

玉米镰孢穗腐病菌接种方法的研究

张 叶^{1,2}, 邢跃先³, 王梓钰¹, 闻 竞¹, 郝东云¹, 李世界¹, 张 艳^{1*}

(1. 吉林省农业科学院农业生物技术研究所, 长春 130033; 2. 东北师范大学生命科学学院, 长春 130024; 3. 吉林省农业科学院玉米研究所, 吉林 公主岭 136100)

摘 要: 为了给玉米穗腐病的田间大规模抗性鉴定提供简便、易行、准确的人工接种方法, 本研究采用不同的方法分别人工接种拟轮枝镰孢菌和禾谷镰孢菌, 对不同接种方法的致病效果进行比较研究。结果表明, 在分别人工接种拟轮枝镰孢菌和禾谷镰孢菌后, 采用玉米孢子液和绿豆孢子液接种玉米的接菌方法, 穗腐病发病效果优于其他接菌方法(单牙签、双牙签、带菌玉米粒和伤口-带菌玉米粒)的发病效果。另外, 该次鉴定的10份供试玉米自交系中, 承351、丹598和吉V203同时对拟轮枝镰孢菌和禾谷镰孢菌引起的玉米穗腐病表现为抗病, 而PHTD5、吉V023和KX对两种病原菌引起的玉米穗腐病表现为感病。以期为玉米穗腐病抗性鉴定工作和抗性遗传改良提供一定的参考依据。

关键词: 玉米; 穗腐病; 病原菌; 接种方法

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)03-0064-06

Study on Inoculation Methods of Ear Rot Caused by *Fusarium Verticilloides* and *Fusarium Graminearum* in Maize

ZHANG Ye^{1,2}, XING Yuexian³, WANG Ziyu¹, WEN Jing¹, HAO Dongyun¹, LI Shijie¹, ZHANG Yan^{1*}

(1. Agro-Biotechnology Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. School of Life Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024; 3. Maize Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100, China)

Abstract: In order to provide a simple, feasible and accurate artificial inoculation method for large-scale resistance identification of corn ear rot in the field, different methods were used to artificially inoculate *Fusarium verticilloide* and *Fusarium graminearum* respectively and the pathogenic effects of different inoculation methods were compared. The results showed that after inoculating *Fusarium verticilloide* and *Fusarium graminearum*, the inoculation effect of corn spore solution and mung bean spore solution were better than that of other inoculation methods. In addition, among the 10 tested maize inbred lines, Cheng351, Dan598 and JiV203 showed resistance to the ear rot caused by *Fusarium verticilloide* and *Fusarium graminearum*, while PHTD5, JiV023 and KX showed susceptibility to the two pathogens. This study aims to provide a reference for the identification of ear rot resistance and the genetic improvement of resistance.

Key words: Maize; Ear rot; Pathogen; Inoculation methods

玉米是我国重要的粮食作物, 而玉米病害一直是影响玉米产量提高和品质改善的限制因素。玉米穗腐病(ear rot), 是世界玉米产区普遍发生

的一类真菌性病害^[1-5], 且呈现日趋严重的趋势。我国一般年份玉米穗腐病的发病率为10%~20%, 严重年份可达30%~40%, 感病品种的发病率高达50%左右^[6-8]。玉米穗腐病不仅能引起果穗腐烂而导致直接减产, 而且有些病原菌还能产生大量的有害毒素, 严重威胁人类和动物的健康和生命安全^[9-10]。玉米穗腐病在玉米生长后期及收获后储藏期均有发生, 发病部位包括籽粒、苞叶和穗轴等。病原菌主要通过籽粒的伤口进行侵染, 有些病原菌还可以通过疏导组织由根或茎传到穗轴^[11]。鉴于玉米在全世界广为种植, 在不同

收稿日期: 2019-01-03

基金项目: 吉林省科技发展计划优秀青年人才基金项目(20170520073JH); 吉林省农业科学院创新工程博士后基金项目(c6215000204、c7208000104)

作者简介: 张 叶(1991-), 女, 在读硕士, 研究方向为作物分子育种。

通讯作者: 张 艳, 女, 博士, 副研究员, E-mail: zhangyan4023@163.com

的国家和地区引发穗腐病的致病菌有所不同^[12-14],在我国引起玉米穗腐病的主要致病菌为拟轮枝镰孢菌(*Fusarium verticillioides*)和禾谷镰孢菌(*Fusarium graminearum*)^[10,15-16]。玉米穗腐病的病原菌主要在发病的种子和病残体上越冬,成为下一季的初始侵染源^[17]。病菌孢子借助风雨传播,主要从玉米的伤口和花丝侵入,通过气流和雨水进一步传播和扩散。玉米穗粒腐病通常发生在生长后期,从吐丝到收获的过程中均有可能发病,但是发病的盛期为吐丝到吐丝后的3周内^[18]。

在生产中,由于穗腐病发生在玉米生长中后期,田间防治的难度较大,通常难以针对穗腐病进行专门防治。穗腐病的致病菌类型比较复杂,侵染途径多样,病害发生受到气候影响,这些因素导致喷施药剂难以达到理想的防治效果^[19-20]。因此,筛选抗病自交系、选育抗病品种是控制和预防玉米穗腐病的最根本和最有效的措施。在筛选抗病品种过程中,玉米种质资源和品种的抗病性鉴定与筛选工作必不可少,进行抗性鉴定的首要问题是寻找快速、准确、简便的病原菌接种方法。本研究针对我国玉米穗腐病两种主要致病菌,通过比较抗性鉴定中不同接种方法的致病效果,以期为玉米穗腐病抗性大规模鉴定筛选出稳定、简便、易行、准确的田间人工接种方法。

1 材料与方 法

1.1 待鉴定玉米

供试玉米自交系 10 份,分别为吉 K298、DG186-1、DMYF2-186、承 351、丹 598、吉 V203、掖 81162、吉 V023、KX 和 PHTD5。每份自交系种植 22 行,行长 5 m,行距 60 cm,株距 25 cm,每行接种 21 株。每种接种方法接种 2 行,田间试验于吉林省农业科学院公主岭基地进行。

1.2 供试培养基

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)制法:将马铃薯去皮、洗净、称取 200 g,切成小块,加入 1 000 mL 蒸馏水,煮沸 20 min,用纱布过滤,去除残渣,将滤液定容至 1 000 mL,再加入 20 g 葡萄糖和 15 g 琼脂粉,溶化后分装,121 °C 高压蒸汽灭菌 20 min。另外,用少量乙醇溶解 0.1 g 氯霉素,加入 1 000 mL 培养基中^[1-2]。

绿豆煎汁液体培养基制法:称取 40 g 饱满的绿豆,加入 1 000 mL 蒸馏水,煮沸 30 min,用纱布过滤,去除残渣,加入蔗糖 20 g,磷酸二氢钾 1 g。

玉米籽粒培养基:取适量健康饱满的玉米籽

粒在开水中煮 30 min,冷却后装入锥形瓶中,每瓶装 1/3 ~ 1/2 瓶,121 °C 高压蒸汽灭菌 30 min,冷却后放入 4 °C 冰箱待用。

1.3 病原菌的培养和接种方法

1.3.1 注射接种法

(1)病原菌的培养

拟轮枝镰孢菌:向高压蒸汽灭菌后的 PDA 培养基中加入氯霉素,使其终浓度达到 0.1 g/L。将菌块接种到培养基平板上,在暗培养箱中 28 °C 培养大约一周,待菌丝长满平板,4 °C 保存待用。

禾谷镰孢菌:向高压蒸汽灭菌后的 PDA 培养基中加入氯霉素,使其终浓度达到 0.1 g/L。将菌块接种到培养基平板上,在暗培养箱中 25 °C 培养大约一周,待菌丝长满平板,4 °C 保存待用。

(2)接种液的制备

方法一:在接种前 10 ~ 15 d 取适量健康饱满的玉米籽粒在开水中煮 30 min,装入锥形瓶,每瓶装 1/3 ~ 1/2 瓶,121 °C 高压灭菌 30 min。在超净工作台中将平板培养基上长好的菌种接种到锥形瓶内,封好瓶口,室温培养 15 d。在接种前 1 d,用无菌蒸馏水将锥形瓶内培养好的病原菌洗脱下来,配制成浓度为 5×10^6 个/mL 孢子悬浮液。在孢子悬浮液中加入表面活性剂吐温-80,吐温-80 在孢子悬浮液中浓度为 2 μ l/mL,混匀。

方法二:在灭菌的超净工作台上打开培养好的病原菌固体培养基,用灼烧灭菌的小刀将固体培养基划成边长为 1 cm 左右的小立方块,将菌块接种到 5% 绿豆煎汁液体培养基中(500 mL 绿豆煎汁液体培养基中接种平板 1/2 体积的含菌固体培养基),适宜温度(拟轮枝镰孢菌 28 °C,禾谷镰孢菌 25 °C)150 r/min 震荡培养 2 d,过滤菌丝,收集孢子置于 4 °C 冰箱保存备用。在接种前一天,用无菌蒸馏水配制成浓度为 5×10^6 个/mL 的孢子悬浮液。在孢子悬浮液中加入表面活性剂吐温-80,吐温-80 在孢子悬浮液中浓度为 2 μ l/mL,混匀。

(3)人工接种

接种时间:玉米吐丝后 15 d 接种。

拟轮枝镰孢菌:用注射器将制备的孢子悬浮液注射到玉米雌穗的中部,深以不损伤果穗为宜。每果穗注射接菌量为 2 mL,接菌后用手指轻捏伤口处,防止菌液外流。

禾谷镰孢菌:用注射器将制备的孢子悬浮液注入玉米苞叶内的花丝丛中,深以不损伤果穗为宜。每果穗注射接菌量为 2 mL,接菌后用手指轻捏花丝丛,使菌液均匀粘着于花丝上。

空白对照组:将2 mL的无菌水注射到玉米雌穗的中部和玉米苞叶内的花丝丛中。

1.3.2 牙签接种法

(1)病原菌的培养

拟轮枝镰孢菌:向高压蒸汽灭菌后的PDA培养基中加入氯霉素,使其终浓度达到0.1 g/L。将菌块接种到培养基平板上,在暗培养箱中28℃培养大约一周,待菌丝长满平板,4℃保存待用。

禾谷镰孢菌:方法同拟轮枝镰孢菌,暗培养箱温度为25℃。

(2)带菌牙签的制备

选用软木质牙签,水煮2~3次,每次煮1 h,煮后用清水冲洗2~3次,晾干后将牙签尖部向下装入培养瓶中,倒入PDA培养基,使牙签露出约2/3长,用含有封口膜的瓶盖封口,高压灭菌30 min,晾凉后供接种用。将扩繁的病原菌接入灭菌的培养瓶培养基中,25℃下黑暗恒温培养,使病原菌从培养基向牙签上蔓延生长,经4周左右,当露出培养基的牙签被病原菌覆盖至尖部后,即可用于田间玉米接种。

(3)人工接种

方法一:单牙签接种法。

拟轮枝镰孢菌:接种于玉米果穗吐丝后1周,花丝已完全萎蔫为接种适期。选择适宜接种果穗,将带菌牙签插入果穗中,深度达果穗籽粒与穗轴之间,以不穿入穗轴为宜,每孔接牙签1根。

禾谷镰孢菌:方法同拟轮枝镰孢菌,深度达玉米果穗顶端的玉米籽粒处。

方法二:双牙签接种法。

拟轮枝镰孢菌:接种于玉米果穗吐丝后1周,花丝已完全萎蔫为接种适期。选择适宜接种果穗,为防止用牙签插入时附着在牙签上的病原菌脱落,先在果穗中部用大号注射针头穿洞,深度达果穗籽粒与穗轴之间,以不穿入穗轴为宜,再将带菌牙签插入果穗接孔中,每孔接牙签2根。

禾谷镰孢菌:接种于玉米果穗吐丝后1周,花丝已完全萎蔫为接种适期。选择适宜接种果穗,为防止直接用牙签插入时附着在牙签上的病原菌脱落,先在果穗顶部用大号注射针头穿洞,深度达果穗顶端籽粒处,以不穿入穗轴为宜,然后将带菌牙签插入果穗接孔中,每孔接牙签2根。

1.3.3 颗粒接种法

(1)病原菌的培养

拟轮枝镰孢菌:向高压蒸汽灭菌后的PDA培养基中加入氯霉素,使其终浓度达到0.1 g/L。将

菌块接种到培养基平板上,在暗培养箱中28℃培养大约一周,待菌丝长满平板,4℃保存待用。

禾谷镰孢菌:向高压蒸汽灭菌后的PDA培养基中加入氯霉素,使其终浓度达到0.1 g/L。将菌块接种到培养基平板上,在暗培养箱中25℃培养大约一周,待菌丝长满平板,4℃保存待用。

(2)带菌玉米粒的制备

接种前10~15 d,在超净工作台中将平板培养基上长好的菌种接种到玉米籽粒培养基中,封好瓶口,室温培养10 d。

(3)人工接种

方法一:直接接种。

拟轮枝镰孢菌:先在待接种玉米的中部将其苞叶剥开,然后将带菌的玉米籽粒直接接种到已剥开的玉米果穗中部的苞叶下。

禾谷镰孢菌:方法同拟轮枝镰孢菌,接种位置是果穗顶部的苞叶下。

方法二:先制造伤口再接种。

拟轮枝镰孢菌:先在待接种玉米的中部将其苞叶剥开,并用大号注射针头给露于外面的玉米籽粒制造伤口,然后将带菌的玉米籽粒直接接种到已剥开的玉米果穗中部的苞叶下。

禾谷镰孢菌:方法同拟轮枝镰孢菌,接种位置是果穗顶部的苞叶下。

1.4 性状调查方案

在玉米成熟期进行田间发病调查。将各接种处理的玉米果穗剥去苞叶,逐个调查记载果穗发病情况,计算平均发病级别。性状调查采用病情评级标准(《玉米抗病虫性鉴定技术规范 NY/T 1248.8-2016》)。

2 结果与分析

2.1 病原菌的初培养

从图1可以看出,拟轮枝镰孢菌和禾谷镰孢菌在培养基平板上生长状况良好,第3天再观察发现菌丝的扩散面积就超过平板的1/2,第7天菌丝已布满整个平板。病原菌在培养的过程中有色素的分泌,拟轮枝镰孢菌分泌紫黑色色素,禾谷镰孢菌分泌红色色素。

2.2 拟轮枝镰孢菌的人工接种结果分析

玉米吐丝10 d后用6种方法(玉米孢子液、绿豆孢子液、单牙签、双牙签、带菌玉米粒、伤口-带菌玉米粒)在玉米果穗中部进行拟轮枝镰孢菌的人工接种,在玉米成熟期(9月25日调查)进行玉米穗腐病发病情况的田间调查。10个玉米自交

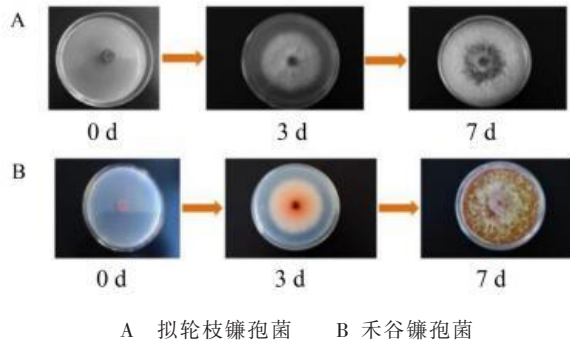


图1 病原菌的初培养

系采用6种不同的方法人工接种拟轮枝镰孢菌后均有不同程度的穗腐病发病表现,发病症状为玉

米果穗包裹有白色菌丝和分泌物。

分别对每个玉米自交系在不同方法下的拟轮枝镰孢菌的穗腐病抗性进行单株调查(共42株),然后取平均值作为平均病情级。结果见表1。

与注射无菌水的空白对照相比,在人工接种拟轮枝镰孢菌后,采用绿豆孢子液接菌的玉米穗腐病发病效果最好,玉米孢子液接菌的发病效果次之,采用单牙签、双牙签、带菌玉米粒和伤口-带菌玉米粒的方法接菌的发病效果相当(表1、图2)。田间试验结果显示,注射无菌水的空白对照组内,各玉米自交系对拟轮枝镰孢菌的抗性结果和自交系本身的抗感性一致,无菌水不会引起各

表1 不同方法接种拟轮枝镰孢菌的抗性鉴定结果

玉米自交系	不同接种方法的平均病情评级数						
	无菌水	玉米孢子液	绿豆孢子液	单牙签	双牙签	带菌玉米粒	伤口-带菌玉米粒
吉 K298	0	3.00	5.15	3.40	3.54	2.08	3.25
DG186-1	0	4.20	4.87	4.37	1.47	3.00	3.31
DMYF2-186	0	3.92	4.86	3.95	3.38	2.36	2.00
承 351	0	1.15	1.10	1.00	1.10	1.13	1.00
丹 598	0	1.00	3.24	1.67	1.62	2.64	3.95
吉 V203	0	1.28	1.90	1.69	1.53	1.28	1.33
掖 81162	1.32	3.96	5.40	1.00	1.27	2.27	1.86
吉 V023	3.05	8.16	8.61	5.17	4.67	6.48	7.24
KX	5.52	6.55	4.25	3.31	4.71	4.60	6.33
PHTD5	5.02	5.15	6.79	6.76	8.16	7.31	6.64

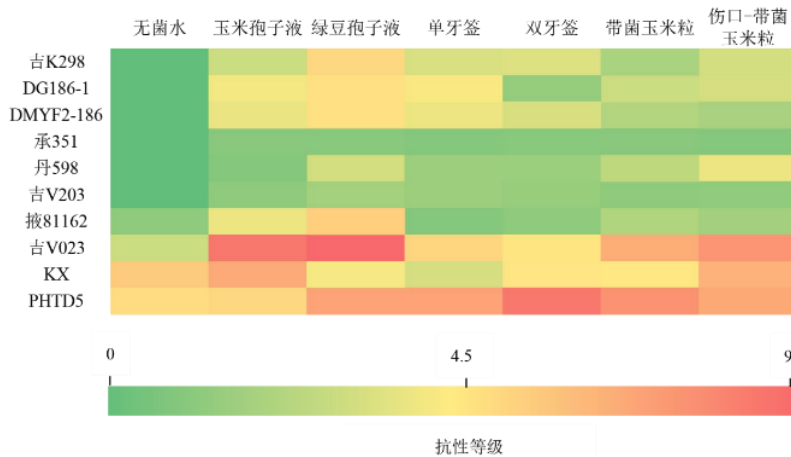


图2 不同方法接种拟轮枝镰孢菌的抗性评价热图

自交系抗感差异的变化,因此实验组内各接种方法的水含量的差异对实验结果造成的误差在允许的范围之内。所以,对于拟轮枝镰孢菌引起的玉米穗腐病的抗性鉴定,可优先采用绿豆孢子液接菌的方法。另外,该次鉴定结果表明,10份供试玉米自交系中,承351、吉V203和丹598对拟轮枝镰孢菌引起的玉米穗腐病有较好的抗性,而

PHTD5、吉V023和KX对拟轮枝镰孢菌引起的玉米穗腐病的抗性较差。该结果可为拟轮枝镰孢菌引起的玉米穗腐病的抗性遗传改良和功能位点的挖掘提供一定的参考依据。

2.3 禾谷镰孢菌的人工接种结果分析

玉米吐丝10d后用5种方法(玉米孢子液、绿豆孢子液、单牙签、双牙签、带菌玉米粒)在玉米

果穗顶端花丝通道部位进行禾谷镰孢菌的人工接种,在玉米成熟期(约10月上旬)进行玉米穗腐病发病情况的田间调查。10个玉米自交系采用5种不同的方法人工接种禾谷镰孢菌后均有不同程度的穗腐病发病表现,发病症状为玉米果穗包裹有粉色至红色的菌丝和分泌物。

分别对每个玉米自交系在不同方法下的禾谷

镰孢菌的穗腐病抗性进行单株调查(共42株),然后取平均值作为平均病情级。结果见表2。

与注射无菌水的空白对照实验结果相比,在人工接种禾谷镰孢菌后,采用玉米孢子液接菌的玉米穗腐病发病效果最好,绿豆孢子液接菌的发病效果次之,采用单牙签、双牙签和带菌玉米粒的方法接菌的发病效果相当(表2、图3)。田间试

表2 不同方法接种禾谷镰孢菌的抗性鉴定结果

玉米自交系	不同接种方法的平均病情评级数					
	无菌水	玉米孢子液	绿豆孢子液	单牙签	双牙签	带菌玉米粒
吉 K298	0	4.29	3.88	1.55	1.77	1.00
DG186-1	0	2.37	2.24	1.17	1.40	2.18
DMYF2-186	0	3.71	2.89	2.00	2.26	1.86
承 351	0	1.00	1.00	1.27	1.00	1.00
丹 598	0	1.08	1.40	1.13	1.30	1.00
吉 V203	0	1.77	1.36	1.13	1.55	1.18
掖 81162	1.03	2.91	2.20	1.08	1.20	1.08
吉 V023	3.28	6.75	8.29	3.82	3.00	3.29
KX	5.61	6.33	5.89	4.33	3.00	2.20
PHTD5	5.33	8.70	8.27	6.25	7.33	8.65

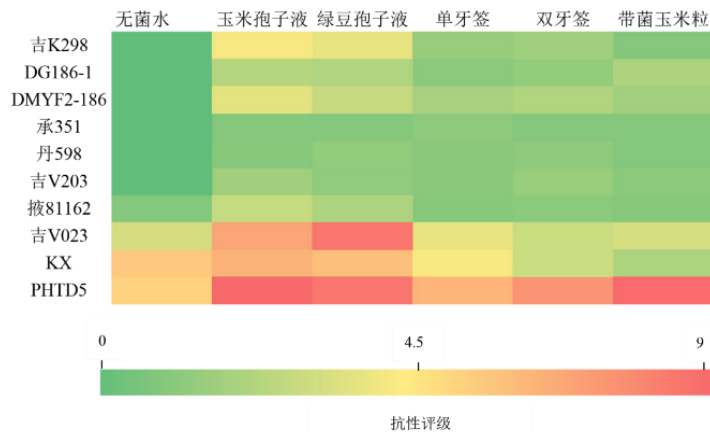


图3 不同方法接种禾谷镰孢菌的抗性评价热图

验结果显示,注射无菌水的空白对照组内,各玉米自交系对禾谷孢的抗性结果和自交系本身的抗感性一致,无菌水不会引起各自交系抗感差异的变化,因此试验组内各接种方法水含量的差异对试验结果造成的误差在允许的范围之内。所以,对于禾谷镰孢菌引起的玉米穗腐病的抗性鉴定,可优先采用玉米孢子液接菌的方法。另外,该次鉴定结果表明,10份供试玉米自交系中,承351、丹598和吉V203对禾谷镰孢菌引起的玉米穗腐病有较好的抗性,而PHTD5、吉V023和KX对禾谷镰孢菌引起的玉米穗腐病的抗性较差。该结果可为禾谷镰孢菌引起的玉米穗腐病的抗性遗传改良和功能位点的挖掘提供一定的参考依据。

3 讨论

人工接种拟轮枝镰孢菌和禾谷镰孢菌后,采用玉米孢子液和绿豆孢子液接菌的玉米穗腐病发病效果优于其他接菌方法(单牙签、双牙签、带菌玉米粒和伤口-带菌玉米粒)的发病效果。由于玉米孢子液和绿豆孢子液中都含有大量水分,单牙签、双牙签、带菌玉米粒和伤口-带菌玉米粒中水分较少,而玉米穗腐病致病菌的侵染和扩展需要一定的水分。虽然水分在致病菌侵染玉米的过程中起着不可忽视的作用,但是通过设置注射无菌水的空白对照试验结果显示,无菌水对各玉米自交系对镰孢菌穗腐病的抗性效果几乎没有差

异,因此说明水分本身不会对各玉米自交系的抗性造成影响。只有在含致病菌的时候,水分才在病原菌侵染玉米的过程中起着不可或缺的作用,所以采用玉米孢子液和绿豆孢子液接菌的玉米穗腐病发病效果优于其他接菌方法的发病效果可能是水分差异所致,玉米孢子液和绿豆孢子液中的水分为病原菌的侵染和扩展提供了非常有利的条件,而其他方法中水分的缺乏不利于病原菌的侵染和扩展。另外,对于同一个玉米自交系,采用玉米孢子液和绿豆孢子液接菌的玉米单株之间的穗腐病发病效果差异较小,而采用其他接菌方法(单牙签、双牙签、带菌玉米粒和伤口一带菌玉米粒)的玉米单株之间的发病效果差异较大。原因可能是在实际的接种过程中,采用单牙签、双牙签、带菌玉米粒和伤口一带菌玉米粒的方法接种过程受到的可变因素较多,如苞叶阻力差异、牙签和带菌玉米粒的菌量和不同操作人员的操作手法差异等,所以会造成更多的鉴定误差。因此牙签法和带菌玉米粒的方法不太适于大规模的穗腐病抗性鉴定工作。注射无菌水的空白对照田间试验结果显示,水分在病原菌侵染玉米的过程当中是充分不必要条件。在实际的大规模接种过程中,控制接种的病原菌含量和活性是影响田间接种效果的最重要因素。同时结合实践的操作过程,包括病原菌的制备和田间人工接种的可行性分析。综合各种因素,采用玉米孢子液和绿豆孢子液接种拟轮枝镰孢菌和禾谷镰孢菌的发病效果均较好,均可用于玉米材料的大规模抗病性鉴定和筛选。但是玉米孢子液更适于禾谷镰孢菌的人工接种,而绿豆孢子液更适于拟轮枝镰孢菌的人工接种。在孢子液的制作阶段,玉米孢子液的制备相较于绿豆孢子液程序更加复杂,培养周期长,而绿豆孢子液的培养周期只需要3 d,接种时可准确控制孢子浓度和接种量,但接种物培养后需立即使用。因此可以根据需进行抗性鉴定的玉米材料的数量和时间安排,在玉米孢子液和绿豆孢子液之间进行适当的选择。

另外,该次鉴定的10份供试玉米自交系中,承351、丹598和吉V203对拟轮枝镰孢菌和禾谷镰孢菌引起的玉米穗腐病均具有较好的抗性。在玉米穗腐病的抗性遗传改良工作中,可利用以上3个自交系中的抗性位点。在玉米穗腐病的抗性位点挖掘工作中,可将以上3个自交系作为抗源和抗性亲本,为镰孢菌引起玉米穗腐病的抗性遗传改良和功能位点的挖掘提供一定的参考依据。

参考文献:

- [1] Sutton J C. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*[J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 1982, 4(2):195-209.
- [2] Zhang Y, Tan J. Research progress on ear rot in maize[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(21):121-122, 125.
- [3] Ali M L, Taylor J H, Jie L, et al. Molecular mapping of QTLs for resistance to Gibberella ear rot in corn caused by *Fusarium graminearum*[J]. Genome, 2005, 48(3):521-533.
- [4] 刘振库,贾 娇,苏前富,等.齐齐哈尔玉米穗腐病病原菌的鉴定和致病性测定[J].吉林农业科学,2014,39(6):28-30.
- [5] 张铨哲,李 微,郝 璐,等.东北三省禾谷类作物真菌分离鉴定及污染率调查[J].东北农业科学,2016,41(1):68-72.
- [6] 任金平,吴新兰,庞志超,等.玉米穗腐病研究初报[J].玉米科学,1993,1(4):75-79.
- [7] 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.
- [8] 姜媛媛,杜 鹃,迟艳平,等.玉米茎腐病的发生与有效防治[J].东北农业科学,2018,43(1):24-27.
- [9] Duan C X, Wang X M, Song F J, et al. Advances in research on maize resistance to ear rot[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(11): 2152-2164.
- [10] 李 刚,杨粉团,曹庆军,等.玉米等主要作物真菌毒素、限量标准与调控技术[J].东北农业科学,2017,42(6):49-52.
- [11] Zhou Q D. Studies on mutual relationship in etiology and genetic polymorphism of *Fusarium* from stalk rot and ear rot in maize [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2018, 48(1): 8-15.
- [12] Chen J F, Ding J Q, Sun X D, et al. Inhibition of several fungicides on main pathogens of corn ear rot[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2009(4): 81-83.
- [13] Sun H, Guo N, Shi J, et al. Characterization of the maize ear rot pathogens and genetic diversity analysis of dominant species in Hainan[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2017, 47(5): 577-583.
- [14] Sun H, Zhang H J, Ma H X, et al. Composition and distribution of pathogens causing ear rot in spring maize region and identification of *Fusarium graminearum* species complex[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2018, 48(1): 8-15.
- [15] Li H L, Zhang X, Yuan H X, et al. Identification of pathogens of ear and grain rot in maize hybrids[J]. Journal of Plant Protection, 1999(4): 305-308.
- [16] Pan H K. Resistance of maize to ear rot[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1987, 2(3): 86-89.
- [17] Xing X P, Wang M, Liu C Y, et al. Occurrence and control of corn ear and grain rot[J]. Rain Fed Crops, 2009, 29(4):279-282.
- [18] Li X P, Dong H Y, Tao Y, et al. A survey of studies on ear and grain rot of maize[J]. Rain Fed Crops, 2007(2): 130-132.
- [19] Hu N, Zhang H. A study on production of three *Fusarium* mycotoxins of corn ear rot pathogenic fungi in Jinlin province[J]. Journal of Maize Sciences, 1997(2): 66-68.
- [20] Ren J P. Occurrence and suggestion of maize disease in jilin province[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1992(4): 51-53.

(责任编辑:王 昱)