

东北地区小麦赤霉病镰孢菌种群及其致病性测定

潘晓静,陈楠,姚远,刘限,高增贵

(沈阳农业大学 植物免疫研究所,辽宁 沈阳 110866)

摘要:为了明确东北地区小麦赤霉病镰孢菌的种群组成及分布,分别从辽宁省沈阳市、黑龙江省哈尔滨市和密山市、内蒙古自治区扎兰屯市、呼伦贝尔市和通辽市等地区采集小麦赤霉病病样,经单孢分离纯化共得到 118 株镰孢菌,传统形态学鉴定的基础上,采用基因组 DNA 的 EF-1 α 序列分析技术进行了镰孢菌种类的辅助鉴定,确定属于 7 个种:禾谷镰孢菌为优势种,分离频率为 64.41%,藤仓镰孢菌为次优势种,分离频率为 18.64%;燕麦镰孢菌、尖孢镰孢菌、木贼镰孢菌、锐顶镰孢菌和轮枝镰孢菌的分离频率分别为 5.08%,3.39%,3.39%,3.39%,1.70%。同时,在玉米成株期进行了致病性测定,结果表明,小麦赤霉病镰孢菌可以侵染玉米,较玉米茎腐镰孢菌的致病力低。

关键词:小麦赤霉病;镰孢菌;种群;致病性;EF-1 α 序列分析

中图分类号:S435.121 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)03-0205-06

doi:10.7668/hbxb.2015.03.035

Population and Pathogenicity of *Fusarium* spp. Causing Wheat Head Blight in Northeast of China

PAN Xiao-jing, CHEN Nan, YAO Yuan, LIU Xian, GAO Zeng-gui

(Institute of Plant Immunity, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: To determine population structure and distribution of *Fusarium* species causing head blight of wheat, 60 wheat samples showing symptoms of *Fusarium* head blight from 15 areas 8 cities and counties were collected in Northeast of China. A total of 118 *Fusarium* isolates were identified based on morphological characters and modern molecular systematics method. The results showed that 118 *Fusarium* isolates belong to 7 species, *Fusarium graminearum* was the most prevalent species, representing 64.41% of the total isolates, followed by *Fusarium fujikuroi*, representing 18.64%, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium acuminatum* and *Fusarium verticillioides* representing 5.08%, 3.39%, 3.39%, 3.39% and 1.70%. At the same time, their pathogenicity were determined in stem of adult-stage maize, the results showed that *Fusarium graminearum* isolated from wheat can infect maize, but the pathogenicity of *Fusarium graminearum* causing maize stalk rot were significantly greater than the *Fusarium graminearum* causing wheat head scab.

Key words: Wheat head blight; *Fusarium* spp.; Population; Pathogenicity; EF-1 α sequence analysis

小麦赤霉病,又称烂麦头、红麦头、麦穗枯^[1],是一种世界性的流行病害。多年来,国内外学者对小麦赤霉病的病原菌研究表明,小麦赤霉病的病原菌是由镰孢菌属的多种镰孢菌组成,国外报道有 17 个种^[2],中国报道有 15 个种,但在一个省区一般只有 1 到几个种^[3-7]。已有研究表明,小麦赤霉病原菌的种群组成与地理分布有关,病原菌在不同国家或不同地区的主要致病菌种类因地理生态环境差异

而有所不同^[8-9]。近年来,由于全球气候变暖、米麦轮作以及免耕技术的推广,小麦赤霉病在全世界各产区呈扩张趋势^[3],不同地区病原菌组成也因气候变暖、品种更替及免耕技术而有所变化。小麦赤霉病镰孢菌侵染小麦后不仅降低小麦产量,而且镰孢菌在侵染寄主的代谢过程中产生多种毒素,严重影响食品安全和人类健康^[10]。本研究对采集自东北地区以及河南地区的小麦赤霉病病穗上的镰孢菌进

收稿日期:2015-02-22

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201303016)

作者简介:潘晓静(1988-),女,内蒙古赤峰人,在读硕士,主要从事玉米病害研究。

通讯作者:高增贵(1966-),男,内蒙古准格尔人,研究员,博士,博士生导师,主要从事玉米病害研究。

行分离鉴定,明确病原菌的种群分布以及地区之间的差异;同时,为了明确种间致病性差异以及小麦赤霉病与玉米茎腐病镰孢菌之间的相关性,将小麦赤霉病镰孢菌接种到玉米植株,成株期观察镰孢菌侵染情况。

1 材料和方法

1.1 病害样本采集

2013 年分别从辽宁省沈阳市、黑龙江省哈尔滨市、密山市、内蒙古自治区扎兰屯市、呼伦贝尔市、通辽市以及河南省郑州市、安阳市等 15 个市县 28 个地区采集小麦赤霉病病标样 60 份。

1.2 镰孢菌分离培养与形态学鉴定

镰孢菌分离采用杨晓贺等^[11]组织分离法,有所改进。经过组织分离、单孢纯化,共获得镰孢菌 118 株。根据在 PDA 和 SNA(合成低营养培养基:蒸馏水 1 L,KH₂PO₄ 1.0 g,KNO₃ 1.0 g,MgSO₄·7H₂O 0.5 g,KCl 0.5 g,蔗糖 0.2 g,葡萄糖 0.2 g,琼脂 20 g) 2 种培养基上培养(25 ℃ 恒温光照培养箱内 12 h 光照与黑暗交替培养,记录 PDA 上培养 4,7 d 的菌落直径、颜色)性状进行镰孢菌种形态学鉴定。观察记载菌落正反面颜色变化,大、小型分生孢子形状及着生方式等。形态学鉴定按照 Booth^[12]、Gerlach^[13]、Nelson^[14]、Brayford^[15]等^[16-20]的分类系统,结合《浙江镰刀菌志》及其他鉴定方法对镰孢菌菌株进行形态学鉴定,同时计算镰孢菌不同种的分离频率。镰孢菌各种的分离频率=(鉴定出镰孢菌不同种的菌株数/分离的镰孢菌总数)×100%。供试菌株根据采集地的地名和年代进行编号,字母为地名拼音缩写,如 SY13001、HEB13001、MS13001、ZLT13001、HLBE13001、TL13001、ZZ13001、AY13001 分别代表病株采集地为沈阳、哈尔滨、密山、扎兰屯、呼伦贝尔、通辽、郑州、安阳,13 代表采集时间为 2013 年。

1.3 镰孢菌的分子辅助鉴定

在获得的 118 株菌中,从中选取病菌形态学和培养性状相同或相似的具有代表性的 21 株菌进行 EF-1 α 基因序列比对。采用植物 DNA 提取试剂盒,以进行供试镰孢菌株基因 DNA 的提取。EF-1 α 序列分析采用 2 对引物 EF1/EF2、EF-1H/EF-2T(表 1)。PCR 反应条件:94 ℃ 预变性 2 min;94 ℃ 变性 30 s,55 ℃ 退火 30 s,72 ℃ 延伸 1 min,35 个循环;72 ℃ 延伸 10 min,4 ℃ 保存。PCR 反应体系 25 μ L(表 2)。PCR 扩增产物由上海生工生物工程技术服务有限公司进行单向测序将 EF-1 α 基因测序结果与 GenBank 中 *Fusarium* 序列进行比对,用 MEGA

4.0 软件构建系统发育树。

表 1 PCR 扩增所需引物
Tab.1 The primers of PCR

引物 Primer	碱基序列(5'-3') Primer sequence
EF1	5'-ATGGGTAAGGAAGACAAGAC-3'
EF2	5'-GGAAGTACCAGTGATCATGTT-3'
EF-1H	5'-ATGGGTAAGGAAGACAAGAC-3'
EF-2T	5'-GGAAGTACCAGTGATCATGTT-3'

表 2 PCR 反应体系
Tab.2 The PCR reaction system

试剂名称 Name of the reagent	体系所需体积/ μ L Volume of the system requirements
DNA	1
Mix	12.5
EF1	1
EF2	1
ddH ₂ O	补足至 25

1.4 镰孢菌的致病力测定

玉米茎腐病禾谷镰孢菌为对照菌,分别采集自辽宁省阜新市和营口市、吉林省白城市和黑龙江省哈尔滨市和齐齐哈尔市。

镰孢菌致病力采用田间玉米成株期测定。供试菌株为小麦赤霉病禾谷镰孢菌和玉米茎腐病禾谷镰孢菌。病菌的繁殖:将平板培养基培养的镰孢菌接种于经高压灭菌的麦粒上(麦粒培养基制备方法:麦粒经煮 20 min 后,装入三角瓶中于 121 ℃ 下灭菌 1 h,冷却后备用);在 25 ℃ 下黑暗培养。培养 5~7 d 后,用力摇动三角瓶,使已生长菌丝的麦粒和未长菌丝的麦粒混匀。菌丝长满后,将菌体倒出至浅盘中,黑光灯下继续培养 5~7 d。然后在太阳下晒干,保存用于接种。

供试玉米品种为先玉 335。玉米种子用 0.1% 升汞表面消毒处理后进行播种,田间正常管理,7 月初(抽雄前期)茎基部地上 2 节打孔接菌,每孔接 3 粒,每个菌株接 30 株,以玉米茎基部打孔不接菌作为对照。9 月中下旬纵向刨秆调查玉米茎部的发病程度,计算发病率和病情指数。

玉米茎腐病调查标准:1 级在接种节间内,不超过接种节间区域(HR);3 级侵染在 2 个节间内(R);5 级多于 2 个节间(MR);7 级多于 3 个节间被侵染,有时接种发病部位明显产生褐变,并有孢子霉层产生(S);9 级多于 3 个节间被侵染、倒伏、近于死(HS)。

2 结果与分析

2.1 形态学鉴定

从东北地区 and 河南采集的 60 份小麦赤霉病标

样中共分离获得镰孢菌 118 株,根据形态学鉴定^[21]及 EF-1 α 基因序列分析,确定属于 7 个种,其中禾谷镰孢菌 76 株、燕麦镰孢菌 6 株、藤仓镰孢菌 22 株、木贼镰孢菌 4 株、尖孢镰孢菌 4 株、锐顶镰孢菌 4 株、轮枝镰孢菌 2 株。

- 形态鉴定结果如下:
- 禾谷镰孢菌(*Fusarium graminearum*):PDA 上气生菌丝棉絮状,比较密,白色至黄色,有时中央有黄色菌丝区;PDA 基质反面浅锦葵红、深洋红。
- 燕麦镰孢菌(*Fusarium avenaceum*):PDA 上气生菌丝细丝状-茸状,较密,白色至棕黄色;PDA 基质反面白色至黄色。
- 藤仓镰孢菌(*Fusarium fujikuroi*):PDA 上菌丝丝绒状至粉状,粉色或白色;菌落背面持续白色,后期产生紫色色素。
- 木贼镰孢菌(*Fusarium equiseti*):PDA 上气生菌丝絮状,紧密,白色,后变为棕黄色到褐色;PDA 基质反面为棕黄色。

表 3 小麦籽粒贮藏镰孢菌种类及分布
Tab.3 *Fusarium* Species and distribution from wheat grain

镰孢菌 <i>Fusarium</i> species	病样采集地点 Disease sample collection site	分离频率/% Site isolation rate
禾谷镰孢菌 <i>Fusarium graminearum</i>	沈阳、哈尔滨、呼伦贝尔、通辽、密山扎兰屯、安阳、郑州	64. 41
藤仓镰孢菌 <i>Fusarium fujikuroi</i>	呼伦贝尔、通辽、密山、扎兰屯、郑州	18. 64
尖孢镰孢菌 <i>Fusarium oxysporum</i>	通辽	3. 39
木贼镰孢菌 <i>Fusarium equiseti</i>	密山	3. 39
燕麦镰孢菌 <i>Fusarium avenaceum</i>	呼伦贝尔、安阳	5. 08
轮枝镰孢菌 <i>Fusarium verticillioides</i>	通辽	1. 70
锐顶镰孢菌 <i>Fusarium acuminatum</i>	密山	3. 39

2.2 PCR 扩增及 DNA 序列分析

使用特异性引物 EF1/EF2、EF-1H/EF-2T,从 118 株单孢分离的菌株中选取具有代表性的 34 株菌进行延长因子区域扩增,电泳检测图谱见图 1。从图谱可见均能扩出如预期大小的单一目的条带,延长因子(EF-1 α)引物将供试菌株扩增出了约 750 bp 长的基因片段,电泳检测图谱从左至右分别是 HLBE13001、MS13001、ZZ13001、TL13002、ZLT13002、ZLT13005、HLBE13002、MS13002、ZZ13002、TL13004、

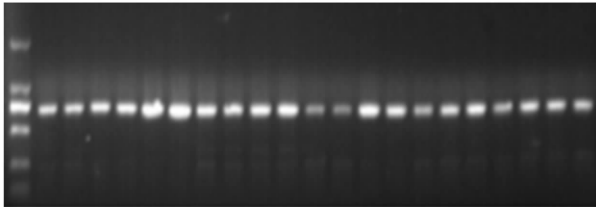


图 1 电泳检测图谱
Fig.1 Electrophoresis detection map

- 尖孢镰孢菌(*Fusarium oxysporum*):PDA 上菌株之间形态差异较大,气生菌丝白色,粉色至紫色,丝绒状,羊毛状至毡状,培养基表面无色或淡紫色;菌落背面粉色或紫色。
- 锐顶镰孢菌(*Fusarium acuminatum*):PDA 上气生菌丝茂盛;桃红色,棉絮状,后期菌落部分菌丝可变成黄棕色;菌落背面紫红色。
- 轮枝镰孢菌(*Fusarium verticillioides*):PDA 上菌丝白色或粉色,菌落表面粗糙,在后期产生紫色色素,使菌落成蓝紫色至灰紫色;菌落背面蓝紫色。
- 分离频率分别为:禾谷镰孢菌为 64. 41%,藤仓镰孢菌为 18. 64%;燕麦镰孢菌、尖孢镰孢菌、木贼镰孢菌、锐顶镰孢菌和轮枝镰孢菌分别为 5. 08%, 3. 39%, 3. 39%, 3. 39% 和 1. 70%。通过对各镰孢菌的分离频率进行比较发现,禾谷镰孢菌的分离频率最大,为东北地区以及河南地区小麦赤霉病的优势种,轮枝镰孢菌的分离频率最小(表 3)。

TL13001、MS13003、HLBE13003、AY13001、HLBE13004、HLBE13005、MS13004、MS13005、SY13001、HEB13007、SY13005。将分离得到的镰孢菌菌株进行 EF-1 α 序列分析,分别在 NCBI 数据库及镰孢菌数据库 FUSARIUMID^[22]中对序列进行 Blast 比对,并绘制系统发育树(图 2),结果表明,供试菌株可分为 7 组,第 1 组的 HLBE13001 菌株、MS13001 菌株、ZZ13001 菌株、TL13002 菌株、ZLT13002 菌株、HLBE13002 菌株、MS13002 菌株、ZZ13002 菌株、ZLT13005 菌株均为藤仓镰孢菌;第 2 组 TL13004 菌株为尖孢镰孢菌;第 3 组的 TL13001 菌株为轮枝镰孢菌;第 4 组的 MS13003 菌株为锐顶镰孢菌;第 5 组的 HLBE13003 菌株、HLBE13004 菌株、HLBE13005 菌株、AY13001 菌株为燕麦镰孢菌;第 6 组的 MS13004 菌株、MS13005 菌株为木贼镰孢菌;第 7 组的 SY13001 菌株、HEB13007 菌株、SY13005 菌株、SY13002 菌株、MS13006 菌株、TL13003 菌株、SY13004 菌株、HL-

BE13006 菌株、SY13006 菌株、ZLT13006 菌株、
TL13005 菌株、HEB13003 菌株、ZLT13001 菌株、HL-

BE13007 菌株、AY13002 菌株、ZZ13003 菌株的同源
性为 99% ,16 株菌均为禾谷镰孢菌。

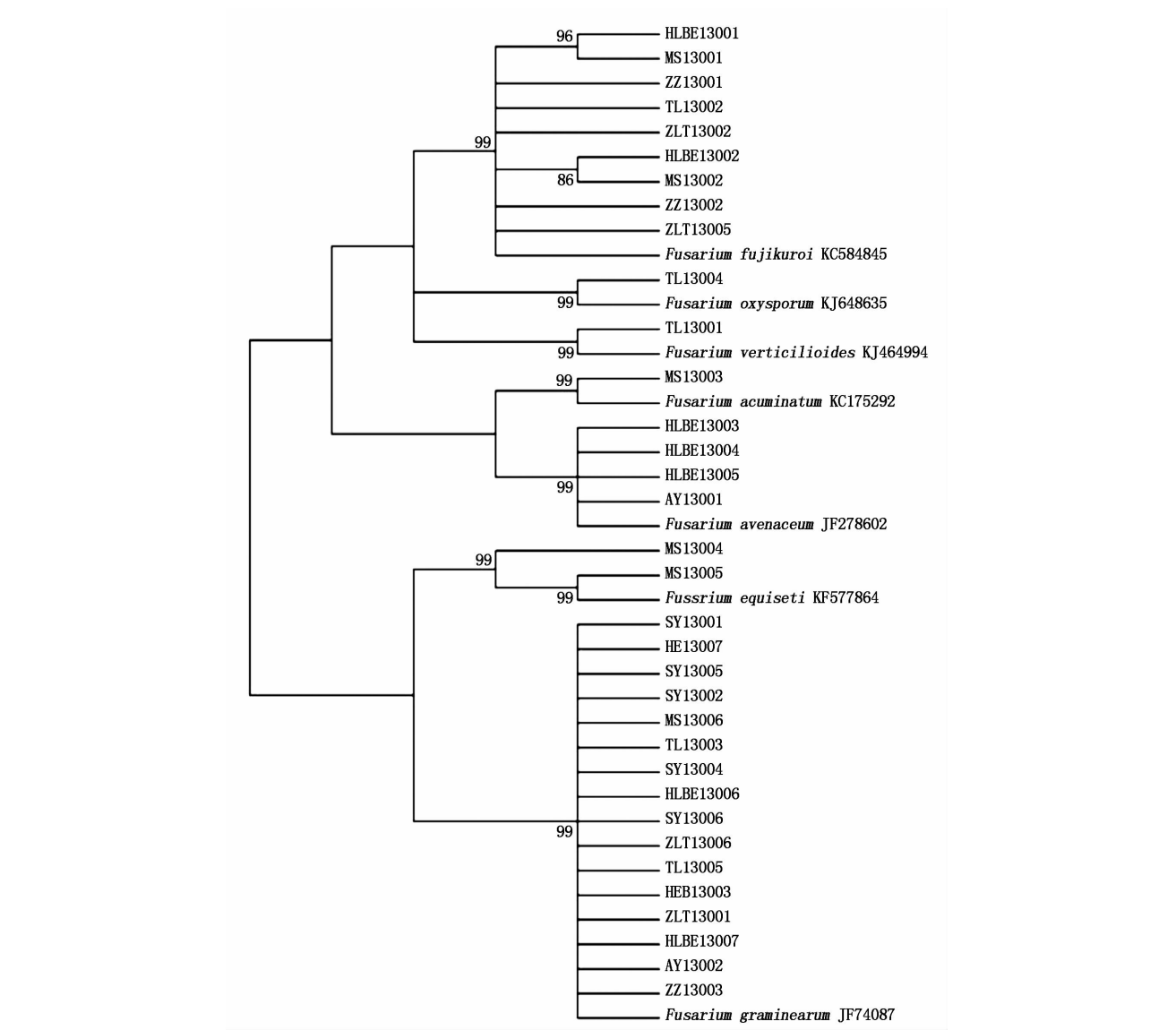


图 2 基于 EF-1α 测序结果的系统进化树

Fig. 2 The phylogenetic tree based on EF-1 alpha sequence

2.3 小麦赤霉病镰孢菌的致病性测定结果

致病性测定结果如表 4 所示,所有供试菌株对玉米均有致病性,均表现为玉米茎基部变褐,没有接种镰孢菌的对照茎基部虽然变褐,但未向上或向下茎节扩展,经鉴定其致病菌并非镰孢菌。小麦赤霉病菌的病情指数最高的是 SY13005、ZLT13006、TL13005,病情指数均为 58,玉米茎腐病菌的病情指数最高的是 QQHE13001,病情指数为 65,且玉米茎腐病镰孢菌的病情指数全部大于 60,表明来源于玉米茎腐病的镰孢菌的致病力较来源于小麦赤霉病镰孢菌的致病力强。禾谷镰孢菌的菌株间致病力存在明显差异,来源于小麦赤霉病的菌株间差异较大,而来源于玉米茎腐病的菌株间差异较小。

3 讨论

研究植物病原物的种群组成及变化,在病害的预防和抗病育种等方面均有重要的意义。本研究从东北地区及河南地区收集镰孢菌菌株 118 株,通过形态学观察和分子生物学辅助手段,共鉴定出 7 个种,它们分别是禾谷镰孢菌、燕麦镰孢菌、藤仓镰孢菌、木贼镰孢菌、尖孢镰孢菌、锐顶镰孢菌、轮枝镰孢菌。但是不同的地区分离的镰孢菌的种类不同,种类所占比率差异也很大,这可能与当地的品种布局有关。研究表明,禾谷镰孢菌在种群中所占比例最高,而且分布在所有采样区,均是优势种,其他种尽管地区间有所不同,但由于分离频率较低,难于判定是否因地理生态差异造成。

表 4 禾谷镰孢菌的致病力测定

Tab. 4 The disease index of *Fusarium graminearum*

菌株 Isolates	采集地点 Area	病原菌来源 Source of isolates	病情指数 Disease index	差异显著性 Significance of difference	
				0. 05	0. 01
SY13001	沈阳	小麦	42	fg	FG
AY13002	安阳	小麦	38	g	G
SY13008	沈阳	小麦	42	fg	FG
TL13006	通辽	小麦	47	defg	CDEFG
ZLT13001	扎兰屯	小麦	53	abcdef	ABCDEFGG
ZZ13003	郑州	小麦	53	bedef	ABCDEFGG
HLBE13006	呼伦贝尔	小麦	38	g	G
HLBE13007	呼伦贝尔	小麦	52	bedef	ABCDEFGG
MS13006	密山	小麦	48	cdefg	BCDEFG
MS13008	密山	小麦	45	efg	EFG
HEB13003	哈尔滨	小麦	46	efg	DEFG
MS13004	密山	小麦	45	fg	EFG
MS13010	密山	小麦	42	fg	FG
TL13003	通辽	小麦	39	g	G
ZLT13004	扎兰屯	小麦	38	g	G
ZLT13003	扎兰屯	小麦	52	bedef	ABCDEFGG
HEB13007	哈尔滨 37	小麦	47	cdefg	CDEFG
SY13002	沈阳	小麦	39	g	G
SY13008	沈阳	小麦	48	cdefg	BCDEFG
SY13004	沈阳	小麦	53	bedef	ABCDEFGG
SY13009	沈阳	小麦	44	fg	EFG
SY13005	沈阳	小麦	57	abcde	ABCDEF
MS13011	密山	小麦	52	bedef	ABCDEFGG
MS13012	密山	小麦	52	bedef	ABCDEFGG
SY13005	沈阳	小麦	58	abc	ABCDE
MS13014	密山	小麦	57	abcde	ABCDEF
ZLT13006	扎兰屯	小麦	58	ab	ABCD
TL13005	通辽	小麦	58	abcd	ABCDE
FX13001	阜新	玉米	61	ab	ABCD
BC13001	白城	玉米	61	ab	ABC
YK13001	营口	玉米	63	ab	AB
QQHE13001	齐齐哈尔	玉米	65	a	A
HRB13001	哈尔滨	玉米	60	abc	ABCDE

形态学鉴定方法一直是镰孢菌属分种的主要手段,但是由于镰孢菌属真菌的形态特征多样,不同的培养条件呈现出不同的形态,近似类群多,仅仅依靠传统的形态学方法很难对形态和培养特性近似的种类进行鉴定。近年来,分子生物学鉴定分类技术迅速发展,核基因组 rDNA 和 EF-1 α 延伸因子等技术应用较多^[23]。O'Donnell 等^[24] 研究认为,许多镰孢菌的 ITS2 区具有非定向进化同源基因的拷贝,这可能导致不正确的系统发育分析。因此,在确定种的分类地位和系统发育地位时,rDNA 全序列分析要结合其他基因序列 DNA-DNA 同源性分析。EF-1 α 基因编码的产物是在真核生物蛋白合成的延伸阶段

起作用的一个辅助蛋白因子,在镰孢菌种的水平信息量丰富并且在基因中没有发现非定向进化同源基因的拷贝,EF-1 α 基因是一个带有内含子的单拷贝核基因,在近源种之间甚至比具有丰富内含子的编码蛋白基因如钙调素、 β -微管蛋白和组蛋白三基因具有更高水平的序列多态性。EF-1 α 基因已经成为镰孢菌中单位点鉴定的工具^[25]。因此,本研究采用 EF-1 α 基因序列来对镰孢菌进行分类鉴定。测序结果表明,传统的形态学分类方法与分子生物学方法所得到的结果基本一致,进一步验证了依据形态学特征鉴定的正确性。因为镰孢菌的形态特征容易因外部的环境变化而变化,具有不稳定性,而且以形态

学所建立的分类系统也难以准确反映其系统发育关系^[26-27]。因此,利用分子生物学方法对镰孢菌进行分类,可以避免依据形态学特征鉴定带来的误差。

本研究将分离自小麦赤霉病和玉米茎腐上的禾谷镰孢菌接种到玉米上,观察玉米的成株期发病程度,发现两者均能侵染玉米,这表明禾谷镰孢菌对不同寄主都可以侵染,在农业生产过程中,前茬作物收获后,带病残株遗留在地上通过土地深耕将病原菌混入土中,病原菌越冬或越夏后遇到合适的环境条件侵染下茬作物,这可能是小麦赤霉病和玉米茎腐病越来越严重的原因之一。

参考文献:

- [1] 邓祖喜. 小麦栽培与病虫害防治[M]. 北京:科学普及出版社,1998:52-57.
- [2] 李国太,阎峻,王芸,等. 甘肃省蟑螂种群组成与区系调查研究[J]. 中华卫生杀虫药械,2008,14(3):111-113.
- [3] 陆维忠,程顺和,王裕中. 小麦赤霉病研究[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [4] 全国小麦赤霉病研究协作组. 我国小麦赤霉病穗部镰孢菌种类、分布及致病性[J]. 上海师范学院学报:自然科学版,1984(3):69-82.
- [5] 李克昌. 小麦赤霉病及其防治[M]. 2版. 上海:上海科学技术出版社,1982.
- [6] 陈鸿逵,王拱辰,梁训义. 镰孢菌研究:浙江省大小麦赤霉病穗上的镰孢菌种及其致病性[J]. 植物病理学报,1982,12(3):3-14.
- [7] 陈利锋,赵燕驹,马国良,等. 青海省小麦赤霉病致病菌的鉴定[J]. 南京农业大学学报,1996,19(2):116-118.
- [8] Daamen R A, Langerak C J, Stol W. Surveys of cereal disease and Pests in the Netherlands. III. *Monographella nivialis* and *Fusarium* spp, in winter wheat field[J]. Netherlands Journal of Plant Pathology, 1991, 97:105-114.
- [9] Parry D W, Jenkinso P J, Meled J. Fusarium ear blight (Seab) in small grain cereals-a review[J]. Plant Pathology, 1995, 44:207-238.
- [10] Zhang J B, Li H P, Dang F J, et al. Determination of the trichothecene mycotoxin chemotypes and associated geographical distribution and phylogenetic species of the *Fusarium graminearum* clade from China[J]. Mycological Research, 2007, 111 (Pt 8):967-975.
- [11] 杨晓贺,吕国忠,高晓梅,等. 东北地区保护地黄瓜根茎上真菌的分离与鉴定[J]. 菌物研究,2008,6(2):

88-91,95.

- [12] Booth C. 镰孢菌属[M]. 北京:农业出版社,1988:1-323.
- [13] Gerlach W, Nirenberg H I. The genus *Fusarium*-apictorial atlas[M]. Berlin-Dahlem (Heft 209): Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land-und Forstwirtschaft, 1982:1-406.
- [14] Nelson P E, Toussoun T A, Marasas W F O. *Fusarium*-species; an illustrated manual for identification[M]. University Park and London: The Pennsylvania State University Park, 1983:1-193.
- [15] Brayford D. The identification of *Fusarium* species[M]. UK: International Mycological Institute, 1993:1-119.
- [16] Leslie J F, Summerell B A. The *Fusarium* Laboratory Manual[M]. USA: Blackwell Publishing, 2006:1-388.
- [17] 王拱辰,郑重,叶琪明,等. 常见镰孢菌鉴定指南[M]. 北京:中国农业科技出版社,1996:1-97.
- [18] 陈鸿逵,王拱辰. 浙江镰孢菌志[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1992:1-71.
- [19] Ellis M B. Dematiaceous hyphomycetes: I[J]. Mycological Papers, 1960, 76:28-30.
- [20] Kirk P M, Cannon P F, David J C, et al. Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi[M]. 9th ed. Surrey: CABI International, 2001:1-665.
- [21] Summerell B A, Salleh B, Leslie J F. A utilitarian approach to *Fusarium* identification[J]. Plant Disease, 2003, 87(2):117-128.
- [22] Geiser D M, Jimenez-Gasco M M, Kang S, et al. FUSARIUM-ID v. 1.0: A DAN sequence database for identifying *Fusarium*[J]. European Journal of Plant Pathology, 2004, 110:473-479.
- [23] 吴学宏,韩鲁明,陈倩,等. 西瓜种传镰孢菌形态和分子鉴定及其对种子发芽的影响[J]. 植物病理学报, 2009, 39(2):118-124.
- [24] O'Donnell K, Cigelnik E, Nirenberg H I. Molecular systematics and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi* species complex of *Fusarium*[J]. Mycologia, 1998, 90:465-493.
- [25] 纪莉景. 中国不同生态地区禾谷镰孢菌种群分化及遗传多样性分析[D]. 保定:河北农业大学,2007.
- [26] 俞大绂. 镰孢菌分类学的意义[J]. 微生物学报, 1977, 17(2):163-171.
- [27] 张向民. 镰孢菌属分类学研究历史与现状[J]. 菌物研究, 2005, 3(2):59-62.