

芝麻枯萎病病原菌致病力室内鉴定方法

仇存璞¹, 张海洋², 常淑娴², 魏利斌², 苗红梅^{2*}

(¹南京农业大学作物遗传与种质创新国家重点实验室, 南京 210095; ²河南省农业科学院河南省芝麻研究中心, 郑州 450002)

摘要:芝麻枯萎病(Sesame Fusarium wilt, SFW)是由尖孢镰刀菌芝麻专化型(*Fusarium oxysporum* Schl. f. sp. *sesami* (Zap.), FOS)引起的一种土传真菌病害,是世界芝麻生产上的主要病害之一。为测定 FOS 致病力,本文选用郑芝 98N09 等 4 个芝麻品种,在苗期对 15 个 FOS 菌株的致病力强弱进行了室内鉴定和评价。结果表明,采用 1×10^6 个/mL 分生孢子悬浮液与无菌蛭石和无菌土壤按 V1 : V2 : V6 比例混合接菌(即最终接菌浓度为 1.4×10^5 孢子/g 土壤),在接菌后第 7 d 幼苗开始出现枯萎病症状,调查菌株致病性的最佳时间为接菌后第 25 d~28 d;在供试 15 个 FOS 菌株中,对 4 个品种均表现为强致病力的菌株有 8 个(DI>50),均表现为弱致病力的菌株有 5 个(DI<20);不同芝麻品种对不同菌株的抗性有一定差异。该方法可应用于芝麻枯萎病病原菌致病性测定和芝麻种质抗枯萎病特性评价,并为后续的机理研究提供了技术支持。

关键词:芝麻; 枯萎病; 尖孢镰刀菌; 致病力; 鉴定

Laboratory detecting method for pathogenicity of *Fusarium oxysporum* Schl. f. sp. *sesami* isolates

QIU Cun-pu¹, ZHANG Hai-yang², CHANG Shu-xian², WEI Li-bin², MIAO Hong-mei² (¹National Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Henan Sesame Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Sesame Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *sesami*, FOS) is an important disease in sesame production. In order to establish an effective evaluating method for FOS pathogenicity, 15 strains were tested on Zhengzhi 98N09 and other three cultivars of sesame at young seedling stage. The results indicated that the inoculated seedlings showed wilt symptom in seven days after inoculation with 1×10^6 microconidia/mL suspension mixed with aseptic vermiculite and soil under the ratio of V1 : V2 : V6 (i. e., the final concentration of 1.4×10^5 microconidia/g soil). The optimal date for investigating pathogenicity was the 25–28 th days after inoculation. Among the tested 15 FOS strains, eight strains showed high pathogenicity (DI>50) and five strains showed low or no pathogenicity (DI<20) on the four cultivars. The results also showed that different cultivars exhibited the various resistance levels to 15 strains. This technique could be applied for the evaluation of the FOS pathogenicity and sesame resistance to FOS, and give the technological supports for further exploration of these mechanisms.

Key words: sesame; Fusarium wilt; *Fusarium oxysporum*; pathogenicity; identification

中图分类号: S435.653

文献标识码: A

文章编号: 0412-0914(2014)01-0026-10

芝麻枯萎病(*Fusarium oxysporum* f. sp. *sesami*, FOS)是一种真菌性土传病害^[1, 2],最早于 1950 年在北美发现^[3]。该病属世界性病害,中国、印

度、苏丹、埃及、巴基斯坦等芝麻生产国均有不同程度发生^[1, 4-6]。该病在我国主要发生在东北、华北、西北、黄淮以及江淮部分地区,常年发生率在

收稿日期: 2013-01-20; 修回日期: 2013-10-12

基金项目: 国家现代农业(芝麻)产业技术体系建设专项资金(CARS-15); 国家科技支撑计划(2009BADA8B04); 公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-015); 河南省科技厅“中原学者”项目(092101211100)

通讯作者: 苗红梅, 研究员, 主要从事芝麻遗传育种、病害防控研究; Tel: 0371-65720774, E-mail: miaohongmeichina@yahoo.com

第一作者: 仇存璞, 女, 江苏徐州人, 在读硕士, 主要从事芝麻抗病遗传育种研究; E-mail: qqcupu@126.com。

15%左右,严重时可导致绝收。调查表明芝麻在生长发育各个时期均可被 FOS 侵染(未公开发表资料)。感病后成株表现为:先是叶片半边黄化,下垂卷曲,后期萎蔫,严重时叶片脱落,根茎部半边或全部维管束变褐,重者可导致植株枯死。

芝麻枯萎病发生后单一采用化学防治、栽培措施以及生物防治等方法往往不能够得到有效控制^[7-10]。近年来,为探明芝麻枯萎病病原菌的生物学特征,国内外曾开展了病原菌分离、鉴定以及多样性分析等研究^[11-13],但至今尚未见芝麻枯萎病病原菌致病性鉴定及致病机理等研究报道。芝麻枯萎病病原菌侵染周期长、植株发病慢,加之芝麻根系不发达和易受机械损伤等特点,采用常规的灌根、伤根或胚根接菌室内鉴定技术^[14-16]则不能可靠地评价该病菌的致病力(未公开发表资料)。本文针对室内幼苗接菌方法中的接菌浓度、苗期发病特征、病情调查时间、病情指数划分标准等系列试验研究,最终确定了一套快速稳定的芝麻枯萎病病原菌致病力鉴定技术,利用不同抗感芝麻品种对已分离的 15 个芝麻枯萎病菌株进行了致病力鉴定和评价,以期为尖孢镰刀菌芝麻专化型致病机理及芝麻品种抗性鉴定研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试尖孢镰刀菌芝麻专化型菌株 16 份(表 1),来源于河南省芝麻研究中心 FOS 菌种保藏库(2007~2012 年)。所有菌株均由河南省芝麻研究中心植

物病理实验室从全国 12 个芝麻产区收集的枯萎病株分离获得。菌株 No. HSFO 08005 用于鉴定技术指标测定,其他 15 个 FOS 菌株依据产区来源从菌库中随机选出,用于致病力测定和评价。

芝麻抗病品种:豫芝 11 号、郑芝 98N09;感病品种:冀 9014、荣县黑芝麻,由河南省芝麻研究中心提供。

1.2 分生孢子悬浮液制备

取少许保存的 FOS 菌株孢子溶液,接种到 PDB 液体培养基中,于 160 r/min、28℃ 条件下振荡培养 3 d。用两层无菌纱布过滤,制备出 FOS 分生孢子悬浮液,用无菌水稀释配制成 $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^8$ 个/mL 等 5 个不同浓度梯度的分生孢子悬浮液,以备接种。

1.3 接菌及枯萎病发生调查

选取健康饱满种子,经清水冲洗后,在超净工作台上分别用 70%酒精处理 30 s 和 3%次氯酸钠处理 15 min,无菌水冲洗 3~5 次后,于 120 r/min、25℃ 条件下振荡培养 24 h 催芽。取不同浓度的分生孢子悬浮液与 2 倍体积的无菌蛭石混合拌匀,然后与无菌土混匀(1:3 比例),等份分装于纸钵中。将催芽露白的无菌芝麻种子播种在纸钵中,每钵 10 粒,于 25℃、12 h/d 光暗交替培养,相对湿度为 80%。每处理设 5 个重复,以无菌水为阴性对照。播种后于每天上午观察出苗及生长情况,出苗整齐后每 3 d 调查并记录 1 次发病情况,连续调查 4 周。

Table 1 The tested isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *sesami* (FOS)

Strain No.	Collection place	Strain No.	Collection place
HSFO 08005	Pingyu, Henan	HSFO 10044	Yuci, Shanxi
HSFO 10008	Liaoyang, Liaoning	HSFO 09087	Wenxian, Hunan
HSFO 10090-1	Nanchang, Jiangxi	HSFO 09096	Xiangyang, Hubei
HSFO 10049-1	Sanmenxia, Henan	HSFO 09083	Songxian, Henan
HSFO 09095	Fuyang, Anhui	HSFO 10001	Liaoyang, Liaoning
HSFO 10047	Yuci, Shanxi	HSFO 09017	Tongyu, Jilin
HSFO 09086	Qinyang, Henan	HSFO 10040	Laohekou, Hubei
HSFO 10053	Fenyang, Shanxi	HSFO 09100	Fengqiu, Henan

1.4 芝麻苗期枯萎病等级划分及菌株致病力评价标准

根据苗期枯萎病发生症状,将芝麻苗期枯萎病发生等级划分为 0~2 级。0 级(正常):长势良好无病症,地上部茎叶正常,根茎部维管束正常(图 1-a);1 级:植株部分叶片萎焉,茎部出现轻微缢缩,根茎部表皮出现红褐色病斑(图 1-b、c、e、f、g);2 级(死亡):叶片全部变黄、干枯,整株萎焉(图 1-d、i、j),出现倒伏、死亡(图 1-k)。调查中,可根据植株的茎部和叶片症状病害发生等级计算各处理病情指数。病情指数(DI)计算公式如下:

$$DI = \frac{\sum (S_i \times n_i)}{2N} \times 100$$

式中:DI-病情指数; s_i -病级; n_i -相应病株数;

N-调查总株数。

根据病情指数判定 FOS 菌株是否具有致病性及其致病力等级^[17]:0 级(无致病力):平均病情指数为 0;1 级(弱致病力): $0 < DI \leq 20$;2 级(中等致病力):平均病情指数 $20 < DI \leq 50$;3 级(强致病力):平均病情指数 $50 < DI \leq 100$ 。

参考 Li^[18]、Zhou 等^[19]及 Silme 和 Çarğırgan^[20]方法对芝麻幼苗抗枯萎病特性进行划分,略有改动(表 2)。

2 结果与分析

2.1 芝麻苗期枯萎病症状类型

芝麻苗期枯萎病症状表现多与成株期不同,且容易与苗期根腐病(root or crown rots)、茎点枯病[*Macrophomina phaseoli* (Tassi) Goid]混淆^[21]。



Fig. 1 Symptoms of Fusarium wilt on sesame seedlings

a: Healthy seedlings as control. b-d: Type I symptom of Fusarium wilt. Leaves of disease seedlings are getting wilted, yellow and dead, while the stems are still healthy. e-g: Type II symptom of Fusarium wilt. Stems and root tissues of the diseased seedlings turn auburn, while the leaves are healthy. h-k: Type III symptom of Fusarium wilt.

Leaves wilt, yellow or dry, stems constricted and the root tissues are auburn at the same time.

Table 2 Resistance scale of sesame against Fusarium wilt

Grade	Disease index (DI)	Category
1	$0 \leq DI \leq 15$	High resistant (HR)
3	$15 < DI \leq 30$	Resistant (R)
5	$30 < DI \leq 55$	Moderately resistant (MR)
7	$55 < DI \leq 70$	Susceptible (S)
9	$70 < DI \leq 100$	Highly susceptible (HS)

为准确描述 FOS 菌株侵染时期及芝麻苗期病症表现类型,选用感病品种荣县黑芝麻和 FOS 菌株 No. HSFO 08005,对室内接菌后植株发病过程进行观察(图 1)。观察结果表明,芝麻苗期枯萎病症状表现为植株根、茎、叶发育受阻,初期症状主要包括 3 种类型。Ⅰ类:与正常株相比(图 1-a),植株叶片发生萎蔫卷曲(图 1-b),部分叶片开始褪绿变黄(图 1-c),生长矮小;茎表面正常,根红褐而短,须根较少(图 1-d);最终整株萎蔫。Ⅱ类:植株叶片正常,但茎基部呈红褐色(图 1-e),并常出现在一侧(图 1-f),易造成植株猝倒(图 1-g)。Ⅲ类:部分叶片萎蔫(图 1-h),同时在茎部或根茎交界部出现明显缢缩(图 1-i);根部呈红褐色,短小(图 1-j),最终表现为整株枯萎死亡(图 1-k)。依据上述症状表现,可将苗期枯萎病发生症状划分为 0、1、2 3 个等级。从 1 级发展到 2 级仅需 1~2 d。

2.2 芝麻苗期 FOS 致病性测定的最佳接菌浓度筛选

为确定室内接菌方法的 FOS 最佳接菌浓度范

围,选用高抗枯萎病品种豫芝 11 号和感枯萎病品种荣县黑芝麻品种,采用菌株 No. HSFO 08005 进行接菌,分别在 1×10^4 、 1×10^5 、 1×10^6 、 1×10^7 和 1×10^8 个孢子/mL 5 个浓度梯度(起始浓度)对萌发露白的种子进行接菌处理,至第 4 周时记录菌株不同起始接菌浓度下两品种的枯萎病发生等级及抗病性变化情况(表 3)。

接菌 7 d 后,两品种的部分植株均开始有枯萎病症状出现。经对病株进行病菌分离和显微观察,证明均为尖孢镰刀菌侵染所致(图片未现),表明该 FOS 菌株对豫芝 11 号和荣县黑芝麻 2 个品种均有侵染致病能力。从表 3 中可以看出,在供试 5 个起始接菌浓度下,豫芝 11 号和荣县黑芝麻的病情指数范围分别为 11.67 ~ 85.00 和 20.00 ~ 86.67;荣县黑芝麻的整体病情指数高于豫芝 11 号,抗病性相对较差。当起始菌液浓度相对较低时($1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$ 个孢子/mL),两品种均表现为抗病;当菌液浓度为 1×10^6 个孢子/mL 时,两品种间的病情指数差异最大,分别表现为中抗和感病特征,与圃田间鉴定结果一致;当菌液浓度升高至 1×10^7 个孢子/mL 以上时,两品种均表现为感病,抗病特性无差异。由此确定,在进行室内芝麻 FOS 病原菌致病力测定时, 1×10^6 个孢子/mL 应为最适起始菌液浓度,分生孢子悬浮液与无菌蛭石和无菌土壤按 V1 : V2 : V6 比例混合接菌能够较好地评价 FOS 病原菌致病力,接菌浓度过高或过低都易造成鉴定结果的不准确。

2.3 芝麻苗期 FOS 致病性测定的最佳调查时期

为确定 FOS 致病性室内测定的最佳调查时

Table 3 Disease index under various FOS inoculation concentrations of FOS on sesame seedlings

Cultivar	Disease index (DI) *		Disease index (DI) ** under laboratory condition				
	under field condition		Initial concentration (microconidial number /mL) for inoculation				
			1×10^4	1×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8
Yuzhi 11	6.71(HR)		11.67(HR)	28.33(R)	31.61(MR)	85.00(HS)	73.33(HS)
Rongxian black sesame	62.81(S)		20.00(R)	53.33(MR)	68.10(S)	86.67(HS)	81.00(HS)

“*”: Disease index data come from the investigation results in Yuanyang sesame Fusarium wilt nursery in 2011. The FOS isolate used for inoculation is no. HSFO 08005. “**”: The letters in brackets mean the disease-resistance level of sesame cultivars.

期,在 1×10^6 个孢子/mL起始菌液浓度下,随机挑选来源于8个不同芝麻产区的菌株HSFO 10008等15个FOS菌株进行接菌处理(表1)。抗、感病品种分别为豫芝11号和荣县黑芝麻。接菌后第1~28 d的植株枯萎病发生和病情指数变化情况见图2。

播种后第5~6 d芝麻出苗整齐。在接菌后第7~10 d,部分菌株侵染并导致植株表现出枯萎病症状;第10~19 d时,DI变幅增大且大多菌株增幅较为迅速。但受致病力强弱影响,不同菌株间的

DI变化程度存在一定差异;在第20~25 d时DI变幅均减小并趋于稳定;第25~28 d时DI达到稳定状态。比较图2-A、B可以看出,在抗、感2个品种上,致病力较强菌株DI变化趋势呈几乎相同的特征,即在接菌后1周内FOS病原菌即可对苗期芝麻进行侵染,在第2~3周时植株病症表现最为明显,并能反映出不同菌株在同一品种上的致病力差异;第4周时植株发病比率和严重程度趋于稳定。此时,菌株在不同品种上的致病力差异也能够稳定显现出来(如菌株HSFO10053)。因此,采用该方

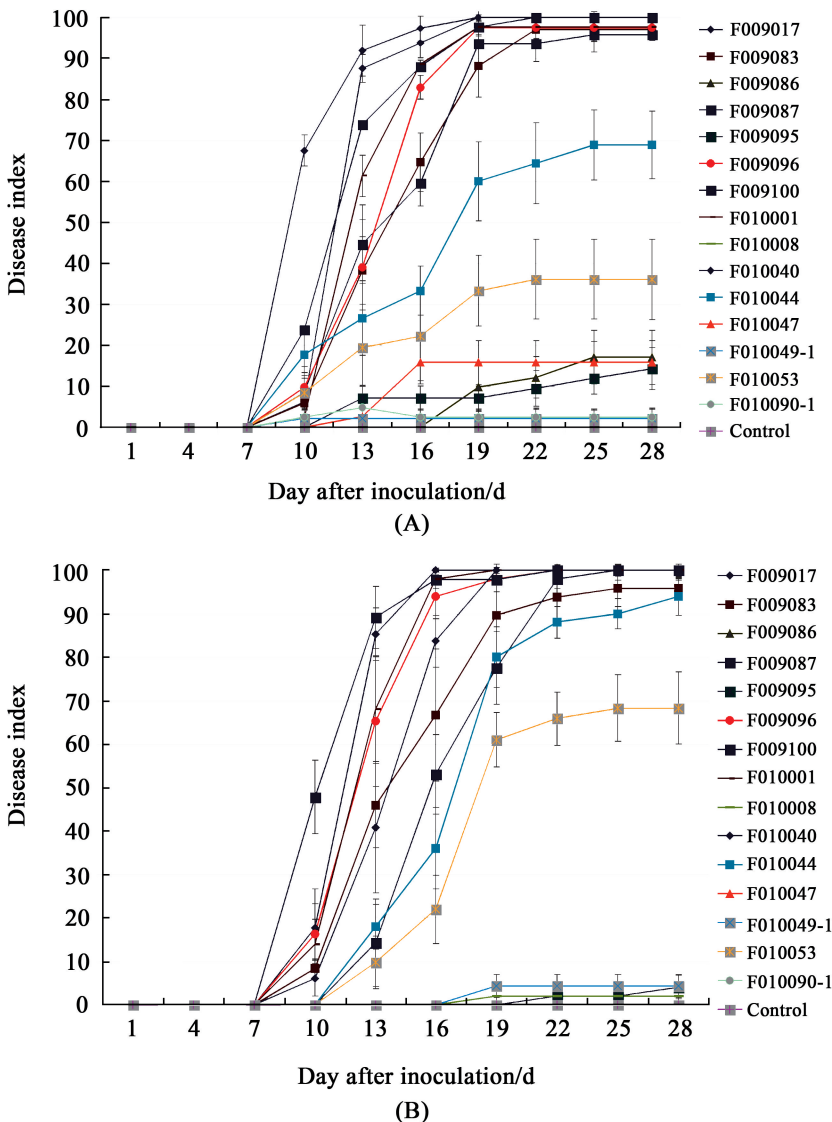


Fig. 2 Disease indexes of two sesame cultivars in four weeks after inoculation with 15 FOS strains

A: Yuzhi 11; B: Rongxian black sesame.

法评价 FOS 病原菌对芝麻幼苗的致病力时,接菌后第 2~3 周即可进行病情调查;接菌后第 25~28 d 为最佳调查时期,此时 FOS 病原菌致病性及品种抗病性表现最为充分(图 3)。

2.4 不同 FOS 菌株的致病力测定与评价

为进一步验证该鉴定技术的可靠性,并评价不同 FOS 菌株的致病性强弱,选用豫芝 11 号、郑芝 98N09、冀 9014 和荣县黑芝麻 4 个抗感品种,采用 1×10^6 个孢子/mL 起始菌液浓度和上述病症调查标准,以接菌后第 28 d 的调查数据为依据,对 15 个 FOS 菌株的致病力进行鉴定和评价(表 4)。

从表 4 中可以看出,同一品种中测试的 15 个 FOS 菌株在致病力等级上存在一定差异。例如,豫芝 11 号,菌株 DI 范围为 0.00~100.00。其中无致病力菌株 1 株,弱致病力 5 株,中等致病力 1 株,强致病力 8 株,表明同一芝麻品种对不同菌株的抗性水平存在一定差异。豫芝 11 号对 HSFO 10008、

1090-1、10049-1、09095 菌株表现为高抗,对 HSFO 09087、09096、09083、10001、09017、10040 和 09100 菌株则表现为高感。研究还发现,13 个菌株在 4 个品种中的致病性表现较为稳定。在 4 个品种上均表现出强致病力的有 8 株(DI>50): HSFO 09017、09083、09087、09096、09100、10001、10040 和 10044,其致病力等级均为 3 级;无或弱致病力的有 5 株(DI<20): HSFO 09086、10008、10047、10090-1 和 10049-1,致病力表现为 0 或 1 级。与上述 13 个菌株不同的是,HSFO 09095 菌株在 4 个品种间的致病性差异明显,在豫芝 11 号、郑芝 98N09 和荣县黑芝麻中表现出弱致病力(1 级),而在冀 9014 中表现出较强的致病力(DI=92.00,3 级),此结果表明豫芝 11 号、郑芝 98N09 和荣县黑芝麻对该菌株显示为高抗品种,而冀 9014 为高感品种。HSFO 10053 菌株,在 4 个品种中的致病力稍有差异(2 级或 3 级);豫芝 11 号、郑芝 98N09 和冀 9014 对该菌株显示为中抗品种,而荣县黑芝麻为高感品种。

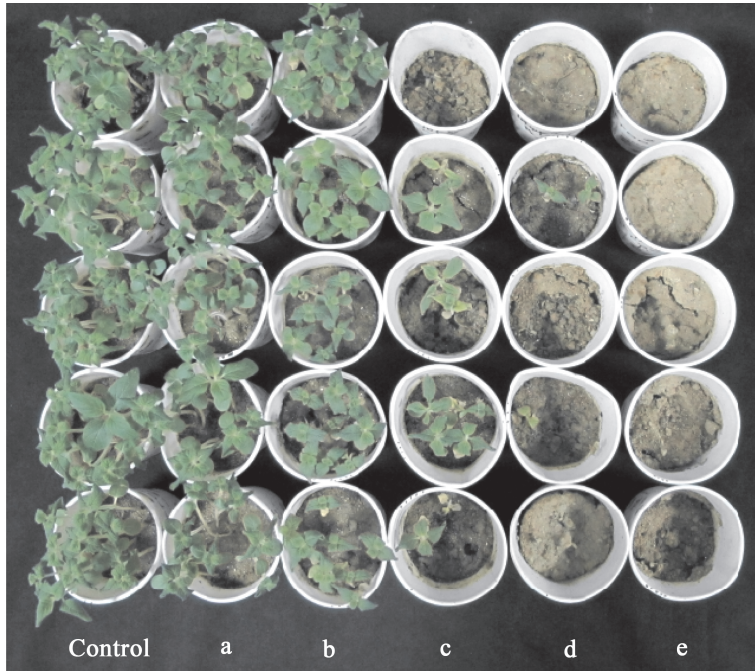


Fig.3 Sesame Fusarium wilt outbreak in cv. Rongxian black sesame seedlings inoculated with five FOS pathogen isolates individually at the 28th day

Control: Inoculation with distilled water; a: Inoculation with HSFO 09086; b: Inoculation with HSFO 10049-1; c: Inoculation with HSFO 10053; d: Inoculation with HSFO 10044; e: Inoculation with HSFO 09017.

Table 4 Pathogenicity levels of 15 FOS isolates and resistance level of four sesame cultivars

Pathogen isolate No	Yuzhi 11			Zhengzhi 98N09			Ji 9014			Rongxian black sesame		
	DI	Pathogenicity level	Resistance level	DI	Pathogenicity level	Resistance level	DI	Pathogenicity level	Resistance level	DI	Pathogenicity level	Resistance level
	HSFO 10008	0.00±0.00 a *	0	HR	6.67±4.75 a	1	HR	20.00±7.80 a	1	R	2.22±2.32 a	1
HSFO 10090-1	2.00±2.12 a	1	HR	0.00±0.00 a	0	HR	0.00±0.00 a	0	HR	0.00±0.00 a	0	HR
HSFO 10049-1	2.00±2.08 a	1	HR	1.82±1.98 a	1	HR	6.00±2.59 a	1	HR	4.22±2.75 a	1	HR
HSFO 09095	14.88±5.04 ab	1	HR	4.00±4.26 a	1	HR	92.00±4.75 c	3	HS	4.22±2.73 a	1	HR
HSFO 10047	15.44±5.35 ab	1	R	2.50±2.46 a	1	HR	11.08±0.88 a	1	HR	0.00±0.00 a	0	HR
HSFO 09086	18.02±6.42 ab	1	R	4.00±2.47 a	1	HR	2.00±2.17 a	1	HR	0.00±0.00 a	0	HR
HSFO 10053	35.00±9.87 b	2	MR	32.27±5.36 b	2	MR	54.44±3.60 b	3	MR	70.83±8.68 b	3	HS
HSFO 10044	68.78±8.09 c	3	S	51.56±8.79 b	3	MR	88.00±5.08 c	3	HS	94.00±4.26 c	3	HS
HSFO 09087	96.00±4.22 d	3	HS	96.00±4.40 c	3	HS	89.33±6.91 c	3	HS	100.00±1.53 c	3	HS
HSFO 09096	97.50±2.66 d	3	HS	98.00±2.01 c	3	HS	100.00±0.00 c	3	HS	100.00±1.37 c	3	HS
HSFO 09083	97.78±2.61 d	3	HS	84.00±9.43 c	3	HS	90.00±10.52 c	3	HS	96.00±2.90 c	3	HS
HSFO 10001	97.78±2.40 d	3	HS	98.00±2.39 c	3	HS	100.00±0.58 c	3	HS	100.00±2.34 c	3	HS
HSFO 09017	100.00±0.83 d	3	HS	100.00±1.27 c	3	HS	92.00±8.78 c	3	HS	100.00±2.18 c	3	HS
HSFO 10040	100.00±0.21 d	3	HS	84.00±5.46 c	3	HS	100.00±1.62 c	3	HS	100.00±0.00 c	3	HS
HSFO 09100	100.00±1.27 d	3	HS	96.00±3.60 c	3	HS	100.00±0.40 c	3	HS	100.00±1.81 c	3	HS

" * " : Different lower case letters representing the significant difference based on Duncan ' s multiple range test ($P < 0.05$) .

3 结论与讨论

由于芝麻栽培地域和面积有限,人们普遍缺乏对芝麻病害的认识和深入研究。以往对芝麻枯萎病的抗性鉴定研究也仅限于大田自然发病或人工混合病菌调查^[11, 20]。鉴于芝麻苗期植株弱小,生长缓慢,根系不发达,常用的灌根和伤根等接菌法^[15, 16]并不适用于芝麻。本研究采用土壤接菌方法进行 FOS 致病力测定,保证了芝麻幼苗生长处于自然状态,避免了因中期接菌操作而使植株受到机械损伤和水渍胁迫等,同时也减轻了接菌工作量。本试验采用孢子悬浮液接种和无菌土按比例混合,病菌在土壤中均匀分布,确保了致病性测定的可靠性和准确性。本试验采用经灭菌催芽后的种子进行播种,避免了因种子带菌和萌发不整齐而产生的试验误差。研究结果表明,采用 1×10^6 个孢子/mL 孢子悬浮液与无菌蛭石和无菌土壤按 V1 : V2 : V6 比例进行混合(即最终接菌孢子浓度为 1.4×10^5 个孢子/g 土壤),接菌后 7 d 可见枯萎病症状发生,接菌后 3~4 周即可判定 FOS 对芝麻的致病力,从而确定供试品种的抗性水平。与田间抗性鉴定方法相比,该方法结果稳定,鉴定周期大大缩短。

研究发现,芝麻幼苗生长势较弱,从发病到死亡时间较短,多数表现为 1~2 d,病株分 1 级(发病)和 2 级(死亡)即能反应出当时的植株发病程度。到第 28 d 时,发生枯萎病病害的植株均已死亡(图 3),病株等级划分对最终调查结果没有影响。因芝麻幼苗时期枯萎病症状与成株期症状存在差异,常用的成株期田间枯萎病等级划分标准^[21]不适于芝麻幼苗枯萎病发病评价。结合室内接菌方法,本文通过对芝麻幼苗发病过程的详细观察和多次重复,保证了芝麻幼苗抗性鉴定和病菌致病力测定结果的可靠性;初步建立了一套完整的室内芝麻苗期枯萎病致病力测定评价方法,为芝麻枯萎病病原菌室内测定和芝麻品种抗病性鉴定提供了可靠依据。

目前为止,国内外尚未有统一的芝麻品种抗枯萎病特性分级标准。在我国《芝麻种资源描述规范和数据标准》^[22]中,芝麻品种抗性级别为免疫

(0)、高抗(1)、抗病(3)、感病(7)和高感(9)。但品种抗病性是以相对抗性(与某一对照相比)来描述的。如果选择的对照不同,品种的抗病性就可能有较大变化。国外对芝麻品种抗枯萎病特性的分级评价标准不尽相同,El-Bramawy (2006)、Silme & Çarğirgan (2010)采用发病株率作评价指标,并将品种的抗病性分为抗病 R(1)、中抗 MR(3)、中感 MS(5)、感病 S(7)和高感 HS(9)等 5 个等级^[11, 20]。El-Bramawy & Shaban (2008)在开展芝麻产量和抗病性遗传研究中则参考了 Marlatt 等 (1996)采用的番茄枯萎病尖孢镰孢菌生理小种 1~5 级标准^[23, 24],对枯萎病株率和病害发生程度进行了调查和分析。鉴于上述研究现状,作者参考其他作物枯萎病病原菌鉴定方法^[18, 19],同时结合大田试验结果以及芝麻苗期枯萎病菌致病力测定和品种抗病性室内鉴定结果,选用病情指数作为评价指标,对芝麻品种抗病等级标准进行了微调。多菌株、多品种、多重复试验结果显示,本文所列抗性标准较为合理,能够较好地將病原菌致病性与芝麻抗病性对应起来,该研究也为进一步完善芝麻抗枯萎病特性鉴定标准提供了重要依据。

本试验对来自我国 8 个芝麻主产区的 15 株 FOS 菌株进行了致病力测定,从 15 个供试菌株中鉴定出 8 株强致病力菌株,5 株弱致病力菌株;还发现 2 个菌株对 4 个品种的致病力存在差异,这为进一步研究芝麻枯萎病菌的致病机理和芝麻抗病机理提供了材料。FOS 对芝麻不同品种的致病力差异与病菌致病性、品种抗性以及病菌-植株互作等存在密切联系。研究发现,芝麻品种的抗病性均有地域性特点,例如,在湖北省表现抗病的品种在河南省则表现感病,一些外引品系在新种植地区多表现感病等^[25]。另外,FOS 菌株间存在致病力差异,这也可能是同一芝麻品种在不同地区种植时表现抗性不一致的原因。因此,利用来自不同产区优势菌株通过混合接菌,筛选广谱性高抗新品种,是加快芝麻抗病育种进程和提高芝麻枯萎病防控效率的一项重要措施。本文研究发现,供试的 15 个 FOS 菌株与 4 个芝麻品种间的互作存在多种类型,说明 4 个芝麻品种可能携带不同的抗病基因,FOS 很可能存在不同的生理小种。因此,在本文

建立的 FOS 致病力测定方法的基础上,有必要进一步深入开展 FOS 生理小种鉴定工作。

参考文献

- [1] Verma M L, Mehta N, Sangwan M S. Fungal and bacterial diseases of sesame [A]. Saharan G S, Mehta N, Sangwan M S. Diseases of oilseed crops [M]. New Delhi: B.B.N Printers, 2005. 269-303.
- [2] Lu J Y. Plant pathogen mycology (in Chinese) [M]. Beijing: China Agriculture Press (北京:中国农业出版社出版), 2001. 360-440.
- [3] Armstrong J K, Armstrong G M. A Fusarium wilt of sesame in United States [J]. Phytopathology Journal, 1950, 40: 785.
- [4] Cho E K, Choi S H. Etiology of half stem rot in sesame caused by *Fusarium oxysporum* [J]. Korean Journal of Plant Protection, 1987, 26(1): 25-30.
- [5] El-Bramawy M A S, Veverka K, El-Shazly M S, et al. Evaluation of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *sesami* in hybrid lines of sesame (*Sesamum indicum* L.) [J]. Plant Protection Science, 2001, 37: 74-79.
- [6] El-Shakhess S A M, Khalifa M M A. Combining ability and heterosis for yield, yield components, charcoalrot and Fusarium wilt diseases in sesame [J]. EgyptJournal of Plant Breeding, 2007, 11(1): 351-371.
- [7] Ziedan E S H, Mostafa M H, Elewa I S. Effect of bacterial inoculation *Fusarium oxysporum* f. sp. *sesami* and their pathological potential on sesame [J]. Journal of Agricultural Technology, 2012, 8(2): 699-709.
- [8] Fall A L, Byrne P F, Jung G, et al. Detection and mapping of a major locus for Fusarium wilt resistance in common bean [J]. Crop Science, 2001, 41: 1494-1498.
- [9] Alves-Santos F M, Benito E P, Eslava A P, et al. Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* strains from common bean fields in Spain [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(8): 3335-3340.
- [10] Pawar V C, Thker V S. Evaluation for the anti-*Fusarium oxysporum* f. sp. *cicer* and anti-*Alternaria porri* effects of some essential oils [J]. World Journal of Microbiol. Biotechnology, 2007, 23: 1099-1106.
- [11] El-Bramawy M A S. Inheritance of resistance to Fusarium wilt in some sesame crosses under field conditions [J]. Plant Protection Science, 2006, 42: 99-105.
- [12] Su Y L, Miao H M, Wei L B, et al. Studies on separation and purification techniques of *Fusarium oxysporum* in sesame (*Sesamum indicum* L.) (in Chinese) [J]. Henan Agriculture Science (河南农业科学), 2012, 41(1): 92-95.
- [13] Li D, Wang L, Zhang Y, et al. Pathogenic variation and molecular characterization of *Fusarium* species isolated from wilted sesame in China [J]. African Journal of Microbiology Research, 2012, 6(1): 149-154.
- [14] Zhang X R, Wang L H, Li D H, et al. A method of pathogenicity evaluation of sesame charcoal rot and *Fusarium* wilt pathogens (in Chinese) [P]. China Patent (中国专利), 2011. CN102061330A.
- [15] Weng Z X, Jiang X X, Xiao X W. Study on identification method of resistance to *Fusarium* wilt in cucumber-Radicle inoculation method (in Chinese) [J]. China Vegetables (中国蔬菜), 1985, 2: 30-33.
- [16] Fang Z D. Plant disease research methods (in Chinese) [M]. Beijing: China Agriculture Press (北京:中国农业出版社), 1998. 76-379.
- [17] Miao H M, Qiu C P, Wei L B, et al. An evaluation method of the pathogenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *sesami* (in Chinese) [P]. China Patent (中国专利), 2011, CN102487630A.
- [18] Li S D. Advances in main vegetable crops breeding for diseases resistance in China (in Chinese) [M]. Beijing: Science Press (北京:科学出版社), 1995.

- 420-421. 439-444.
- [19] Zhou H M, Mao A J, Zhang L R, *et al.* Research on inoculation method and the inheritance of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* on cucumber (in Chinese) [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2010, 25(4): 186-190.
- [20] Silme R S, Çarğirgan M İ. Screening for resistance to *Fusarium* wilt in induced mutants and world collection of sesame under intensive management [J]. *Turkish Journal of Field Crops*, 2010, 15(1): 89-93.
- [21] web.aces.uiuc.edu/vista/pdf_pubs/650.pdf. *Fusarium* wilt diseases of herbaceous ornamentals [Z]. 1988.
- [22] Zhang X R, Feng X Y. Descriptors and data standard for sesame germplasm resources (in Chinese) [M]. Beijing: China Agriculture Press (北京: 中国农业出版社), 2006. 68-69.
- [23] El-Bramawy M A S, Shaban W I. Short communication. Inheritance of yield, yield components and resistance to major diseases in *Sesamum indicum* L. [J]. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2008, 6(4): 623-628.
- [24] Marlatt M L, Correll J C, Kautmann P, *et al.* Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in the United States [J]. *Plant Disease*, 1996, 80: 1336-1342.
- [25] Wang W Q, Liu J R, Tu L C. An elementary study on sesame resistance genetics to *Fusarium* wilt disease (in Chinese) [J]. *Journal of Henan Agricultural University* (河南农业大学学报), 1993, 27(1): 84-89.

责任编辑:于金枝