

# 甘肃省不同生态区小麦茎基腐病病原鉴定及其致病力分析

田晓明<sup>1</sup>, 蒋晶晶<sup>2</sup>, 张海英<sup>2</sup>, 王艺璇<sup>1</sup>, 李惠霞<sup>1</sup>, 刘永刚<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃兰州 730070)

**摘要:**为明确甘肃省不同生态区小麦茎基腐病病原种类组成及其致病力差异,于小麦灌浆至乳熟期在陇南徽成盆地、陇东旱塬、河西走廊绿洲灌区等11个县区22个采样点,采集具有小麦茎基腐病症状的病样40余份,采用组织分离法分离纯化病原真菌,根据菌株形态学、分子生物学特征鉴定病原,选取代表性菌株接种进行致病力测定。结果表明,从104个培养物中利用特异引物筛选得到76株镰孢菌。经形态学及TEF序列分析,从76株镰孢菌中鉴定出48株假禾谷镰孢菌 *Fusarium pseudograminearum* (占比63.2%)、10株禾谷镰孢菌 *F. graminearum* (占比13.2%)、8株中华镰孢菌 *F. sinensis* (占比10.5%)、6株木贼镰孢菌 *F. equiseti* (占比7.9%)和4株锐顶镰孢菌 *F. acuminatum* (占比5.2%)。不同菌株间致病性存在较大差异,假禾谷镰孢菌致病性最强,平均病情指数为84.37;禾谷镰孢菌次之,平均病情指数为67.06;木贼和中华镰孢菌的平均病情指数分别为66.83和33.97;锐顶镰孢菌致病力最弱,平均病情指数仅为17.83。综合来看,甘肃省小麦茎基腐病由5种病原菌引起,其中优势病原菌为假禾谷镰孢菌。

**关键词:** 甘肃; 小麦茎基腐病; 假禾谷镰孢菌; 致病力分析

中图分类号: S512.1; S435.12

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)12-1711-08

## Identification of Wheat Crown Rot Pathogens and Analysis of Their Pathogenicity in Different Ecological Zones of Gansu Province

TIAN Xiaoming<sup>1</sup>, JIANG Jingjing<sup>2</sup>, ZHANG Haiying<sup>2</sup>, WANG Yixuan<sup>1</sup>, LI Huixia<sup>1</sup>, LIU Yonggang<sup>1,2</sup>

(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** In order to clarify the pathogen composition and pathogenicity of wheat crown rot in different ecological regions of Gansu province, more than 40 samples with typical symptoms of wheat crown rot were collected from 22 sampling sites in 11 counties and districts, including Longnan Huicheng Basin, Longdong Dry Plateau and Hexi Irrigation District in Gansu Province from grain filling to milk ripening stage. The pathogens were isolated and purified by tissue separation method. The pathogens were identified by morphological and molecular biology, and the pathogenicity of representative strains were determined by inoculation. The results showed that 76 isolates of *Fusarium* were screened from 104 cultures by *Fusarium* specific primers, and identified by morphology and *TEF* sequences analysis. There were 48 isolates of *Fusarium pseudograminearum* (63.2%), 10 isolates of *F. graminearum* (13.2%), 8 isolates of *F. sinensis* (10.5%), 6 isolates of *F. equiseti* (7.9%), and 4 isolates of *F. acuminatum* (5.2%). The pathogenicity of these isolates were significantly different, among which, that of *F. pseudograminarum* was the strongest, with an average disease index of 84.37; *F. graminearum* was the second with an average disease index of 67.06; the mean disease index of *F.*

收稿日期: 2024-12-27 修回日期: 2025-02-26

基金项目: 甘肃省农业科学院区域协同创新专项(2024GAAS304); 国家重点研发计划项目(2024YFD1400400); 甘肃省重点人才项目(2023RCXM80); 甘肃省农业科学院创新专项(2023GAAS18)

第一作者 E-mail: 1628195018@qq.com(田晓明)

通讯作者 E-mail: lihx@gsau.edu.cn(李惠霞); liuyg@sagr.ac.cn(刘永刚)

*equiseti* and *F. sinensis* were 66.83 and 33.97, respectively. The pathogenicity of *F. acuminatum* was the weakest, with an average disease index of 17.83. Combined with the isolation frequency and pathogenicity, five pathogens were identified to cause wheat crown rot in Gansu province, among which the dominant pathogen is *F. pseudograminearum*.

**Keywords:** Gansu; Wheat crown rot; *Fusarium pseudograminearum*; Pathogenicity analysis

小麦茎基腐病又称小麦镰孢冠腐病(*Fusarium* crown rot, FCR),是世界范围内广泛分布的重要土传性病害,近年来已成为严重威胁小麦生产的重要病害之一<sup>[1]</sup>。自 2012 年河南首次发现以来<sup>[2]</sup>,受跨区联合收割、秸秆还田、连作等因素影响,FCR 在中国的发生呈范围扩大、危害程度加重的趋势。目前,该病在中国黄淮海麦区、西北麦区及长江中下游麦区均有报道,其危害在河南、山东、河北小麦主产区比较严重<sup>[3-9]</sup>,给各地区小麦生产造成较大损失。如在 2017—2021 年该病导致河南省小麦年均减产 3.6 万 t,最高年份减产 4.4 万 t<sup>[10-11]</sup>;2022—2023 年,其发病率最高可达 67%,导致小麦减产 20%,甚至高达 50%<sup>[12-14]</sup>。2015—2016 年在甘肃、宁夏、新疆等西北省份也发现 FCR<sup>[15]</sup>。

目前报道的小麦茎基腐病原菌较多,主要以假禾谷镰孢菌(*F. pseudograminearum*)和禾谷镰孢菌(*F. graminearum*)为优势致病菌,且以假禾谷镰孢菌的分布更为广泛<sup>[16-17]</sup>。据报道,该病在澳大利亚的优势病原菌为假禾谷镰孢菌<sup>[18]</sup>,部分南部地区为黄色镰孢菌(*F. culmorum*)<sup>[19]</sup>;在美国,则是由假禾谷镰孢菌、黄色镰孢菌和燕麦镰孢菌(*F. avenaceum*)复合侵染引起小麦茎基腐<sup>[20]</sup>。在中国不同地区的优势病原菌也存在一定差异。黄淮麦区小麦茎基腐病的优势病原菌为假禾谷镰孢菌<sup>[21-22]</sup>,但在江苏、安徽等地发现小麦茎基腐病原菌主要由禾谷镰孢菌和亚洲镰孢菌组成<sup>[23]</sup>。在西北地区,甘肃、宁夏、新疆和陕西的优势种也是假禾谷镰孢,其中陕西的假禾谷镰孢占总分离菌株的 89.73%<sup>[24]</sup>。此外,引起 FCR 的镰孢菌还有锐顶镰孢菌(*F. acuminatum*)、中华镰孢菌(*F. sinensis*)、亚洲镰孢菌(*F. asiaticum*)、木贼镰孢菌(*F. equiseti*)、层出镰孢菌(*F. proliferatum*)、三线镰孢菌(*F. tricinctum*)、燕麦镰孢菌(*F. avenaceum*)、黄色镰孢菌(*F. culmorum*)、尖孢镰孢菌(*F. oxysporum*)和茄病镰孢菌(*F. solani*)等,但占比相对较低<sup>[4,21]</sup>。

小麦是甘肃省重要的粮食作物。郭炜等<sup>[15]</sup>在甘肃中东部冬麦区和河西春麦区小范围采样分析,认为甘肃小麦 FCR 致病菌为假禾谷镰孢菌,但目前尚未见对甘肃省小麦 FCR 病原菌的系统分析。本研究将采样范围扩大到甘肃省陇南徽成盆地、陇东旱塬及河西走廊绿洲灌区 3 个不同生态区的 11 个县 22 个采样点,全面解析甘肃省小麦 FCR 的最新发生情况及不同生态区病原菌种类,并在温室盆栽条件下测定菌株对小麦幼苗的致病力,明确优势致病菌,以期为进一步评价主栽品种抗病性和病害的有效防控提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2023 年 5 月至 6 月小麦灌浆期至乳熟期于甘肃省陇南徽成盆地、陇东旱塬、河西走廊绿洲灌区等 11 个县 22 个采样点,采集具有典型 FCR 症状的病样 40 余份,将病株装入自封袋,放入冷藏箱带回实验室。每个采样点随机选择 5 株样品,采用马铃薯葡萄糖琼脂培养基(potato dextrose agar, PDA)、康乃馨叶片培养基(carnation leaf agar, CLA)和合成低营养琼脂培养基(synthetic low nutrient agar, SNA)<sup>[25]</sup>进行病原菌的分离培养及诱导产孢。选用小麦品种矮抗 58 对病原菌的致病力进行鉴定,小麦种子由甘肃省农业科学院植物保护研究所麦类作物病害研究室提供。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 病情调查方法

根据小麦 FCR 症状<sup>[26]</sup>进行田间发病情况调查,估算田间发病率。成株期调查方法参照现行地方标准 DB37/T 3404-2018<sup>[27]</sup>。

#### 1.2.2 病原菌的分离与纯化

采用组织分离法从发病组织处分离病原<sup>[28]</sup>:流动清水下冲洗病株茎基部 15 s 左右,在无菌超净工作台剪取约 5 mm 长的病健交界处组织,依次放入 75%酒精消毒 35 s,1%次氯酸钠溶液消毒 30 s,无菌水冲洗 3 次,将已消毒组织置于灭

菌滤纸,吸干其表面水分,用五点法均匀接于 PDA 培养基平板上,置于 25 °C 培养箱恒温培养 2~3 d,每隔 12 h 观察菌落生长情况,待组织边缘菌丝长出后,挑取少量转接至新的 PDA 平板上进行纯化,重复 3 次。

### 1.2.3 形态学鉴定

用打孔器在纯化培养的菌落边缘打取直径为 5 mm 的菌饼接种至 PDA 培养基,25 °C 恒温黑暗培养 7 d,观察菌落的颜色、气生菌丝等形态学特征。菌株接种至 CLA 和 SNA 培养基中,25 °C 下光照培养 15 d,观察大型分生孢子类型、形状、大小、隔膜个数,小型分生孢子及厚垣孢子有无、形态等性状,参考 Booth<sup>[29]</sup>、Leslie 和 Summerell<sup>[30]</sup> 的方法进行病原菌种的初步鉴定。

### 1.2.4 分子生物学鉴定

将纯化的菌株接种于表面平铺灭菌玻璃纸的 PDA 平板中央,25 °C 黑暗培养 5 d 后收集菌丝,采用真菌基因组 DNA 抽提试剂盒,提取病菌基因组 DNA。以病原 DNA 为模板,先用镰孢菌属通用引物 F<sub>1</sub> (5'-ATTACTCCAGCATCCTTGC-3') 和 F<sub>2</sub> (5'-TTTACAACCTCCCAAACCCC-3') 进行 PCR 扩增<sup>[31]</sup>,鉴定出镰孢属菌株,再用镰孢菌特异性引物 TEF-F (5'-ATGGGTAAGGAR-GACAAGAC-3') 和 TEF-R (5'-GGARGTAC-CAGTSATCATGTT-3') 进行 PCR 扩增<sup>[32]</sup>。PCR 反应体系:2×PCR Master Mix 12.5 μL, DNA 1 μL,引物各 1 μL,ddH<sub>2</sub>O 9.5 μL。PCR 扩增反应程序:94 °C 预变性 5 min; 94 °C 变性 30 s, F 引物(50 °C)/TEF 引物(57.5 °C)退火 30 s, 72 °C 延伸 1min, 35 个循环,最后 72 °C 延伸 10 min。用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 扩增产物后,将其送上海生工生物工程测序,所测结果在 NCBI 中进行 BLASTn 相似性比较。下载相似性大于 99% 及近缘种属序列,用 MEGA 7.0 软件进行多序列比对,以邻接法构建系统发育树。

### 1.2.5 病原菌的致病性测定

采用带菌麦粒培养基接种法对分离得到的菌株进行致病性测定<sup>[21]</sup>。挑选健康、饱满的小麦矮抗 58 种子,催芽 2 d 后,将发芽一致的麦粒与带菌麦粒培养基一起移入直径 10 cm 的塑料花盆中,带菌麦粒位于萌发种子下方 1 cm 处,以不接种麦粒作为对照,每个处理 3 次重复。将其置于 24~27 °C,湿度 80%,光照黑暗比 16:8 的人工气候箱培养。日常管理、观察并记录小麦幼苗生长

状况。接种 30 d 后,对小麦植株发病情况调查,并计算发病率和病情指数。室内盆栽 FCR 分级标准:0 级,整株健康无症状,1 级,植株第一叶鞘变褐,有轻微症状;3 级,植株第一叶鞘明显变褐或者变黑;5 级,植株第二叶鞘变褐或者变黑;7 级,植株第三叶鞘变褐或变黑;9 级,植株整株死亡。

### 1.3 数据处理

使用 DPS 7.5 对病情指数进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 甘肃省小麦茎基腐病发生情况

对甘肃省陇南徽成盆地、陇东旱塬及河西走廊绿洲灌区等 11 个县区 22 个采样点的麦茎基腐病调查结果显示,该病田间症状主要表现为茎基部褐变且部分植株形成枯白穗,发病率为 0~65.23%,病情指数为 0~88.57。其中,陇东旱源病田率最高,为 10.69%;其次为陇南盆地,为 9.56%;河西灌区病田率最低,为 8.33%。

### 2.2 小麦茎基腐病病原菌分离结果

利用组织分离法,对获得的 40 余份病样进行病原菌分离纯化,初步得到 104 个分离物。根据菌株在 CLA 培养基上形成的大型分生孢子和小型分生孢子形态特征,得到 76 个镰孢菌 (*Fusarium*) 菌株,占总菌株的 73.1% (表 1),其中陇东旱源 36 株,陇南徽成盆地 22 株,河西灌区 18 株,表明引起甘肃小麦茎基腐病的主要病原菌为镰孢菌属。

### 2.3 镰孢菌形态学鉴定

茎基腐病菌株之间在菌落颜色及分生孢子形态方面具有较大差异,具体可分为 5 类。

第 1 类包括 PQ16 等 48 株菌株,在 PDA 培养基上产气生菌丝且呈棉絮状,菌落呈现白色与红色的过渡色(图 1A<sub>1</sub>、图 1A<sub>2</sub>)。经 CLA 培养基培养后产大型分生孢子呈弯曲镰刀状,多为 3~5 个隔膜,产球形厚垣孢子,无小型分生孢子(图 1A<sub>3</sub>、图 1A<sub>4</sub>)。根据形态学特征这类菌株初步鉴定为假禾谷镰孢菌 (*F. pseudograminearum*)。

第 2 类包括 HC10 等 10 株菌株,在 PDA 培养基上菌丝白色,中央较致密,菌落呈粉红色(图 1B<sub>1</sub>、图 1B<sub>2</sub>)。经 CLA 培养基诱导,产生大型分生孢子呈镰刀形,3~5 个隔膜,小型分生孢子圆形或者卵形,单胞(图 1B<sub>3</sub>、图 1B<sub>4</sub>)。根据形态学特征初步将其鉴定为禾谷镰孢菌 (*F. graminearum*)。

表 1 甘肃省小麦茎基腐病采样信息和病原菌分离结果

Table 1 Information of samples and pathogen isolates of *Fusarium* crown rot in Gansu Province

生态区 Ecological region	县/区 County	镇 Town	海拔 Altitude/m	镰孢菌数量 Number of <i>Fusarium</i>	菌株编号 Strain number	
陇南 Longnan	徽县 Hui	永宁镇 Yongning	932.4	5	HC1, HC2	
		柳林镇 Liulin	1 053.6	2	HC3	
		泥阳镇 Niyang	1 072.1	3	HC10, HC11	
		伏家镇 Fujia	1 005.7	1	HC15	
		成县 Cheng	抛沙镇 Paosha	999.9	2	HC4, HC5
		陈院镇 Chenyuan	1 049.2	3	HC6, HC7	
		纸坊镇 Zhifang	1 068.0	2	HC8	
		黄陈镇 Huangchen	1 588.8	1	HC9	
		红川镇 Hongchuan	987.4	3	HC12-HC14	
	陇东 Longdong	静宁县 Jingning	李店镇 Lidian	1 360.3	2	PQ1
崆峒区 Kongtong		崆峒镇 Kongtong	1 316.6	7	PQ2-PQ6	
		崇信县 Chongxin	新窑镇 Xinyao	1 471.4	4	PQ7, PQ8
		锦屏镇 Jinping	1 124.1	3	PQ9, PQ10	
泾川县 Jingchuan		沛丰镇 Peifeng	1 061.4	5	PQ11, PQ12	
		太平镇 Taiping	1 362.9	4	PQ13, PQ14	
镇原县 Zhenyuan		屯字镇 Tunzi	1 361.5	3	PQ15	
		城关镇 Chengguan	1 060.3	3	PQ16	
		西峰区 Xifeng	太平镇 Taiping	1 335.3	3	PQ17, PQ18
董志镇 Dongzhi			1 344.7	2	PQ19	
河西 Hexi	凉州区 Liangzhou	长城镇 Changcheng	1 833.7	6	HX1-HX3	
	永昌县 Yongchang	河西堡镇 Hexibu	2 038.3	5	HX4, HX5	
	甘州区 Ganzhou	沙井镇 Shajing	1 514.9	7	HX6, HX7	

第 3 类包括 HC14 等 6 株菌株,在 PDA 培养基上产生均一的气生菌丝,呈绒毛状至毡状,菌丝中央致密,边缘稀疏,颜色由最初的白色到肉色,最终发展为黄色(图 1C<sub>1</sub>、图 1C<sub>2</sub>)。经 CLA 培养基诱导,大型分生孢子呈镰刀形,两端细尖向内弯曲,4~7 个横隔膜,以 5 个隔膜居多,厚垣孢子球形,成链状或单生于菌丝中,产孢细胞单瓶梗,有分支(图 1C<sub>3</sub>、图 1C<sub>4</sub>)。根据形态学特征初步将其鉴定为木贼镰孢菌(*F. equiseti*)。

第 4 类包括 PQ19 等 8 株菌株,在 PDA 培养基上气生菌丝绒毛状或絮状,菌落中央正面米色,背面浅红褐色,中间一圈为玫瑰色至胭脂红,边缘常为白色(图 1D<sub>1</sub>、图 1D<sub>2</sub>)。接种于 CLA 培养基更利于其产孢,大型分生孢子多呈镰刀状,或月牙状分隔数为 2 个及以上;SNA 培养基上小型分生孢子为壶形且短而肿胀(图 1D<sub>3</sub>、图 1D<sub>4</sub>)。根据形态学特征初步将其鉴定为中华镰孢菌(*F. sinensis*)。

第 5 类包括 HC13-4 等 4 株菌株,在 PDA 培养基上菌丝呈白色绒毛状,菌落背面玫红色(图

1E<sub>1</sub>、图 1E<sub>2</sub>)。大型分生孢子新月型,3~5 分隔,多数为 3 隔膜,小型分生孢子呈柠檬形或椭圆形,0~1 个分隔(图 1E<sub>3</sub>、图 1E<sub>4</sub>)。根据形态学特征初步将其鉴定为锐顶镰孢菌(*F. acuminatum*)。

### 2.4 病原菌分子生物学鉴定结果

利用镰孢菌属通用引物 F<sub>1</sub>/F<sub>2</sub> 从 104 个分离物中共筛选出 76 个镰孢属菌株,进一步验证了形态学鉴定的结果。通过 TEF 序列 PCR 扩增和序列比对并基于 TEF 序列系统发育树结果,初步将镰孢菌分为 5 种类型(图 2),代表性菌株 PQ16 (GenBank 登录号 PQ381626)与假禾谷镰孢菌(NRRRL 28062)聚在一支,遗传距离均小于 0.01,1 000 次重复自展支持率 100%,与形态学鉴定结果一致,将其鉴定为假禾谷镰孢菌 *F. pseudograminearum*;代表性菌株 HC10 (GenBank 登录号 PQ328882)与禾谷镰孢菌(CBS 130619)聚在一支,遗传距离均小于 0.01,1 000 次重复自展支持率为 76%,与形态学鉴定结果一致,将其鉴定为禾谷镰孢菌 *F. graminearum*;代表性菌株 HC14 (GenBank 登录号 PQ381627)与木贼镰孢

菌(CBS 307.94)的遗传距离均小于 0.01,1 000 次重复自展支持率为 100%,与形态学鉴定结果一致,将其鉴定为木贼镰孢菌 *F. equiseti*;代表性菌株 HC13-4(GenBank 登录号 PQ381628)与锐顶镰孢菌(NRRL 52789)遗传距离均小于 0.01,1 000 次重复自展支持率为 100%,与形态学鉴定结果一致,将其鉴定为锐顶镰孢菌 *F. acuminatum*;代表性菌株 PQ19(GenBank 登录号 PQ381629)与中华镰孢菌(CBS 122710)聚在一起,遗传距离均小于 0.01,1 000 次重复自展支持率为 100%,与形态学鉴定结果一致,将其鉴定为中华镰孢菌 *F. sinensis*。

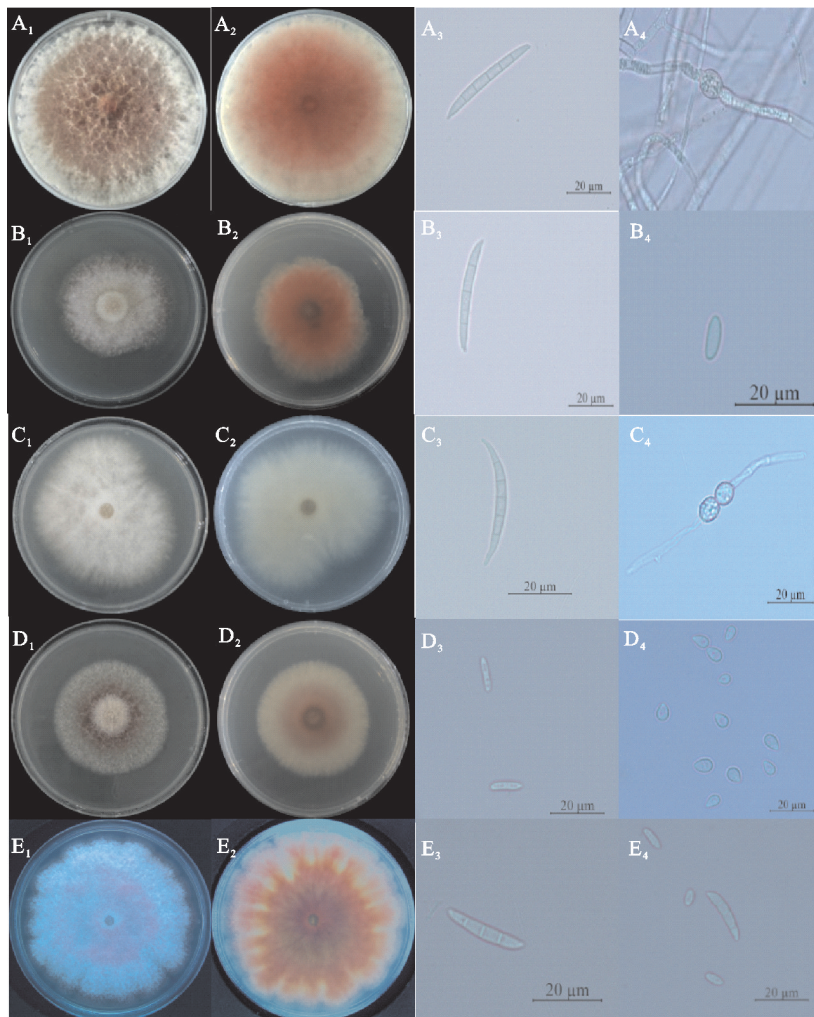
### 2.5 甘肃省不同生态区小麦茎基腐病原菌的种类组成及分布

经过形态学和分子生物学鉴定,甘肃省小麦

FCR 样品的 76 株镰孢菌中,假禾谷镰孢菌(*F. pseudograminearum*)有 48 株(占比 63.2%),禾谷镰孢菌(*F. graminearum*)有 10 株(占比 13.2%),中华镰孢菌(*F. sinensis*)有 8 株(占比 10.5%),木贼镰孢菌(*F. equiseti*)有 6 株(占比 7.9%),锐顶镰孢菌(*F. acuminatum*)有 4 株(占比 5.2%)。由此表明,假禾谷镰孢菌是甘肃省小麦茎基腐病的优势病原菌,在各生态区中假禾谷镰孢菌均占据优势地位,其中陇东旱塬假禾谷镰孢菌数量最多,陇东旱塬和陇南徽成盆地的病原菌种类最丰富(表 2)。

### 2.6 代表性菌株致病性测定

为明确不同种类镰孢菌对小麦幼苗的致病性差异,在分离的每个种中随机选取 3 个菌株开展小麦苗期致病力测定。结果表明,不同种的镰孢菌



A:假禾谷镰孢菌;B:禾谷镰孢菌;C:木贼镰孢菌;D:中华镰孢菌;E:锐顶镰孢菌;A<sub>1</sub>~E<sub>1</sub>:菌落正面;A<sub>2</sub>~E<sub>2</sub>:菌落背面;A<sub>3</sub>~E<sub>4</sub>:孢子形态。

A: *F. pseudograminearum*; B: *F. graminearum*; C: *F. equiseti*; D: *F. sinensis*; E: *F. acuminatum*; A<sub>1</sub>—E<sub>1</sub>: Colony obverse; A<sub>2</sub>—E<sub>2</sub>: Colony reverse; A<sub>3</sub>—E<sub>4</sub>: Spore morphology.

图 1 5 种镰孢菌菌落及分生孢子形态特征

Fig. 1 Colonies and morphological characteristics of conidia in five species of *Fusarium* spp.

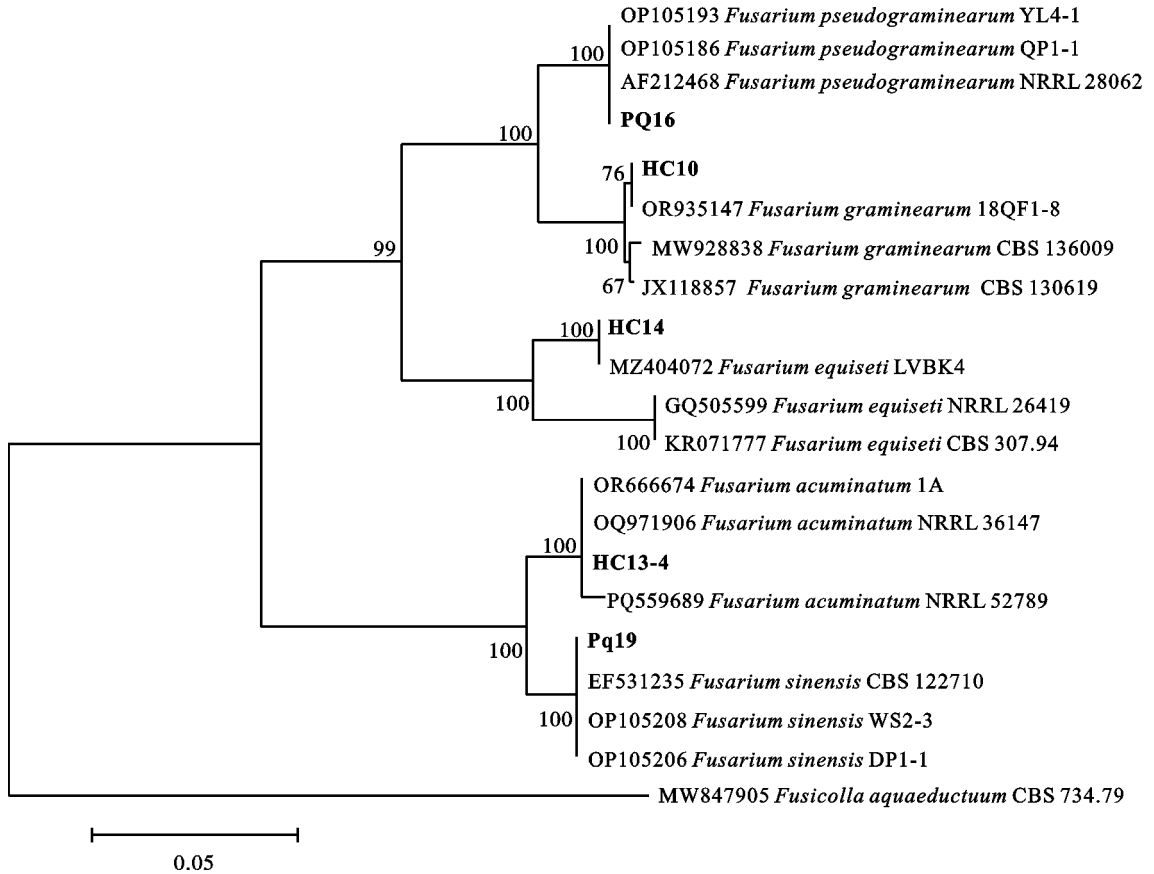


图 2 基于 *TEF* 基因序列构建的代表性菌株系统发育树

Fig. 2 Phylogenetic tree of representative strains based on *TEF* gene sequences

表 2 甘肃省不同地区小麦茎基腐病原菌的种类与数量

Table 2 Species and numbers of wheat crown rot pathogens in different regions of Gansu Province

采集地 Sampling site	假禾谷镰孢菌 <i>F. pseudograminearum</i>	禾谷镰孢菌 <i>F. graminearum</i>	中华镰孢菌 <i>F. sinensis</i>	木贼镰孢菌 <i>F. equiseti</i>	锐顶镰孢菌 <i>F. acuminatum</i>	分离总株数 Total isolated strains
陇东旱塬 Longdong	23	4	3	4	2	36
陇南盆地 Longnan	14	3	2	1	2	22
河西灌区 Hexi	11	3	3	1	0	18
总计 Total	48	10	8	6	4	76

对小麦植株均具有一定的致病性。其中,假禾谷镰孢菌的致病力最强,平均病情指数为 84.37;禾谷镰孢菌次之,平均病情指数为 60.53;木贼和中华镰孢菌的平均病情指数为 66.83 和 33.97;锐顶镰孢菌致病力最弱,平均病情指数仅为 17.80 (表 3)。将接种发病的小麦植株经表面消毒后重新在 PDA 平板上分离病原菌,均得到了相应接种病原菌,完成柯赫氏法则验证。

### 3 讨论

近年来,小麦茎基腐病在中国多个省份均有

发生,且发生范围和危害程度在持续扩大和加重<sup>[2]</sup>,严重威胁西北麦区小麦生产安全。本研究通过形态学和分子生物学首次系统鉴定了甘肃省 3 个不同生态区小麦茎基腐病的病原菌由 *F. pseudograminearum*、*F. graminearum*、*F. sinensis*、*F. equiseti* 和 *F. acuminatum* 组成,其中假禾谷镰孢菌占 63.2%,为优势病原菌。这与闫书味等<sup>[33]</sup>2022 年对河南省 FCR 病原菌分离鉴定的结果一致,但与张向向等<sup>[23]</sup>2014 年报道的优势种为禾谷镰孢的结果存在一定差异,这种差异可能与采集时间、地区经纬度及地理气候和耕作制度变化有关。本研究明确

表 3 代表性镰孢菌的致病性测定

Table 3 Pathogenicity testing of representative *Fusarium* spp.

病原菌种类 Species of pathogen	分离物 Isolate	发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index
假禾谷镰孢菌 <i>F. pseudograminearum</i>	PQ16	100.0±0.00a	93.6±2.03a
	HX5	100.0±0.00a	86.2±1.72b
	HC12	100.0±0.00a	73.3±0.73c
禾谷镰孢菌 <i>F. graminearum</i>	HC10	100.0±0.00a	73.3±1.30c
	PQ3	97.7±2.23b	65.2±3.52d
	HX7	100.0±0.00a	62.7±2.49de
木贼镰孢菌 <i>F. equiseti</i>	HC14	100.0±0.00a	72.6±4.15c
	PQ2	100.0±0.00a	57.5±2.19f
	HX4	78.9±5.88cd	51.5±2.03fg
中华镰孢菌 <i>F. sinensis</i>	PQ19	100.0±0.00a	50.8±1.51g
	HX3	100.0±0.00a	29.0±2.15h
	PQ7	81.1±1.10c	22.1±1.10i
锐顶镰孢菌 <i>F. acuminatum</i>	HC13-4	77.8±2.23d	21.7±1.75i
	PQ12	62.2±2.20e	17.6±1.07ij
	PQ9	79.5±3.25cd	14.1±0.43j

同列数值后不同小写字母表示菌株间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters after the values within the same columns indicate significant differences among the strains at 0.05 level.

了甘肃省小麦茎基腐病原菌的种类,为下一步小麦品种抗病性鉴定工作提供依据。

本研究分离得到的 5 种不同类型病原菌对小麦幼苗均具有致病力,且不同镰孢菌的致病力存在较大差异。其中,假禾谷镰孢菌的致病力最强,平均病情指数为 84.37,与胡海燕等<sup>[34]</sup>的结论一致。因此,结合分离频率及致病力,本研究首次发现,在甘肃麦区木贼镰孢菌、中华镰孢菌和锐顶镰孢菌也能引起小麦茎基腐病,且除锐顶镰孢菌外,其他病原菌致病力普遍较强,这一结果可为甘肃省小麦茎基腐病害有效防控和抗病育种工作奠定基础。

本研究对甘肃省 11 个小麦主产区 FCR 发病情况的调查结果显示,陇东旱源病田率和病情指数最高,河西灌区病田率最低,但病情指数较陇南徽成盆地高,这可能与甘肃省不同生态区种植小麦品种特性差异以及土壤类型有关,冬麦区病田率普遍高于春麦区,且陇东及河西干旱盐碱地病情指数较高。因此,可以通过品种筛选及水肥管理措施有效控制 FCR 发生程度。据此,建议进一步加强甘肃省陇东旱源冬麦区小麦茎基腐病的监测和防控,防范病害扩散和蔓延风险,保障西北小麦生产安全。

#### 参考文献:

[1] 刘晓航. 小麦茎基腐病发生特点及综合防治措施[J]. 安徽农学通报, 2024, 30(18): 78.  
LIU X H. Occurrence characteristics and comprehensive control measures of Fusarium crown rot of wheat [J]. *Anhui Ag-*

*ricultural Science Bulletin*, 2024, 30(18): 78.  
[2] LI H L, YUAN H X, FU B, *et al.* First report of *Fusarium pseudograminearum* causing crown rot of wheat in Henan, China [J]. *Plant Disease*, 2012, 96(7): 1065.  
[3] 徐飞, 宋玉立, 周益林, 等. 2013—2016 年河南省小麦茎基腐病的发生危害情况及特点[J]. 植物保护, 2016, 42(6): 126.  
XU F, SONG Y L, ZHOU Y L, *et al.* Occurrence dynamics and characteristics of Fusarium root and crown rot of wheat in Henan Province during 2013—2016 [J]. *Plant Protection*, 2016, 42(6): 126.  
[4] 高飞, 谢源, 潘鑫, 等. 2019—2020 年河南省小麦茎基腐病原菌鉴定及致病力测定[J]. 植物保护学报, 2023, 50(2): 298.  
GAO F, XIE Y, PAN X, *et al.* Identification and virulence determination of pathogens of wheat crown rot in Henan Province in 2019—2020 [J]. *Journal of Plant Protection*, 2023, 50(2): 298.  
[5] 李佳琪, 王彩叶, 奚柳芸, 等. 陕西省和山西省小麦茎基腐病原菌鉴定及其致病力分析[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(12): 1.  
LI J Q, WANG C Y, XI L Y, *et al.* Identification and pathogenicity analysis of wheat basal rot pathogen in Shaanxi and Shanxi Provinces [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(12): 1.  
[6] 陶希, 危学华, 聂晓, 等. 北京地区小麦赤霉病和茎基腐病的病原群体组成[J]. 植物保护, 2024, 50(4): 276.  
TAO X, WEI X H, NIE X, *et al.* Population composition pathogens caused Fusarium head blight and Fusarium crown rot in Beijing [J]. *Plant Protection*, 2024, 50(4): 276.  
[7] MUDGE A M, MACKY R D, DONG Y H, *et al.* A role for the mycotoxin deoxynivalenol in stem colonization during crown rot disease of wheat caused by *Fusarium graminearum* and *Fusarium pseudograminearum* [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2006, 69(1-3): 73.  
[8] 刘亚男, 张苗, 郑以宏, 等. 鲁东地区小麦茎基腐病防控技术应用试验初报[J]. 南方农业, 2023, 17(11): 131.  
LIU Y N, ZHANG M, ZHENG Y H, *et al.* Preliminary report on application test of prevention and control technology of wheat stem rot in Eastern Shandong [J]. *South China Agriculture*, 2023, 17(11): 131.  
[9] 时曼丽, 袁璋, 马吉坡, 等. 河南省假禾谷镰孢菌引起的小麦茎基腐病发生与防治研究进展[J]. 农业科技通讯, 2024(11): 129.  
SHI M L, YUAN Z, MA J P, *et al.* Research progress on oc-

- currence and control of wheat stem rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in Henan Province [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2024(11):129.
- [10] 赵利民, 吕国强, 何洋, 等. 河南省小麦茎基腐病发生现状及综合防控措施[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(5): 49.  
ZHAO L M, LV G Q, HE Y, *et al.* Occurrence status and comprehensive control measures of wheat stem rot in Henan Province [J]. *China Plant Protection*, 2022, 42(5): 49.
- [11] 孙丽华, 李好海, 彭红, 等. 2023年河南省小麦茎基腐病发生概况及重发原因分析[J]. 中国农技推广, 2024, 40(1): 96.  
SUN L H, LI H H, PENG H, *et al.* General situation of wheat stem rot in Henan Province in 2023 and analysis of its recurrence reasons [J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2024, 40(1): 96.
- [12] 李佩玲, 王同伟, 朱军生, 等. 近年山东省小麦茎基腐病发生特点及原因分析[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(7): 44.  
LI P L, WANG T W, ZHU J S, *et al.* Occurrence characteristics and causes of wheat stem rot in Shandong Province in recent years [J]. *China Plant Protection*, 2022, 42(7): 44.
- [13] 张瑞雪, 张影, 赵英华, 等. 衡水市小麦茎基腐病发生现状与防治措施[J]. 农业科技通讯, 2021(3): 251.  
ZHANG R X, ZHANG Y, ZHAO Y H, *et al.* Occurrence status and control measures of wheat stem rot in Hengshui City [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2021(3): 251.
- [14] 魏会新, 郭海鹏, 贺亚红, 等. 陕西省小麦茎基腐病防控技术研究[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(1): 1.  
WEI H X, GUO H P, HE Y H, *et al.* Techniques for control of wheat stalk rot in Shaanxi [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 67(1): 1.
- [15] 郭炜, 李雪萍, 漆永红, 等. 西北地区冬小麦茎基腐病原假禾镰刀菌的鉴定及种质资源抗性筛选[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(6): 164.  
GUO W, LI X P, QI Y H, *et al.* Identification of *Fusarium pseudograminearum*, crown rot pathogen of winter wheat in Northwest of China and resistance screening [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2018, 53(6): 164.
- [16] KAZAN K, GARDINER D M. *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in cereal crops: Recent progress and future prospects [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2018, 19(7): 1547.
- [17] PARIYAR S R, ORAKCI G E, DADSHANI S, *et al.* Dissecting the genetic complexity of *Fusarium* crown rot resistance in wheat [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 3200.
- [18] BURGESS L W, WEARING A H, TOUSSOUN T A. Surveys of Fusaria associated with crown rot of wheat in eastern Australia [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1975, 26(5): 791.
- [19] BACKHOUSE D, ABUBAKAR A A, BURGESS L W, *et al.* Survey of *Fusarium* species associated with crown rot of wheat and barley in eastern Australia [J]. *Australasian Plant Pathology*, 2004, 33(2): 255.
- [20] PAULITZ T C, SMILEY R W, COOK R. Insights into the prevalence and management of soilborne cereal pathogens under direct seeding in the Pacific Northwest, USA [J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2002, 24(4): 416.
- [21] 孟程程, 孙晓凤, 张莉, 等. 山东省小麦茎基腐病的病原鉴定[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(5): 753.  
MENG C C, SUN X F, ZHANG L, *et al.* Pathogen identification for wheat crown rot in Shandong Province [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2019, 50(5): 753.
- [22] 范学锋. 中国小麦茎基腐病病原菌群体组成及遗传结构分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.  
FAN X F. Population composition and genetic structure analysis of pathogen of wheat stem rot in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021.
- [23] 张向向, 孙海燕, 李伟, 等. 我国冬小麦主产省小麦茎基腐镰孢菌的组成及其致病力[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(2): 272.  
ZHANG X X, SUN H Y, LI W, *et al.* Composition and pathogenicity of *Fusarium* crown rot pathogens of wheat in major winter wheat production areas of China [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(2): 272.
- [24] 朱运启, 靳鹏飞, 王峭, 等. 陕西省小麦茎基腐病原菌鉴定及其致病力分析[J]. 植物保护学报, 2022, 49(3): 824.  
ZHU Y Q, JIN P F, WANG Q, *et al.* Species identification and pathogenicity analysis of the pathogens causing wheat crown rot in Shaanxi Province [J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49(3): 824.
- [25] 方香玲, 张彩霞, 南志标. 紫花苜蓿镰刀菌根腐病研究进展[J]. 草业学报, 2019, 28(12): 169.  
FANG X L, ZHANG C X, NAN Z B. Research advances in *Fusarium* root rot of alfalfa (*Medicago sativa*) [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(12): 169.
- [26] ZHOU H F, HE X L, WANG S, *et al.* Diversity of the *Fusarium* pathogens associated with crown rot in the Huanghuai wheat-growing region of China [J]. *Environmental Microbiology*, 2019, 21(8): 2740.
- [27] 齐军山, 张悦丽, 张博, 等. DB37/T 3404-2018 小麦品种(系)抗茎基腐病田间鉴定技术规范[S]. 济南: 山东省质量技术监督局, 2018.  
QI J S, ZHANG Y L, ZHANG B, *et al.* DB37/T 3404-2018 Technical specification for field identification of wheat varieties (lines) resistant to stem base rot [S]. Jinan: Shandong Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision, 2018.
- [28] 蒋晶晶, 陈爱昌, 魏周全, 等. 甘肃陇西黄芩镰孢菌根腐病原鉴定及其病株根部元素含量的变化[J]. 草业学报, 2023, 32(7): 109.  
JIANG J J, CHEN A C, WEI Z Q, *et al.* Identification of *Fusarium* species from *Scutellaria baicalensis* root rot in Longxi, Gansu Province and effects on element contents of root [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 32(7): 109.
- [29] BOOTH C. 镰刀菌属[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 94.  
BOOTH C. The genus *Fusarium* [M]. Beijing: Agriculture Press, 1988: 94.
- [30] LESLIE J F, SUMMERELL B A. The *Fusarium* laboratory manual [M]. Ames, Iowa: Blackwell Publishing, 2006: 1-2.
- [31] 张亚朵, 刘佳, 黄文坤, 等. 河北廊坊大豆枯萎病病原镰刀菌的分子鉴定[J]. 植物病理学报, 2018, 48(6): 738.  
ZHANG Y D, LIU J, HUANG W K, *et al.* Molecular identification of *Fusarium* species from the wilt soybean lines in Langfang, Hebei Province [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2018, 48(6): 738.
- [32] RAHJOO V, ZAD J, NIKKHAH J M, *et al.* Morphological and molecular identification of *Fusarium* isolated from maize ears in Iran [J]. *Journal of Plant Pathology*, 2008, 90(3): 463.
- [33] 闫书味, 白尼玛, 潘鑫, 等. 2022年河南省小麦茎基腐病和赤霉病病原种群分离鉴定[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(5): 667.  
YAN S W, BAI N M, PAN X, *et al.* Separation and identification pathogen populations of *Fusarium* crown rot and *Fusarium* head blight in Henan Province in 2022 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(5): 667.
- [34] 胡海燕, 董清峰, 李冬梅, 等. 河南省小麦茎基腐病调查及优势病原分析[J]. 核农学报, 2021, 35(8): 1802.  
HU H Y, DONG Q F, LI D M, *et al.* Disease investigation and predominant pathogen analysis of wheat crown rot in Henan Province [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(8): 1802.