

外引玉米种质对两种穗腐病原镰孢菌抗性鉴定

徐 婧¹, 姜 钰¹, 秦培文², 刘可杰¹, 胡 兰¹, 孙会杰³, 徐秀德¹

(¹ 辽宁省农业科学院植物保护研究所, 沈阳 110161; ² 沈阳农业大学植物保护学院 沈阳 110866;

³ 辽宁省农业科学院经济作物研究所, 辽阳 111000)

摘要: 采用双牙签接种技术, 2016-2017 年连续 2 年对从美国、加拿大、罗马尼亚、德国、法国、荷兰等国家引进的 177 份玉米种质资源抗玉米穗腐病原拟轮枝镰孢 (*F.verticillioides*) 和禾谷镰孢 (*F.graminearum*) 进行了鉴定。结果表明, 鉴定的 177 份玉米种质资源中, 对拟轮枝镰孢表现高抗 (HR) 的资源 2 份, 占总数的 1.13%; 抗病 (R) 38 份, 占总数的 21.47%; 中抗 (MR) 75 份, 占总数的 42.37%; 感病 (S) 48 份, 占总数的 27.12%; 高感 (HS) 14 份, 占总数的 7.91%。177 份玉米种质资源中, 对禾谷镰孢 (*F.graminearum*) 表现抗病 (R) 12 份, 占鉴定资源总数的 6.78%; 中抗 (MR) 66 份, 占总数的 37.29%; 感病 (S) 64 份, 占总数的 36.16%; 高感 (HS) 35 份, 占总数的 19.77%, 未发现对禾谷镰孢菌表现高抗的材料。在 177 份玉米种质资源中, 兼抗两种穗腐病原镰孢菌的种质资源有 12 份。

关键词: 玉米; 穗腐病; 轮枝镰孢菌; 禾谷镰孢菌; 抗性鉴定

Test for Ear Rot Resistance Against *Fusarium verticillioides* and *Fusarium graminearum* in Imported Maize Germplasm

XU Jing¹, JIANG Yu¹, Qin Pei-wen², LIU Ke-jie¹, HU Lan¹, SUN Hui-jie³, XU Xiu-de¹

(¹ Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161;

² College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866;

³ Institute of Economics Crops, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Liaoyang 111000)

Abstract: A total of 177 maize germplasm accessions, which were imported from the countries of USA, Canada, Romania, Germany, France and Netherlands, were evaluated for resistance against ear rot causing agent of *Fusarium verticillioides* (FV) and *Fusarium graminearum* (FG) with double toothpick inoculation technique in two calendar years (2016-2017). Out of that, two accessions (1.13% of total tested accessions) were highly resistant (HR) to FV, and 38 accessions (21.47%) were resistant (R). 75, 48 and 14 accessions showed moderate resistance (MR, 42.37%), susceptible (S, 27.12%) and highly susceptible (HS, 7.91%), respectively. Upon inoculation of FG, 12 and 66 accessions were resistant (R, 6.78%) and moderately resistant (MR, 37.29%), respectively. Meanwhile, 64 and 35 accessions were susceptible (S, 36.16%) and highly susceptible (HS, 19.77%), respectively. No accessions with highly resistant (HR) to FG was found. Attractively, twelve accessions with resistant to both FV and FG were identified, and they might serve as resistance resource used in maize breeding for ear rot resistance.

Key words: maize; ear rot; *F.verticillioides*; *F.graminearum*; evaluation of resistance

玉米穗腐病是世界上重要的玉米病害, 各国玉米产区均有不同程度的发生, 重病发生区可造成产量损失达 50%。该病害除了直接造成减产外,

其病原菌在寄生代谢过程中分泌的毒素可以污染玉米籽粒, 给以玉米为原料的食品和饲料安全带来隐患, 已被世界卫生组织 (WHO) 列为食源性疾

收稿日期: 2018-05-30 修回日期: 2018-06-26 网络出版日期: 2018-09-17

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180914.0807.001.html>

第一作者研究方向为高粱、玉米病害, E-mail: mljasmine2004@163.com

通信作者: 徐秀德, 研究方向为作物病害, E-mail: xiudex@163.com

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFE0112900)

Foundation project: National Key R&D Program of China (2016YFE0112900)

病的重要根源^[1]。诸多研究表明, 镰孢菌的多种毒素威胁人、畜健康, 造成肝脏、肾脏中毒, 具有致癌和致突变毒性^[2-4], 伏马菌素与人类食管癌发生关系密切^[5]。由于田间引起玉米穗腐病的病原菌的来源广泛、侵入果穗导致籽粒腐烂的途径繁杂, 既可通过昆虫、鸟害造成的伤口侵入^[5-6], 也可从花丝通道进入穗轴和籽粒中^[7-8], 或通过带菌种子系统侵染^[9-10], 因此, 一些农业和化学防治措施均难以有效防控穗腐病。加强玉米种质资源抗病性鉴定与抗病品种选育是防治玉米穗腐病的重要途径^[11-12]。玉米穗腐病原镰孢菌有多种, 其中拟轮枝镰孢 (*Fusarium verticillioides*) 和禾谷镰孢 (*Fusarium graminearum*) 为优势种^[13-14]。在玉米抗拟轮枝镰孢穗腐病鉴定方面已有诸多研究^[15-18], 但在抗禾谷镰孢穗腐病鉴定方面国内研究较少。本研究对从国外引进的玉米种质资源抗两种玉米穗腐病原镰孢菌进行了鉴定与评价, 旨在明确国外玉米种质资源对玉米穗腐病主要致病镰孢菌的抗性水平与抗性差异, 并筛选抗病种质材料, 为玉米种质创新、抗病育种和病害有效控制提供信息和材料支撑。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

1.1.1 玉米种质资源 供鉴定的外引玉米种质资源 177 份, 其中来源于法国 9 份、德国 10 份、加拿大 11 份、罗马尼亚 11 份、美国 132 份、荷兰 4 份。此外, 用齐 319 (抗病)、黄早四 (感病) 和鲁原 92 (高感) 等 3 个自交系作为抗感对照。这些材料均经田间农艺性状观察和严格自交套袋留种, 供鉴定用。

1.1.2 菌种 供试拟轮枝镰孢 (*F. verticillioides*) 菌株 FV05 和禾谷镰孢 (*F. graminearum*) 菌株 FG17, 均为玉米穗腐病病穗上分离获得的菌株^[8], 经形态学和分子生物学鉴定以及田间致病力测定获得的强致病力菌株, 超低温保存于辽宁省农业科学院植物保护研究所。

1.1.3 培养基 PDA 培养基: 马铃薯 200 g/L, 葡萄糖 20 g/L, 琼脂 15~20 g/L; PD 培养液: 马铃薯 200 g/L, 葡萄糖 20 g/L。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验设置于辽宁省农业科学院病害鉴定圃中。于 2016-2017 年采用田间人工接种鉴定方法, 供试种质于 4 月下旬播种, 顺序排列种植, 2 行区, 行长 5 m, 行距 0.6 m, 穴留苗 1 株, 2 行区保苗 40 株左右。玉米抗拟轮枝镰孢和禾谷镰孢鉴定区相邻。以自交系齐 319 (抗)、黄早四 (感)、鲁原 92 (高感) 作为抗、感对照材料。设年度间 2 次重复。

1.2.2 接种物制备 采用软木质牙签作为病菌接种载体。将牙签在沸水中煮 3 次, 每次 1 h, 以去除牙签中的抑菌物质, 煮后用清水冲洗 2~3 次, 晾干; 将牙签捆成 20~30 根的小捆, 尖部向上整齐摆放入罐头瓶中, 将 PD 培养液倒入瓶中, 液面高度为牙签长度 1/2, 封瓶口后高压灭菌 30 min; 灭菌牙签晾凉后, 无菌条件下, 将牙签顶部均匀涂布一层 PDA 固体培养基, 厚度 1 cm, 以填满牙签捆顶部缝隙即可; 在田间接种前 5~7 d, 将从扩繁的拟轮枝镰孢 (*F. verticillioides*) 和禾谷镰孢 (*F. graminearum*) 菌落中打取菌饼, 分别接种在牙签捆顶部 PDA 培养基上, 每瓶 5 片, 24~25 °C 下培养 5~7 d, 当病菌由牙签捆顶部向下扩展至中部, 即可用于接种。接种物制备全过程约需 10~15 d。

1.2.3 接种方法 在田间玉米果穗吐丝后约 2 周, 即花丝初见萎蔫期进行接种。在接种区中, 选择大小和吐丝时间较为一致的 20 个果穗进行挂标签标记; 用培养的拟轮枝镰孢 (FV05) 和禾谷镰孢 (FG17) 的带菌牙签分别进行接种, 不同菌株接种由专人操作, 避免菌株间交叉感染。将 2 根带菌牙签尖端并齐, 以平行果穗 60° 的角度插入果穗中部, 深度达穗轴。一些玉米品种果穗的苞叶硬度较大, 牙签不易直接插入时, 可借助锥子先在果穗上扎一个小孔, 然后将带菌牙签并排从小孔处插入果穗。牙签插入穗部的方向由穗基部向顶部方向为宜, 以避免或减少雨水从接种孔渗入, 影响发病效果。

1.2.4 评价标准 在玉米成熟后, 即接种后 45~50 d 进行田间病情调查。将接种果穗剥去苞叶, 逐个调查记载果穗病情 (表 1), 计算平均发病级别。当鉴定圃中的感病或高感对照材料达到其相应感病程度, 该批次抗穗腐病鉴定视为有效。依据鉴定材料平均发病程度 (病情级别) 确定其抗性水平。设年度间重复, 依据 2 年结果对鉴定材料进行抗病性评价, 如果 2 年结果不一致, 取病情级别较高年份的鉴定结果作为评价被鉴定试材的抗性水平。

表 1 玉米种质资源抗穗腐病鉴定与评价标准

Table 1 Disease scores for phenotyping ear rot on maize plants

病情级别 Rating scale	病症描述 Description of disease symptom	抗性评价 Resistance evaluation
1	病症面积占果穗总面积 0~1%	高抗 HR
3	病症面积占果穗总面积 2%~10%	抗 R
5	病症面积占果穗总面积 11%~25%	中抗 MR
7	病症面积占果穗总面积 26%~50%	感 S
9	病症面积占果穗总面积 51%~100%	高感 HS

HR: Highly resistant, R: Resistant, MR: Moderately resistant, S: Susceptible, HS: Highly susceptible. The same as below

2 结果与分析

2.1 玉米种质资源抗病性鉴定结果

在人工接种条件下,分别鉴定了 177 份从国外

引进的玉米种质资源对玉米穗腐病原拟轮枝镰孢 (*F.verticillioides*) 和禾谷镰孢 (*F.graminearum*) 的抗性(表 2,表 3)。

表 2 玉米种质资源对拟轮枝镰孢和禾谷镰孢的抗性鉴定结果

Table 2 Disease scores of maize germplasm resources upon inoculations of *F.verticillioides* and *F.graminearum*

品种 Variety	来源 Origin	拟轮枝镰孢 <i>F.verticillioides</i>	禾谷镰孢 <i>F.graminearum</i>	品种 Variety	来源 Origin	拟轮枝镰孢 <i>F.verticillioides</i>	禾谷镰孢 <i>F.graminearum</i>	品种 Variety	来源 Origin	拟轮枝镰孢 <i>F.verticillioides</i>	禾谷镰孢 <i>F.graminearum</i>
F10	法国	5	5	B14HtN	美国	5	5	N28	美国	1	3
F320	法国	7	7	B37	美国	5	5	N159	美国	3	5
F325	法国	3	5	B37Ht1	美国	7	7	N160	美国	3	5
F326	法国	7	7	B37Ht2	美国	7	7	ND246	美国	5	5
F327	法国	5	7	B37Ht3	美国	5	7	Oh7	美国	9	9
F661WX	法国	7	7	B37HtN	美国	7	7	OH43	美国	5	5
F886	法国	5	5	B68	美国	3	5	OH43Ht1	美国	3	5
F1802	法国	5	5	B68Ht1	美国	5	5	OH43Ht2	美国	3	5
F1803	法国	7	7	B68Htn	美国	3	5	OH43Ht3	美国	3	5
N192	德国	3	5	B73	美国	5	5	OH43Ht1A	美国	5	5
N502	德国	3	3	B73Ht	美国	5	7	OH43Ht1B	美国	5	5
N507	德国	5	7	B73Ht1	美国	5	7	Pa91	美国	3	3
N510	德国	5	5	B76	美国	7	9	Pa91Ht1	美国	3	5
N538	德国	3	3	C103	美国	5	7	Pa91Ht2	美国	3	5
N540	德国	5	7	C103Ht1A	美国	5	7	Pa91Ht3	美国	5	7
N542	德国	5	5	CB59G	美国	7	7	PA405	美国	9	9
N543	德国	9	9	De811	美国	5	7	Pa8514	美国	5	5
N544	德国	5	7	De513	美国	7	7	Pa8528	美国	7	9
N545	德国	5	7	De514	美国	7	9	Pa8528-1	美国	9	9
CG23	加拿大	5	5	De815	美国	5	7	Pa8582	美国	9	9
CG27	加拿大	5	5	De833	美国	3	3	R151Ht1A	美国	7	9
CG40	加拿大	5	5	De836	美国	3	3	R30	美国	5	7
CG44	加拿大	5	5	FR18SEL	美国	9	9	R806	美国	5	9
CG55	加拿大	5	5	FR2128	美国	3	5	RB37Ht1A	美国	3	5
CG59	加拿大	5	7	FR303	美国	5	5	RC103Ht1	美国	3	5
CG65	加拿大	5	7	FR4B	美国	5	5	RN6Ht1B	美国	5	7
CG68	加拿大	7	7	FR4C	美国	3	5	RP8Ht1B	美国	7	9
CG106	加拿大	5	5	FR33	美国	5	5	RW182DHt1A	美国	7	9
CG108	加拿大	3	3	FR36	美国	5	7	RW182DHt1B	美国	5	7
CG108-1	加拿大	5	5	FR37	美国	5	7	RW182DHt1	美国	5	7
TD282	罗马尼亚	5	5	FR1064	美国	7	9	RW22RHt1A	美国	7	9
TD392	罗马尼亚	7	7	FR1064S	美国	9	9	RW22RHt1B	美国	7	9
TE317	罗马尼亚	7	7	H100	美国	3	5	RW64AHt1A	美国	7	9
TE322	罗马尼亚	7	9	H103	美国	5	7	RW64AHt1B	美国	7	7
TE323	罗马尼亚	3	5	H110	美国	5	5	S25	美国	7	7
TE330	罗马尼亚	5	5	H111	美国	5	7	SD203	美国	3	3
TE335	罗马尼亚	7	9	H95	美国	3	5	SD211	美国	7	7
TE347	罗马尼亚	3	5	H95rhmrhm	美国	3	5	T162	美国	3	3
TE348	罗马尼亚	7	7	K1888	美国	5	5	Tx403	美国	3	5
TE351	罗马尼亚	1	3	L30	美国	5	7	TR110	美国	7	9
TE354	罗马尼亚	7	7	LH119	美国	5	7	TR227	美国	5	5
Ay308	美国	5	5	LB31	美国	3	5	Va26	美国	5	7
Ay309	美国	5	7	LB31-1	美国	3	5	Va26 Ht	美国	5	7
Ay499	美国	7	7	M14Ht1B	美国	5	5	Va26Ht1	美国	3	5
Ay560	美国	9	9	MBS847	美国	7	9	Va26Ht2	美国	7	9
Ay562	美国	7	7	McNair11	美国	3	3	Va26Ht3	美国	5	7
A654	美国	5	5	Mo17	美国	7	7	VA15	美国	3	5
A661	美国	7	5	Mo17-1	美国	5	5	VA26	美国	5	9
A664	美国	7	7	Mo17Ht1	美国	5	7	VA35	美国	5	5
A665	美国	7	7	Mo17Wt1	美国	7	7	WF9	美国	3	5
A679	美国	5	7	Mo17wt2	美国	5	7	W64A	美国	7	9
A682	美国	5	5	Mo17wt3	美国	9	9	W1024GR	美国	9	9
A619	美国	5	7	MP17*B73	美国	7	9	W1025GR	美国	9	9
A619Ht2	美国	9	9	MP305	美国	7	7	W1026GR	美国	7	7
A632	美国	7	7	MS71	美国	7	9	W1028GR	美国	9	9
A632Ht1	美国	7	7	NC250	美国	3	3	NET163	荷兰	5	5
A634Ht1	美国	5	7	NC234	美国	5	5	NET164	荷兰	7	9
A635Ht1	美国	7	7	NC264	美国	5	7	NET165	荷兰	3	5
B14AHt1A	美国	9	9	NC283	美国	5	7	NET167	荷兰	3	5
齐 319	中国	3	5	黄早四	中国	7	7	鲁原 92	中国	9	9

表 3 玉米种质资源抗两种镰孢菌数量及分布比例

Table 3 The number and percentage of germplasm accessions with different disease scores against *F.verticillioides* and *F.graminearum*

病情级别 Rating scale	抗性等级 Resistance	抗拟轮枝镰孢 Resistance to <i>F.verticillioides</i>		抗禾谷镰孢 Resistance to <i>F.graminearum</i>	
		种质资源数量 Number of germplasm	占总数比例 (%) Percentage of total	种质资源数量 Number of germplasm	占总数比例 (%) Percentage of total
		1	高抗 HR	2	1.13
3	抗 R	38	21.47	12	6.78
5	中抗 MR	75	42.37	66	37.29
7	感 S	48	27.12	64	36.16
9	高感 HS	14	7.91	35	19.77

在 177 份外引玉米种质资源中, 鉴定出对拟轮枝镰孢表现 1 级、高抗 (HR) 的有 2 份, 分别为来自罗马尼亚的 TE351 和来自美国的 N28, 占外引资源总数的 1.13%; 3 级、抗病 (R) 的有 38 份, 占总数的 21.47%; 5 级、中抗 (MR) 的有 75 份, 占总数的 42.37%; 7 级、感病 (S) 的有 48 份, 占总数的 27.12%; 9 级、高感 (HS) 的有 14 份, 占总数的 7.91%。在外引玉米种质资源中, 鉴定出对禾谷镰孢表现 3 级、抗病 (R) 的有 12 份, 占外引资源总数的 6.78%; 5 级、中抗 (MR) 的有 66 份, 占总数的 37.29%; 7 级、感病 (S) 的有 64 份, 占总数的 36.16%; 9 级、高感 (HS) 的有 35 份, 占总数的 19.77%; 但未发现对禾谷镰孢表现高抗的材料。对照材料表现出其相应的抗性级别, 抗病的自交系齐 319 对拟轮枝镰孢表现抗病, 对禾谷镰孢表现中抗, 感病的黄早四对两种镰孢菌仍表现感病, 高感自交系鲁原 92 对两种镰孢菌仍表现高度感病, 证明本研究鉴定结果准确。

2.2 玉米种质资源对两种镰孢菌抗性的数量及分布比例

玉米种质资源对拟轮枝镰孢和禾谷镰孢的抗性反应结果如表 3 所示。供试玉米种质资源中, 对两种镰孢菌的抗感数量和比例均呈现正态分布趋势,

高抗和高感资源少, 而中抗资源居多, 抗病和感病次之。玉米种质资源对两种镰孢菌抗性上存在明显差异, 来自罗马尼亚的 TE351 和来自美国的 N28 对拟轮枝镰孢高度抗病, 但未发现对禾谷镰孢表现高抗的资源。对拟轮枝镰孢表现抗病 (R) 的资源 38 份, 而对禾谷镰孢表现抗病 (R) 的只有 12 份; 对拟轮枝镰孢表现中等抗病 (MR) 的资源 75 份, 而对禾谷镰孢表现中抗 (MR) 的有 66 份; 在鉴定的资源中, 对禾谷镰孢表现抗性的种质数量明显少于对拟轮枝镰孢抗性所对应级别的数量。由此可见, 禾谷镰孢对寄主的致病力似乎强于拟轮枝镰孢, 其原因有待于进一步研究。

2.3 兼抗两种穗腐病原镰孢菌的种质资源

由表 4 可见, 从 177 份玉米种质资源中, 鉴定出兼抗两种穗腐病原镰孢菌玉米种质资源 12 份, 分别为来自德国的 N502 和 N538, 加拿大的 CG108, 罗马尼亚的 TE351, 美国的 De833、De836、McNair11、NC250、N28、Pa91、SD203 和 T162。其中, 来自罗马尼亚的 TE351 和美国的 N28 等两份材料对拟轮枝镰孢表现高抗, 而对禾谷镰孢表现抗性。这些珍贵的抗性材料, 既丰富了中国玉米抗病基因资源, 也为选育抗病品种提供抗源。

表 4 兼抗拟轮枝镰孢和禾谷镰孢的玉米种质资源

Table 4 The maize germplasm accession with resistance to both *F.verticillioides* and *F.graminearum*

品种 Variety	拟轮枝镰孢 <i>F.verticillioides</i>	禾谷镰孢 <i>F.graminearum</i>	品种 Variety	拟轮枝镰孢 <i>F.verticillioides</i>	禾谷镰孢 <i>F.graminearum</i>	品种 Variety	拟轮枝镰孢 <i>F.verticillioides</i>	禾谷镰孢 <i>F.graminearum</i>
N502	3	3	De833	3	3	N28	1	3
N538	3	3	De836	3	3	Pa91	3	3
CG108	3	3	McNair11	3	3	SD203	3	3
TE351	1	3	NC250	3	3	T162	3	3

3 讨论

玉米穗腐病是我国玉米生产上重要的病害, 种

植抗病品种是防治玉米穗腐病最有效措施。诸多学者在玉米抗穗腐病鉴定方面做了大量工作, 但多集中于对单一病菌种类进行抗病鉴定, 而对两种或两

种以上穗腐病原菌同步进行抗病资源筛选研究报道甚少。本研究在人工接种条件下,对 177 份从国外引进的玉米种质资源抗玉米穗腐病原菌拟轮枝镰孢和禾谷镰孢特性分别进行了鉴定和评价。结果表明,在 177 份玉米种质资源中,来自罗马尼亚的 TE351 和来自美国的 N282 两份种质资源对拟轮枝镰孢表现高度抗病(HR),占总数的 1.13%;有 38 份种质资源表现抗病(R),占总数的 21.47%;有 75 份种质资源表现中等抗病(MR),占总数的 42.37%;表现感病(S)的种质资源有 48 份,占总数的 27.12%;高度感病(HS)种质资源有 14 份,占总数的 7.91%。在 177 份玉米种质资源中,对禾谷镰孢表现抗病(R)种质资源有 12 份,占总数的 6.78%;中等抗病(MR)种质资源有 66 份,占总数的 37.29%;表现感病(S)种质资源有 64 份,占总数的 36.16%;表现高度感病(HS)的种质资源有 35 份,占总数的 19.77%。但未发现对禾谷镰孢表现高抗的材料。在供鉴定的资源中,鉴定出抗两种穗腐病原菌的玉米种质资源 12 份。研究发现,玉米种质资源对拟轮枝镰孢和禾谷镰孢的抗感数量存在明显差别,抗禾谷镰孢的资源数量明显少于抗拟轮枝镰孢的数量,禾谷镰孢对寄主的致病力似乎强于拟轮枝镰孢菌,其原因有待于进一步研究。

玉米对穗腐病的抗性机制较为复杂,许多研究认为有生化抗性和物理抗性两种类型^[17-19],生化抗性机制主要通过基因调控的代谢途径主动抵御穗腐病菌在寄主体内扩展的反应,在寄主抗性中起到重要作用^[17]。在本研究中鉴定出 TE351 和 N28 等 2 份材料既对拟轮枝镰孢表现高抗,也对禾谷镰孢表现抗性,可能与这些材料具有生化抗性有关。物理抗性是指由于植株果穗形态、苞叶松紧度、花丝开放程度、籽粒硬度、果皮和糊粉层厚度等性状不利于病菌侵入寄主体内,从而表现出抗病作用。本研究中鉴定出一批抗穗腐病原菌的种质资源,其抗性机制除与生化抗性有关外,还可能与玉米籽粒硬度、果皮和糊粉层厚度等物理抗性有关,但仍有待于进一步研究证实。

有关玉米抗穗腐病鉴定接种方法有诸多研究报道^[20-23],采用花丝喷菌接种和果穗注射接种法均可筛选出抗病资源,但就不同学者应用同一方法接种对某些资源的抗病性鉴定结果不尽一致^[20],其原因可能与不同人员操作方法有关,如采用果穗注射法,注射器的压力与接种量大小关系密切,接种量不同

直接影响果穗的发病程度。本研究采用双牙签接种,牙签体积一致、负载接种物的量基本相同,接种深浅易于掌控,有利于提高鉴定结果准确性。此外,本研究将接种物培养、接种时间、带菌牙签尖插入果穗部位和角度进行较为详尽的规定,使之玉米抗穗腐病鉴定技术更规范化、更实用。

玉米穗腐病是多种病原菌复合侵染的病害,病原菌来源广泛,感染果穗的途径较多,化学药剂防治效率低且难以实行,还能造成农药污染,为害人畜健康。应用抗病品种是控制玉米穗腐病发生及危害的最有效途径,鉴定筛选抗病资源是成功选育抗病品种的关键性基础工作。本研究在人工接种条件下,测定了 177 份从国外引进的玉米种质资源对玉米穗腐病原拟轮枝镰孢和禾谷镰孢的抗性,明确了一批国外资源对两种镰孢菌的抗感差异,筛选出单抗和兼抗两种镰孢菌的多抗性资源,既丰富了我国玉米抗穗腐病资源,也为玉米抗穗腐病育种和病害防控深入研究提供试材和技术支撑。

参考文献

- [1] WHO global strategy for food safety: safer food for better health. Food safety programme-2002, World Health Organization. Http: www.who.int/fsf.
- [2] 金红宇,王莹,孙磊,马双成. 中药中外源性有害残留物监控的现状与建议. 中国药事, 2009, 23(7): 639-642
Jin H Y, Wang Y, Sun L, Ma S C. Current situation and suggestions on control of extrinsic harmful residues in Chinese medicinal materials. Chinese Pharmaceutical Affairs, 2009, 23(7): 639-642
- [3] Turner N W, Bramhmbhatt H, Szabo-Vezse M, Poma A, Coker R, Piletsky S A. Analytical methods for determination of mycotoxins: An update (2009-2014). Analytical Chimica Acta, 2015, 901(2): 12-33
- [4] 黄晓静,王少敏,毛丹,苗水,季申. 镰刀菌属真菌毒素的毒性研究进展. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(8): 3117-3128
Huang X J, Wang S M, Mao D, Miao S, Ji S. Research progress on toxicity of *Fusarium* mycotoxins. Journal of Food Safety and Quality, 2017, 8(8): 3117-3128
- [5] Attwater W A, Busch L V. Role of the sap beetle *Glischrochilus quadrisignatus* in the epidemiology of gibberella corn ear rot. Canadian Journal of Plant Pathology, 1983, 5(3): 158-163
- [6] Sutton J C, Baliko W, Liu H J. Fungal colonization and zearalenone accumulation in maize ears injured by birds. Canadian Journal of Plant Science, 1980, 60: 453-461
- [7] Hesselstine C W, Bothast R J. Mold development in ears of corn from tasseling to harvest. Mycologia, 1977, 69(2): 328-340
- [8] Sutton J C. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. Canadian Journal of Plant Pathology, 1982, 4(2): 195-209
- [9] Munkvold G P, Carlton W M. Influence of inoculation method on systemic *Fusarium moniliforme* infection of maize plants grown from infected seeds. Plant Disease, 1997, 81(2): 211-

- 216
- [10] Fandohan P, Hell K, Marasas W F O, Wingfield M J. Infection of maize by *Fusarium* species and contamination with fumonisin in Africa. *African Journal of Biotechnology*, 2003, 12(2): 570-579
- [11] Eller M S, Holland J B, Payne G. Breeding for improved resistance to fumonidin contamination in maize. *Toxin Reviews*, 2008, 27(3-4): 371-389
- [12] Maschietto V, Colombi C, Pirona R, Pea G, Strozzi F, Marocco A, Rossinai L, Lanubile A. QTL mapping and candidate genes for resistance to *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination in maize. *BMC Plant Biology*, 2017, 17: 20
- [13] 曲晓丽, 徐秀德, 董怀玉, 王丽娟, 姜钰, 宋艳春, 盖淑军. 玉米子粒携带真菌种群多样性分析. *玉米科学*, 2009, 17(6): 115-117
Qu X L, Xu X D, Dong H Y, Wang L J, Jiang Y, Song Y C, Gai S J. Analysis of fungi species diversity on maize kernels. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(6): 115-117
- [14] 秦子惠, 任旭, 江凯, 武小菲, 杨知还, 王晓鸣. 我国玉米穗腐病致病镰孢种群及禾谷镰孢复合种的鉴定. *植物保护学报*, 2014, 41(5): 589-596
Qin Z H, Ren X, Jiang K, Wu X F, Yang Z H, Wang X M. Identification of *Fusarium* species and *F. graminearum* species complex causing maize ear rot in China. *Acta Phytologica Sinica*, 2014, 41(5): 589-596
- [15] 段灿星, 朱振东, 武小菲, 杨知还, 王晓鸣. 玉米种质资源对六种重要病虫害的抗性鉴定与评价. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(2): 169-174
Duan C X, Zhu Z D, Wu X F, Yang Z H, Wang X M. Screening and evaluation of maize germplasm for resistance to five diseases and Asian corn borer. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(2): 169-174
- [16] 邹成佳, 崔丽娜, 章振羽, 张小飞, 李荣进, 陈耕, 李晓. 玉米自交系对轮枝镰孢菌穗腐病的抗性评价. *西南农业学报*, 2017, 30(6): 1346-1349
Zou C J, Cui L N, Zhang Z Y, Zhang X F, Li R J, Chen G, Li X. Evaluation of maize inbred lines for resistance to *Fusarium verticillioides* ear rot. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(6): 1346-1349
- [17] Lanubile A, Maschietto V, Borrelli V M, Stagnati L, Logrieco A F, Marocco A. Molecular basis of resistance to *Fusarium* ear rot in maize. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1774
- [18] Scott G E, King S B. Site of action of factors for resistance to *Fusarium moniliforme* in maize. *Plant Disease*, 1984, 68(9): 804-806
- [19] Hoenish R W, Davis R M. Relationship between kernel pericarp thickness and susceptibility to fusarium ear rot in field corn. *Plant Disease*, 1994, 78(5): 517
- [20] 郭成, 郭满库, 魏宏玉, 郭建国. 玉米种质资源抗穗腐病鉴定. *江西农业学报*, 2015, 27(1): 50-52
Guo C, Guo M K, Wei H Y, Guo J G. Identification of resistance of maize germplasm resources to ear rot. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2015, 27(1): 50-52
- [21] 马秉元, 龙书生, 李亚玲, 李多川. 玉米穗粒腐病的病原菌鉴定及致病性测试. *植物保护学报*, 1998, 25(4): 300-304
Ma B Y, Long S S, Li Y L, Li D C. Identification and pathogenicity of the pathogens of corn ear of kernel rot. *Journal of Plant Protection*, 1998, 25(4): 300-304
- [22] Schaafsma A W, Miller J D, Savard M E, Ewing R J. Ear rot development and mycotoxin production in corn in relation to inoculation method, corn hybrid, and species of *Fusarium*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 1993, 15(3): 185-192
- [23] 王丽娟, 徐秀德, 刘志恒, 董怀玉, 姜钰, 张明会. 玉米抗镰孢菌穗腐病接种方法及抗病资源筛选研究. *植物遗传资源学报*, 2007, 8(2): 145-148
Wang L J, Xu X D, Liu Z H, Dong H Y, Jiang Y, Zhang M H. Inoculation technique and screening maize germplasm resistance to *Fusarium* ear rot. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2007, 8(2): 145-148