

小麦—玉米轮作田镰孢菌的种群结构 及其致病性研究

孙 静,刘佳中,谢淑娜,王 静,郝俊杰*

(河南省农业科学院 植物保护研究所/农业部华北南部作物有害生物综合治理
重点实验室/河南省农作物病虫害防治重点实验室,河南 郑州 450002)

摘要:为明确小麦—玉米轮作田中镰孢菌的种群结构及致病性,采用形态结合分子鉴定的方法分别对采自河南省许昌、漯河、驻马店3块小麦—玉米轮作田的407个镰孢菌菌株进行了种的鉴定,并从中选出不同寄主来源、不同种的12个代表菌株,分别接种田间小麦和盆栽玉米。鉴定结果表明,从小麦上分离到的镰孢菌均为禾谷镰孢菌(*F. graminearum*,178个),而从玉米上分离到的镰孢菌则分别属于轮枝镰孢菌(*F. verticillioides*,123个)、*F. graminearum*(61个)、层出镰孢菌(*F. proliferatum*,45个)3个种。接种试验结果表明,3个种均能够侵染小麦麦穗和盆栽玉米苗,但*F. graminearum*的致病力显著强于*F. verticillioides*和*F. proliferatum*;不同寄主来源的*F. graminearum*菌株在致病力上差异不显著。来自小麦—玉米轮作田的*F. graminearum*菌株既可以侵染小麦又可以侵染玉米,这可能会造成小麦赤霉病、玉米茎腐病等病害的发生在小麦—玉米轮作模式下呈加重趋势。

关键词:小麦—玉米轮作田;镰孢菌;禾谷镰孢菌;致病力;交叉接种

中图分类号:S432.4⁺4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2015)05-0091-06

Community Composition and Pathogenicity of *Fusarium* Strains Isolated from Wheat-Maize Rotation Field

SUN Jing, LIU Jiazhong, XIE Shuna, WANG Jing, HAO Junjie*

(Plant Protection Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of
Integrated Pest Management on Crops in Southern Region of North China, Ministry of Agriculture/
Henan Key Laboratory for Control of Crop Diseases and Insect Pests, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To make clear the community composition and pathogenicity of *Fusarium* strains in wheat-maize rotation fields, a total of 407 *Fusarium* strains were isolated and identified from three pieces of wheat-maize rotation fields in Henan province. The result showed that all the strains (178) isolated from wheat belonged to *F. graminearum*, while the other strains (229) isolated from maize belonged to three species, *F. verticillioides* (123 strains), *F. graminearum* (61 strains), and *F. proliferatum* (45 strains). Twelve representative strains were selected to evaluate the pathogenicity on wheat in the field and on potted maize seedlings. The results showed that all the tested strains could infect wheat ears and maize seedlings, but the strains belonging to *F. graminearum* showed significantly more virulent than those strains of *F. verticillioides* or *F. proliferatum*. *F. graminearum* strains isolated from different hosts showed no signifi-

收稿日期:2014-10-28
基金项目:科技部科技基础性工作专项(2013FY113200);河南省农业科学院优秀青年科技基金项目(2013YQ18);河南省农业科学院自主创新专项基金项目(2013JC23)
作者简介:孙 静(1979-),女,河南开封人,助理研究员,博士,主要从事植物病害研究。E-mail:sunjingmmp@126.com
* 通讯作者:郝俊杰(1978-),男,河南登封人,副研究员,博士,主要从事植物病害及其抗病育种研究。
E-mail:haojjds@163.com

cant difference in pathogenicity. The cross inoculation results showed that the *F. graminearum* strains from wheat-maize rotation fields were able to infect both wheat and maize, and indicated that there was a possibility that wheat-maize rotation could aggravate the common diseases caused by *Fusarium* on wheat and maize, such as *Fusarium* head blight of wheat and stem rot of maize.

Key words: wheat-maize rotation fields; *Fusarium*; *F. graminearum*; pathogenicity; cross inoculation

冬小麦—夏玉米轮作是我国黄淮海平原的主要种植模式,小麦和玉米种植面积分别占全国的 60% 和 35% 左右,以河南省为例,其小麦播种面积有 500 余万 hm²,玉米播种面积在 300 万 hm² 左右,常年小麦—玉米轮作面积达百万公顷,这种模式在带来生产优势的同时,也为一些小麦、玉米共性病害的发生提供了便利条件。近年来,小麦赤霉病和玉米茎腐病已成为小麦—玉米轮作区的重要病害,是制约该地区粮食生产的重要因素。在我国,小麦赤霉病的病原菌以禾谷镰孢菌 (*Fusarium graminearum*) 为主^[1];玉米茎腐病的病原菌以腐霉 (*Pythium*) 和镰孢菌 (*Fusarium*)^[2] 为主,镰孢菌中主要是禾谷镰孢菌、轮枝镰孢菌 (*F. verticillioides*) 等^[3-4]。

由于某些镰孢菌是小麦赤霉病和玉米茎腐病 2 种病害的共同致病菌,小麦—玉米轮作可能会为镰孢菌在田间的持续存活与侵染提供有利条件。Vogelgsang 等^[5]报道在小麦—玉米轮作模式下,*F. graminearum* 菌量及小麦中 DON 毒素含量均显著增加。Landschoot 等^[6]则指出,玉米—小麦轮作田中赤霉病的发生明显较紧邻的土豆—小麦轮作田严重。目前相关研究多集中在耕作措施对轮作田小麦病害的影响方面,而对轮作田病原菌群体的研究则相对较少^[7]。张志博等^[8]以东北、河北部分地区的小麦、玉米病样为材料进行了研究,结果表明,不论是分离自小麦赤霉病病样还是分离自玉米茎腐病病样的 *F. graminearum*,均可侵染小麦和玉米。本实验室前期的研究结果表明,河南省玉米茎基部镰孢菌主要由 *F. verticillioides*、*F. graminearum*、*F. proliferatum* (层出镰孢菌) 3 个种构成^[9],鉴于不同寄主对镰孢菌的种群结构具有一定影响^[10],而不同种的镰孢菌侵染特性亦不相同^[11],有必要针对小麦—玉米轮作模式下镰孢菌的群体结构及致病性进行研究。

本研究基于小麦—玉米轮作模式,选择小麦赤霉病和玉米茎腐病为研究对象,通过分析小麦、玉米不同寄主上镰孢菌群体的组成及致病性差异,来分析小麦—玉米轮作对相关病害的影响及不同病害之间的关系,为小麦—玉米轮作田病害的可持续防控提供基础数据和理论依据。

1 材料和方法

1.1 病样采集、菌株分离和鉴定

在河南省内从南到北分别在驻马店农业科学院试验田 (33°00′574″N、114°02′371″E,海拔 77 m)、漯河农业科学院试验田 (33°37′304″N、113°58′916″E,海拔 66 m)、许昌地区长葛市石象乡尚官曹村农田 (34°10′444″N、113°52′365″E,海拔 70 m) 各选定一块小麦—玉米轮作多年的田块,约 1 000 m²。2012 年 5 月中下旬采集小麦赤霉病病样,每田块取病穗 60 个左右;9 月中下旬采集玉米茎腐病病样,采集部位为发病株的茎基部 1~2 节,每块田取病样约 60 个。病菌分离使用 PDA 培养基,菌株单孢分离后进行初步的形态鉴定,并结合 PCR、测序等分子鉴定方法最终鉴定到种,详细方法参见文献[1,9]。

1.2 菌株致病性测定

1.2.1 供试菌株 从分离并鉴定到种的菌株中选出不同寄主来源、不同采集地点的 *F. graminearum*、*F. verticillioides* 和 *F. proliferatum* 3 个种的 12 个菌株 (表 1),进行田间小麦麦穗及玉米盆栽接种试验。

表 1 用于致病性测定的菌株

菌株	所属种	寄主	采集地点
L2C	<i>F. graminearum</i>	小麦	漯河
M1A	<i>F. graminearum</i>	小麦	驻马店
C3H	<i>F. graminearum</i>	小麦	许昌
CaN-1	<i>F. graminearum</i>	玉米	许昌
CaQ-3	<i>F. graminearum</i>	玉米	许昌
CcH-1	<i>F. graminearum</i>	玉米	许昌
CbB-2	<i>F. proliferatum</i>	玉米	许昌
CaQ-1	<i>F. proliferatum</i>	玉米	许昌
CcG-2	<i>F. proliferatum</i>	玉米	许昌
CaE-2	<i>F. verticillioides</i>	玉米	许昌
CbA-1	<i>F. verticillioides</i>	玉米	许昌
CcC-3	<i>F. verticillioides</i>	玉米	许昌

1.2.2 田间小麦接种试验 供试小麦品种为感赤霉病品种豫保 1 号。在小麦扬花期进行接种,接种日期为 2013 年 4 月 25 日,使用孢子液浓度为 5 × 10⁵ 个/mL,采用小花滴注接种^[1]的方法进行接种,每个菌株接种 20 穗小麦穗,以无菌水接种作为对照。试验设 3 次重复,接种后套袋保湿 48 h。接种后第 15 天调查小麦赤霉病发病情况,并参照徐雍皋

等^[12]的赤霉病调查标准进行 1~5 级分级记载。根据病级计算得到病情指数,病情指数 = Σ (各级病株数 × 相应级数) × 100/(调查总株数 × 最高病级级数)。

1.2.3 玉米盆栽接种试验 盆栽接种试验参照郝俊杰等^[13]的方法,部分细节更改如下:将制备好的接种体按 13% 的质量比拌入基质混匀,装入塑料花盆中。供试玉米品种为浚单 20,播种前用 3% 次氯酸钠溶液浸泡 2 min 进行表面消毒,然后用无菌水冲洗干净后备用。播种日期为 2013 年 6 月 4 日,每盆播种 8 粒种子。试验设 4 次重复,以未拌入接种体的空白基质作为对照。播种后每 3 d 浇水一次,保持基质湿度。播种后 10、14、21 d 分别调查出苗率,14、21 d 分别调查死苗率。21 d 调查盆苗自然株高,然后拔出玉米苗并清洗、晾干,调查根长、整株鲜质量、根部鲜质量、根腐病级。根腐病级的调查参考 Lamprecht 等^[14]的方法,按照 0~4 级的分级标准进行调查记录:0 级为无根腐;1 级为 0~25% 根腐,2 级为 25%~50% 根腐,3 级为 50%~75% 根腐,4 级为 75%~100% 根腐。以上数据均单株调查,采用每个重复的平均数进行统计分析。

1.3 统计分析

使用 SPSS 18 软件进行方差分析,采用 Waller-Duncan k -ratio($k=100$)法分别对各性状进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 分离菌株的鉴定

2012 年河南省小麦赤霉病发生严重,玉米茎腐病则发生极轻。分别对 3 块选定的小麦—玉米轮作田进行调查,结果显示,驻马店田块中小麦赤霉病病穗率约 15%,玉米茎腐病病株率约 5%;漯河田块中小麦赤霉病病穗率约 10%,玉米茎腐病病株率约 2%;许昌田块中小麦赤霉病病穗率约 8%,玉米茎腐病病株率约 1%。3 块田共采集到小麦赤霉病样 182 个,玉米茎腐病样 168 个。

从小麦赤霉病病样上共分离到 178 个菌株,经鉴定全部为 *F. graminearum*;从玉米茎腐病病样上共分离到 229 个菌株,分别属于 3 个种:*F. verticillioides* 占 53.7%,为优势种;其次为 *F. graminearum*,占 26.6%;最少的是 *F. proliferatum*,仅占 19.7%(表 2)。从不同地点镰孢菌的种群结构来看,漯河、驻马店、许昌三地的小麦—玉米轮作田中,小麦寄主上分离到的均为 *F. graminearum*,可见 *F. graminearum* 是小麦上的优势种群;玉米寄主上分离到 3 个种,但

3 块采样田均以 *F. verticillioides* 所占比例最多,可见 *F. verticillioides* 是玉米上的优势种群。通过以上分析可见,3 块采样田的镰孢菌种群结构基本相似。

表 2 小麦—玉米轮作田不同田块小麦、玉米镰孢菌群体组成 个

地区	小麦田	玉米田		
	<i>F. graminearum</i>	<i>F. graminearum</i>	<i>F. verticillioides</i>	<i>F. proliferatum</i>
漯河	59	25	48	16
驻马店	59	20	45	10
许昌	60	16	30	19
合计	178	61	123	45

2.2 受试菌株对小麦的致病性测定

将选择的代表性菌株接种到田间小麦麦穗上,调查小麦赤霉病的病情,以病情指数的高低表示菌株致病力的强弱,病情指数越高则相应菌株的致病力越强。

方差分析结果表明,12 个菌株与对照间,*F. graminearum*、*F. verticillioides* 和 *F. proliferatum* 3 个种与对照间的致病力差异均达到极显著水平($P<0.01$)(表 3)。*F. graminearum* 种内 6 个菌株间的致病力差异亦达到极显著水平($P<0.01$),而 *F. proliferatum*、*F. verticillioides* 2 个种内 3 个菌株间致病力差异则均不显著($P>0.05$)。

表 3 田间小麦接种试验结果方差分析

变异来源	DF	赤霉病病情指数	
		MS	F
重复间	2	52.85	1.49
菌株与对照间	12	1 001.10	28.18 **
种与对照间	3	2 967.01	83.51 **
<i>F. graminearum</i> 种内菌株间	5	621.22	17.49 **
<i>F. proliferatum</i> 种内菌株间	2	0.00	0.00
<i>F. verticillioides</i> 种内菌株间	2	3.00	0.08
误差	24	35.53	

注: ** 表示 P 值 <0.01 , * 表示 P 值 <0.05 。下同

F. graminearum、*F. verticillioides* 和 *F. proliferatum* 对小麦的致病性测定结果表明,*F. graminearum* 致病力显著强于 *F. proliferatum* 和 *F. verticillioides* (表 4),三者导致的病情指数分别为 45.83、20.00、20.58。*F. graminearum* 种内不同菌株的致病性测定结果表明,来自漯河小麦上的菌株 L2C 致病力最强,导致的病情指数为 68.00;而来自驻马店小麦上的菌株 M1A 致病力最弱,导致的病情指数为 26.00;即使是同样来自许昌玉米上的 3 个菌株,其致病力也存在明显差异,如 CaQ-3 的致病力显著强于 CcH-1(表 5)。

来自小麦和来自玉米的 *F. graminearum* 间致病后的病情指数较来自玉米的 *F. graminearum* 高,但力比较表明,虽然来自小麦的 *F. graminearum* 接种两者间并没有显著性差异($P>0.05$)(表 6)。

表 4 镰孢菌 3 个种对田间小麦及盆栽玉米的致病性

镰孢菌	小麦赤霉病	玉米						
	病情指数	出苗率/%	死苗率/%	株高/cm	根长/cm	整株质量/g	根部质量/g	根腐病级
<i>F. graminearum</i>	45.83a	97.92a	8.33a	20.93c	25.02b	3.96c	1.67c	2.40a
<i>F. proliferatum</i>	20.00b	98.96a	5.21a	25.93ab	28.36b	6.29b	2.72b	1.68b
<i>F. verticillioides</i>	20.58b	97.92a	7.74a	23.46bc	27.53b	5.33b	2.20bc	1.71b
对照	0.00c	100.00a	0.00a	27.05a	49.05a	10.40a	5.76a	0.00c

注:同列数据后不同字母表示 $P<0.05$,表 6 同。

表 5 镰孢菌 3 个种内不同菌株对田间小麦及盆栽玉米的致病性

镰孢菌	菌株	小麦赤霉病	玉米						
		病情指数	出苗率/%	死苗率/%	株高/cm	根长/cm	整株质量/g	根部质量/g	根腐病级
<i>F. graminearum</i>	CaN-1	42.07bc	100.00a	9.38ab	19.35bc	25.68ab	3.23bc	1.38b	2.30ab
	CaQ-3	51.27b	100.00a	12.50ab	16.85c	19.18b	2.37c	0.94b	2.70a
	CeH-1	36.80c	93.75b	0.00b	24.63a	34.35a	5.91a	2.71a	1.70b
	L2C	68.00a	96.88ab	6.25ab	19.68bc	24.05b	3.39bc	1.49b	2.65a
	M1A	26.00d	100.00a	21.88a	22.90ab	21.65b	4.43ab	1.67b	2.70a
	C3H	50.87b	96.88ab	0.00b	22.15ab	25.23b	4.43ab	1.84ab	2.38a
<i>F. proliferatum</i>	CbB-2	20.00a	100.00a	0.00a	26.23a	28.58a	6.57a	3.01a	1.95a
	CaQ-1	20.00a	96.88a	15.63a	24.60a	26.45a	5.97a	2.36a	1.83ab
	CeG-2	20.00a	100.00a	0.00a	26.95a	30.05a	6.35a	2.81a	1.25b
<i>F. verticillioides</i>	CaE-2	20.00a	100.00a	12.50a	23.55a	25.25a	5.37a	2.14a	1.63ab
	CbA-1	20.00a	96.88a	0.00a	25.35a	29.00a	6.03a	2.60a	1.40b
	CcC-3	21.73a	96.88a	10.73a	21.48a	28.33a	4.60a	1.88a	2.10a

注:分别对每个种内的不同菌株处理进行比较,不同指标数据后不同字母表示 $P<0.05$ 。

表 6 不同寄主来源的 *F. graminearum* 致病性比较

寄主来源	小麦赤霉病	玉米						
	病情指数	出苗率/%	死苗率/%	株高/cm	根长/cm	整株质量/g	根部质量/g	根腐病级
玉米	43.38a	97.92a	7.29a	20.28b	26.40b	3.83b	1.68b	2.23a
小麦	48.29a	97.92a	9.38a	21.58b	23.64b	4.08b	1.66b	2.58a
对照	0.00b	100.00a	0.00a	27.05a	49.05a	10.40a	5.76a	0.00b

2.3 受试菌株对玉米的致病性测定

玉米盆栽接种试验调查中,出苗率、死苗率几次调查数据变化不大,均以最后一次调查的数据为准。

盆栽试验的方差分析结果表明,各处理在出苗率和死苗率 2 个性状上的差异均不显著($P>0.05$)(表 7),但在株高、根长、整株质量、根部质量、根腐病级这 5 个性状上,12 个菌株与对照间、3 个种与对照间

则均表现极显著差异($P<0.01$),说明 3 个种对株高等 5 个性状均具有显著影响;*F. graminearum* 种内不同菌株对株高等 5 个性状的影响差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$),而 *F. proliferatum* 和 *F. verticillioides* 种内不同菌株对这 5 个性状的影响差异不显著($P>0.05$)。

表 7 玉米盆栽接种试验结果方差分析

变异来源	DF	出苗率/%		死苗率/%		株高/cm		根长/cm		整株质量/g		根部质量/g		根腐病级	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
重复间	3	27.04	1.47	91.07	0.45	3.16	0.43	8.94	0.23	2.48	1.46	0.64	1.36	0.11	0.58
菌株与对照间	12	17.03	0.93	223.29	1.11	39.48	5.40**	215.11	5.60**	16.22	9.54**	5.71	12.06**	2.22	11.58**
种与对照间	3	7.35	0.40	94.12	0.47	91.06	12.45**	662.40	17.24**	53.06	31.21**	19.85	41.87**	7.19	37.44**
<i>F. graminearum</i> 种内菌株间	5	26.04	1.42	276.04	1.37	31.79	4.35**	107.19	2.79*	6.12	3.60**	1.42	2.99*	0.59	3.09*
<i>F. proliferatum</i> 种内菌株间	2	13.02	0.71	325.52	1.62	5.79	0.79	13.10	0.34	0.36	0.21	0.45	0.94	0.56	2.90
<i>F. verticillioides</i> 种内菌株间	2	13.02	0.71	182.95	0.91	15.04	2.06	15.98	0.42	2.05	1.21	0.53	1.12	0.51	2.66
误差	36	18.36		201.11		7.31		38.41		1.70		0.47		0.19	

3个种间的比较结果表明,*F. graminearum*和*F. verticillioide*s均可使株高显著降低,同时*F. graminearum*对株高的负面影响显著大于*F. proliferatum*,后者虽然也能使株高降低,但与对照相比差异并不显著(表4)。3个种均可使玉米苗的根长显著缩短,整株质量、根部质量显著减轻,其中对根长的影响种间差异不显著;对整株质量的负面影响,*F. graminearum*显著大于*F. proliferatum*和*F. verticillioide*s,而后二者间差异则不显著;对根部质量的负面影响,*F. graminearum*显著大于*F. proliferatum*,但与*F. verticillioide*s之间差异不显著。3个种的菌株均能够引起根腐,以*F. graminearum*接种引起的根腐最重,病级与*F. proliferatum*和*F. verticillioide*s引起的根腐间差异显著,而后两者间差异则不显著。从对株高、根长、整株质量、根部质量的影响及造成根腐的程度而论,3个种中*F. graminearum*对玉米生长的影响及引起根腐的致病力显然最强。

种内各菌株间比较表明,*F. proliferatum*和*F. verticillioide*s种内各菌株对除根腐病级外6个测量性状的影响差异均不显著;*F. graminearum*种内6个菌株中,来自许昌玉米上的菌株CaQ-3对株高、根长、整株质量、根部质量、根腐病级5个性状的负面影响均最大,而同样来自许昌玉米上的菌株CeH-1对以上5个性状的影响则最小,这2个菌株间存在显著性差异(表5)。

来自小麦和玉米的*F. graminearum*比较结果表明,虽然来自小麦的*F. graminearum*接种后的根腐病级较来自玉米的*F. graminearum*在数值上略高,但两者间的差异不显著($P > 0.05$)(表6);两者对出苗率的影响在数值上相同,虽然对死苗率、株高、根长、整株质量、根部质量5个性状的影响在数值上各有高低,但其差异均不显著($P > 0.05$)。

3 结论与讨论

本研究从许昌、漯河、驻马店三地的小麦—玉米轮作田内共分离、鉴定镰孢菌菌株407个,其中178个来自小麦赤霉病病样的菌株均为*F. graminearum*,而229个来自玉米茎腐病病样的菌株则包含了*F. graminearum*(26.6%)、*F. verticillioide*s(53.7%)、*F. proliferatum*(19.7%)3个种,其中以*F. verticillioide*s为优势种。3个种的种群结构与本实验室之前在河南省大面积取样的研究结果有差异^[9],这可能是由于本次采样地点仅限于每个地区选出1块小麦—玉米轮作田而造成的,也可能是取样方法不同造成的。

为比较不同种、不同寄主来源菌株对寄主生长的影响及致病力的强弱,从407个菌株中随机选择了12个代表性菌株进行了田间麦穗接种和玉米盆栽接种试验。田间接种试验的结果表明,12个镰孢菌菌株均能够侵染麦穗。3个种中,*F. graminearum*的致病力显著强于*F. verticillioide*s、*F. proliferatum*,且*F. graminearum*种中不同菌株的致病力差异显著。盆栽试验的结果表明,镰孢菌菌株对玉米的出苗率、死苗率并无显著性影响,但3个受试种均能够使玉米苗株高降低,根长缩短,整株质量、根部质量减轻,并引发根腐,各性状与对照相比差异均达到显著水平(*F. proliferatum*处理株高除外)。在3个种中,*F. graminearum*对上述性状的影响显著大于*F. verticillioide*s、*F. proliferatum*,这与田间小麦接种试验的结果一致。

在田间小麦接种与玉米盆栽接种试验中,*F. graminearum*种内不同菌株对寄主生长的影响并不相同,而*F. verticillioide*s、*F. proliferatum*种内不同菌株则未表现出显著性差异。这可能是由于试验中*F. verticillioide*s、*F. proliferatum*菌株表现出的致病力均较弱,从而无法在当前的试验测量条件下显示出差异。

在小麦和玉米上都分离到的镰孢菌只有*F. graminearum*。张志博等^[8]认为,来源不同的*F. graminearum*致病力差异明显,来源于小麦的*F. graminearum*菌株致病力强于来源于玉米的*F. graminearum*菌株。本研究在比较不同寄主来源的*F. graminearum*致病力差异时,针对不同寄主来源的*F. graminearum*菌株群体进行了方差分析及多重比较,虽然从赤霉病病情指数及玉米苗根腐病级数值大小上看,来自小麦的*F. graminearum*致病力略强于来自玉米的*F. graminearum*,但统计分析结果显示,二者间的差异不显著。得出不同结论的原因可能是,不同研究所用菌株个体间的致病力存在差异。

从轮作田分离到的3种镰孢菌中,来自玉米的*F. verticillioide*s、*F. proliferatum*2个种据报道仅能够引起玉米的茎基腐、苗枯、穗腐、鞘腐等病害^[2,15],虽然在本研究中这2个种也显示出了对小麦麦穗极弱的致病力,但并未从轮作田小麦病样上分离得到*F. verticillioide*s或*F. proliferatum*。徐雍皋等^[1]报道,串珠镰孢菌(*Fusarium moniliforme*,2003年该种名已更改为*F. verticillioide*s^[16]) 在赤霉病样分离菌株中所占比例极低,致病力也较弱,为小麦赤霉病的次要致病种,本研究的结果与上述报道相符。

从本研究的结果可以看到,来自小麦—玉米轮

作田的菌株中, *F. graminearum* 不论其原始寄主来源是小麦还是玉米, 均能够侵染小麦和玉米 2 种寄主, 证明在小麦—玉米轮作模式中, 前茬作物发病后, 其病原菌很可能在适宜条件下继续侵染后茬作物, 从而加重小麦赤霉病、玉米茎腐病等病害的发生。这与张志博等^[8]的研究结果是一致的。而 *F. verticillioides* 和 *F. proliferatum* 对小麦的致病力极弱, 对轮作田小麦赤霉病的发生可能影响不大。在轮作模式中镰孢菌如何实现在小麦和玉米之间进行传播, 传播的方式、部位以及传播效率、影响条件等均尚未明确, 要揭示轮作田病害加重的机制, 仍需进行更深入的研究。

参考文献:

[1] 徐雍皋, 陈利锋. 小麦赤霉病防治理论与实践 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1993.

[2] 王晓鸣, 石洁, 晋齐鸣, 等. 玉米病虫害田间手册——病虫害鉴别与抗性鉴定 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010.

[3] 马秉元, 李亚玲, 段双科. 陕西省关中地区玉米青枯病病原菌及其致病性的研究 [J]. 植物病理学报, 1985, 15(3): 150-153.

[4] 白金铠, 尹志, 胡吉成. 东北玉米茎腐病病原的研究 [J]. 植物保护学报, 1988, 15(2): 93-98.

[5] Vogelgsang S, Hecher A, Musa T, et al. On-farm experiments over 5 years in a grain maize/winter wheat rotation: Effect of maize residue treatments on *Fusarium graminearum* infection and deoxynivalenol contamination in wheat [J]. Mycotoxin Research, 2011, 27: 81-96.

[6] Landschoot S, Audenaert K, Waegeman W, et al. Influence of maize-wheat rotation systems on *Fusarium* head blight infection and deoxynivalenol content in wheat under low versus high disease pressure [J]. Crop Protection, 2013,

52: 14-21.

[7] 唐琳, 赵辉, 高增贵. 河南省豫西地区农田土壤镰孢菌种群多样性分析 [J]. 华北农学报, 2012, 27(2): 202-206.

[8] 张志博, 高增贵, 张小飞, 等. 分离自小麦赤霉病和玉米茎基腐病的禾谷镰孢菌的致病性研究 [J]. 辽宁农业科学, 2010(6): 1-4.

[9] 孙静, 谢淑娜, 刘佳中, 等. 河南省玉米茎基部镰刀菌的形态和分子鉴定 [J]. 植物病理学报, 2014, 44(1): 8-16.

[10] Boutigny A L, Ward T J, Van Coller G J, et al. Analysis of the *Fusarium graminearum* species complex from wheat, barley, and maize in South Africa provides evidence of species-specific differences in host preference [J]. Fungal Genetics and Biology, 2011, 48: 914-920.

[11] Leslie J F, Summerell B A. The *Fusarium* laboratory manual [M]. Iowa, USA: Blackwell Publishing Professional, 2006.

[12] 徐雍皋, 方中达. 玉蜀黍赤霉对小麦品种致病力的测定方法和致病力的分化 [J]. 植物病理学报, 1982, 12(4): 53-57.

[13] 郝俊杰, 刘佳中, 孙静, 等. 杀菌剂种子处理对镰孢菌侵染玉米的影响 [J]. 玉米科学, 2013, 21(5): 120-126.

[14] Lamprecht S C, Tewoldemedhin Y T, Botha W J, et al. *Fusarium graminearum* species complex associated with maize crowns and roots in the KwaZulu-Natal province of South Africa [J]. Plant Disease, 2011, 95: 1153-1158.

[15] 卢维宏, 黄思良, 陶爱丽, 等. 玉米穗腐病样品中层出镰刀菌的分离与鉴定 [J]. 植物保护学报, 2011, 38(3): 233-239.

[16] 吕国忠, 赵志慧, 孙晓东, 等. 串珠镰孢菌种名的废弃及其与藤仓赤霉复合种的关系 [J]. 菌物学报, 2010, 29(1): 143-151.