

小麦品种(系)抗白粉病和 *Pm4b* 分子标记鉴定

王竹林,李美霞,奚亚军,刘曙东

(西北农林科技大学 农学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:采用室内苗期鉴定、大田人工接种鉴定和 *Pm4b* 分子标记对黄淮麦区的 98 个小麦品种(系)进行了白粉病抗性分析。苗期鉴定结果表明,被测品种中,抗病品种 5 个,占参试品种的 5%。田间接种鉴定发现,抗病品种 39 个,占参试品种的 39%。分子标记检测发现,98 份供试材料中有 3 份样品检测到 *Pm4b* 基因的标记片段,占供试材料的 3%。苗期感病而在成株期表现中等抗病有可能是慢病性品种,是一种更有利用前途的抗病种质。

关键词:小麦;白粉病;*Pm4b*;抗病鉴定

中图分类号:Q78;S435.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)02-0056-06

Appraisal of Resistance to Powdery Mildew and Molecular Marker Analysis of *Pm4b* of Wheat Varieties (Lines)

WANG Zhu-lin, LI Mei-xia, XI Ya-jun, LIU Shu-dong

(College of Agronomy, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: In this study, the resistance to powdery mildew of 98 wheat varieties (lines) of Huanghuai wheat growth area was analyzed using seedling identification, artificial inoculation identification in the field and molecular marker analysis of *Pm4b*. There only 5% tested varieties had resistance to powdery mildew by seedling stage identification. Field inoculation found 39 resistant varieties, accounting for 39% of the tested varieties. There were 3 samples, accounting for 3% of the tested materials, detected the gene marker fragment of *Pm4b* by molecular markers detected. These varieties which were susceptible in the seeding but disease-resistant in the adult stage were potential adult-plant resistance variety which was more promising in future disease-resistant breeding. This study provides an important basis for powdery mildew resistance breeding of wheat.

Key words: Wheat; Powdery mildew; *Pm4b*; Appraisal of resistance

由小麦专化型白粉病菌(*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*)引起的小麦白粉病是世界性小麦主要病害之一^[1],流行范围广,可引起严重减产。自 20 世纪 80 年代以后小麦白粉病已成为我国冬麦区的主要病害,2004-2009 年发生面积均为 685 万 hm^2 ^[2]。小麦白粉病菌属于专化寄生性,生理小种复杂,遗传变异频繁,新的毒性小种不断产生,导致抗病品种的抗性丧失,造成了病害流行及有效的白粉菌抗源的匮乏^[3]。选育抗病、耐病、慢病性品种是防治小麦白粉病最为经济有效且对环境安全无污染的途径。高效率的抗病品种选育,其基础条件是要有适宜的抗性遗传资源,而抗源的发现要通过对大量小麦品种材料观察、调查和了解其抗病性的基础获得^[4-6]。

近年来,国内已有许多科研单位开展了小麦白粉病抗性鉴定工作,鉴定材料总数已达数万份次。

小麦抗白粉病基因按其来源可分成两类:第一类来源于小麦属,其中包括来自普通小麦的 *Pm1a*、*Pm3*、*Pm5e*、*Pm9*、*Pm10*、*Pm11*、*Pm14*、*Pm15*、*Pm22*、*Pm23*、*Pm24*、*Pm28*、*Pm29* 和来源于小麦近源种的 *Pm1b*、*Pm1d*、*Pm4a*、*Pm5a*、*Pm4b*、*Pm6*、*Pm16*、*Pm18*、*Pm25*、*Pm26*、*Pm27*、*Pm30*、*Pm31*、*Pm36* 和 *Pm37*^[7];第二类来源于小麦近源属,包括来自黑麦的 *Pm7*、*Pm8*、*Pm17* 和 *Pm21*,来自拟斯卑尔脱山羊草的 *Pm12*,来自高大山羊草的 *Pm13*,来自粗山羊草的 *Pm2*、*Pm19*、*Pm34* 和 *Pm35* 以及来自簇毛麦的 *Pm21*^[7]。由上述可知,小麦对白粉病的抗性基因主

收稿日期:2013-10-26

基金项目:国家自然科学基金项目(30971768);西北农林科技大学唐仲英育种基金项目

作者简介:王竹林(1965-),女,湖北老河口人,高级实验师,博士,主要从事小麦遗传育种和实验室管理研究。

通讯作者:刘曙东(1958-),男,湖北建始人,教授,硕士,主要从事小麦遗传育种研究。

要来自于小麦属,因此,如何充分利用好小麦属中的抗性资源,对抗白粉病品种的选育乃至整个小麦白粉病防治策略具有至关重要的作用。

在抗源鉴定中,直接人工接种鉴定是最直观的方法,但受生长季节和发病条件的限制。随着分子标记技术的完善,许多抗病基因已经开发出了与其紧密连锁的分子标记,利用这些分子标记直接从分子水平上对抗病基因进行选择,更加简单可靠,且不受发病条件和生长季节的限制。在抗病品种选育中,利用分子标记作为辅助选择手段,可极大地提高育种效率,并可同时选择多个抗病基因,获得含有多个抗病基因的“聚合品种”。定位于 2AL 染色体上的 *Pm4* 包括 *Pm4a* 和 *Pm4b* 被认为在我国主要麦区仍表现出良好的抗性,是小麦抗白粉病育种的重要抗源之一^[8]。与 *Pm4b* 紧密连锁的分子标记鉴定的研究报道表明,STS₄₇₀ 标记可用于 *Pm4b* 基因的鉴定^[9]。

本研究对主要来自黄淮麦区的 98 个小麦品种(系)进行白粉病抗性鉴定和 *Pm4b* 抗病基因的分子检测,旨在深化认识供试材料的抗白粉病特性和抗病基因的利用状况,为抗源的合理利用和抗病品种的合理布局提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验选用黄淮麦区的 98 个小麦品种(系),小偃 166 作为感病对照品种。分子检测的阳性对照为 Amada,是含有 *Pm4b* 基因的标准品系,阴性对照为小偃 166。

1.2 试验方法

1.2.1 苗期抗性鉴定 苗期抗病性鉴定在西北农林科技大学遗传实验中心光照培养箱中进行。将感病对照品系小偃 166 和待鉴定品种(系)种子播于盛有营养土的一次性塑料花盆中,每盆播一个品种(5~7 粒)。待第 1 叶片展开第 2 叶片露尖时,采用扫抹法接种新鲜白粉病菌种。接种后的幼苗置保湿桶内,10~15℃ 黑暗保湿 24 h,然后转入 15~24℃ 的培养箱中培养,光照时间为 12~14 h/d。7~10 d 后,当感病品种小偃 166 充分发病时,按 0、0₁、1、2、3、4 共 6 级标准调查记载反应型,其中 0、0₁、1、2 级为抗病(R),3、4 级为感病(S)。

1.2.2 大田人工接种鉴定 2011 年 10 月上旬将上述 98 个小麦品种(系)和对照(Amada、小偃 166)种于西北农林科技大学实验农场。按完全随机设计种植,2 行区,行长 1.0 m,行距 0.25 m,每行播种 15 粒。每隔 6 行播种 2 行小偃 166 作为感病对照和感

染诱发行,在其周围播种诱发行,便于白粉病的充分发生。2012 年 3 月拔节期接种白粉病,自然条件下诱导白粉病发生,待感病对照小偃 166 充分发病后调查记载抗病性。抗性鉴定采用 9 级法^[10],0 级为免疫,1~2 级为高抗,3~4 级为中抗,5~6 级为中感,7~8 级为感,9 级为高感。

1.2.3 *Pm4b* 抗病基因检测 DNA 提取:采用 CTAB 法^[11]从田间幼苗叶片中提取 DNA。ND-2000 核酸蛋白浓度检测仪检测 DNA 浓度,然后稀释成 50 ng/μL 备用。特异条带的 PCR 扩增检测:根据文献[9]报道的引物 STS₄₇₀ 的碱基序列,由北京奥科科技有限公司合成。PCR 反应总体系为 25 μL,包括有:10× Buffer 2.5 μL,25 mmol/L MgCl₂ 1.7 μL,2.5 mmol/L dNTP 2 μL,浓度为 10 μmol/L 上下游引物各 0.5 μL,Taq DNA 聚合酶(5 U/μL)0.2 μL,模板 DNA 2 μL。PCR 反应程序为:94℃ 预变性 5 min→94℃ 变性 30 s→55℃ 退火 30 s→72℃ 延伸 1 min,共 30 个循环;72℃ 延伸 5 min。4℃ 保存。PCR 扩增产物采用 1% 的琼脂糖凝胶电泳进行检测,溴化乙锭染色,在 GEL DOC XR⁺ 紫外凝胶成像系统下观察记录结果。

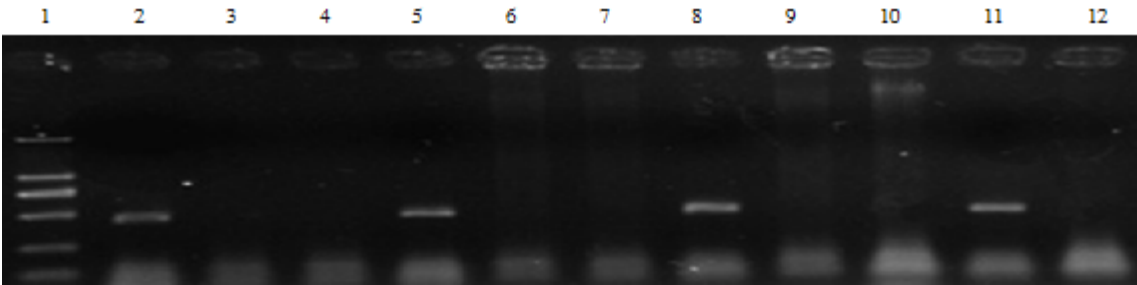
2 结果与分析

苗期鉴定结果表明,被测品种中,抗病品种 5 个,分别是 2208、矮抗 58、淮麦 64225、兰考矮早 8 号和轮选 987,仅占参试品种的 5%(表 1)。

田间接种鉴定发现抗病品种 39 个(表 1)。其中,高抗品种 9 个,分别是 2208、矮抗 58、淮麦 64225、兰考矮早 8 号、陕旱 8675、皖 29、西农 2611、新麦 19 和烟 2801,占参试品种的 9%;中抗品种 28 个,分别是泰山 21 号、百农 64、淮麦 0320、淮麦 18、鲁 935031、鲁麦 14、鲁麦 21、轮选 987、荔垦 2 号、陕农 28、陕农 78、苏徐 2 号、皖 33、皖 41、汶农 5、西农 9872、新麦 13、新麦 9、信阳 234、徐州 24、徐州 26、豫麦 21、豫麦 34、豫麦 66、远丰 898、郑 86115、中优 9507、周 18。

PCR 扩增检测发现,阳性对照 Amada 在 470 bp 处显示有一条特异标记条带(图 1),说明存在有 *Pm4b* 抗病基因;阴性对照小偃 166 没有标记条带。97 份供试材料的分子标记检测共发现有 3 份样品检测到 *Pm4b* 基因的标记片段(表 1、图 1),分别是:淮麦 64225、兰考矮早 8 号和轮选 987,占供试材料的 3%。

淮麦 64225、兰考矮早 8 号和轮选 987 苗期和成株期均表现抗病性,分子标记鉴定表明其抗病性可能来自于 *Pm4b* 抗病基因。



1. Marker DL2000;2. 正对照 Amada(含 *Pm4b*);3. 负对照小偃 166;4. 矮抗 58;5. 淮麦 64225;6. 淮麦 18;
7. 百农 64;8. 兰考矮早 8 号;9. 鲁麦 21;10. 西农 2611;11. 轮选 987;12. 西农 979。
1. Marker DL2000;2. Positive control Amada;3. Negative control Xiaoyan 166;4. Aikang 58;
5. Huaimai 64225;6. Huaimai 18;7. Bainong 64;8. Lankaoizao 8 hao;9. Lumai 21;10. Xinong 2611;11. Lunxuan 987;12. Xinong 979.

图 1 对照和部分品种 STS₄₇₀ PCR 扩增产物电泳图片

Fig. 1 PCR product amplified with the STS₄₇₀ marker for *Pm4b* gene in checks and some varieties

2208 和矮抗 58 苗期和成株期均表现高抗,但未检测到 *Pm4b* 标记片段,表明这 2 个品种可能是含有其他主效抗病基因。

中陕旱 8675、皖 29、西农 2611、新麦 19 和烟 2801 田间表现高抗。泰山 21 号和百农 64 等 28 个品种表现中抗,有可能是慢病性品种,是一种更有利用前途的抗病种质。

苗期感病而在成株期表现抗病的品种 34 个,其

表 1 抗性鉴定及标记位点 STS₄₇₀ 的等位变异

Tab. 1 Allelic variation at the STS₄₇₀ locus, disease parameter and pedigree

品种(系) Cultivar	来源 Pedigree	苗期病情 Disease in seedling	STS ₄₇₀ 分 析 STS ₄₇₀ marker	成株病情 Disease in field
534	小偃 597/89605	4	-	中感
1376	西农 84G6/比 16	4	-	中感
2122	521/522	4	-	中感
2208	陕 229/(陕 213/8623)F1	2	-	高抗
泰山 21 号 Taishan 21 hao	[(26744 / 泰山 10 号)F1 / 鲁麦 7 号]F4 / 鲁麦 18 号	4	-	中抗
矮抗 58 Aikang 58	周麦 11//温麦 6 号/郑州 8960	2	-	高抗
矮早 4110 Aizao 4110	[(C39/西北 78(6)9-2)/(FR81-3/矮早 781-4)]/矮早 781-4	4	-	高感
安农 98005 Annong 98005	矮早 781/皖宿 8802	4	-	高感
百农 64 Bainong 64	百农 8717/3/偃大 72-629-52/石 82-5594//百农 84-4046-1	4	-	中抗
阜阳 936 Fuyang 936	(皖麦 20/冀 5418)F1/内乡 184	4	-	高感
邯 3475 Han 3475	沛县 30421/邯 4162	4	-	中感
邯 6172 Han 6172	邯 4032/中引 1 号	3	-	中感
华麦 9 号 Huamai 9 hao	襄麦 8 号/大粒矮	4	-	中感
淮麦 0320 Huaimai 0320	淮麦 17 号/豫麦 54	4	-	中抗
淮麦 18 Huaimai 18	烟 1604/郑州 891	4	-	中抗
淮麦 20 Huaimai 20	郑州 891/烟 1604	4	-	高感
淮麦 64225 Huaimai 64225	临 550//钱尼/中 312	2	+	高抗
京冬 24 号 Jingdong 24 hao	京核 951/原冬 93(3)	4	-	中感
开麦 18 Kaimai 18	开 64/89 中 170//开 1003/温 2540	4	-	高感
兰考矮早 8 号 Lankaoizao 8 hao	兰考 84(184)1 小黑麦/兰考 90	1	+	高抗
荔高 6 Ligao 6	小偃 6 号系选	4	-	中感
荔垦 2 号 Liken 2 hao	(771/中 7605)F1/引 1053	4	-	中抗
连 9791 Lian 9791	鉴 94(73)/鲁麦 21	4	-	中感
鲁 935031 Lu 935031	/	4	-	中抗
鲁麦 14 Lumai 14	C149/F4530	4	-	中抗
鲁麦 21 Lumai 21	/	4	-	中抗
轮选 987 Lunxuan 987	矮败小麦轮选群体	2	+	中抗
漯 4518 Luo 4518	烟中 1604/温麦 4 号	4	-	中感
漯 9908 Luo 9908	周麦 13/百农 64	4	-	高感

续表 1:

品种 (系) Cultivar	来源 Pedigree	苗期病情 Disease in seedling	STS ₄₇₀ 分 析 STS ₄₇₀ marker	成株病情 Disease in field
内乡 188 Neixiang 188	(绵阳 84 - 27/内乡 82C6) F1/豫麦 17	4	-	高感
山农 664 Shannong 664	520627 / 南农 871	4	-	中感
陕 160 Shan 160	/		-	中感
陕 225 Shan 225	小偃 6 号/NS2716	4	-	中感
陕 354 Shan 354	/	4	-	轻感
陕 627 Shan 627	/	4	-	中感
陕早 8675 Shanhan 8675	/	4	-	高抗
陕农 28 Shannong 28	89A20 - 4/陕优 225,	4	-	中抗
陕农 78 Shannong 78	利用小麦与簇毛麦远缘杂交、花药培养和辐射诱变等技术结合选育而成的	3	-	中抗
苏徐 2 号 Suxu 2 hao	烟农 95 - 9 系统选育而成	3	-	中抗
泰农 142 Tainong 142	郑州 8329/植 87135 - 2 - 1 - 2 - 9	4	-	高感
宛麦 369 Wanmai 369	(Tail82/WK43) F3/(Tai7107/内乡 182) F4。	4	-	中感
皖 29 Wan 29	/	4	-	高抗
皖 33 Wan 33	8131 - 1/安农 8326		-	中抗
皖 41 Wan 41	郑州 891//烟农 1604	4	-	中抗
皖 44 Wan 44	/	4	-	中感
皖 46 Wan 46	/	3	-	中感
皖 48 Wan 48	/	4	-	高感
皖 8802 Wan 8802	博爱 7422/豫麦 2 号	4	-	轻感
皖宿 9908 Wansu 9908	豫麦 29/皖麦 19	4	-	中感
温麦 6 号 Wenmai 6 hao	从温 2540 变异单株选育而来	4	-	中感
汶农 5 Fenmai 5	鲁麦 21 号/泰山 5 号	4	-	中抗
西农 2611 Xinong 2611	陕 229/[(84 < 14 > 43/83 < 2 > 3)/(西农 65/小偃 6 号)] F4 选系	3	-	高抗
西农 889 Xinong 889	E 早 - 4 作母本/(小偃 6 号/小偃 83352)	4	-	中感
西农 9718 Xinong 9718	西农 2611/9062	4	-	高感
西农 979 Xinong 979	西农 2611/(918/95 选 1)	4	-	高感
西农 9871 Xinong 9871	西农 2208/小偃 22	4	-	高感
西农 9872 Xinong 9872	西农 2208/小偃 22	4	-	中抗
小偃 128 Xiaoyan 128	小偃 168/87 - 162 - 4 - 1 - 2	4	-	中感
小偃 166 Xiaoyan 166	87135/88111	4	-	高感
小偃 216 Xiaoyan 216	小偃 22/兰考 906	4	-	高感
小偃 22 Xiaoyan 22	(小偃 6 号/775 - 1)/小偃 107	4	-	高感
小偃 503 Xiaoyan 503	78506/84S504	4	-	中感
小偃 6 Xiaoyan 6	(ST2422/464)/小偃 96	4	-	轻感
新 9408 Xin 9408	(C5/新乡 3577) F3d1/新麦 9 号	4	+	中感
新麦 11 Xinmai 11	周 8826/新乡 3577		-	高感
新麦 13 Xinmai 13	宛原长白/(C5/3577F3d1)		-	中抗
新麦 18 Xinmai 18	(C6/新乡 3577) F3d1s//新麦 9 号	4	-	中感
新麦 19 Xinmai 19	(C5/新乡 3577) F3d1s/新麦 9 号	4	-	高抗
新麦 3306 Xinmai 3306	豫麦 2 号//郑州 891/内乡 82C6F1 诱变	4	-	中感
新麦 9 Xinmai 9	百泉 3047 - 3/内乡 82C6		-	中抗
信阳 234 Xinyang 234	丰抗 29/豫麦 21	4	-	中抗
徐麦 270 Xumai 270	周 91098/徐州 25 号	4	-	中感
徐州 24 Xuzhou 24	/	4	-	中抗
徐州 26 Xuzhou 26	WS8268(陕农 7859/小偃 6 号)	4	-	中抗
徐州 856 Xuzhou 856	郑州 8329/徐州 86195 - 14 - 4 - 4 - 1	3	-	中感
烟 278 Yan 278	烟 1061/鲁麦 14	4	-	中感
烟 2801 Yan 2801	/	4	-	高抗

续表 1:

品种(系) Cultivar	来源 Pedigree	苗期病情 Disease in seedling	STS ₄₇₀ 分 析 STS ₄₇₀ marker	成株病情 Disease in field
烟优 361 Yanyou 361	1933/陕 82-29	4	-	中感
偃展 1 号 Yanzhan 1 hao	{ [C39/78(6)9-2] / 冀麦 5418 } F3/豫麦 18	4	-	中感
豫麦 18 Yumai 18	郑州 761/偃师 4 号	4	-	中感
豫麦 21 Yumai 21	百农 791/豫麦 2 号	4	-	中抗
豫麦 34 Yumai 34	[矮丰 3 号/(孟 201/牛朱特)] / 豫麦 2 号	4	-	中抗
豫麦 47 Yumai 47	宝丰 7228/百泉 3199	4	-	中感
豫麦 66 Yumai 66	[(小黑麦 MZA - LenonactBUTR/豫麦 2 号) / 兰考 90 选系] F3 花培选育	4	-	中抗
远丰 175 Yuanfeng 175	92R149/咸 87(30) // 小偃 6 号	4	-	中感
远丰 898 Yuanfeng 898	/	3	-	中抗
郑 86115 Zheng 86115	30640-3-1/CA8059	4	-	中抗
郑 9023 Zheng 9023	/	3	-	高感
郑麦 004 Zhengmai 004	豫麦 13/90M434 // 石 89-6021 (冀麦 38)	4	-	高感
郑农 16 Zhengnong 16	郑农 7 号/小偃 6 号	4	-	高感
中优 9507 Zhongyou 9507	中国农业科学院作物所从中优 8 号中系统选育而成	3	-	中抗
中育 5 号 Zhongyu 5 hao	冀麦 5418/豫麦 10 号	4	-	中感
中育 6 号 Zhongyu 6 hao	烟 1604/中育 3 号	4	-	中感
中原 9868 Zhongyuan 9868	温 2540/泗阳 188	4	-	高感
周 16 Zhou 16	周 9/周 8425B	4	-	中感
周 17 Zhou 17	矮早 781/周 8425B // 周麦 9 号	4	-	高感
周 18 Zhou 18	内乡 185/周麦 9 号	4	-	中抗
淄麦 12 Zimai 12	917065/910292		-	高感

注:“+”. 含有 *Pm4b* 基因特异条带;“-”. 不含有 *Pm4b* 基因特异条带。

Note:“+”. Having 470 bp PCR fragment associated with the *Pm4b*;“-”. Without 470 bp PCR fragment associated with the *Pm4b*.

3 讨论

本试验的抗病性鉴定结果表明,苗期表现为抗病的材料,成株期一般抗病,而苗期表现感病,成株期也有可能抗病。有学者认为,苗期鉴定与成株期鉴定的结果是基本一致的^[12]。也有学者认为,苗期抗性与成株期抗性之间没有明显的相关性,并分析其原因可能有三方面,一是一般在三叶期后抗病基因才得以表达;二是植株的抗病性可能随其不同生长发育期的生理生化过程的变化而改变;三是抗病性与环境温度密切相关^[13]。由于苗期抗性与成株期抗性不完全一致,因此,抗病鉴定需要在苗期和成株期都进行。苗期鉴定的抗病品种成株期一般也抗病,这种抗病品种包含主效抗病基因,全生育期抗病,且抗性强。苗期感病而成株期抗病的材料,其抗病性在成株期表达,抗性中等。这种抗性很多学者都将其归类于慢病性。慢病性一般抗性更持久,近年来,慢病品种的选育越来越受到育种家的关注^[2]。小麦成株期的抗病性会因为发病条件,特别是大气温度和湿度的不同而有较大的差异,在生产实践中,往往很难控制这些环境条件而对鉴定结果产生较大的影响,因此,对成株期的抗性应进行多年

多点的鉴定才比较可靠。苗期鉴定简便易行,用苗期抗性鉴定结果可以为成株期鉴定提供参考。小麦抗白粉病性状的鉴定与选择应以苗期、成株期的鉴定和分子标记检测相结合,方能得出较为可靠的结果。

根据本研究的鉴定结果,当前黄淮麦区的大多数品种(系)对白粉病的抗性都较差,具有苗期抗性的品种(系)所占频率尤其很低。至今,我国抗病育种仍以选育小种专化抗病品种为主,加剧了病原菌生理小种变异,使我国小麦白粉菌生理小种群体正由低毒力小种向高毒力小种演变^[3],抗病品种的抗病性丧失现象愈来愈严重。如何有效地解决这一问题可以从以下几个方面加以考虑:一是不片面追求高抗品种,慢病品种和耐病品种应充分利用,此类抗性不专抗某一毒性菌株,因此中等抗病品种,抗性相对持久^[1],如我国育成的百农 64 和鲁麦 21^[14-15];二是重视成株抗病品种的选育和应用,众多的研究表明,作物对病害的成株抗性是稳定持久的。何中虎^[2]认为应将成株抗性作为国内条锈病和白粉病抗性育种的重要成分。成株抗病基因一个位点会有几种抗病基因,如 *Yr29/Lr46/Pm39*、*Yr18/Lr34/Pm38*,这些抗不同病害的基因位于同一位点,成株

抗病基因似乎不是抗一种病,而是对多种病均有抗性。所以,重视成株抗性的应用不仅可以获得抗性持久稳定的品种,还能得到兼抗几种病害的多抗品种。不同来源、不同背景的多个小麦抗白粉病基因聚合到一个小麦品种是增加品种抗病性和持久性的一条有效途径^[16-17]。三是挖掘和利用新的抗源材料,*Pm13* 和 *Pm21* 抗性好,但在我国育成的推广品种中携带频率低^[18],故应加强这些基因在小麦抗白粉病育种中的应用。

参考文献:

- [1] Bennett F G A. Resistance to powdery mildew in wheat; A review of its use in agriculture and plant breeding programs[J]. *Plant Pathology*, 1984, 33(3): 279-300.
- [2] 何中虎,兰彩霞,陈新民,等. 小麦条锈病和白粉病成株抗性研究进展与展望[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(11): 2193-2215.
- [3] 陈秀梅,曹远银,宋晶晶,等. 我国部分麦区 2011-2012 年小麦白粉病菌小种及毒力分析[J]. *麦类作物学报*, 2013, 33(3): 584-588.
- [4] 曹远银,俞孕珍,朱桂清,等. 东北春麦区小麦品种(系)抗白粉病鉴定与抗源筛选[J]. *沈阳农业大学学报*, 1992(4): 255-258.
- [5] 朱海荣,吴鹏,赵宁,等. 部分小麦种质资源材料对白粉病和锈病的抗性鉴定及分析[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(05): 925-929.
- [6] 张秋,郭栋,樊庆琦,等. 山东省部分小麦种质成株期和苗期白粉病抗性鉴定[J]. *山东农业科学*, 2012, 44(5): 86-88.
- [7] 张海泉. 小麦抗白粉病分子育种研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(4): 1060-1066.
- [8] 宋玉立,何文兰,张忠山. 河南省小麦白粉菌毒性结构与小麦品种抗白粉病性分析[J]. *河南农业科学*, 1997(12): 19-21.
- [9] 王俊美,柴春月,刘红彦,等. 小麦抗白粉病基因 *Pm4* 三个 STS 标记的实用性分析[J]. *河南农业科学*, 2005(4): 38-41.
- [10] 盛宝钦,段霞瑜. 小麦白粉病成株抗性鉴定“0-9 级”法修改意见[J]. *北京农业科学*, 1991(1): 38-39.
- [11] Saghai-Maroo M A, Soliman K M, Jorgenson R W. Ribosomal DNA spacer length polymorphisms in barley; Mendelian inheritance, chromosomal location and population dynamics[J]. *Proc Natl Acad Sci (USA)*, 1984, 81(24): 8014-8018.
- [12] 乔体尚,程麦风. 小麦种质资源抗白粉病的鉴定[J]. *山西农业科学*, 1992, 20(12): 12-13.
- [13] 李思敏,唐伯让,樊路. 小麦白粉病苗期与成株期抗性的关系[J]. *作物杂志*, 1995(5): 11-12.
- [14] Caixia Lan, Shanshan Liang, Zhulin Wang, et al. Quantitative trait loci mapping for adult-plant resistance to powdery mildew in Chinese wheat cultivar bainong 64[J]. *Phytopathology*, 2009, 99(10): 1121-1126.
- [15] Xiaowen Ni, Jun Yan, Yong Zhang, et al. Quantitative trait loci mapping of adult-plant resistance to powdery mildew in Chinese wheat cultivar Lumai 21[J]. *Mol Breeding*, 2010, 25(4): 615-622.
- [16] 张增艳,陈孝,张超,等. 分子标记选择小麦抗白粉病基因 *Pm4b*、*Pm13* 和 *Pm21* 聚合体[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(7): 789-793.
- [17] 陈涛,隋建枢,彭昕,等. 小麦抗白粉病基因 *Pm13* 和 *Pm21* 的多重 PCR 检测[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(1): 31-35.
- [18] 刘兵,李绍慧,王永强,等. 我国主要小麦推广品种抗白粉病基因的分子检测[J]. *植物保护学报*, 2010, 37(2): 113-117.