

我国“十三五”育成小麦新品种(系)抗赤霉病进展分析与展望

张勇^{1,2}, 胡文静^{1,2}, 张春梅¹, 蒋正宁¹, 吕国峰^{1,2}, 高德荣^{1,2*}

1.江苏里下河地区农业科学研究所, 农业部长江中下游小麦生物学与遗传育种重点实验室, 江苏 扬州 225007;

2.扬州大学江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心, 江苏省植物功能基因组学重点实验室, 江苏 扬州 225009

摘要: 小麦赤霉病严重威胁我国粮食和食品安全, 培育抗赤霉病小麦品种是解决该病害最经济有效的途径。20 世纪 90 年代后, 以扬麦 158 为代表的扬麦、宁麦系列中抗赤霉病品种的育成和大面积推广有效抵御了长江中下游麦区的赤霉病危害, 使我国抗赤霉病育种处于国际领先水平。尽管全球明确了 7 个抗赤霉病基因, 为开展抗赤霉病育种提供了重要支撑, 但由于赤霉病抗性机制复杂, 实现高抗与高产的协调仍极其困难, 抗赤霉病仍是当前及未来我国小麦育种的主要目标。对“十三五”期间我国小麦新品种和审定品种的抗性情况以及我国抗赤霉病育种方面取得的进展进行了综述, 并提出了重视挖掘和利用扬麦等推广品种中优异抗性基因、将 *Fhb1* 导入扬麦等主栽品种的育种技术路线和重视表型精准鉴定等建议, 以期为实现我国抗赤霉病育种突破提供借鉴。

关键词: 小麦; 赤霉病; *Fhb1*; 育种

DOI: 10.19586/j.2095-2341.2021.0123

中图分类号: S435.121.4+5

文献标识码: A

Analysis and Prospect of Fusarium Head Blight Resistance for New Wheat Varieties (Lines) Bred During “the 13th Five-year Plan”

ZHANG Yong^{1,2}, HU Wenjing^{1,2}, ZHANG Chunmei¹, JIANG Zhengning¹, LV Guofeng^{1,2}, GAO Derong^{1,2*}

1. Key Laboratory of Wheat Biology and Genetic Improvement for Low & Middle Yangtze Valley, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Lixiahe Institute of Agriculture Sciences, Jiangsu Yangzhou 225007, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Crop Genomics and Molecular Breeding, Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops, Yangzhou University, Jiangsu Yangzhou 225009, China

Abstract: Fusarium head blight (FHB) is one of the most destructive wheat disease that threatens to grain yield and food security in China. FHB resistant wheat varieties breeding is the most economical and effective way to manage the problem. Since 1990, the wheat cultivars of Yangmai and Ningmai series with moderate resistant to FHB played an important role in controlling the destruction of FHB in the Yangtze River area, resulting in our FHB resistance breeding reach to the international leading level. Although only seven resistance genes have been identified in wheat so far, which provide important support for the development of FHB resistant wheat variety, it is still very difficult to obtain wheat varieties with high level of resistance to FHB in combination with high yield due to the complex genetic mechanism. FHB resistant wheat variety breeding is still the main breeding objective in China at present and in the future. We summarized new FHB resistant lines/cultivars in China during “the 13th Five-year Plan” period, and suggested to identify the new FHB resistance genes/loci from Yangmai series wheat and introduce *Fhb1* into Yangmai cultivars. In addition, it will be very important to pay attention to develop the high efficiency and accurate new technology for FHB phenotype. This review was expected to provide some comments for the breakthrough in FHB resistant wheat breeding in China.

收稿日期: 2021-06-18; 接受日期: 2021-07-15

基金项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-03); 国家自然科学基金项目 (31901544)。

联系方式: 张勇 E-mail: zy@wheat.org.cn; * 通信作者 高德荣 E-mail: gdr@wheat.org.cn

Key words: wheat; Fusarium head blight; *Fhb1*; breeding

小麦赤霉病是由禾谷镰刀菌等引起的世界性病害,不仅造成严重的粮食减产,而且发病后产生的DON等赤霉毒素严重危害人类健康^[1-2]。长江中下游麦区和黄淮麦区分别是赤霉病重发区和常发区,2001—2010年平均发病面积为6 000万亩,2011—2018年上升至8 000万亩,多数地区赤霉毒素含量超过国家限量,严重影响我国粮食和食品安全^[3-6]。到目前为止,赤霉病仍然是可防不可治,一旦发病不能控制,只能采取预防措施。因赤霉病发生受气象条件等影响,发病程度准确预报难度较大,因此无论发病与否,一般都要防治1~2次^[5],也造成了不必要的浪费和环境污染,与绿色生产要求相悖,而且高感品种在重发年份即使药剂防治也难以奏效。因此,选育和推广抗病品种是解决赤霉病问题最经济高效的途径^[6]。

我国最早开展抗赤霉病遗传改良工作,20世纪70年代育成了高抗赤霉病品种苏麦3号,20世纪80年代,我国小麦赤霉病研究协作组鉴定了3万多份材料,筛选出中抗以上材料1 000多份,但只有苏麦3号、望水白等极少数材料稳定达高抗水平^[6-7]。20世纪90年代后,以扬麦158为代表的扬麦、宁麦系列中抗赤霉病品种的育成和大规模推广有效控制了长江中下游麦区赤霉病危害,使我国抗赤霉病育种处于国际领先水平^[8-9]。但由于赤霉病抗性机制复杂,培育高抗高产品种仍然极其困难^[6]。此前赤霉病在黄淮等主产区为偶发病害,未列为小麦主要育种目标,因此绝大多数品种为高感。随着赤霉病向黄淮麦区的不断扩展,抗赤霉病育种得到重视。“十三五”期间,国家小麦良种联合攻关、国家小麦产业技术体系等设置了小麦赤霉病综合防控技术集成与生产模式示范以及在黄淮麦区设立了抗赤霉病大区试验组别,国家七大作物育种专项及各省重大育种专项明确了抗赤霉病育种相关专项,进一步推动了我国抗赤霉病遗传改良研究。通过对国家区试和国家小麦良种联合攻关相关试验中我国主要育种单位提供的新品系和“十三五”期间国家审定及主要省份审定品种的赤霉病抗性鉴定结果综合分析,可以客观反映我国抗赤霉病育种取得的最新进展、品系群体抗性基础和后续发展潜力。

1 十三五期间新品(种)系和审定品种赤霉病抗性表现

1.1 国家区试新品系及国审品种赤霉病抗性表现

对2017—2020年国家区域试验1 777份/次参试品系4年度扬州点赤霉病抗性鉴定结果分析表明(表1),R级品系比例为2.50%~3.93%,虽然总体占比极低,但在参试品系数总数逐年增加的基础上,保持着缓慢增加趋势。MR级品系比例为19.26%~35.76%,2018、2019年度中抗品系绝对数量与2017年相比波动不大,但由于参试品系数大幅度增加,因此比例呈下降趋势;2020年中抗品系数明显增加,中抗以上品系比例恢复并超越2017年水平(图1),一方面是因为特殊气候导致2020年抗性鉴定整体偏轻,另一方面也说明各单位近几年加大了新品系赤霉病抗性的筛选力度,参试品系抗性总体水平有所提升。小麦赤霉病当年抗性鉴定结果为下年度审定品种提供了抗性参考数据,表1右侧数据为2018—2021年国审品种不同抗性类型分类汇总,可以发现,随着对赤霉病育种的重视,中抗品种数量缓慢上升,但是所占比例仍然偏低(6.56%~12.68%),与中抗以上参试新品系占比22.57%~39.69%相比,仍有许多抗性较好的品系由于综合丰产性等因素未能达到品种审定的标准;高感品种比例呈现出缓慢下降趋势,但仍占70%以上(72.54%~77.78%),说明我国审定品种的总体抗性水平仍有巨大的提升空间(图2)。

1.2 国家小麦良种联合攻关参试品系表现

国家小麦良种联合攻关抗赤霉病指定鉴定单位江苏里下河地区农科所(主要负责长江上游和中下游麦区)和南阳市农科院(主要负责黄淮麦区等)分别对参试新品系进行了多年筛选鉴定。2017—2020年共鉴定参试品(种)系932份/次,其中高抗赤霉病品系7份/次,占参试品系0.75%;中抗赤霉病品系163份/次,占参试品系17.49%;中感品系201份/次,占参试品系21.57%;高感品系561份/次,占参试品系60.19%(表2)。对不同抗性类型品(种)系所属麦区分析表明,R级品(种)

表1 国家区试品系及通过审定品种抗赤霉病性分类汇总(2017—2021年)

Table 1 Summary of National Regional Test lines and National approved varieties according to the resistance to FHB (2017—2021)

年份	区试参试品系赤霉病性抗鉴定结果			年份	国审品种赤霉病抗性级别分类与占比		
	抗性级别	品系数	占比		抗性级别	品种数	占比
2017 (320份)	R	8	2.50%	2018 (61份)	R	0	0
	MR	107	33.44%		MR	4	6.56%
	MS	134	41.88%		MS	12	19.67%
	S	71	22.19%		S	45	73.77%
2018 (434份)	R	14	3.23%	2019 (52份)	R	0	0
	MR	119	27.42%		MR	5	9.62%
	MS	95	21.89%		MS	7	13.46%
	S	206	47.47%		S	40	76.92%
2019 (514份)	R	17	3.31%	2020 (99份)	R	0	0
	MR	99	19.26%		MR	7	7.07%
	MS	129	25.10%		MS	15	15.15%
	S	269	52.33%		S	77	77.78%
2020 (509份)	R	20	3.93%	2021 (142份)	R	1	0.70%
	MR	182	35.76%		MR	18	12.68%
	MS	121	23.77%		MS	20	14.08%
	S	187	36.54%		S	103	72.54%

注:左表为2017—2020年参试品系在江苏扬州鉴定结果;右表数据来自2018—2021年农业农村部品种审定公告。

系全部来自长江中下游麦区,52.15%的MR级品系来自长江中下游麦区;93.76%的S级品系来自黄淮南片和黄淮北片(图3)。张煜等^[10]鉴定结果表明,康F、西农511、陕垦10号、安农1581、财源2号、华齐麦5号、轮选33、庐麦2号和WK1602等9个品种(系)表现为中抗赤霉病。2020年召开的国家小麦良种联合攻关鉴评中推荐了包括黄淮麦区的安科1801、安农1589、WK1602、皖宿0891、紫麦19、康F、徐农029、秦农578和西农511等赤霉病抗性较好的品种,而长江中下游麦区的扬16-157是唯一多点鉴定均达R级的新品系。

1.3 “十三五”通过国审品种赤霉病抗性情况

钟光跃等^[11]曾对2009—2020年国审小麦品种根据赤霉病抗性进行了分类,在360个品种中,只有1个达到R级(生选6号,未大面积应用),27个达到MR级,中抗以上比例仅占8.05%,其中22个来自江苏省;感病品种占比达91.95%(其中MS级69个,占19.17%;S级262个,占72.78%);其从不同年度间抗赤霉病品种所占比例分析认为,10余年间抗赤霉病育种并未取得显著进步。2021年6月农业农村部发布第432号公告,154个新品

表2 国家小麦良种联合攻关不同试验组别参试品系赤霉病抗性汇总(扬州、南阳,2017—2020)

Table 2 Summary of FHB resistance in different test groups of National Joint Tackling of improved wheat varieties (Yangzhou and Nanyang, 2017—2020)

抗性分类	试验组别					总计
	长江中下游麦区	长江上游麦区	抗赤霉病大区	黄淮南片	黄淮北片	
R级	7	0	0	0	0	7
MR级	85	28	15	32	3	163
MS级	38	20	18	104	21	201
S级	3	13	19	322	204	561
总计	133	61	52	458	228	932

注:各麦区包括品比和大区试验;抗赤霉病大区试验为黄淮麦区单设。

种通过国家品种审定,其中赤霉病R级品种1个,MR级品种18个,中抗以上品种占比达到了12.33%,较前几年有明显提高,而扬麦33时隔10年之后成为唯一通过国家审定的高抗品种。

对“十三五”期间通过国家审定和江苏、河南等省级审新品种赤霉病抗性分类比较(表3),长江中下游麦区中抗以上品种占本麦区审定品种数

的62.96%,占该类型国审品种数的94.44%;黄淮海区以高感品种为主,黄淮南片和黄淮北片高感品种分别占该麦区审定品种的88.51%和93.55%,中感品种分别占11.06%和4.84%,仅有2个达中抗。在省审品种比较中,江苏淮南由于实行中抗赤霉病的审定准入条件,所以中抗以上品

种100%,河南黄淮海区高感比例达到96.10%,中感品种3.41%,仅1个品种达到中抗。因此“十四五”期间,长江中下游育种目标是如何实现高产与高抗的持续突破,而黄淮海区则要将如何达到中抗水平作为努力目标。

表3 “十三五”期间不同麦区品种抗赤霉病性统计

Table 3 Statistics of varieties resistance to FHB in different wheat zone during “the 13th Five-year Plan” period

审定类别	麦区	年份	赤霉病				合计	中抗以上比例	中感比例	高感比例
			R	MR	MS	S				
国家审定	长江中下游麦区	2017—2021	1	33	20	0	54	62.96%	37.04%	0
	黄淮海区南片	2017—2021	0	1	26	208	235	0.43%	11.06%	88.51 %
	黄淮海区北片	2017—2021	0	1	3	58	62	1.61%	4.84%	93.55 %
省级审定	江苏淮南麦区	2016—2020	1	33	0	0	34	100.00%	0	0
	江苏淮北麦区	2016—2020	0	2	13	22	37	5.41%	35.14%	59.46 %
	河南黄淮海区	2017—2020	0	1	7	197	205	0.49%	3.41 %	96.10%

注:数据来自2016—2021年国家及江苏、河南等省品种审定公告。

2 抗病品种系谱分析及重要品种介绍

2.1 主要抗病品种系谱分析

对2009—2020年28个赤霉病中抗以上的国审品种组合系谱分析表明,由扬麦5号或扬麦4号衍生的品种有16个,占55.17%,为育成品种的赤霉病抗性提供了稳定的抗源^[11]。在此基础上,对2021年通过国家审定的19个赤霉病中抗以上品种的遗传背景分析结果进一步明确了上述两个亲本的贡献,15个品种中有扬麦5号或扬麦4号血统,占比78.95%,其中大多同时有扬麦或宁麦的亲本参与配组(表4),仅有两个品种的组合中有黄淮品种血统,其余均为长江中下游麦区的亲本,说明在以抗赤霉病为主要目标的育种进程中,以黄淮主推品种为亲本所配的组合难以保留下来。胡文静等^[12]从扬麦16中挖掘到了抗赤霉病位点QFhb.yaas-2DL、QFhb.yaas-3BL、QFhb.yaas-4DS和QFhb.yaas-6AS,表型贡献率为8.8%~15.0%。吕国锋等^[13]对长江中下游麦区49个新品种(系)抗赤霉病基因检测结果表明:36个品种携带QFhs.crc-2D位点,其中扬麦158(扬麦4号衍生品种)或扬麦5号衍生系有32个;15个品种携带*Fhb1*基因,其中12个为宁麦9号衍生系。其中3个品种(系)同时携带QFhs.crc-2D和*Fhb1*。扬麦158和

宁麦9号及其衍生品种在抗赤霉病主效基因/位点*Fhb1*和QFhs.crc-2D组成上存在分离。因此,聚合这两类品种的主效抗性位点更易取得丰产性和赤霉病抗性协调。

黄淮海区育种单位近年来加强了抗赤霉病育种的力度。中国农业科学院作物科学研究所利用矮败周麦16与具有*Fhb1*基因的品种如生选6号等杂交和回交,利用*Fhb1*基因的功能标记选择,后代携带*Fhb1*家系整体抗性达到中感水平^[14]。山东省农业科学院以含有4个抗赤霉病基因(*Fhb1*、*Fhb2*、*Fhb4*和*Fhb5*)聚合的种质NMA020为抗源与济麦22、石H083-366等杂交复交构建的抗赤霉病育种选择群体,创制和筛选出综合性状优良且抗赤霉病的小麦新品系济麦8681和济麦8775,可作为抗病中间材料进一步加以利用^[15]。周口市农业科学院利用本地主栽周麦品种(系)周麦22号、周麦32号、周11550等与抗赤霉病小麦品种宁麦9号、生选6号、扬麦21等配置一系列杂交组合,利用抗赤霉病主效基因*Fhb1*紧密连锁的诊断性标记His-InDel对后代材料进行分子检测,筛选到的阳性后代材料的赤霉病抗性比感病亲本有显著的提升^[16]。此外,抗赤霉病育种还得到了政府部门的高度重视,河南省小麦新品种区试为此专门设置了小麦抗赤霉病组,并对赤霉病抗性

表4 2021年中抗以上国审品种及国内已审定R级品种汇总

Table 4 Summary of new national approved varieties with resistance or moderate resistance to FHB and total approved varieties with high resistance to FHB in China in 2021

品种名称	审定编号	系谱追溯	赤霉病	麦区
扬麦33	国审麦20210078	苏麦6号/扬97G59//扬麦18(组合:[4×宁麦9号/3/6×扬麦158//88-128/南农P045])	R	长江中下游
生选6号	国审麦20090004	扬麦5号/扬麦6号//宁麦9号	R	长江中下游
华麦5号	苏审麦201002	扬麦158/PH82-2-2	R	江苏淮南麦区
宁麦20	苏审麦2012002	Y18/生选4号[(扬麦5号/扬麦6号//宁9)F ₁ 花药培养]	R	江苏淮南麦区
宁麦资119	苏审麦20180002	意大利软质小麦/宁麦13//宁麦13(组合:宁麦9号系选)	R	江苏淮南麦区
金丰麦2号	国审麦20210003	郑麦9023/镇麦168(组合:6698/扬麦5号//扬97G59)	MR	长江中下游
苏麦0558	国审麦20210004	宁麦8号(组合:扬麦5号/扬麦6号)/镇麦168(组合:6698/扬麦5号//扬97G59)	MR	长江中下游
国红9号	国审麦20210006	杨辐麦2号[组合:(扬麦158×101-901)F ₁ 辐射]/罗麦10号	MR	长江中下游
宁麦32	国审麦20210007	扬麦11/宁9-36//镇05185(组合:6698/扬麦5号//扬97G59)	MR	长江中下游
宁麦31	国审麦20210008	扬麦11/宁0453	MR	长江中下游
宁麦30	国审麦20210010	宁0798/宁9-36	MR	长江中下游
扬麦31	国审麦20210013	扬麦11 ³ /扬07纹9333	MR	长江中下游
扬麦32	国审麦20210014	镇麦8号(组合:扬麦158/宁麦9号)/扬麦18 ²	MR	长江中下游
宁麦资166	国审麦20210101	ID0580-22/宁麦13//镇麦6号(组合:扬麦158/镇麦1号)/3/偃高1号/烟农159//优繁5号/NDW	MR	长江中下游
苏麦288	国审麦20210102	宁麦8号(组合:扬麦5号/扬麦6号)/镇麦168(组合:6698/扬麦5号//扬97G59)	MR	长江中下游
光明麦1526	国审麦20210105	郑9023/扬麦18[组合:(4×宁麦9号/3/6×扬麦158//88-128/南农P045)]	MR	长江中下游
国红12	国审麦20210106	BH05-60(扬麦158/N553)/徐麦27	MR	长江中下游
泰麦902	国审麦20210107	宁9-36*2/扬辐9798[组合:(扬麦158×1-9012)F ₁ 辐射]	MR	长江中下游
宁麦29	国审麦20210108	宁0798/扬麦9号(组合:扬麦5号/扬鉴三)	MR	长江中下游
农麦99	国审麦20210109	华麦2号/扬辐麦4号[组合:(扬麦5号/扬麦6号//宁麦9号)辐射]	MR	长江中下游
日辉麦22	国审麦20210110	武农148/黄355	MR	长江中下游
华麦10号	国审麦20210112	华麦0480/华麦2号	MR	长江中下游
皖宿1510	国审麦20210088	新麦21//皖麦50/新麦11	MR	黄淮南片

注:镇麦168:6698/扬麦5号//扬97G59;镇麦8号:扬麦158/宁麦9号;镇麦9号(品系名镇05185):6698/扬麦5号//扬97G59;镇麦6号:扬麦158/镇麦1号;宁麦8号:扬麦5号/扬麦6号;扬辐麦2号:(扬麦158×101-901)F₁辐射;扬辐麦4号:(扬麦5号/扬麦6号//宁麦9号)辐射;扬辐9798:(扬麦158×1-9012)F₁辐射;扬麦158:扬麦4号/ST1472/506选系;扬麦18:(4×宁麦9号/3/6×扬麦158//88-128/南农P045);扬麦9号:扬麦5号/扬鉴三;扬麦11:扬158/3/Y.C/鉴二//扬85-85⁴;生选4号:(宁8×宁9)F₁花药培养;宁麦13:(扬麦6号/西风)系选。

好的品种放宽了产量要求^[17]。“十三五”期间黄淮海区抗赤霉病育种取得了阶段性进展,有31个中感以上品种通过国家审定,为黄淮海区后续育种抗性提升奠定了基础。但通过对中感以上品种系谱分析(表5),发现其中以淮麦为亲本育成的品种约占1/3,暂未见直接利用长江中下游麦区抗病品种为亲本育成的品种,因此长江中下游抗性资

源在黄淮海区的抗赤霉病育种中的利用有待进一步加强。

2.2 抗赤霉病育种重要进展

扬麦33(扬16-157)是江苏里下河地区农科所应用多基因聚合与分子标记育种技术育成的高抗赤霉病新品种,2021年6月通过国家审定(国审麦20210078)。携有赤霉病主效抗性基因 *Fhb1* 和

表5 “十三五”期间黄淮麦区中感以上国审品种汇总

Table 5 Summary of moderate resistant and moderate susceptible varieties to FHB in Huang-huai wheat zone during “the 13th Five-year Plan” period

品种名称	审定编号	组合	赤霉病抗性	麦区
恒进麦8号	国审麦20170002	周麦16/淮麦28	MS	黄淮南片
天益科麦5号	国审麦20170003	淮0566/洛麦23	MS	黄淮南片
瑞华麦523	国审麦20170004	郑麦9023/烟1604	MS	黄淮南片
瑞华麦516	国审麦20180048	洛麦21/淮麦17	MS	黄淮南片
安科1401	国审麦20190055	百农64/新9526	MS	黄淮南片
郑麦0943	国审麦20190056	郑97199/济麦19	MS	黄淮南片
中麦4072	国审麦20190057	984121/烟5286	MS	黄淮北片
中麦5051	国审麦20190058	烟农19/烟农21	MR	黄淮北片
天益科麦6号	国审麦20200019	淮麦0567/洛麦23	MS	黄淮南片
西农501	国审麦20200020	西农509/H8-4	MS	黄淮南片
淮麦43	国审麦20200022	太谷核不育基因组建的冬春性小麦轮回群体	MS	黄淮南片
濮麦087	国审麦20200042	浚K8-4/濮麦9号	MS	黄淮南片
涡麦606	国审麦20200046	莱州137/新麦13/淮麦25	MS	黄淮南片
荷麦23	国审麦20200048	(9428-50/莱州137)F ₁ /鲁麦21	MS	黄淮北片
中育9302	国审麦20200062	矮败小麦//周麦16/04中36	MS	黄淮南片
大平原1号	国审麦20200066	豫麦34/济南17	MS	黄淮南片
西农369	国审麦20200081	西农979/中育11号	MS	黄淮南片
豫丰307	国审麦20200089	豫同194/豫同68-2	MS	黄淮南片
农麦168	国审麦20200094	烟农19/郑麦366	MS	黄淮南片
天益科麦7号	国审麦20210018	紫麦19/淮麦25	MS	黄淮南片
华成865	国审麦20210021	华成3366/(淮麦18/皖麦46)F ₅	MS	黄淮南片
淮麦1033	国审麦20210025	04346//洛麦23/05296	MS	黄淮南片
淮麦47	国审麦20210030	冬春轮回选择群体	MS	黄淮南片
驻麦762	国审麦20210035	04中36/矮抗58	MS	黄淮南片
皖宿0891	国审麦20210083	淮麦30/皖麦50/烟农19	MS	黄淮南片
安农1589	国审麦20210085	济麦22//M0959/168	MS	黄淮南片
皖宿1510	国审麦20210088	新麦21//皖麦50/新麦11	MR	黄淮南片
众信麦998	国审麦20210125	莱州137/众信5072	MS	黄淮南片
轮选49	国审麦20210150	烟农19/师栗02-1	MS	黄淮北片
武农981	国审麦20210154	武农6号/08大穗	MS	黄淮南片
武农988	国审麦20210153	武农6号/08大穗	MS	黄淮南片

注:数据来自2016—2021年国家品种审定公告。

QFhb-yaas-2DL,以及白粉病主效抗性基因 *Pm21*, 国家小麦良种联合攻关试验多点抗赤霉病鉴定结果均为R级,抗性与苏麦3号相当。在2018—2020年度国家小麦良种联合攻关大区试验中,20个试点两年平均比对照扬麦20增产5.18%,2019—2020年度生产试验中,平均较对照增产5.74%,居参试品种第1位,增产率100%。实现了小麦品种赤霉病抗性与丰产性有效结合,是国内外小麦

抗赤霉病育种的重大突破。

据江苏省植保站2021年5月下旬调查,今年高邮市小麦赤霉病属于偏重至大发生,自然发病程度重,扬麦33在高邮市甘垛镇带程村示范种植田间抗性表现优异,不防治田块自然病穗率仅1.59%,病情指数0.39,自然发病程度明显低于中抗品种扬麦20不防治田块的12.89%(病指4.51),及防治二次田块的3.19%(病指1.02),显著低于

中感品种扬麦 15 防治两次田块的 35.10% (病指 14.84); 此外, 扬麦 33 对白粉病也具有较好的抗病性, 不防治田叶片完整、未见病叶。扬麦 33 的育成和推广对于促进我国小麦绿色高质量发展, 保障我国种业安全和粮食安全具有重要意义。

3 抗赤霉病遗传改良建议

3.1 重视扬麦等推广品种中优异抗性基因的挖掘利用

我国小麦赤霉病相关基础研究大多集中在苏麦 3 号、望水白、长穗偃麦草、鹅观草等小麦和野生物种并取得重要进展^[3,18-20], 2016—2020 年来自苏麦 3 号和长穗偃麦草的抗赤霉病基因 *Fhb1* 和 *Fhb7*^[21-23] 被分别克隆。*Fhb1* 是国际公认抗性最好的基因, 得到国内外广泛应用^[3,16,24]。同时, 国内外也定位了大量的抗赤霉病 QTL^[3,25]。由于抗病基因和 QTL 总体效应仍然较低, 可能与农艺性状存在连锁累赘, 实现赤霉病抗性和丰产性的结合非常困难。扬麦系列多数品种没有 *Fhb1*, 但是具有良好的抗性, 是我国抗赤霉病重要的材料来源, 针对其抗赤霉病基因资源虽已有研究但仍未充分利用^[12,26-27]。胡文静等^[27-29] 从长江中下游 93 个改良品种和地方品种筛选出赤霉病抗性与综合农艺性状结合较好的品种 8 个, 以扬麦品种为主, 经过分子标记检测表明这些品种多数不携有 *Fhb1*, 但是携有其他如 QFhs.crc-2DL 等抗病位点, 说明 *Fhb1* 不是增强赤霉病抗性的唯一途径。此外, 长江中下游麦区的其他一些早期品种也有较好的抗性, 解析这些品种的抗赤霉病遗传基础, 发掘优异抗病基因, 加强这类抗源和抗病基因/位点在育种中的利用, 是突破我国抗赤霉病育种难题的重要途径。

3.2 抗赤霉病育种技术方案

程顺和院士曾提出抗赤霉病育种的两条路线^[30], 其重点在于充分利用品种间的超亲遗传并基于表型选择选育出抗赤性与丰产性同步得到提高的品种。扬麦系列大多数品种背景中携有高粒重、灌浆速率快等优异等位变异, 长期育种实践表明, 在扬麦品种原有抗性基础上导入 *Fhb1*, 结合充分的抗性表型和产量鉴定筛选, 可以将 *Fhb1* 与扬麦品种的抗赤霉病和优良农艺性状背景结合,

实现抗赤霉病与产量的同步突破。在以上育种实践的基础上, 江苏里下河地区农科所获得了一批抗赤霉病的高代品系, “十三五”期间推荐参加省级以上试验新品系 20 多份, 培育中抗以上新品种 5 个。通过对包括扬麦 33 在内的 5 个高抗品种 (表 4) 系谱分析发现有 3 个同时有扬麦和宁麦品种的背景, 证明该技术方案的可行性。因此, 我们提出通过分子标记选择技术将 *Fhb1* 导入扬麦主体品种中, 聚合 *Fhb1* 和扬麦系列品种携带的其他优异赤霉病抗性基因/位点, 同时保留扬麦优良农艺性状, 结合充分的抗性表型和产量鉴定筛选程序, 可以实现长江中下游麦区品种赤霉病抗性和产量的协同提高。

3.3 重视表型精准鉴定

随着现代生物技术的发展, 利用高通量分子检测平台可以快速地进行抗病基因的聚合或累加, 提高育种效率。目前已鉴定了 7 个抗赤霉病基因, 为定靶追踪开展抗赤霉病育种提供了重要支撑^[18,22,25]。但由于赤霉病抗性机制复杂, 已有育种实践表明, 提高赤霉病抗性决非简单导入几个抗性基因就能解决问题, 单纯依赖上述基因无法根本解决我国小麦赤霉病难题。不同麦区的相关研究及育种实践表明, 育种后代携带相同的 *Fhb1* 基因其赤霉病抗性存在显著差异^[3,13-14]。张煜等^[9] 在黄淮麦区抗赤霉病育种过程中发现, 同时含有 3 个抗性基因的种质材料 K03562 和 K03566 经单小花滴注接种鉴定仅为中感赤霉病, 而许多不含抗性基因的材料仍然具有较好的抗性。刘建军^[15] 在分子标记辅助育种过程中发现含有 1 个或几个抗赤霉病基因/QTL 的品系也不一定都表现良好的赤霉病抗性, 所以, 分子标记跟踪检测杂交后代只能作为抗赤霉病育种的辅助手段, 最终需要田间赤霉病抗性鉴定进行抉择。因此, 精准的表型鉴定必不可少, 而且高代品系需要多年多点的重病区鉴定检验。由于自然鉴定受气象条件和小麦花期差异影响较大, 抗性评价结果不精确; 人工接种鉴定相对准确, 但用工量大和效率低, 难以在育种进程中大规模使用。因此, 在不同麦区构建适用于大面积育种的高通量表型鉴定平台可以为我国抗赤霉病育种集中提供鉴定服务。“十三五”期间在江苏扬州、河南南阳等已建立的抗赤霉病表型鉴定平台为国家小麦良种联合攻关和国家区试等提供了有效的鉴定服务, 建设更多的适合不同

麦区的鉴定设施或平台将为我国抗赤霉病遗传改良提供有力保障。

4 展望

未来随着更多的丰产品种中易于育种利用的抗性基因的发掘和定位,可以通过定向选择和保留足够的遗传变异来克服抗病基因/位点对农艺性状和产量的负向效应;随着更多携有来源于长穗偃麦草、纤毛鹅观草等的抗赤霉病基因的小片段易位系等材料的创制和利用,通过把不同来源的抗性基因转移到各主产区丰产品种的背景中,再继续根据育种目标进行杂交等,利用分子标记辅助聚合已知常规抗源中抗赤霉病基因/QTL和外源的抗性基因,结合表型鉴定筛选,仍然是提高抗性、实现抗赤霉病育种突破努力的方向之一。此外,通过对感赤霉病基因的发掘和认识的加深,在育种群体中除筛选利用抗性基因外,还可以利用标记筛选剔除携带感病基因材料实现抗性提高,而根据小麦易感赤霉病基因 *TaHRC*、*TaRD21A* 等序列设计特异性靶位点序列,利用基因编辑技术也可能是实现感病材料提升赤霉病抗性的新途径。

鉴于国内目前众多单位对抗赤霉病育种的重视、大量的研究投入和已有的不同阶段的育种材料基础,通过国家小麦良种重大联合攻关、产业技术体系及全国赤霉病研究优势单位间的协作,将会重点突破新基因发掘、高通量鉴定平台和抗赤霉病育种技术等瓶颈。通过5~10年的共同努力有望实现:长江中下游麦区抗性达R(抗)级品种占20%,MR(中抗)级占80%;黄淮麦区抗性提高一个等级,MR级占10%,MS(中感)级以上品种占50%,逐渐淘汰S(感病)级品种。

参 考 文 献

- [1] BUERSTMAYR H, BAN T, ANDERSON J A. QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: a review [J]. Plant Breed., 2009, 128(1):1-26.
- [2] 史建荣,刘馨,仇剑波,等.小麦中镰刀菌毒素脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染现状与防控研究进展[J].中国农业科学,2014,47(18):3641-3654.
- [3] 张爱民,阳文龙,李欣,等.小麦抗赤霉病研究现状与展望[J].遗传,2018,40(10):858-873.
- [4] 金艳,刘付锁,朱统泉,等.河南省小麦赤霉病的发生情况分析
- 与防治对策[J].河南科技学院学报,2016,44(6):1-4.
- [5] 吴佳文,杨荣明,朱凤,等.2015年江苏省小麦赤霉病发生特点与防控对策探讨[J].中国植保导刊,2016, 36(10):31-34.
- [6] 马鸿翔,周明国,陈怀谷.小麦赤霉病[M].南京:江苏凤凰科学出版社,2019.
- [7] 全国小麦赤霉病研究协作组.小麦品种资源抗赤霉病性鉴定研究[J].作物品种资源,1984(4):2-7.
- [8] 程顺和,张勇,别同德,等.中国小麦赤霉病的危害及抗性遗传改良[J].江苏农业学报,2012,28(5):938-942.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 钟光跃,黄辉跃,汪仁全,等.我国小麦抗赤霉病资源应用及育种成效现状[J].农业科技通讯,2021 (2):4-7,10.
- [12] 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.
- [13] 吕国锋,别同德,王慧,等.长江下游麦区新育成品种(系)3种主要病害的抗性鉴定及抗病基因/QTL的分子检测[J/OL].作物学报,doi:10.3724/SP.J.1006.2021.01097 [2021-06-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20210601.1559.004.html>.
- [14] 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.
- [15] 刘建军,李豪圣,陈雪燕,等.利用分子标记辅助选择创制抗赤霉病小麦新品系[J].山东农业科学,2021,53(5):74-79.
- [16] 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.
- [17] 牛皓,姜玉梅,牛吉山.小麦抗赤霉病遗传育种研究进展[J].农业生物技术学报,2020,28(3):530-542.
- [18] QI L L, PUMPHREY M Q, FRIBB B, et al. Molecular cytogenetic characterization of alien introgressions with gene *Fhb3* for resistance to Fusarium head blight disease of wheat [J]. Theor. Appl. Genet., 2008,117(7):1155-1166.
- [19] XUE S L, XU F, TANG M Z, et al. Precise mapping *Fhb5*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Theor. Appl. Genet., 2011,123(6):1055-1063.
- [20] YI X, CHENG J, JIANG Z, et al. Genetic analysis of Fusarium head blight resistance in CIMMYT bread wheat line C615 using traditional and conditional QTL mapping [J/OL]. Front. Plant Sci., 2018, 9:573[2021-08-11]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00573>.
- [21] SU Z, BERNARDO A, TIAN B, et al. A deletion mutation in *TaHRC* confers *Fhb1* resistance to Fusarium head blight in wheat [J]. Nat. Genet.,2019,51(7):1099-1105.
- [22] LI G, ZHOU J, JIA H, et al. Mutation of a histidine-rich calcium-binding-protein gene in wheat confers resistance to Fusarium head blight [J]. Nat. Genet.,2019,51(7):1106-1112.
- [23] WANG H, SUN S, GE W, et al. Horizontal gene transfer of

- Fhb7 from fungus underlies Fusarium head blight resistance in wheat [J/OL]. Science, 2020, 368(6493): eaba5435 [2021-08-11]. <https://science.sciencemag.org/content/368/6493/eaba5435>. DOI: 10.1126/science.aba5435.
- [24] 朱展望, 徐登安, 程顺和, 等. 中国小麦品种抗赤霉病基因 Fhb1 的鉴定与溯源[J]. 作物学报, 2018, 44(4): 473-482.
- [25] BAI G, SU Z, CAI J. Wheat resistance to Fusarium head blight [J]. Can. J. Plant Pathol., 2018, 40(3): 336-346.
- [26] HU W, GAO D, WU H, *et al.* Genome-wide association mapping revealed syntenic loci *QFhb-4AL* and *QFhb5DL* for Fusarium head blight resistance in common wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. BMC Plant Biol., 2020, 20(2): 354-372.
- [27] 蒋正宁, 吕国锋, 王玲, 等. 扬麦品种(系)赤霉病抗扩展性基因分子检测及其抗性评价[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(12): 1406-1415.
- [28] 姜朋. 小麦核心种质宁麦 9 号与扬麦 158 重要农艺性状及赤霉病抗性的遗传解析[D]. 泰安: 山东农业大学, 博士学位论文, 2020.
- [29] 胡文静, 张春梅, 吴迪, 等. 长江中下游小麦抗赤霉病品种的筛选与部分农艺性状分析[J]. 中国农业科学, 2020, 53(21): 4313-4321.
- [30] 程顺和, 张勇, 张伯桥, 等. 小麦抗赤霉病育种 2 条技术路线的探讨[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2003, 24(1): 59-62.