

网络出版时间: 2026-03-31

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20260330.0948.002>

青海省 106 份小麦种质的茎基腐病抗性评价

谷政阳, 王 成, 高威正, 陈梦璠, 王奥霖, 郭青云, 姚 强

(青海大学农林科学院, 青海省农业有害生物综合治理重点实验室, 青海西宁 810016)

摘 要: 小麦茎基腐病是制约小麦高产稳产的潜在病害之一。为明确青海省小麦品种对由假禾谷镰孢菌 (*Fusarium pseudograminearum*) 引起的茎基腐病的抗性水平, 选用两株假禾谷镰孢菌强致病力菌株 1802570 (Fp70) 和 1800592 (Fp92) 对青海省 106 份小麦种质通过人工接种进行苗期和成株期抗性鉴定, 并对抗性水平进行分析。结果表明, 供试小麦对两菌株在苗期和成株期均无免疫或高抗种质。在苗期, 对 Fp70 表现中抗的种质有 5 个 (占比 4.72%), 对 Fp92 表现中抗的种质有 3 个 (占比 2.83%); 成株期对 Fp70 和 Fp92 表现中抗的种质共有 7 个; 其中, 墨波 1 号在成株期对两个菌株均表现中抗, 新麦繁 4 对 Fp70 在苗期和成株期均表现中抗。两菌株分别侵染条件下, 供试小麦种质成株期的病情指数间存在显著相关性。综上所述, 青海省小麦种质对假禾谷镰孢菌引起的茎基腐病抗性较低; 筛选出的抗性种质可为青海省小麦抗病育种提供参考。

关键词: 小麦茎基腐病; 抗病性评价; 假禾谷镰孢菌; 病情指数分析

中图分类号: S512.1; S330

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2026)06-0724-08

Evaluation of Resistance to Wheat Crown Rot in 106 Major Wheat Germplasm Resources from Qinghai Province

GU Zhengyang, WANG Cheng, GAO Weizheng, CHEN Mengfan, WANG Aolin, GUO Qingyun, YAO Qiang

(Qinghai Provincial Key Laboratory of Comprehensive Management of Agricultural Pests, Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China)

Abstract: Wheat crown rot, caused by *Fusarium pseudograminearum*, is one of the potential diseases limiting high and stable wheat yield. To clarify the resistance level of wheat varieties in Qinghai Province to crown rot caused by *F. pseudograminearum*, two highly pathogenic strains, 1802570 (Fp70) and 1800592 (Fp92), were selected to artificially inoculate 106 wheat germplasms from Qinghai. Resistance identification was conducted at both the seedling and adult plant stages. The disease index of each material was calculated, and the resistance level was analyzed. The results showed that none of the tested materials were immune or highly resistant to the two strains at either growth stage. At the seedling stage, five germplasms (4.72%) exhibited moderate resistance to Fp70, and three germplasms (2.83%) showed moderate resistance to Fp92. At the adult plant stage, seven germplasms displayed moderate individual resistance to Fp70 and Fp92. Among them, Mobo 1 showed moderate resistance to both strains at the adult plant stage, while Xinmaifan 4 exhibited moderate resistance to Fp70 at both the seedling and adult plant stages. Under infection by the two strains separately, a significant correlation between disease indices was observed only at the adult plant stage among the tested wheat germplasms. In conclusion, wheat germplasms in Qinghai Province generally exhibit low resistance to crown rot caused by *F. pseudograminearum*. The identified resistant germplasms may provide references for wheat resistance breeding in Qinghai Province.

收稿日期: 2025-08-11

修回日期: 2025-10-08

基金项目: 青海省重点研发与转化计划项目 (2025-NK-129)

第一作者 E-mail: guzhengyang0220@163.com (谷政阳)

通讯作者 E-mail: guoqingyunqh@163.com (郭青云); yaoqiang2010@126.com (姚 强)

Keywords: Wheat crown rot; Disease resistance evaluation; *Fusarium pseudograminearum*; Disease index analysis

小麦茎基腐病(*Fusarium crown rot*, FCR)是当前中国乃至全球小麦产区的重要病害,危害日益严重^[1]。该病害于1951年首次在澳大利亚发现^[2],中国于2012年在河南省首次报道^[3]。近年来,受全球气候变暖及轮作、秸秆还田、免耕等农业措施的影响,FCR在中国呈扩散蔓延和持续加重的趋势^[4]。目前,该病在黄淮海及长江中下游麦区均有发生,其中河南、山东、河北等小麦主产区受害尤为严重^[5-7],在陕西、甘肃、宁夏、新疆等西北省份均有发生^[8-9]。

小麦FCR是一种主要由假禾谷镰孢菌(*Fusarium pseudograminearum*)、禾谷镰孢菌(*F. graminearum*)、黄色镰孢菌(*F. culmorum*)等多种镰孢菌属真菌侵染小麦茎基部引起的土传病害^[10-11]。在中国北部主要由禾谷镰孢菌和假禾谷镰孢菌引起,且假禾谷镰孢菌所占比例更高,致病力更强^[12];在不同生育期均可危害小麦,苗期可降低出苗率,延缓胚芽鞘生长,分蘖期常导致叶鞘出现黄褐色坏死斑,甚至引发幼苗枯死^[13];成株期,病菌侵染茎基部可引起典型的褐色腐烂病变,并常在病部产生大量粉红色菌丝体^[14]。病害严重时,病斑可向上蔓延至穗部,使小麦在灌浆期出现“枯白穗”现象,导致籽粒秕瘦,显著降低穗粒数和千粒重,对小麦安全生产构成巨大威胁^[15]。此外,受侵染小麦的植株及籽粒中还可积累多种真菌毒素,如脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)、玉米赤霉烯酮(ZEN)等,对人畜健康构成潜在威胁^[16]。

2000年以来,青海省东部冬小麦种植面积持续增加^[17]。近年来,该省小麦茎基腐病发病面积呈上升趋势,但针对青海省小麦材料茎基腐病抗性的研究尚无报道。迄今为止,国内外尚未发现对茎基腐病免疫的小麦品种,高抗和中抗品种也极少见^[18]。庄驯宇^[13]对黄淮麦区397份主推及新育成小麦品种进行抗性鉴定,仅发现38份抗性品种,其中高抗品种仅2份。邢小萍等^[19]以假禾谷镰孢菌和禾谷镰孢菌接种黄淮麦区116份小麦品种,未发现免疫或高抗品种,对假禾谷镰孢菌表现中抗的品种仅占2.59%,对禾谷镰孢菌表现中抗的仅为19.83%。综合近年来中国研究人员对1500余份小麦品种的鉴定结果,发现平均抗病

种质比例不足10%^[20]。前人工作多集中于苗期鉴定,对成株期抗性评价相对不足,而苗期抗性多由简单抗性机制主导,易受菌株特异性影响,鉴定结果与田间实际抗性常存在差异^[21]。因此,本研究通过人工接种,评价青海省小麦在苗期和成株期对茎基腐病的抗性水平,以期为青海省小麦茎基腐病抗病品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试小麦材料

选用106份青海省小麦种质,其中小麦生产品种91份,携带抗病基因的种质资源15份(详见表1),由青海大学农林科学院植物保护研究所提供。以茎基腐病高感品种铁春1号(由河北省农林科学院植物保护研究所惠赠)作为感病对照。

1.2 病原菌株

供试菌株为假禾谷镰孢菌的强致病力菌株1802570(简称Fp70)和1800592(简称Fp92),由中国农业科学院植物保护研究所植物病害生物学国家重点实验室分离、保存并提供。

接种物准备:参照周海峰^[22]的方法制备小米培养基,并分别接种经PDA平板扩繁的假禾谷镰孢菌菌株Fp70和Fp92。待菌丝完全覆盖小米,倾出菌丝-小米复合体于通风避光处阴干备用。

1.3 苗期抗性鉴定与评价

抗性鉴定:选取各小麦种质健康种子75粒,依次经75%酒精表面消毒1 min、5%NaClO溶液浸泡45 s、无菌蒸馏水冲洗3次。将种子置于铺有双层湿润滤纸的培养皿中,25℃暗培养24~48 h至种子露白。采用无菌基质(蛭石:营养土=3:1,121℃高压灭菌)填充育苗钵(5 cm×5 cm×8 cm),每钵装150 g。每钵播种10~15粒露白种子,覆盖含病原菌的接种介质(阴干菌丝-小米复合体与灭菌土按1:20混匀)^[23]。接种采用裂区设计,主区为2个菌株(Fp70和Fp92);副区为种质,每种质3钵。每菌株设3个重复。培养于人工气候室(光14 h/暗10 h,温度25℃,相对湿度60%±5%),采用托盘底部渗灌维持土壤含水量为30%~35%。接种30 d后,轻柔漂洗植株根部,参照Li等^[24]方法进行苗期病情分级:0级,植株无症状;1级,植株胚芽鞘褐色或第一叶鞘稍有

褐色;2级,第一叶鞘1/2褐色;3级,第一叶鞘全部褐色或第二叶鞘1/2褐色;4级,第二叶鞘全部褐色或第三叶鞘1/2褐色;5级,第三叶鞘全部褐色或整株枯死。按病情分级计算苗期病情指数(DI):

$$DI = \left[\frac{\sum (\text{病级值} \times \text{该级株数})}{\text{最高病级} \times \text{总株数}} \right] \times 100。$$

苗期抗性评价按照张鹏等^[25]的方法:DI=0,免疫(immune, I); $0 < DI \leq 10.00$,高抗(highly resistant, HR); $10.00 < DI \leq 20.00$,中抗(moderately resistant, MR); $20.00 < DI \leq 30.00$,中感(moderately susceptible, MS); $DI > 30.00$,高感(highly susceptible, HS)。

1.4 成株期抗性鉴定与评价

抗性鉴定:于2024年4月25日在青海大学试验田($36^{\circ}39'N$, $101^{\circ}46'E$)进行。试验区为壤土(pH 7.8),地势平坦。采用裂区设计,主区为2个菌株,Fp70与Fp92间隔6 m,中间设0.5 m高土垄隔离;副区为种质,每种质3行,行长1 m,行距0.1 m,3个重复,保护行宽度1.5 m。每行45粒种子,播种深度3 cm,播种后覆盖1 cm细土,再均匀撒布5 g菌丝-小米复合体,最后覆土1 cm。常规水肥管理至灌浆期(2024年8月28日),采用五点法每重复取样15株,连根拔起后剥离叶鞘,参照庄驯宇^[12]方法进行病情分级。

病情分级标准:0级,整株茎秆无变褐症状;1级,地上部分第一茎节有变褐腐烂现象;3级,地上部分第一茎节超过1/2有变褐腐烂现象;5级,地上部分第二茎节有变褐腐烂现象;7级,地上部分第三茎节有变褐腐烂现象;9级,病斑超过第三茎节,有白穗或因发病而无穗。计算成株期DI,计算公式同1.3中苗期DI。

抗性评价:同1.3中苗期抗性评价。

1.5 数据统计

使用SPSS 27.0进行数据分析,采用ANOVA分析差异显著性,利用Pearson法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 苗期抗性鉴定

温室苗期抗性鉴定结果(表1)显示,青海省106份小麦种质对Fp70和Fp92的抗性存在不同程度差异。种质间苗期病情指数存在显著差异

($P < 0.05$)(表2)。对菌株Fp70,供试种质的病情指数范围为11.50~53.33,未发现免疫或高抗种质;柴春901、兰天3号、青加2号、吉农469和新麦繁4共5个品种表现为中抗,占供试材料的4.72%,均为生产品种;川麦93、高原115、乐麦6号等11个种质表现为中感,占比10.38%;Norwell、青春952、恒大11号等共90个种质表现为高感,占比84.91%。对菌株Fp92,供试种质的病情指数为19.05~45.93,未发现免疫或高抗种质;13-46-3、高原225和青农469共3个种质表现为中抗,占供试材料的2.83%,其中高原225是种质资源;互麦15号、川麦93、高原466等82个种质表现为中感,占比77.36%;乐麦6号、高原205、青春40等21个种质表现为高感,占比19.81%。

2.2 成株期抗性鉴定

田间成株期抗性鉴定结果(表1)表明,青海省106份小麦种质对Fp70和Fp92存在抗性差异;种质间成株期病情指数存在显著差异(表2)。对菌株Fp70,供试种质的病情指数范围为14.37~56.82,未发现免疫或高抗品种;青麦10号、Norwell、YGW-46、墨波1号和新麦繁4共5个(4.72%)种质表现中抗,其中,YGW-46为种质资源;高原338、源卓3号、14-57-2等30个(28.30%)种质表现为中感;青加1号、曹选5号、13-46-3等71个(66.98%)种质表现为高感。对菌株Fp92,供试小麦病情指数为18.38~56.10,未发现免疫或高抗种质;通麦1号、曹选5号、墨波1号共3个(2.83%)种质表现为中抗,均为生产品种;高原814、高原813、高原368等28个(26.42%)种质表现中感;14-57-2、民和853、高原776等75个(70.75%)种质表现高感。墨波1号在成株期对两株供试菌均呈现中抗,新麦繁4对Fp70在苗期和成株期均表现中抗。

2.3 病情指数相关性分析

分析在Fp70和Fp92侵染下106份小麦种质在苗期及成株期病情指数的相关性,结果(表3)表明,Fp70与Fp92间小麦成株期的病情指数呈显著正相关($r = 0.395$, $P < 0.01$),而二者间苗期病情指数的相关性不显著;且在同一菌株侵染下,小麦两个生育期间的病情指数也无显著相关性。表明成株期的病情指数较苗期更能反映小麦对茎基腐病的抗性水平。

表 1 供试小麦种质对假禾镰孢菌 Fp70 和 Fp92 的抗性

Table 1 Resistance of wheat germplasms to *Fusarium pseudograminearum* strains Fp70 and Fp92

种质 Germplasm	Fp70				Fp92			
	苗期 Seedling stage		成株期 Adult stage		苗期 Seedling stage		成株期 Adult stage	
	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance
青春 38 Qingchun 38	36.30±6.42	HS	25.67±6.66	MS	29.74±0.44	MS	21.31±1.33	MS
青麦 5 号 Qingmai 5	40.09±5.93	HS	32.56±5.18	HS	26.15±1.78	MS	32.76±12.86	HS
青麦 7 号 Qingmai 7	39.67±4.73	HS	27.43±11.61	MS	25.44±2.36	MS	25.56±6.94	MS
青麦 10 号 Qingmai 10	35.35±4.04	HS	14.37±11.80	MR	39.67±4.51	HS	35.43±11.28	HS
高原 314 Gaoyuan 314	38.33±7.64	HS	36.74±10.72	HS	27.70±3.88	MS	41.65±6.27	HS
高原 602 Gaoyuan 602	38.23±6.31	HS	39.56±17.14	HS	28.33±2.89	MS	37.40±33.26	HS
高原 448 Gaoyuan 448	37.14±6.84	HS	25.46±6.41	MS	33.23±6.00	HS	27.60±5.54	MS
高原 776Gaoyuan 776	38.79±7.35	HS	35.18±16.99	HS	27.76±2.04	MS	30.53±12.06	HS
宁春 4 号 Ningchun 4	36.23±1.62	HS	29.28±13.96	MS	25.21±6.15	MS	32.59±8.23	HS
青麦 1 号 Qingmai 1	36.69±5.79	HS	33.83±8.93	HS	27.68±8.23	MS	32.91±5.40	HS
绵麦 902 Mianmai 902	34.29±7.56	HS	25.44±15.99	MS	23.95±1.91	MS	26.01±15.63	MS
Norwell	30.37±5.40	HS	17.31±9.17	MR	31.44±1.25	HS	21.36±14.43	MS
蜀麦 1675 Shumai 1675	33.37±1.78	HS	50.09±17.52	HS	31.76±11.21	HS	39.20±22.46	HS
高原 196 Gaoyuan 196	44.50±3.97	HS	39.42±13.73	HS	45.93±10.26	HS	36.89±4.07	HS
高原 813 Gaoyuan 813	42.06±1.80	HS	40.63±2.44	HS	33.17±0.97	HS	21.20±9.71	MS
高原 814 Gaoyuan 814	44.78±1.06	HS	41.76±2.36	HS	31.44±4.53	HS	20.57±3.85	MS
互助红 Huzhuhong	47.88±5.55	HS	35.85±10.85	HS	40.27±4.69	HS	32.18±4.06	HS
蜀麦 580 Shumai 580	26.94±8.35	MS	48.32±12.64	HS	32.58±2.50	HS	36.15±17.22	HS
蜀麦 114 Shumai 114	35.00±1.67	HS	53.03±17.89	HS	28.03±4.44	MS	29.05±8.61	MS
Major	48.18±2.41	HS	29.31±8.87	MS	32.83±9.68	HS	22.78±10.29	MS
川幅 14 Chuanfu 14	25.88±6.46	MS	29.44±8.19	MS	21.71±3.65	MS	22.89±3.42	MS
蜀麦 830 Shumai 830	27.56±8.04	MS	33.54±11.85	HS	27.55±4.19	MS	26.00±5.29	MS
川麦 93 Chuanmai 93	21.04±7.90	MS	26.51±3.71	MS	20.23±2.17	MS	26.30±14.50	MS
高原 175 Gaoyuan 175	32.00±14.25	HS	32.17±14.18	HS	27.98±4.85	MS	38.83±13.44	HS
互麦 13 号 Humai 13	46.17±4.58	HS	26.46±6.37	MS	24.29±1.59	MS	39.84±11.01	HS
青加 1 号 Qingjia 1	36.48±6.64	HS	30.30±6.70	HS	27.27±4.81	MS	41.68±17.38	HS
墨引 2 号 Moyin 2	39.05±1.65	HS	34.11±5.12	HS	25.59±6.71	MS	31.25±21.19	HS
高原 V028 Gaoyuan V028	33.44±1.50	HS	54.67±14.05	HS	26.50±6.06	MS	44.25±26.96	HS
阿勃 Abo	43.25±5.56	HS	42.41±7.09	HS	25.67±2.27	MS	34.68±2.35	HS
高原 356 Gaoyuan 356	34.18±18.25	HS	39.46±4.20	HS	29.43±3.07	MS	32.92±14.49	HS
柴春 018 Chaichun 018	42.78±9.48	HS	38.63±13.45	HS	24.07±2.41	MS	41.45±4.18	HS
青春 39 Qingchun 39	41.14±10.33	HS	26.34±15.71	MS	22.59±6.51	MS	24.92±12.01	MS
青春 144 Qingchun 144	43.41±6.11	HS	37.11±6.19	HS	28.21±9.94	MS	44.25±14.53	HS
高原 466 Gaoyuan 466	33.33±11.55	HS	26.47±9.64	MS	20.47±2.96	MS	32.67±11.37	HS
高原 506 Gaoyuan 506	33.33±15.28	HS	39.52±17.75	HS	25.15±0.79	MS	51.86±8.60	HS
高原 584 Gaoyuan 584	40.43±5.63	HS	33.17±14.46	HS	32.68±4.06	HS	35.02±6.19	HS
柴春 236 Chaichun 236	43.57±6.84	HS	48.27±14.67	HS	24.65±4.04	MS	47.14±15.45	HS
山早 901 Shanhan 901	42.86±4.95	HS	25.91±13.66	MS	31.58±1.41	HS	29.67±13.80	MS
青春 37 Qingchun 37	41.50±6.26	HS	33.00±13.14	HS	29.56±2.51	MS	38.87±13.72	HS
民和 588 Minhe 588	47.34±4.86	HS	40.28±12.92	HS	36.72±8.41	HS	38.56±8.34	HS
青春 533 Qingchun 533	38.33±25.66	HS	32.67±11.22	HS	27.32±3.19	MS	30.00±2.01	MS
杨麦 16 号 Yangmai 16	44.00±4.00	HS	35.30±9.85	HS	22.13±0.42	MS	37.50±13.14	HS
普冰 133 Pubing 133	36.68±9.03	HS	42.40±7.19	HS	24.81±2.52	MS	47.68±20.61	HS

(续表 1 Continued table 1)

种质 Germplasm	Fp70				Fp92			
	苗期 Seedling stage		成株期 Adult stage		苗期 Seedling stage		成株期 Adult stage	
	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance
青紫 1 号 Qingzi 1	31.22±1.07	HS	54.90±11.04	HS	28.80±1.25	MS	32.78±21.82	HS
曹选 5 号 Caoxuan 5	31.31±3.75	HS	30.44±0.38	HS	22.22±3.85	MS	18.86±5.89	MR
乐麦 5 号 Lemai 5	26.67±5.77	MS	39.56±3.17	HS	25.88±3.57	MS	27.26±7.88	MS
高原 932 Gaoyuan 932	37.78±13.47	HS	52.02±17.99	HS	34.21±0.84	HS	42.14±7.53	HS
高原 465 Gaoyuan 465	40.95±1.65	HS	47.54±13.79	HS	31.79±11.45	HS	48.81±5.49	HS
兰天 3 号 Lantian 3	15.04±11.68	MR	30.88±14.20	HS	27.08±6.32	MS	35.38±5.55	HS
柴春 901 Chaichun 901	11.50±3.77	MR	38.85±10.46	HS	27.78±8.11	MS	40.21±4.07	HS
民和 665 Minhe 665	31.01±5.71	HS	38.67±15.10	HS	23.40±2.40	MS	36.27±10.82	HS
青加 2 号 Qingjia 2	15.42±5.12	MR	26.62±10.68	MS	24.44±3.15	MS	34.14±11.89	HS
新麦繁 4 Xinmaifan 4	19.52±7.84	MR	19.71±3.41	MR	29.25±7.11	MS	36.48±4.81	HS
航优 721 Hangyou 721	46.07±9.21	HS	40.00±7.44	HS	23.25±2.14	MS	30.89±10.12	HS
吉农 469 Jinong 469	17.33±12.70	MR	31.14±14.44	HS	26.14±6.24	MS	38.02±0.81	HS
瀚海 304 Hanhai 304	24.17±12.33	MS	37.86±14.63	HS	26.77±3.18	MS	37.14±16.04	HS
兰天(选系) Lantian(Selected)	39.37±7.64	HS	28.48±12.82	MS	22.48±1.00	MS	34.97±10.42	HS
高原 115 Gaoyuan 115	22.06±5.05	MS	35.54±3.81	HS	28.36±7.15	MS	39.49±10.39	HS
青春 40 Qingchun 40	38.67±10.07	HS	31.94±14.15	HS	30.74±6.51	HS	44.00±9.12	HS
青春 415 Qingchun 415	33.70±8.19	HS	36.14±11.10	HS	24.11±4.30	MS	44.62±13.67	HS
民和 853 Minhe 853	40.95±6.87	HS	37.38±10.51	HS	28.00±7.21	MS	30.46±4.65	HS
乐麦 6 号 Lemai 6	23.33±5.77	MS	37.94±10.58	HS	30.18±7.48	HS	44.07±15.73	HS
林农 20 号 Linnong 20	41.52±5.70	HS	32.56±8.84	HS	28.32±6.41	MS	37.44±5.34	HS
兰考 906 Lankao 906	26.56±1.50	MS	27.98±11.22	MS	28.39±5.76	MS	46.28±6.48	HS
洋麦子 Yangmaizi	30.00±6.46	MS	43.57±2.69	HS	27.21±6.53	MS	37.78±15.49	HS
墨引 1 号 Moyin 1	36.93±10.63	HS	52.92±6.17	HS	25.47±5.41	MS	39.57±8.57	HS
源卓 3 号 Yuanzhuo 3	43.56±3.36	HS	22.93±5.98	MS	29.37±2.44	MS	28.72±5.44	MS
青春 952 Qingchun 952	30.52±4.20	HS	36.21±6.48	HS	33.11±10.52	HS	46.37±6.99	HS
香农 3 号 Xiangnong 3	42.44±2.14	HS	49.24±16.95	HS	27.47±6.22	MS	35.81±12.46	HS
宁春 811 Ningchun 811	40.47±2.96	HS	48.95±11.35	HS	38.67±10.26	HS	37.09±6.38	HS
高原 913 Gaoyuan 913	28.89±4.70	MS	28.17±10.25	MS	22.56±1.26	MS	44.17±3.82	HS
青春 570 Qingchun 570	41.94±2.00	HS	31.26±2.78	HS	27.33±4.71	MS	28.10±11.31	MS
高原 205 Gaoyuan 205	38.00±9.82	HS	35.24±8.41	HS	30.56±8.55	HS	43.32±1.17	HS
青春 587 Qingchun 587	53.33±5.77	HS	27.22±4.88	MS	26.04±0.61	MS	35.28±16.34	HS
墨波 1 号 Mobo 1	32.22±6.94	HS	19.33±8.19	MR	25.62±7.40	MS	19.36±9.72	MR
青春 524 Qingchun 524	45.79±5.83	HS	35.93±8.72	HS	22.69±2.52	MS	43.94±11.28	HS
青农 469 Qingnong 469	40.86±7.32	HS	33.62±8.49	HS	19.65±2.36	MR	40.46±13.55	HS
互麦 15 号 Humai 15	45.88±6.81	HS	26.87±5.54	MS	20.10±2.97	MS	45.62±6.29	HS
柴春 044 Chaichun 044	42.22±2.22	HS	49.98±10.07	HS	22.68±1.16	MS	38.11±10.68	HS
通麦 1 号 Tongmai 1	39.41±3.77	HS	28.10±14.25	MS	24.61±3.78	MS	18.38±1.47	MR
高原 368 Gaoyuan 368	39.48±11.82	HS	30.89±15.35	HS	23.03±5.81	MS	21.21±9.02	MS
恒大 9 号 Hengda 9	50.37±2.57	HS	51.95±7.00	HS	27.42±4.74	MS	44.79±12.94	HS
高原 338 Gaoyuan 338	36.89±6.68	HS	21.38±13.96	MS	22.95±1.00	MS	44.08±2.74	HS
恒大 8 号 Hengda 8	43.33±8.04	HS	30.78±8.85	HS	31.78±7.81	HS	51.85±10.96	HS
恒大 11 号 Hengda 11	30.95±11.46	HS	52.41±8.86	HS	23.19±0.90	MS	52.89±8.58	HS
宁春 51 Ningchun 51	35.83±5.20	HS	32.79±15.97	HS	24.75±3.51	MS	45.78±8.04	HS

(续表 1 Continued table 1)

种质 Germplasm	Fp70				Fp92			
	苗期 Seedling stage		成株期 Adult stage		苗期 Seedling stage		成株期 Adult stage	
	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	病情指数 Disease index	抗性 Resistance
宁春 61 Ningchun 61	36.00±6.93	HS	49.68±3.82	HS	22.22±1.92	MS	50.37±5.04	HS
陇春 26 Longchun 26	43.86±13.79	HS	29.89±9.31	MS	24.07±3.40	MS	38.06±3.24	HS
高原 363 Gaoyuan 363	39.05±5.27	HS	30.85±11.10	HS	21.69±1.56	MS	23.43±7.73	MS
通麦 2 号 Tongmai 2	44.05±9.59	HS	29.25±4.56	MS	22.33±1.14	MS	25.43±5.74	MS
航选 721 Hangxuan 721	46.20±7.56	HS	28.93±3.41	MS	27.24±2.58	MS	32.91±11.84	HS
青麦 2 号 Qingmai 2	35.22±5.93	HS	28.41±8.33	MS	25.83±3.33	MS	34.13±15.39	HS
2004/12/8	39.22±8.00	HS	26.93±4.14	MS	23.91±1.22	MS	33.08±2.06	HS
13-46-3	38.89±9.62	HS	30.66±10.11	HS	19.05±1.65	MR	28.28±9.20	MS
14-28	35.04±9.73	HS	23.90±11.91	MS	28.69±2.58	MS	23.03±12.04	MS
2020210	38.06±7.77	HS	39.93±15.78	HS	26.32±1.88	MS	43.42±3.17	HS
Hc1226	39.72±5.04	HS	25.56±12.51	MS	24.00±2.00	MS	22.79±12.65	MS
Hxhm21-12	36.24±3.64	HS	38.44±11.44	HS	24.32±2.51	MS	29.82±16.08	MS
YN1(原高原 196) YN1(ex-Gaoyuan 196)	38.92±7.67	HS	26.57±13.75	MS	24.08±3.89	MS	33.40±4.21	HS
高原 225 Gaoyuan 225	42.73±6.36	HS	35.24±11.67	HS	19.52±3.58	MR	51.06±11.57	HS
蜀麦 1668 Shumai 1668	41.14±8.78	HS	37.81±7.29	HS	24.04±1.65	MS	36.19±4.74	HS
14-57-2	37.93±7.74	HS	23.53±3.77	MS	23.99±4.18	MS	30.31±6.47	HS
GYL-633	38.18±3.15	HS	56.82±9.44	HS	24.70±3.17	MS	34.85±8.34	HS
HxSm20-2	36.67±7.94	HS	36.44±10.36	HS	28.46±1.33	MS	27.19±3.48	MS
YGW-46	41.69±1.56	HS	18.44±1.39	MR	22.98±1.14	MS	29.36±4.28	MS
高原 158 Gaoyuan 158	41.52±7.84	HS	28.12±8.91	MS	26.45±1.36	MS	28.75±1.16	MS
铁春 1 号 Tiechun 1	48.04±5.21	HS	45.78±10.01	HS	32.76±1.50	HS	38.87±5.66	HS

MR:中抗; MS:中感; HS:高感。
MR: Moderately resistant; MS: Moderately susceptible; HS: Highly susceptible.

表 2 供试小麦种质对两株菌的病情指数统计分析
Table 2 Statistical analysis of disease indices in different wheat germplasms to two strains

菌株 Pathogen	时期 Stage	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	F 值 F value
Fp70	苗期 Seedling stage	19 556.558	105	186.253	2.834 *
Fp92	苗期 Seedling stage	6 605.130	105	62.906	2.643 *
Fp70	成株期 Adult plant stage	26 322.010	105	250.686	1.709 *
Fp92	成株期 Adult plant stage	22 008.086	105	209.601	1.594 *

* : $P<0.05$ 。

表 3 小麦种质对两株菌的病情指数相关性分析
Table 3 Correlation analysis of disease index(DI) of wheat germplasms to two strains

	成株期 对 Fp70 Adult stage to Fp70	成株期 对 Fp92 Adult stage to Fp92	苗期 对 Fp70 Seedling stage to Fp70	苗期 对 Fp92 Seedling stage to Fp92
成株期 对 Fp70 Adult stage to Fp70	1			
成株期对 Fp92 Adult stage to Fp92	0.395 **	1		
苗期对 Fp70 Seedling stage to Fp70	0.055	−0.020	1	
苗期对 Fp92 Seedling stage to Fp92	0.131	0.011	0.076	1

** : $P<0.01$ 。

3 讨论

本研究利用假禾谷镰孢菌菌株 Fp70 和 Fp92 分别对青海省 106 份小麦种质进行了室内苗期和田间成株期的抗性鉴定。结果发现,供试种质中未表现出免疫或高抗水平,有 8 份材料(柴春 901、兰天 3 号、青加 2 号、吉农 469、新麦繁 4、13-46-3、高原 225 和青农 469)分别对 Fp70 和 Fp92 具有中等程度的苗期抗性;有 7 份材料(青麦 10 号、Norwell、YGW-46、墨波 1 号、新麦繁 4、通麦 1 号和曹选 5 号)分别对 Fp70 和 Fp92 具有中等程度的成株期抗性。说明当前青海省小麦缺乏抗茎基腐病种质资源,这与前人的报道一致^[26-27]。本研究中,新麦繁 4 在苗期和成株期对 Fp70 均表现出中抗;墨波 1 号在成株期对两个菌株均呈现中抗水平。这两个品种可为青海省小麦茎基腐病研究和抗病品种选育提供潜在抗源信息。

对病情指数进行相关性分析发现,供试小麦种质在苗期与成株期对同一菌株的病情指数间相关性不显著,这与徐飞等^[18]的研究结论一致。例如,青麦 10 号对 Fp70 和通麦 1 号对 Fp92 菌株在田间成株期均表现为中抗,但在室内苗期鉴定为高感和中感病。再次证明不同生育阶段小麦对假禾谷镰孢菌的抗性机制存在差异^[7,28]。苗期抗性鉴定与评价结果还需要通过田间成株期抗性结果验证^[23]。另外,小麦对茎基腐病苗期的病情指数与侵染菌株相关,例如,青农 469 和 14-28 对 Fp92 表现中抗,而对 Fp70 表现高感,说明同一小麦品种对不同致病菌株的抗性存在差异。因此,仅基于单一致病菌株进行抗病性评价可能导致结果与田间实际抗性不符。需采用多个致病菌株进行综合性抗病评价才能准确评估品种的抗病潜力^[29]。

综上所述,当前青海省主推小麦品种对假禾谷镰孢菌引起的茎基腐病抗性较差,后续应加强此方面的抗性育种;抗性鉴定需要综合多菌株、多年多点的结果,尤其是成株期抗性鉴定结果;新麦繁 4 和墨波 1 号可作为抗性材料,用于小麦抗茎基腐病遗传机制解析和抗性育种。

参考文献:

- [1]赵利民,冯超红,蒋向,等.小麦茎基腐病防治技术研究进展[J].中国植保导刊,2022,42(11):22.
ZHAO L M, FENG C H, JIANG X, et al. Research progress on control technology of *Fusarium* crown rot of wheat [J]. *China Plant Protection*, 2022, 42(11): 22.
- [2]MCKNIGHT T, HART J. Some field observations on crown rot disease of wheat caused by *Fusarium graminearum* [J]. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 1966, 23: 373.
- [3]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.
- [4]王会伟,李国领,高飞,等.河南省 308 份小麦新品系的茎基腐病抗性评价[J].麦类作物学报,2023,43(1):46.
WANG H W, LI G L, GAO F, et al. Evaluation on resistance of 308 wheat lines to crown rot in Henan Province [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(1): 46.
- [5]刘言,段晓欣,成泽琚,等.戊唑醇对假禾谷镰孢的抑制作用及对小麦茎基腐病的防治效果[J].植物病理学报,2025,55(2):289.
LIU Y, DUAN X X, CHENG Z J, et al. Inhibitory effect of tebuconazole on *Fusarium graminearum* and its control effect on wheat stem rot [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2025, 55(2): 289.
- [6]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.
- [7]吴玉星,韩森,王亚娇,等.河北省小麦主栽品种对茎基腐病抗性鉴定及评价指标相关性分析[J].植物保护,2023,49(6):267.
WU Y X, HAN S, WANG Y J, et al. Evaluation of resistance of commercial wheat cultivars to *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in Hebei Province [J]. *Plant Protection*, 2023, 49(6): 267.
- [8]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.
- [9]郭炜,李雪萍,漆永红,等.西北地区冬小麦茎基腐病原假禾谷镰孢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.
- [10]ZHANG X X, SUN H Y, SHEN C M, et al. Survey of *Fusarium* spp. causing wheat crown rot in major winter wheat growing regions of China [J]. *Plant Disease*, 2015, 99(11): 1610.
- [11]DELGADO-BAQUERIZO M, GUERRA C A, CANO-DÍAZ C, et al. The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale [J]. *Nature Climate Change*, 2020, 10(6): 550.
- [12]陆宁海,吴利民,郎剑锋,等.小麦茎基腐病苗期抗病性鉴定[J].贵州农业科学,2015,43(10):119.

- LU N H, WU L M, LANG J F, *et al.* Identification and of different wheat seedlings with resistance to crown rot [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2015, 43(10): 119.
- [13] 庄驯宇. 黄淮麦区主推及新育小麦品种对茎基腐病的抗性鉴定及抗性基因分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2023.
- ZHUANG X Y. Identification of resistance and gene analysis of main and new wheat varieties to *Fusarium* crown rot in Huang-Huai wheat region [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2023.
- [14] WALLWORK H, BUTT M, CHEONG J P E, *et al.* Resistance to crown rot in wheat identified through an improved method for screening adult plants [J]. *Australasian Plant Pathology*, 2004, 33(1): 1.
- [15] MITTER V, ZHANG M C, LIU C J, *et al.* A high-throughput glasshouse bioassay to detect crown rot resistance in wheat germplasm [J]. *Plant Pathology*, 2006, 55(3): 433.
- [16] MUDGE A M, DILL-MACKY R, DONG Y H, *et al.* A role for the mycotoxin deoxynivalenol in stem colonisation during crown rot disease of wheat caused by *Fusarium graminearum* and *Fusarium pseudograminearum* [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2006, 69(1-3): 73.
- [17] 张学飞, 陈建雄, 刘耀霞, 等. 44 份青海小麦品种(系)抗条锈性评价及抗条锈病基因检测[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(11): 101.
- ZHANG X F, CHEN J X, LIU Y X, *et al.* Stripe rust resistance evaluation and gene detection of 44 wheat varieties (lines) in Qinghai [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2022, 50(11): 101.
- [18] 李巧云, 郭振峰, 郝晓鹏, 等. 小麦茎基腐病抗性鉴定方法研究进展[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(5): 591.
- LI Q Y, GUO Z F, HAO X P, *et al.* Advances in identification methods of wheat crown rot [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(5): 591.
- [19] 邢小萍, 张娅珂, 刘庆强, 等. 黄淮麦区小麦品种对两种镰孢菌(*Fusarium*)的抗性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(5): 1058.
- XING X P, ZHANG Y K, LIU Q Q, *et al.* Evaluation of resistance of wheat varieties to two species of *Fusarium* in wheat-producing area of Huang-Huai [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(5): 1058.
- [20] 李巧云, 郭振峰, 尹 钊, 等. 194 份小麦品种(系)苗期茎基腐病抗性鉴定与抗病位点检测[J]. 麦类作物学报, 2025, 45(3): 329.
- LI Q Y, GUO Z F, YIN Z, *et al.* Identification of wheat cultivars (lines) resistance to *Fusarium* crown rot at seedling stage and molecular detection of resistance loci [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2025, 45(3): 329.
- [21] 徐 飞, 李淑芳, 石瑞杰, 等. 黄淮麦区主栽小麦品种抗茎基腐病评价及茎秆和籽粒中毒素积累分析[J]. 植物病理学报, 2021, 51(6): 912.
- XU F, LI S F, SHI R J, *et al.* Evaluation of resistances to *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in commercial wheat cultivars of Huanghuai wheat growing region and toxin accumulation in stems and kernels [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2021, 51(6): 912.
- [22] 周海峰. 黄淮麦区小麦茎基腐病原鉴定及其致病性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- ZHOU H F. The pathogen identification and pathogenicity of crown rot diseases in Huanghuai winter wheat growing region of China [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2014.
- [23] 付燕子, 朱运启, 王 峭, 等. 小麦茎基腐病防治药剂及抗病品种的筛选[J]. 植物保护学报, 2024, 51(2): 324.
- FU Y Z, ZHU Y Q, WANG Q, *et al.* Screening of fungicides and disease-resistant varieties for wheat *Fusarium* crown rot [J]. *Journal of Plant Protection*, 2024, 51(2): 324.
- [24] LI X M, LIU C J, CHAKRABORTY S, *et al.* A simple method for the assessment of crown rot disease severity in wheat seedlings inoculated with *Fusarium pseudograminearum* [J]. *Journal of Phytopathology*, 2008, 156(11-12): 751.
- [25] 张 鹏, 霍 燕, 周森平, 等. 小麦禾谷镰孢菌茎基腐病原的筛选与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(3): 431.
- ZHANG P, HUO Y, ZHOU M P, *et al.* Identification and evaluation of wheat germplasm resistance to crown rot caused by *Fusarium graminearum* [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2009, 10(3): 431.
- [26] 杨 云, 贺小伦, 胡艳峰, 等. 黄淮麦区主推小麦品种对假禾谷镰刀菌所致茎基腐病的抗性[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(3): 339.
- YANG Y, HE X L, HU Y F, *et al.* Resistance of wheat cultivars in Huang-Huai Region of China to crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(3): 339.
- [27] 陆宁海, 吴利民, 郎剑锋, 等. 河南省小麦新品种对茎基腐病的抗性鉴定与评价[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 190.
- LU N H, WU L M, LANG J F, *et al.* Identification and evaluation of resistance of new wheat varieties to stem rot in Henan Province [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(4): 190.
- [28] LIU C J, OGBONNAYA F C. Resistance to *Fusarium* crown rot in wheat and barley: A review [J]. *Plant Breeding*, 2015, 134(4): 365.
- [29] 康 旭, 王晓彤, 李国良, 等. 兼抗河北省茎基腐病致病菌小种的小麦种质筛选[J]. 河北农业科学, 2024, 28(4): 68.
- KANG X, WANG X T, LI G L, *et al.* Screening of wheat germplasm resistant to pathogen races causing *Fusarium* crown rot isolated from Hebei Province [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2024, 28(4): 68.