稳定遗传抗性的抗源材料并挖掘抗病优良基因、培育抗病品种,可从根本上控制玉米丝黑穗病。我国不是玉米起源中心,遗传基因较窄,外来种质特别是美国玉米种质是我国玉米自交系选育的重要基础材料^[25]。因此,需要加强引进国外优良种质进行鉴定、利用和发掘,以拓宽抗病育种的遗传基础。近年来,许多学者做了该方面的研究报道。王丽娟等^[26]对引自美国、欧洲和加拿大的168份玉米种质进行抗病鉴定,筛选出F431、F1802、TE347等25个高抗丝黑穗病种质。孟剑等^[27]从70份引自美国种质中鉴定出08GEM80044、10GEM80110、10GEM80111、10GEM06839共4份高抗材料。马宝新^[28]从100份引自美国的玉米自交系中鉴定出QC2、QC4、QC10等28份高抗材料。王春明等^[29]从199份来自俄罗斯、

墨西哥、乌拉圭、巴西和越南的自交系中鉴定出12630(1)、18236(2)、23311(2)和YJ001500共4份高抗种质;从来自乌拉圭、巴西和老挝等国的142份杂交种发现YJ001501、YJ001460、YJ001472等9份高抗材料。张小杰等^[30]从美国261份自交系和76份俄罗斯杂交种中鉴定出K14MY-493、K14MY-524、K14MY-836等13份高抗自交系和1份高抗杂交种VIR5962。这些新优良种质鉴定和发掘丰富了我国抗玉米丝黑穗病的抗性遗传基础,增加了种质资源遗传的多样性,为玉米丝黑穗病抗病育种和改良创新提供重要的抗源材料。

参考文献:

- [1] 徐志刚,安 宁.我国玉米市场调控的经验教训和优化建议[J/OL]. 玉米科学, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1201.s.20230130.1408.001.html>.
XU Z G, AN N. Experiences, Lessons and optimization suggestions of China's corn market regulation [J/OL]. Journal of Maize Sciences, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1201.s.20230130.1408.001.html>. (in Chinese)
- [2] 仇焕广,李新海,余嘉玲.中国玉米产业:发展趋势与政策建议[J]. 农业经济问题,2021,32(7):4-16.
QIU H G, LI X H, YU J L. China maize industry: Development trends and policy suggestions[J]. Issues in Agricultural Economy, 2021, 32(7): 4-16. (in Chinese)
- [3] 徐志刚,张世煌.新常态下我国玉米产业安全问题与发展策略[J]. 农业经济与管理,2017,41(1):12-16,35.
XU Z G, ZHANG S H. China's corn industry security issues and development strategies under new normal[J]. Agricultural Economics and Management, 2017, 41(1): 12-16, 35. (in Chinese)
- [4] 张成华,刘铁山,高新学,等.我国玉米抗病育种进展及育种对策[J]. 玉米科学,2006,14(增刊):5-6.
ZHANG C H, LIU T S, GAO X X, et al. Progress of maize disease resistance breeding and breeding countermeasures in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(S1): 5-6. (in Chinese)
- [5] 贺字典,陈 捷,高增贵,等.玉米丝黑穗病及病菌生理分化研究

- 进展[J]. 玉米科学, 2005, 13(4): 117–120, 131.
- HE Z D, CHEN J, GAO Z G, et al. Progress on studies of head smut physiological differential in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(4): 117–120, 131. (in Chinese)
- [6] 王晓鸣, 段灿星. 玉米病害和病原名称整理及其汉译名称规范化探讨[J]. 中国农业科学, 2020, 53(2): 288–316.
- WANG X M, DUAN C X. Reorganization of maize disease and causal agent names and dissection on their standardized translation of Chinese names[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2020, 53(2): 288–316. (in Chinese)
- [7] 王振华, 姜艳喜, 王立丰, 等. 玉米丝黑穗病的研究进展[J]. 玉米科学, 2002, 10(4): 61–64.
- WANG Z H, JIANG Y X, WANG L F, et al. Research advance on head smut disease in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2002, 10(4): 61–64. (in Chinese)
- [8] 白金凯, 宋佐衡, 陈捷, 等. 玉米病害的病菌变异与抗病品种选育[J]. 玉米科学, 1994, 2(1): 67–72.
- BAI J K, SONG Z H, CHEN J, et al. A review of the pathogenic variation of corn diseases and breeding of resistant cultivars[J]. Journal of Maize Sciences, 1994, 2(1): 67–72. (in Chinese)
- [9] 晋齐鸣, 王晓鸣, 王作英, 等. 东北春玉米区玉米丝黑穗病大发生原因及对策[J]. 玉米科学, 2003, 11(1): 86–87.
- JIN Q M, WANG X M, WANG Z Y, et al. The epidemiological factors and control tactics of head smut in spring corn area of northeast of China[J]. Journal of Maize Sciences, 2003, 11(1): 86–87. (in Chinese)
- [10] 王晓鸣, 晋齐鸣, 石洁, 等. 玉米病虫害田间手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2001.
- [11] 王富荣, 石秀清, 石银鹿. 山西省玉米病害的发生现状及防治对策[J]. 玉米科学, 2000, 8(3): 79–80.
- WANG F R, SHI X Q, SHI Y L. Resistance of maize dwarf mosaic disease and genetic research progress[J]. Journal of Maize Sciences, 2000, 8(3): 79–80. (in Chinese)
- [12] 马秉元, 李亚玲, 段双科. 玉米对丝黑穗病的抗性遗传初步研究[J]. 中国农业科学, 1983(4): 12–17.
- MA B Y, LI Y L, DUAN S K. Preliminary study on the resistance and genetics of maize to silky sheath disease[J]. Chinese Agricultural Science, 1983(4): 12–17. (in Chinese)
- [13] 玉米种质资源抗丝黑穗病鉴定协作组. 玉米种质资源抗丝黑穗病鉴定研究[J]. 作物品种资源, 1992(3): 27–28.
- Collaborative Group for the Identification of Maize Germplasm Resources with Resistance to *Phytophthora infestans*. Identification of maize germplasm resources for resistance to *Serratia marcescens* [J]. Crop Variety Resources, 1992(3): 27–28. (in Chinese)
- [14] 宋淑云, 孙秀华, 郭文广, 等. 玉米种质资源抗丝黑穗病鉴定[J]. 吉林农业科学, 2000, 25(3): 32–33.
- SONG S Y, SUN X H, GUO W G, et al. Identification of maize germplasm resources for resistance to silky sheath disease[J]. Jilin Agricultural Science, 2000, 25(3): 32–33. (in Chinese)
- [15] 王振华, 李新海, 鄂文弟. 玉米抗丝黑穗病种质鉴定及遗传研究[J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(3): 261–267.
- WANG Z H, LI X H, E W D, et al. Germplasm identification and genetics study of resistance to head smut in maize[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(3): 261–267. (in Chinese)
- [16] 赵超, 杨巍, 崔学宇, 等. 玉米自交系抗丝黑穗病的遗传研究[J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(4): 390–394, 405.
- ZHAO C, YANG W, CUI X Y, et al. Genetic study of maize inbred line resistant to head smut[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2015, 37(4): 390–394, 405. (in Chinese)
- [17] 郭满库, 刘永刚, 王晓鸣. 玉米自交系及群体材料抗丝黑穗病鉴定与评价[J]. 玉米科学, 2007, 15(5): 30–33.
- GUO M K, LIU Y G, WANG X M, et al. Identification and evaluate of maize inbred lines and populations *Sporisorium holci-sorghii* resistance[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(5): 30–33. (in Chinese)
- [18] 白琪林, 孙焯, 石平, 等. 玉米自交系抗丝黑穗病鉴定[J]. 山西农业科学, 2010, 38(7): 19–21.
- BAI Q L, SUN X, SHI P, et al. Evaluation of resistance to maize head smut in maize inbred line[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2010, 38(7): 19–21. (in Chinese)
- [19] 谢志军, 郭满库, 刘永刚, 等. 玉米种质资源抗丝黑穗病鉴定与评价[J]. 植物保护, 2008, 34(6): 92–95.
- XIE Z J, GUO M K, LIU Y G, et al. Screening for maize germplasm resistant to the head smut caused by *Sporisorium reilianum* [J]. Plant Protection, 2008, 34(6): 92–95. (in Chinese)
- [20] 郭成, 郭满库, 魏宏玉, 等. 玉米种质资源对丝轴团散黑粉菌的抗性筛选[J]. 植物保护学报, 2016, 43(2): 343–344.
- GUO C, GUO M K, WEI H Y, et al. Resistance screening of maize germplasm to the causal agent of head smut *Sporisorium reilianum* [J]. Journal of Plant Protection, 2016, 43(2): 343–344. (in Chinese)
- [21] 郭成, 赵瑞丽, 王春明, 等. 玉米种质对丝黑穗病的抗性分析及发病条件研究[J]. 草地学报, 2018, 26(5): 1198–1207.
- GUO C, ZHAO R L, WANG C M, et al. Analysis of maize germplasm resources resistance to head smut and research on its incidence conditions[J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(5): 1198–1207. (in Chinese)
- [22] 王燕, 石秀清, 王建军, 等. 玉米自交系抗丝黑穗病鉴定与评价[J]. 山西农业科学, 2009, 37(7): 17–19, 25.
- WANG Y, SHI X Q, WANG J J, et al. Identification and evaluation for resistance of maize inbred lines to head smut disease[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 37(7): 17–19, 25. (in Chinese)
- [23] 段永钊, 李兴鑫, 艾芳珍, 等. 陕西省玉米丝黑穗病抗源筛选与鉴定[J]. 西北农业学报, 1992, 1(4): 83–86.
- DUAN Y Z, LI X X, AI F Z, et al. Selection and identification on resistance of corn head smut of Shaanxi province[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 1992, 1(4): 83–86. (in Chinese)
- [24] 中华人民共和国农业行业标准 NY/T1248.4–2006: 玉米抗病虫性鉴定技术规范第3部分: 玉米抗丝黑穗病鉴定技术规范[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [25] 何代元, 周联东, 刘经纬, 等. 浅谈美国玉米种质在中国玉米育种中的作用[J]. 种子科技, 2009(1): 20–21.
- HE D Y, ZHOU L D, LIU J W, et al. The role of American maize germplasm in Chinese maize breeding[J]. Seed Science and Technology, 2009(1): 20–21. (in Chinese)

- maize germplasm for resistance to five diseases and Asian corn borer[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(2): 169–174. (in Chinese)
- [21] 李亚玲, 马秉元, 李多川, 等. 玉米穗粒腐病接种技术及品种抗病性鉴定研究[J]. 西北农业大学学报, 1994(1): 124–127.
- LI Y L, MA B Y, LI D C, et al. Inoculating technique of corn ear-rot and identifying resistance varieties[J]. Journal of Northwest A & F University, 1994(1): 124–127. (in Chinese)
- [22] BUSH B J, CARSON M L, CUBETA M A, et al. Infection and fumonisin production by *Fusarium verticillioides* in developing maize kernels[J]. Phytopathology, 2004, 94(1): 88–93.
- [23] 文成敬, 陈晓娟, 陈文瑞. 玉米镰刀菌性穗腐及其抗病性测定方法[J]. 四川农业大学学报, 2002(4): 321–323.
- WEN C J, CHEN X J, CHEN W R. *Fusarium* ear rots of corn and methods used in resistance test [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2002(4): 321–323. (in Chinese)
- [24] GULYA T J, MARTINSON C A, LOESCH P J. Evaluation of inoculation techniques and rating dates for *Fusarium* ear rot of opaque-2 maize[J]. Phytopathology, 1980, 70: 1116–1118.
- [25] HEADRICK J M, PATAKY J K. Resistance to kernel infection by *Fusarium moniliforme* in inbred lines of sweet corn and the effect of infection on emergence[J]. Plant Disease, 1989, 73: 887–892.
- [26] HEADRICK J M, PATAKY J K. Maternal influence on the resistance of sweet corn lines to kernel infection by *Fusarium moniliforme*[J]. Phytopathology, 1991, 81: 268–274.
- [27] 陈晓娟, 文成敬. 四川省玉米穗腐病研究初报[J]. 西南农业大学学报, 2002, 21(1): 21–23, 25.
- CHEN X J, WEN C J. Preliminary study of maize ear rot in Sichuan [J]. Journal of Northwest A & F University, 2002, 21(1): 21–23, 25. (in Chinese)
- [28] 姚瑞丽. 玉米穗腐病原鉴定、产毒条件及田间防控研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015.
- [29] ZILA C T, SAMAYOA L F, SANTIAGO R, et al. A genome-wide association study reveals genes associated with *Fusarium* ear rot resistance in a maize core diversity panel[J]. G3-Genes Genomes Genetics, 2013, 3: 2095–2104.
- [30] GUO Z, WANG S, LI W X et al. QTL mapping and genomic selection for *Fusarium* ear rot resistance using two F_{23} populations in maize[J]. Euphytica, 2022, 218: 131.
- [31] WEN J, SHEN Y, XING Y, et al. QTL mapping of *Fusarium* ear rot resistance in maize[J]. Plant Disease, 2021, 105: 558–565.
- [32] GUO Z, ZOU C, LIU X, et al. Complex genetics system involved in *Fusarium* ear rot resistance in maize as revealed by GWAS, bulked sample analysis, and genomic prediction[J]. Plant Disease, 2020, 104: 1725–1735.
- [33] LI H H, HEARNE S, BÄNZIGER M, et al. Statistical properties of QTL linkage mapping in biparental genetic populations[J]. Heredity, 2010, 1505(3): 257–267.
- [34] MA P, LI H, LIU E, et al. Evaluation and identification of resistance lines and QTLs of maize to seedborne *Fusarium verticillioides* [J]. Plant Disease, 2022, 106: 2066–2073.
- [35] LIU C, KONG M, ZHU J, et al. Engineering null mutants in Zm-FER1 confers resistance to ear rot caused by *Fusarium verticillioides* in maize[J]. Plant Biotechnology Journal, 2022, 20: 2045–2047.
- [36] 王丽娟, 徐秀德, 刘志恒, 等. 玉米抗镰刀菌穗腐病接种方法及抗病资源筛选研究[J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(2): 145–148.
- WANG L J, XU X D, LIU Z H, et al. Inoculation technique and screening maize germplasm resistance to *Fusarium* ear rot[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2007, 8(2): 145–148. (in Chinese)
- (责任编辑: 姜媛媛)

(上接第 106 页)

- [26] 王丽娟, 刘可杰, 刘丽云, 等. 外引玉米种质资源对丝黑穗病抗性鉴定与评价[J]. 辽宁农业科学, 2016(5): 17–19.
- WANG L J, LIU K J, LIU L Y, et al. Identification and evaluation of maize germplasms resistance to head smut in maize[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2016(5): 17–19. (in Chinese)
- [27] 孟 剑, 裴二芹, 宋艳春, 等. 引进美国 GEM 材料的抗玉米青枯病和丝黑穗病种质资源筛选鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(5): 1098–1102.
- MENG J, PEI E Q, SONG Y C, et al. Resistant identification of stalk rot and head smut for introduced U. S. GEM germplasm in maize[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(5): 1098–1102. (in Chinese)
- [28] 马宝新. 引进美国玉米自交系材料的丝黑穗病抗性种质资源鉴定[J]. 黑龙江农业科学, 2017(1): 9–11.
- MA B X. Resistant identification of *Sporisorium reilianum* for maize germplasm introduced from USA[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2017(1): 9–11. (in Chinese)
- [29] 王春明, 郭 成, 周天旺, 等. 629 份国内外玉米种质及杂交种对丝黑穗病的抗性评价[J]. 草地学报, 2019, 27(4): 1075–1082.
- WANG C M, GUO C, ZHOU T W, et al. Evaluation on resistance to head smut of 629 maize germplasm resistance and hybrids from domestic and overseas[J]. Acta Agrestia Sinica, 2019, 27(4): 1075–1082. (in Chinese)
- [30] 张小杰, 曲洁琼, 周天旺, 等. 337 份外引种质对玉米丝黑穗病的抗性评价[J]. 西北农业学报, 2021, 30(6): 901–906.
- ZHANG X J, QU J Q, ZHOU T W, et al. Resistance of 337 introduced germplasms to head smut in maize and its evaluation[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2021, 30(6): 901–906. (in Chinese)
- (责任编辑: 姜媛媛)