

玉米种质和新品种对腐霉茎腐病和 镰孢穗腐病的抗性分析

段灿星, 王晓鸣, 武小菲, 杨知还, 宋凤景, 赵立萍, 孙素丽, 朱振东

(中国农业科学院作物科学研究所 / 国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081)

摘要:玉米是我国最重要的农作物之一, 腐霉茎腐病和镰孢穗腐病是玉米生产上的重要病害。2006–2012 年期间, 对 1647 份玉米种质进行了抗肿囊腐霉茎腐病和拟轮枝镰孢穗腐病鉴定, 筛选出高抗茎腐病和穗腐病的种质分别为 564 份和 27 份, 占鉴定总材料的 34.2% 和 1.6%, 抗性材料分别为 209 份和 352 份, 占比为 12.7% 和 21.4%, 表明高抗肿囊腐霉茎腐病的资源较为丰富, 高抗镰孢穗腐病的种质相对匮乏。其中, 13 份种质对 2 种病害均表现高抗, 207 份种质对 2 种病害均表现抗性或对其中一种表现高抗而另一种表现抗性。自交系中对肿囊腐霉茎腐病和拟轮枝镰孢穗腐病表现抗性以上 (含 HR 和 R) 的种质分别占总鉴定种质的 56.5% 和 23.6%, 在农家种中分别为 21.2% 和 21.4%, 表明玉米自交系中的抗性资源较农家种丰富。2009–2013 年期间参加国家玉米区试的品种中, 对腐霉茎腐病表现高抗、抗性、中抗、感病和高感的品种分别占 11.5%、11.9%、40.1%、17.6% 和 18.9%。2009–2011 年间, 中抗以上的育成品种所占比例呈现明显上升趋势, 但 2012–2013 年间, 中抗以上的品种所占比例呈下降趋势。

关键词:玉米; 腐霉茎腐病; 镰孢穗腐病; 抗性鉴定

Analysis of Maize Accessions Resistance to Pythium Stalk Rot and Fusarium Ear Rot

DUAN Can-xing, WANG Xiao-ming, WU Xiao-fei, YANG Zhi-huan,

SONG Feng-jing, ZHAO Li-ping, SUN Su-li, ZHU Zhen-dong

(Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Key Facility
for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, Beijing 100081)

Abstract: Maize is one of the most important crops in China. Pythium stalk rot and Fusarium ear rot are serious diseases in maize production. A total of 1647 maize accessions were screened for resistance to these two diseases from 2006 to 2012. 564 and 27 germplasm was highly resistant to Pythium stalk rot and Fusarium ear rot, accounting for 34.2% and 1.6% of total accessions screened, respectively. In addition, 209 and 352 accessions with resistance to Pythium stalk rot and Fusarium ear rot were discovered, accounting for 12.7% and 21.4% of total accessions, respectively. Among resistant germplasm, there were 13 accessions with high resistance to two diseases and 207 accessions with resistance to two diseases or resistance to one and high resistance to another. In present study, 56.5% and 23.6% of maize inbred lines were highly resistant or resistant to Pythium stalk rot and Fusarium ear rot, whereas 21.2% and 21.4% of germplasm in landraces were resistant to these two diseases, respectively, indicating higher level of resistance and more multiple resistance in inbred lines than in landraces. Among 227 corn varieties participating in national regional test in 2009–2012, 11.5%, 11.9%, 40.1%, 17.6% and 18.9% of varieties were highly resistant, resistant, moderately resistant, susceptible and highly susceptible to Pythium stalk rot, respectively.

收稿日期: 2015-01-19 修回日期: 2015-03-15 网络出版日期: 2015-08-04

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150804.1328.044.html>

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-02); 中国农业科学院作物科学研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (2014JB02-001); 作物种质资源保护项目 (NB09-2130135); 中国农业科学院创新工程

第一作者主要从事作物种质资源抗病虫玉米病害研究。E-mail: duancanxing@caas.cn

通信作者: 王晓鸣, 主要从事作物资源抗病性鉴定、玉米病害等研究。E-mail: wangxiaoming@caas.cn

The total of ratio of new varieties with moderate resistance, resistance and high resistance obviously tended to ascend during 2009 – 2011, but descended in 2012 – 2013.

Key words: maize; pythium stalk rot; fusarium ear rot; resistance identification

玉米 (*Zea mays* L.) 是我国主要的粮食和饲料作物,也是工业原料和能源植物,在国民经济和农业生产中占有重要的地位。近年来,我国玉米种植面积连续增长,2010 年达到 3133 万 hm^2 ,2011 年进一步扩大至 3200 万 hm^2 。2012 年中国玉米播种面积居农作物第 1 位,达 3503 万 hm^2 ,总产 20561.4 万 t,分别为谷物种植面积和总产量的 37.82% 和 38.12% (<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2013/indexch.htm>)。因此,玉米的生产稳定性直接影响到我国粮食作物的生产安全和延伸产业的发展。病虫害是制约玉米高产稳产的重要因素。在我国,玉米生产中常见病害有 30 余种,虫害达 250 余种,其中发生频率高、危害严重的病虫害为 20 余种,每年都因一些病虫害在局部严重发生或流行而导致玉米产量损失约 1000 万 t^[1]。

玉米茎腐病又称茎基腐病或青枯病,是世界玉米产区普遍发生的一种土传病害,也是我国玉米生产中的主要病害之一,在各种植区均有发生。玉米茎腐病致病菌比较复杂,但我国茎腐病的病原主要为腐霉菌(以肿囊腐霉 *Pythium inflatum* 为主)和镰孢菌(以禾谷镰孢 *Fusarium graminearum* 为主)两大类^[2-3],国外多报道镰孢菌引起茎腐病^[4]。我国发生的腐霉茎腐病具有突发性强、防治困难的特点,曾在 20 世纪 80 年代对生产造成较大的影响。近年来,随着气候变化、秸秆还田和免耕少耕等栽培模式的推广以及品种的更换,田间病原菌不断积累,致使我国玉米茎腐病呈加重发生的趋势^[1,3]。一般发病年份腐霉茎腐病田间发病率 5% ~ 10%,在病害重发年份田间发病率可达 20% ~ 30%,一些感病品种的发病率达到 40% ~ 80%。茎腐病引起玉米植株的水分与养分供应失调,导致果穗的粒数和千粒重下降,发病率每增加 1%,单穗子粒损失率提高 0.485%,千粒重损失率提高 0.304%^[5],在严重发病地区,可以引起 30% 以上的产量损失^[6]。

玉米穗腐病又称玉米穗粒腐病,是世界玉米产区普遍发生的一种真菌病害,由 20 余种真菌侵染玉米果穗和子粒,在生长后期、收获或子粒贮藏期间造成整个果穗或部分子粒腐烂,严重影响玉米产量和品质,对食用和存贮安全带来极大的威胁^[7-10]。拟轮枝镰孢 (*F. verticillioides*) 和禾谷镰孢 (*F. gra-*

minearum) 是我国玉米穗腐病的主要致病菌^[11]。玉米穗腐病的发病率通常为 5% ~ 10%,重发年份发病率 30% ~ 40%,感病品种发病率可高达 50% 以上,产量损失更高达 30% ~ 40%^[10,12]。玉米穗腐病除子粒腐烂造成产量损失外,还因致病镰孢菌能够产生多种毒素,如伏马毒素 (FB, fumonisins)、脱氧雪腐镰刀烯醇 (DON, deoxynivalenol) 和串珠镰孢菌素 (moniliformin) 等,降低玉米品质,给食品与饲料安全带来重大隐患,直接威胁到人畜健康^[13-17]。

鉴于腐霉茎腐病和镰孢穗腐病对玉米生产为害的严重性,控制玉米穗腐病和茎腐病的发生和为害具有重要的意义。腐霉茎腐病和镰孢穗腐病均为玉米生长后期发生的病害,不易控制,防治操作难度较大,往往造成严重的损失。但田间病害发生情况调查表明,不同玉米品种或种质资源对穗腐病或茎腐病的抗性存在显著差异,抗病品种具有明显的降低病害发生率、减轻产量损失的作用。因此,种植和利用抗病品种是控制上述两种病害的安全、经济和有效措施。

优异的抗性种质是进行抗病品种选育的前提和基础。在 2006 – 2012 年期间,本课题组对 1647 份玉米种质进行了抗腐霉茎腐病和拟轮枝镰孢穗腐病的鉴定与评价,筛选出一批多抗、优异的玉米种质,同期也对大量新选育的品种进行了抗腐霉茎腐病鉴定,这些鉴定将为玉米抗茎腐病和穗腐病育种提供抗性材料和技术支持,也为生产中的茎腐病控制提供了可用的品种。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1647 份鉴定用玉米种质资源由中国农业科学院作物科学研究所提供,均为近年在国家作物种质中期库材料更新中新繁殖的材料,由来自于国内 29 个省、直辖市和自治区的种质以及从美国、墨西哥等 13 个国家引进的种质构成,包括 1199 份自交系材料和 448 份农家种 (表 1),来源较为广泛。另外,对 2009 – 2013 年参加国家玉米区试的 227 份育成新品种 (包括东南组 38 份、京津唐组 52 份、西北组 65 份、黄淮海组 72 份) 进行了抗腐霉茎腐病鉴定。

表 1 供试玉米材料来源与数量
Table 1 Origin and accession number of maize germplasm

种质来源 Origin	鉴定种质数量 No. of accessions	种质来源 Origin	鉴定种质数量 No. of accessions	种质来源 Origin	鉴定种质数量 No. of accessions
中国安徽	5	中国江西	8	中国浙江	9
中国北京	36	中国辽宁	38	澳大利亚	3
中国福建	9	中国内蒙	286	波兰	2
中国甘肃	97	中国宁夏	1	朝鲜	2
中国广东	84	中国青海	3	德国	2
中国广西	28	中国山东	40	美国	27
中国贵州	8	中国山西	181	秘鲁	5
中国河北	89	中国陕西	28	墨西哥	78
中国河南	28	中国上海	7	泰国	3
中国黑龙江	329	中国四川	11	匈牙利	4
中国湖北	6	中国天津	7	伊朗	1
中国湖南	4	中国西藏	2	以色列	2
中国吉林	23	中国新疆	11	意大利	3
中国江苏	16	中国云南	124	印尼	1

1.2 鉴定用病原菌

本研究中使用的拟轮枝镰孢菌 (*F. verticillioides*) 和肿囊腐霉菌 (*P. inflatum*) 均由本课题组采集、分离、纯化、培养并保存。

1.3 玉米抗病鉴定圃设置

鉴定在中国农业科学院作物科学研究所北京昌平试验站的抗性鉴定圃进行。由于种质资源抗性鉴定具有材料多、种子量较少的特点,因此抗性鉴定均采用无重复鉴定方式,对鉴定出的抗性(含高抗和抗病)种质,次年采用相同方法进行重复鉴定^[18];玉米新品种抗腐霉茎腐病鉴定采用2次重复的鉴定方式,对于第2年能继续进入国家区试的品种采用相同的方式进行鉴定。

抗腐霉茎腐病鉴定圃:每份材料种植双行,行长5 m,行距0.6 m,每行留25~30株,植株密度为5000株/667m²,田间正常管理。在植株发育至大喇叭口后期,采用土壤接种腐霉菌的方法接种,在乳熟末期调查^[1]。

抗镰孢穗腐病鉴定圃:每份材料种植双行,行长6 m,每行留30~35株,密度为5000株/667m²,田间正常管理。在玉米吐丝14 d后,通过花丝通道进行注射接种,子粒成熟后逐株剥穗调查。

1.4 抗性鉴定方法及评价标准

1.4.1 玉米抗腐霉茎腐病鉴定 将经马铃薯葡萄糖琼脂平板培养基培养的肿囊腐霉接种于经高压灭

菌的玉米粒上,在25℃下黑暗培养。培养5~7 d,待菌丝布满玉米粒后,于玉米大喇叭口期进行接种,以齐319为抗病对照,掖478为感病对照。在玉米进入乳熟后期对每份材料进行逐株调查,调查重点部位为茎基部节位,茎节明显变褐或用手指捏近地表茎节感到变软的植株,即为发病株,分别记载调查总株数和发病株数,计算发病株率。具体参照王晓鸣等^[1]的方法进行。

1.4.2 玉米抗镰孢穗腐病鉴定 将拟轮枝镰孢接种在马铃薯葡萄糖琼脂平板培养基上黑暗培养,约14 d即可在菌落上产生大量小型分生孢子。用水冲洗孢子并将孢子悬浮液浓度调至2×10⁶/mL,在果穗吐丝后14 d左右(花丝萎蔫)采用花丝通道注射接种,每穗注射2 mL接种液,以X178为抗病对照,B73为感病对照,在玉米成熟期进行调查与评价,具体参照王晓鸣等^[1]、L. M. Reid等^[19]、M. J. Clements等^[20]的方法。

2 结果与分析

2.1 不同地理来源与不同类型玉米种质对腐霉茎腐病和镰孢穗腐病的抗性水平

针对不同地理来源的种质,比较了7个不同省份种质(份数较多)的抗性情况,在黑龙江、内蒙古、山西、云南、甘肃、河北和广东种质中,抗腐霉茎腐病和镰孢穗腐病的材料(含HR和R)占比分别为

37.7% 和 17.0%、71.3% 和 24.1%、41.4% 和 22.7%、45.2% 和 41.9%、29.9% 和 25.8%、79.8% 和 24.7% 以及 65.5% 和 36.9%，表明不同地区玉米种质的抗性强弱以及抗性多样性存在较大的差异，

来自于黑龙江和甘肃的种质，其整体抗性水平明显低于广东、内蒙古和云南的。就引进种质而言，墨西哥种质中蕴含的腐霉茎腐病抗性资源明显高于美国种质(表2)。

表2 不同地理来源的玉米种质对腐霉茎腐病和镰孢穗腐病的抗性统计

Table 2 Number of maize germplasm from different areas with resistance to *Pythium* stalk rot and *Fusarium* ear rot

来源 Origin	数量 No. of accessions	腐霉茎腐病 Pythium stalk rot		镰孢穗腐病 Fusarium ear rot	
		HR	R	HR	R
中国安徽	5	1	0	0	0
中国北京	36	15	5	1	12
中国福建	9	1	0	0	0
中国甘肃	97	27	2	0	25
中国广东	84	36	19	6	25
中国广西	28	3	4	0	0
中国贵州	8	2	0	0	0
中国河北	89	53	18	0	22
中国河南	28	5	3	0	5
中国黑龙江	329	89	35	2	54
中国湖北	6	1	0	0	0
中国湖南	4	1	0	0	0
中国吉林	23	9	0	0	0
中国江苏	16	1	0	0	2
中国江西	8	0	0	1	2
中国辽宁	38	11	2	0	10
中国内蒙古	286	166	38	3	66
中国宁夏	1	0	0	0	1
中国青海	3	0	0	0	0
中国山东	40	1	6	2	9
中国山西	181	62	13	0	41

来源 Origin	数量 No. of accessions	腐霉茎腐病 Pythium stalk rot		镰孢穗腐病 Fusarium ear rot	
		HR	R	HR	R
中国陕西	28	11	4	1	10
中国上海	7	0	0	0	1
中国四川	11	2	0	0	3
中国天津	7	0	0	0	2
中国西藏	2	0	0	0	0
中国新疆	11	0	0	0	0
中国云南	124	12	44	5	47
中国浙江	9	1	0	0	0
澳大利亚	3	0	0	0	1
波兰	2	0	0	0	0
朝鲜	2	0	0	0	0
德国	2	1	0	0	0
美国	27	2	1	1	4
秘鲁	5	4	0	3	1
墨西哥	78	43	12	1	7
泰国	3	2	0	1	0
匈牙利	4	0	0	0	0
伊朗	1	0	1	0	0
以色列	2	1	1	0	0
意大利	3	0	0	0	2
印尼	1	1	0	0	0

在鉴定的 1199 份自交系材料中,筛选出对拟轮枝镰孢穗腐和肿囊腐霉茎腐病表现抗性以上(含高抗和抗病)的种质为 283 份和 678 份,分别占比 23.6% 和 56.5%;在 448 份农家种资源中,鉴定出抗拟轮枝镰孢穗腐和肿囊腐霉茎腐病的种质分别为 96 份和 95 份,占比为 21.4% 和 21.2%,表明玉米自交系中对上述 2 种病害的抗性资源较农家种丰富,尤其是对腐霉茎腐病,自交系中含有丰富的抗性资源。

2.2 玉米种质对腐霉茎腐病的抗性鉴定与评价

在 1647 份玉米种质中,筛选出高抗肿囊腐霉茎腐病的材料 564 份,占鉴定总数的 34.2%,其中自交系 528 份,农家种 36 份,主要来自于中国的黑龙江、河北、广东、甘肃、北京及墨西哥等地。抗性材料 209 份,占鉴定材料数的 12.7%,主要由源自云南、黑龙江、广东、河北、北京的种质构成。中抗、感病和高感材料各 422 份、132 份和 320 份,占比分别为

25.6%、8.0% 和 19.4%。从上述鉴定结果可以看出,我国玉米种质中存在较为丰富的抗腐霉茎腐病资源,对于抗病品种的选育和品种的抗性改良具有重要意义。

2.3 玉米种质对镰孢穗腐病的抗性鉴定与评价

对 1647 份国家种质库保存种质进行了抗镰孢穗腐病鉴定,筛选出粤 CO-M2、PI217483、OPA·HUA、丹 599、矮足黄包谷等高抗种质 27 份,占鉴定总材料的 1.6%,包括 11 份自交系和 16 份农家种,主要来源于广东、云南、内蒙古和秘鲁等地(表2);抗性资源 352 份,占比为 21.4%,主要由来源于内蒙古、黑龙江、云南、山西、甘肃、广东与河北的种质构成;中抗材料 784 份,占鉴定种质的 47.6%;感病和高感种质各 273 份和 211 份,分别占总材料的 16.6% 和 12.8%(表3)。不难看出,高抗拟轮枝镰孢穗腐病的玉米种质资源相对匮乏。

表 3 27 份对拟轮枝镰孢穗腐病表现高抗的玉米种质

Table 3 Twenty-seven maize accessions with high resistance to Fusarium ear rot

统一编号 National code	名称 Gemiplasm name	病级 Scale	抗性 Resistance	统一编号 National code	名称 Gemiplasm name	病级 Scale	抗性 Resistance
00010113	BGC1	1.0	HR	0L703282	SW-19	1.0	HR
00190098	粤 C0-M2	1.0	HR	0L050566	丹 599	1.2	HR
00190099	粤 C14-1	1.0	HR	0L050582	赤 74595	1.5	HR
00190100	粤 C14-2	1.0	HR	0L050590	赤 O15	1.4	HR
0L190062	粤 40-2	1.0	HR	0L150114	502	1.3	HR
0L190082	粤 51	1.0	HR	00150013	丰夏玉米	1.0	HR
0L190083	粤 52-1	1.0	HR	0L250265	W21 (高科 3 号母)	1.4	HR
0L080640	12084	1.2	HR	00408019	苏湾 5 号	1.0	HR
0L080644	7082	1.2	HR	00232012	黄包谷	1.0	HR
00140143	玉米	1.0	HR	00232272	矮足黄包谷(2)	1.0	HR
00702269	PI217483	1.0	HR				

2.4 玉米种质对腐霉茎腐病和镰孢穗腐病兼抗情况

比较了 1647 份玉米种质对肿囊腐霉茎腐病和拟轮枝镰孢穗腐病的抗性状况,发现 13 份种质对上述两种病害均表现高抗,包括 5 份农家种(粤 C14-1、黄

包谷、苏湾 5 号、28-Mar 和 NEG)和 8 份自交系(粤 40-2、粤 51、粤 52-1、丹 599、赤 74595、赤 O15、12084 和高科 3 号母)。207 份种质对肿囊腐霉茎腐病和拟轮枝镰孢穗腐病均表现抗性或对其中一种表现高抗而另一种表现抗性(表 4)。

表 4 兼抗腐霉茎腐病和镰孢穗腐的部分玉米种质

Table 4 Some maize accessions with resistance to Pythium stalk rot and Fusarium ear rot

腐霉茎腐病					镰孢穗腐病					腐霉茎腐病					镰孢穗腐病				
Pythium		Fusarium			Pythium		Fusarium			Pythium		Fusarium			Pythium		Fusarium		
stalk rot		ear rot			stalk rot		ear rot			stalk rot		ear rot			stalk rot		ear rot		
统一编号	发病率	抗性	病级	抗性	统一编号	发病率	抗性	病级	抗性	统一编号	发病率	抗性	病级	抗性	统一编号	发病率	抗性	病级	抗性
National code	(%)	Resistance	Scale	Resistance	National code	(%)	Resistance	Scale	Resistance	National code	(%)	Resistance	Scale	Resistance	National code	(%)	Resistance	Scale	Resistance
Morbidity					Morbidity					Morbidity					Morbidity				
00232302	10.0	R	1.0	HR	0L050554	0	HR	2.2	R	0L190067	0	HR	2.8	R	0L050576	0	HR	1.6	R
0L050576	0	HR	1.6	R	0L030310	0	HR	2.2	R	0L050588	0	HR	2.9	R	0L060323	0	HR	1.6	R
0L060323	0	HR	1.6	R	0L050567	0	HR	2.2	R	0L260091	0	HR	2.9	R	0L050586	0	HR	1.6	R
0L050586	0	HR	1.6	R	0L050303	0	HR	2.2	R	0L260098	0	HR	2.9	R	0L050587	0	HR	1.7	R
0L050587	0	HR	1.7	R	0L250269	0	HR	2.2	R	0L050286	0	HR	2.9	R	0L050264	0	HR	1.8	R
0L050264	0	HR	1.8	R	0L080650	0	HR	2.2	R	00232251	0	HR	2.9	R	00232254	0	HR	1.8	R
00232254	0	HR	1.8	R	00232260	0	HR	2.3	R	0L010113	0	HR	3.0	R	0L080642	0	HR	1.8	R
0L080642	0	HR	1.8	R	0L030132-1	0	HR	2.4	R	0L030170	0	HR	3.0	R	0L040319	0	HR	1.8	R
0L040319	0	HR	1.8	R	0L080439	0	HR	2.4	R	0L040134	0	HR	3.0	R	0L010308	0	HR	1.9	R
0L010308	0	HR	1.9	R	0L010331	0	HR	2.4	R	0L050205	0	HR	3.0	R	0L050575	0	HR	1.9	R
0L050575	0	HR	1.9	R	0L260088	0	HR	2.4	R	0L050264	0	HR	3.0	R	0L080653	0	HR	1.9	R
0L080653	0	HR	1.9	R	0L030321	0	HR	2.5	R	0L050293	0	HR	3.0	R	0L050276	0	HR	1.9	R
0L050276	0	HR	1.9	R	0L050284	0	HR	2.5	R	0L080482	0	HR	3.0	R	0L050285	0	HR	1.9	R
0L050285	0	HR	1.9	R	0L050519	0	HR	2.5	R	0L190073	0	HR	3.0	R	0L050574	0	HR	2.0	R
0L050574	0	HR	2.0	R	00232343	0	HR	2.5	R	0L250205	0	HR	3.0	R	0L050558	0	HR	2.0	R
0L050558	0	HR	2.0	R	0L030309	0	HR	2.6	R	0L010329	0	HR	3.0	R	0L030173	0	HR	2.0	R
0L030173	0	HR	2.0	R	0L050578	0	HR	2.6	R	00724007	0	HR	3.0	R	0L050270	0	HR	2.0	R
0L050270	0	HR	2.0	R	0L060319	0	HR	2.6	R	0L050279	0	HR	3.0	R	0L050294	0	HR	2.0	R
0L050294	0	HR	2.0	R	0L030129	0	HR	2.6	R	0L050285	0	HR	3.0	R	0L080440	0	HR	2.0	R
0L080440	0	HR	2.0	R	0L050274	0	HR	2.6	R	0L080436	0	HR	3.0	R	0L050583	0	HR	2.0	R
0L050583	0	HR	2.0	R	0L060320	0	HR	2.6	R	0L080452	0	HR	3.0	R	0L060323	0	HR	2.1	R
0L060323	0	HR	2.1	R	00232261	0	HR	2.7	R	0L190088	0	HR	3.0	R	0L050522	0	HR	2.1	R
0L050522	0	HR	2.1	R	00702315	0	HR	2.7	R	0L260097	0	HR	3.0	R	0L050277	0	HR	2.1	R
0L050277	0	HR	2.1	R	0L050564	0	HR	2.7	R	0L515066	0	HR	3.0	R	0L080436	0	HR	2.1	R
0L080436	0	HR	2.1	R	0L080456	0	HR	2.7	R	0L040305	0	HR	3.0	R	0L080657	0	HR	2.1	R
0L080657	0	HR	2.1	R	0L050573	0	HR	2.8	R	0L050529	0	HR	3.0	R	0L050568	0	HR	2.1	R
0L050568	0	HR	2.1	R	0L010121	0	HR	2.8	R	0L050536	0	HR	3.0	R					

上述对两种病害均具有抗性的种质,是进行抗病品种选育的重要资源材料。

2.5 玉米育成品种对腐霉茎腐病的抗性状况

对 2009 – 2013 年期间参加国家玉米区试的 227 份玉米新品种抗腐霉茎腐病的情况进行了分析,结果表明,在 5 年所有参试品种中,高抗、抗性和中抗的品种分别为 26 份、27 份和 91 份,各占 11.5%、11.9% 和 40.1%,感病和高感品种分别为 40 份和 43 份,占总鉴定品种的 17.6% 和 18.9%,由此可见,参试的育成品种中,60% 以上的品种达到中抗以上的水平,在一定程度上说明玉米育种家有意或无意地将茎腐病的抗性作为育种的一个目标性状。通过比对每年参试品种中不同抗感水平的品种所占的比例,发现在 2009 – 2011 年期间,中抗以上的育成品种所占比例呈现明显上升趋势,而感病和高感品种的比例则明显下降。但 2012 – 2013 年间,中抗以上的品种所占比例呈现下降趋势,而感病和高感品种的占比有所上升(图 1)。

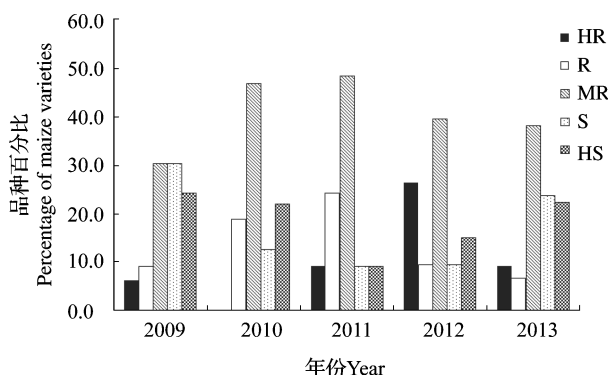


图 1 2009 – 2013 年间具有不同抗性的育成品种所占比例

Fig. 1 The ratio of maize hybrids with different resistance levels during 2009 – 2013

3 讨论

国内外的生产实践表明,利用抗性品种是防治玉米病害的经济有效措施。譬如,在 20 世纪 70 年代中后期,北方春玉米区大斑病发生严重,导致玉米减产约 17 亿 kg;80 年代后,因推广应用抗大斑病品种沈单 7、掖单 13 和丹玉 13 等,玉米大斑病基本得到控制;但由于抗病品种较为单一,抗性被新的生理小种克服,90 年代初、2003 – 2004 年大斑病再次大范围严重发生,对玉米生产造成严重的影响^[21-22]。因此,培育具有多抗性、持久抗性的品种逐渐成为育种家的一个重要目标^[23]。

腐霉茎腐病和镰孢穗腐病是玉米生长中后期的

2 种重要病害,能显著降低玉米的产量和品质,是制约我国玉米生产的重要因素。目前,生产上尚无针对这 2 种病害的有效防控手段,利用抗性品种无疑是控制茎腐病和穗腐病最为理想的措施。玉米自交系和农家种中含有丰富的抗性资源,从中筛选和鉴定出具有稳定抗性的种质是进行抗病品种选育的重要基础和前提。鉴于这种状况,国内外相关研究小组开展了有关抗茎腐病和穗腐病种质资源鉴定和评价工作,并初步筛选出一些抗性材料^[24-30],但大部分研究选取的材料具有一定的局限性,代表性不强。中国国家作物种质库中已收集和保存玉米种质 21000 余份,是世界上最具有广泛代表性的遗传资源中心之一,其中蕴含大量的基因资源,本研究中的资源材料均来自于国家种质库,由国内 29 个省、直辖市和自治区以及从美国、墨西哥等 13 个国家引进的共 1647 份种质构成,具有较强的代表性。鉴定结果表明,不同种质之间对茎腐病或穗腐病的抗性差异较大,不同种质类型和不同地理来源的种质,其整体抗性也存在较大的差异。

通过对比已发表的相关鉴定报告,发现存在一些名称相同但抗性鉴定结果差异较大的材料。本研究中也存在一些种质的鉴定结果与以往报道的抗性一致或有差异的情况,如前人报道的掖 478、综 31、齐 319、塘四平头对腐霉茎腐病的抗性分别为抗、中抗、中抗、高感,但本研究鉴定分别为高感、高抗、高抗和抗^[25,27],在镰孢穗腐病的鉴定方面也存在类似的情况^[31]。这些抗性鉴定结果间的差异,主要由以下因素所致:(1)鉴定的玉米材料来源不同:许多自交系在不同的育种家手中都经过了一定的改良,因此同名自交系会存在明显的性状差异,而鉴定者获得材料的途径是不同的;(2)鉴定者接种用病原菌分离物的差异:不同来源的接种病原菌在致病力方面存在差异而导致鉴定材料发病程度的不一致;(3)不同鉴定工作所处的环境条件缺乏一致性:地域间鉴定环境的差异以及年度间环境的差异也是导致鉴定结果不一致的常见因素^[18]。

在接种鉴定方法上,用于玉米腐霉茎腐病的主要有根际埋菌法和茎基部打孔注射法,前者操作简单,接近田间植株发病的实际情况,更能反应植株的真实抗感病特性,缺点是接种物用量较大,适用于培养物在当地接种的抗性鉴定;后者直接将菌液注入茎秆中,更能保证接种的效果,但涉及打孔、注射和封口等试验程序,工作量极大,适用于小规模鉴定或

异地接种鉴定。近年来,本课题组在北京昌平试验站抗性鉴定圃进行的抗腐霉茎腐病鉴定采用的是土壤接种法,鉴定了大量的种质资源,获得了一批具有稳定抗性的材料,同时,利用茎基部打孔注射法对山东莱州、河南郑州和海南三亚的一些育种材料进行了接种鉴定,取得了较好的结果,筛选出的材料在田间的抗性表现非常稳定。

玉米穗腐病接种鉴定的方法包括 4 种:(1)双牙签接种法^[1,18];选择适宜果穗,在果穗中部先用大号注射针头或尖锐的铁钎子穿洞,深度达果穗穗轴部,然后将 2 根带菌牙签并排插入洞中直达子粒。(2)花丝通道注射接种法^[19-20]:选用连动注射器,从果穗花丝通道(花丝吐出下方至穗轴顶部裹有苞叶的部位)一侧插入,每穗注射 2 mL 接种液。(3)花丝喷雾法^[10]:在玉米吐丝盛期,用小型喷雾器将孢子悬浮液均匀喷洒在花丝上,至花丝有液滴为止;(4)针刺果穗注射法^[10,31-32]:用注射针刺入果穗较深处,然后注入孢子悬浮液。在上述接种方法中,花丝通道注射法和针刺果穗注射法的接种量易于定量控制,不同年份间鉴定结果比较稳定,在国内外玉米抗穗腐病鉴定中得到了广泛应用^[10]。本研究采用的是花丝通道注射接种法,鉴定结果在不同年份间相对比较稳定。

玉米作为我国目前种植面积和产量最大的粮食作物,其抗性水平直接影响生产的稳定。国家进行新品种审定时,对不同生态区高感某种特定病害的品种,实行一票否决制,以避免因品种严重发病而造成重大的生产损失。2014 年最新发布的《主要农作物品种审定标准》中明确规定,国家新审定的玉米品种在以下生态区对茎腐病不得为高感:东北华北春玉米区、东北中熟春玉米区、东北早熟春玉米区、西北春玉米区、黄淮海夏玉米区和东南玉米区;西南玉米区的审定品种对穗腐病田间人工接种或自然发病非高感。在 2009-2013 年期间所有参加国家玉米区试的品种中,因高感茎腐病而停试的品种占比为 18.9%,此外 17.6% 的品种表现感病,在生产上存在潜在的风险。穗腐病是新发布的标准中新增的一票否决制病害,主要是因为西南区玉米穗腐病发生严重,其产生的毒素对食用和饲用安全均产生了严重威胁。因此,建议育种家们进行玉米品种选育时,有意识地将上述 2 种病害的抗性也作为目标育种性状,以培育出具有优良性状的抗性品种。

致谢:本研究的玉米种质材料均由中国农业科

学院作物科学研究所玉米资源课题组的石云素研究员提供,在此深表谢意。

参考文献

- [1] 王晓鸣,石洁,晋齐鸣,等.玉米病虫害田间手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2010
- [2] 王晓鸣,吴全安,刘晓娟,等.寄生玉米的 6 种腐霉及其致病性研究[J].植物病理学报,1994,24(4):343-346
- [3] 陈捷.我国玉米穗、茎腐病害研究现状与展望[J].沈阳农业大学学报,2000,31(5):393-401
- [4] Jong-Hwan Shin J K,Han J H,Lee J K,et al. Characterization of the maize stalk rot pathogens *Fusarium subglutinans* and *F. temperatum* and the effect of fungicides on their mycelial growth and colony formation[J]. Plant Pathol J,2014,30(4):397-406
- [5] 郭翼奋,梁再群,黄洪,等.南繁玉米茎腐病发生危害情况调查[J].植物保护,1994,20(4):9-11
- [6] Khokhar M K,Hooda K S,Sharma S S,et al. Post flowering stalk rot complex of maize- present status and future prospects[J]. Maydica,2014,59:226-242
- [7] 马秉元,李亚玲,龙书生,等.玉米穗粒腐病接种技术及品种抗病性鉴定研究[J].植物保护学报,1999,26(2):121-124
- [8] 宋立秋,魏利民,王振营,等.亚洲玉米螟与串珠镰孢菌复合侵染对玉米产量损失的影响[J].植物保护学报,2009,36(6):487-490
- [9] Atanasova-Penichon V,Pons S,Pinson-Gadais L,et al. Chlorogenic acid and maize ear rot resistance: A dynamic study investigating *Fusarium graminearum* development, deoxynivalenol production, and phenolic acid accumulation[J]. Mol Plant-Microbe Interact, 2012,25(12):1605-1616
- [10] Mesterházy A,Lemmens M,Reid L M. Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize-a review[J]. Plant Breeding,2012,131:1-19
- [11] 秦子惠,任旭,江凯,等.我国玉米穗腐病致病镰孢种群及禾谷镰孢复合种的鉴定[J].植物保护学报,2014,41(5):589-596
- [12] Campos-Bermudez V A,Fauguel C M,Tronconi M A,et al. Transcriptional and metabolic changes associated to the infection by *Fusarium verticillioides* in maize inbreds with contrasting ear rot resistance[J]. PLoS ONE,2013,8(4):e61580
- [13] Gelderblom W C,Jaskiewicz K,Marasas W F,et al. Fumonisin-novel mycotoxins with cancer-promoting activity produced by *Fusarium moniliforme* [J]. Appl Environ Microb, 1988,54(7):1806-1811
- [14] Harrison L R,Colvin B M,Greene J T,et al. Pulmonary edema and hydrothorax in swine produced by fumonisin B1, a toxic metabolite of *Fusarium moniliforme*[J]. J Vet Diagn Invest,1990,2(3):217-221
- [15] Yoshizawa T,Yamashita A,Luo Y. Fumonisin occurrence in corn form high-risk and low-risk areas for human esophageal cancer in China[J]. Appl Environ Microb,1994,60:1626-1629
- [16] 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
- [17] Schaafsma A W,Limay-rios V,Tamburic-illincic L. Mycotoxins and *Fusarium* species associated with maize ear rot in ontario, Canada[J]. Cereal Res Commun,2008,36:525-527
- [18] 段灿星,朱振东,武小菲,等.玉米种质资源对六种重要病虫害的抗性鉴定与评价[J].植物遗传资源学报,2012,13(2):169-174
- [19] Reid L M,Spaner D,Mather D E,et al. Resistance of maize hybrids and inbreds following silk inoculation with three isolates of *Fusarium graminearum* [J]. Plant Dis,1993,77:1248-1251
- [20] Clements M J,Kleinschmidt C E,Maragos C M,et al. Evaluation of inoculation techniques for *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination of corn[J]. Plant Dis,2003,87,147-153

