

刘建凤,何震天,张 容,等. 扬辐麦系列新品系赤霉病抗性鉴定与评价[J]. 江苏农业科学,2022,50(18):164–168.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2022.18.025

扬辐麦系列新品系赤霉病抗性鉴定与评价

刘建凤,何震天,张 容,王建华,韩 燕,范德佳,王汝琴,陈士强

(江苏里下河地区农业科学研究所,江苏扬州 225007)

摘要:为明确新选育的扬辐麦系列新品系对赤霉病的抗性,以苏麦 3 号、扬麦 158、扬麦 15、安农 8455 分别作为抗、中抗、中感、感赤霉病对照品种,采用土表接种及单花滴注接种对 341 个扬辐麦系列新品系进行赤霉病抗性鉴定。结果表明,所有品系均未达到抗赤霉病水平,其中,经土表接种鉴定发现,69 个新品系中抗赤霉病,248 个新品系中感赤霉病,24 个新品系感赤霉病;经单花滴注接种鉴定发现,49 个新品系中抗赤霉病,241 个新品系中感赤霉病,51 个新品系感赤霉病;利用抗赤霉病主效基因 *Fhb1* 紧密连锁分子标记对单花滴注接种鉴定的 49 个中抗赤霉病新品系进行检测,发现 7 个新品系携带 *Fhb1* 基因,其赤霉病抗性水平明显高于中抗对照扬麦 158。由此可见,扬辐麦系列新品系中对赤霉病的抗性达中抗以上的品系占比为 14.4%~20.2%,中感以上的品系占比为 85.0%~92.9%,是选育扬辐麦新品种的基础材料。该研究为选育抗赤霉病的小麦新品种提供了理论依据。

关键词:小麦;扬辐麦新品系;赤霉病;土表接种;单花滴注接;抗性鉴定

中图分类号:S435.121.4⁺5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2022)18–0164–05

小麦赤霉病(*Fusarium head blight*,简称 FHB)是一种世界范围内常见的小麦病害^[1],也是我国小麦生产上的严重病害之一^[2]。小麦赤霉病一般发生年份可减产 10%~30%,严重发生年份损失可达 80%,局部甚至颗粒无收^[3]。小麦赤霉病发生以扬花期侵染为主,在连续阴雨且气温在 15℃以上时,赤霉菌侵染小麦穗部小花,在籽粒灌浆成熟过程中沿穗轴迅速扩展,并在小麦籽粒中产生和积聚多种毒素,造成小麦严重减产、品质降低及食品安全问题^[4]。小麦赤霉病的流行主要受田间菌源量、扬花期气温和降水情况以及主栽品种赤霉病抗性等多个因素影响^[5]。近年来,受全球气候变化、轮作制度的增加、秸秆全量还田不到位和赤霉病菌对药剂的抗性上升等多种影响,小麦赤霉病的防控日趋严峻^[6]。到目前为止,赤霉病仍然是可防不可治,一旦发病将无法控制,只能采取预防措施^[7]。采用栽培措施和药剂防治方法虽取得了一定的防治效果,

但均未能从根本上解决小麦赤霉病危害,尤其抽穗期喷洒农药后会造成麦粒的药残和环境污染,也与绿色生产相违背^[8]。因此,开展抗赤霉病育种,从根本上控制赤霉病的危害,对确保小麦安全生产意义重大^[2]。

众多研究表明,小麦赤霉病抗性主要分为抗侵染(type I)、抗扩展(type II)、抗 DON 积累(type III)、籽粒抗性(type IV)等多种类型,且赤霉病抗性为多基因控制的数量遗传性状^[1]。目前已从普通小麦及其近缘种属中鉴定出 250 多个抗赤霉病 QTL,但仅有 7 个主效抗赤霉病基因得到精准定位,即 *Fhb1*~*Fhb7*,其中 *Fhb1*、*Fhb2*、*Fhb3*、*Fhb6*、*Fhb7* 是抗扩展类型,*Fhb4*、*Fhb5* 是抗侵染类型^[4]。*Fhb1* 是目前抗性最稳定、最强、应用最广泛的抗赤霉病基因,可以显著降低赤霉病严重度和减轻毒素积聚^[2]。李楠楠等对周麦品种(系)材料进行 *Fhb1* 基因分子检测的结果显示,携带 *Fhb1* 基因和不携带 *Fhb1* 基因材料之间赤霉病抗性差异极显著^[9],表明 *Fhb1* 基因分子标记可用于改良周麦品种的赤霉病抗性。张宏军等对中抗赤霉病且具有 *Fhb1* 基因的品种与高感赤霉病的矮败周麦 16 杂交和回交的后代进行 *Fhb1* 基因功能标记选择,研究表明携带 *Fhb1* 的后代家系整体抗性达到中感水平^[10]。由此可见,近年来科研和育种单位抗赤霉病育种的力度不断加强。

收稿日期:2022–05–11

基金项目:国防科工局核能开发科研项目;江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目[编号:JBGS(2021)048];江苏省农业重大新品种创制项目(编号:PZC2201707)。

作者简介:刘建凤(1968—),女,江苏兴化人,副研究员,主要从事稻麦辐射诱变育种和植物保护研究。E-mail:yzljfeng@163.com。

通信作者:陈士强,博士,副研究员,主要从事小麦辐射诱变育种、小麦分子遗传研究。E-mail:sqchen1116@163.com。

辐射诱变育种是创制和丰富小麦种质资源的有效途径,对提高小麦产量、增强抗性、改善品质等方面均具有重要的意义^[11]。我国在利用辐射诱变或杂交与辐射诱变相结合方式选育耐赤霉病品种方面取得了很多成果,宁麦 3 号是江苏省农业科学院 1968 年利用辐射诱变育成的耐赤霉病的小麦品种,用它作为抗性亲本,获得了多个耐赤霉病的“宁麦”系列品种;扬麦 158 是江苏里下河地区农业科学研究所 1993 年通过杂交与辐射诱变相结合的方法育成的高产中抗赤霉病且农艺性状优良的小麦品种,该品种是长江中下游地区历史上种植面积和覆盖率最大的小麦品种之一^[12]。扬辐麦是江苏里下河地区农业科学研究所通过辐射诱变或杂交与辐射诱变相结合方式选育的系列小麦品种(系),先后育成 15 个小麦品种,其中 2008 年育成的超高产小麦扬辐麦 4 号先后作为农业农村部主体品种、江苏省主推品种、江苏好品种,推广应用近 133.33 万 hm^2 ,种植面积一直处于江苏淮南麦区小麦品种前列^[13]。

明确近年来培育的扬辐麦系列新品系的赤霉病抗性水平,是筛选和鉴定集高产多抗于一体的扬辐麦系列新品种(系)的关键。本研究通过人工接种方法对扬辐麦新品系进行赤霉病抗性鉴定,同时利用抗赤霉病主效基因 *Fhb1* 紧密连锁的分子标记对抗性较好的品系进行分子检测,以期筛选出抗性较好的目标品系,加速扬辐麦的抗赤霉病育种,同时也为开展抗性基因定位与克隆研究提供可利用的抗病种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究以 341 个扬辐麦系列中间品系为试验材料,选用赤霉病不同抗性水平的苏麦 3 号、扬麦 158、扬麦 15、安农 8455 作为抗病、中抗、中感、感病对照^[14],由江苏里下河地区农业科学研究所提供。

供试禾谷镰刀菌菌液及病麦粒由江苏省农业科学院植物保护研究所陈怀谷研究员及江苏里下河地区农业科学研究所张勇研究员提供,包括 F0301、F0609、F0980、F1126 等 4 种高致病力赤霉菌株。

1.2 试验设计

试验材料于 2020 年秋播时种植于江苏里下河地区农业科学研究所万福基地试验田,在小麦赤霉病土表接种鉴定圃和单花滴注接种鉴定圃各种植 1

套。试验田人工开沟,每份材料种植 2 行,行长 1 m,行距 25 cm,株距 5 cm,每隔 50 个试验材料设对照品种,病圃土壤肥力中等,前茬为水稻,鉴定圃的管理措施如施肥、除草、害虫防治等同常规育种田。

1.3 赤霉病抗性鉴定与评价

接种方法:参考张彬等的方法^[15],用供试的小麦赤霉病混合菌种病麦粒和孢子悬浮液对供试品种分别进行土表接种和单花滴注接种。土表接种是将病麦粒于小麦抽穗前 1 个月(2021 年 3 月 11 日)均匀撒于鉴定圃,接种量为 4 kg/667 m^2 ,接种后定期采用自动弥雾喷水装置保持土壤水分,利于子囊壳形成,诱导发病;单花滴注接种法于试验材料扬花初期(2021 年 4 月 8—15 日),用注射器吸取 5 μL 孢子悬浮液注入麦穗自上而下第 5 小穗的任意 1 个小花中,孢子悬浮液的浓度为 10 倍 \times 10 倍显微镜视野下约 30 个游离孢子,每个材料接种 20 个单穗,接种后设立自动弥雾喷水装置人工保湿,喷雾 3~4 次/d,每次 5 min 左右,保证田间湿度利于病害的发生。

抗性评价方法:在小麦乳熟中后期,以苏麦 3 号为抗病对照,扬麦 158 为中抗对照,扬麦 15 为中感对照,安农 8455 为感病对照,参照中华人民共和国农业行业标准 NY/T 2954—2016《小麦区域试验品种抗赤霉病鉴定技术规程》^[16]和张晓军等的方法^[17]调查和记载各试验材料的发病程度,每份材料随机抽取 15 个麦穗。(1)土表接种,待病情发展基本稳定时,调查其病情严重度级别。分级标准:0 级,无发病小穗;1 级,发病小穗占全穗 1/4 以下;2 级,发病小穗占全穗 1/4~1/2;3 级,发病小穗占全穗 1/2~3/4;4 级,发病小穗占全穗 3/4 以上。计算病穗率和病情指数(DI):病穗率=发病穗数/总调查穗数 $\times 100\%$;病情指数(DI)= \sum (各病级穗数 \times 相应病级数)/(最高病级数 \times 总调查穗数) $\times 100$ 。(2)单花滴注接种,接种 25 d 后开始调查接种穗的病情严重度及病小穗数。分级标准:0 级,接种小穗无可见发病症状;1 级,仅接种小穗或相邻的个别小穗发病,穗轴不发病;2 级,穗轴发病,发病小穗占全穗 1/4 以下;3 级,穗轴发病,发病小穗占全穗 1/4~1/2;4 级,穗轴发病,发病小穗占全穗 1/2 以上。计算各品系的严重度和病小穗率(percentage of diseased spikelet,简称 PDS):平均严重度(S)= \sum (各病级穗数 \times 相应病级数)/总调查穗数;病小穗率(PDS)=病小穗数/总小穗数 $\times 100\%$ 。抗性评

价以对照品种为基准,划分为免疫(I)、抗(R)、中抗(MR)、中感(MS)、感(S)品种。考虑基因型和环境

综合影响,参照对照品种的表现进行抗性分级,评价标准见表 1。

表 1 小麦赤霉病抗性划分标准

接种类型	免疫	抗病	中抗	中感	感病
土表接种	$DI = 0$	$0 < DI \leq DI_{\text{苏麦3号}}$	$DI_{\text{苏麦3号}} < DI \leq DI_{\text{扬麦158}}$	$DI_{\text{扬麦158}} < DI \leq DI_{\text{扬麦15}}$	$DI > DI_{\text{扬麦15}}$
单花滴注接种	$S = 0$	$0 < S \leq S_{\text{苏麦3号}}$	$S_{\text{苏麦3号}} < S \leq S_{\text{扬麦158}}$	$S_{\text{扬麦158}} < S \leq S_{\text{扬麦15}}$	$S > S_{\text{扬麦15}}$

1.4 *Fhb1* 基因的检测

对经单花滴注接种鉴定为中抗赤霉病的品系,于其幼苗期,采集新鲜嫩叶片 1 g 左右,采用北京索莱宝科技有限公司提供的植物基因组 DNA 提取试剂盒提取叶片基因组 DNA,具体操作步骤参考说明书。采用引物 TaHRC - F/TaHRC - R 进行 *Fhb1* 基因鉴定,引物序列为 TaHRC - F:5' - ATTCCTACTAGCCGCCTGGT - 3',TaHRC - R:5' - GCCAATCAGGT TCTGAGGCATTTTA - 3'。利用南京诺唯赞生物科技的 Green *Taq* Mix 进行 PCR 扩增,PCR 体系总体积为 10 μL,其中 Green *Taq* Mix 为 5 μL,正反向引物各 1 μL,DNA 为 0.5 μL,ddH₂O 补足至 10 μL。引物 PCR 的具体程序:94 ℃ 预变性 3 min;94 ℃ 变性 15 s,64 ℃ 退火 15 s,72 ℃ 延伸 30 s,30 个循环;72 ℃ 延伸 5 min。最终用 1.0% 琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 产物,抗病材料扩增片段大小为 1.4 kb,感病材料扩增片段大小为 2 kb,以苏麦 3 号为阳性对照,将 *Fhb1* 位点呈抗病基因型的品种记为“*”。

1.5 数据分析

利用 Microsoft Excel 2007 对试验数据进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 扬辐麦新品系的赤霉病抗性

由表 2 可知,土表接种条件下,抗病对照品种苏麦 3 号病穗率均值为 17%,中抗对照品种扬麦 158 病穗率均值为 53%,中感对照品种扬麦 15 的病穗率均值为 66%,感病对照品种安农 8455 的病穗率均值为 78%;单花滴注条件下,抗病对照品种苏麦 3 号严重度均值为 1.37,中抗对照品种扬麦 158 严重度均值为 2.01,中感对照品种扬麦 15 的严重度均值为 3.11,感病对照品种安农 8455 的严重度均值为 3.82,说明本年度扬辐麦新品系的抗性鉴定均为有效试验。

由表 3 可知,采用土表接种法鉴定,341 个扬辐

麦新品系材料中,没有筛选到对赤霉病抗病(R)的品系,表现中抗(MR)的品系有 69 个,占供试品系的 20.2%;中感(MS)的品系 248 个,占供试品系的 72.7%;感病(S)的品系 24 个,占供试品系的 7.1%。采用单花滴注接种鉴定,341 个扬辐麦新品系材料中,没有筛选到对赤霉病扩展抗病(R)的品系,表现中抗(MR)的品系有 49 个,占供试品系总数的 14.4%;中感(MS)的品系 241 个,占供试品系总数的 70.6%;感病(S)的品系 51 个,占供试品系总数的 15.0%。鉴定结果表明,土表接种和单花滴注接种都没有鉴定到赤霉病抗性达 R 的扬辐麦新品系,达 MR 的品系有 14.4% ~ 20.2%,达 MS 的品系 70.6% ~ 72.7%,可见 MS 以上的品系占比 85.0% ~ 92.9%,表明扬辐麦新品系对赤霉病抗性水平较好。

表 2 人工接种条件下对照品种的赤霉病试验结果

对照品种	土表接种		单花滴注接种		抗性
	病穗率 (%)	病情指数	病小穗率 (%)	严重度	
苏麦 3 号	17	3.33	9.33	1.37	R
扬麦 158	53	24.34	20.44	2.01	MR
扬麦 15	66	35.39	43.90	3.11	MS
安农 8455	78	61.11	79.32	3.82	S

2.2 *Fhb1* 基因的分子标记检测结果

对 49 个经单花滴注接种鉴定为中抗赤霉病的小麦品系,进行赤霉病抗性基因 *Fhb1* 的标记诊断鉴定,部分 PCR 产物的电泳结果见图 1。对结果进行统计发现,抗病对照苏麦 3 号、7 个扬辐麦新品系携有 *Fhb1* 基因,中抗对照扬麦 158、中感对照扬麦 15、感病对照安农 8455 及其他 42 个扬辐麦新品系未检测到 *Fhb1* 基因(表 4)。7 个携 *Fhb1* 基因品系的病小穗率在 15.1% ~ 17.1%,严重度在 1.8 ~ 2.0,与中抗对照扬麦 158 病小穗率(20.4%)及严重度(2.01)差异明显。由此可见,携 *Fhb1* 基因扬辐麦新品系的赤霉病抗性水平明显高于中抗对照品种扬麦 158。

表 3 扬辐麦新品系的赤霉病抗性水平

接种方式	抗病(R)品系		中抗(MR)品系		中感(MS)品系		感病(S)品系	
	个数	比例(%)	个数	比例(%)	个数	比例(%)	个数	比例(%)
土表接种	0	0	69	20.2	248	72.7	24	7.1
单花滴注接种	0	0	49	14.4	241	70.6	51	15.0

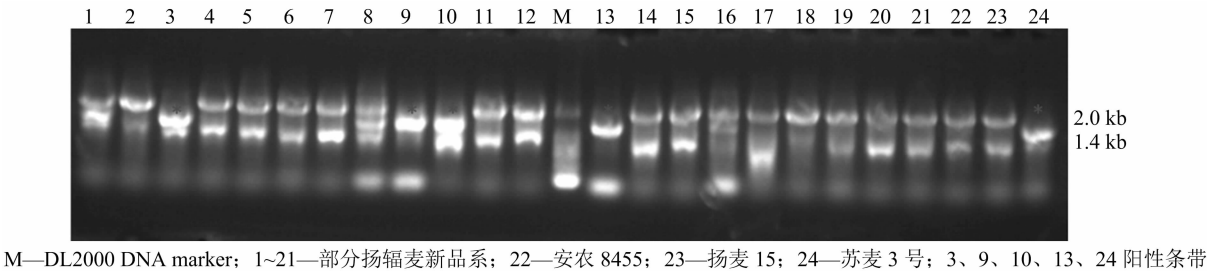


图1 标记 TaHRC 检测部分扬辐麦新品系的电泳结果

3 讨论与结论

近年来,随着气候、环境、耕作方式等变化,小麦赤霉病的流行速度与危害程度不断增加^[6]。江苏省地处黄淮海地区,在小麦生长期常高温多雨,在温湿环境下,极易暴发小麦赤霉病,一旦暴发不仅会影响小麦的产量,且产生和累积多种毒素,导致小麦品质降低,造成食品安全问题,危害人畜健康^[18-19]。鉴于此,江苏省小麦品种审定时对赤霉病抗性提出了更高的要求,淮南麦区的小麦品种必须对赤霉病达到中抗及以上才能进行品种审定,否则小麦品种审定中一票否决^[20]。可见,选育和推广适合该麦区种植的赤霉病抗性小麦品种尤为重要。

小麦赤霉病抗感表型的准确鉴定对资源的表型评价、基因精细定位和克隆、抗性机制解析研究及培育抗病品种等非常关键^[21]。土表接种和单花滴注接种是表型鉴定小麦赤霉病抗性最常用的方法,张煜等采用土表接种结合单花滴注接种的方法对黄淮南部 762 个小麦品种(系)的赤霉病抗性进行鉴定,筛选出 10 个稳定的中抗赤霉病小麦品种(系)^[6]。张彬等采用土表接种和单花滴注接种对黄淮南片麦区的 65 个主栽小麦品种进行了赤霉病抗性鉴定,发现黄淮南片主栽小麦品种的赤霉病抗性普遍较差^[15]。本研究采用土表接种和单花滴注接种对 341 个经过辐射诱变技术育成的新品系分别进行赤霉病抗性鉴定,土表接种鉴定发现 69 个品系表现为中抗赤霉病,单花滴注接种鉴定发现 49 个品系表现为中抗赤霉病,且有 7 个品系含有 *Fhb1* 基因,这为小麦抗赤霉病育种提供了重要的遗传材料。

小麦赤霉病是由多基因控制的数量性状,遗传机制复杂,如何减小菌源多寡及温湿度等环境因素的影响^[22],实现准确鉴定比较困难。为了提高赤霉病鉴定的准确性,将人工接种与自然感病调查相结合,对高世代的品系可连续多年和安排到异地穿梭进行多点鉴定,再结合分子标记技术辅助进行选择。从笔者所在课题组对小麦赤霉病抗性鉴定多年的结果看,抗性较好的小麦材料,往往植株较高、麦穗较长、小穗密度较低、小穗数较少、籽粒较小^[22],这些性状于小麦的丰产相悖。因此,在小麦抗赤霉病育种及抗性种质创制中,可通过辐射诱变或杂交与辐射诱变相结合,采用田间和人工赤霉病抗性筛选、分子标记辅助选择及农艺性状选择的三者有机结合,培育产量性状优良的抗性品种。

本研究的鉴定结果表明,经过辐射诱变或杂交与辐射诱变相结合育种技术选育的 341 个新品系中,没有品系达到 R 级赤霉病抗性,说明 R 级的小麦品系极其稀少,与相关研究的结果^[1-2]一致。土表接种鉴定抗性达到 MR 级的品系有 69 个,占试验材料的 20.2%;单花滴注接种鉴定抗性达到 MR 级的品系有 49 个,占试验材料的 14.4%,其中有 7 个品系含有 *Fhb1* 基因。由此可见,扬辐麦新品系对赤霉病抗性水平较好,可以尝试从这些 MR 级材料中筛选赤霉病抗性好的新种质,挖掘抗赤霉病其他基因,也可从中筛选出丰产性、综合性状好的品种。表明利用辐射诱变或杂交与辐射诱变相结合技术进行小麦育种,能够获得赤霉病抗性好的新种质、新材料,是小麦抗赤霉病育种中切实有效的选育方法。

表 4 经单花滴注接种鉴定为 MR 品系 *Fhb1* 基因的检测结果

小麦品系	病小穗数率 (%)	严重度	TaHRC	抗性评价
苏麦 3 号(CK)	9.3	1.37	*	R
扬麦 158(CK)	20.4	2.01		MR
扬麦 15(CK)	43.9	3.11		HS
安农 8455(CK)	79.3	3.82		S
YFM002	9.4	1.4		MR
YFM012	9.5	1.4		MR
YFM036	9.7	1.4		MR
YFM041	9.5	1.4		MR
YFM042	9.6	1.4		MR
YFM044	10.2	1.4		MR
YFM081	10.7	1.4		MR
YFM172	11.1	1.4		MR
YFM110	11.4	1.5		MR
YFM032	11.7	1.5		MR
YFM051	11.8	1.5		MR
YFM093	11.9	1.5		MR
YFM095	12.5	1.5		MR
YFM106	12.6	1.5		MR
YFM121	12.7	1.5		MR
YFM006	12.8	1.6		MR
YFM317	12.9	1.6		MR
YFM015	13.1	1.7		MR
YFM114	13.5	1.7		MR
YFM304	13.6	1.7		MR
YFM335	13.7	1.7		MR
YFM330	13.9	1.8		MR
YFM168	13.9	1.8		MR
YFM179	14.6	1.8		MR
YFM198	15.1	1.8	*	MR
YFM290	15.1	1.8	*	MR
YFM315	15.5	1.8		MR
YFM320	15.7	1.8		MR
YFM010	15.7	1.9		MR
YFM016	15.7	1.9		MR
YFM162	16.1	1.9		MR
YFM170	16.2	1.9		MR
YFM325	16.4	1.9		MR
YFM334	16.4	1.9		MR
YFM340	16.5	1.9		MR
YFM132	16.5	1.9	*	MR
YFM150	16.6	1.9	*	MR
YFM158	16.7	1.9		MR
YFM243	16.7	1.9		MR
YFM286	16.8	1.9	*	MR
YFM025	16.9	2	*	MR
YFM026	17.1	2	*	MR
YFM061	17.5	2		MR
YFM196	17.6	2		MR
YFM213	17.6	2		MR
YFM250	17.8	2		MR
YFM305	17.9	2		MR
YFM307	18.1	2		MR
YFM318	18.3	2		MR

参考文献:

[1]常 蕾,张 瑜,曲若端,等. 江苏省小麦新品系赤霉病抗性鉴定与评价[J]. 江苏农业科学,2018,46(16):87-91.

[2]贾宝森,徐 锐,熊泽浩,等. 198 份小麦种质资源赤霉病综合抗性鉴定及其 *FHB1* 抗性基因检测[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):104-108.

[3]黄 冲,姜玉英,吴佳文,等. 2018 年我国小麦赤霉病重发特点及原因分析[J]. 植物保护,2019,45(2):160-163.

[4]胡文静,张 勇,陆成彬,等. 小麦品种扬麦 16 赤霉病抗扩展 QTL 定位及分析[J]. 作物学报,2020,46(2):157-165.

[5]陆维忠. 小麦赤霉病研究[M]. 北京:科学出版社,2001:14-23.

[6]张 煜,李正玲,王 震,等. 黄淮南部麦区小麦赤霉病抗性鉴定及基因型分析[J]. 麦类作物学报,2020,40(3):270-277.

[7]张 勇,胡文静,张春梅,等. 我国“十三五”育成小麦新品种(系)抗赤霉病进展分析与展望[J]. 生物技术进展,2021,11(5):590-598.

[8]姚克兵,庄义庆,尹 升,等. 江苏小麦赤霉病综合防控关键技术研究[J]. 植物保护,2018,44(1):205-209.

[9]李楠楠,李顺成,韩玉林,等. *Fhb1* 基因改良‘周麦’品种赤霉病抗性研究[J]. 中国农学通报,2021,37(4):98-104.

[10]张宏军,宿振起,柏贵华,等. 利用 *Fhb1* 基因功能标记选择提高黄淮冬麦区小麦品种对赤霉病的抗性[J]. 作物学报,2018,44(4):505-511.

[11]赵林妹,刘录祥. 农作物辐射诱变育种研究进展[J]. 激光生物学报,2017,26(6):481-489.

[12]王琳清,陈秀兰,柳学余. 小麦突变育种学[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004:255-256.

[13]刘建凤,张 容,陈士强,等. 小麦扬辐麦 4 号辐射诱变突变体筛选和突变体库构建[J]. 江苏农业科学,2021,49(22):88-94.

[14]廖 森,方正武,胡文静,等. 59 份江苏小麦品种(系)的抗赤霉病评价与农艺性状分析[J]. 麦类作物学报,2022,42(3):297-305.

[15]张 彬,李金秀,王 震,等. 黄淮南片麦区主栽小麦品种对赤霉病抗性分析[J]. 植物保护,2018,44(2):190-194,198.

[16]中华人民共和国农业部. 小麦区域试验品种抗赤霉病鉴定技术规程:NY/T 2954—2016[S]. 北京:中国农业出版社,2016.

[17]张晓军,肖 进,王海燕,等. 小偃麦衍生品系的赤霉病抗性评价[J]. 作物学报,2020,46(1):62-73.

[18]高德荣,胡文静,张 勇,等. 小麦抗赤霉病遗传育种研究进展及思考[J]. 长江大学学报(自然科学版),2021,18(5):66-77.

[19]蒋正宁,赵仁慧,陈甜甜,等. 分子标记辅助选育兼抗赤霉病、白粉病和黄花叶病毒病的小麦新品系[J]. 江苏农业学报,2021,37(5):1100-1107.

[20]陈士强,陈秀兰,张 容,等. 小麦赤霉病抗性与株高的相关性研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):144-147.

[21]咸莉梅,胡 怡,李 磊,等. 浅议小麦赤霉病抗性类型与鉴定方法的对应性[J]. 生物技术进展,2021,11(5):554-559.

[22]朱靖环,王其飞,华 为,等. 小麦种质材料赤霉病抗性鉴定及遗传多样性分析[J]. 麦类作物学报,2020,40(12):1461-1471.

[23]陈士强,张 容,王建华,等. 小麦赤霉病抗性与株高及穗部性状的相关性研究[J]. 江西农业学报,2020,32(6):23-29.

注:“*”表示供试扬辐麦新品系材料携带 *Fhb1* 抗性位点。